

Auf der Grundlage von Forschungsergebnissen in Japan [1] wurden ab 1988 die Grundlagen zur Betontechnologie des selbstverdichtenden Betons (SVB) geschaffen.

Am Ende der Entwicklung stand die Technologie für einen zuverlässigen selbstverdichtenden Beton (SVB), der seit 2003 in einer Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) geregelt ist. SVB wird dort definiert als „Beton, der ohne Einwirkung zusätzlicher Verdichtungsenergie allein unter dem Einfluss der Schwerkraft fließt, entlüftet sowie die Bewehrungszwischenräume und die Schalung vollständig ausfüllt“.

Seit der bauaufsichtlichen Einführung dieser SVB-Richtlinie [2] ist für die Verwendung von SVB weder eine Zustimmung im Einzelfall noch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung nötig, was den Einsatz zusätzlich begünstigen dürfte. Aufgrund der angeführten Betoneigenschaften ist SVB bei der Fertigteilproduktion und bei der Verwendung für Betonoberflächen – insbesondere für gestalterische Zwecke – besonders geeignet.

Durch selbstverdichtenden Beton ergeben sich Vorteile hinsichtlich

- gleichmäßiger Betonqualität über den gesamten Querschnitt
- geringer Einschränkung bei der konstruktiven Ausbildung von Bauteilen
- Verbesserung der Dauerhaftigkeit
- Sichtbetoneigenschaften
- Erleichterung der Betonierarbeiten
- Verkürzung der Bauzeiten
- Lärmschutz und Gesundheitsschutz auf Baustellen und in Fertigteilwerken

■ 1 Grundlagen

Nach dem gewählten Prinzip des Betonentwurfs kann SVB drei Typen zugeordnet werden, vgl. Tafel 1.

In der Regel besitzt SVB gegenüber Rüttelbeton einen deutlich erhöhten Mehlkornanteil. Die traditionelle Betonzusammensetzung, in der ein möglichst hohes Gesteinskörnungsvolumen und ein möglichst kleines Haufwerkspo-

renvolumen angestrebt werden, ist bei SVB nicht existent. Stattdessen bilden Mehlkorn (Zement + Gesteinskörnungen mit $\varnothing \leq 0,125$ mm + Betonzusatzstoffe), Anmachwasser und Fließmittel des SVB einen Leim, in dem die grobe Gesteinskörnung „schwimmt“.

Für die gewünschte Funktionstüchtigkeit eines SVB sind zwei Merkmale entscheidend. Zum einen muss das Fließvermögen ausreichend hoch sein, damit das Entlüften des Betons ermöglicht, auch bei hohen Bewehrungsgraden ein optimaler Verbund zwischen Stahl und Beton erreicht und die Gefahr von Fehlstellen (z. B. Kiesnester) minimiert wird. Zum anderen muss SVB ein gutes Zusammenhaltevermögen besitzen, um die Gefügestabilität zu erhalten und ein Entmischen zu verhindern. Beim Entmischen können zwei Phänomene auftreten:

- Sedimentation: Absinken der großen Gesteinskörner, Bluten
- Separation: Der fließende Beton ist nicht mehr in der Lage, die großen Gesteinskörner im Fließvorgang mitzutransportieren.

Um sowohl ein ausreichendes Fließvermögen als auch ein ausreichendes Zusammenhaltevermögen zu erlangen, ist ein optimales Verhältnis von Mehlkornzusammensetzung und -menge zu Wasser und Fließmittelmenge unabdingbar.

Die Wassermenge muss so bemessen sein, dass sie genau dem Wasseranspruch des Mehlkorns entspricht und die Oberfläche gerade benetzt. Bereits hier wird deutlich, dass sich alleine durch die Substitution einer Mehlkornkomponente durch eine andere (z. B. Zement durch Flugasche) der Wasseranspruch ändert und die veränderte Betonzusammensetzung in der Regel zu veränderten Frischbetoneigenschaften führt.

Eine zusätzliche Wasserzugabe beeinflusst gleichzeitig das Fließvermögen und das Zusammenhaltevermögen des Betons. Das kann dazu führen, dass bei einer (gewollten) Erhöhung des Fließvermögens gleichzeitig das Zusammenhaltevermögen herabgesetzt und damit das Gefüge instabil wird. Bereits Änderungen der Zugabewassermenge von ± 3 l/m³ können ausreichen, um Sedimentation, Separation, Luft einschüsse oder geringere Fließfähigkeit hervorzurufen.

Während Wasser das Fließvermögen und das Zusammenhaltevermögen beeinflusst und ggf. zu einem Entmischen führen kann, wird durch den Einsatz von Fließmittel vorrangig die Fließfähigkeit gesteuert.

Für die Herstellung von SVB werden derzeit fast ausschließlich Fließmittel der neuen Generation eingesetzt, so genannte PCE-Fließmittel (Polycarboxylatether). Zum einen muss die Wechselwirkung zwischen Zement und PCE-Fließmittel

Tafel 1: Mehlkorngehalt von SVB-Typen

SVB-Typ	Mehlkornggehalt [kg/m ³]
Mehlkorntyp	550 - 650
Stabilisierertyp	350 - 500
Kombinationstyp	abhängig von der Stabilisierergabe

bekannt sein, zum anderen muss dabei das temperaturabhängige Verhalten auf die Fließeigenschaften berücksichtigt werden. Außerdem wird bei einigen Fließmitteln durch das Mischen im Fahrmischer eine zusätzlich verflüssigende Wirkung hervorgerufen, die als „Depoteffekt“ bezeichnet wird und zu einem späteren Entmischen führen kann.

Die Zugabe von Feinststoffen (Kalksteinmehl oder Flugasche) führt zu einer Verbesserung der Fließfähigkeit. Ein zu hoher Gehalt an sehr feinen Bestandteilen kann bei sonst gleichen Bedingungen die Fließfähigkeit herabsetzen [3, 4]. Neben dem Einfluss des Betonzusatzstoffs auf die rheologischen Eigenschaften des SVB kann auch der – von der technischen Nutzbarkeit unabhängige – gestalterische Einfluss auf das optische Erscheinungsbild der Betonoberfläche genutzt werden. Kalkstein- oder Quarzmehl bewirken aufgrund ihrer Eigenschaften eine hellere Oberfläche als Flugasche.

Die beschriebenen empfindlichen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Betonkomponenten bewirken, dass relativ geringe Änderungen der Betonzusammensetzung die Eigenschaften des SVB erheblich verändern können.

■ 2 Anforderungen an den Frischbeton

2.1 Setzfließmaß

Das Setzfließmaß ohne Blockierring (s_m) beurteilt die Fließfähigkeit des Betons. Übliche selbstverdichtende Betone besitzen ein s_m zwischen 700 mm und 800 mm.

Das Setzfließmaß mit Blockierring (s_{m_b}) beurteilt das Fließverhalten von SVB durch den Zwischenraum der Bewehrungsstäbe. Vorrangig wird ermittelt, ob grobe Gesteinskörnung von dem Zementleim auch zwischen Hindernissen (z. B. Bewehrungsstäben) hindurch transportiert wird oder ob sich eine Separation durch Blockieren der großen Gesteinskörnung einstellt. Dieser Effekt kann sogar dann auftreten, wenn der Stababstand größer ist als der Größtkorndurchmesser. Deshalb sind für die Prüfung Anzahl und Stababstände des Blockierings in Abhängigkeit vom Größtkorn zu wählen (Tafel 2). Der Stabdurchmesser beträgt jeweils 18 mm, der Durchmesser des Blockierings 30 cm.

Die Blockierneigung wird durch die Verwendung von gebrochener Gesteinskörnung noch zusätzlich erhöht [5].

Wenn sich innerhalb und außerhalb des Blockierings kein Niveauunterschied im Betonkuchen bildet, das Größtkorn gut durch die Stabzwischenräume hindurch transportiert wird und der s_{m_b} -Wert um maximal 50 mm kleiner als der s_m -Wert ist, gilt die Zusammensetzung des SVB als funktionstüchtig, vgl. Bild 1.

Tafel 2: Stabanzahl des Blockierings [2]

Größtkorndurchmesser	Stabanzahl
8 oder 11,4 mm	22
16 oder 22 mm	16
32 mm	10

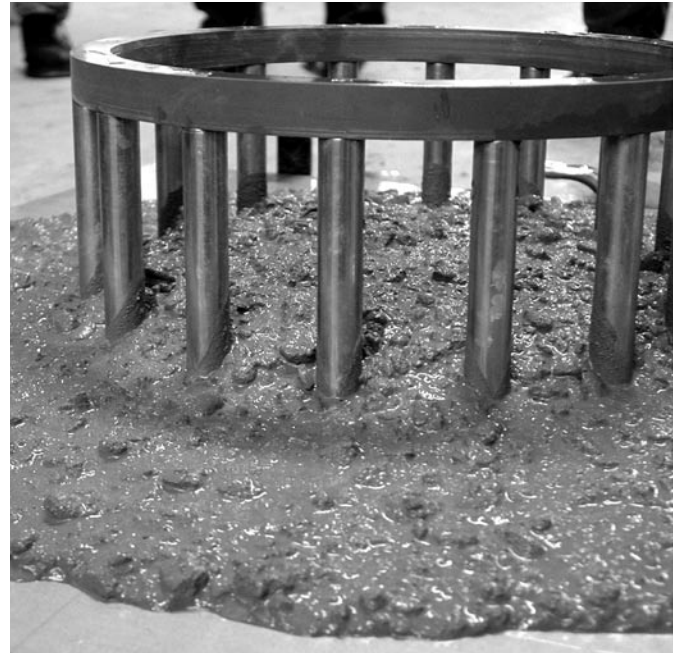


Bild 1: Ermittlung des s_{m_b} -Wertes

2.2 Trichterauslaufzeit

Die Viskosität des SVB wird mit der Trichterauslaufzeit (t_T) ermittelt. Hierbei wird die Zeit gemessen, die der SVB benötigt, um in einem zusammenhängenden Strahl aus dem V-Trichter (Bild 2) auszulaufen. Bei üblichen SVB liegt diese Zeit zwischen 5 sec. und 20 sec.

2.3 Sedimentationsneigung

Um die Sedimentationsneigung eines SVB zu überprüfen, wird der Beton in einen Zylinder mit 500 mm Höhe und 150 mm Durchmesser gefüllt. In den Drittelpunkten der Zylinderhöhe sind Schieber angebracht, die die SVB-Probe in drei Teilproben unterteilen. Nach dem Auswaschen des Zementleims kann anhand der Massendifferenzen der groben Gesteinskörnung am Frischbeton ermittelt werden, ob der Beton zum Sedimentieren neigt. Unterscheiden sich die Grobkorngehalte um weniger als ± 20 M.-% von dem mittleren Gehalt des Grobkorns, kann der SVB als sedimentationsstabil angesehen werden.

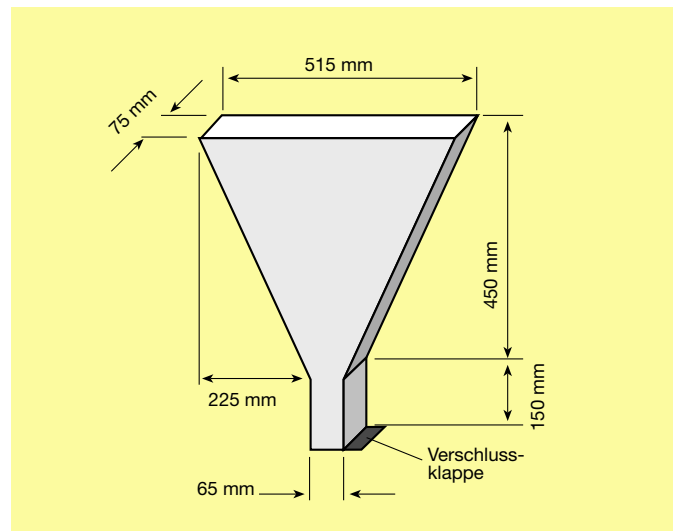


Bild 2: V-Trichter zur Ermittlung der Auslaufzeit für selbstverdichtenden Beton

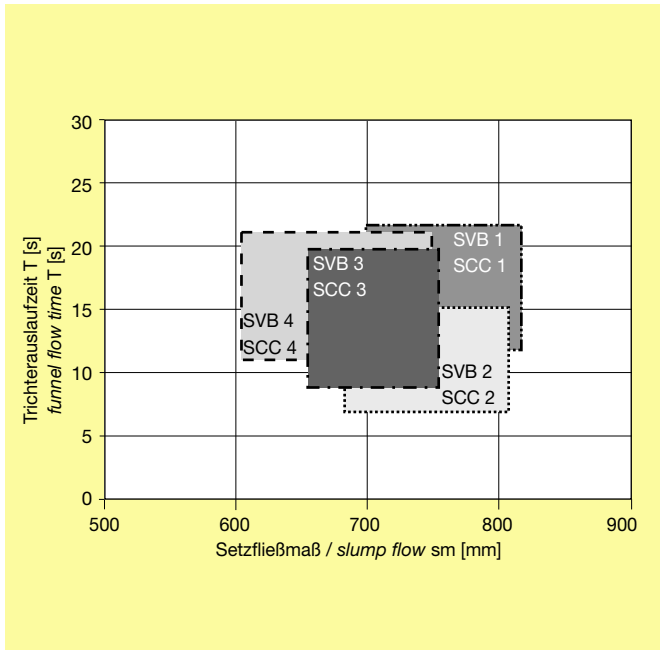


Bild 3: Verarbeitbarkeitfenster für vier verschiedene SVB [6]

Untersuchungen haben gezeigt, dass gewisse Wertepaare von Setzfließmaß und Trichterauslaufzeit als Brauchbarkeitskriterium herangezogen werden können. Aus diesen Werten, die in der Erstprüfung ermittelt werden, wird für jeden SVB ein individuelles Verarbeitbarkeitfenster (Bild 3) festgelegt, mit dem sichergestellt wird, dass weder Sedimentation noch Stagnation eintritt, der Beton ausreichend fließt, entlüftet und sicher sedimentationsstabil ist. Bei gleichen Betonzusammensetzungen kann der temperaturbedingte Einfluss zu unterschiedlichen Verarbeitbarkeitfenstern führen.



Bild 4: Auslaufkegel [7]

Um die Überprüfung der Fließfähigkeit und der Viskosität möglichst einfach, schnell und baustellengerecht zu ermöglichen, wurde im VDZ ein kombiniertes Verfahren entwickelt, das beide Eigenschaften in einem Versuch zielsicher ermittelt. Die Apparatur besteht aus einem Auslaufkegel, der über einer Setzfließmaßplatte angebracht ist (Bild 4).

3 Herstellung und Transport

Bereits bei der Herstellung von SVB bedarf es einer hochwertigen technischen Ausstattung und geschulten Personals. Durch die hohe Empfindlichkeit des SVB gegenüber Wassergehaltsschwankungen ergeben sich u. a. folgende Forderungen an den Hersteller:

- Die Dosiergenauigkeit der Mischanlage sollte möglichst hoch sein.
- Feuchte, im Silo unten liegende Gesteinskörnung sollte vor der Produktion abgezogen werden.
- Der Feuchtegehalt des Sands sollte kontinuierlich gemessen werden; der Feuchtegehalt der groben Gesteinskörnungen muss ebenfalls bekannt sein.
- Restwasser gemäß [8] darf nach [2] nur unter bestimmten Voraussetzungen verwendet werden, da sich zu hohe Feststoffgehalte nachteilig auswirken können.
- Restloses Entleeren der Mischtrommel und der Transportfahrzeuge sowie Pumpen von Spülwasser sind erforderlich.

Unterschiedlich lange Transportzeiten können die Konsistenz des Betons dadurch beeinflussen, dass der unter Umständen auftretende oben erwähnte Depoteffekt (abhängig von der Wahl des Fließmittels) unterschiedlich stark aktiviert wird. Ferner können witterungsbedingte Einflüsse, wie z. B. Sonneneinstrahlung, zur Erhöhung der Frischbetontemperatur führen und dadurch auch die Konsistenz verändern. Um einer eventuellen Konsistenzänderung durch Transport, Witterung etc. rechtzeitig durch eine entsprechende Änderung der Betonzusammensetzung begegnen zu können, sollte ein regelmäßiger Informationsaustausch bezüglich der Frischbetoneigenschaften zwischen Baustelle und Transportbetonwerk angestrebt werden.

Eine nachträgliche Fließmitteldosierung auf der Baustelle ist nach [2] möglich, um die Abweichung der gewünschten Eigenschaften des Frischbetons unmittelbar vor dem Einbau korrigieren zu können. Dies setzt jedoch voraus, dass dem Betonhersteller eine Dosieranleitung vorliegt, aus der eindeutig hervorgeht, welche Fließmittelmenge zugegeben werden muss, um bei der vorhandenen Frischbetontemperatur und Konsistenz die gewünschte Fließfähigkeit bzw. Viskosität einzustellen. Diese Angaben sind im Rahmen der Erstprüfung zu ermitteln.

Aufgrund der Empfindlichkeit von SVB gegenüber Schwankungen in Herstellung, Transport und Einbau muss gemäß Richtlinie auf der Baustelle jedes Transportfahrzeug einer Annahmeprüfung unterzogen werden. Im Rahmen dieser Annahmeprüfung sind das Setzfließmaß mit oder ohne Blockiering als einfaches Verfahren zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit von selbstverdichtendem Beton sowie die Trichterauslaufzeit zu prüfen.

Die Auswertung des Wertepaares Setzfließmaß und Trichter- auslaufzeit zeigt dem Anwender sofort, ob der SVB im Bereich des durch die Erstprüfung festgelegten Verarbeitungsfensters liegt. Aufgrund der einfachen Anwendung wird in der Praxis zunehmend das kombinierte Verfahren mit dem Auslaufkegel verwendet.

Eine genaue Terminierung der Betonanlieferung ist von großer Bedeutung. Es ist anzustreben, dass das Folgefahrgesch mit der Materialübergabe beginnt, sobald das vorangegangene Fahrzeug entleert wurde. Dabei ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass die Folgefahrgesch so rechtzeitig eintreffen, dass eine Frischbetonprüfung noch möglich ist.

Diese Gegebenheiten stellen hohe Anforderungen an die logistische Leistung eines Transportbetonunternehmens und lassen sich nur befriedigend erfüllen, wenn durch die Erstprüfung bereits die baustellenspezifischen Randbedingungen (z. B. unterschiedliche Temperaturbereiche) erfasst werden.

■ 4 Einbringen des Betons

Vor dem Einbringen ist zu prüfen, ob Wasserrückstände in der Schalung (z. B. durch Regen) vorhanden sind. Selbst geringe Rückstände können zu Entmischungserscheinungen beim SVB führen, weil sie den Wassergehalt des SVB auf nicht mehr tolerierbare Gehalte erhöhen können.

SVB benötigt einen gewissen Fließweg, um ausreichend entlüften zu können (Bild 5). In Ausnahmefällen ist diese Strecke zur Entlüftung nicht gegeben und sollte daher künstlich erzeugt werden. Dabei sollte der Beton nicht zu schnell fließen. Der Entlüftungsvorgang wird unterstützt, wenn der Beton über eine Kante ablaufen kann, bevor er seine endgültige Lage in der Schalung einnimmt [9].

Wird der Beton nicht kontinuierlich eingebracht, kann sich eine zähe, zusammenhängende Zementleimschicht an der Betonoberfläche bilden – die so genannte Elefantenhaut. Dadurch wird eine Vermischung unterschiedlicher Betonchargen verhindert; diese Trennschicht kann sich später auf der Bauteiloberfläche abzeichnen. Zusätzlich kann der Beton bereits durch geringe Standzeiten in der Schalung seine selbstverdichtenden Eigenschaften teilweise oder sogar gänzlich verlieren.



Bild 5: Herstellen eines Deckenelements aus SVB (aus [10])



Bild 6: Science Center Wolfsburg: Einpumpen des Betons von unten in die Schalung (Foto: Doka; aus [10])

Bei Bauteilgeometrien, die ein selbstständiges Entlüften nur schwer zulassen (z. B. schlanke Stützen, unterschrittene Schalungen), muss besonders sorgfältig betoniert werden. Die kurzen Fließwege und hohen Betonsteiggeschwindigkeiten (vorrangig bei schlanken Stützen) bewirken, dass die Auftriebskraft der Luftporen nicht ausreicht, um die darüber liegenden, ruhenden Frischbetonschichten zu durchdringen. Daher sollte ein Luft eintrag in den Beton möglichst verhindert und eine Entlüftung vor dem Einbau begünstigt werden. Ein unnötiger Lufteintrag wird verhindert, indem der Beton nicht aus größerer Höhe über mehrere Bewehrungsstäbe fällt, sondern das Schlauchende beim Pumpen ständig im Frischbeton eintaucht. Dadurch lässt sich auch eine Schichtenbildung durch eine Elefantenhaut verhindern. Ist dies aufgrund hoher Bewehrungsgrade nicht möglich, bildet das Einfüllen von unten durch einen Stutzen in der Schalung eine gute Alternative. Hierfür werden spezielle Rahmenschalungen angeboten, die bereits werksmäßig mit einem Einfüllstutzen versehen sind, an den der Pumpenschlauch angeschlossen wird (Bild 6). In diesem Fall sollten die Rührwerkzeuge im Aufgabetrichter der Betonpumpe während der gesamten Förderung mit Frischbeton überdeckt bleiben.

Aufgrund der besonderen Eigenschaften von selbstverdichtendem Beton ist ein kontinuierlicher Einbau und eine kontinuierliche Anlieferung unabdingbar [11]. Verliert ein SVB seine günstigen Verarbeitbarkeitseigenschaften, so ist es unter Umständen möglich, auch nach längeren Transport- bzw. Lagerzeiten diese durch eine Fließmittelzugabe wieder herzustellen [11], vgl. Abschnitt 3.

Das Verdichten des Betons ist nicht erlaubt. SVB fließt bei geringer Scherspannung von selbst und steift bei höherer Scherspannung an.

■ 5 Schalungsdruck

Die Festlegungen zur Ermittlung des Schalungsdrucks in DIN 18218 [12] für Normalbeton gelten nicht in allen Punkten für selbstverdichtenden Beton. Durch seine leichte Verarbeitbarkeit ist SVB in der Lage, bei sehr schlanken Bauteilen, wie z. B. Stützen, sehr große Betoniergeschwindigkeiten zu erreichen. Dem Vorteil der schnellen Einbaubarkeit steht ein erhöhter

Schalungsdruck gegenüber, weshalb eine sorgfältige Schalungsdimensionierung erforderlich ist.

Bisherige Untersuchungen, die eine Korrelation zwischen Betoniergeschwindigkeit und Frischbetoneigenschaften einerseits und dem daraus resultierenden Schalungsdruck andererseits ergeben sollten, lieferten teils widersprüchliche Ergebnisse. Wenn keine genauen Ergebnisse für den jeweiligen SVB vorliegen wird empfohlen, die Schalung auf hydrostatischen Druck zu bemessen.

Maßgeblichen Einfluss kann neben der Betonzusammensetzung auch das Einbringverfahren haben. Wird der Beton von unten in die Schalung gepumpt, so überträgt sich auf die Schalung eventuell nicht nur der hydrostatische Druck, sondern zusätzlich auch noch der Druck der Pumpe, der erforderlich ist, die Haftreibung zwischen Beton und Schalung zu überwinden (insbesondere bei Kolbenpumpen zu berücksichtigen). Beim Pumpen von unten sollte deshalb der Bemessungswert für den Schalungsdruck zusätzlich erhöht werden.

Aufgrund des zu erwartenden größeren Schalungsdrucks ist anzuraten, die Schalungsecken verwindungssteif auszuführen. Außerdem sollte ein vernünftiges Maß für die Abstände der Schalungsanker gefunden werden, denn einerseits sollte die Oberfläche nicht zu viele Schalungsankerkonen aufweisen, andererseits dürfen sich trotz des höheren Schalungsdrucks keine zu großen Verwölbungen in der Schalhaut ergeben, da sich dies negativ auf den visuellen Eindruck der Betonoberfläche auswirken würde.

Es kommt vor, dass bei Schalungs- und Schalhautstößen der Abstand zwischen benachbarten Schalungen nicht komplett geschlossen ist oder aber Schalhäute Fehlstellen von wenigen Millimetern Breite aufweisen (z. B. bei Spalten zwischen Brett-einlagen in der Schalung). Solche Stellen werden sich später auf der Betonoberfläche abzeichnen. Die bei Rüttelbeton an solchen Fehlstellen bestehende Gefahr der Kiesnesterbildung durch austretenden Zementleim besteht bei SVB aufgrund seines deutlich besseren Zusammenhaltevermögens nicht.

■ 6 Eigenschaften des SVB

Im Wesentlichen entsprechen die Festbetoneigenschaften eines SVB denen eines Normalbetons. Selbstverdichtender Beton kann als normalfester und hochfester Beton entworfen werden.

Druckfestigkeit

Bei vergleichbaren Zementgehalten und Wasserzementwerten besitzt SVB gegenüber Rüttelbeton aufgrund seiner dichteren Zusammensetzung eine höhere Druckfestigkeit.

Zugfestigkeit

Bei gleicher Druckfestigkeit sind geringfügig höhere Zugfestigkeiten als bei Normalbeton zu erwarten.

Verbund Beton/Bewehrung

Aufgrund des hohen Zusammenhalte- und Fließvermögens bewirkt SVB einen guten Verbund zur Bewehrung. Dabei ist die Verbundlage kaum davon abhängig, ob es sich um die untere oder die obere Bewehrungslage handelt.

Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul ist etwa 15 % geringer als der eines herkömmlichen Betons. Dies ist auf den erhöhten Mehlkorngelast und den damit verbundenen verringerten Gehalt der groben Gesteinskörnungen zurückzuführen.

Schwinden

Das Schwinden wird hauptsächlich vom Zementleimgehalt beeinflusst. Da sich der Zementleimgehalt im SVB von dem im Normalbeton nur geringfügig unterscheidet, zeigt SVB auch das gleiche Schwindverhalten wie Normalbeton.

Kriechen

Das Kriechmaß von SVB scheint nach bisherigen Untersuchungen etwas höher als bei Normalbeton zu sein, liegt jedoch in dem für Normalbeton üblichen Toleranzbereich.

■ 7 Oberflächenqualität

Die Oberflächen von mit SVB hergestellten Betonbauteilen spiegeln bis ins kleinste Detail die Schalung wider (einschließlich Bleistiftstrichen!). SVB besitzt die Möglichkeit, selbst feinste Reliefs der Schalung im Negativ abzubilden (Bild 7). Daher erfreut sich SVB bei anspruchsvoller Oberflächengestaltung (z. B. durch Matrizen) großer Beliebtheit. Dies bewirkt jedoch auch, dass Fehlstellen wie Ausbesserungen oder Nagellöcher in der Schalung ebenfalls genau abgebildet werden. Bei hohen Anforderungen an Sichtbetonoberflächen ist daher auf eine hochwertige Schalhaut zu achten. Dabei sind insbesondere Maßnahmen vorzusehen, die die notwendige Betondeckung sicherstellen, ohne dass Abstandshalter an der Bauteiloberfläche sichtbar bleiben.

■ 8 SVLB – selbstverdichtender Leichtbeton

Im Dezember 2003 wurden die ersten bauaufsichtlichen Zulassungen für selbstverdichtenden Leichtbeton erteilt. Auch SVLB fließt und entlüftet ausschließlich aufgrund seines Eigen-gewichts. Obwohl der leichteste SVLB mit bauaufsichtlicher Zulassung nur eine Trockenrohdichte von 1,38 kg/dm³ besitzt, sind auch hier eine ausreichende Selbstverdichtung und gute Fließ-eigenschaften vorhanden. Die mechanischen Eigenschaften sind vergleichbar mit herkömmlichem Leichtbeton [13].



Bild 7: Mit SVB hergestellte Ortbetonwand in Frankfurt (aus [10])

■ 9 Zusammenfassung

Bei selbstverdichtendem Beton handelt es sich um Beton mit besonderen Frischbetoneigenschaften. Um diese Eigenschaften in der Praxis sicherzustellen, hat der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton entsprechende Vorgaben in einer Richtlinie festgelegt, die bauaufsichtlich eingeführt worden ist. Bezüglich der Festbetoneigenschaften unterscheidet sich selbstverdichtender Beton nicht von Normalbeton. Es gelten die gleichen Anforderungen nach DIN EN 206-1 und DIN 1045.

Aufgrund der besonderen Frischbetoneigenschaften bietet selbstverdichtender Beton zahlreiche Vorteile bis hin zur konstruktiven Ausgestaltung von besonderen Bauteilen, die mit herkömmlichem Beton nicht realisierbar wären.

■ 10 Quellen und weiterführende Literatur

- [1] Okamura, H.; Maekawa, K.; Ozawa, K.: High Performance Concrete (Japanisch), Gihodo Shuppan, Tokyo 1993.
- [2] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): Richtlinie Selbstverdichtender Beton, Ausgabe November 2003, Beuth-Verlag.
- [3] Lemmer, C.; Hartmann, J.; Wolf, T.: Rheological properties of mortars for Self-Compacting Concrete. Concrete – Annual Journal on Concrete and Concrete Structures Vol. 14, Darmstadt 1999.
- [4] Hattari, K.; Izumi, K.: Estimation of effects of the specific properties of particles on the viscosity's of cement paste. Proceedings of the fifth commet / ACI International Conference. Rome/Italy 1997, S. 511-536.
- [5] Billberg, P.: Self-Compacting concrete for civil engineering – the Swedish experience. Swedish cement and concrete research institute. ISSN:0346-8240. CBI Report 2/99,1999.
- [6] Kordts, S.; Breit, W.: Beurteilung der Frischbetoneigenschaften von selbstverdichtendem Beton. beton 53 (2003) Heft 11, S. 565-571.
- [7] Kordts, S.; Breit, W.: Kombiniertes Prüfverfahren zur Beurteilung der Verarbeitbarkeit von Selbstverdichtenden Betonen – Auslaufkegel. beton 54 (2004) Heft 4, S. 213-219.
- [8] DIN EN 1008:2002-10: Festlegung für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton, Beuth-Verlag, Berlin.
- [9] Grübl, P.; Lemmer, C: Selbstverdichtender Beton – Eigenschaften, Auslieferung, Anwendung. Selbstverdichtender Beton. DBV-Heft Nr. 3, S. 7-16.
- [10] Brameshuber, W.: Selbstverdichtender Beton. Spezialbetone Band 5, Verlag Bau+Technik, Düsseldorf 2004.
- [11] Kordts, S.; Grube, H.: Steuerung der Verarbeitbarkeits-eigenschaften von Selbstverdichtendem Beton als Transportbeton. beton 52 (2002) Heft 4, S. 217-223.
- [12] DIN 18218:1980-09: Frischbetondruck auf lotrechte Schaltungen, Beuth-Verlag, Berlin.
- [13] Müller, H. S.; Haist, M.: Erste allgemeine bauaufsichtliche Zulassung – Selbstverdichtender Leichtbeton. BFT International – Betonwerk- und Fertigerteiltechnik 70 (2004) Heft 12, S. 8-17.

Beratung und Information zu allen Fragen der Betonanwendung

Regionale Ansprechpartner	www.beton.org
BetonMarketing Nord GmbH Hannoversche Straße 21, 31319 Sehnde-Höver, Tel.: 05132 8796-0, Fax: 05132 8796-15, hannover@betonmarketing.de	
BetonMarketing Ost GmbH Teltower Damm 155, 14167 Berlin-Zehlendorf, Tel.: 030 3087778-0, Fax: 030 3087778-8, mailbox@bmo-berlin.de	
BetonMarketing Süd GmbH Gerhard-Koch-Straße 2+4, 73760 Ostfildern, Tel.: 0711 32732-200, Fax: 0711 32732-202, info@betonmarketing.de Büro München: Rosenheimer Straße 145 g, 81671 München, Tel.: 089 450984-0, Fax: 089 450984-45, muenchen@betonmarketing.de Büro Wiesbaden: Friedrich-Bergius-Straße 7, 65203 Wiesbaden, Tel.: 0611 261066, Fax: 0611 261068, wiesbaden@betonmarketing.de	
BetonMarketing West GmbH Annastraße 3, 59269 Beckum, Tel.: 02521 8730-0, Fax: 02521 8730-29, bmwest@betonmarketing.de	
Herausgeber: Verein Deutscher Zementwerke e.V., Tannenstraße 2, 40476 Düsseldorf	www.vdz-online.de
Verfasser: Dipl.-Ing. Michael J. Dickamp, BetonMarketing Nord GmbH, Dipl.-Ing. Sören Eppers, BDZ	