

Sedimentationsstabilität von Selbstverdichtenden Betonen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Brameshuber¹
Dipl.-Ing. Stephan Uebachs¹

1 EINLEITUNG

Seit nunmehr über einem Jahr werden Selbstverdichtende Betone (SVB) mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung in Deutschland eingesetzt. Am Institut für Bauforschung (ibac) der RWTH Aachen sind die Zulassungsprüfungen für Dyckerhoff Liquidur® (SVB) und Drössler easyflow® (SVB) durchgeführt worden. Diese Betone werden seit Erteilung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung durch das ibac fremdüberwacht und zertifiziert.

Bei den Zulassungsprüfungen wurden die Frischbetoneigenschaften bislang durch den Setzfließversuch ohne und mit Blockierring, den Trichterauslaufversuch und dem L-Kasten Versuch beschrieben. Außerdem wurde der Luftgehalt und die Frischbetonrohddichte ermittelt. Dadurch wurden folgende Eigenschaften geprüft [1, 2]:

- Die Fließfähigkeit (Selbstnivellierungsvermögen),
- die Viskosität,
- die Blockierneigung und
- die Entlüftung (Selbstverdichtungsvermögen).

Bei der Prüfung und Überwachung dieser SVB sowie bei der Durchführung von Untersuchungen zur Zulassung weiterer SVB wurde, wie bereits bei der Bearbeitung von Forschungsprojekten festgestellt, daß durch die o.g. Prüfungen die Sedimentationsneigung der groben Gesteinskörnung, die sogenannte Sedimentationsstabilität, nicht geprüft wird. Man ging bislang davon aus, daß durch eine Prüfung der Viskosität durch die indirekten Verfahren der Setzfließzeit und der Trichterauslaufzeit die Sedimentationsstabilität sichergestellt ist. Nach neueren Untersuchungen ist das jedoch nicht immer gewährleistet. Deshalb wurde bei der Fremdüberwachung von Transport- und Fertigteilverken durch das ibac die Sedimentationsstabilität gesondert geprüft (vgl. Abschnitt 2.3).

Zur Prüfung der Sedimentationsstabilität von Selbstverdichtendem Beton existiert zur Zeit kein standardisiertes Prüfverfahren. Bei den Frischbetonprüfungen, die zur Charakterisierung der Frischbetoneigenschaften herangezogen werden, wie z. B. die Bestimmung des Setzfließmaßes und der Setzfließzeit ohne und mit Blockierring und des Trichterauslaufversuches, werden nur instabile Betone erkannt, wenn sie zum Blockieren neigen (Bild 1). Ebenfalls ist eine gänzliche Entmischung beim Setzfließmaßversuch z. B. durch Wasserabsonderung (Bluten) und/oder durch sofortiges Anhaften der Feststoffe an der Platte erkennbar (Bild 2). Es gibt jedoch SVB, die die vorgegebenen Eigenschaften bei den o. g. Prüfungen erfüllen, bei denen keine Anzeichen von Entmischung erkennbar und die grobe Gesteinskörnung beim Setzfließmaßversuch homogen im ausgebreiteten Beton verteilt sind, die grobe Gesteinskörnung aber aufgrund unausgewogener rheologischer Eigenschaften in der Matrix nicht in Schwebe gehalten wird. Dieses wird bei den üblicherweise durchgeführten Frischbetonprüfungen nicht erkannt. Deshalb werden im folgenden zwei Verfahren beschrieben, die im Rahmen von Erst- und Regelprüfung von SVB eingesetzt werden können.

¹ Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (ibac), Postfach, D-52056 Aachen



Bild 1: Blockierender SVB beim Blockieringversuch



Bild 2: Entmischter SVB beim Setzfließversuch nach dem Aufnehmen mit der Kelle

2 PRÜFVERFAHREN

2.1 Allgemeines

Die Sedimentationsstabilität kann sowohl am Frisch- als auch am Festbeton untersucht werden. Am ibac wurde erstmals im Rahmen einer Diplomarbeit im Jahre 1999 ein Versuchsaufbau, der sogenannte „Drei-Zylinder-Test“, entwickelt und vier SVB mit einem Größtkorn von 16 mm hinsichtlich ihrer Sedimentationsstabilität geprüft [3]. Der Versuchsaufbau besteht aus drei übereinander stehenden Zylinderschalungen mit einem Durchmesser von 150 mm und einer Höhe von je 300 mm (vgl. Bild 3), die mit Schraubzwingen miteinander verbunden sind. Zum Prüfen der Mischung wurden die Zylinder mit Frischbeton gefüllt und 30 min erschütterungsfrei gelagert. Anschließend wurden Trennbleche zwischen den Zylindern eingesetzt und der Inhalt über einem 8 mm Sieb ausgewaschen. Etwa eine Minute nach Beginn des Abtropfens wurde dann die so gewonnene Gesteinskörnung gewogen. Massedifferenzen zwischen den einzelnen Zylindern bis zu 10 % wurden als vernachlässigbar eingestuft.

In der Arbeitsgruppe, die im Jahr 2000 im Auftrage des Unterausschusses „Selbstverdichtender Beton“ den Umfang der Frischbetonprüfungen für die DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ zur alten DIN 1045 1988-07 [4] erarbeiten sollte, wurde die Problematik seitens des ibac erstmalig angesprochen. Daraufhin wurde am Forschungsinstitut der Zementindustrie (FIZ) ein Prüfverfahren entwickelt [5], das sogenannte Tauchstabverfahren, das informativ in die Richtlinien aufgenommen wurde [5, 6]. Dieses Verfahren hat den Nachteil, daß es während der laufenden Produktion schwierig durchzuführen ist. Auch in der Literatur finden sich Hinweise zu dieser Fragestellung (siehe z. B. [7, 8, 9, 10]). Seit Anfang dieses Jahres fordert nun auch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) bei Untersuchungen zur Erlangung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung und bei der Überwachung von SVB einen Nachweis der Sedimentationsstabilität der zuzulassenden und zugelassenen SVB. Das DIBt fordert sowohl eine Prüfung der Sedimentationsstabilität am Frischbeton als auch eine visuelle Beurteilung des Spaltbildes einer Festbetonprobe.



Bild 3: Versuchsaufbau des „Drei-Zylinder-Tests“ [3]

2.2 Prüfung der Sedimentationsstabilität am Frischbeton

Zur Berücksichtigung der Anforderungen des DIBt an das Prüfverfahren wurde der oben beschriebene Prüfaufbau des „Drei-Zylinder-Tests“ entsprechend angepaßt. Das DIBt fordert einen Durchmesser des mit Frischbeton zu befüllenden Zylinder von ebenfalls 150 mm, jedoch sollte die Höhe nicht 900 mm, sondern 500 mm betragen. Der Versuchsaufbau besteht aus einem Kunststoffzylinder mit Boden, der durch Trennbleche in drei gleichgroße Segmente unterteilt werden kann. Zur Aufnahme der Trennbleche ist der Kunststoffzylinder in den Drittelpunkten bis zur Hälfte des Umfangs angeschnitten (vgl. Bild 4).

Vor dem Einfüllen der zu untersuchenden Frischbetonprobe werden die Schlitze zur Aufnahme der Trennbleche mit Klebeband verschlossen (Bild 4, Teilschritt 1). Die Frischbetonprobe wird sofort nach Mischenende bzw. nach dem Beladen des Fahrmischers ohne Einfüllrutsche in den Prüfkörper eingefüllt. Dabei wird der Prüfkörper ca. 45° geneigt gehalten, damit der SVB die Wandung herunterfließen kann und so die Entlüftung gewährleistet ist. Nach dem Befüllen muß der Prüfkörper bis zum Prüfzeitpunkt nach 30 min erschütterungsfrei gelagert werden, um das Eintragen von Verdichtungsenergie zu vermeiden (Bild 4, Teilschritt 2). Nach 30 min wird das Klebeband entfernt und die Trennbleche eingesetzt (Bild 4, Teilschritte 3 und 4). Anschließend wird der SVB segmentweise in Gefäße gefüllt. Die einzelnen Chargen werden dann über einem 8 mm Sieb (für Größtkorn 16 mm) bzw. über einem 4 mm Sieb (für Größtkorn 8 mm) ausgewaschen und händisch 30 s abgesiebt. Nach dem Sieben muß ggf. nochmals ausgewaschen werden. Der Siebrückstand wird im Trockenschrank (z. B. bei einer Erstprüfung) oder durch Darren (bei der Eigenüberwachung der laufenden Produktion) getrocknet und mit einer Genauigkeit von 1 g gewogen.

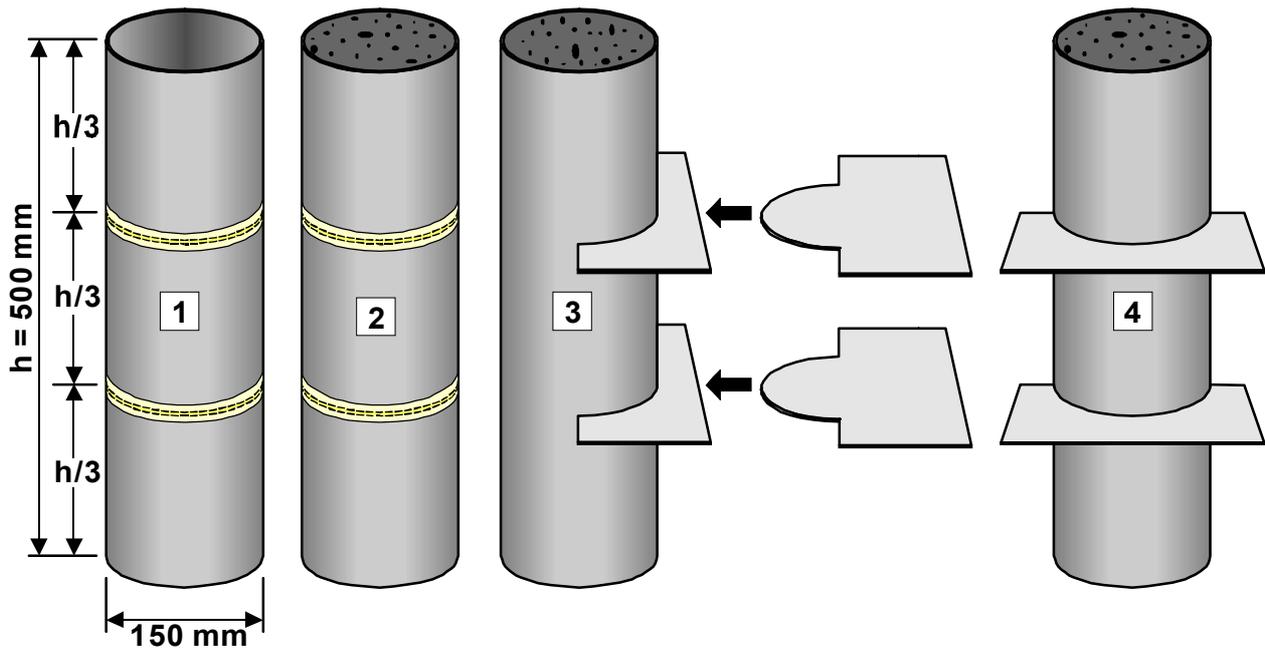


Bild 4: Ablauf der Sedimentationsprüfung am Frischbeton



Bild 5: Sedimentationsversuch am Frischbeton



Bild 6: Auswaschen der groben Gesteinskörnung

Ein SVB ist sicher als sedimentationsstabil einzustufen, wenn die Abweichung von den ermittelten Massen der groben Gesteinskörnung zur Sollmasse nicht mehr als 15 M.-% beträgt. Die Sollmasse ist die Gesamtmasse der getrockneten groben Gesteinskörnung dividiert durch drei (Segmente). Eine detaillierte Auswertung wird in Kapitel 3.2 durchgeführt.

2.3 Prüfung der Sedimentationsstabilität am Festbeton

Am Festbeton kann man die Sedimentationsstabilität an dem Schnittbild eines Betonprobekörpers beurteilen. Dieses Verfahren wird am ibac seit Erteilung von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen im Rahmen der Fremdüberwachung von SVB eingesetzt und wird nun auch für die Erstprüfung vom DIBt gefordert. Dazu wird ein Kunststoffzylinder mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Höhe von 500 mm wie in Abschnitt 2.2 beschrieben mit Frischbeton gefüllt und bis zum Erhärten erschütterungsfrei gelagert. Nach dem Erhärten wird der Zylinder mittig in Achsenrichtung aufgesägt und die Schnittflächen hinsichtlich der Verteilung der groben Gesteinskörnung visuell beurteilt. In der mittlerweile erschienenen ÖVBB-Richtlinie [9] wird ein ähnliches Verfahren beschrieben, jedoch wird dort ein Zylinder mit einer Höhe von 1000 mm eingesetzt und zusätzlich an einer herausgesägten Probe aus dem unterem Bereich und einer Probe aus dem oberen Bereich die Rohdichte bestimmt. Das Verfahren wird in Österreich zusätzlich zur Überprüfung der Selbstverdichtung und ggf. zur Bestimmung von Luftporenkennwerten eingesetzt. Ein Kriterium für die maximal zulässige Abweichung der ermittelten Rohdichten wird in [9] nicht angegeben.

Im Rahmen der hier beschriebenen Prüfungen wurden in Anlehnung an [9] ebenfalls die Rohdichte an Probestücken bestimmt, die 50 mm unterhalb der Oberseite und die 50 mm oberhalb der Unterseite entnommen wurden.

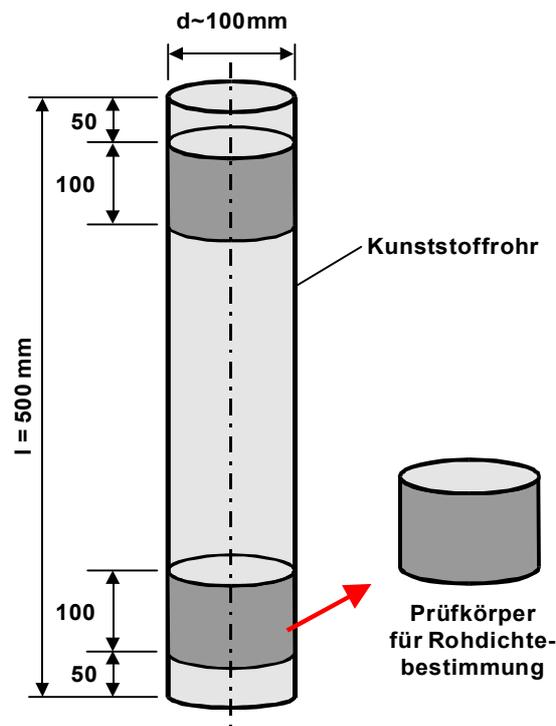


Bild 7: Beurteilung der Sedimentationsstabilität am Festbeton

3 UNTERSUCHUNGEN

3.1 Beschreibung der untersuchten Selbstverdichtenden Betone

Mit den in Abschnitt 2 beschriebenen Verfahren wurden Untersuchungen durchgeführt um die Aussagekraft dieser Verfahren zu überprüfen. Untersucht wurden vier SVB des Mehlkorntyps, die entweder allgemein bauaufsichtlich zugelassen sind oder bei denen zur Zeit die Untersuchungen zur Erlangung dieser Zulassung am ibac durchgeführt werden. Zusätzlich wurde ein SVB (SVB5) mit ins Versuchsprogramm aufgenommen, der durch eine Überdosierung des Fließmittels gezielt zum Sedimentieren gebracht wurde. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die untersuchten Rezepturen.

Tabelle 1: Zusammensetzungen und Frischbetoneigenschaften der untersuchten Betone

Bestandteil/Prüfgröße	Einheit	Beton				
		SVB1	SVB2	SVB3	SVB4	SVB5
1	2	3	4	5	6	7
Zement	-	CEM I				
Zusatzstoff		Kalksteinmehl		Flugasche		
Gesteinskörnungssieblinie		AB16	AB8	AB16		
Mehlkorngehalt	kg/m ³	ca. 600				
w/z-Wert	-	0,53	0,54	0,50	0,62	
w/(z+0,4·f)-Wert		-		0,45	0,55	
Setzfließmaß sm	mm	700	740	720	720	790
Setzfließzeit t ₅₀₀	s	6,0	5,5	1,0	3,0	2,0
Setzfließmaß mit Blockierring sm _b	mm	690	720	750	680	800
Setzfließzeit mit Blockierring t _{b500}	s	7,0	9,0	2,0	4,5	2,5
Trichterauslaufversuch		13,0	9,0	n. b.	8,5	n. b.
Frischbetonrohddichte	kg/m ³	2391	2361	2379	2332	2341
LP-Gehalt	Vol.-%	1,7	1,5	0,3	1,0	0,8

Die Frischbetonprüfungen erfolgten zwischen 5 min bis 15 min nach Mischende.

Zur Ermittlung der Setzfließmaße und -zeiten wurde der Setztrichter gemäß Vorgabe des DIBt mit der Öffnung mit dem geringeren Durchmesser auf den Setztisch aufgesetzt.

Die eingesetzten Zemente entsprachen der DIN 197-1 2001:02 [11]. Bei den eingesetzten Flugaschen handelte es sich um Flugaschen aus Trockenfeuerungen gemäß DIN EN 450 1995:01 [12], bei den Gesteinskörnungen um Sande und Kiese gemäß DIN 4226 1 2001:07 [13]. Das Kalksteinmehl entsprach ebenfalls der DIN 197-1 2001:02 [11] und der DIN 4226 1 2001:07 [13]. Es wurden Betonverflüssiger und Fließmittel mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung auf Polycarboxylat-Ether-Basis eingesetzt.

Beton SVB1 und SVB2 unterscheiden sich lediglich in der verwendeten Sieblinie. Die Stoffraumanteile der Gesteinskörnung wurden in beiden Fällen gleich gehalten. SVB4 und SVB5 unterscheiden sich lediglich im Fließmittelgehalt.

Hinsichtlich ihrer Frischbetoneigenschaften sind SVB1, SVB2 und SVB4 mit Setzfließmaßen von ≥ 700 mm und Setzfließzeiten von 4 - 6 s typische Mehlkorntypbetone, wie sie z. Zt. in Deutschland eingesetzt werden. SVB3 hat ebenfalls ein Setzfließmaß von ≥ 700 mm, hat aber im Gegensatz zu SVB1, SVB2 und SVB4 eine deutlich niedrigere Viskosität, erkennbar an der Setzfließzeit t₅₀₀, die nur 1,0 s beträgt. SVB5 neigt aufgrund der Überdosierung des Fließmittels zum Entmischen und wurde nur zu Vergleichszwecken in die Untersuchungen aufgenommen.

3.2 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchung der Sedimentationsstabilität am Frischbeton sind in Tabelle 2 und Bild 8 dargestellt. Wie in Tabelle 2 und Bild 8 zu erkennen ist, erfüllen SVB1, SVB2, SVB3 und SVB4 das Kriterium. Die Massedifferenz ist in keinem Fall größer als 15 M.-%. Lediglich der durch Überdosierung des Fließmittels gezielt zum Entmischen gebrachte SVB5 hält das Kriterium nicht ein.

Tabelle 2: Auswertung der Sedimentationsstabilität am Frischbeton

Segment	SVB1		SVB2		SVB3		SVB4		SVB5	
	g _{>8mm}	bez. Δg	g _{>4mm}	bez. Δg	g _{>8mm}	bez. Δg	g _{>8mm}	bez. Δg	g _{>8mm}	bez. Δg
	g	M.-%								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Oben	1533	- 0,3	2269	- 1,7	1738	+ 5,1	1630	- 8,3	1304	- 27,3
Mitte	1487	- 3,3	2301	- 0,3	1602	- 3,1	1780	+ 0,1	1891	+ 5,5
Unten	1591	+ 3,5	2358	+ 2,1	1620	- 2,0	1924	+ 8,2	2184	+ 21,8
Gesamt	4611		6928		4960		5334		5379	
Sollwert	1537		2309		1653		1778		1793	

g_{>8mm}: ausgewaschene Gesteinskörnung größer 8 mm
 g_{>4mm}: ausgewaschene Gesteinskörnung größer 4 mm
 bez. Δg: auf den Sollwert bezogene Massedifferenz

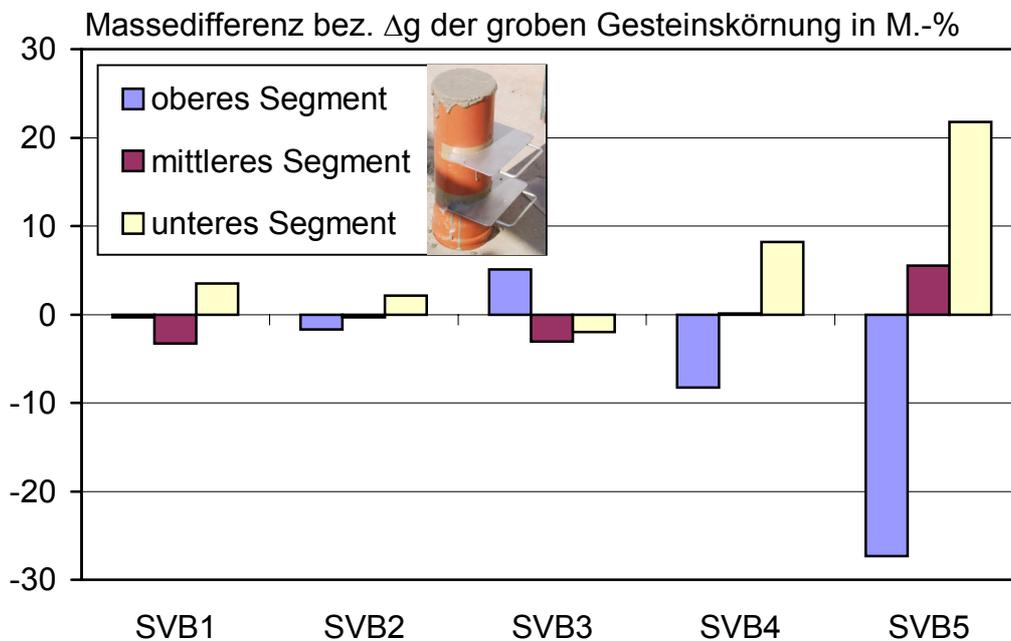


Bild 8: Darstellung der Ergebnisse der Sedimentationsprüfung am Frischbeton

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Sedimentationsversuche am Festbeton dargestellt.

Tabelle 3: Auswertung der Sedimentationsversuche am Festbeton

Segment	Rohdichte $\rho_{\text{Festbeton}}$					Visuelle Beurteilung				
	SVB1	SVB2	SVB3	SVB4	SVB5	SVB1	SVB2	SVB3	SVB4	SVB5
	kg/m ³					-				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Oben	2364	2307	2356	2341	2316	homogen ¹⁾				in- ho- gen ²⁾
Unten	2375	2329	2332	2334	2344					

1) Die grobe Gesteinskörnung ist homogen über die gesamte Probenhöhe verteilt.

2) Die grobe Gesteinskörnung ist inhomogen über die Probenhöhe verteilt.

Die Untersuchungen am Festbeton zur Sedimentationsstabilität bestätigen die Ergebnisse der Untersuchungen am Frischbeton. Bei der visuellen Beurteilung der Schnittflächen ist zu erkennen, daß bei den stabilen SVB1 bis SVB4 die grobe Gesteinskörnung homogen über die gesamte Probenhöhe verteilt ist (vgl. Bild 9). Bei SVB5 hingegen ist im oberen Bereich der Probe ein deutlich geringerer Anteil an grober Gesteinskörnung erkennbar (vgl. Bilder 9 und 10). Anhand eines Vergleiches der Rohdichten zwischen der Probe aus dem oberen und dem unteren Bereich eines Probekörpers ist im vorliegenden Fall keine Aussage hinsichtlich der Sedimentationsstabilität möglich (vgl. Tafel 3). Die Abweichung der Rohdichten zwischen dem oberen und unteren Bereich des sedimentierten Probekörpers liegen in einem üblichen Streubereich.



Bild 9: Schnittflächen der SVB (von links: SVB1, SVB2, SVB3, SVB4, SVB5)

Bild 10: Vergleich von SVB 4 (links) und SVB5 (rechts)

Die Tendenzen bei den Abweichungen der Untersuchung mit dem Frischbetonverfahren wurden bei dem Festbetonverfahren bei den Betonen SVB1, SVB2, SVB3 und SVB5 bestätigt. Das Frischbetonverfahren zeigt für die Betone SVB1, SVB2 und SVB5 jeweils in dem unteren Segment mehr grobe Gesteinskörnung. Bei dem Festbetonverfahren sind in den unteren Bereichen die Rohdichten bei diesen Betonen ebenfalls stets etwas höher. Bei SVB3 wurden in dem oberen Bereich mit beiden Verfahren höhere Massenanteile der groben Gesteinskörnung bzw. höhere Rohdichten festgestellt. Nur bei SVB4 liefern die beiden Verfahren widersprüchliche Ergebnisse. Bei dem Frischbetonverfahren befindet sich im oberen Segment weniger grobe Gesteinskörnung als im unteren Segment (vgl. Tabelle 2, Spalte 8 und 9). Betrachtet man die

Ergebnisse des Festbetonverfahrens, so stellt man fest, das die Rohdichten in den entsprechenden Bereichen oben/unten nahezu gleich sind. Es sollte somit – wie auch vom DIBT bei Erstprüfungen von SVB gefordert – zum Sammeln von Erfahrungen möglichst beide Verfahren durchgeführt werden, um die Eigenschaft der Sedimentationsstabilität sicherzustellen.

Die Untersuchungen der Sedimentationsneigung sowohl am Frischbeton als auch am Festbeton ergeben, daß der Einsatz einer Sieblinie AB8 anstatt einer Sieblinie AB16 bei sonst gleicher Zusammensetzung des SVB die Sedimentationsstabilität nicht beeinflusst. Die Ergebnisse für die Mischung SVB1 mit einem Größtkorn von 16 mm und der Mischung SVB2 mit einem Größtkorn von 8 mm sind in etwa gleich (vgl. Tabelle 2 und Tabelle 3). An den Ergebnissen der Untersuchung von SVB3 ist festzustellen, daß anhand der Setzfließzeit keine absolute Aussage über die Sedimentationsstabilität möglich ist. Bisher ging man davon aus, daß bei einer bestimmten Viskosität, indirekt ausgedrückt durch die Setzfließzeit, keine Sedimentation der groben Gesteinskörnung stattfindet. SVB3 hat eine niedrige Viskosität und somit eine sehr kurze Setzfließzeit (vgl. Tabelle 1), ist aber sehr sedimentationsstabil. Die Sedimentationsstabilität ist somit nicht nur von der Viskosität der Mischung abhängig, es ist vielmehr wohl ein Zusammenspiel der rheologischen Kenngrößen Fließgrenze und dynamische Viskosität, die zum einen die selbstverdichtenden Eigenschaften sicherstellen, zum anderen die Sedimentationsstabilität gewährleisten.

Die beiden eingesetzten Prüfverfahren sind für die Bestimmung der Sedimentationsstabilität sehr gut geeignet. Eine zulässige Abweichung von maximal 15 M.-% vom Sollwert stellte bei dem vorgestellten Frischbetonverfahren sicher, daß das grobe Korn in der Matrix in Schwebelage gehalten wurde.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mit den bisher eingesetzten Verfahren der Frischbetonprüfung von SVB, wie z. B. dem Setzfließversuch ohne und mit Blockierring oder dem Trichterauslaufversuch, läßt sich die Sedimentationsneigung der groben Gesteinskörnung bei einem SVB nicht zweifelsfrei feststellen.

Deshalb werden zwei Prüfverfahren vorgestellt, mit denen die Sedimentationsstabilität von Selbstverdichtendem Beton untersucht werden kann: Ein Prüfverfahren für die Untersuchung am Frischbeton und ein Verfahren für Festbeton. Mit diesen Versuchsverfahren wurden fünf Selbstverdichtende Betone untersucht. Es wurde festgestellt, daß mit diesen Prüfverfahren Betone, bei denen die grobe Gesteinskörnung zum Sedimentieren neigt, identifiziert werden können. Das Kriterium für die zulässige Abweichung bei dem Frischbetonverfahren wurde bestätigt. Wenn die Massenanteile der groben Gesteinskörnung nicht mehr als 15 M.-% von dem Sollwert abweichen, ist der SVB sedimentationsstabil und es ist nicht mit einem Absinken der groben Gesteinskörnung zu rechnen.

Bei Erstprüfungen von SVB sollten zunächst beide Verfahren angewendet werden um zu gesicherten Erkenntnissen zu gelangen. Bei der Überwachung der laufenden Produktion kann zur Bestätigung des Ergebnisses der Erstprüfung auf ein Verfahren zurückgegriffen werden.

5 LITERATUR

- [1] Brameshuber, W. ; Krüger, T. ; Uebachs, S.: Selbstverdichtender Beton im Transportbetonwerk. In: Beton 51 (2001), Nr. 10, S. 546-550
- [2] Brameshuber, W.; Tigges, Ch.; Uebachs, S.: Selbstverdichtender Beton im Fertigteilwerk. Betonwerk- und Fertigteiltechnik Oktober 2001
- [3] Krämer, K.: Untersuchungen zum Mischungsentwurf und zur Prüfung der Frischbetoneigenschaften von selbstverdichtendem Beton (SVB) : Investigations on the mix design and on the testing of the fresh concrete properties of self-compacting concrete. Aachen, Technische Hochschule, Fachbereich 3, Institut für Bauforschung, Diplomarbeit, 1999. - (unveröffentlicht)

- [4] DIN 1045 1988-07. Beton und Stahlbeton; Bemessung und Ausführung
- [5] Deutscher Ausschuß für Stahlbeton (DAfStb) Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie), Ergänzungen zu DIN 1045 1988-07, Ausgabe 10/2001
- [6] Deutscher Ausschuß für Stahlbeton (DAfStb) Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie), Ergänzungen und Änderungen zu DIN 1045-2 2001-07 und DIN EN 206-1 2001-07 sowie DIN 1045-3 2001-07, Ausgabe 03/2002 (4. Entwurf)
- [7] Noguchi, T. ; Mori, H.: State-of-the-Art Report : Evaluation of Fresh Properties of Self-Compacting Concrete in Laboratory and on Site. Tosa-Yamada Kochi, Japan : Kochi University of Technology, 1999. - In: Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete, 23-26 August 1998, Tosa-Yamada Kochi, Japan
- [8] Persson, B.: Mix Proportions and Strength of Self-Compacting Concrete for Production of High Strength Poles, Piles and Pillars. München : Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung, 2001. - In: 1. Münchener Baustoffseminar Selbstverdichtender Beton, 9. Oktober 2001, S. 31-39
- [9] Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik (ÖVBB) Richtlinie Selbstverdichtender Beton, Ausgabe 11/2001 (Entwurf)
- [10] Bui, V.K. ; Montgomery, D. ; Hinczak, I. ; Turner, K.: Rapid Testing Method for Segregation Resistance of Self-Compacting Concrete. In: Cement and Concrete Research 32 (2002), Nr. 9, S. 1489-1496
- [11] DIN EN 197-1 2001-02: Zement. Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement. Deutsche Fassung EN 197-1: 2000
- [12] DIN EN 450 1995-01: Flugasche für Beton; Definitionen, Anforderungen und Qualitätssicherung
- [13] DIN 4226-1: 2001-07: Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel - Teil 1: Normale und schwere Gesteinskörnungen