

Ascheinsatz in selbstverdichtendem Beton

Einleitung

Selbstverdichtender Beton (SVB) als relativ neue Variante eines Hochleistungsbetons zeichnet sich gegenüber konventionellen Betonen durch eine erheblich verbesserte Verarbeitbarkeit aus. Eine wesentliche Eigenschaft dieser Betone ist, daß sie infolge ihrer hohen Fließfähigkeit ohne äußere Einwirkung jede beliebige Form vollständig ausfüllen können.

Die Forschungen für diesen Beton begannen 1986 in Japan. 1988 wurde erstmals solch ein Beton hergestellt und 1994 wurde der Vorschlag eines Entwurfsverfahrens veröffentlicht /O1/. Es wurden aber schon früher bei bestimmten hochfesten Betonen, welche sich wie SVB durch einen hohen Bindemittel- und Fließmittelgehalt auszeichnen, bis dahin nicht bekannte rheologische Eigenschaften beobachtet /G1/. Praktische Erfahrungen mit diesem Beton gibt es in Europa z.B. in den Niederlanden, Schweden und der Tschechischen Republik. Seit 1999 gibt es auch in Deutschland eine verstärkte Forschungstätigkeit auf diesem Gebiet. Praktische Anwendungen sind ebenfalls bekannt.

Aufgrund des über die derzeitigen Grenzwerte hinausgehenden Mehlkorngeltes und der sehr hohen Fließfähigkeit ist SVB in Deutschland nicht genormt. Auch nach DIN 1045-2 (Juli 2001) /D3/, welche die deutschen Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1 /D4/ enthält, ist SVB aufgrund des hohen Mehlkorngeltes nicht zulässig. Vom DAfStb wird daher gegenwärtig eine Richtlinie (SVB-Richtlinie) /D5/ erarbeitet.

Selbstverdichtende Betone unterscheiden sich in der Vielfalt der möglichen Ausgangsstoffe (Zemente, Zuschläge, Betonzusatzstoffe, Betonzusatzmittel) und Anwendungen (Sichtbeton, Brückenbauwerke, Tunnelbauwerke, Abwasserbauwerke, Wohnungsbau etc.; insbesondere stark bewehrte, feingliedrige Bauteile) nicht von anderen Betonarten. Vorteile beim Einsatz von SVB sind die höhere Einbauleistung, die verbesserten gestalterischen Möglichkeiten und der Wegfall körperlich schwerer Verdichtungsarbeit. Nachteilig sind im wesentlichen die höheren Betonkosten und die höheren Anforderungen an die Betontechnologie. Diese erhöhten Kosten müssen ausgeglichen werden durch höhere Einbauleistung und neue Technologien des Betonbaus.

Grundlage des SVB ist eine Mehlkornsuspension, die zwar keine Fließgrenze mehr aufweist, deren desagglomerierte Feststoffpartikel jedoch einen so geringen Abstand haben, daß sie in ihrer Lage gehalten werden und sich nicht mehr absetzen können /G1/. Das rheologische Verhalten von SVB entspricht daher vielmehr dem einer Newton'schen Flüssigkeit als der eines Bingham-Körpers.

Entgegen den herkömmlichen Ansätzen zum Mischungsentwurf muß der Anteil an Mehlkornsuspension groß genug sein, um ein Zusammenstoßen der gröberen Zuschlagkörner untereinander zu verhindern. Anhaltswerte für den Mehlkorngeltes von SVB liegen zwischen 450 - 650 kg/m³. Das Wasser/Mehlkorn-Verhältnis beträgt im allgemeinen ca. 0,30. Die Art des Mehlkorns spielt für die Einstellung der rheologischen Eigenschaften eine untergeordnete Rolle. Vielfach wurde und wird jedoch Flugasche für SVB verwendet. Der Anteil der Flugasche am Mehlkorn liegt dabei im Bereich von 20 - 40 M.-%, in Sonderfällen auch bei 60 M.-%.

Einfluß von Flugasche auf die Eigenschaften von SVB

Der Einsatz von Flugasche in selbstverdichtendem Beton bietet einige Vorteile, birgt aber auch Gefahren, die beachtet werden müssen. Im folgenden soll anhand einiger Beispiele der Frage nachgegangen werden, welchen Einfluß die Flugasche auf die Frisch- und Festbetoneigenschaften von SVB hat.

Ein häufiges Problem, welches zum Versagen des frischen SVB führt, ist das Entmischen der Grobzuschläge vom Bindemittelleim bzw. der Mehlkornsuspension. Eine Ursache dafür sind starke Schwankungen der Konsistenz bei laufender Produktion aufgrund von Schwankungen der Ausgangsstoffe. Deshalb werden durch die SVB-Richtlinie höhere Qualitätsanforderungen an die Ausgangsstoffe gestellt (laufende Kontrolle des Wasseranspruchs der mehlfinen Komponenten). Untersuchungen in /S1/ zeigen, daß bei Zementsubstitution durch Flugasche der Wasseranspruch sinkt, sich aber die Empfindlichkeit der Rezeptur gegenüber Schwankungen des Wassergehalts erhöht.

Ein weiterer Einfluß auf die Frischbetoneigenschaften stellt die Verträglichkeit von Zement und Flugasche mit den Betonzusatzmitteln dar (insbesondere dem Fließmittel). Flugasche beeinflusst unter anderem durch seine Feinheit und den Glühverlust (meist unverbrannte Kohle) die benötigte Menge an Betonzusatzstoffen erheblich /N1/.

In der Baupraxis werden hauptsächlich Betonfestigkeitsklassen B25 und B35 gefordert. Herkömmliche SVB, welche mit Flugasche hergestellt werden, erreichen langfristig meist wesentlich höhere Festigkeiten. Dies ist in einigen Fällen unerwünscht. Hier bietet sich der Einsatz von mehlfinen Betonzusatzstoffen an, welche nicht zur Festigkeitsentwicklung beitragen, z.B. inerte Gesteinsmehle, mineralische Recyclingstoffe.

Durch das höhere Verhältnis von schwindfähiger Bindemittelmatrix und nichtschwindenden Zuschlägen ist bei SVB prinzipiell mit einem höheren Schwinden zu rechnen. Vielfach wurde bei SVB eine erhöhte Nachbehandlungsempfindlichkeit festgestellt, welche auf den erhöhten Mehlkorngelalt zurückgeführt wird. Diese Faktoren begünstigen das Entstehen von Mikrorissen, welche sich wiederum negativ auf die Dauerhaftigkeit auswirken können. Die ordnungsgemäße Nachbehandlung stellt besonders bei SVB eine wesentliche Grundlage für eine ausreichende Dauerhaftigkeit dar.

Durch den über die bisher gebräuchlichen Mengen hinausgehender Einsatz von Flugasche können sich Probleme bezüglich des Frost- und Frost-Taumittel-Widerstandes ergeben, welche durch einen niedrigen Hydratationsgrad nach 28 Tagen bedingt sind. Diesem Umstand sollte beim Prüfzeitpunkt Rechnung getragen werden. Abbildung 1 zeigt beispielhaft den Verlauf der Frostschädigung von zwei gleichartig zusammengesetzter SVB verschiedenen Alters. Die Zusammensetzung der Betone sowie wichtige Kennwerte enthält Tabelle 1. Weitere Untersuchungen an diesem Beton sind in /S2/ zu finden.

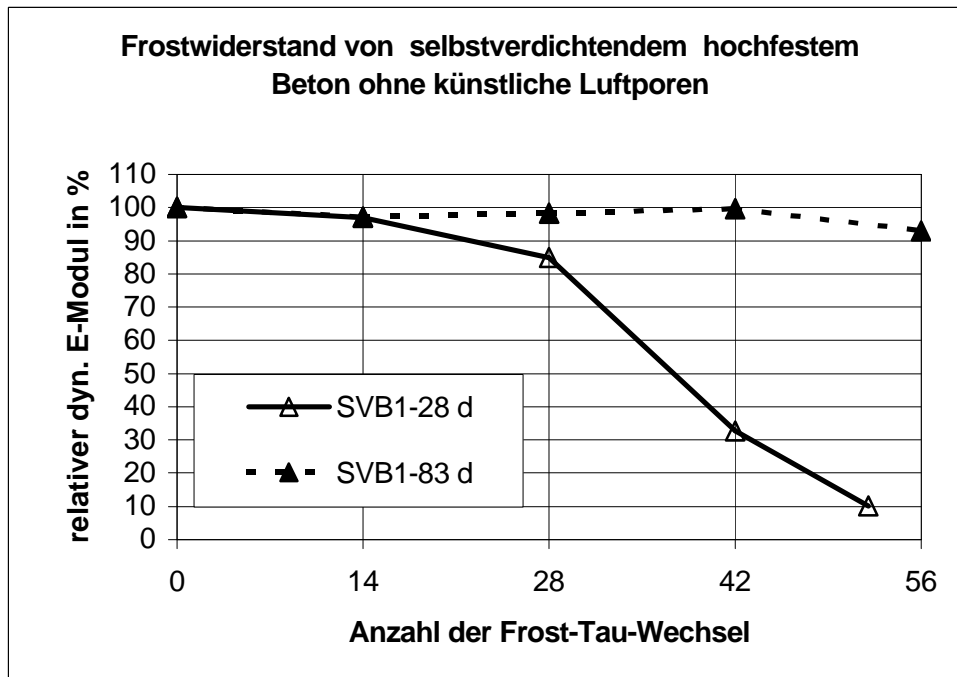


Abbildung 1: Abfall des dynamischen E-Modul bei Frost-Tau-Wechselbeanspruchung

Zement in kg/m ³	360	Rohdichte in kg/m ³	2311
Flugasche in kg/m ³	216	Bindemittelgehalt in kg/m ³	603
Wasser in kg/m ³	173	W/Z	0,48
Silicastaub in kg/m ³	27,0	W/(Z+0,4FA+SF)	0,41
Sand 0/2 in kg/m ³	519	W/(Z+FA+SF)	0,29
Kies 2/8 in kg/m ³	397	Fließmaß in cm	67
Kies 8/16 in kg/m ³	611	Auslaufzeit in s	19
Fließmittel in kg/m ³	9,0	Festigkeitsklasse	B 65

Tabelle1: Rezepturbeispiel SVB

Der SVB wurde vor und nach der Frostbelastung mittels ESEM (Environmental Scanning Electron Microscope) untersucht. Das Gefüge vor der Frostbelastung kann als sehr dicht bezeichnet werden. Sehr häufig sind teilhydratisierte Flugaschepartikel zu finden. In lokalen Gefügestörungen sind Ettringitanreicherungen vorhanden. Nach der Frostbelastung ist ein von Rissen durchzogenes Gefüge sichtbar. In einigen Rissen sind gerichtet Phasenneubildungen gewachsen, welche nicht eindeutig identifiziert werden konnten. Vermutlich handelt es sich hierbei um C-S-H-Phasen mit Anteilen an Ettringit. Ein Großteil der sichtbaren Oberfläche ist mit diesen wenige µm großen, stengligen Phasenneubildungen bedeckt. Vermutlich stellen diese Kristallneubildungen aber nicht die Schadensursache dar.

Im Rahmen einer Diplomarbeit /B1/ wurden Untersuchungen zur Hydratationswärmeentwicklung und zum Gefüge von SVB durchgeführt. Durch Flugaschezusatz wird die Hydratationswärme in den ersten 72 Stunden gesenkt. Dies kann besonders bei massigen Bauteilen von Vorteil sein. Die Porengrößenverteilung von selbstverdichtenden Mörteln wurde mittels Quecksilberhochdruckporosimetrie bestimmt. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die Veränderung der Porengrößenverteilung zwischen dem 28. Tag und dem 91. Tag. Es wird deutlich, daß es bei den Mörteln mit Kalksteinmehl erwartungsgemäß nur zu einer geringen Abnahme der Porenradien kommt, sich aber bei den Mörteln mit Flugasche durch die puzzolanische Reaktion eine weitere Gefügeverdich-

ung ergibt. Diese Gefügeverdichtung wirkt sich sowohl günstig auf die Festigkeit, als auch auf die Dauerhaftigkeit aus.

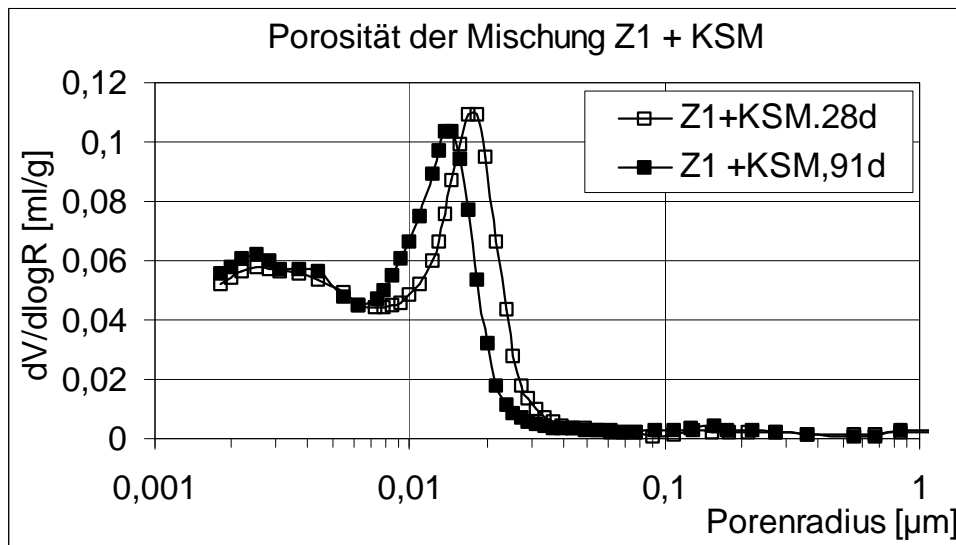


Abbildung 2: Porengrößenverteilung eines SVB mit Kalksteinmehl

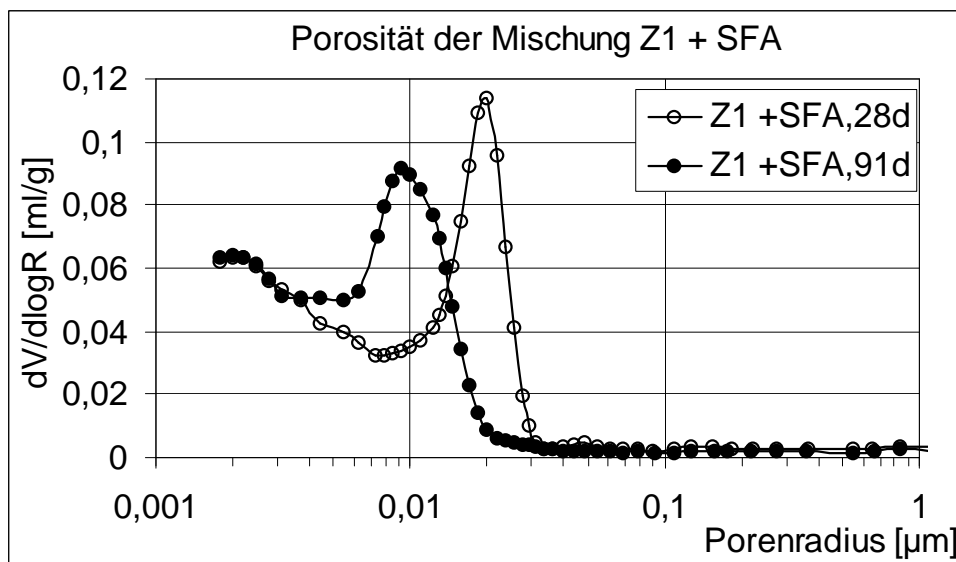


Abbildung 3: Porengrößenverteilung eines SVB mit Flugasche

Bei selbstverdichtenden Betonen mit künstlich eingebrachten Luftporen ist ein Zuwachsen der Luftporen durch Hydratphasen Neubildungen möglich. Infolge der langsamen puzzolanischen Reaktion ist im Gegensatz zu reinen Portlandzementen mit einer weiteren Hydratphasenbildung bzw. -umwandlung auch nach dem 28. Tag zu rechnen. So ist eine Erhöhung des Anteils an C-A-H-Phasen zu erwarten, da ein Teil des im Flugascheglas enthaltenen Aluminiumoxids in Lösung gehen kann. Dies könnte bei einem Sulfatangriff ein zusätzliches Gefahrenpotential darstellen, falls durch eine Vorschädigung des Betons ein Stoffaustausch mit der Umgebung möglich ist.

Zusammenfassung und Ausblick

Der Einsatz von SVB eröffnet neue Möglichkeiten im Betonbau, deshalb ist auf lange Sicht mit einem verstärkten Einsatz dieser Betonart zu rechnen. Bestandteil vieler SVB wird dabei Flugasche sein.

Die Dauerhaftigkeit von selbstverdichtenden Betonen läßt noch Fragen offen. Besonders der Einsatz von hohen Flugaschemengen kann zu Probleme führen. Um schon im voraus exaktere Aussagen zur Dauerhaftigkeit machen zu können, ist es daher notwendig, das Verständnis über die grundlegenden Mechanismen der Strukturbildung vor einer Belastung sowie die Mechanismen bei der Belastung (z.B. Frost-Tau-Wechsel) zu kennen. Hierbei sind sowohl physikalische als auch chemische Einflußfaktoren von Bedeutung. Insbesondere ist von Interesse, ob es durch die stark erhöhte Mehlkornmenge bei SVB zu Beeinträchtigungen der Dauerhaftigkeit infolge Mikrorißbildung sowie sekundärer Ettringitbildung kommt.

Literatur

- /B1/ von Billerbeck, E.: Untersuchungen zum Einfluß der Zemente und Zusätze auf die Frisch- und Festmörteleigenschaften von selbstverdichtendem Beton. Bauhaus-Universität Weimar, Diplomarbeit (unveröffentlicht), Weimar 2001
- /D3/ DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1. Beuth-Verlag, Berlin, Juli 2001
- /D4/ DIN prEN 206-1: Beton: Leistungsbeschreibung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Oktober 1999
- /D5/ Deutscher Ausschuß für Stahlbeton: Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie). 4. Entwurf April 2001
- /G1/ Grube, H.; Rickert, J.: Selbstverdichtender Beton - ein weiterer Entwicklungsschritt des 5-Stoff-Systems Beton, Beton 49 (1999), H.4, S. 239-244
- /N1/ Nagataki, S.; Tsuij, Y.: Recommendation for construction of concrete containing fly ash as a mineral admixture. Concrete Library of JSCE No. 36, Dec. 2000, S. 1-47
- /O1/ Okamura, H.; Ozawa, K.: Mix Design for Self-Compacting Concrete, Concrete Library of JSCE No. 25, Jun. 1995, S. 107-120
- /S1/ Sammler, A.: Untersuchungen zum Selbstverdichtenden Beton. Bauhaus-Universität Weimar, Diplomarbeit (unveröffentlicht), 1999
- /S2/ Schrimpf, M.: Betontechnologische Aspekte und Dauerhaftigkeit von Selbstverdichtendem Beton. Bauhaus-Universität Weimar, Diplomarbeit (unveröffentlicht), 2000

Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. habil. J. Stark
Dipl.-Ing. Marco Friebert
F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde
Bauhaus-Universität Weimar
Coudraystr. 11

D - 99421 Weimar