

SCC ist nachhaltig! Ein Vergleich mit Normalbeton

Dr. Martin F. Bäuml, Dr. Giovanni Martinola und Ivo Schmid
 Concretum Construction Science AG, Zürich, Schweiz

Projektausschreibung und Unterstützung:

Cemsuisse (Verband der Schweizerischen Zementindustrie), Bern, Schweiz

Die Forschungsarbeit, auf der die Inhalte dieses Kurzberichtes aufbauen, wurde von Cemsuisse ausgeschrieben und finanziell getragen. Dieser Kurzbericht stellt einen Auszug aus den Ergebnissen dieser Forschungsarbeit dar und wird mit freundlicher Genehmigung der Cemsuisse an dieser Stelle vorveröffentlicht. Der Titel der Originalarbeit lautet „Self Compacting Concrete (SCC): Nachhaltigkeit“.

Einleitung

Das Projekt vergleicht zwei unterschiedliche Betontypen. Selbstverdichtender Beton (SVB oder SCC für engl. Self Compacting Concrete) wird hinsichtlich seiner Nachhaltigkeit einem herkömmlichen Rüttelbeton (RB) gegenübergestellt. Der Begriff der Nachhaltigkeit wird durch die Gliederung in die drei folgenden Aspekte präzisiert: ökologischer Aspekt, sozialer Aspekt und ökonomischer Aspekt. Beide Betontypen werden mit anerkannten Methoden bezüglich ihrer Auswirkungen auf diese Aspekte der Nachhaltigkeit untersucht. Sowohl einzeln als auch in der Summe dieser Auswirkungen lassen sich relevante Unterschiede beider Betontypen erkennen. Auf der Basis dieses Vergleichs kann

eine Bewertung der unterschiedlichen Biontechnologien mit individuellen Schwerpunkten erfolgen.

Systemdefinition

Am Beispiel von drei konkreten Stahlbetonbauteilen soll überprüft werden, wie sich die unterschiedlichen Betonqualitäten von SVB und RB auf die Nachhaltigkeit der beiden Bauweisen auswirkt. Alle drei Stahlbetonbauteile können mit Transportbeton hergestellt werden. Als geeignete Bauteile bzw. Bauwerke wurden ein Quertunnel (Verbindungstunnel zwischen zwei Tunnelhaupttröhren), ein Hotel (Crowne Plaza, Genf) und ein Brückenkonsolkopf gewählt. Bei allen drei beträgt die angenommene Lebensdauer 100 Jahre. In Abbildung 1 sind die drei Objekte dargestellt.

Die Auswahl dieser Bauteile wurde aufgrund der verfügbaren Dokumentationen getroffen. Dahlhaus et al. (1) haben eine interessante Arbeit über den wirtschaftlichen Einsatz von SVB im Tunnelbau publiziert. In diesem Artikel wurde die Realisierung eines Quertunnels in zwei unterschiedlichen Varianten (SVB und RB) im Detail kalkuliert. Diese Informationen konnten für die vorliegende Studie genutzt werden.

Das Hotel Crowne Plaza wurde im Jahr 2002 erstellt. Bei diesem Objekt konnten praktisch alle Betonierarbeiten auf der Baustelle mit SVB



Abbildung 1: Untersuchte Bauobjekte: Quertunnel, Hotel Crowne Plaza und Brückenkonsolkopf

Tabelle 1: Betonrezepturen

	Zement CEM II	Flugasche (Moränekies)	Zuschlag	Fließmittel (Polykarboxylat)	Wasser	Betondichte	w/z _{eq} -Wert
RB	300 kg/m ³	0 kg/m ³	1'900 kg/m ³	2.25 kg/m ³	150 kg/m ³	2.40 kg/l	0.50
SVB	420 kg/m ³	80 kg/m ³	1'600 kg/m ³	6.3 kg/m ³	200 kg/m ³	2.35 kg/l	0.44

realisiert werden. Eine Reihe von zuverlässigen Informationen ist verfügbar und konnte direkt verwendet werden (2).

Brückenkonsolköpfe sind stark exponierte und belastete Stahlbetonelemente. Aufgrund der hohen Anforderungen ist der Einsatz sehr dauerhafter Betone entscheidend. Dieses Bauteil eignet sich gut für den Einsatz von SVB. Einerseits aufgrund der höheren Gefügehomoogenität von SVB und andererseits, da das Verdichten von stark bewehrten Bauteilen mit RB oft problematisch ist.

Für den Vergleich der drei Bauteile werden die in Tabelle 1 dargestellten Betonrezepturen angenommen. Diese Standardrezepturen werden in großen Mengen in der Schweiz produziert. Für die Durchführung der ökonomischen Analyse wurden folgende Betonpreise (inkl. Transport) angenommen:

- RB: 100 CHF/m³ (3)
- SVB: 160 CHF/m³ (3)

Die Analyse der Nachhaltigkeit umfasst den gesamten Lebenszyklus der Bauteile. In Abbildung 2 ist der betrachtete Gesamtlebenszyklus eines Bauteils schematisch dargestellt.

Nach der Herstellung des Bauteils beginnt die Nutzungsphase. Während dieser Phase sind Unterhalts- und Sanierungsmaßnahmen notwendig. Abhängig von der Dauerhaftigkeit des eingesetzten Werkstoffes sind entsprechende Maßnahmen vorzusehen. Aufgrund der höheren Dauerhaftigkeit des SVBs ist eine reduzierte Anzahl an Sanierungsmaßnahmen notwendig.

Im Fall des Szenarios A werden innerhalb von 100 Jahren zwei Sanierungsmaßnahmen für den RB (alle 33 Jahre) und nur eine (nach 50 Jahren) für den SVB vorgesehen, bevor das Bauteil abgebrochen wird. Bei den Szenarien B und C sind drei Sanierungsmassnahmen für den RB und eine für den SVB bzw. drei für den RB und zwei für den SVB vorgesehen. Die Abbildung 3 zeigt alle drei betrachteten Szenarien.

Bei der Instandsetzung der Bauteile werden nur die exponierten Betonoberflächen behandelt. Die schadhafte (z. B. chlorid-kontaminierte) Betonüberdeckung wird mit Wasserhöchst-druckanlagen abgetragen. Anschließend wird mit einer neuen Betonschicht reprofiliert.

Bewertung der Nachhaltigkeit

Die ökologischen, sozialen und ökonomischen Aspekte werden in verschiedenen Arbeitsschritten für die beiden Bauweisen untersucht und anschließend unter Berücksichtigung der drei Stahlbetonbauteile sowie der drei Szenarien A, B und C ausgewertet.

Die Ökobilanz stellt einen zentralen Bestandteil bei der Untersuchung der ökologischen Aspekte dar. Sie kann dazu verwendet werden, unterschiedliche Prozesse oder Produkte zu vergleichen. Für jeden Herstellungsprozess und für den Zeitraum der Nutzung und Entsorgung des Produktes werden der Energieverbrauch und die beim Prozess entstandenen Emissionen (Gase, Schadstoffe, Abfälle) berechnet. Durch die Integration der Schritte Herstellung (Beton

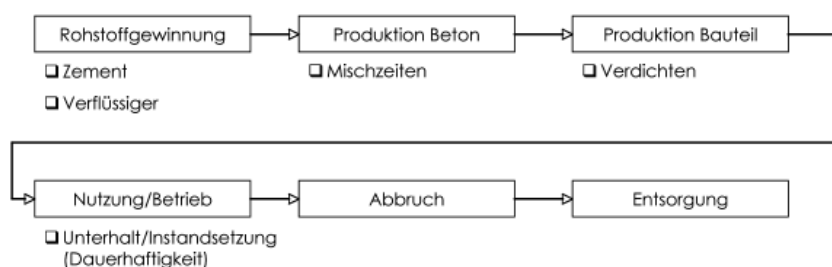


Abbildung 2: Schematische Darstellung des betrachteten Lebenszyklus

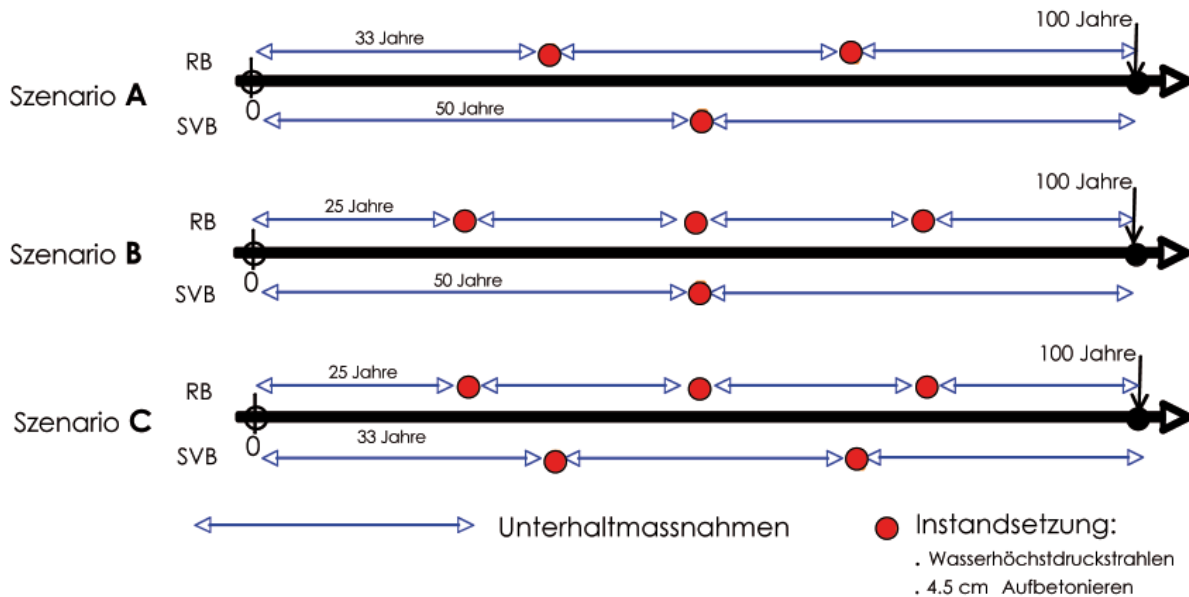


Abbildung 3: Übersicht über die Szenarien A, B und C

und Bauteil), Nutzung (Unterhalt, Sanierung) und Entsorgung eines Produktes wird der gesamte Lebenszyklus berücksichtigt (4).

Eine Wirkungsbilanz ordnet anschließend die berechneten Emissionen und den Energieverbrauch verschiedenen Wirkungskategorien zu, welche die eigentlichen Auswirkungen auf die Umwelt beschreiben. Folgende Wirkungskategorien werden berücksichtigt:

- Energie
- Treibhauseffekt
- Ozonbildung
- Eutrophierung
- Säurebildung
- Humantoxizität
- Ökotoxizität

Im Fall des Treibhauseffektes finden sich die monetarisierten Werte (kg CO₂-Äquivalent/m³ Beton) in den vergleichenden Tabellen 2, 3 und 4 weiter hinten in diesem Kurzbericht.

Bei der Analyse der sozialen Aspekte wird die Vermeidung von Unfällen und Langzeiterkrankungen als Zielsetzung definiert. Beim Einbau von RB entstehen für die Arbeitskräfte gemäß den Angaben des Schweizerischen Baumeisterverbandes (SBV) bestimmte Risiken wie zum Beispiel „Stürzen in der Ebene“ bei Aufenthalt auf Baustellen (5). Als wesentliche Größe bei der Monetarisierung der sozialen Aspekte stell-

ten sich schlussendlich die geleisteten Mannstunden pro Kubikmeter Beton heraus (Tabellen 2, 3 und 4).

Die ökonomische Bewertung wird durchgeführt, indem die Ergebnisse von Investitionsrechnungen verglichen werden, die den gesamten Lebenszyklus des Bauwerkes umfassen. Dieser Lebenszyklus wird auf 100 Jahre festgelegt. Zukünftige Ausgaben werden mit einem Zinssatz von 4.5 % diskontiert. Folgende Kostenstellen werden berücksichtigt:

- Materialkosten des Betons
- Baukosten
- Lebenszykluskosten
- indirekte Kosten

Gesamtauswertung

Die wichtigsten Ergebnisse der bereits durchgeführten Analyse wurden für die drei Bauteile und die entsprechenden Szenarien in den Tabellen 2, 3 und 4 zusammengefasst und monetarisiert. Die für die Monetarisierung benötigten Umrechnungsfaktoren sind folgende:

- Der aktuelle Handelspreis von CO₂ an der European Energy Exchange beträgt etwa 0.04 CHF/kg CO₂.
- Der ökonomische Aspekt ist bereits monetär erfasst.

Tabelle 2: Überblick über die Ergebnisse der ökologischen, ökonomischen und sozialen Analyse nach dem Szenario A

Szenario A	Ökologisch [kg CO ₂ /m ³]		Ökonomisch [CHF/m ³]		Sozial [Mannstd./m ³]		Monetarisierung [CHF/m ³]	
	SVB	RB	SVB	RB	SVB	RB	SVB	RB
Tunnel	419	422	1274	1712	0.32	0.8	1291	1730
Hotel	399	392	...	...	0.04	0.16	...	...
Konsolkopf	510	603	936	1714	0.12	0.3	957	1739

Tabelle 3: Überblick über die Ergebnisse der ökologischen, ökonomischen und sozialen Analyse nach dem Szenario B

Szenario B	Ökologisch [kg CO ₂ /m ³]		Ökonomisch [CHF/m ³]		Sozial [Mannstd./m ³]		Monetarisierung [CHF/m ³]	
	SVB	RB	SVB	RB	SVB	RB	SVB	RB
Tunnel	419	513	1274	2094	0.32	0.8	1291	2116
Hotel	399	471	...	...	0.04	0.16	...	...
Konsolkopf	510	785	936	2480	0.12	0.3	957	2512

Tabelle 4: Überblick über die Ergebnisse der ökologischen, ökonomischen und sozialen Analyse nach dem Szenario C

Szenario C	Ökologisch [kg CO ₂ /m ³]		Ökonomisch [CHF/m ³]		Sozial [Mannstd./m ³]		Monetarisierung [CHF/m ³]	
	SVB	RB	SVB	RB	SVB	RB	SVB	RB
Tunnel	510	513	1628	2094	0.32	0.8	1649	2116
Hotel	480	471	...	...	0.04	0.16	...	...
Konsolkopf	694	785	1648	2480	0.12	0.3	1676	2512

- Aus der Anzahl Mannstunden für Betonierarbeiten (3.146 Mio. Mannstd. pro Jahr) und den Folgekosten der Betonierarbeiten (5.5 Mio. CHF pro Jahr) errechnet sich der Umrechnungsfaktor für den sozialen Aspekt zu 1.75 CHF/Mannstd.

Die ökologischen und sozialen Aspekte leisten in monetarisierter Form nur einen kleinen Beitrag zu den Gesamtkosten. Der größte absolute Beitrag der CO₂-Emission beträgt 28 CHF/m³; der größte relative lediglich 2 %. Bei den sozialen Folgekosten ist es noch geringer: absolut: 1.4 CHF/m², relativ: 0.1 %.

Ungeachtet dieses geringen Einflusses der ökologischen und sozialen Aspekte ist der monetäre Unterschied zwischen den Lösungen SVB und RB hoch. Im Falle des Konsolkopfes kann beim Szenario B (Sanierungen: SVB 1 x, RB 3 x) eine Kostenreduktion von knapp 60 % über den gesamten Lebenszyklus realisiert werden, wenn anstelle eines herkömmlichen RB ein SVB mit

hoher Qualität (Dauerhaftigkeit) zum Einsatz kommt.

Bedeutung für die Praxis

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass der SVB im Vergleich zum RB in allen Bereichen hinsichtlich seiner Nachhaltigkeit als äquivalent oder besser einzustufen ist. Es ist ein innovativer Werkstoff, der in unterschiedlichen Aspekten ein Potenzial aufweist, das ihn im Vergleich zu herkömmlichen Betonen bevorzugt.

Für die praktische Anwendung von SVBs liefert dies zwei zentrale Argumente:

- SVB ist im Vergleich zu RB ein Werkstoff mit erhöhter Flexibilität. Dies erschöpft sich nicht in seinem Fließvermögen, sondern betrifft vor allem logistische Überlegungen. Werden ganze Baustellen oder Projektabschnitte unter voller planerischer Ausnutzung der Vorteile von SVB vorbereitet,

kann entweder die Möglichkeit der Bauzeitverkürzung oder der Personalreduktion in vollem Umfang genutzt werden. Darüber hinaus gibt es außerdem die Möglichkeit der freieren Formgebung, die sich ebenfalls zur Optimierung von Bauabläufen und Terminprogrammen nutzen lässt (größere Etappierungen, keine Anforderungen an die Zugänglichkeit etc.). Auch die Reduktion der Lärmbelastigung kommt dieser Flexibilität entgegen.

- Ungeachtet dieser eben erwähnten und schwierig quantifizierbaren Aspekte schneidet der SVB gegenüber dem RB auch bei einem objektiven Vergleich kostenmäßig besser ab. Durch die Vorteile beim Einbau lassen sich bereits die Erstellungskosten gegenüber RB senken. Über den Lebenszyklus bringt die hohe Qualität von SVB außerdem einen Kostenvorteil von 5 bis zu 60 %.

Diese Argumente sind sowohl für Bauherren als auch für Unternehmer als Entscheidungskriterium von großer Bedeutung.

Literatur

Im Text referenzierte Literaturstellen

- (1) Dahlhaus F., Jacob D. und Müller S.: Wirtschaftlicher Einsatz von selbstverdichtendem Beton (SVB) im Tunnelbau, Tunnel 6/2005 (2005).
- (2) Holcim, Effizient und schnell, Flexremo 3R «Crowne Plaza»-Hotel, Genf; Referenzobjekt der Holcim (Schweiz) AG (2004).
- (3) Hastag AG, Schweiz, mündliche Mitteilung.
- (4) Haag C., Gerdes A., Künniger T., Richter K. und Wittmann F. H.: Ökologische Betrachtungen zur Dauerhaftigkeit eines Stahlbetonbauteils, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, 3, S. 167-191 (1997).
- (5) Schweizerischer Baumeisterverband (SBV), Arbeitssicherheit, interne Berichte, Herr R. Debrunner.

Weiterführende, nicht im Text referenzierte Literatur

Folgende Arbeiten sind ebenfalls Grundlage der beschriebenen Ergebnisse:

- Hofmann C. und Leemann A.: Selbstverdichtender Beton: Herstellung, Anwendung und Dauerhaftigkeit, ASTRA Forschungsauftrag 2000/481 (84/00) (2004).
- Heijungs R., Guinée J. B., Huppel G., Lanckreijer R. M., Udo de Haes H. A., Wegner Sleeswijk A., Ansems A. M. M., Eggels P. G., van Duin R. und de Goede H. P.: Environmental Life Cycle Assessment Of Products, Guide October 1992, National Reuse of Waste Research Programme NOH, Centrum voor Milieukunde, Leiden, The Netherlands (1992).
- Frischknecht R., Hofstetter P., Knoefel I., Dones R., Zollinger E.: Ökoinventare für Energiesysteme: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz, im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Bern (1995).

Dank

Diese Arbeit stellt einen Auszug aus einer durch den Verband der Schweizerischen Zementindustrie (Cemsuisse) ausgeschriebenen und finanzierten Forschungsarbeit dar. Es wird an dieser Stelle für die freundliche Genehmigung dieses Auszuges gedankt. Besonderer Dank gilt dem Geschäftsführer der Cemsuisse, Dr. Heiner Widmer, und den Mitgliedern der Begleitkommission des Forschungsprojektes, Herrn Martin Keller [Holcim (Schweiz) AG], Herrn Dr. Peter Lunk [Holcim (Schweiz) AG], Herrn Fabian Leuthard (Jura-Cement-Fabriken) und Herrn Dr. Gerhard Rytz (Vigier Cement AG).