

# Selbstverdichtender Beton

Autor(en): **Leemann, Andreas / Hoffmann, Cathleen / Olbrecht, Hanspeter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **127 (2001)**

Heft 40: **Betontechnologie**

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-80216>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Selbstverdichtender Beton

Hierzulande ist der selbstverdichtende Beton eine noch junge – und entsprechend störungsanfällige – Technologie. Fließ- und Verdichtungsverhalten sind anders als bei konventionellem Beton, und die Zusammensetzung der Mischung muss viel präziser kontrolliert werden. Dafür braucht es in erster Linie Erfahrung. Noch gibt es aber zu wenig konkrete Erkenntnisse aus der Praxis. An der Empa beschäftigen sich die Autoren seit zwei Jahren mit dem Thema und legen nun ihre Schlüsse aus den ersten Prüfergebnissen vor.



1

Einpumpen von selbstverdichtendem Beton in ein Fundament

## Was ist selbstverdichtender Beton?

(AL) Selbstverdichtender Beton (englisch: Self-compacting concrete, Kurzform SCC) ist ein neuer Betontyp, der in den 1980er Jahren in Japan entwickelt wurde und nun auch in Europa vermehrt angewendet wird. Im Gegensatz zum konventionellen Beton muss er nach dem Einbau nicht verdichtet werden. Wegen seines hohen Fließvermögens kann er sich allein aufgrund seines Eigengewichts verdichten. Er füllt die Schalung voll aus, umschliesst die Bewehrung, entlüftet und nivelliert sich von selbst. Im Vergleich zum konventionellen Beton weist er einen höheren Bindemittelgehalt ( $\sim 450 \text{ kg/m}^3$ ), einen tieferen Wasserbindemittel-Wert ( $<0,45$ ) und eine höhere Dosierung von Hochleistungsverflüssigern auf. Zurzeit kommt er vor allem im Bereich von Sanierungen und bei stark bewehrten Bauteilen zur Anwendung. Auch wenn eine hohe Einbauleistung gefragt ist oder ein Bauteil erstellt werden muss, das mit Vibratoren schwer zugänglich ist, können Unternehmer auf SCC zurückgreifen. Je nach Objekt und umgeschlagener Betonkubatur kann mit weniger Baustellenpersonal als beim konventionellen Beton gearbeitet werden, weil der SCC nicht verdichtet werden muss. Im Vergleich zum konventionellen Beton weist der SCC aber auch einige Nachteile auf. Wegen des hohen Bindemittelgehalts ist er etwa 30 % teurer und weist auch ein höheres Schwindmass auf. Infolge seiner flüssigen Konsistenz ist der Schalldruck höher, und die hohe Empfindlichkeit des SCC gegenüber kleinen Änderungen in der Mischungszusammensetzung stellt höhere Anforderungen an das Betonwerk.

In der Schweiz ist selbstverdichtender Beton (Self-compacting concrete, SCC) für mehrere Bauwerke oder Bauteile verwendet worden. Verschiedentlich wurden die Erwartungen nicht erfüllt. Die Gründe dafür waren meistens ein ungenügendes Konzept oder fehlende Erfahrung. Mit SCC steigen die Anforderungen an das Betonwerk, an die laufende Qualitätsüberwachung auf der Baustelle sowie an die Logistik beim Transport und beim Einbau.

## Ungewisse Zukunftsaussichten für SCC

Ob SCC in der Schweiz in den kommenden Jahren einen steigenden Anteil am Betonumsatz erreichen oder ob er ein Nischenprodukt bleiben wird, ist noch nicht entschieden. In Japan wird SCC seit den 80er Jahren verwendet, und er hat sich nicht durchsetzen können. In Schweden nimmt er landesweit einen Anteil an der Betonproduktion von ca. 3 % ein, in gewissen Gegenden bis 10 %. Während in Schweden die Betonwerke im Besitz einer Handvoll verschiedener Unternehmen sind und der Erfahrungsaustausch zwischen Werken mit gleichem Besitzer entsprechend gut funktioniert, ist die Situation in der Schweiz ähnlich wie in Japan: die Anzahl der Besitzer mit einem oder wenigen Werken ist hoch. Ist der Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen den Anwendern von SCC nicht auf allen Ebenen gewährleistet, so wird sich diese Technologie trotz ihrem viel versprechenden Potential nicht durchsetzen können.



## Kritische Punkte

Bei den Anwendungen hat es sich gezeigt, dass SCC zwar ein grosses Potential aufweist, dass aber auch einige kritische Punkte berücksichtigt werden müssen:

- verwendete Betonrezeptur
- Steuerung der Konsistenz im Betonwerk
- Produktionsschwankungen
- Prüfung des Frischbetons
- Pumpen des Betons
- Dimensionierung der Schalung
- Betonqualität im Bauwerk

International wird versucht, den Wissens- und Erfahrungsaustausch über SCC mit Publikationen (s. Literaturliste) und Veranstaltungen zu fördern. Die Empa beschäftigt sich seit rund zwei Jahren mit SCC; in diesem Rahmen wurden mehrere Projekte – mit den folgenden Schwerpunkten – durchgeführt:

- Präsentation eines Herstellungskonzepts für SCC
- Vergleich von SCC mit konventionellem Beton an Labormischungen
- Vergleich der Homogenität von SCC und konventionellem Beton im Bauteil

## Methodik

Verschiedene Rezepturen für SCC fanden Verwendung: Es wurde mit einem Zementanteil (CEM I 42.5) von 260–380 kg/m<sup>3</sup>, einem Filleranteil von 80–160 kg/m<sup>3</sup> und einem WB-Wert (Verhältnis von Wasser zu Bindemittel) von 0,29–0,46 gearbeitet. In einer typischen SCC-Rezeptur werden 325 kg/m<sup>3</sup> Zement, 100 kg/m<sup>3</sup> Filler, 1700 kg/m<sup>3</sup> Alluvialkies 0/16 mm und 1,2 Masse-% des Bindemittels Verflüssiger bei einem WB-Wert von ca. 0,40 verwendet. Für die Mischungen aus konventionellem Beton kam als Zement ebenfalls CEM I 42.5 und der gleiche Zuschlag wie beim SCC zum Einsatz.

Vom «WZ-Wert» wird hier nur beim konventionellen Beton gesprochen, beim SCC wird ausschliesslich der Begriff «WB-Wert» verwendet. Mit «Bindemittel» ist immer Zement und Filler gemeint, während mit «Zementleim» das Gemisch von Zement, Filler und Wasser bezeichnet wird. Die Bestimmung von Druckfestigkeit, E-Modul, Porosität, Wasserleitfähigkeit, Frosttausalz-Beständigkeit, Kriechen und Schwinden erfolgte nach SIA 162/1. Die Gaspermeabilität (SO/2000/H) wurde nach Empfehlung «CEN Bureau» bestimmt.

## Herstellungskonzept

SCC muss ein gutes Gleichgewicht zwischen Fließeigenschaften (Ausbreitmass 65–75 cm, Laufzeit L-Box 3–10 s), Stabilität gegen Entmischung, Festbetoneigenschaften und Herstellungskosten aufweisen. Das präzentrierte Herstellungskonzept soll als Ausgangspunkt für die Rezeptur eines SCC unabhängig vom verwendeten Zuschlagstyp dienen. Es basiert auf herkömmlichen Stoffraumberechnungen für Beton.

Der SCC kann als ein System mit zwei verschiedenen Phasen betrachtet werden. Die erste Phase besteht aus dem Zuschlag. Die zweite Phase besteht aus dem Zementleim (Zement, Filler, Wasser, Zusatzmittel). Er füllt einerseits die Hohlräume zwischen den Zuschlagkörnern, und andererseits muss er beim SCC zusätzlich einen Überschuss bilden, der für das selbständige Fliesen des SCC notwendig ist. Damit ein SCC mit guten Flieseigenschaften hergestellt werden kann, sollte dieser Zementleimüberschuss ca. 90 l/m<sup>3</sup> betragen.

Für das Erstellen einer SCC-Rezeptur kann folgendermassen vorgegangen werden:

$V_{\text{Bet}}$  = Volumen des Betons [m<sup>3</sup>]

$V_{\text{Zu}}$  = Volumen des Zuschlags [m<sup>3</sup>]

$V_{\text{HR}}$  = Volumen des Hohlraums im lose geschütteten Zuschlag (Hohlraumgehalt) [m<sup>3</sup>]

$\rho$  = Rohdichte des Zuschlags [kg/m<sup>3</sup>]

$M_{\text{Zu}}$  = Masse des Zuschlags [kg]

$V_{\text{ZL}}$  = Volumen des Zementleims [m<sup>3</sup>]

- a) Entsprechend dem Zementleimüberschuss von 90 l/m<sup>3</sup> sollte das Volumen des lose geschütteten Zuschlags 91 Vol-% des Betons einnehmen. Um die benötigte Masse an Zuschlag berechnen zu können, muss zuerst dessen Rohdichte  $\rho$  bestimmt werden (Olbrecht, 1994). Der Hohlraumgehalt des lose geschütteten Zuschlags  $V_{\text{HR}}$  wird anhand der Rohdichte und der Schüttdichte berechnet.

$$V_{\text{Zu}} = 0,91 (1 - V_{\text{HR}})$$

$$M_{\text{Zu}} = 0,91 (-V_{\text{HR}}) \rho$$

- b) Der Zementleim füllt die Hohlräume im Zuschlag und bildet einen Überschuss von ca. 9 Vol-% des Betons.

$$V_{\text{ZL}} = 0,91 V_{\text{HR}} + 0,09$$

Optimal ist es, wenn vorgängig Zementleim- und Mörtelversuche durchgeführt werden können, um die optimale Kombination von Sand, Zement, Filler und Zusatzmittel festzulegen.



2

Mit selbstverdichtendem Beton sind minimale Abmessungen möglich, so bei dieser nur 8 cm starken Brüstung. Verdichten durch Stampfen oder Vibrieren entfällt



### Beispiel

Es soll ein SCC mit Grösstkorn 16 mm hergestellt werden. Ein Verhältnis Sand 0/4 mm zu Kies 4/16 mm (15 % 4/8 mm, 35 % 8/16 mm) von etwa 1:1 hat sich gut bewährt. Die Bestimmung der Rohdichte und des Hohlraumgehalts des verwendeten 0/16 mm Kiessandgemisches ergibt Werte von 2650 kg/m<sup>3</sup> respektive 29,0 Vol-%. Für 1 m<sup>3</sup> Beton wird das folgende Volumen respektive Masse an Zuschlag benötigt:

$$V_{Zu} = 0,91 \cdot (1 \text{ m}^3 - V_{HR}) = 0,91 (1 \text{ m}^3 - 0,29 \text{ m}^3) = 0,65 \text{ m}^3$$

$$M_{Zu} = V_{Zu} \cdot 2650 \text{ kg/m}^3 = 1712 \text{ kg}$$

Das Zementleimvolumen lässt sich folgendermassen berechnen:

$$V_{ZL} = 0,91 \cdot V_{HR} + 0,09 \text{ m}^3 = 0,91 \cdot 0,29 \text{ m}^3 + 0,09 \text{ m}^3 = 0,35 \text{ m}^3$$

Um die Zusammensetzung des Bindemittels und den WB-Wert festzulegen, müssen entweder Versuchsmischungen hergestellt, oder es muss auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Bei diesem Beispiel wird von einem Volumenverhältnis von Zement ( $r_{CEM} = 3150 \text{ kg/m}^3$ ) zu Flugasche ( $r_{FA} = 2300 \text{ kg/m}^3$ ) von 2:1 und einem Wassergehalt von 185 l/m<sup>3</sup> ausgegangen. Entsprechend kann dann das Volumen an Bindemittel berechnet werden:

$$V_{CEM} + V_{FA} = V_{ZL} - V_{Wasser} = 0,35 \text{ m}^3 - 0,185 \text{ m}^3 = 0,165 \text{ m}^3$$

Da das Volumenverhältnis von Zement zu Filler 2:1 beträgt, können folgende Volumen- und Massenanteile berechnet werden:

$$V_{CEM} = 0,66 \cdot 0,165 \text{ m}^3 = 0,110 \text{ m}^3$$

$$M_{CEM} = V_{CEM} \cdot r_{CEM} = 347 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{FA} = 0,33 \cdot 0,165 \text{ m}^3 = 0,055 \text{ m}^3$$

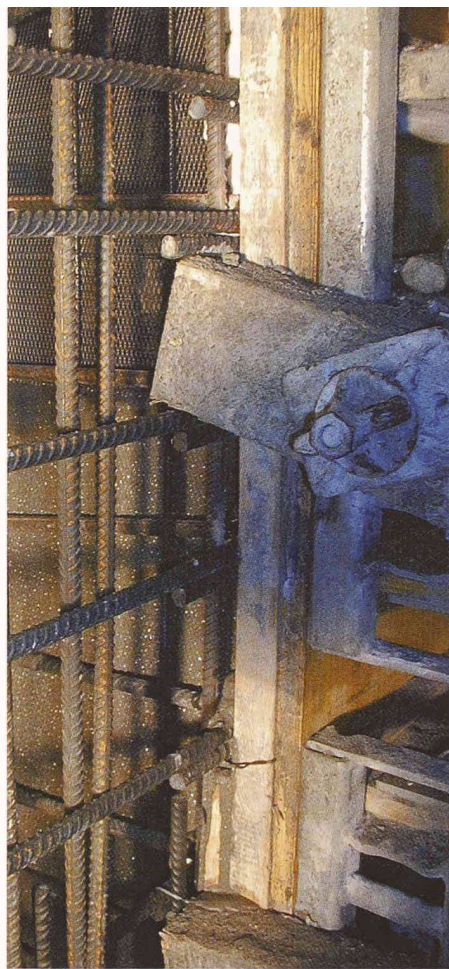
$$M_{FA} = V_{FA} \cdot r_{FA} = 126 \text{ kg/m}^3$$

Wird zum Beispiel ein Luftporengehalt von 5 Vol-% erwartet, können die ermittelten Werte von Zuschlag, Bindemittel und Wasser entsprechend mit 0,95 multipliziert werden. Mit den getroffenen Voraussetzungen

Bestandteile	Typ	ohne	mit 5 Vol-%
		Luftporen	Luftporen
Zuschlag	0/16 mm	1712 kg/m <sup>3</sup>	1627 kg/m <sup>3</sup>
Bindemittel	CEM I 42,5	347 kg/m <sup>3</sup>	330 kg/m <sup>3</sup>
Filler	Flugasche	126 kg/m <sup>3</sup>	120 kg/m <sup>3</sup>
Wasser	WB-Wert 0,38	185 l/m <sup>3</sup>	175,5 l/m <sup>3</sup>
Zusatzmittel	1,2 Masse-%	5,7 kg/m <sup>3</sup>	5,4 kg/m <sup>3</sup>

kann folgende Rezeptur errechnet werden:

Weist ein SCC nicht die gewünschte Verarbeitbarkeit auf, können die im folgenden Kapitel erklärten Anpassungen vorgenommen werden.



3

Selbstverdichtender Beton eignet sich besonders bei stark armierten oder schwer zugänglichen Bauteilen. Detail von der Baustelle der Emme-Unterquerung





4

**Selbstverdichtender Beton kommt auch beim Bau des Dock Midfield im Flughafen Zürich zur Anwendung: Bau der Schalung vor einer hoch armierten Wand**

## Steuergrößen

**WB-Wert:** Der WB-Wert kann wie beim konventionellen Beton als Steuergrösse verwendet werden. Ist ein SCC zu dünnflüssig (zu tiefe Viskosität und Fließgrenze) und neigt zur Entmischung, kann der Wasseranteil des Zementleims reduziert werden. Bei einem zu zähen SCC wird der WB-Wert erhöht. Um das Zementleimvolumen konstant zu halten, sollte die Veränderung der Wassermenge durch eine veränderte Bindemittelmenge wieder ausgeglichen werden.

**Zusatzmittel:** Die neueste Generation von Hochleistungsverflüssigern verschiedener Hersteller kann für die Herstellung von SCC verwendet werden. Grundsätzlich wird mit steigender Dosierung der Wasseranspruch reduziert und die Viskosität erhöht. Je nach verwendetem Zement und Filler kann die Wirkung von Zusatzmitteln unterschiedlich stark sein.

**Zementleimüberschuss:** Wird mit einem höheren Zementleimvolumen als  $90 \text{ l/m}^3$  gearbeitet, treten keine Nachteile für die Betonqualität auf. Ein höherer Überschuss kann angestrebt werden, da dann mit einem tieferen WB-Wert gearbeitet werden kann und ein entsprechend dichter sowie festerer Zementstein erzielt wird. Sinkt das überschüssige Zementleimvolumen deutlich unter  $90 \text{ l/m}^3$ , muss mit einem kleineren Ausbreitmass, erhöhter Blockierneigung bei Armierungseisen und der Bildung sowohl von Kiesnestern als auch von Lunkern an der Betonoberfläche gerechnet werden.

**Kies:** Grundsätzlich kann gerundeter Zuschlag (Alluvialkies) oder gebrochener Zuschlag verwendet werden (Okamura & Ozawa, 1995). Alluvialkies hat jedoch den Vorteil, dass er lose geschüttet einen tieferen Hohlraumgehalt aufweist und entsprechend eine kleinere Zementleim-Menge benötigt als gebrochenes Material. Zudem führt die hohe Oberflächenrauigkeit und der hohe Anteil an nichtkubischen Körnern beim gebrochenen Zuschlag zu einer erhöhten inneren Reibung und damit zu einem verringerten Fließvermögen. Unabhängig vom Typ des Zuschlags sollte die Siebkurve bezüglich Hohlraumgehalt optimiert werden.

Das Grösstkorn muss je nach Armierungsabstand gewählt werden. Üblicherweise liegt es bei 16 mm. Wird ein kleineres Grösstkorn gewählt, steigt der Hohlraumgehalt des lose geschütteten Zuschlags und damit die benötigte Zementleim-Menge. Bei einem grösseren Grösstkorn nimmt die Gefahr der Bildung von Kiesnestern bei dicht stehender Armierung zu.

**Sand:** Der Sand ist die wichtigste Grösse bei der Herstellung von SCC, da er die Fliesseigenschaften massgeblich beeinflusst. Probleme bei der Reproduzierbarkeit von SCC-Mischungen sowohl im Labor als auch im Betonwerk sind meistens auf Schwankungen in der Siebkurve des Sandes zurückzuführen. Wird der Sandanteil gegenüber dem Kiesanteil erhöht, steigt der Wasseranspruch, und die Viskosität sinkt. Bei einer Reduktion des Sandanteils ist es umgekehrt. Sande mit einem kleinen Feinsandanteil senken den Wasseranspruch, während Sande mit grossem Feinanteil einen höheren Wasseranspruch aufweisen. Aus diesen Gründen eignet sich der Sand auch, um die Betonqualität zu steuern.



Beim Entwurf der Rezeptur gilt es jeweils auch zu beachten, dass die Fraktion 4/8 mm häufig einen relativ grossen Anteil an Unterkorn aufweist. Dieser ist entsprechend zu berücksichtigen.

**Zement:** Wie sich ein Zement auf die Verarbeitbarkeit auswirkt, ist einerseits von seiner Mineralogie und andererseits von seiner Mahlfeinheit abhängig. Die Empa hat bisher keine systematischen Untersuchungen mit Zementen durchgeführt, weshalb hier keine Empfehlungen gemacht werden können.

**Filler:** Die in der Schweiz am häufigsten verwendeten Filler sind Flugasche ( $\rho \sim 2250 \text{ kg/m}^3$ ) und Kalksteinmehl ( $\rho \sim 2700 \text{ kg/m}^3$ ). Beim CEM II/A-L ( $\rho \sim 3050 \text{ kg/m}^3$ ) ist das Kalksteinmehl dem Zement schon zugemischt. Beide Filler eignen sich für die Herstellung von SCC. Sie können auch kombiniert werden (z.B. CEM II/A-L und Flugasche). Mit Flugasche wird der SCC viskoser als mit Kalksteinmehl, das Betongefüge dichter und die Druckfestigkeit >90 Tage höher. SCC-Mischungen mit Kalksteinmehl verhalten sich jedoch etwas «gutmütiger», d.h. sie neigen bei Produktionsschwankungen etwas weniger schnell zum Entmischen respektive zu einer zu steifen Konsistenz.

### Laboruntersuchungen

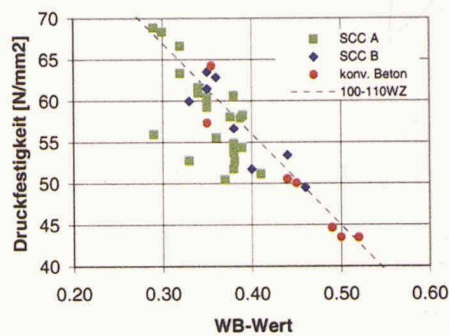
Die bisherigen Resultate der an der Empa durchgeführten Projekte über SCC werden mit Resultaten von konventionellem Beton aus anderen Empa-Projekten verglichen. (Bild 5)

Der SCC erreicht bei einem gegebenen WB-Wert eine etwas tiefere Druckfestigkeit als konventioneller Beton. Beim Projekt «SCC A» wurden sowohl Kalkfiller als auch Flugasche als Filler verwendet, beim Projekt «SCC B» nur Flugasche. Kalkfiller weist keine puzzolanische Wirkung auf, und der aktive Beitrag zur Festigkeitsentwicklung ist bei Flugasche im Betonalter von 28 Tagen noch gering (Hüttel, 2000). Wie aus der Darstellung geschlossen werden kann, haben trotzdem beide Filler einen Einfluss auf die Druckfestigkeit. Obwohl ca. 25 Masse-% des Bindemittels aus Filler bestehen, ist die Druckfestigkeit nur wenig tiefer als bei einem konventionellen Beton mit vergleichbarem WB-Wert ohne Filler. Offenbar sorgt der Filler für ein dichteres Mikrogefüge (vgl. Gaspermeabilität) und beeinflusst dadurch die Festigkeit positiv. (Bild 6)

Der SCC weist bei einer gegebenen Druckfestigkeit ein um etwa 10 % tieferes E-Modul auf als konventioneller Beton. Dies ist eine Folge des höheren Zementsteinanteils und kleinerem Grösstkorn beim SCC. (Bild 7)

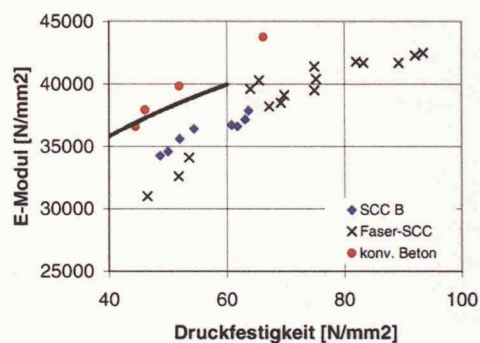
Der entscheidende Faktor bei der Gaspermeabilität ist der WB-Wert, also das Verhältnis von Wasser zu Bindemittel, unabhängig davon, ob reiner Zement oder Zement und Filler verwendet wurde. Die Laborresultate der Wasserleitfähigkeit zeigen die gleiche Abhängigkeit vom WB-Wert wie bei der Gaspermeabilität. (Bild 8)

SCC weist ein grösseres Schwindmass auf als konventioneller Beton. Dies ist auf die höhere Menge an Anmachwasser und den höheren Bindemittelgehalt zurückzuführen. Ein konventioneller Beton mit einer Druckfestigkeit von  $50 \text{ N/mm}^2$  schwindet etwa 25 %



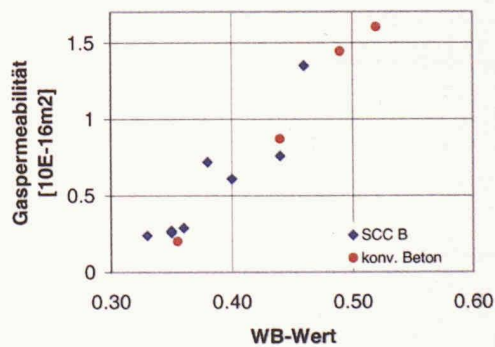
5

Druckfestigkeit (28 Tage) in Abhängigkeit des WB-Wertes (SCC) resp. WZ-Wertes (konv. Beton). Die Linie 100-110 WZ beruht auf Erfahrungswerten von konventionellem Beton



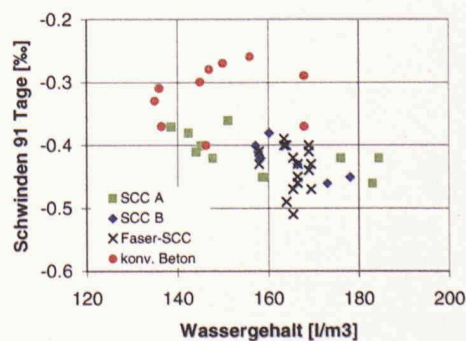
6

E-Modul in Abhängigkeit der Druckfestigkeit. Die Linie entspricht dem Verhältnis von Druckfestigkeit zu E-Modul nach SIA 162. Beim Faser-SCC wurden entweder Stahl- oder Polypropylen-Fasern verwendet



7

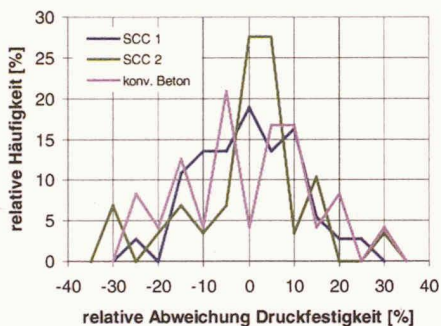
Gaspermeabilität als Funktion des WB-Wertes



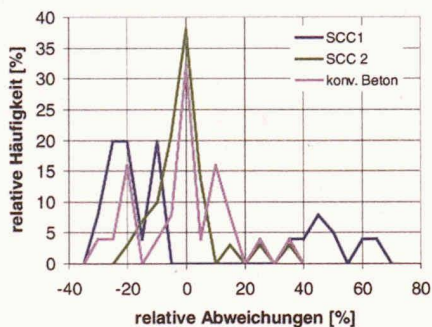
8

Das Schwindmass im Alter von 91 Tagen in Funktion des Anmachwassers pro  $\text{m}^3$





9  
Häufigkeit der relativen Abweichung vom Mittelwert der Druckfestigkeit von 20–25 Bohrkernen pro Bauteil



10  
Häufigkeit der relativen Abweichung vom Mittelwert des  $U_f$  (Volumen der durch Wasserablagerung füllbaren Poren) von 20–25 Bohrkernen pro Bauteil

weniger als ein SCC mit einer vergleichbaren Druckfestigkeit. Das Kriechen liegt beim konventionellen Beton etwa 20% tiefer.

Die Frostbeständigkeit von SCC kann wie gewohnt nach SIA 162/1 aus der Porosität abgeleitet werden. Allerdings muss beachtet werden, dass für einen SCC mit hoher Frost- und Frost-Tausalz-Beständigkeit wegen des höheren Volumens an Zementstein ein um etwa ein Drittel höherer Luftporengehalt als beim konventionellen Beton anzustreben ist.

### Betonqualität im Bauteil

Bauteile aus SCC sollten theoretisch eine bessere Betonhomogenität (kleinere Abweichungen vom Mittelwert) aufweisen als solche aus konventionellem Beton, weil kleine Schäden durch lokales Übervibrieren entstehen können. Um diese These zu überprüfen, hat die Empa an drei Tagbau-Tunneln, die in der Deckelbauweise erstellt wurden, Bohrkern (Raster mit 20–25 Bohrstellen) aus je einer Wand (Abmessung:  $H \times L \times T \sim 4,5 \times 2,0 \times 0,5 \text{ m}^3$ ) entnommen. Zwei der Wände wurden mit SCC und eine mit konventionellem Beton erstellt. (Bilder 9 und 10)

Bezüglich der Homogenität der Druckfestigkeit im Bauteil sind die drei untersuchten Objekte etwa vergleichbar (Bild 6). Beim Vergleich von UE fällt die Streuung beim Objekt «SCC 1» deutlich stärker aus als bei den beiden anderen Objekten. Dies sind Anzeichen dafür, dass starke Entmischungen stattgefunden haben. Die Homogenität des Betons ist in den untersuchten Bauteilen beim SCC nicht besser als beim konventionellen Beton.

Diese Studie zeigt, dass weitere Untersuchungen über SCC notwendig sind. Die Erkenntnisse sollten Anwendern auf allen Stufen zugänglich sein, damit das Potenzial dieser Technologie optimal genutzt werden kann.

Andreas Leemann, Dr. sc. nat.; Cathleen Hoffmann, dipl. Bauing. TU; Hanspeter Olbrecht, dipl. Bauing. HTL; Empa, Überlandstr. 129, 8600 Dübendorf

### Literatur

- Hüttl, R.: Der Reaktionsmechanismus von Flugasche, chemisch oder physikalisch? 14. Internationale Baustofftagung Weimar, Vol. 1 (2000), S. 347–356.
- Jakobs, F., Hunkeler, F. & Schlumpf, J.: Self Compacting Concrete. SI+A Nr. 12 (1999), S. 238–242.
- Leemann, A., Iff, M. & Olbrecht, H.P.: Stahlfasern mit positiven Eigenschaften. Schweizer Bauwirtschaft, Nr. 1 (2001), S. 9.
- Leemann A. & Olbrecht, H.P.: SCC – Selbstverdichtender Beton, Vorversuche. Empa-Bericht 840334 (2000).
- Leemann, A., Iff, M. & Olbrecht, H.P.: Stahlfasern mit positiven Eigenschaften. Schweizer Bauwirtschaft, Nr. 1 (2001), S. 9.
- Leemann A. & Olbrecht, H.P.: Selbstverdichtender Beton mit Fasern. Empa-Bericht 201687 (2001).
- Okamura, H. & Ozawa, K.: Mix design for self-compacting concrete. Concrete library JSCE, Vol. 25 (1995), pp. 107–120.
- Olbrecht, H.-P.: Einfluss des Hohlraumgehalts im Zuschlag auf die Betonqualität. Schweizer Baustoff-Industrie, Vol. 4 (1994), S. 44–46.
- Ouchi, M.: State of the Art Report: Self-Compactability Evaluation for Mix-Proportioning and Inspection. Int. Workshop SCC, Kochi (1998), S. 111–120.
- Skarendahl, A.: Self-Compacting Concrete in Sweden – Research and Application. Int. Workshop SCC, Kochi (1998), S. 60–71.