Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117 (1999)
Heft: 12

Artikel: Self compacting concrete: neue Entwicklungen für den Betonbau
Autor: Jacobs, Frank / Hunkeler, Fritz / Schlumpf, Jürg
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79707

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Frank Jacobs, Fritz Hunkeler, Wildegg, Jürg Schlumpf, Zürich

Self Compacting Concrete

Neue Entwicklungen für den Betonbau

Schon vor mehr als 70 Jahren wurden, vor allem in den USA, sehr fliessfähige Betons eingebaut, die keine Verdichtung benötigten, d.h. selbstverdichtend und auch selbstnivellierend waren. Diese sogenannten Gussbetons wurden mit sehr hohen Wasser/Zementwerten hergestellt, neigten zu Entmischungen und hatten schlechte Dauerhaftigkeitseigenschaften. Im letzten Jahrzehnt wurde durch Okamura und Ozawa [1] von der Universität von Tokio in Japan die Herstellung sehr fliessfähiger Betons wieder angegangen, doch diesmal vor allem mit dem Einsatz neuer Betonzusatzmittel. Diese Betons sind heute unter dem Namen «self compacting concrete» (SCC) bekannt.

Der Herstellung von SCC liegen sehr unterschiedliche Betonkonzepte zugrunde [1-4]. Alle zeichnen sich durch ein sehr hohes Fliessvermögen aus. SCC werden - wie früher - mit hohen (> 0,70) aber neuerdings auch mit tiefen W/Z-Werten (< 0,40) hergestellt. Erstere weisen keine bis kaum Betonzusatzmittel, letztere Hochleistungsbetonverflüssiger (HBV) bzw. HBV in Kombination mit anderen Produkten (Stabilisatoren) auf. Diese unterschiedlichen SCC-Konzepte ergeben ganz verschiedene Betoneigenschaften und somit auch unterschiedliche Einsatzbereiche.

Um die Übertragbarkeit der vorhandenen ausländischen Kenntnisse mit SCC auf Schweizer Verhältnisse zu überprüfen und gegebenenfalls notwendige Anpassungen vorzunehmen, wurde ein entsprechendes Projekt (Kasten) durchgeführt, das die Sichtung der vorhandenen Erkenntisse sowie die Durchführung umfangreicher Labor- und Praxisversuche umfasste. SCC kann die folgenden Vorteile aufweisen:

- Betonieren von schwierig zu verfüllenden und zu verdichtenden Schalungen und engen Hohlräumen
- Herstellung qualitativ hochwertiger und homogener Betons
- Reduzierter Aufwand beim Einbringen des Betons und hohe Einbauleistung, d.h. Kostenreduktion
- Weniger Lärm und Vibrationen für das Baustellenpersonal beim Einbringen des Betons

Betonzusammensetzung

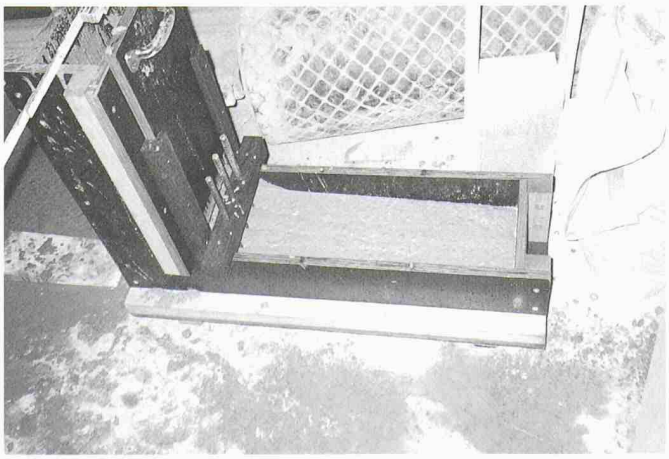
SCC können grundsätzlich mit üblichen Betonausgangsstoffen wie natürlichen Zuschlägen, verschiedenen Zementen und Betonzusatzstoffen und -mitteln hergestellt werden. Als HBV werden die neuesten Generationen eingesetzt. In Abweichung von üblichen klassifizierten Betons sind höhere Mehlkorngehalte (Zement, Betonzusatzstoff und Sand < 0,125 mm) von etwa 500 kg/m^3 zweckmässig. Wassergehalte unter 180 kg/m^3 sind anzustreben. Die Art und die Zusammensetzung des Bindemittels ist auf die Anforderungen an die Frisch- und Festbetoneigenschaften abzustimmen. Das Zuschlagsgrösstkorn beträgt in der Regel 16 mm, der Sandanteil liegt bei etwa 50% der Zuschlagsmenge. SCC mit einem grösseren Zuschlagsgrösstkorn sind auch möglich. Das zu verwendende Zuschlagsmaterial muss den Anforderungen für Betons mit besonderen Eigenschaften gemäss Norm SIA 162 genügen. Durch spezielle HBV mit Dosierungen von etwa 0,5 bis 2,0% werden die Betons sehr flüssig eingestellt.

Zum Entwurf der Rezepturen für hochwertige SCC gibt es verschiedene Ansätze, die umfangreiche Laboruntersuchungen und eine besondere Ausrüstung bedingen [1, 3, 5]. Bei einem vereinfachten, jedoch zweckmässigen Entwurf von SCC-Rezepturen ist zuerst der Mörtel mit Feinsand (< ca. 1 mm) und anschliessend der Beton - bestehend aus Feinmörtel, Grobsand und Kies - zu optimieren. Aufgrund der geforderten Frisch- und Festbetoneigenschaften werden mögliche Betonzusammensetzungen entworfen. Zur Ermittlung des geeigneten Feinmörtels (Bindemittel: Zement, Feinsand, Betonzusatzstoff, Wassergehalt) und des darauf abgestimmten Hochleistungsbetonverflüssigers eignen sich rheologische Untersuchungen. Mit dem optimierten Feinmörtel und den Zuschlägen werden dann im Labor Betonversuche mit der L-Box (Bild 1) durchgeführt, um die geeignete Menge und Kornverteilung der Zuschläge zu bestimmen. SCC können in Betonwerken mit üblichen Mischern hergestellt werden. Nassmischzeiten von rund zwei Minuten erwiesen sich als zweckmässig.

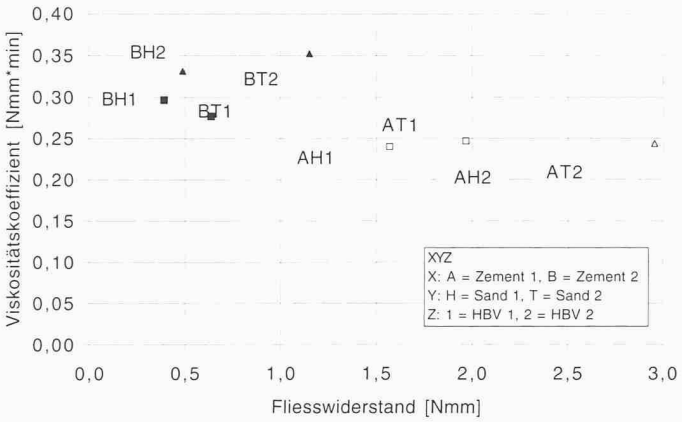
Rheologische Untersuchungen

Bei üblichen Untersuchungen der Betonkonsistenz (z.B. Ausbreitmass, Setzmass) wird vor allem das Fliessvermögen bestimmt. Das Zusammenhaltevermögen (Absetzen, Bluten) kann dabei nur visuell erfasst werden und findet auch nicht direkt Eingang in die Prüfergebnisse. Zudem sind Versuche mit Beton aufgrund des relativ grossen Mischungsvolumens relativ aufwendig. Als mögliche Lösung der vorgenannten Schwierigkeiten werden in den letzten Jahren rheologische Untersuchungen an Zementleim oder Mörtel durchgeführt. Bei entsprechender Erfahrung ist eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Betonkonsistenz möglich [6].

Bei rheologischen Messungen wird ein Topf mit etwa 400 ml Zementleim oder Mörtel gefüllt. In diesen Topf taucht ein Paddel ein. Während der eigentlichen Messung wird der Topf gedreht und am Paddel das auf es wirkende Drehmoment bei verschiedenen Umdrehungsgeschwindigkeiten und der gewünschten Tempera-



1
Bestimmung der Konsistenz von SCC mit der schwedischen L-Box; der Abstand zwischen den Bewehrungsstäben beträgt hier 34 mm; bei einem SCC füllt sich innerhalb von wenigen Sekunden nach Heben des Tores der liegende Teil der L-Box, geeignete SCC weisen annähernd eine horizontale Oberfläche auf (Bild: TFB)



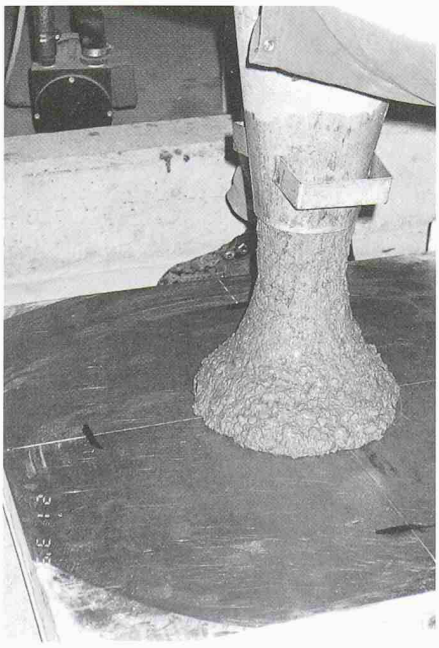
2
Fliesswiderstände und Viskositätskoeffizienten für Mörtel mit Zementen CEM I aus zwei Zementwerken, zwei unterschiedlichen HBV und Sanden aus zwei Kieswerken

tur gemessen. Bei der Standardauswertung wird das bei verschiedenen Umdrehungsgeschwindigkeiten gemessene Drehmoment gegen die Umdrehungsgeschwindigkeit aufgetragen. Daneben bestehen weitere Möglichkeiten, die Ergebnisse beispielsweise bezüglich des Ansteifverhaltens oder spezieller rheologischer Effekte wie dem thixotropen Verhalten auszuwerten. Für Bingham-Körper, wie sie zumeist auch Mörtel darstellen, ergibt sich ein linearer Zusammenhang zwischen dem gemessenen Drehmoment und der Umdrehungsgeschwindigkeit, der durch die Steigung und den Abschnitt auf der y-Achse charakterisiert wird. Letzterer wird als Fliesswiderstand (auch Fliessgrenze genannt), erstere als Viskosität (Viskositätskoeffizient, scheinbare Viskosität, Zähigkeit) bezeichnet. Diese Parameter stellen jedoch keine absoluten Kenngrössen (reine Materialeigenschaften) dar, sondern sind abhängig vom verwendeten Messgerättyp. Ein quantitativer Vergleich der Messergebnisse ist innerhalb des einen Gerätetyps möglich. In Bild 2 sind typische Ergebnisse rheologischer Messungen aufgetragen. Deutlich sind die Unterschiede infolge der verschiedenen Mörtelzusammensetzungen erkennbar.

Die Mörtel mit Zement A weisen höhere Fliesswiderstände in Kombination mit geringeren Viskositätskoeffizienten auf. Es zeigen sich auch deutliche Einflüsse der HBV- und Sandart, die je nach Zement unterschiedlich waren. Zur Herstellung von SCC, d.h. einem sehr fliessfähigen Beton mit einem guten Zusammenhaltevermögen wurden die Mischungen mit Zement B als besser geeignet beurteilt, da diese einen geringeren Fliesswiderstand bei gleichzeitig höherem Viskositätskoeffizienten aufweisen. Praxisversuche an Betons bestätigten dies.

Hochwertige SCC besitzen genau definierte Betonzusammensetzungen. Schwankungen bei den Betonausgangsstoffen (z.B. Wassergehalt, Kornverteilung des Sands) können sich deutlich auf die Frischbetonkonsistenz (Fliessverhalten, Zusammenhaltevermögen) auswirken. Mittels rheologischer Untersuchungen können diese Schwankungen im Rahmen der Qualitätskontrolle zuverlässig erfasst und kontrolliert werden. Um den Einfluss von unvermeidlichen Schwankungen zu minimieren, erwiesen sich Stabilisatoren als geeignet [1, 7]. HBV der neuesten Generation haben teilweise bereits die gewünschten stabilisierenden Eigenschaften.

3
Bestimmung der Konsistenz von SCC mit dem «slump flow», gemessen wird das «Ausbreitmass» (Bild: Sika)



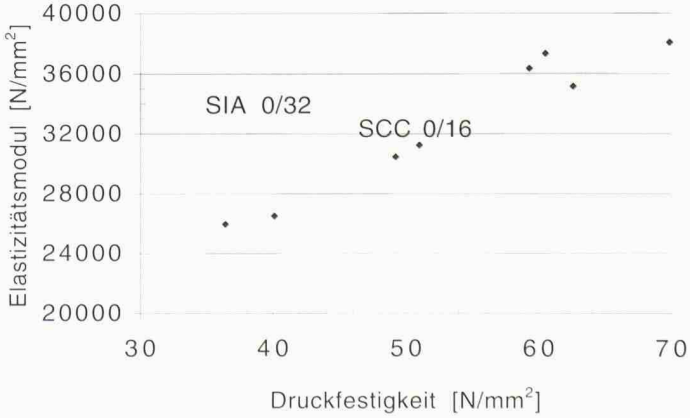
Betoneigenschaften

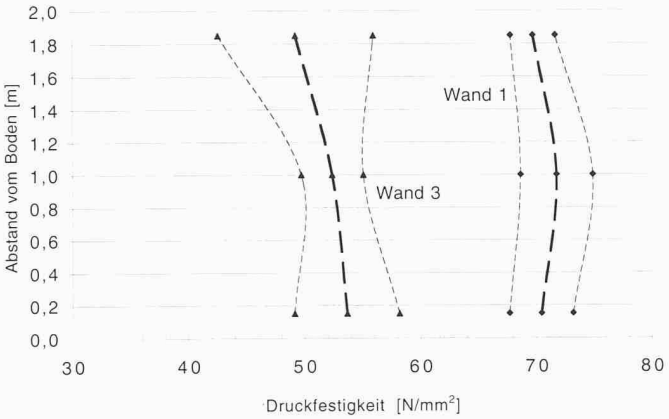
Frischbetoneigenschaften

Die hergestellten SCC zeichnen sich durch ein Ausbreitmass von über 550 mm (ohne Heben des Tischs!) bzw. einen «slump flow» von 66–72 cm (Bild 3) aus. Durch die Bestimmung des «slump flow» oder des Ausbreitmasses wird die Konsistenz auf der Baustelle erfasst. Zur besseren Konsistenzprüfung, vor allem bei der Rezepturentwicklung, wurden spezielle Messgeräte, z.B. die L-Box, entwickelt [3] (Bild 1).

Dem hohen Fliessvermögen ist beim Transport und der Schalungskonstruktion Rechnung zu tragen; mit einem im Vergleich zu üblichen Betons erhöhten Schalungsdruck ist zu rechnen [8]. Bei der Verfüllung enger, schwierig zugänglicher Hohlräume sind entsprechende Vorkehrungen zu treffen, damit die Luft entweichen kann und erstere vollständig verfüllt werden [7]. Das Einbringen des Frischbetons kann im Contractor-Verfahren, durch das Einpressen von unten in die Schalung [3] oder mit Fallhöhen von etwa bis zu 2 m erfolgen. Bei eigenen Versuchen führten verschiedene Einfülltechniken zu guten Festbetoneigenschaften. Jedoch war die Betonoberfläche beim Einfüllen aus grösseren Fallhöhen teilweise unbefriedigend. In [9] wird von guten Oberflächenqualitäten, selbst bei Fallhöhen von bis zu 6 m, berichtet.

4
Zusammenhang zwischen den nach 28 und 90 Tagen gemessenen Druckfestigkeiten und den Elastizitätsmoduln für normale Betons gemäss Norm SIA 162 und SCC; bei SCC wurden Zuschläge aus dem schweizerischen Mittelland verwendet





5
Einfluss der Position der Bohrkerne in zwei Wänden auf die 105-Tage-Druckfestigkeit; für jede Wand sind die Mittelwerte (ausgezogene Linien) und die Standardabweichungen (gestrichelte Linien), ermittelt an jeweils drei Kernen, dargestellt

Die Luftporengehalte können je nach Bedarf zwischen weniger als 2% und bei Luftporenbetons auch bei etwa 4–6% eingestellt werden. Die Betons zeigten – ohne Einsatz von Verzögerern – nur eine geringe Reduktion der Betonkonsistenz während der ersten Stunde nach der Betonherstellung. Die Nachbehandlung hat so früh wie möglich zu erfolgen, da kaum noch ein plastisches Schwinden des Betons stattfindet und somit kein Überschusswasser an der Betonoberfläche vorhanden ist. Empfehlungen zur Nachbehandlungsdauer sind in SIA V 162.051 [10] enthalten.

Festbetoneigenschaften

In einem Elementwerk wurden vier dicht bewehrte Wandscheiben der Abmessungen 2,0×2,4×0,15 m³ mit Betons bis zur Festigkeitsklasse B 60/50 hergestellt. Die Elastizitätsmoduln korrelieren wie üblich mit der Druckfestigkeit (Bild 4). Der Elastizitätsmodul dieser Betons ist in Bezug auf die Druckfestigkeit aufgrund des Zuschlagsgrösstkorns von 16 mm und den höheren Zementleimgehalten eher geringer als der bei einem Beton mit 32 mm Grösstkorn, was auch in weiteren Untersuchungen [11, 12] bestätigt wurde.

In den vier Wandscheiben variierten die Druckfestigkeiten nur relativ gering (Bild 5). Es zeigte sich – wie auch in [9] – kein Zusammenhang zwischen der Lage der Bohrkerne in der Wand und deren Druckfestigkeiten. Die Schwankungen lagen eher unter denen von im Labor hergestellten Wandelementen aus herkömmlichen Betons [13, 14]. Die gute Homogenität konnte auch mit mikroskopischen Untersuchungen bestätigt werden.

Die Dauerhaftigkeitseigenschaften der untersuchten SCC entsprechen denen eines qualitativ hochwertigen Betons (Bild 6), wie dies bei der Betonzusammensetzung geplant worden war. Bei anderen Betonzusammensetzungen können davon abweichende Betoneigenschaften resultieren. Bei SCC ist das Schwindmass ähnlich [1, 15, 16] bzw. leicht höher [11] als bei üblichen Konstruktionsbetons. Bei den selbst durchgeführten Schwindversuchen war das Schwindmass nach 270 Tagen leicht höher. Es bestehen jedoch Anzeichen, dass mit weiter zunehmender Messdauer die Unterschiede geringer werden bzw. verschwinden. Da die untersuchten SCC relativ hohe Festigkeiten aufweisen, muss das teilweise höhere Schwindmass nicht zu einer vermehrten Rissbildung führen. Um ein möglichst geringes Schwindmass zu erreichen, ist der Wassergehalt möglichst tief zu halten [12].

SCC sind keine grundsätzlich neuen Betonkonzepte, sondern eine mit den heute vorhandenen Betonzusatzmitteln, Zementen und Betonzusatzstoffen mögliche Weiterentwicklung der Ende der 70er Jahre hergestellten Fliessbetons [17, 18]. Die bisher vorgestellten Ergebnisse der hochwertigen SCC zeigen, dass, im Vergleich zu üblichen Konstruktionsbetons,

- durch die hohe Fliessfähigkeit ein wirtschaftlicherer Betoneinbau und
- durch die hohe Homogenität eine höhere Betonqualität

möglich sind. Zur Überprüfung dieser Aussagen wurden SCC im praktischen Einsatz getestet.

6
Dauerhaftigkeitseigenschaften von SCC mit einem W/Z-Wert von rund 0,40 nach 28 bzw., wo angegeben, 90 Tagen

	Einheit/Bewertung	SCC-Beton	Methode
Chloriddiffusionskoeffizient	[10^{-12} m²/s]	ca. 15	Cementbulletin 7/8 1998
Frost- und Frosttausalzwiderstand	hoch bis niedrig	je nach Rezeptur	
Wassereindringtiefe	maximale [mm] mittlere [mm]	< 30 < 20	DIN 1048 (1978)
Wasserleitfähigkeit für d = 200 mm	[g/m²h]	ca. 7	SIA 162/1, Nr. 5
Schwindmass ε_S	90 Tage [‰]	ca. –0,50	SIA 162/1, Nr. 4
Kriechmass $\varepsilon_{Kr} = \varepsilon_{Tot} - \varepsilon_S$	90 Tage [‰]	ca. –0,50	SIA 162/1, Nr. 4
Kriechzahl	[-]	ca. 1,0	SIA 162

Self Compacting Concrete im praktischen Einsatz

Es werden Praxisbeispiele aus dem konstruktiven Hochbau und dem Infrastrukturbau beschrieben. Alle vorgängig aufgezeigten Parameter, wie die Zuschlagstoffrezeptur (Sieblinie), die Feinanteil- und die Mörtelmenge und die richtige Verarbeitungskonsistenz müssen dabei beachtet werden. Eingebaut wurden Betons mit Zuschlägen der Korngrössen 0/16 mm und 0/32 mm.

Konstruktionsbeton im allgemeinen Hochbau

Bei der Sanierung des historischen Gebäudes Bourbaki in Luzern wurden unter den bestehenden Baukörper, der provisorisch auf Pfähle abgestützt wurde, neue Geschosse eingebaut. Auf Höhe des neuen Erdgeschosses wird ein drehbares Restaurant erstellt. Dazu wurden Decken mit Beton der Festigkeitsklasse B 40/30 und hohem Bewehrungsgehalt unter schwierigen Platzverhältnissen mit Pumpbeton erstellt. Die schwierige Zugänglichkeit, die hohen Bewehrungsgehalte, der starke Zeitdruck und ein reduzierter Personalbedarf während des Betonierens waren die ausschlaggebenden Gründe für den Einsatz von SCC. Der Beton wurde mit Fahrmischern auf die Baustelle geführt und über eine Pumpe in die Deckenschalungen gegossen.

Zur Anwendung kamen verschiedene SCC-Betonrezepte, die zum direkten Vergleich zu konventionell hergestelltem Beton in symmetrischen Bauetappen eingebaut wurden. Die Rezeptur für SCC mit einer maximalen Korngrösse von 32 mm findet sich in Bild 7. Diese Betonrezepte wurden mit erhöhter Mischzeit, aber sonst ohne besondere weitere Vorkehrungen

Zuschlagstoffe	0/32 mm mit erhöhter Sandmenge 0/4 mm
Zement	350 kg/m³ CEM I 42.5
Zusatzstoff	75 kg/m³ Flugasche
HBV mit integriertem Viskositätsregler (Stabilisator)	1,2% HBV

7
Betonrezept für B 40/30 SCC

Frischbetonkonsistenz	Slump flow 69 cm
Betonrohdichte	2445 kg/m³
Luftporengehalt	0,5%
Wasser/Bindemittel-Wert	0,40
Druckfestigkeit nach 7 Tagen	45,9 N/mm²
Druckfestigkeit nach 14 Tagen	58,0 N/mm²
Druckfestigkeit nach 28 Tagen	64,5 N/mm²

8
Resultate der Betonprüfungen B 40/30 SCC

auf der Betonanlage hergestellt. In Vorversuchen wurden die Frischbetoneigenschaften eingestellt und festgehalten. Zur Einhaltung der Betonkonsistenz von SCC erwies sich das Ampèremeter der Betonanlage als gut geeignet. Bei der Prüfung des SCC für die Baustelle wurden zur Qualitätskontrolle umfangreiche Prüfungen am Frischbeton durchgeführt und ausreichend Probekörper für die Bestimmung der Druckfestigkeitsentwicklung hergestellt. Die Ergebnisse sind in Bild 8 dargestellt.

9
Gut sichtbar ist das ohne Einsatz von Verdichtungsgeräten selbständige Ineinanderfliessen des SCC um die Deckeneinlagen und Bewehrungsstähle (Bild: Sika)

Der in die Deckenschalungen gepumpte Frischbeton verteilte sich gleichmässig (Bild 9) und wurde mittels Talosche oder Schaber an der Oberfläche noch leicht abgezogen, weiter aber nicht bearbeitet.

Die ausgeschalten Betonflächen an Untersichten und Stirnflächen aller Etappen weisen eine saubere Oberfläche auf. Sie sind von den parallel dazu mit konventionell eingebautem Beton nicht zu unterscheiden. Mit diesem Bauwerk und weiteren ausgeführten Praxisobjekten konnten die technische Machbarkeit von SCC im allgemeinen Hochbau und die Vorteile bei dessen Einsatz aufgezeigt werden.

Dauerhafter Konstruktionsbeton im Tunnelbau

Während an Beton im allgemeinen Hochbau in der Regel Anforderungen an die Druckfestigkeiten und Wasserleitfähigkeit gestellt werden, betrifft dies beim Brücken- und Tunnelbau zusätzliche Dauerhaftigkeitseigenschaften. Zur Abklärung der technischen Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit sowie des Vorteils bei der Verwendung von SCC wurde Innenringbeton im Massstab 1:1 hergestellt und verarbeitet. Dabei wurden 28-Tage-Druckfestigkeiten von über 45 N/mm² angestrebt. Zudem hatte der Beton frostbeständig zu sein (Bild 10). Nach ausgedehnten Vorversuchen wurden verschiedene Ringe mit Volumina von 20 bis 30 m³ SCC-Beton hergestellt (Kasten).

Dabei wurde der kubikmeterweise hergestellte Beton mit einem Betontrommelwagen von der Betonanlage zur stationären Betonpumpe transportiert. Mit einem Förderband wurde die Betonpumpe beschickt und der Beton über 50 m zur Einbaustelle gepumpt. Dort wurde er über zwei seitliche Öffnungen und den Firststutzen in die Schalung eingefüllt und gänzlich ohne Vibrationen (Verdichtung) eingebaut. Das sicher aufwendige Transport- und Einbauverfahren konnte mit SCC ohne Probleme ausgeführt werden. Ein guter innerer Zusammenhalt des Betons ist auch hier Voraussetzung zur Verhinderung von Entmischungen und Qualitätsschwankungen.

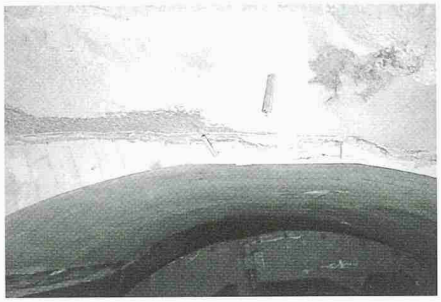
Der Betonquerschnitt wurde absichtlich exzentrisch gewählt, um Wandstärken von 10 bis über 50 cm zu erhalten und dadurch das Fliessen und die Verfüllung unter erschwerten Bedingungen zu prüfen. Die Schalung wurde auf den vollen hydrostatischen Druck dimensioniert. Neben der sauberen Schalarbeit waren keine weiteren Massnahmen zur Abichtung der Schalhaut notwendig. Auch hier hat das sehr gute Zusammenhalten des Betons ein Auslaufen durch Ritze und feine Schwachstellen verhindert.

Während des Einbaus wurden die Frischbetonqualität wiederholt geprüft und Probekörper hergestellt (Bild 10). Zudem sind über den gesamten betonierten Querschnitt Bohrkerne entnommen und so an über 70 Prüfstellen je Etappe die Konstanz der Betonqualität überprüft worden. Es konnte eine hohe Qualität mit nur geringen Schwankungen über den Querschnitt belegt werden. Die Anschlussbereiche wurden ohne Vorlage betoniert und weisen ebenfalls eine hohe Qualität auf. Die ästhetischen Qualitäten der Betonoberflächen liegen mehrheitlich auf oder über dem Niveau von mit konventionellem Beton hergestellten Innenringflächen (Bild 11). Partiell mussten jedoch Wasserläufe und Lunkern festgestellt werden.

Mit diesem Projekt, den aufwendigen Vorversuchen und der Herstellung verschiedener Betoninnenringe mit unter-

Zuschlagstoffe	0/16 mm
Zement	480 kg/m³ CEM II / A-L 32.5
Hochleistungsverflüssiger	1,5% HBV
Luftporenbildner	0,4% LP
Betonkonsistenz	Slump flow 66 cm
Betonrohdichte	2385 kg/m³ (n=6)
Luftporengehalt	3,2% (n=6)
Wasserbindemittel-Wert	0,36 (n=6)
Druckfestigkeit nach 1 Tag	21,5 N/mm²
Druckfestigkeit nach 7 Tagen	48,7 N/mm²
Druckfestigkeit nach 28 Tagen	56,8 N/mm²
Druckfestigkeit nach 56 Tagen	62,8 N/mm²

10
Betonrezeptur für B 45/35 F SCC und Resultate der Betonprüfungen



11
Ausgeschalter Betoninnenring der 1. Etappe, hergestellt mit der SCC-Rezeptur gemäss Bild 10 (Bild: Sika)

schiedlichen Konzepten, aber immer unter vollständigem Verzicht auf Verdichtungsarbeiten, konnte gezeigt werden, dass SCC als Qualitätsbeton im Untertagebau eingesetzt werden kann.

Die Mehrkosten der Betonzusammensetzungen (Betonzusatzmittel, Feinanteile) werden durch die Einsparungen während der Ausführung (Personalbedarf, Baufortschritt, Verdichtungsgerätschaften und Unterhalt, Mitarbeitermotivation, Lärmbelästigung) je nach Aufgabenstellung kompensiert. Mit der Ausnutzung der technischen Möglichkeiten von SCC (Querschnitts- und Ausbruchreduktion, Bauabläufe, Aufwand Nacharbeiten) stehen wirtschaftlich äusserst interessante Betonkonzepte zur Verfügung.

Zusammenfassung und Folgerungen

- Die Bausteine für den erfolgreichen SCC liegen in der speziellen Betonrezeptur und genau darauf ausgerichteten HBV, kombiniert mit angepasster Einbautechnik.
- Die Herstellung von SCC bedarf systematischer, schlüssiger Vorversuche von Personen mit vertieften betontechnologischen Kenntnissen.
- Die vorliegenden Resultate zeigen, dass mit dem Konzept von SCC normale Betons und solche mit besonderen Eigenschaften gemäss Norm SIA 162 gezielt hergestellt werden können.
- Mittels SCC können selbst kleine, enge Hohlräume ohne Verdichtungsarbeit zuverlässig verfüllt werden. Dabei weisen die SCC eine hohe Fliessfähigkeit und eine gute Homogenität auf.
- Die in der Schweiz und im Ausland vorliegenden Erkenntnisse sind heute ausreichend, um diese Betons in der Praxis einzusetzen. Dabei gilt es, weitere Erfahrungen bei der Verwendung zu sammeln.

Adresse der Verfasser:
Frank Jacobs, Dr. sc. techn., dipl. Geol., *Fritz Hunkeler*, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH, TFB, Lindenstrasse 10, 5103 Wildegg, *Jürg Schlumpf*, Ing. HTL, Sika AG, Tüffenwies 16-22, 8048 Zürich

Literatur

[1]
Ozawa K., Maekawa K. & Okamura H.: Development of high performance concrete. Journal Faculty of Engineering, University of Tokyo, Vol. XLI, No. 3, 1992

[2]
Ambroise J., Pera J. & Rols S.: Les bétons autonivelants. Ann. du bâtiment et des travaux publics, Janvier 1997

[3]
Skarendahl A. & Petersson Ö.: Self compacting concrete. Proc. Rilem-WTA-Seminar «High performance of cement-based materials» (ed. Wittmann), 1998

[4]
Khayat K.H. & Guizani Z.: Use of viscosity-modifying admixture to enhance stability of fluid concrete. ACI Materials Journal, July-August 1997

[5]
Sedran T., de Larrard F., Hourst F. & Contamines C.: Mix-design of self compacting concrete (SCC). Proc. int. RILEM conf. Prod. Methods and Workability of concrete (ed. Bartos), 1996

[6]
Jacobs F.: Optimierung des Fliessverhaltens von Betonen. Cementbulletin 1, TFB Wildegg, 1999

[7]
Yurugi M. & Sakai G.: A proven QA system for flowable concrete. Concrete International, October 1998

[8]
Tanaka K., Sato K., Watanabe S., Arima I. & Suenaga K.: Development and utilisation of high performance concrete for the construction of the Akashi Kaikyo bridge. High performance concrete in severe environments (ed. Zia), ACI, SP 140, 1993

[9]
Hayakawa M., Matsuoka Y. & Yokota K.: Application of superworkable concrete in the construction of 70-story building in Japan.- ACI, SP 154, 1995

[10]
Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein: Norm SIA V 162.051: ENV 206: Beton: Eigenschaften, Herstellung, Verarbeitung und Gütenachweis. 1994

[11]
Kim J.-K., Han S.H., Park Y.D. & Noh J.H.: Material properties of self flowing concrete. J. Mat. Civ. Eng., Vol. 10, p. 4, 1998

[12]
Fukute T., Moriwake A., Sano K. & Hamasaki K.: Development of superworkable concrete for multi-functional port structures. ACI, SP 154, 1995

[13]
Studer W.: Die nachträgliche Bestimmung des Zementgehaltes im Beton. Schweizerische Bauzeitung, Heft 43, 1978

[14]
Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt: Bericht 169131, Abt. Beton/Bindemittel, 1998

[15]
Ozawa K., Maekawa K. & Okamura H.: High performance concrete with high filling capacity. Proc. int. symp. Rilem, Admixtures for concrete: Improvement of properties (ed. Vazquez), 1990

[16]
Hayakawa M., Matsuoka Y. & Shindoh T.: Development and application of superworkable concrete. Proc. int. Rilem conf. Prod. Methods and Workability of concrete (ed. Bartos), 1996

[17]
Cementbulletin: Fliessbeton. Cementbulletin, 6, TFB Wildegg, 1978

[18]
Wilk W.: Fliessbeton. SI+A 35, 1979

[19]
VSH AG: Untersuchungsbericht 1. Grossversuch SCC-Innenringbeton, Sika AG, 1998

Am SCC-Projekt Beteiligte

- TFB, Wildegg
- Sika AG, Zürich

Innenringe [19]

- Durchführungsort:
VersuchsStollen Hagerbach AG
- Technische Unterstützung:
Amberg Ingenieurbüro AG, Sargans
- Innenringschalung:
Bernold AG, Walenstadt