

Ausgewählte baubetriebliche Betrachtungen zum Einsatz von selbstverdichtendem Beton (SVB) auf Baustellen

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko
Dipl.-Ing. Jörg Huth**

Institut für Baubetrieb
Technische Universität Darmstadt

Darmstadt, den 22.04.02

1 Einleitung

Der selbstverdichtende Beton (SVB) ist gemäß dem Entwurf der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton [1] ein Normalbeton, welcher beim Einbringen in die Schalung alleine aufgrund der Schwerkraft alle Hohlräume ausfüllt und eigenständig, ohne die Anwendung von Betonverdichtungsgeräten entlüftet. Dieser Baustoff wurde bereits in den 80-er Jahren in Japan erforscht, mit dem Ziel, Baumängel zu reduzieren, welche zu dieser Zeit durch den Einsatz eines nicht entsprechend qualifizierten Personals auf den Baustellen verursacht wurden. Der selbstverdichtende Beton wird in Deutschland als Transportbeton seit kurzem eingesetzt. Dazu ist eine Zulassung im Einzelfall, oder eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich. Da es sich um einen sehr jungen Baustoff handelt, befinden sich die Erfahrungswerte in der Aufbauphase. In den nachfolgenden Ausführungen werden ausgewählte baubetriebliche Betrachtungen zum Einsatz vom selbstverdichtenden Beton auf Baustellen dargelegt, welche aus Expertenbefragungen und Literaturstudium resultieren sowie auf eigenen Baustellenuntersuchungen basieren.

2 Verdichtungsenergie

Beim Einbringen des SVB ist das Aufbringen von Verdichtungsenergie nicht erforderlich. Hierdurch wird ein Teilprozess innerhalb des Betoniervorgangs eliminiert, der vielfache Probleme verursacht und signifikante Fehlerquellen erzeugt. Das für das Verdichten notwendige Personal sowie die entsprechenden Geräte werden eingespart, Lärm und Erschütterungen werden vermieden. Die Reduktion des Lärms ist besonders wichtig in innerstädtischen Bereichen, z. B. beim Erlangen der Genehmigung für die Ausführung von Bauarbeiten außerhalb der üblichen Zeiten. Es verbessern sich die Arbeitsbedingungen und Sicherheit der Arbeitskräfte. Im Zusammenhang mit dem Verdichten und der Anwendung der Innenrüttler sind direkte Einwirkungen auf die Arbeitskräfte von Bedeutung. Das Arbeiten mit einem Innenrüttler verursacht Teilkörperschwingungen auf das Hand-Arm-System. Hierzu wurden an der Technischen Universität Darmstadt Versuche [2] durchgeführt, die bestätigt haben, dass diese Arbeiten in einer normierten Skala, der sog. Borg-Skala, einen Wert von bis zu 14 erreichen und das entspricht dem Grenzwert zur Stufe „Anstrengend“. Weiterhin sind bei den Beanspruchungen Durchblutungsstörungen in den Händen zu nennen, die bei Bauarbeitern festgestellt wurden. Die Reduktion der Beanspruchungen der Arbeits-

kräfte erhöht ihre Leistungsbereitschaft für andere Tätigkeiten und führt somit zu besseren Prozessen auf der Baustelle. Neben der Belastung für die Arbeitskräfte können bei unsachgemäßem Umgang mit Innenrüttlern erhebliche Schäden an der Schalung entstehen. Im Besonderen ist davon die Schalungshaut betroffen, wenn ein direkter Kontakt mit dem Verdichtungsgerät stattfindet. Auch der direkte Kontakt des Rüttlers mit der Bewehrung führt zu Problemen. Diese entstehen besonders beim Verdichten des Betons in Bauteilen mit hohem Bewehrungsgrad. Durch den Einsatz von SVB können diese Fehlerquellen vermieden werden. Zu beachten ist, dass der Liefer- und Verbraucherrhythmus beim SVB besonders wichtig ist (siehe Ziffer 5). In Bezug auf die Verdichtungsenergie ist das Einbringen der einzelnen Betonierlagen „frisch in frisch“ zu gewährleisten, ein Vernadeln ist nicht vorgesehen.

3 Anwendung von Schalungssystemen

Die bisherige Praxis zeigt, dass die im Markt vorhandenen Schalungssysteme den Anforderungen des SVB gewachsen sind. Versuche [3] haben belegt, dass in Bezug auf den Frischbetondruck bei lotrechter Schalung mit hydrostatischen Druckverhältnissen zu rechnen ist. Weitere Forschung auf dem Gebiet ist zur Gewährleistung eines sicheren Arbeitens auf der Baustelle dringend erforderlich. Durch das kohäsivere Verhalten des SVB im Vergleich zu den üblichen Normalbetonen entstehen bei sach- und fachgerechtem Aufbau der Schalung in der Regel keine Probleme mit dem Ausbluten des Frischbetons. Dadurch reduzieren sich etwaige Ausbesserungsarbeiten. Als weiterer Vorteil des SVB wird von Experten [4] der reduzierte Reinigungsaufwand der Schalung angegeben. Auf die besondere Empfindlichkeit bei Einsatz unterschiedlicher Qualitäten von Schalungshaut wird unter Ziffer 4 eingegangen

4 Betonflächen: Spiegelbild der Schalung

Beobachtungen auf Baustellen belegen, dass bei Anwendung eines SVB die Betonflächen sehr genau die verwendete Schalungshaut abbilden (siehe Bild 1). Das stellt entsprechende Anforderungen an die Ausschreibung der zu erstellenden Betonflächen im Sinne des § 9 VOB/A sowie eine sorgfältige Auswahl der Schalungshaut entsprechend den vertraglich vereinbarten Qualitäten. Die unterschiedlichen Merkmale der Schalungshaut wie Oberflächenstruktur, Alter, Reparaturstellen und Einsatzzahl beeinflussen das Erscheinungsbild der Betonflä-

chen maßgeblich. Zusammenhängende Bauteilflächen sollten deshalb möglichst mit gleichwertiger Schalungshaut versehen werden. Neben ihrer Qualität sind die Art des Trennmittels, dessen Auftragsmenge sowie weitere Umwelteinflüsse zu beachten. Ein systemgerechter Einsatz des SVB führt in der Regel zu einer guten Betonflächenqualität.



Bild 1: Exakter Abdruck der Schalungshaut mit Ausbesserungsstelle



Bild 2a



Bild 2b

Bild 2: Gute Betonflächenqualität mit SVB: a) Eigene Aufnahme b) Aus [9]

5 Logistik

Die Empfindlichkeit des SVB hinsichtlich der Schwankungen des Gesamtwassergehaltes hat substantielle baubetriebliche Bedeutung. Zum einen ist die Anwendung entsprechend ausgerüsteter Betonmischanlagen erforderlich, die in der Lage sind unter anderem exakt den Wassergehalt der Zuschlagstoffe zu bestimmen. Neben der Sensibilität gegenüber dem Wassergehalt beeinflussen dazu noch andere Faktoren wie Temperatur und längere Mischzeiten den Produktionsprozess des SVB. Der resultierende erhöhte Aufwand in der Produktion erfordert eine gute Übereinstimmung zwischen dem Liefer- und Verbraucherrhythmus. Gemäß dem 4. Entwurf der DAFStb Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ [1] ist bezogen auf das Verarbeiten zu beachten, dass der SVB auf der Baustelle nach der Übergabe eine ausreichende Zeit lang (Verarbeitbarkeitszeit t_{VB}) die erforderliche Konsistenz aufweisen muss. Die Dauer ist abhängig von den Baustellenbedingungen zu bestimmen. Sie muss so bemessen sein, dass der schon in der Schalung eingebrachte Beton stets mit dem neu dazukommenden als eine einheitliche Masse innerhalb der Schalung fließt. Die Verarbeitbarkeitszeit t_{VB} darf für Transportbeton ab dem Zeitpunkt der Anlieferung auf der Baustelle 45 Minuten und bei der Herstellung von Fertigteilen 20 Minuten nicht unterschreiten. Des Weiteren dürfen keine Trennschichten durch ein Überfließen von frischem Beton auf bereits erstarrter Frischbetonoberfläche entstehen. Es gilt also zu beachten, dass die tatsächliche Betoneinbaugeschwindigkeit und der Zeitpunkt der Herstellung einschließlich des Transportweges einer genauen Analyse bedürfen und nicht wie das bei üblichen Normalbetonen häufig der Fall ist, ungenau gehandhabt werden. In der Logistikkette ist der erhöhte Aufwand der Qualitätssicherung zu berücksichtigen. Dazu gehört zum einen die primäre Einweisung des Baustellenpersonals, welches zum ersten Mal mit diesem Werkstoff arbeitet, zum anderen wird zusätzliches Aufsichtspersonal, auch seitens der Betonlieferanten, erforderlich. Bezogen auf die Baustelle ist bei der Güteprüfung insbesondere die Konsistenzprüfung zu nennen. Sie ist unmittelbar vor der Übergabe an jedem Mischfahrzeug zu bestimmen. Die Prüfwerte sind in den Unterlagen der werkseitigen Produktionskontrolle zu dokumentieren bzw. auf dem Lieferschein anzugeben.

6 Einbau des SVB

Neben dem Wegfall des aktiven Verdichtens des Frischbetons verändern sich durch die Anwendung von SVB die Bedingungen und Merkmale des reinen Betoniervorgangs. Unter der Voraussetzung, dass der SVB alle Hohlräume ausfüllt und die Bewehrung vollständig umschließt, rückt die Entlüftung des Betons in den Mittelpunkt. Anders als beim Rüttelbeton, dessen Entlüftung durch die Vibration des Rüttlers begünstigt wird, muss ein SVB ohne die Einwirkung äußerer Energie entlüften. Somit stellt der Auftrieb der Luft die einzige Antriebskraft dar. Ein maßgebendes Kriterium des Entlüftungsvorgangs ist die Viskosität des Frischbetons. Unter Beachtung der rheologischen Eigenschaften von SVB wird ersichtlich, dass ein Fließen des Betons den Entlüftungsvorgang fördert. Um eine gute Entlüftung des Betons zu gewährleisten, muss beim Einbau auf eine ausreichende Fließstrecke des Betons geachtet werden. Baustellenbeobachtungen haben gezeigt, dass bei einer Fließstrecke innerhalb des Bauteils von 3 – 5 m die Betonfläche fast lunkernfrei ist. Lange Fließstrecken bieten zudem den Vorteil, dass die Anordnungen der im üblichen Normalbeton notwendigen Rüttelgassen stark reduziert werden können. Somit entfällt auch das ständige Umsetzen des Betonschlauches während des Betoniervorganges. Das Einbringen des SVB sowohl in vertikale Bauteile wie Wände und Stützen, aber insbesondere bei horizontalen flächigen Bauteilen wie z.B. Decken, wird durch seine selbstnivellierenden Eigenschaften vereinfacht. Bei der Nachbehandlung sind ähnliche Anforderungen wie beim üblichen Normalbeton gestellt.

7 Angaben zur Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von SVB

In der nachstehenden Tabelle sind verschiedene Werte aus der Literatur zusammengetragen, in denen Angaben zur Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von SVB in Europa gemacht wurden.

Quelle	Einsatzort	Merkmale gegenüber Normalbeton
Deutschland [5]	Ortbeton	Personalreduktion: Decken: 75 % Wände: 50 %
Schweden [6]	Ortbeton	Reduktion Betonierdauer: 50 – 80 % Erhöhung Stoffkosten: 10 – 20 %
Tschechien [7]	Ortbeton	Reduktion Mischanlagenleistung: 25 % Reduktion Betonierdauer: 50 %
Dänemark [8]	Ortbeton	Reduktion Betonierdauer: Fundament: 20 % Bodenplatte: 50 %

Tabelle: Angaben zur Wirtschaftlichkeit des SVB in der Literatur

Die Verfasser haben auf einer Baustelle erste Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit des SVB durchgeführt. Beim Betonieren von Wänden eines Treppenhauses mit Kübel wurde ein Aufwandswert von $0,6 \text{ h/m}^3$ ermittelt. Angewendet wurde die systematische Multimomentaufnahme mit einem Beobachtungsintervall von einer Minute. In dem ermittelten Wert sind die Arbeitskräfte einschließlich Kranfahrer erfasst. Nicht erfasst ist der Mischfahrzeugfahrer, welcher den Betonkübel befüllt hat. Es handelte sich um den ersten Betoniervorgang. Einarbeitungseffekte sind somit nicht berücksichtigt. Ein vergleichbarer Wert nach ARH-Tabellen beträgt $0,85 \text{ h/m}^3$. Hierbei ist zu beachten, dass die Reduktionspotentiale selbstverständlich in jedem Betrieb individuell zu ermitteln sind. Die Preise für den SVB liegen gegenwärtig deutlich über dem Preis eines üblichen Normalbetons. Ein kalkulatorischer Vergleich ist daher erforderlich.

8 Zusammenfassung

Der selbstverdichtende Beton ist aus baubetrieblicher Sicht ein außerordentlich interessanter Werkstoff. Das Wesentliche dabei ist, dass mit Einsatz des SVB die Produktionsprozesse auf der Baustelle, wie dargelegt, gekürzt werden können. Demnach werden gleichwohl die Anforderungen an die Qualitätssicherung steigen, die benötigten Ressourcen werden reduziert. Die Anforderung an eine sach- und fachgerechte Ausführung, d.h. die Qualifikation des ausführenden und überwachenden Personals muss dabei hoch bleiben. Die dargelegten Beispiele zeigen, dass der Werkstoff in der Lage ist, ein hervorragendes Endprodukt abgeben, wenn er unter beherrschten Baustellenbedingungen eingebaut wird.

Literaturverzeichnis:

- [1] DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton, 4. Entwurf
- [2] KURT LINDAU, GERDA LINKE-KAISER
Aspekte der Sicherheit und Gesundheit bei Bauarbeiten
Institut für Arbeitsorganisation e.V.
- [3] Dr. techn. RUPERT FRIEDLE
Anwendungsbeispiele selbstverdichtender Beton und Schalungsdruck
BFT 1/2001
- [4] HUTH JÖRG
Expertenbefragung
TU-Darmstadt 2001

- [5] THOMAS BERGER-BÖCKER, ANDREAS BLOBNER
Selbstverdichtender Transportbeton: Anwendung mit Zustimmung im Einzelfall
Beton 9/2001

- [6] GUNNAR RISE
Selbstverdichtender Beton
BFT 1/2001

- [7] RAYMUND BÖING, GÜNTHER HILLER, VLADIMIR VESLY
Eisenbahnbrücke im Bereich Prag
Beton 6/2001

- [8] Dr.-Ing. CAROLA EDVARDSEN
Selbstverdichtender Beton – Anwendung in Dänemark
BFT 1/2001

- [9] MEVA
Schalungsdruck September 2001