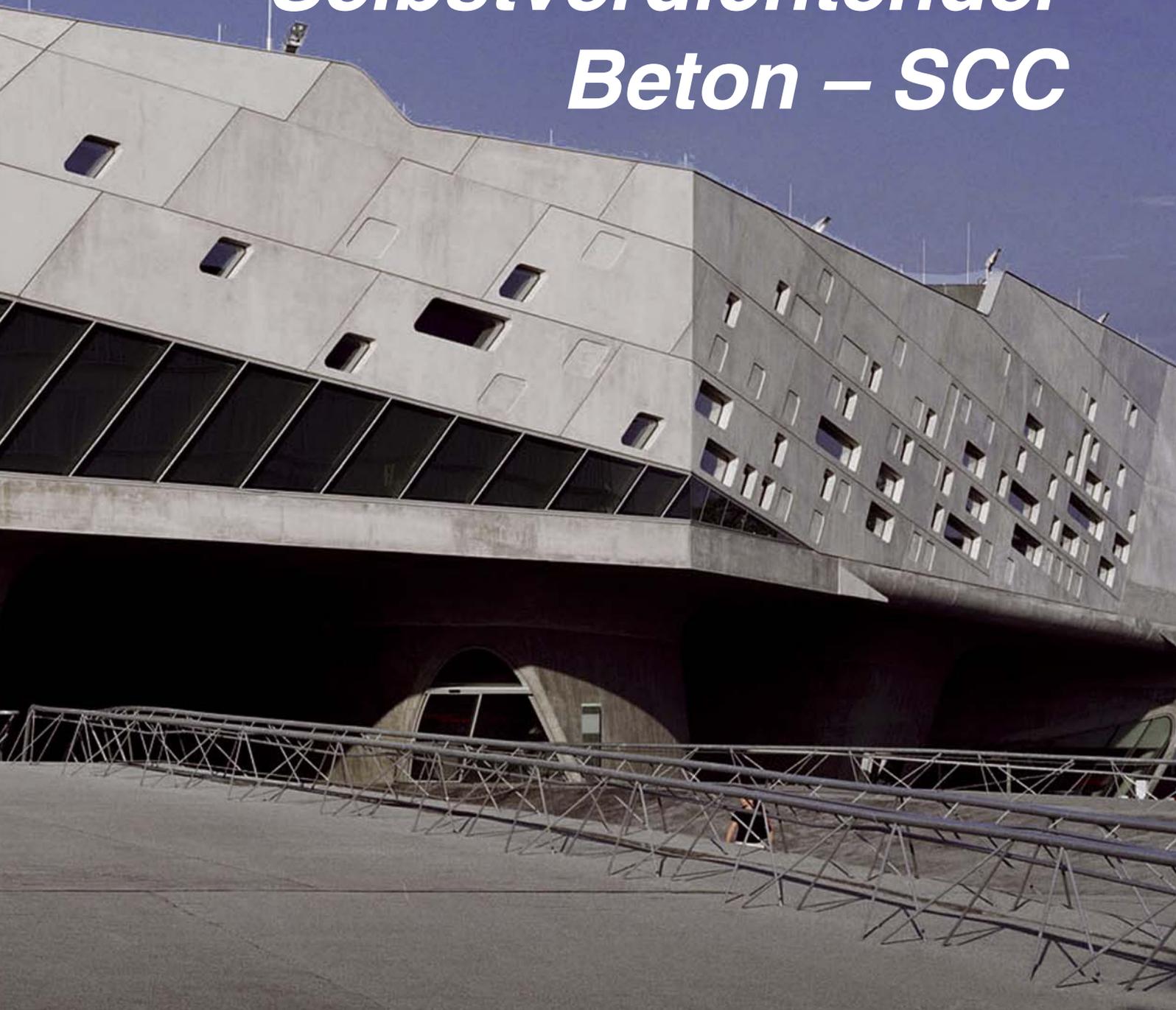




Expertenforum Beton 2007

*Selbstverdichtender
Beton – SCC*





Expertenforum Beton 2007

Selbstverdichtender Beton – SCC

Damit Normalbeton eine perfekte Betonoberfläche bekommt, ist ein eingespieltes Team notwendig: Zusammensetzung des Betons, Transport, Einbau, Verdichten und Nachbehandeln sind die Meilensteine, bei denen Planungsexperten und gut geschultes Baustellenpersonal ihr Können und Wissen einbringen müssen. Im Falle von SCC – Self Compacting Concrete (oder SVB - selbstverdichtender Beton) – verschiebt sich die Wichtigkeit der Meilensteine: Das Verdichten entfällt gänzlich, aber schon die Rezeptur erfordert Wissen. Transport, Einbau und Kontrolle auf der Baustelle müssen auf das zähflüssige Medium eingestellt werden, aber auch der Schalung und der so wichtigen Nachbehandlung ist spezielles Augenmerk zu geben. Fertigteile und Halbfertigteile, insbesondere wenn Formen sich wiederholen und Schalungselemente mehrfach eingesetzt werden können, bieten bei Verwendung von SCC Möglichkeiten, die mit einfachen, ebenen Wandstrukturen nichts mehr gemeinsam haben: Gebogene und verwundene Bauteile lassen die Fantasie der Architektur Gestalt annehmen.

Die Gestaltungsmöglichkeiten, die mit SCC erzielt werden können, sind faszinierend und lassen jedes Architektenherz höher schlagen. Auf dem Weg dorthin ist es umso wichtiger, dass die Wünsche des Architekten in die Planung mit SCC eingebracht werden. Der Architekt selbst muss die Funktionsweise des SCC verstehen lernen, er muss seine Vorstellungen allen am Projekt Involvierten vermitteln. Alle am Bauwerk Beteiligten müssen interdisziplinär kommunizieren, um die neue Technologie wirksam umzusetzen.

Seit den ersten Projekten mit SCC hat sich das Knowhow weiterentwickelt. Mit diesem Wissen kann SCC zielsicher im Fertigteilwerk und auch auf der Baustelle eingebaut werden.

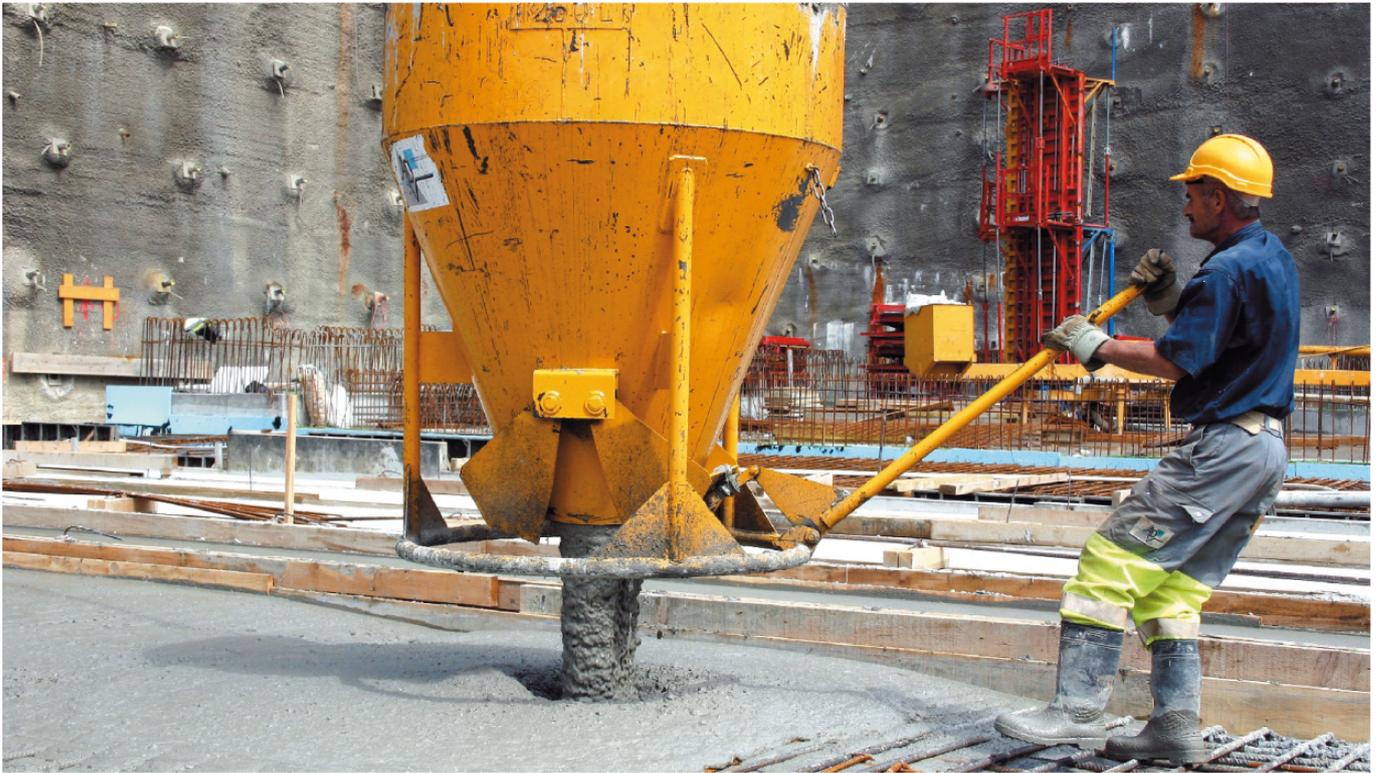
Das Expertenforum SCC setzt genau hier an: Alle Beteiligten sollen zur Anwendung dieser modernen, faszinierenden Betonart einen weiteren Anstoß erhalten. Nach erster Überwindung der Hemmschwelle zu den innovativen Möglichkeiten des Materials wird der Umgang damit schnell zur Routine. Das Expertenforum SCC gibt Ihnen einen Überblick über internationale Entwicklungen und Anwendungen. Es zeigt Ihnen Lösungen für den zielsicheren Einsatz und die Leistungsfähigkeit der österreichischen Beton(fertigteil)industrie. Schließlich bietet es Aussichten auf neue Entwicklungen, ausgelöst durch fast unglaubliche Innovationen am Sektor der Betontechnologie. Die Innovationskraft der Branche zeigt, dass sich die Zement- und Betonindustrie nicht der Nachhaltigkeitsdiskussion verschließt. Mit SCC werden neue, innovative Wege in der Konstruktion und im Bau von immer komplexeren Bauteilen und Bauwerken möglich. Das Expertenforum Beton begleitet auch Sie ein Stück des Weges!

DI Dr. Johannes Steigenberger
Institutsleiter
Forschungsinstitut der
Vereinigung der
Österreichischen Zementindustrie

DI Gernot Brandweiner, MBA
Geschäftsführer
Verband Österreichischer
Beton- und Fertigteilwerke

Inhalt

SCC-Concrete in Europe – a higher-grade product for the 3rd millennium	3
<i>Prof. Ir. Wim Bennenk</i> <i>Emeritus professor at Eindhoven University of Technology, (EUT), Niederlande,</i> <i>Manager BFBN – BELTON research projects on SCC</i>	
SCC als Antwort auf die Herausforderung architektonischer Wunschvorstellungen	10
<i>Arch. Roland Mayer, Arch. Peter Maximilian Bährle</i> <i>mayer baehrle freie architekten bda, Lörrach, Deutschland</i>	
Stand der Regelungen für SCC auf europäischer und nationaler Ebene	16
<i>DI Paul Kubeczko</i> <i>Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilerwerke, Wien</i>	
Pannensicherer SCC-Beton – Darstellung des Verarbeitungsfensters	20
<i>Ing. Markus Kroneder</i> <i>Geschäftsleitung Betonzusatzmittel Österreich,</i> <i>BASF Construction Chemicals Austria GmbH, Krieglach</i>	
Mehlkornoptimierung für Beton höchster Güte	24
<i>DI Dr. Jürgen Macht, Univ.-Doz. DI Dr. Peter Nischer</i> <i>Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, Wien</i>	
Betonfertigteile aus SCC – Anwendungen und Vorteile für Kunden und Hersteller	27
<i>Ing. Hannes Pentz, Betonwerk Rieder GmbH, Maishofen</i> <i>Bmst. DI Gerhard Meixner, Ing. Hans Lang GmbH, Terfens</i>	
Broad development potential for SCC: Carbon Fibre Prestressed high performance SCC	30
<i>Dr. DI ETH Giovanni Pietro Terrasi</i> <i>Head laboratory for Materials and Engineering, Empa, Swiss Federal Laboratories for</i> <i>Material Testing and Research, Dübendorf, Switzerland</i> <i>Georges BÄTTIG</i> <i>Director, SACAC Schleuderbetonwerk AG, Lenzburg, Switzerland</i>	
„Lichtbeton“-SCC in leichter Eleganz über die Gesetze der Statik erhaben	34
<i>Jörg Nachbaur</i> <i>Natex Lichtbeton GmbH, Götzis</i>	
Anspruchsvoller SCC - schaltungstechnische Antworten	36
<i>Gerald Grabner</i> <i>Technischer Leiter Osteuropa und Russland, Österreichische Doka, Amstetten</i> <i>DI Peter Reisinger</i> <i>Technischer Leiter Westeuropa, Österreichische Doka, Amstetten</i>	
SCC ist nachhaltig! Ein Vergleich mit Normalbeton	44
<i>Dr. Martin F. Bäumel, Dr. Giovanni Martinola und Ivo Schmid</i> <i>Concretum Construction Science AG, Zürich, Schweiz</i>	



Kompetente Partner - auch beim SCC.

Holcim (Wien) GmbH und Holcim (Vorarlberg) GmbH gehören zum weltweit tätigen Baustoffkonzern Holcim Ltd. Die Verpflichtung zu höchster Produktqualität und zur vollen Orientierung an unseren Kunden unter der globalen Marke Holcim überzeugt unsere Kunden - Bauherrn, Bauträger, Architekten, Plan- und Bauausführende - täglich aufs Neue. Mit unserem Spezialzement Flexremo, sowie den selbstverdichtenden Betonen (SCC) bieten wir eine Produkt- und Servicequalität, die auf ein gemeinsames Ziel ausgerichtet ist: die Zufriedenheit unserer Kunden.

Besuchen Sie unsere Homepage www.holcim.at und fordern Sie unsere neue Informationsbroschüre an.

Beton und Zement
ist unser Element.

Holcim (Wien) GmbH
Franzosengraben 7
A-1030 Wien
Telefon: +43 1 889 03 03
Telefax: +43 1 889 03 03 30
E-Mail: info-wien@holcim.com

Holcim (Vorarlberg) GmbH
Brunnenfelderstrasse 59
A-6700 Bludenz
Telefon: +43 5552 635 9150
Telefax: +43 5552 635 9180
E-Mail: info-autl@holcim.com

SCC-Concrete in Europe – a higher-grade product for the 3rd millennium

Prof. Ir. Wim Bennenk

Emeritus professor at Eindhoven University of Technology, (EUT), Niederlande, Manager BFBN – BELTON research projects on SCC

Abstract

In 1998, 24 Dutch precast concrete element manufacturers united in the association BELTON initiated the project to investigate the possibilities to apply Self Compacting Concrete in the industry. The required knowledge on SCC showed to be not available in the Netherlands, so it was decided to ask Kajima Corporation in Tokyo to transmit their knowledge on SCC to a small group of BELTON representatives. That was effectuated in the fall of 1998 at Kajima Technical Research Institute, KATRI, in Tokyo. The gained knowledge was then spread to all manufacturers and a huge collective development project of 24 companies started. Within 1 year the first commercial production was a fact and in 2000 most of the companies were producing SCC on a daily base. After having followed training courses organized by BELTON nowadays over 60 Dutch precast companies apply daily SCC for precast products of all kind under third body control; in 2006 almost 800.000 m³.

SCC differs in many aspects from vibrated concrete. Attention has to be paid to: the mix design procedure, the characteristics of fresh SCC in relation with the product, the modifications in installation and equipment, the mould technique, the way of casting and finishing, the appearance, the mechanical properties, the durability and the economical aspects. The listed aspects are discussed in this paper.

1 SCC, a challenge

Innovation is an essential condition to maintain and develop the position of the precast concrete industry, which is the most important supplier in the Dutch building industry. Almost 50% of all 16 million m³ concrete produced in our small and densely populated country is used for precast concrete units, varying from pavement to bridge girders. In the construction sector the

supplying industry is responsible for 80 % of all innovations, SCC is one of these. The BFBN is the national association affiliating 150 Dutch precast concrete manufacturers, while the association BELTON unites within the BFBN the 24 concrete element manufacturers. The idea to apply SCC for the production of precast concrete was discussed in 1998 within the BELTON many times, because it looked challenging and likable. A literature survey did not bring the essential knowledge. In principle it was decided all 24 BELTON members should join the development project on SCC, managed by the author. That is a peculiar and unusual situation, because the companies are competitors in the market. The first common decision in the project was to request Kajima to transfer their expertise concerning the design and application of SCC in general. After signing an agreement with Ka-

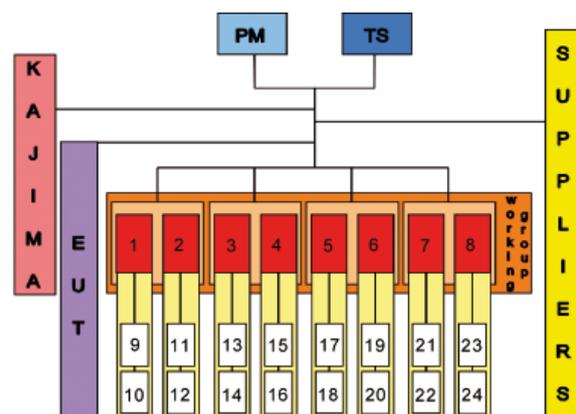


Figure 1: Schematic representation of the project organisation

jima, a very stimulating learning process started for all companies involved. A group of four went to Kajima Technical Research Institute in Tokyo to be trained in a 2 weeks lasting learning process. After the return to the Netherlands the acquired know how was globally transferred to all partners in the project. A project organisation as shown in Fig.1 was established. A working

group with representatives of 8 companies took the lead, each of them taking care for 2 other partners. The working group was working 2 by 2 together. The support of EUT and the co-operation with suppliers during the whole process was important for everyone. The project was partly financed by the Dutch Ministry of Economic Affairs.

2 The design of SCC

The design of SCC according the method developed by professor Okamura may be important for on site applications in Japan, but showed to be too costly for the industry. Nevertheless, we adopted the development method, according [1] resulting in the following:

- The fluidity and viscosity of the paste is adjusted and balanced by careful selection and proportioning of the cement and additions, by limiting the water/powder ratio and then by adding a super plasticizer and (optionally) a viscosity modifying agent (VMA). Correctly controlling these components of SCC and their interaction is the key to achieving good filling ability without vibration and stability against segregation.
- Controlling temperature rise, thermal and drying shrinkage cracking as well as strength, the fine powder content may contain a significant proportion of type I (inert) or type II (hydraulic or pozzolanic) additions to keep the cement content at an acceptable level.
- The volume of the paste must be greater than the void volume in the aggregate so that the individual aggregate particles are fully lubricated by a layer of paste. This increases fluidity and reduces aggregate friction, especially in the fine aggregate.
- The proportion of fine and or coarse aggregate in the mix is thus reduced so that individual stones are fully surrounded by a layer of mortar. This reduces aggregate bridging when the concrete passes through narrow gaps in reinforcement and is characterised as increasing the passing ability of the SCC.

2.1 The selection of the constituent materials

A wide range of cement types and brands is used by the 24 companies, while several filler types and plasticizers were available in the mar-

ket. An investigation started to learn the interactions between the different constituent materials in the paste as well as the performance of the paste itself. For this research at the EUT the flow-cyl method [2] is used to achieve that in a relative short period of time for quite a number of combinations of powder materials the relationship between the water cement ratio, the cement-filler plasticizer ratio, the early strength development and the paste flow could be determined. It provided the companies a deeper insight in the interactions between the constituent materials of the paste + plasticizer. There are some important considerations to make when selecting the materials:

- In general the type and brand of cement is the same as used for many years by a company. There must be strong reasons to change that. More cement types demand for silo capacity.
- In combination with the type of cement one may select a type I or II filler. Important is the water-retaining ratio β_p , showing the amount of water necessary to moisten the particle surface. A lower β_p means a lower water demand.
- The fillers of type I do hardly contribute to the short term strength development, but do slightly contribute to the 28 days compressive strength. The colour of the concrete will be rather constant and will show a perfect even surface with a slight grey–yellow tint.
- In case the concrete is not visible after construction a type II filler, like fly ash, is preferable, because fly ash contributes in the strength development although at a later stage, so can partly replace cement, although the early strength generally is dominant for the final cement content. The colour of SCC with fly ash will be grey and more uneven
- The selection of the plasticizer is based on a relative short workability and a strong water reduction. The dosage of the PCE plasticizer to create the required workability has firstly to be determined in mortar tests. Adjusted finally in full scale trial mixes.
- VMA is not widely used in the precast industry, because it is covering several changes in dosing or material properties. In one way attractive, but one should notice these changes in the mix and anticipate

immediately, to avoid lower product qualities than required.

- Attention should continuously be paid to possible changes in material properties, to be sure that the fresh concrete is reproducible.

2.2 Reproducibility

It is necessary for a successful production that the fresh concrete can be produced within small tolerances on fluidity and viscosity. That depends on one hand on the composition of the SCC and on the other hand on the selected materials.

Cement chemistry may affect the performance of SCC and may, for instance, determine the type of plasticizing admixture that can be used. Cement of a given type and from the same plant will normally be consistent within a small range from batch to batch but some manufacturers do make periodically changes to the chemistry and or fineness.

Moving to another source of cement, even of the same type or from the same manufacturer may have a larger effect and should be checked before a supply change is made.

Cements with a high water requirement tend to increase the viscosity of the paste and should be controlled by plasticizer addition rather than water, however in some cases, there may then be problems resulting from sensitivity to the dosage of admixture.[1]

The same situation is valid for the filler. The source, the chemical composition and grading may vary from delivery to delivery.

Therefore it is required to design a fresh self consolidating concrete with enough **robustness**. It means that small changes in the materials properties and dosing do change the characteristics of the fresh SCC only slightly. The robustness can be checked in mortar tests, see chapter 2.3.

Supplied cement, filler and plasticizer can be tested by checking the flow of paste containing the new material. A deviation in strength can be tested on 40 x 40 x 100 mm paste prisms.

2.3 The mix composition

2.3.1 The development of a specific SCC

In the BELTON project each manufacturer performed his own paste tests following the procedures learned in Japan. Starting with tests on paste, then on mortar and finally on fresh

concrete in the laboratory. The next step is to perform full scale trial mixes in practise.

It was quite a change for the concrete technologist to work on a laboratory scale, with parts of grams, etc, see Fig.2. Results and experiences were discussed in the Working Group and then periodically shared with all partners in progress sessions.

The mortar may contain a relative high volume of sand, compared with the Japanese mortar in SCC. It was learned that a ratio $V_{\text{sand}} / V_{\text{mortar}} = 0,45$, a slump flow of 300 to 350 mm and a funnel time between 5 and 12 seconds is a good base for SCC in the industry.



Figure 2a: Weighing powder and water accurately.



Figure 2b: Mixing the paste according to the fixed procedure.



Figure 2c: The flow of the paste measured.

The robustness of the mortar can be tested by choosing a fixed $V_{\text{sand}} / V_{\text{mortar}}$ ratio and dosage of plasticizer and by varying systematically the W/P ratio. Measure the flow and the funnel time at each step. Repeat the test by changing the plasticizer dosage slightly at a fixed W/P ratio. Perform then the previously described procedure for a slightly different $V_{\text{sand}} / V_{\text{mortar}}$ ratio. In a flow–funnel diagram the dots can be plotted for each $V_{\text{sand}} / V_{\text{mortar}}$ ratio. The magnitude of the changes in the flow–funnel values

for small differences in the materials or dosage shows the robustness of the mortar.

The last step in the development was to determine the right content of gravel or crushed coarse material, 16 mm and a small percentage of 32 mm. The upper limit is 60 %. The Dutch SCC shows high flow values, 750-850 mm and low funnel times without any segregation and enough stability. The possible high sand and gravel percentages, applying Dutch materials, were also found by Takada in his research at the Delft University.[3]

The total amount of water is approximately 160-170 litre, the cement content generally 350 ± 30 kg, the powder 525 ± 25 kg per m^3 . For durability reasons an effective water cement ratio of 0.45 is often required, which is feasible.

2.3.2 The performances of the SCC in fresh and hardened state

The fresh SCC should meet requirements on: stability, viscosity, filling and passing ability. The performance of the fresh self consolidating concrete in the precast concrete industry is directly depending on the type of element to produce. For elements produced in a horizontal positioned mould the fluidity and filling ability is dominant. For elements produced in a vertical mould and high reinforcement rates the viscosity and passing ability is dominant. In the precast concrete industry each type of element has in principle its own mix composition.

Another aspect that has to be reviewed is the compressive strength after 12 ± 2 hours, for double shift productions even after 7 ± 1 hours (> 35 MPa for prestressed elements and > 25 MPa for reinforced elements). The 28 days compressive strength is mostly beyond 75 MPa. The mechanical properties and time depending behaviour is generally spoken comparable with the normal concrete, although a lower E modulus may cause more camber of prestressed beams prestressed at an equal compressive strength. Tests show that cold joints may cause less shear capacity in the joint. In chapter 4 this subject is discussed.

2.3.3 Material costs

Depending on the type of filler, the material costs for SCC are € 5 to € 7 higher than for normal concrete (NC), while the SCC designed

with 40% sand and 50% gravel is € 11 to € 14 higher. It is clear that the cost increase has to be reviewed carefully in a very competitive market. It is the company's philosophy to design SCC at the lowest possible costs and to balance on the brink of segregation or to design SCC with a higher powder content to some higher costs, at the safe side and with a low rate of failure costs.

3 The modifications

3.1 The storage of materials.

It took some time for some companies to introduce SCC in the daily practise, due to the lack of storage capacity for an additional powder, such as the filler. The costs to position 1 or 2 additional silos are rather high, due to the required piling, foundation works and the screw transport of the powder to the weighing bunker.

3.2 The mixing station

A second modification concerns the containments for the new and additional plasticizer assuming that normal concrete will be used as well. Another modification concerns the programming for the adjustment of the water volume to add to the dry mix, respecting the measured moisture content of sand and gravel. These measuring methods are in general not accurate enough, even when newly installed.

It may be necessary to increase the weighing capacity of the balance for powders.

The mixing cycle will be slightly longer than for normal concrete. The installation of a wirbler in the mixing pan supplies more mixing energy and will increase the mixing quality and dura-



Figure 3: Wirbler and scraper installed



Figure 4: Hot and cool water installation

tion, see Fig.3. The latter is important because the casting speed tends to increase and waiting for the next delivery during casting operations is unacceptable. The possibility to cool and heat the mixing water is introduced in several installations, see Fig.4.

3.3 The concrete transport and temporarily storage system

The next step is to pay attention to the concrete transport system. Sometimes easily done with a 'kubel', a casting bucket directly filled under the mixer and transported with a forklift truck. During that transport the fresh SCC is continuously in movement and will not start to consolidate,

Figure 5



which is a comparable situation as for fresh SCC transport using tilting buckets.

In case the fresh concrete is stored temporarily, the SCC starts to consolidate. New energy has to be supplied to get the fresh SCC workable again. In the silos, used for temporarily storage of the fresh SCC, screws are installed to keep the SCC 'alive', see Fig.5.

3.4 Casting buckets, skips, casting machines

The casting buckets, skips, are for the same reason as mentioned previously also modified, while also the shape of the casting opening in many cases is adjusted. Casting SCC is quite different from casting normal concrete. By making a narrow casting opening, the available energy of the SCC comes free when cast. When an element is cast properly, the top surface of the concrete is may show the gravel particles floating in the SCC.

4 Placing, finishing and the appearance of the elements

4.1 Placing SCC

The implementation of SCC in the factories was a stepwise process; the implementation was executed per type of element. The workers were intensively coached by the concrete technologist and the quality manager. The casting technique of SCC had to be learned again.

Layers of cast concrete will start to consolidate. In case one waits too long, the second layer will not be combined with the first one. Using



Figure 6a:
Casting on ease



Figure 6b:
Casting rapidly

additional energy in the contact surface caused by lifting the kubel during casting, a joint is avoidable. Generally spoken, the casting speed will increase, see Fig. 6.

4.2 Finishing concrete

For finishing SCC after casting, practical methods have been developed. After waiting a period of time and sprinkling drop of water on the concrete, the surface of the element can be treated and finished, as specified by the client, see Figure 7. That period of time is depending on the type of SCC, the ambient temperature



Figure 7: Finishing the surface.

and the relative humidity in the hall. The use of a rake to level the SCC is almost indispensable. All finishing techniques for hardened concrete are possible, even polishing, see Figure 7.

4.3 The appearance

The visual quality of the element is generally beyond any expectation. The colour of SCC produced with limestone filler or quartz powder is equal and light grey, with a tendency to white, and is very appreciated by the clients and by architects. Even coloured SCC, based on white

cement and pigments, is widely produced. Due to the tightness of the joints and connections of the mould sides, the corners are sharp, as shown on the next images.

5 Results

In the next summary the positive aspects are listed:

- Working conditions are improved tremendously and will reduce the absence
- The coaching of the workers increases their involvement
- Moulds will wear less, complicated shapes are possible now
- Labour consumption is decreased
- No vibrators anymore necessary, savings > € 70.000 annually
- The visual quality is improved, the number of repairs reduced
- The better appearance is highly appreciated by the client
- Many applications and erections are finished successfully

The negative aspects are:

- The long term investments in equipment and installation
- The material costs increase
- More attention for material deliveries
- Increased efforts to maintain the quality of fresh SCC
- Training and coaching of the workers is required
- A high visual quality is demanded even when hardly necessary

Figure 8: Appearance SCC



6 Conclusion

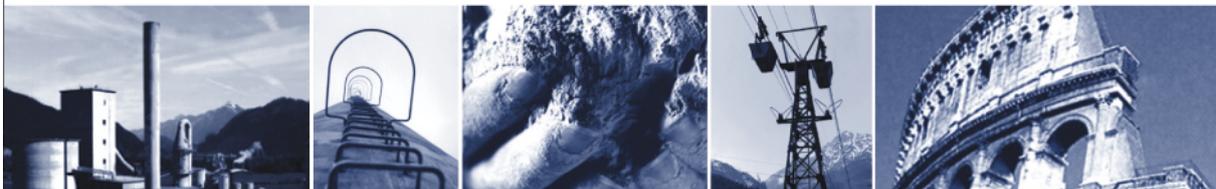
- SCC is the best innovation in the Dutch precast industry since many years.
- The collective development of BELTON members has improved the image of the precast concrete industry and also the contacts between the people involved in the process.
- The improved working conditions make it possible to interest young and skilled workers.
- Producing elements in SCC is cost effective and beneficial for both the precast concrete manufacturer and for the client.

References

- [1] Guidelines and specification for Self-Compacting Concrete. 1st -Draft April 2006. Published by ERMCO, EFCA, BIBM and EFNARC
- [2] Ernst, R.: TUE / BELTON VAB-VBB report volume 1 and 2. Master thesis. Eindhoven University of Technology, November 1999.
- [3] Takada, K. Influence of admixtures and mixing efficiency on the properties of self compacting concrete. Sub title: The birth of self compacting concrete in the Netherlands. Doctor Thesis at Delft University of Technology. May 2004. ISBN 90-407-2501-2



Zement · Kalk · Gips · Spezialbindemittel · Spezialbaustoffe · Anwendungstechnik



SCC-Spezialbindemittel ViscoCem

Hochleistungsbeton ViscoFill:

- Höchste Endfestigkeiten
- Minimales Schwinden
- Hervorragendes Fließen

mineralisch kreativ

Schretter & Cie
 A-6682 Vils · Tirol
 Tel.: +43 (0)5677/8401 · 0
 Fax: +43 (0)5677/8401 · 222
 office@schretter-vils.co.at · www.schretter-vils.co.at

SCC als Antwort auf die Herausforderung architektonischer Wunschvorstellungen

Arch. Roland Mayer, Arch. Peter Maximilian Bährle
mayer baehrle freie architekten bda, Lörrach, Deutschland

Das phaeno in Wolfsburg 2000-2005

Das Gebäude, dessen Planung und Realisierung wir Ihnen vorstellen, entstand in Wolfsburg, eine Stadtgründung Ende der 30er-Jahre, eine Industriestadt als Gartenstadt, mitgeprägt von Bauten von Hans Scharoun und Alvar Aalto. Hinter dem Namen phaeno verbirgt sich eine Experimentierwelt zum Thema Naturwissenschaft und Technik. Die Lust am Ausprobieren und die Faszination an realen Phänomenen sollen Menschen aller Altersklassen einen neuartigen Zugang eröffnen, der sich klar von der architektonischen Konzeption des klassischen Museums unterscheidet. Die enge Verbindung zwischen den Inhalten und einer topografischen Architektur wird durch die Bezeichnung Experimentierlandschaft betont. Die Bildungs- und Kultureinrichtung gehört zur internationalen Gattung der Science Center und geht letztlich auf das Vorbild des Exploratoriums in San Francisco zurück.

Das Gebäude liegt im städtischen Gefüge zwischen Zentrum im Süden, Bahnhof im Westen, dem historischen Werksgelände der Automobilfabrik und ihrer neuen Publikumsattraktion, der Autostadt im Norden. Das Gebäude besetzt somit eine Schlüsselposition.

Das Konzept überwindet die bisherige strikte Trennung der verschiedenen Bereiche Wolfs-

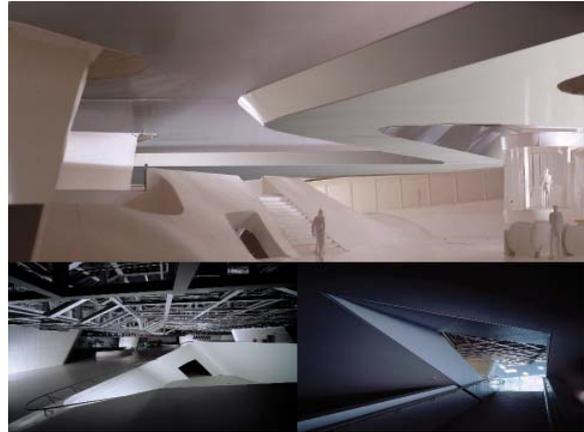


burgs durch eine dichte räumliche Verschränkung. Aus der Analyse der Verkehrsströme, aus städtebaulichen Sichtachsen und internen Blickbeziehungen entwickelt sich eine komplexe Beziehung, die im Gebäude überlagert wird und zu einer dynamischen Komposition führt.

Das Architekturthema der Gebäudepassage wird aufgegriffen und verarbeitet. Das Gebäude entwickelt eine hohe Durchlässigkeit und ist über mehrere fast gleichwertige Zugänge aus unterschiedlichen Richtungen erreichbar. Die topografische Gestaltung der öffentlichen Ebene verlängert den Innenraum des Gebäudes in die Stadt hinein.

Die hoch liegende Halle ist vielfach funktional mit der Stadt verbunden. Die 10 konischen





Volumina oder Krater, die das Gebäude tragen, enthalten einen Buchshop, gastronomische Einrichtungen, Werkstätten und die Eingangsfoyers. Eine Stadt in der Stadt.

Der Entwurf forderte eine bauliche Umsetzung, die nicht in herkömmlichen Kategorien von Stützen, Balken und Decken denkt, sondern eine plastische Formgebung aus „einem Stück“ verlangt.

Im Gegensatz zur verbreiteten standardisierten Betonbauweise, meist unter Verwendung von ebenen Schalsystemen und Normalbeton, in seinen unterschiedlichen Festigkeitsklassen, musste hier ein System mit Einsatz von individuell gefertigter Schalung und ein spezieller Beton zum Einsatz kommen.

Der übliche Normalbeton versagt durch seine limitierte Konsistenz, wenn Wände mit geneigten und gebogenen Wandquerschnitten unter Berücksichtigung der notwendigen Bewehrung und der haustechnischen Einlegeteile betoniert werden sollen.

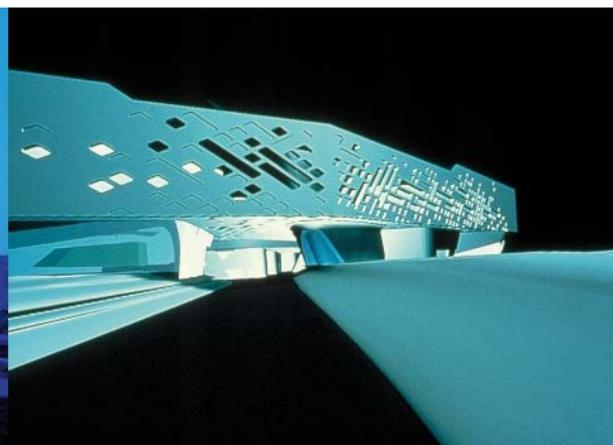
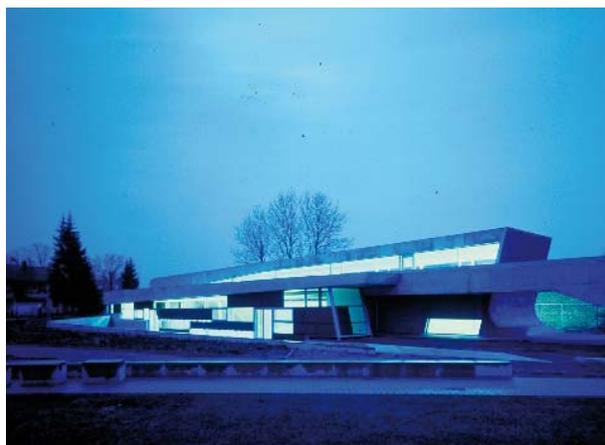
Ein Verdichten in diesen geometrischen Formen ist unmöglich, und daher musste ein neues

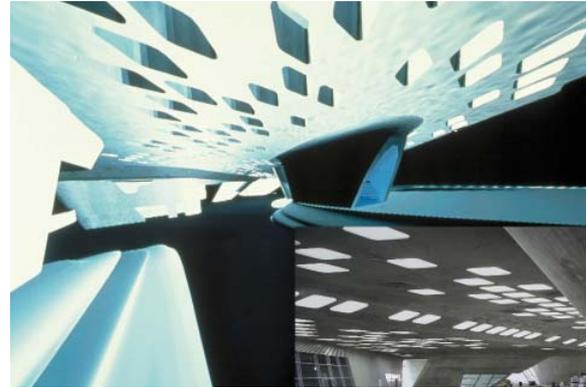
Material gefunden werden. Die spannende, interessante Suche führte uns zu einem relativ neuen Beton, dem selbstverdichtenden Beton.

Dieser Beton hatte seine bisherigen Einsatzmöglichkeiten überwiegend in Ingenieurbauwerken gefunden. Erst mit dem Anbau an das königliche Theater in Den Haag rückte er deutlicher in den Blickwinkel der Architekten.

Eine Reise, via Science Center in Amsterdam, nach Den Haag ermöglichte interessante Gespräche mit dem planenden Tragwerksplaner über die Herstellungsart sowie über die Vor- und Nachteile des Einsatzes von SVB (selbstverdichtender Beton). Die Oberflächen, die wir in Den Haag antrafen, waren mittels glatter Tafelschalung erzeugt worden, aus ästhetischen Überlegungen wurde beim phäno eine Differenzierung der verwendeten Schalung vorgenommen.

Beim SVB wird eine Betonmischung eingesetzt, deren Konsistenz honigartig fließend ist und damit ein nachträgliches Verdichten entfallen lässt. Dies bedeutet, dass die Schalung nur durch den Betondruck vollläuft, ohne Hohlräume zu hinterlassen.





So weit die Theorie – in der Praxis gab es Schwierigkeiten unterschiedlichster Art, die zu bewältigen waren, wie z. B. die richtige Annahme des erhöhten Schalungsdruckes, das sinn-gerechte Einbringen des Betons etc. Zusätzlich musste die behördliche Hürde überwunden werden, da die Ausführung mit SVB in Deutschland nur mit einer Genehmigung im Einzelfall zugelassen wird.

Für die Oberflächengestaltung des Betons haben wir folgendes Konzept entwickelt: strukturierte Oberflächen im Bereich der Konen, dort wo wir SVB einsetzen, im Gegensatz dazu werden die Außenwände des Hauptbaukörpers, die ebenfalls mit SVB hergestellt werden, mit glatter Schalung ausgeführt.

Die angesprochene strukturierte Oberfläche wird mittels einer zimmermannsmäßig gefertigten gehobelten Brettschalung erzeugt, die einzelnen Bretter sind z. T. konisch zugeschnitten, um den Übergang der geneigten und teilweise gerundeten Wandflächen sinnfällig herzustellen. Die Brettbelegung für jede Fläche wird exakt geplant, um das Resultat so präzise wie möglich vorzubestimmen. Die gerundeten Übergänge zwischen den Wänden und der Hauptdecke, die den Boden der ca. 6.000 m² Ausstellungsfläche bildet, werden mit einer glatten Schaloberfläche hergestellt, um den Übergangsbereich optisch der Decke zuzuordnen. Die Rundung wird mit GFK-Schalkörpern hergestellt, die anschließend eine Spachtelung erhalten.

Die Untersicht der Kassettendecke, der räumliche Abschluss der Eingangsplaza, erhält eine glatte Flächenschalung, die ihre Strukturierung durch die laminierten Kassetten erhält.

In dem Teil der Außenwand des Ausstellungsraumes, die sich der Stadt zuwendet, wurde eine raumseitig gedämmte Betonfertigteil-

fassade in die Ortbetonwandteile eingebettet. Die Fertigteile sind bis zu 12 m lang und max. 4 m breit – bei einer Gesamtdicke von ca. 22 cm. Die Befestigung erfolgt an der raumseitigen Stahlkonstruktion, die zusätzlich einen Teil der Dachlasten abträgt. Die großen Verglasungen erlauben, vom Innenraum die angebundene Stadt aus den verschiedensten Blickwinkel zu betrachten.

Die Innenraumgestaltung folgt der Idee der modellierten Landschaftsfläche des Außenraumes. Erreicht man vom Haupteingang über zwei Rolltreppen die Hautebene, so gewinnt man einen Raumeindruck, der dem der Plaza entspricht, den Eindruck modellierter Landschaft, d. h. die Raumwahrnehmung erfährt in der Bewegung durch Auflösung des durchgängigen Sicht- und Blickhorizontes auch beim wahrnehmenden Subjekt eine permanente Veränderung.

Der Pocketbereich – ein taschenförmig aufgefalteter Raum, der durch Absenken und Überhöhen der Hauptdecke entsteht, gliedert die Hautebene horizontal und setzt so einen Gegenpol zu den vertikal durchgehenden Konen. Große Öffnungen in den schrägen Decken- und Wandbereichen erlauben Einblicke in die Welt der Labore und Experimentierfelder und ermöglichen auch raumübergreifende Experimente wie z. B. einen Feuertornado.

Der horizontalen Figur der Pocket gegengelagert ist der cone 3 mit seinem betont vertikalen Charakter, der in mehreren Schichten vom Untergeschoss bis zum Dachtragwerk durchgeht und über eine gewendelte Sichtbetontreppe die Außenplaza mit dem Innenraum verbindet. Weitere vertikale Elemente, die in die Konen integriert sind, sind die Fluchttreppenhäuser sowie die Schachtzonen der Gebäudetechnik.

Die äußerste Schicht von Konus 3 wird durch eine splitternde Glasbalustrade gebildet. Diese Konstruktion im Empfangsbereich der Hauptebene betont die Idee der Betonkonen und visualisiert die Idee der von der Hauptebene abfallenden Krater.

Alle tragenden, konenumschließenden Wände münden in ein räumliches Stahltragwerk, eine 2,00 m hohe Stahl-Vierendeel-Konstruktion, die durch ihre mit Höhenversprüngen gestaltete Fläche den Gedanken der modellierten Plaza bis ins Dach transportiert. Fast 500 Tonnen Stahl wurden in einer Höhe von ca. 17 m eingebaut. Sie bilden eine freitragende Konstruktion, welche die 6.000 m² große Fläche ohne Stützen überspannt. Der Trägerrost basiert auf einem System, das nicht parallel verläuft, sondern fächerförmig angelegt ist, dies hatte zur Folge, dass ca. 3.000 verschiedene Knotenpunkte ausgeführt wurden.

Trotz der Erfahrungen der römischen Baumeister mit dem opus caementitium ist der Stahlbeton, so wie wir ihn heute verwenden, bekanntlich ein recht junger Baustoff, wenn man sich vergegenwärtigt, dass die ersten Patente um 1870 an den französischen Gärtner und Bauunternehmer Monier erteilt wurden. Ein junger Baustoff, der sich in einem fortwährenden Entwicklungsprozess befindet, was sich auch in der aktuellen Fortschreibung der Normung und Regelwerke wie z. B. der Neufassung der DIN 1045, der Neufassung der DIN 18331, der mittlerweile erfolgten Einführung der WU-Richtlinie und der SVB-Richtlinie niederschlägt.

Für Sichtbeton, inzwischen auch häufig als Architekturbeton bezeichnet, existiert in Deutschland nach wie vor weder eine verbindliche Definition noch Vorschriften oder Richtlinien, was



die Schwierigkeiten einer rechtsverbindlichen Definition für eine bauvertragliche Vereinbarung deutlich macht.

Wenn man von der gemeinhin gebräuchlichen Auffassung ausgeht, dass unter Sichtbeton Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen zu verstehen sind, wird klar, dass die schwierige Aufgabe für den Architekten bei der Planung eines Sichtbetongebäudes, also noch weit bevor der erste Beton fließt, darin liegt, diese Anforderungen

- zunächst selbst zu verstehen
- dem Auftraggeber zu vermitteln
- in die Planung – auch in die Kosten- und Zeitplanung zu integrieren
- mit der Vielzahl der fachlich Beteiligten zu koordinieren
- in der Leistungsbeschreibung kalkulierbar zu formulieren
- über das vergaberechtlich richtige Ausschreibungsverfahren durchzusetzen
- schließlich in der Baustellenwirklichkeit umzusetzen.



Der Beton, den wir für die Konenwände gebrauchten, weicht aufgrund seines hohen Mehlkorngehaltes und seiner Konsistenz in seinen Eigenschaften und seiner Verarbeitung wesentlich von der DIN 1045 ab. Es handelte sich daher im bauordnungsrechtlichen Sinn um ein nicht geregeltes Produkt. Die Verwendung bedurfte deshalb einer Zustimmung im Einzelfall, ein zeitintensiveres Verfahren, bei dem für eine ganz bestimmte Betonrezeptur – und nur für diese – unter genau definierten Rahmenbedingungen eine Genehmigung erteilt wurde. Zum Faktor Zeit nur so viel: Die Zulassung wurde am 26.2.2002 erteilt, der erste Beton floss termingerecht am 2.3.2002.

Zusätzlich zu den üblichen Anforderungen an eine B-II-Baustelle nach DIN 1045 war mit der Zustimmung im Einzelfall ein umfangreiches Qualitätssicherungsmanagement im Werk und auf der Baustelle gefordert, das einen entsprechend hohen logistischen Aufwand bei den Beteiligten bedingt und beispielsweise bis hin zur Kennzeichnungspflicht der Fahrsmischer den gesamten Ablauf von der Betonbestellung bis zur Nachbehandlung regelt.

Aus den Erfahrungen verschiedener Projekte mit entsprechender Zulassung konnte inzwischen die SVB-Richtlinie eingeführt werden, die die heutigen Kenntnisse zusammenfasst.

Wir hatten die Konen im Untergeschoß dazu ausersehen, die ersten Erfahrungen mit dem für alle Beteiligten neuen Baustoff zu machen. Unsere Erwartungen wurden im Wesentlichen erfüllt, wobei bei allen Betonagen im Untergeschoß Kinderkrankheiten wie z. B. horizontale Schlierenbildung durch das Aufschwimmen anorganischer Bestandteile des Zusatzstoffes Kalksteinmehl in Erscheinung traten, die dann

Schritt für Schritt analysiert und behandelt wurden. Für uns war jedoch nach den Erfahrungen in unserem „Experimentierkeller“ klar, dass wir den richtigen Weg eingeschlagen hatten. Allerdings war der in der Zulassung festgelegte Temperaturkorridor äußerst eng und führte z. B. dazu, dass im Sommer viele Betonagen nachts durchgeführt werden mussten (was von der Lärmemission her möglich ist, da auf das Rütteln verzichtet werden kann).

Die in der Ausschreibung definierten Anforderungen an die Betonoberflächen der Konaußenwände sind in den Qualitätssicherungsplan auf der Baustelle eingeflossen. Für die Schalung wurde durch uns bereits in der Ausschreibung eine Einteilung in drei Kategorien vorgegeben, wobei Kategorie a die höchste Anforderungsstufe an die Oberflächenqualitäten darstellt. Am cone 4, dem letzten im UG, sollten nochmals alle bisher gemachten Erfahrungen mit dem SVB und alle unsere im Iv präzise formulierten Anforderungen summarisch umgesetzt werden, all die kleinen Details in der Schalung, die sich dann zum fertigen Erscheinungsbild fügen; die Brettstöße, die konisch geschnittenen Übergänge, die Oberflächenbehandlung der Schalung, die Bindelöcher, die Abstandhalter, all die Kleinigkeiten eben, die nach dem Ausschalen in ihrem Zusammenspiel der Betonoberfläche ihr Gepräge geben. Die so entstandenen Wandflächen wurden dann als Musterflächen für die weitere Ausführung festgelegt.

Für die senkrechten Außenwände hatten wir aufgrund bisheriger Erfahrungen eine Ausführung mit Normalbeton vorgesehen. Der erste Betonierabschnitt wies jedoch erhebliche Mängel auf und wurde in einer zeit- und arbeitsauf-



wändigen Aktion abgebrochen. Der Vorschlag der ausführenden Firma, horizontale Arbeitsfugen anzuordnen, um die Schütt- und Rüttelhöhe zu reduzieren, war für uns nicht akzeptabel. Zusammen mit dem Tragwerksplaner und der Rohbaufirma wurde schließlich festgelegt, die Außenwände unter zusätzlicher Anordnung von innen liegenden Lisenen mit selbstverdichtendem Beton auszuführen. Das Ergebnis in den Flächen war erheblich besser als mit Normalbeton und liegt sowohl was das Gefüge und die Porigkeit als auch was die Farbe betrifft im Rahmen dessen, was man aufgrund des Wandquerschnittes, der Wandhöhe sowie der Bewehrungsdichte besonders im Anschluss an die Decke erwarten kann.

Auf der Südwestseite, der Stadt zugewandt, entwickelt sich die Fassade aus der Deckenuntersicht und ist stark perforiert durch Fensteröffnungen. Die z. T. sehr dünnen Stege zwischen den Öffnungen sind sogar mit selbstverdichtendem Beton nicht mehr ausführbar. Der gesamte Bereich wurde deshalb als Betonfertigteilfeassade konzipiert und geplant, für die als primäre Tragstruktur die Stützen des Stahldachtragwerkes dienen.

Die hohen geometrischen Anforderungen an die Fertigteilfeassade ergeben sich zum einen in der Fassadenebene durch den Knick, die Schräglage der Elemente und die Anschlüsse und linearen Übergänge an die Ortbetonfassade. Zum anderen bestand eine große Schwierigkeit darin, auf der unregelmäßig überhöht betonierten Decke zunächst eine Stahlsubstruktur in der richtigen Ebene zu montieren.

Ich möchte nun im Weiteren auf die Boden- und Deckenflächen zu sprechen kommen. Denn bevor die Konen und die Außenwände sich erheben konnten, musste zunächst eine gewaltige Menge Beton, mehr als 12.000 m³, in diesem Fall noch B35 herkömmlicher Art, in die Baugrube fließen, um die bis zu 1,10 m dicke Bodenplatte herzustellen, die die Tragwerksplaner aus London und Hannover gewählt hatten, um das einzigartige Tragwerk zu gründen. Und damit waren auch die gekrümmten, gekurvten, schräg aufstrebenden Anschlusseisen im Geflecht der Bewehrung zu fixieren, und zwar so zu fixieren, dass sowohl die Mindestüberdeckungen im späteren Wandquerschnitt gewährleistet waren als auch sichergestellt war,

dass später die Konenwände genau am richtigen Punkt im Raum die Decken trafen, d. h. bereits in der Ausführung der Bewehrung der Bodenplatte entschied sich die Geometrie des gesamten Gebäudes.

Die Fixierung der Anschlussbewehrung erfolgte mit Schablonen, auch diese Überlegungen sind ein Bestandteil der Planung, der schon bei der Ausschreibung klar sein muss, da bei den sich frei im Raum entwickelnden Formen die Vermessung und die vermessungstechnische Kontrolle eine gewichtige Rolle spielen.

Bei der Ausführung von horizontalen Flächen sind die Witterungseinflüsse weit einflussreicher als bei Wänden, selbst wenn diese stark geneigt sind.

Die Decke der Hauptebene mit einem Gesamtquerschnitt von 90 cm bindet in die Konenwände ein. Innerhalb des Querschnitts liegen rautenförmige Kassetten für Beleuchtungselemente und ebenfalls rautenförmige Blindschalkörper zur Reduktion des Gewichtes. Während der Ausführung der Rohbauarbeiten wurde beschlossen, die Decke in zwei horizontalen Abschnitten zu betonieren. Für die untere Lage wurde selbstverdichtender Beton verwendet, um ein vollflächiges Unterlaufen der hochbewehrten Bereiche unter den Blindschalkörpern zu erreichen und gleichzeitig ein Aufschwimmen dieser Leichtbauteile zu verhindern. Die fertige Deckenuntersicht erzählt dann alles über die Geschichte ihrer Entstehung besonders über die lange Stand- bzw. Liegezeit der Schalung bedingt durch langwierige Auseinandersetzungen zwischen Rohbauer und Tragwerksplanern über Arbeitsabschnitte, Arbeitsfugenausbildungen, Überhöhungen, Ausschallkonzepte für ein gewaltiges Bauteil wie es so oder so ähnlich noch nie realisiert wurde.

Es ist also, wie Sie gesehen haben, beim phäno vielfach gelungen, dem Raum mit Beton Gestalt zu verleihen. Für uns bedeutet die Fertigstellung dieses Gebäudes, dass wir jetzt den Weg zwischen Gestalt und Material in beiden Richtungen vollständig gegangen sind und es stellt sich für uns die Frage, welche Richtung wir weitergehen, die unsichere von der Gestalt zum Material oder die sichere vom Material zur Gestalt.

Stand der Regelungen für SCC auf europäischer und nationaler Ebene

DI Paul Kubeczko

Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilerwerke, Wien

Regelungen für SCC auf europäischer Ebene

SCC – Self Compacting Concrete (selbstverdichtender Beton) – ist ein Beton, der für den Einbau keine Verdichtung benötigt. Er verdichtet sich allein durch sein eigenes Gewicht, füllt dabei die Schalung komplett aus und erreicht vor allem auch bei sehr dichter Bewehrung eine vollständige Verdichtung.

Die hohe Fließfähigkeit sowie die Sicherheit gegen Entmischung von SCC gewährleisten ein hohes Maß an Homogenität, minimale Hohlräume im Beton, eine einheitliche Druckfestigkeit und vor allem eine sehr hohe Oberflächenqualität. SCC wird zumeist mit einem geringen Wasser-/Bindemittel-Wert hergestellt. Damit wird eine hohe Frühfestigkeit erreicht und in weiterer Folge ist eine frühe Entschalung der Bauteile möglich.



Europäische Richtlinien für SCC

Feststellung, Produktion und Anwendung

Mai 2005

Deutsche Übersetzung, August 2006



Die „Europäischen Richtlinien für SCC“

Der erhärtete SCC hat die gleichen konstruktiven Eigenschaften wie herkömmlicher Beton.

Im Gegensatz zur Verwendung von herkömmlichem Beton müssen bei SCC für die vollständige Verdichtung keine Rüttler eingesetzt werden. Die Arbeiter sind dadurch weniger Lärm und Vibrationen ausgesetzt und die Bedingungen auf der Baustelle bzw. im Fertigteilerwerk werden erheblich verbessert.

Aufgrund der Tatsache, dass SCC viele Vorteile im Vergleich zu konventionellem Beton aufweist, findet er immer mehr Verbreitung. Auf europäischer Ebene sah man daher den Bedarf, einheitliche Regelungen festzulegen.

SCC wurde in den späten 1980er-Jahren in Japan entwickelt, in Europa ist er seit Mitte der 1990er-Jahre in Verwendung. Im Sommer 1998 wurde selbstverdichtender Beton erstmals in größerem Ausmaß in Österreich beim Bau des Millennium Towers in Wien eingesetzt.

So wurde im Jahr 1994 von den fünf europäischen Organisationen

BIMB	Europäischer Verband für Betonfertigteile
CEMBUREAU	Europäischer Verband der Zementproduzenten
ERMCO	Europäischer Verband der Transportbetonerzeuger
EFCA	Europäischer Verband der Betonzusatzmittelhersteller
EFNARC	Europäischer Verband der Bauchemikalienhersteller

eine europäische Projektgruppe gegründet, mit der Aufgabe, eine Richtlinie für SCC zu erstellen, die in weiterer Folge eine breite Akzeptanz finden soll.

Das Ergebnis dieser Arbeit sind die europäischen Richtlinien für SCC, die im Mai 2005 in englischer Sprache herausgegeben wurden.



Verwendung von SCC im Betonfertigteilwerk

Die Übersetzung der englischen Originalfassung der Richtlinien erfolgte im Jahr 2006 durch den Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke (VÖB), den Güteverband Transportbeton (GVTB) und die Zement + Beton Handels- u. Werbeges.m.b.H. (Z+B).

Die „Europäischen Richtlinien für SCC“ stellen den derzeitigen „Stand der Technik“ dar und richten sich an alle damit Befassten wie Planer, Konstrukteure, Auftraggeber, Hersteller und Anwender.

Die „Europäischen Richtlinien für SCC“ definieren SCC selbst und viele der technischen Ausdrücke, die zur Beschreibung der Eigenschaften und der Anwendung von SCC verwendet werden. Sie bieten auch Informationen zu Normen im Zusammenhang mit der Prüfung von SCC und über Normen für die Ausgangsstoffe, die bei der Herstellung von SCC verwendet werden.

Für Transport- und Ortbeton werden Anforderungen an die Lieferbedingungen zwischen dem Verarbeiter und dem Lieferanten gestellt, welche die Spezifikation von Frisch- und Festbeton betreffen. Zusätzlich umfasst die Richtlinie spezielle und wichtige Anforderungen für den Anwender von SCC hinsichtlich der Vorbereitung der Baustelle und der Einbaumethoden.

Die Festlegung von Beton bei Fertigteilen basiert üblicherweise auf der Qualität des Endprodukts in erhärtetem Zustand gemäß den Anforderungen der entsprechenden Produktnormen

auf der Grundlage der EN 13369: „Allgemeine Regeln für Betonfertigteile“. Die EN 13369 bezieht sich nur auf diejenigen Teile der EN 206-1, welche die Anforderungen für den Beton in erhärtetem Zustand betreffen. Die Anforderungen an den Beton in frischem Zustand werden durch interne Spezifikationen des Herstellers definiert.

Mit dieser Richtlinie wird dem Hersteller eine Hilfestellung bei der Kontrolle und Anwendung sowie bezüglich der Wechselwirkungen von Gesteinskörnungen und Zusatzmitteln gegeben. Da es aber viele verschiedene Möglichkeiten zur Erstellung von Rezepturen für SCC gibt, wird keine spezielle Methode explizit empfohlen. Es ist jedoch eine umfangreiche Literaturliste mit Werken zur Erstellung von Betonrezepturen angeführt.

Hilfestellung wird dem Auftraggeber bzw. Anwender von Transport- und Ortbeton bei der Lieferung und beim Einbau gegeben. Weiters werden spezielle Hinweise im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Anforderungen aller betroffenen Bereiche gegeben.

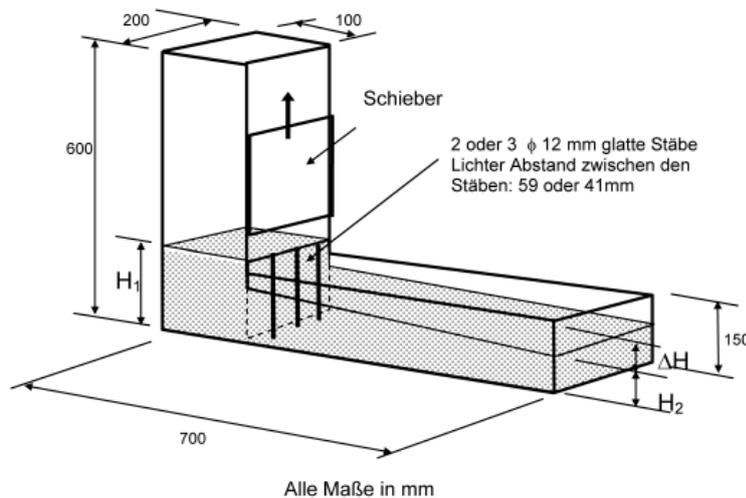
Die Richtlinie umfasst 63 Seiten und gliedert sich in 12 Abschnitte und einen 3-teiligen Anhang.

Selbstverständlich wird auf sämtliche einschlägigen Normen wie

- EN 197-1 Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement



Siebttest zur Prüfung der Sicherheit gegen Entmischung



L-Box-Test

- EN 1992-1 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau; Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
- EN 12620: Gesteinskörnungen für Beton
- EN 13369: Allgemeine Regeln für Betonfertigteile
- EN 13670: Ausführung von Betontragwerken
Bezug genommen.

Die Abschnitte 1 bis 4 bestehen aus den „Standardkapiteln“ Einführung, Anwendungsbereich, Normative Verweisungen sowie Begriffe und Definitionen.

Im Abschnitt 5 - Konstruktive Eigenschaften – finden sich u. a. Hinweise bzw. Bestimmungen zu Druck- und Zugfestigkeit, E-Modul, Kriechen, Schwinden, Brandwiderstand und Dauerhaftigkeit.

Der Abschnitt 6 legt Bestimmungen für Transport- und Ort beton fest.

Im Abschnitt 7 werden die Bestandteile wie Zement, Zusatzstoffe, die Gesteinskörnungen, vor allem die für SCC wichtigen Zusatzmittel wie Fließmittel und die Viskosität beeinflussende Mittel geregelt.

Im Abschnitt 8 finden sich Hinweise auf Rezepturen und deren Erstellung.

Die Abschnitte 9 bis 11 beschäftigen sich mit der Herstellung von Transport- und Ort beton, den Anforderungen und Vorbereitungen auf der Baustelle sowie dem Einbau und der Nachbehandlung.

Abschnitt 12 behandelt die speziellen Bestimmungen für Betonfertigteile und im Abschnitt 13 werden Bestimmungen betreffend Aussehen und Oberflächenqualität getroffen.

In den Anhängen A, B und C, die rund ein Drittel des Umfangs der Richtlinie ausmachen, sind vor allem Prüf- und Testmethoden festgelegt sowie Lösungsansätze zu möglicherweise auftretenden Problemen beschrieben.

Die europäische Richtlinie für SCC kann von der Homepage des Verbandes der Österreichischen Beton- und Fertigteilwerke (VÖB) – www.voeb.com – kostenlos herunter geladen werden.

Die Richtlinie hat einen „pränormativen“ Charakter, d. h. die hier getroffenen Festlegungen und Prüfmethode für SCC werden sich in Zukunft in einer europäischen Norm wiederfinden. Es ist beabsichtigt, die entsprechenden Festlegungen in einer Ergänzung zur europäischen Betonnorm EN 206-1 zu treffen. Die diesbezüglichen Beschlüsse im relevanten europäischen Normungskomitee wurden bereits getroffen.

Regelungen für SCC auf nationaler Ebene

Die Regelungen für SCC auf nationaler – d. h. auf österreichischer Ebene – wurden im Merkblatt „Selbstverdichtender Beton“ (SCC) ge-

troffen, welches im Dezember 2002 von der Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik herausgegeben wurde.

In dieser Richtlinie finden sich u. a. Bestimmungen zu Betonzusammensetzungen, Herstellung, Einbau sowie Nachbehandlung. Weiters wird der Konformitätsnachweis geregelt und es finden sich auch Hinweise für den Ausschreiber.

Dieses Merkblatt ist mittlerweile knapp 5 Jahre alt und soll im Laufe des Jahres einer Überarbeitung unterzogen werden, wobei die vorhin vorgestellten europäischen Richtlinien Eingang finden sollten.

Zu beziehen ist das Merkblatt bei der Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik über die Homepage www.concrete-austria.com.

Zusammenfassung

SCC weist im Vergleich zu konventionellem Beton viele Vorteile auf und findet daher immer mehr Verbreitung. Mit der Schaffung von einheitlichen europäischen Regelungen für SCC wird allen Beteiligten ein Werkzeug zur sichereren Anwendung dieses Produktes gegeben. In weiterer Folge soll mit diesen „pränormativen Festlegungen“ auch die Akzeptanz dieses Produktes erhöht werden. Die in den Richtlinien getroffenen Festlegungen und beschriebenen Prüfmethode für SCC werden in einer allgemein gültigen europäischen Norm Eingang finden.

Lust auf SCC?

**BASF Construction
Chemicals Austria GmbH**

Roseggerstraße 101
A-8670 Krieglach
T +43 3855 2371 0
F +43 3855 2371 23
office.austria@basf.com

www.basf-cc.at



Pannensicherer SCC-Beton – Darstellung des Verarbeitungsfensters

Ing. Markus Kroneder

Geschäftsleitung Betonzusatzmittel Österreich, BASF Construction Chemicals Austria GmbH, Krieglach

Verarbeitungsfenster von SCC

Die anwendungstechnische Erfahrung beim Einsatz von selbstverdichtendem Beton (SCC) zeigt, dass das Verarbeitungsfenster, also jener Bereich, in dem der SCC optimale Frischbetoneigenschaften aufweist, bei vielen üblichen SCC-Betonrezepturen sehr klein ist. Das Verarbeitungsfenster definiert den Zusammenhang zwischen der Frischbetonkonsistenz, definiert als Fließmaß, und der Viskosität (Klebrigkeit) des SCC, definiert als Ausfließzeit aus dem V-Trichter (die Prüfmethode sind in der europäischen Richtlinie für SCC - Ausgabe Mai 2005 - dokumentiert).



Bild 1

Als praxisgerechte und auch in der einschlägigen Fachliteratur meistpublizierte Grenzwerte können 65-75 cm Fließmaß und 10-20 Sekunden Ausfließzeit empfohlen werden. Das entspricht der Fließmaßklasse SF2 und der Viskositätsklasse VS2/VF2 lt. europäischer Richtlinie für SCC (Ausgabe Mai 2005).

Frischbetonprüfung von SCC

Nur die konsequente Prüfung beider Kennwerte (Fließmaß und Fließzeit), sowohl bei der Rezepturenentwicklung als auch bei der laufenden Qualitätskontrolle, stellt sicher, dass die an

SCC gestellten hohen Anforderungen zielsicher erfüllt werden.

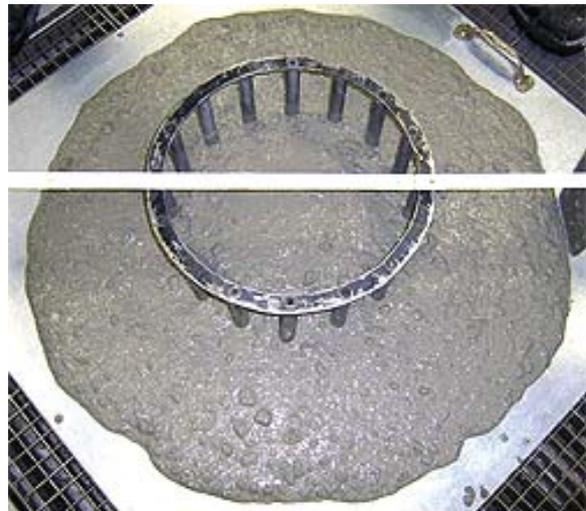


Bild 1.1.1: Fließmaß mit Blockiererring

Bild 1.1.2: V-Trichter zur Bestimmung der Auslaufzeit



Das Verlassen des Verarbeitungsfensters führt entweder zum Verlust der selbstverdichtenden und selbstentluffenden

Eigenschaft oder die Sedimentationsstabilität geht verloren und der SCC wird instabil und entmischt. Naturgemäß liegt hier ein direktes Zusammenspiel aus Fließfähigkeit und Klebrigkeit vor, welches bei den hohen Ansprüchen an SCC eben wenig Spielraum lässt.

Bei der Fließmaß-Prüfung empfiehlt sich, immer den Blockkiering einzusetzen, da dadurch Unzulänglichkeiten in der Beton-zusammensetzung aufgezeigt werden, auch wenn die Kennwerte „Fließmaß“ und „Fließzeit“ noch innerhalb der Vorgabewerte liegen. Bei optimaler Zusammensetzung des SCC wird der Kennwert Fließmaß durch den Blockkiering praktisch nicht beeinflusst.



Bild 2: Beginnende Blockierneigung der groben Gesteinskörnung

Rezepturenentwicklung – Okamura-Verfahren

Für eine zielgerichtete Rezepturenentwicklung von SCC-Mehlkornotyp bietet das „Okamura-Verfahren“ einen sehr brauchbaren Rahmen.

Grundlage dieses Verfahrens ist, dass der Stoffraumanteil an grober Gesteinskörnung mit 50 % (gerechnet als Volumen der lose geschütteten Gesteinskörnung im Gesamtstoffraum des Betons) fix festgelegt wird. Weiters wird der Anteil an feiner Gesteins-

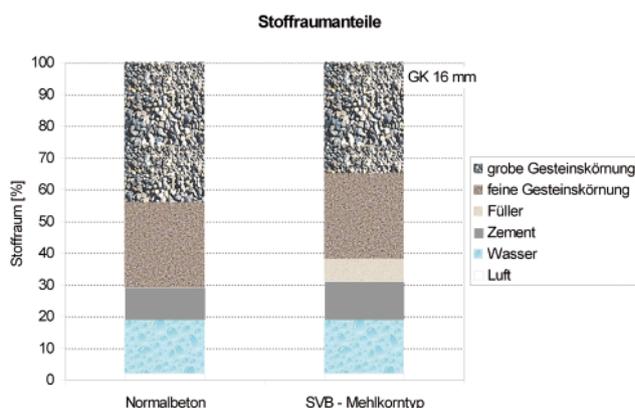


Bild 3.1: Stoffraumanteile im Vergleich

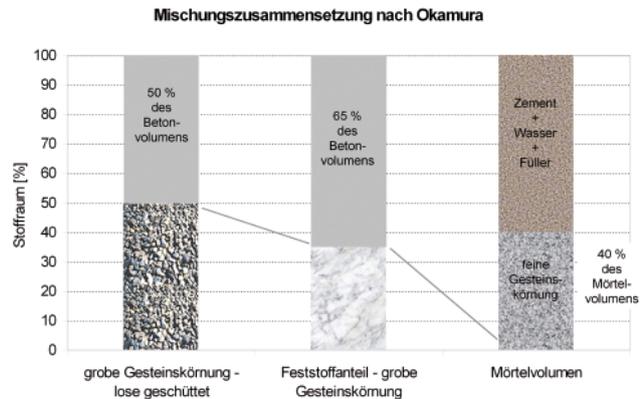


Bild 3.2: Stoffraumanteile von SCC-Mehlkornotyp nach dem Konzept Okamura

körnung (Fraktion 0/4 mm) mit 40 Gew.-% im verbleibenden Beton-Stoffraum festgelegt.

In der Folge wird der optimale Wasseranspruch der Feinststoffanteile (Zement, Flugasche, Steinmehl etc.) über einen einfachen Laborversuch ermittelt. Der Anteil an Zement und

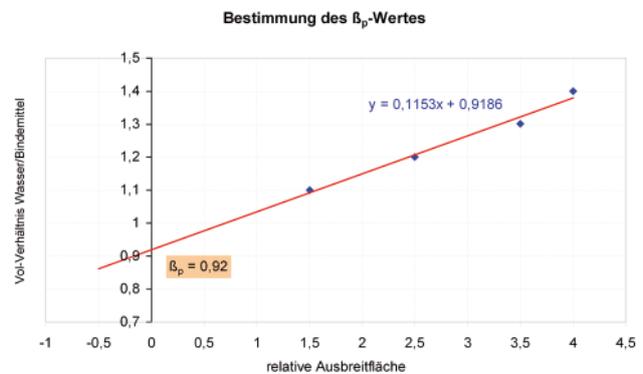


Bild 4: β_p -Wert Bestimmung Okamura-Verfahren

Feinststoffen (im Folgenden mit „SCC-BM“ bezeichnet) ergibt sich in der Folge aus der Stoffraumrechnung.

Dieser Ansatz unterscheidet sich doch sehr wesentlich von der für Beton üblichen Rezepturenentwicklung, bei der ja in der Regel der Gesamtwassergehalt und der Bindemittelgehalt zu Beginn vom Betontechnologen festgelegt werden.

Der nächste Schritt ist ein Laborversuch an Feinbeton (SCC-BM und feine Gesteinskörnung GK 0/4 mm) mit dem vorher ermittelten Wassergehalt, der dazu dient, die geeignete Fließmitteltype und die notwendige Fließmitteldosierung festzulegen.



Bild 4.1: Laborversuchsanordnung für Feinbetonversuch – Fließmaß



Bild 4.2: Laborversuchsanordnung für Feinbetonversuch – Fließzeit

Dabei werden das Fließmaß mittels Hägermann-Trichter und die Ausfließzeit aus einem kleineren V-Trichter gemessen. Als Zielwerte finden sich in der Fachliteratur meist 25 cm für das Fließmaß und 10 Sekunden für die Fließzeit.

Diese Labormethode ist sehr gut dafür geeignet, die doch diffizile Frage der geeigneten Fließmitteltype und Dosierung mit geringem Aufwand im Vorfeld abzuklären. Fließmittel auf PCE-Basis, die sich auf Grund der sehr guten verflüssigenden Wirkung für die Herstellung von SCC durchgesetzt haben, unterscheiden sich zum Teil signifikant, was den Einfluss auf die Klebrigkeit des Frischbetons anbelangt. Das Zusammenspiel der Kennwerte Fließmaß und Fließzeit wird dadurch entscheidend geprägt. Für eine gute Sedimentationsstabilität ist bei

SCC eine gewisse „Klebrigkeit“ eine entscheidende Voraussetzung. Nur durch eine gezielte Auswahl der PCE-FM-Type ist es sichergestellt.

Mit einiger Erfahrung und der Wahl geeigneter Vorgabewerte und Zielwerte kann die Betonrezeptur dann direkt von den beiden o. a. Laborversuchen abgeleitet werden. Die SCC-Rezeptur ergibt sich ohne weitere Stoffraumveränderungen. Eine geringfügige Anpassung der Fließmitteldosierung kann in der Praxis evtl. notwendig sein.

Nach eigenen praktischen Erfahrungen haben sich als Vorgabewerte für den Stoffraumanteil der groben Gesteinskörnung ein Wert von 51 % (gerechnet als Volumen der lose geschütteten Gesteinskörnung im Gesamtstoffraum des Betons) und 42 % Anteil an feiner Gesteinskörnung (Gew.-Anteil im verbleibenden Betonstoffraum) bewährt.

Die Vorgabewerte für das Fließmaß beim Feinbetonlaborversuch (zur Ermittlung der geeigneten Fließmitteltype und Dosierung) legen wir mit 28 cm fest, für die Ausfließzeit mit 8 Sekunden.

Mit diesem Verfahren können aufwändige Betonversuche für die Entwicklung von SCC-Rezepturen weitgehend minimiert werden.

Weiterführende Informationen über das Okamura-Verfahren finden Sie unter:

<http://www.basf-cc.at/DCCAustria/De/Service/TechnicalDocumentation/sccpannenfrei.htm>

„Robustheit“ von SCC in der Praxis

SCC-Mehlkornrezepturen, die nach dem o. a. Verfahren entwickelt werden, enthalten 600-650 kg Feinststoffanteile (Zement, Flugasche, Steinmehl etc.) und können mit einer AB/2-Gesamtsieblinie der Gesteinskörnung hergestellt werden.

Bei entsprechender Komposition der Feinststoffkomponente ergeben sich dabei keine höheren Kosten gegenüber einer „üblichen SCC-Rezeptur“ mit 400 kg Zement und 100 kg Flugasche.

Durch die gezielte Ermittlung des für das gegebene Feinststoffgemisch optimalen Gesamtwassergehalts und die Wahl einer geeigneten Fließmitteltype resultiert eine wesentlich bessere Sedimentationsstabilität (Entmischungssicherheit) im Vergleich zu „üblichen SCC-Rezepturen“.

turen“, ohne dass die Selbstentlüftungseigenschaft (und damit verbunden sind ja lunkerfreie Sichtflächen) herabgesetzt wird.

Die praktische Erfahrung zeigt, dass „übliche SCC-Rezepturen“ (400 kg/m^3 Zement + 100 kg/m^3 Flugasche), bei denen eine Gesamtsieblinie B zum Einsatz kommt, bereits bei einer Abweichung von $+5 \text{ l/m}^3$ Gesamtwasser instabil werden und zum Entmischen neigen. Speziell die Kombination aus Schwankungen im Bereich der feinen Gesteinskörnung (etwas feinteilärmere Kornverteilung) und einer geringfügigen Erhöhung des Gesamtwasseranteils bringen solche SCC-Rezepturen schnell zum „Kippen“.

SCC-Mehlkornrezepturen, die nach dem Konzept Okamura aufgebaut sind, vertragen üblicherweise eine Wasservariation von $+10 \text{ l/m}^3$ bei gleichzeitig etwas „reschener“ Gesamtsieblinie. Entmischungserscheinungen treten üblicherweise erst bei größeren Abweichungen von den Rezepturvorgabewerten auf. Das naheliegende Verlangen der Bauindustrie nach „robustem“ SCC lässt sich damit sicherlich leichter erfüllen. Die systembedingt unvermeidlichen Schwankungen in der Betonzusammensetzung (speziell beim Gesamtwassergehalt und beim Gehalt an Feinteilen in der Gesteinskörnung) lassen sich damit bis zu gewissen Grenzen abfangen.



*Bild 5.1 und 5.2:
Gesteinskörnung im Vergleich*

Laborbetonversuche haben gezeigt, dass in einem SCC-Mehlkornrezept, das mit einem speziell optimierten SCC-BM von Lafarge hergestellt wurde, die komplette Gesteinskörnung gewechselt werden kann, ohne dass dadurch eine Neuabstimmung der Rezeptur notwendig wird. Im aktuellen Fall wurde von quarzitischem Rundkorn (Ostösterreich) auf kalzitisches Kant-

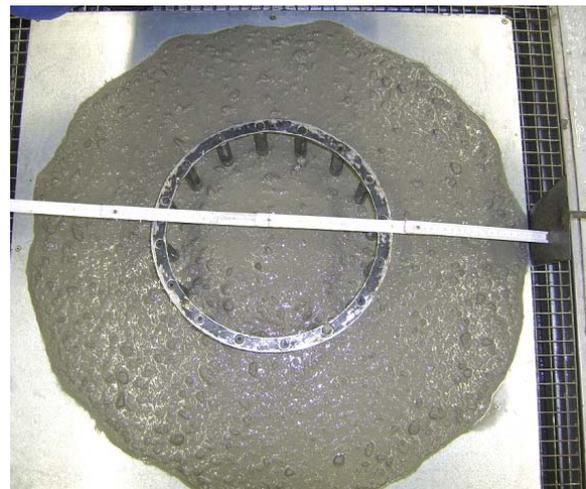
korn (Westösterreich) gewechselt. Unter Beibehaltung aller anderen Rezepturbestandteile (gleicher Gesamtwassergehalt, gleicher Gehalt an SCC-BM, gleiches Fließmittel mit gleicher Dosierung) resultierten Frischbetonkennwerte, die wieder exakt im Zentrum des Zielverarbeitungsfensters lagen.

Ausblick

Als durchaus realistische Zukunftsaussicht steht im Raum, dass ein Transportbetonwerk mit einem vorgegebenen SCC-Mehlkornrezept, unter Verwendung speziell entwickelter SCC-BM, mit der vorhandenen Standard-Gesteinskörnung ohne Vorversuche einen „pannenfreien SCC“ realisiert.

Der notwendige Gesamtwassergehalt liegt dabei bei 180 l/m^3 , wenn speziell optimierte SCC-Bindemittel verwendet werden. Dadurch wird der Gefahr von erhöhtem Schwinden des SCC wirkungsvoll entgegengewirkt.

Auch der Überwachungsaufwand speziell an der Einbaustelle kann im Vergleich zu der bis dato üblichen Gepflogenheit deutlich vermindert werden – eine Folge der deutlich höheren „Robustheit“ von derart hergestelltem SCC.



*Bild 6: SCC-Mehlkornrezept mit 650 kg/m^3 SCC-BM
 10 l/m^3 über Zielwassergehalt; Anteil $0/4 \text{ mm}$ 3 %
unter Ziel
76 cm Fließmaß; 9 Sekunden Fließzeit
keine Sedimentation, keine Blockierneigung*

Mehlkornoptimierung für Beton höchster Güte

DI Dr. Jürgen Macht, Univ.-Doz. DI Dr. Peter Nischer
 Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, Wien

Selbstverdichtender Beton (SCC – self-compacting concrete) ist dadurch gekennzeichnet, dass er sich ohne von außen einwirkende Rüttelenergie entlüftet und gleichzeitig nahezu bis zum Niveausgleich fließt [1]. Diese Eigenschaften werden vor allem durch hohe Mehlgorngehalte und/oder Zugabe von Stabilisierern erreicht. Durch eine Optimierung der Sieblinie [2] ist es möglich, nicht nur bei geringeren Mehlgorngehalten stabileren Frischbeton zu erhalten [3], sondern es werden auch die Festbetoneigenschaften wesentlich verbessert [4] (siehe auch [5]).

Erhöhung der Frischbetonstabilität

Bei der Herstellung von SCC mit einem Ausbreitmaß von über 70 cm sowie von Bohrpfehlen und Schlitzwänden mit einem Ausbreitmaß von etwa 60 cm kommt es immer wieder zu Verarbeitungsproblemen, insbesondere durch Entmischungen beim Einbau. Durch ein Absetzen der groben Gesteinskörnung kommt es zu Wasser- und Feinteilanreicherungen in den oberflächennahen Bereichen. Dies führt zu Qualitätsproblemen, die selbst dann auftreten können, wenn der Beton nach konventionellen Prüfverfahren und nach Augenschein entspricht. Ein Frischbeton kann als stabil bezeichnet werden, wenn diese Probleme nicht entstehen.

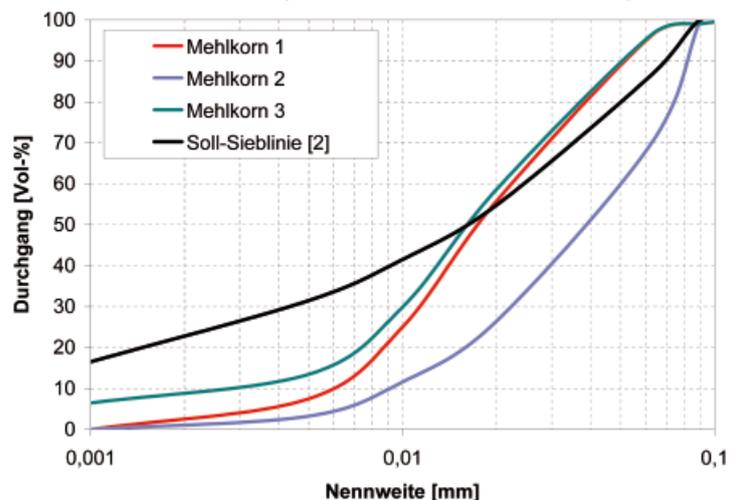
Umfangreiche Druckpressversuche [3] haben gezeigt, dass für stabilen Frischbeton, der sich beim Einbau nicht entmischt und bei dem sich die grobe Gesteinskörnung nach dem Verdichten nicht absetzt, umso mehr Mehlgorn (Korn < 0,125 mm) erforderlich ist, je weicher der Beton eingebaut wird. Je mehr Wasser und/oder Fließmittel für eine gewünschte Verarbeitbarkeit erforderlich

ist, umso größer ist die Entmischungsgefahr.

Für den jeweils erforderlichen Mehlgorngehalt sind die Korngrößenverteilung und die Korneigenschaften entscheidend. Je besser die Kornverteilung einer „Soll-Sieblinie“ gemäß Abbildung 1 [2] entspricht, umso weniger Mehlgorn ist für einen stabilen Frischbeton mit gleicher Stabilität und Verarbeitbarkeit erforderlich. Eine Anhebung des Mehlgorngehalts führt nur dann zu einer Verbesserung der Stabilität des Frischbetons, wenn hierdurch die Anpassung des Mehlgorns an dessen „Soll-Sieblinie“ nicht verschlechtert wird. Zusätzlich ist die Rauigkeit des Mehlgorns von Bedeutung – je rauer das Mehlgorn, umso schlechter die Verarbeitbarkeit des Betons. Die Rauigkeit des Mehlgorns wird von den geogenen Gegebenheiten und vom Herstellverfahren beeinflusst. Raue Körner erfordern auf Grund der größeren Oberfläche und der geringeren Beweglichkeit („Verkanten“ und „Verspießen“) höhere Wasser- und/oder Fließmittelzugaben, was wie bereits erwähnt zu höherer Entmischungsgefahr führt.

Für Betone mit einem Ausbreitmaß von etwa 65 cm sind 120 l Mehlgorn je m³ Beton nur dann

Abbildung 1: Mehlgorn – theoretisch optimale Kornverteilung und untersuchte Kornverteilungen



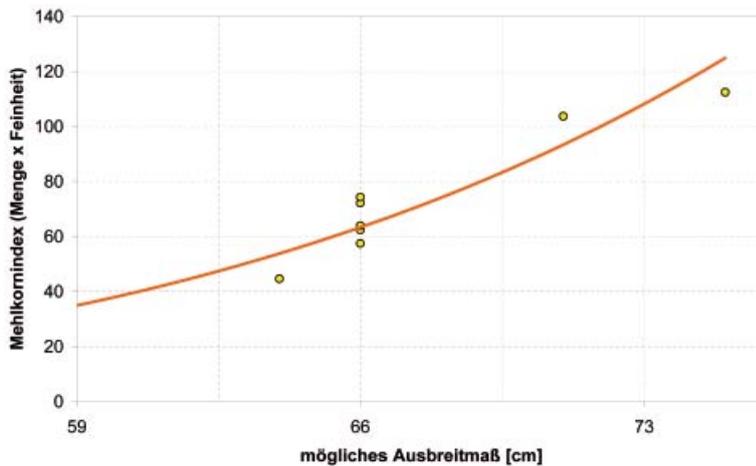


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen möglichem Ausbreitmaß und Mehlkornindex [3]

ausreichend, wenn die Kornverteilung im Kornbereich über 0,01 mm mit der je nach Kornform erforderlichen „Soll-Sieblinie“ gut übereinstimmt (Mehlkorn 1 in Abbildung 1). Hohe Anteile kleiner 0,01 mm (z. B. durch Zugabe von Mikrosilica – Mehlkorn 3 in Abbildung 1) im Beton führen, wegen des größeren Wasser- bzw. Fließmittelbedarfes, vielfach zu keiner Verbesserung der Stabilität des Frischbetons.

Wird für Betone mit einem Ausbreitmaß von etwa 65 cm der Mehlkorngehalt auf 150 l je m³ Beton erhöht, ist auch etwas gröberes Mehlkorn mit einer schlechteren Anpassung an die „Soll-Sieblinie“ verwendbar. Bei Mehlkorn, das mit der „Soll-Sieblinie“ gut übereinstimmt, ist bei diesem Mehlkorngehalt ohne Beeinträchtigung der Stabilität des Frischbetons ein Ausbreitmaß über 70 cm möglich.

Für Betone mit einem Ausbreitmaß über 70 cm (SCC) sind bei etwas gröberer Sieblinie im Mehlkorn mit einer schlechteren Anpassung an

die „Soll-Sieblinie“ etwa 190 l Mehlkorn je m³ Beton erforderlich.

Abbildung 2 zeigt einen Zusammenhang zwischen dem möglichen, ohne Entmischung erzielbaren Ausbreitmaß zu einem so genannten Mehlkornindex (Summe der Siebdurchgänge bei 0,01 mm, 0,02 mm, 0,063 mm, 0,09 mm und 0,125 mm multipliziert mit dem Anteil des Mehlkorns im Beton) [3], der einen Zusammenhang zwischen Mehlkornmenge und Sieblinie des Mehlkorns darstellt.

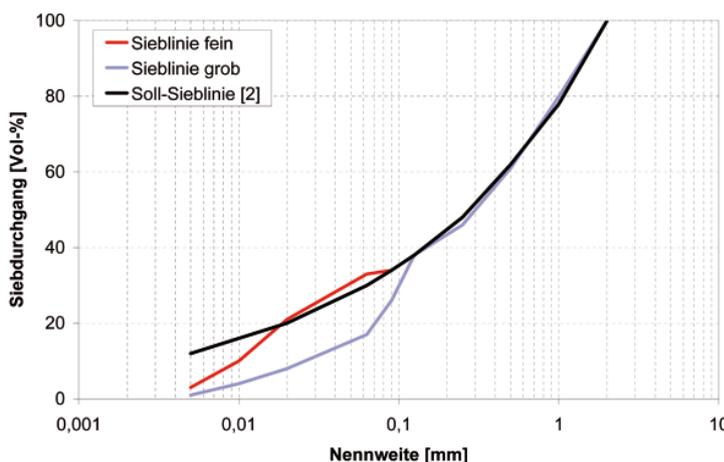
Verbesserung der Festbetoneigenschaften

Um die Auswirkungen einer Sieblinienoptimierung bis in den Mehlkornbereich auf die Porenstruktur des erhärteten Betons zu bestimmen, wurden in unterschiedlichem Betonalter Proben mit unterschiedlichen Sieblinien – siehe Abbildung 3 (Sieblinie fein wurde mit Mehlkorn 1 gemäß Abbildung 1 hergestellt, Sieblinie grob mit Mehlkorn 2) – aber gleichem W/B-Wert mit der

Quecksilberdruckporosimetrie und der Elektronenmikroskopie untersucht sowie die Festigkeiten des erhärteten Betons bestimmt [4].

Eine gute Anpassung der Sieblinie des Mehlkorns oberhalb von 0,02 mm an eine optimale Sieblinie führt bei den untersuchten Probenaltern von 0 bis 90 Tagen zu einer feinporigeren und gleichmäßigeren Porenverteilung als bei feinteilarmen Betonen. Abbildung 4 bestätigt diese Aussage. Bei annähernd gleicher Gesamt-

Abbildung 3: Sieblinien der untersuchten Betone



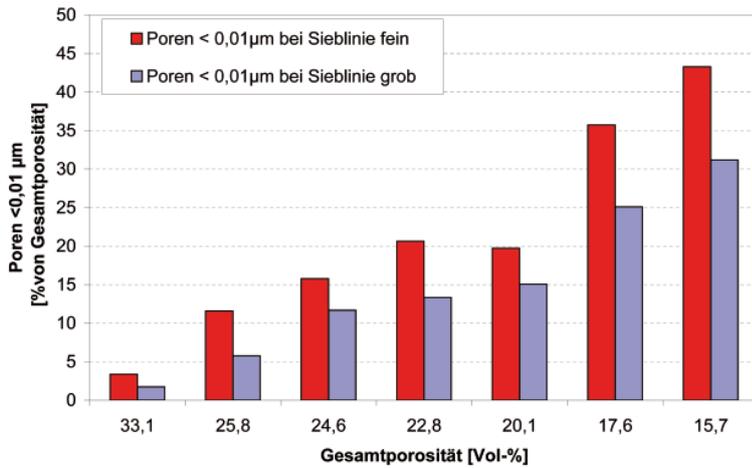


Abbildung 4: Porenanteil < 0,01 µm in Abhängigkeit von der Gesamtporosität bei feiner und bei grober Sieblinie

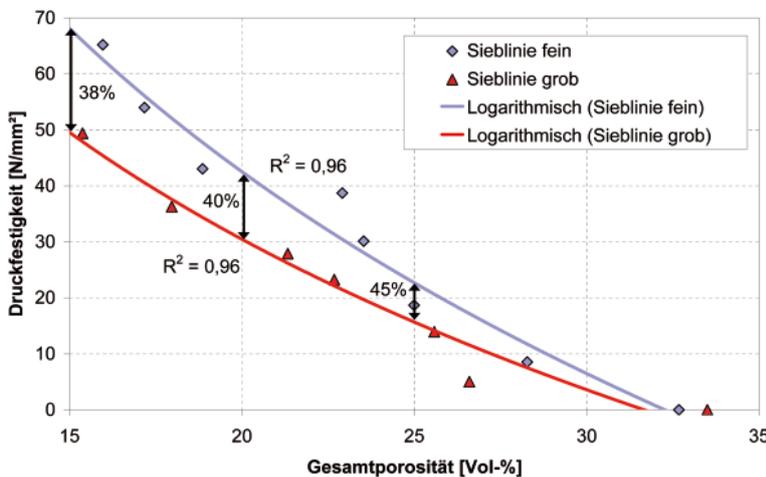


Abbildung 5: Druckfestigkeit in Abhängigkeit der Gesamtporosität – durch Mehlkornoptimierung Erhöhung um etwa 40 %

porosität ist der Anteil an Poren < 0,01 µm bei der besser angepassten Sieblinie wesentlich höher.

Durch diese „bessere“ Porenverteilung können bei der optimierten Sieblinie bei gleichem Gesamtporenraum bis zu 40 % höhere Festigkeiten im Vergleich zu einer gröberen Porenverteilungen erzielt werden, siehe Abbildung 5.

Zusammenfassung

Die Mehlkornoptimierung ist ein wichtiger Prozess, um Betone höchster Güte zielsicher herzustellen. Dies trifft vor allem auch auf SCC auf Grund des oftmals hohen Mehlkorngehalts zu. Mehlkornoptimierung führt zu einem stabilen Frischbeton bei gleichzeitiger Einsparung von Mehlkorn und Ressourcenschonung. Zum anderen bedeutet Mehlkornoptimierung für den erhärteten Beton höhere Festigkeiten, ein dichteres Gefüge und damit eine höhere Dauerhaftigkeit.

Literatur

- [1] Brameshuber, W.: Selbstverdichtender Beton. Düsseldorf: Verlag Bau und Technik, 2004 (Schriftenreihe Spezialbetone, Bd. 5).
- [2] Macht J., Nischer P.: Mehlkornoptimierung – Notwendigkeit und Möglichkeiten zur Ermittlung der Korneigenschaften. BFT Heft 4 2006.
- [3] Nischer P., Macht J.: Weiche Betone mit verschiedenem Mehlkorn. Maßnahmen zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit. BFT Heft 8, 2006.
- [4] Nischer, P., Macht, J.: Mehlkornoptimierung zur Verbesserung der Betongüte. BFT Heft 3 2007.
- [5] Brouwers, H. J. H., Radix, H. J.: Self-Compacting Concrete: Theoretical and experimental study. Cement and Concrete Research 35 (2005) pp. 2116-2136.

Betonfertigteile aus SCC – Anwendungen und Vorteile für Kunden und Hersteller

*Ing. Hannes Pentz
Betonwerk Rieder GmbH, Maishofen*

*Bmst. DI Gerhard Meixner
Ing. Hans Lang GmbH, Terfens*

Die Firma Betonwerk Rieder mit Sitz in Maishofen/Salzburg und die Firma Ing. Hans Lang GmbH mit Sitz in Terfens/Tirol befassen sich seit ca. 5 Jahren mit der Herstellung und Verarbeitung von selbstverdichtenden Betonen (SCC – Self Compacting Concrete) und setzen das dabei erworbene Knowhow erfolgreich um. Mittlerweile werden bis zu 50 % der Produkte mit SCC hergestellt.

Je nach Anforderung seitens der Auftraggeber und nach sorgfältiger Abwägung in produktionsstechnischer Hinsicht werden klassische Stahlbetonfertigteile wie Stützen, Träger und Decken, ebene Bauteile wie Fassaden oder Balkonkragplatten, Leitwände, Lärmschutzwände, Sonderelemente wie z. B. filigrane Fensterrahmenelemente, aber auch Büromöbel mit SCC hergestellt.

Die stetig steigenden Anforderungen des Marktes begünstigen oder erzwingen den vermehrten Einsatz von selbstverdichtendem Beton.

Exemplarisch seien hier einige Wünsche und Forderungen aufgezählt, welche in den letzten Jahren vermehrt seitens der Planer und Bauherren an den Hersteller gestellt werden.

Kundenwünsche seitens des Architekten:

- schöne, glatte, porenfreie Betonoberflächen
- filigrane Bauteile, geringe Wandstärken
- uneingeschränkte Formgebung
- „allseitig“ schalglatte Oberflächen
- scharfe Kanten
- Herstellung in einem Guss – keine Betonierfugen

Bar – Sichtseiten schalglatt



Kundenwünsche des Statikers:

- enge Rüttelgassen
- hoher bis extremer Bewehrungsgehalt

All diese Wünsche und Forderungen sind oft nur durch den Einsatz von Betonen, die ein Rütteln nicht erfordern, zu erfüllen. Vor allem bei filigranen Bauteilen oder extremen Bewehrungsgehalten ist eine einwandfreie Verarbeitung von zu rüttelnden Betonen nicht mehr zu gewährleisten. Bei Bauteilen mit „uneingeschränkter Formgebung“ kann es sein, dass ein Rütteln schon aus der Geometrie der Schalung her nicht möglich ist. Allein an diesem Aspekt erkennt man die Chancen, die sich durch den Einsatz von SCC eröffnen.

Für den Hersteller ergeben sich Vorteile bei der Produktion der Betonteile, es gilt einige wichtige Punkte zu beachten:

Vorteile für den Hersteller:

- Lärmentlastung im Werk, dadurch attraktiverer Arbeitsplatz
- Fertigungszeiten sinken, da Rütteln nicht mehr notwendig – Personaleinsparung
- keine Rüttler – Kosteneinsparung
- schonende Fertigung für Schalung und Einbauteile
- homogenes Betongefüge bleibt erhalten (Vorteil bei XF4-Betonen)
- höhere Ausschalfestigkeiten

Zu beachten gilt:

- Lange Transportwege sind zu vermeiden. Bei langer Kübelbahn mit großen Höhenunterschieden und Kurven besteht die Gefahr der Entmischung. Eine Alternative hierfür ist der gezielte Einsatz von Transportbeton im Werk, was den zusätzlichen Vorteil bietet, dass große Betonteile mit hoher Betonkubatur in einem Zuge betoniert werden können. Die Zusatzkosten werden durch reduzierte Fertigungszeiten kompensiert.
- Konstante Bedingungen bei der Betonherstellung sind ein absolutes Muss. Vor allem trockene Zuschläge (Heizung) und eine konstante Sieblinie sind die Grundvoraussetzung für den erfolgreichen Einsatz von SCC.
- Abstimmung der Betonzusatzmittel mit dem Zement ist unbedingt erforderlich.



Loggien – allseitig schalglatt



Filigrane Fensterrahmen

- Stärkerer Verschleiß im Mischer durch SCC.
- SCC ist teurer in der Herstellung.
- Längere Mischzeiten sind erforderlich.

Der Einsatz von selbstverdichtendem Beton im Fertigteilwerk wird nach Meinung der Autoren weiter steigen, da die Forderungen seitens der Kunden (Architekten, Statiker, Bauherren) Entwicklungen in diese eingeschlagene Richtung erzwingen und die Vorteile für den Hersteller nicht von der Hand zu weisen sind.



Stützen aus SCC

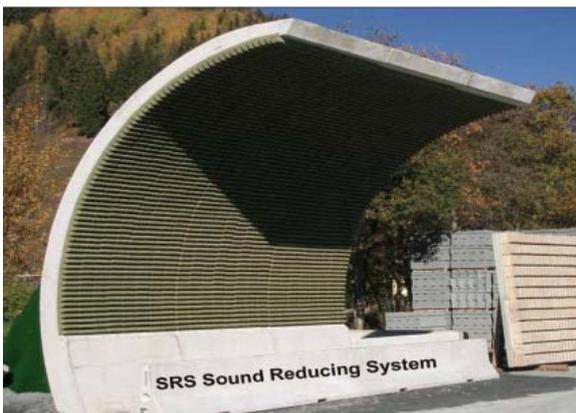


Konstruktive Fertigteile aus SCC



Balkon – Kragplatte, „stehend“ gefertigt

Lärmschutzwand



Leitwand



Broad development potential for SCC: Carbon Fibre Prestressed high performance SCC

Dr. DI ETH Giovanni Pietro Terrasi

Head laboratory for Materials and Engineering, Empa, Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research, Dübendorf, Switzerland

Georges BÄTTIG, Director, SACAC Schleuderbetonwerk AG, Lenzburg, Switzerland

1 Introduction

This paper describes selected architectural projects realized by using thin-walled structural elements made of carbon fibre reinforced plastic (CFRP) prestressed high performance self compacting concrete (HPSCC) and gives information about design and field implementation work.

2 Constituent materials: CFRP and HPC

The prestressing reinforcements chosen for this work are thin \varnothing 3 mm to 6 mm pultruded and sand-coated CFRP profiles with round cross-section. Their design tensile strength is remarkable with values in the region of 2'000-2'700 MPa. In addition to that rolltruded CFRP tapes can be used as shear reinforcements in combination with the pultruded tendons. The low density and the excellent stress corrosion resistance of CFRP are well known [1]. Other favourable properties of CFRP tendons are the superior fatigue behaviour and the absence of creep and relaxation [1]. The above properties make the still expensive unidirectionally CFRP profiles particularly suitable as prestressing reinforcements for concrete elements [2]. The high quality and the cost of CFRP tendons require a correspondingly high quality of the concrete matrix: HPC of strength class C90 to C100 is a suitable partner for this advanced composite reinforcement class. The compaction of HPC can be achieved by centrifugal casting, vibration or – in a very rational way – by the self compacting method (High Performance Self Compacting Concrete [HPSCC][3]). The advantageous characteristics of CFRP and HPC and an appropriate bond between them (over sand-coating of the CFRP) make it possible to minimise the weight of the planned pretensioned bending element by reducing its wall thickness while guaranteeing an excellent serviceability

(no susceptibility to corrosion, high bending stiffness and high fatigue strength). The key advantage in manufacturing slender prestressed concrete elements is the durability of the CFRP prestressing material. Steel corrodes and a significant concrete cover (45-65 mm) is required to protect the prestressing steel from aggressive internal and/or external environments. On the contrary, when durable CFRP tendons are used, only a relatively small concrete cover (e.g. 15-20 mm for CFRP tendons of diameter 4-5 mm when embedded in HPC) is required. Prefabrication using HPSCC, precise formwork and accurate positioning of the prestressing tendons makes it possible to pretension filigree bending elements with very small dimensional imperfections, the deviations from nominal values being lower than +/- 5 mm.

3 Field applications

filigree building facade elements made of CFRP prestressed self compacting concrete

The architectural field seems to be a promising market niche for this novel material combination. In the past two years the prefabrication company SACAC AG could manufacture several hundred thin-walled, load-bearing CFRP prestressed HPSCC elements (strength class C90) for two building facades in the city of Zurich.

A first glass-concrete facade of a 6-storey office building in Zurich was realised in 2005 using 250 thin-walled elements of length up to 8.8 m for totally 1'600 m facade beams. The architects Kaufmann, van der Meer and Partner chose CFRP prestressed HPSCC elements with an L-cross-section of 267 mm x 385 mm and a wall thickness of 40-70 mm (figure 1). Their intention was to install continuous horizontal concrete bands around the entire concrete-glass building facade (figure 2) by anchoring the slender concrete beams at the height of the floor slabs. The static system selected was an asymmet-



Fig. 1: CFRP prestressed HPSCC facade beams with L-cross section 267 x 385 mm and length 8.38 m

rically supported continuous girder under a combination of self weight, temperature gradients, snow load, wind loads and 2 maintenance personnel of variable position. The beams were fully prestressed for maximum service loads in order to avoid bending cracks and limit short-term and long-term deformations. All beams were prestressed by 14 CFRP tendons of $\varnothing 5.4$ mm, at a total prestress of 260 kN at release. Hence the CFRP prestressing ratio was rather low, being 40% of the design tensile strength of 2'000 MPa. Stainless steel inlays were cast in the HPSCC for the anchorage of the facade beams to the building's slabs. On their lower flange the beams are supporting the rotation axes of a glass lamellas front in which 3.5 m long x 0.5 m wide vertical glass lamellas assume the function of sun-blinds that can be electrically controlled by the office occupants (Figure 2). Besides that the L-beams are acting as casing for a steel-superstructure carrying the electric control units of the glass lamellas axes.

The extension of the college "Falletsche" in the city of Zurich with a new 3-storey classroom-building was designed by architect Rolf Mühlethaler of Berne. A glass-concrete facade with very slender concrete border elements was planned. This project required the production of 905 m slender rectangular concrete beams with very low geometrical tolerances, that were produced by SACAC in CFRP prestressed HPSCC. The main reason for the choice of CFRP prestressed concrete elements was the high slenderness ratio of the beams imposed by the customer under fulfilment of high durability requirements: Again aesthetic



Fig. 2 CFRP prestressed HPSCC L-beams as structural facade elements

criteria were decisive for the materials' choice. 157 vertical facade beams with a length varying between 0.5 m and 11.1 m and a cross section of 100 mm x 300 mm (figure 3) were designed and manufactured in the winter 2005-2006. The elements are supporting glass-windows.

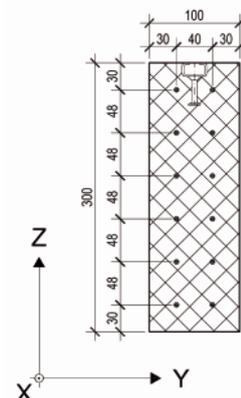


Fig. 3 cross section of a three-storey rectangular HPSCC facade element (12 CFRP tendons, window connection over stainless steel 'cup' inlays at the inner short edge)



Fig. 4 11.1 m long (first two from the left) and 7.6 m long CFRP prestressed HPSCC facade beams

Figure 4 shows two three-storey (11.1 m) and one two-storey (7.6 m) facade beams during quality assurance operations in the SACAC production plant.

The beams were prestressed with 8, 10 or 12 pultruded and sand coated CFRP tendons of diameter 5.4 mm at a total prestress of 146 kN, 183 kN, 220 kN respectively: The CFRP prestressing ratio was again 40% of the design tensile strength of 2'000 MPa. The minimum concrete cover of the CFRP tendons was 25 mm (figure 3). Design of the elements was performed considering a simply supported beam under self weight (determining load case: transport and installation). The deflection criteria to be fulfilled by the beams under maximum service load was field (l) deflection $< l / 300$, with $l = 0.5$ to 11.1 m. In order to avoid cracks and limit deflections the beams were fully prestressed for maximum service loads.

Relevant cross-sectional data of the rectangular facade beams prestressed with 12 CFRP tendons are the cracking moments

$$M_{\text{crack}}^y \text{ +/-} = \pm 18.8 \text{ kN}\cdot\text{m},$$

$$M_{\text{crack}}^z \text{ +/-} = \pm 6.2 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

and the moments of resistance

$$M_R^y \text{ +/-} = \pm 48.5 \text{ kN}\cdot\text{m} \text{ and}$$

$$M_R^z \text{ +/-} = \pm 14.6 \text{ kN}\cdot\text{m}.$$

The vertical facade beams were fixed to the building's structure/windows by standard inlays in the HPSCC (stainless steel Halfen-railsTM with nail anchors for connecting the windows, see figure 3 and hanging tensile anchors for the anchorage of the beams). Besides this 326 thin-walled (thickness 50 mm) CFRP HPSCC screen-panels with L-profile and length 1-1.5 m were manufactured and serve as horizontal joining elements in the facade, that were fixed to the sides of the vertical facade beams at the height of the slabs of the building. The building facade was installed in spring 2006 (figure 5).

Fig. 5 college Zurich Falletsche: a slender CFRP prestressed HPSCC facade beam is highlighted.



4 Conclusion

The innovative combination of materials CFRP and HPSCC opens up promising possibilities in the design of structural elements (beams). The full prestressing of HPSCC beams for maximum service loads makes it possible to manufacture thin-walled, lightweight, filigree, fatigue resistant and very durable concrete elements with a low raw-material consumption for use throughout the infrastructure engineering and the architectural industry.

Acknowledgements

The authors would like to take the opportunity to thank SACAC Schleuderbetonwerk AG for their collaboration in the very fruitful development work over the last 12 years. The valuable advice and the continuous support with discussions by Prof. Dr. h.c. Urs Meier of Empa are also greatly appreciated.

References

- [1] Uomoto, T. (2001), Durability Considerations for FRP Reinforcements. in Fifth International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-5). 2001. Cambridge: edited by C.J. Burgoyne, University of Cambridge. p. 17-32.
- [2] Burgoyne, C.J., Rational Use of Advanced Composites in Concrete. in Third International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-3). 1997. Sapporo: Japan Concrete Institute. p. 75-88.
- [3] Persson B, Terrasi G.P. High Performance Self Compacting Concrete, HPSCC. In: König G, Dehn F, Faust E, editors. 6th Int. Symposium on Utilization of High Strength/ High Performance Concrete. Leipzig, 2002. p. 1273-1290.



Das Beste für jeden Bau









Komfort
Fachwissen vom Profi
Wirtschaftlichkeit
Wertbeständigkeit
Schutz & Sicherheit
Energieeffizienz



Ing. Hans LANG GmbH

www.langbau.at



„Lichtbeton“-SCC in leichter Eleganz über die Gesetze der Statik erhaben

Jörg Nachbaur
Natex Lichtbeton GmbH, Götzis

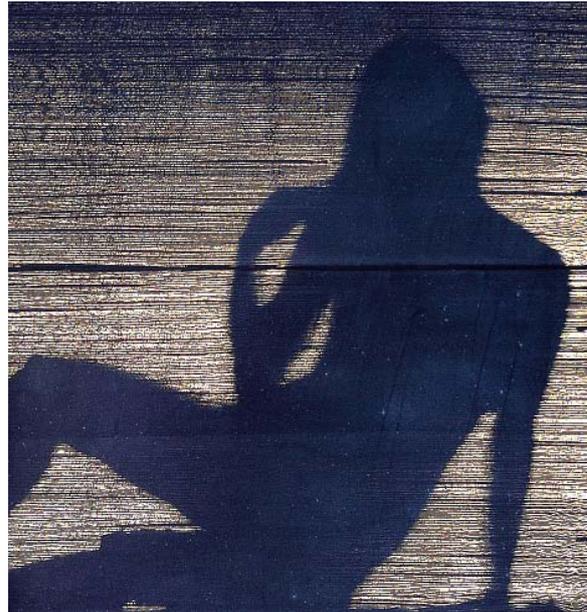
Ein von Natex Lichtbeton GMBH aus Vorarlberg speziell entwickeltes und patentiertes Herstellungsverfahren ermöglicht ein rationelles Einlegen von Lichtleitergewirken in SCC-Beton.

Das Lichtleitergewirke wird in gleich großen, regelmäßigen Abständen abwechselnd mit SCC-Beton übereinander eingelegt, bis ein Betonblock von 60 cm Höhe fertig gestellt ist.

Dieser Betonblock wird je nach Kundenwunsch entsprechend zugeschnitten.

Unser Standardmaß beträgt 120 cm x 60 cm x 4 cm.

Natex Lichtbeton bietet damit das weltweit einzigartige und größte Format, welches den



höchsten Ansprüchen von Design und Architektur gerecht wird.

Das Lichtleitergewirke im Beton ermöglicht eine beinahe ungefilterte Durchlässigkeit von Licht, Schatten und auch Farben.

Schon ein geringer 4%-Anteil des Lichtleiters im speziellen Feinbeton vermittelt diesen außergewöhnlichen optischen Effekt, ohne jedoch die Festigkeit des Werkstoffes Beton zu beeinträchtigen.

Geschliffen, poliert und mehrfach imprägniert steht das Endprodukt Finacon nun für den Einsatz bereit.

Finacon eignet sich hervorragend als Raumteiler, aber auch für Duschtrennwände oder Stilelemente im Wellnessbereich in exklusiven Hotels.

Im Accessoiresbereich eingesetzt verleiht Finacon sowohl in Form von Lampen, Tischplatten wie auch Waschtischen den Räumen eine faszinierende Atmosphäre.



Nicht nur auf den Innenbereich hat Natex Lichtbeton seine Kreativität fokussiert.

Neueste Entwicklungen lassen nicht auf sich warten und die lichtdurchlässige, statisch vollkommen funktionstüchtige Außenfassade mit integrierter Isolationsschicht erweitert bereits die „transparente“ Produktpalette.

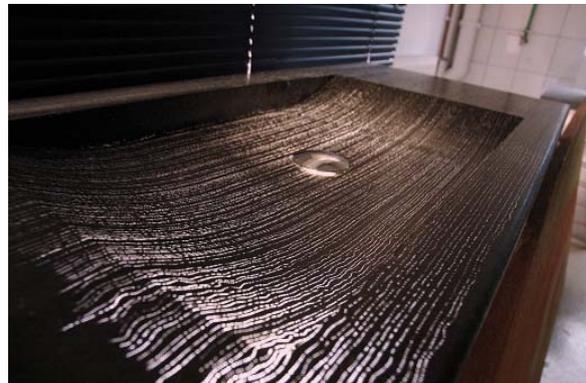
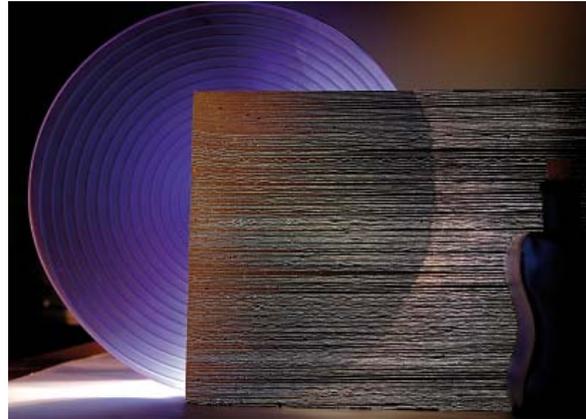
Diese lichtdurchlässigen „Mehrschichtbetonelemente“ eröffnen der Architektur und dem Design völlig neue Perspektiven.

Massive tragende Betonwände, welche tagsüber von Sonnenlicht durchströmt werden und Innenräume im wahrsten Sinne des Wortes in ein anderes Licht rücken – nachts lassen diese Wände das jeweilige Gebäude als hell erleuchtetes Kunstobjekt erscheinen.

Es wird das Gefühl vermittelt, als ob sich alles mit Ästhetik und leichter Eleganz über die Gesetze der Statik hinwegsetzte.

Der Widerspruch von Beton und Transparenz beginnt sich aufzulösen.

Lassen Sie ihrer Kreativität im Einsatz mit Finacon freien Lauf.



03/2007

Bauen Sie auf Schalungs-Kompetenz

Sichtbeton mit Doka

Beton in seiner – sichtbar – schönsten Form

Unsere kompetenten Schalungstechniker und Berater sorgen dafür, dass besondere Ansprüche an die Sichtbeton-Qualität bestens erfüllt werden.



www.doka.com



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:

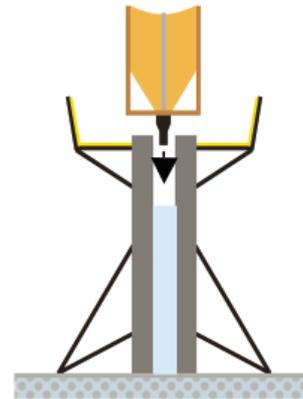


Abb. 5: Befüllen von oben

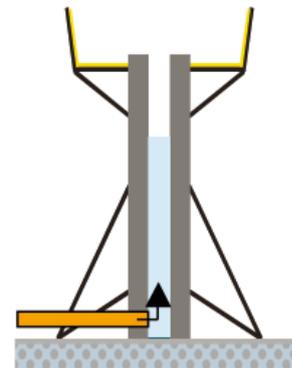


Abb. 6: Einpumpen von unten

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

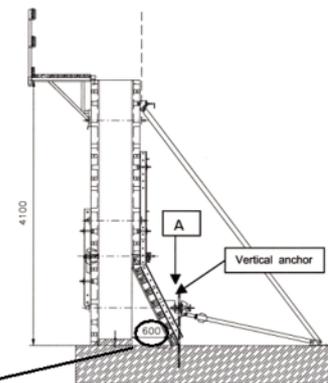


Abb. 9: Voller Flüssigkeitsdruck



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 Abschalungen 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



Abb. 34: Betonergebnis

Bauen im Bestand



Abb. 30 und 31:
Umbau Konzerthaus,
Wien



Extrem hoher Bewehrungsgrad



Abb. 35:
Traisenbrücke, St. Pölten



Abb. 36:
Traisenbrücke, St. Pölten

Hoher Bewehrungsgrad, unzugänglich für Innenrüttler



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.

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 Beton-technologien 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 Wasserhöchstdruckanlagen 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

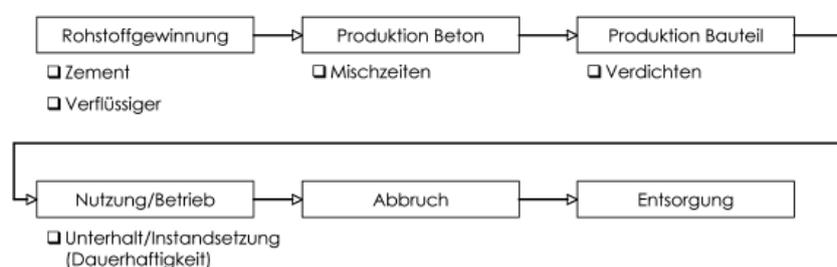


Abbildung 2: Schematische Darstellung des betrachteten Lebenszyklus

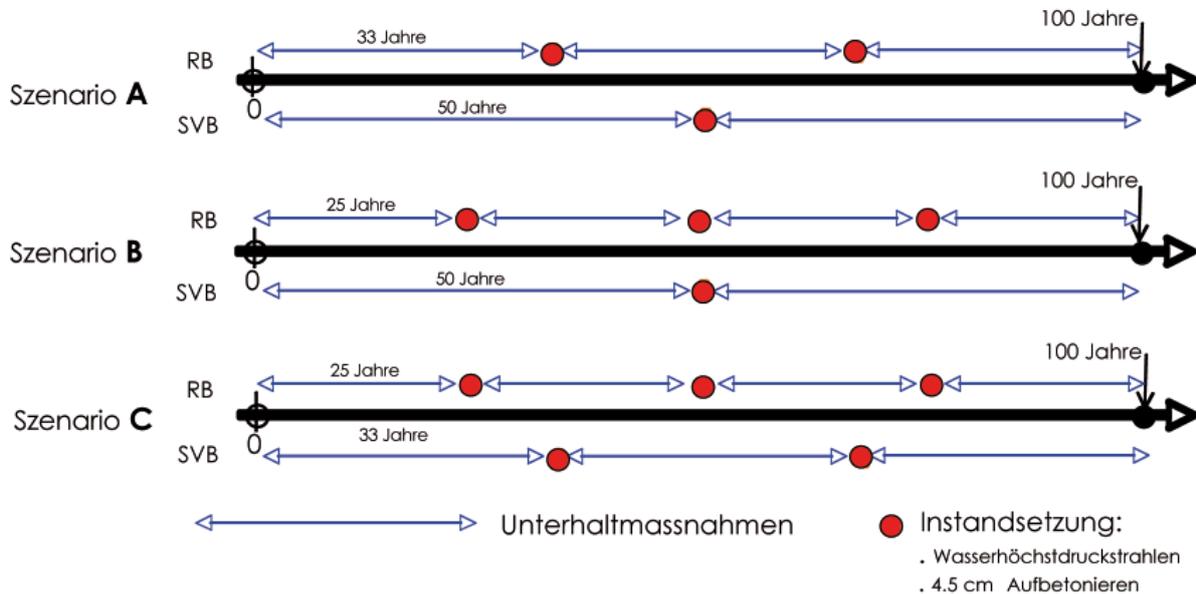


Abbildung 3: Übersicht über die Szenarien A, B und C

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, Flextremo 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 (Cemuisse) ausgeschriebenen und finanzierten Forschungsarbeit dar. Es wird an dieser Stelle für die freundliche Genehmigung dieses Auszuges gedankt. Besonderer Dank gilt dem Geschäftsführer der Cemuisse, 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).

Weitere Informationen rund um das Thema Beton und Zement



www.zement.at
www.voeb.com





www.zement.at