

Anspruchsvoller SCC - schaltungstechnische Antworten

Gerald Grabner

Technischer Leiter Osteuropa und Russland, Österreichische Doka, Amstetten

DI Peter Reisinger

Technischer Leiter Westeuropa, Österreichische Doka, Amstetten

www.doka.com

Selbstverdichtender Beton gemäß ÖNORM B4710-1 und ÖVBB-Merkblatt „Selbstverdichtender Beton (SCC)“ ist im Gegensatz zu herkömmlich verdichtetem Normalbeton ein Beton, der ohne Einwirkung zusätzlicher Verdichtungsenergie allein unter dem Einfluss der Schwerkraft fließt, entlüftet und jeden Hohlraum innerhalb der Schalung und Bewehrung ausfüllt.

1 Anwendungen von SCC in Ortbetonbauweise

Selbstverdichtende Betone werden grundsätzlich dann eingesetzt, wenn das Wegfallen von Rüttelarbeiten Vorteile bringt, wie z. B. (siehe Abbildungen 1-4):

- eng bewehrte Bauteile, wo eine Verdichtung mit Innen- oder Außenrüttlern nicht möglich ist
- Strukturbeton, wo eine bestimmte architektonisch modellierte Oberfläche gewünscht ist
- schlanke, filigrane Bauteile, um eine volle Befüllung des Betonkörpers zu gewährleisten
- schräge Bauteile
- Bauteile mit vielen Öffnungen
- Tunnelbau nur bedingt (wegen hoher Schalungsdrücke) und aufwändige Abdichtungsmaßnahmen
- Sanierungen im Bestand und Vorsatzbeton

Die Anwendungen im Fertigteilwerk werden hier nicht behandelt.

2 Normen und Richtlinien

Aufgrund der intensiven Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten auf dem Gebiet der SCC-Betontechnologie und des raschen, aber auch uneinheitlichen Fortschritts des Standes der Technik ist noch keine endgültige Norm

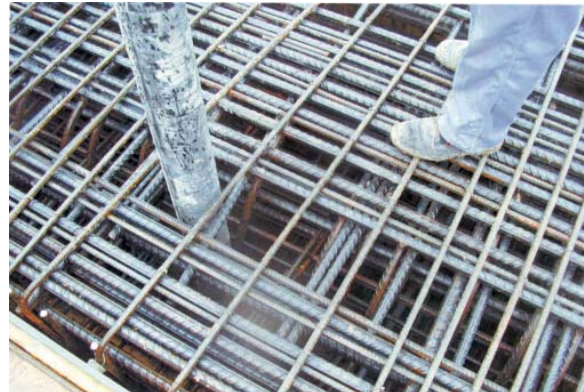


Abb. 1: Hoher Bewehrungsgrad



Abb. 2: Schlanke und schräge Bauteile



Abb. 3: Im Bestand



Abb. 4: Viele Öffnungen

ausgearbeitet worden. Es gibt jedoch sehr brauchbare und praxisorientierte Richtlinien und Merkblätter im mitteleuropäischen Raum:

- The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Production and Use, May 2005, www.efca.info, www.efnarc.org
- Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Merkblatt „Selbstverdichtender Beton (SCC)“, Ausgabe Dezember 2002, www.concrete-austria.com, office@ovbb.at
- Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V., DBV-Merkblatt „Selbstverdichtender Beton (SVB)“, Ausgabe Dezember 2004, www.betonverein.de, info@betonverein.de

In diesen Merkblättern wird auch das Schalungsthema behandelt, zu dem es in der Folge nähere Erläuterungen gibt.

3 Die für die Schalung relevanten Eigenschaften

Aufgrund der betontechnologischen Eigenschaften ergeben sich für die Schalung folgende Auswirkungen:

1. Höherer Schalungsdruck aufgrund fehlender innerer Reibung im Frischbetonzustand
2. Auftriebskräfte und Neigung zum Ausbluten auch bei kleineren Öffnungen in der Gussform aufgrund der extremen Fließfähigkeit (Gefügestabilität)
3. Genaues Abzeichnen der Oberflächenstruktur der Schalung
4. Keine Eigenstabilität der frisch betonierten Wand durch Ansteifen des Betons

All das bedingt einen sorgfältigen Umgang mit der Schalung – von der Planung bis zur Ausführung.

3.1 Schalungsdruck

Immer wieder treten Schalungs- bzw. Ankerstabversagen sowie große Deformationen bei der Herstellung von hohen Wänden mit SCC auf. Die Diagramme in DIN 18218 ergeben zu geringe Betondrücke für die neuen fließfähigen Betone.

In vielen Versuchsbetonierungen in Labors und auf Baustellen mit unterschiedlichen selbstverdichtenden Betonen wurden von einander abweichende Schalungsdrücke gemessen. Dies liegt zum einen an den unterschiedlichen

Eigenschaften der Betone im bewegten Einfüllzustand bzw. im unbewegten Frischbetonzustand, und hängt zum anderen von den uneinheitlichen Versuchsbedingungen ab.

Es werden grundsätzlich zwei Einbringungsarten bei nach oben offenen Bauteilen unterschieden:

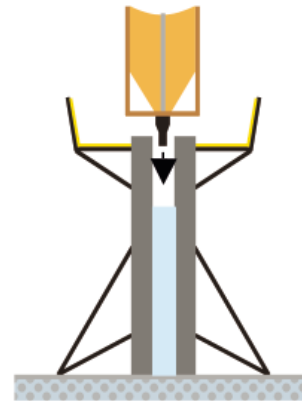


Abb. 5: Befüllen von oben

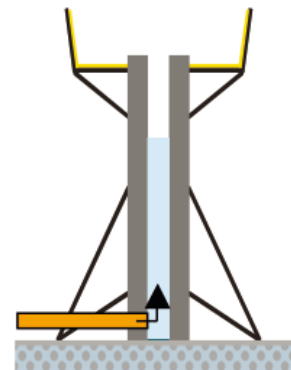


Abb. 6: Einpumpen von unten

Befüllen von oben

Bei der Befüllung von oben ist der Frischbetondruck durch die Betoniergeschwindigkeit steuerbar. Dabei führen extrem hohe Betoniergeschwindigkeiten zu fast hydrostatischen Frischbetondrücken.

Wände mit SCC werden extrem schnell betoniert (z. B. 6 m in 10 Minuten). Daher kann nicht sichergestellt werden, dass die unten liegenden Schichten schon zu abbinden beginnen und noch flüssig sind.

Messungen haben ergeben, dass bei bestimmten Betonen der hydrostatische Druck nicht erreicht wird. Reduktionen dieses Schalungsdruckes können aber nur gemacht werden, wenn die Betoneigenschaften genau bekannt sind, entsprechend geprüft wurden und die Einbaubedingungen konstant gehalten werden.

Andere Erschütterungen auf der Baustelle (Nachrütteln am Ende des Betonierens, Einschalten der Betonpumpe in der Nähe oder schlichtes Vorbeifahren eines schweren Lkw) können den thixotropen SCC wieder verflüssigen und den vollen hydrostatischen Druck ergeben. Schadensfälle nach Beendigung des Betoniervorganges zeigen diesen Mechanismus deutlich auf. Das heißt, dass die Schalung prinzipiell auf den vollen hydrostatischen Druck (übliches $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$) zu bemessen ist. Abweichungen davon sind gesondert zu prüfen.

Es empfiehlt sich dringend, die Entscheidung über die Einbaumethode und das daraus resultierende Konzept für Schalung und Baubetrieb in einem gemeinsamen Gespräch zwischen bauausführender Firma, dem Betonlieferanten, -technologien und Schalungslieferanten festzulegen.

Einpumpen von unten

Das Einpumpen von unten bringt gewisse arbeitstechnische Erleichterungen mit sich. Weiters wird keine zusätzliche Grobluft in den Frischbeton eingebracht. Gute Erfahrungen mit dem problemlosen Pumpen bis 6 m Höhe liegen vor. Diese Einbaumethode bringt mit sich, dass der Frischbeton ständig in Bewegung ist. Damit ist hier immer der hydrostatische Beton-

druck für die Schalungsbemessung anzusetzen. Lokal begrenzte höhere Drücke können in der Nähe des Einfüllstutzens entstehen, speziell beim Wiederauffahren nach einer Betonierunterbrechung.

Es wurden aus diesem Titel heraus jedoch keine Schäden berichtet.

In der amerikanischen Literatur erwähnte Aufschläge für dynamische Kräfte bzw. Pumpendruck sind nicht nachvollziehbar. Die europäische Erfahrung zeigt, dass auch bei dieser Einfüllmethode der Ansatz von hydrostatischem Schalungsdruck für die Schalungsbemessung ausreichend ist.

Als Alternative wird auch recht erfolgreich die folgende Methode auf Baustellen angewendet: Drucküberwachung durch Messungen mittels Druckmessdosen und entsprechendes Anpassen der Betoniergeschwindigkeit.

3.2 Auftriebskräfte und Neigung zum Ausbluten

Aufgrund der enormen Fließfähigkeit (freie Fließstrecken von mehr als 8 m sind bekannt) ist sorgsam darauf zu achten, dass der Beton in der gewünschten Schalungsform bleibt, diese muss also dichter sein als sonst üblich.

Bei horizontalen und auch schrägen Flächen (Ausparungen/Rahmenprofil) drückt der Beton nach oben bzw. normal auf diese Fläche und muss mit vollem Flüssigkeitsdruck gerechnet werden (innere Reibung gleich null). Daher sind



Abb. 7: Kombination von Einpumpen von unten und Befüllen von oben



Abb. 8: Druckmessdose

Auftrieb

Faustregel:

$$\text{Auftrieb} = \text{Schalungsdruck} \times \text{projiz. Fläche}$$

Nicht gültig bei SCC

Beispiel:

$$P_{\text{max.}} = 50 \text{ kN/m}^2$$

Auftrieb =

~~$$= 50 \text{ kN/m}^2 \times 0,60 \text{ m}$$

$$= 15 \text{ kN/lfm Schalung}$$~~

Auftrieb =

$$= 4,10 \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 0,60 \text{ m}$$

$$= 59 \text{ kN/lfm}$$

=> also 4 mal größer!

projizierte Fläche

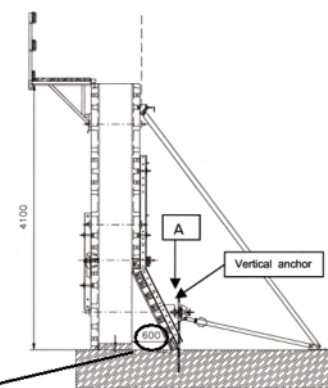


Abb. 9: Voller Flüssigkeitsdruck



Abb. 10: Auftriebssicherung

Aussparungskästen im unteren Bereich entsprechend stärker an der Schalung zu fixieren. Dieser Effekt tritt auch bei kleinen Flächen einer Rahmenschalung auf (Unterkriechen) und hebt tatsächlich die Schalung nach oben, daher ist die Schalung gegen Auftrieb zu sichern.

Die Dichtheit der Schalungsform muss auch bei Elementstößen sichergestellt sein. Auch Ankerlöcher und kleinere Öffnungen in der Schalhaut müssen abgedichtet sein, um ein Ausbluten dieses flüssigen Betons zu verhindern. Sorgfältige Abdichtungsmaßnahmen im Aufstandsreich und bei vertikalen Arbeitsfugen speziell im Bereich der Bewehrungsdurchführung sind im Schalungskonzept vorzusehen (siehe Abbildungen 11-16).

Die enorme Fließfähigkeit ist auch die Schwierigkeit bei bergmännischen Tunneln. Die Gespärre-



Abb. 11: Ankerloch unabgedichtet



Abb. 12: Dichtringe für Ankerkonen

Abb. 13: Saubere Elementstöße



Abb. 14: Abdichtung im Aufstandsreich



Abb. 15: Vertikale Arbeitsfugen mit Bewehrungsdurchführung



Abb. 16: Sauberer Abschluss mit Dichtschnur



einheiten können entsprechend stark oder eng ausgebildet werden (Wirtschaftlichkeit), aber viel Beton geht verloren, wenn man die Abschaltungen nicht dicht bekommt (Abschalung mit z. B. aufblasbaren Gummischläuchen).

Robuster SCC (Gefügestabilität) ist auch fähig, bei Streckmetall-Abschalungen in Form zu bleiben. Bei Ortbetondecken kann jedoch das Phänomen auftreten, dass sich über eine längere freie Fließstrecke die größeren Körner absetzen und nur noch der Betonmörtel bis zur

Deckenrandabschalung kommt und dort durch das Streckmetall nicht gestoppt wird.



Abb. 17: Streckmetall ...



Abb. 18: ... bei robustem SCC

3.3 Abzeichnen der Oberflächenstruktur der Schalung

SCC verlangt eine sehr hohe Oberflächenqualität der Schalhaut. Kratzer, Nagellöcher, Bohrungen, Hammerspuren und Rüttlerdellen etc. zeichnen sich deutlich ab.

Prinzipiell sind alle gebräuchlichen Schalhäute SCC-geeignet. Bei Einzelbrettern sind das Austrocknen und der entstehende Zwischenraum zu beachten. OSB-Platten sind nicht SCC-geeignet.

Für sichtbar bleibende Betonflächen ist mit einer erhöhten Schalungspflege bzw. bei entsprechenden Anforderungen mit früherem Schalhautwechsel zu rechnen. Die Eignung des Zusammenwirkens von Beton, Trennmittel und Schalhaut sollte speziell bei Sichtbeton vorher geprüft werden.

3.4 Stabilität der Schalung

Durch die hohe Steiggeschwindigkeit kann mit keiner Eigenstabilität einer frisch betonierten Wand gerechnet werden. Es sind daher ausreichende Abstützungsmaßnahmen für die Schalung durchzuführen.

4 Betoneinbringung von SCC

Wie schon in Kapitel 3.1 beschrieben kann von oben mit Krankübel, Pumpe (Lärmvorteil fällt weg) oder Schüttröhren bzw. von unten mittels Pumpe SCC eingebracht werden. Dabei ist besonders auf ein kontinuierliches Arbeiten zu achten.

Vor dem Einbringen des Betons ist eine Schalungsabnahme durchzuführen, bei der vor allem Dichtigkeit und ausreichende Aussteifung der Schalung überprüft werden. Es ist sinnvoll, während der Betonage die Dichtheit der Schalung zu kontrollieren.

Da im oberen Wandbereich die Auflast durch Betongewicht fehlt, können zur Vermeidung von Lunkern beim letzten halben Meter mittels Stochern eingeschlossene Luftblasen ausgetrieben werden.

Bei längeren Betonierpausen (bereits ab wenigen Minuten) bildet sich eine so genannte Elefantenhaut, welche sich später an der Wand abzeichnet. Am besten durch lückenlose Belieferung vermeiden, sonst durch Stochern „vernadeln“.

Beim Einbringen in allseits geschlossene Schalungen (Tunnel, Deckelbauweise, Stützen oder Unterzugsverstärkungen im Bestand) sind ausreichend Sichtfenster und Entlüftungsmöglichkeiten vorzusehen.



Abb. 19: Einbringen durch Einbringstutzen



Abb. 20: Einbringstutzen in der Systemschalung integriert

Die betontechnologischen Eigenschaften von SCC sind auch stark temperaturabhängig (aufgrund der eingesetzten Fließmittel auf PCE-Basis). Der richtige Zeitpunkt (Temperaturintervall) der Betoneinbringung ist daher unbedingt mit dem Betonlieferanten abzustimmen.

Ein möglichst langsamer Betoneinbau wirkt sich positiv auf die Entlüftung des Betons und damit auf die Oberflächenqualität aus. Die Eignung des Trennmittels ist vorher unter Baustellengegebenheiten zu untersuchen. Jedenfalls ist es gleichmäßig und sehr dünn ($<10 \text{ g/m}^2$) aufzutragen.

5 Verwendung von Systemschalungen für SCC

Die zulässigen Frischbetondrücke P_{\max} von Systemschalungen variieren von 40-90 kN/m^2 . Maßgeschneiderte Objektschalungen können bis 240 kN/m^2 ausgeführt werden.

Nachfolgend ein Beispiel:

Stahl-Rahmenschalung mit Ankersystem 15,0 mm (120 kN) $P_{\max} = 60 \text{ kN/m}^2$

Bis zu einer Betonierhöhe von 3,30 m sind keine Sondervorkehrungen nötig, da auch beim Ansetzen des hydrostatischen Drucks sowohl die zulässigen Querschnittskräfte in den Elementprofilen als auch die zulässigen Werte für die Ankerzugkraft bei keiner Elementkombination überschritten werden.

Tabelle 1: Zulässige Betonierhöhen (ohne besondere Maßnahmen) für Doka-Systemschalungen

Schalungssystem (alle Elementbreiten)	Zul. Ankerzugkräfte 15,0
	Ö, CH: 120 kN
Stahl-Rahmenschalung	3,30 m
Aluminium-Rahmenschalung	2,70 m
System-Trägerschalung	3,25 m
Rundschalung	3,30 m

Höhere Drücke sind erreichbar durch Reduzieren der Elementgrößen/-breiten (mehr Schalungsanker pro m^2). Stärkere Anker bringen keinen Vorteil, da immer das Rahmenprofil des Schalungselementes maßgebend ist (Biegesteifigkeit).

Tabelle 2: Zulässige Betonierhöhen bei Verwendung kleinerer Rahmen-Elemente

	Max. Elementbreite	Zul. Ankerzugkräfte	
		120 kN	150 kN
Stahl-Schalung	135 cm	3,30 m	3,30 m
	90 cm	3,80 m	4,05 m
	60 cm	5,60 m	5,70 m
	45 cm	7,00 m	7,50 m
	30 cm	11,00 m	11,40 m
Aluminium-Schalung	90 cm	2,70 m	
	75 cm	3,00 m	
	60 cm 3,30 m		
	45 cm	4,40 m	
	30 cm	6,30 m	

Eine Schalhautaufdopplung ab 4 m Höhe zur Einhaltung von Ebenheitsanforderungen wird empfohlen.

Für die richtige Bemessung und Anwendung von Doka-Systemschalungen stehen Ihnen die Doka-Schalungstechniker gerne zur Verfügung. Als Hilfestellung dazu können Sie ein technisches Rundschreiben zum Thema „Auswahl von Schalungen für selbstverdichtenden oder sehr fließfähigen Beton“ bei Ihrer nächsten Doka-Niederlassung anfordern.

Folgendes Beispiel zeigt die Auswirkungen bei Missachtung dieser Regeln (zu große Einflussfläche auf die Ankerstelle und auf das Rahmenprofil). Hier wurde zudem eine systemfremde Ankerplatte (zu kleine Auflagerfläche) verwendet.

$$H = 5,95 \text{ m}; V = 7 \text{ m}^3$$



Abb. 21: Vor dem Betonieren



Abb. 22:
Zu breite
Elemente und
zu kleine
Ankerplatte



Abb. 23:
Rahmenprofil
überlastet



Abb. 25: Phaeno Science Center, Wolfsburg,
eingerichtete Schalung



Abb. 26: Phaeno Science Center, Wolfsburg,
Betonergebnis

6 Verwendung von Objektschalungen für SCC

Eine Objekt-Trägerschalung bestehend aus Schalhaut, Holzschalungsträger, Stahlwandriegel und Ankerstäben kann dem Bemessungsschalungsdruck angepasst werden. Eine technische Grenze wird bei ca. 240 kN/m² (= ca. 10 m Betonierhöhe) erreicht.

Die Wirtschaftlichkeit ist projektbezogen abzuwägen. Hier sind jedenfalls Schalungsspezialisten beizuziehen.

7 Referenzprojekte

Doha Beach Villa, Qatar (2005)

Aufgrund der Bauwerksgeometrie sind Einbringen und Verdichten von Normalbeton nicht möglich.



Abb. 24:
Phaeno
Science
Center,
Wolfsburg,
Einzelelement



Abb. 27:
Doha
Beach Villa,
Qatar



Abb. 28:
Doha
Beach Villa,
Qatar



Abb. 29:
Doha Beach
Villa, Qatar



Abb. 33:
Bewehrung

Bauen im Bestand



Abb. 30 und 31:
Umbau Konzerthaus,
Wien



Abb. 34: Betonergebnis

Extrem hoher Bewehrungsgrad



Abb. 35:
Traisenbrücke, St. Pölten



Abb. 36:
Traisenbrücke, St. Pölten



Hoher Bewehrungsgrad, unzugänglich für Innerrüttler



Abb. 32:
Seebad
Kaltern,
Südtirol
(2005)

8 Zusammenfassung

Wie die Ausführungen zeigen, gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten, wo selbstverdichtender Beton eine gute technische und wirtschaftliche Alternative darstellt. Unter Berücksichtigung der betontechnologischen Eigenschaften von SCC können immer wieder schalungstechnische Antworten auf diese Herausforderung gefunden werden.