

Concrete Plant + Precast Technology Betonwerk + Fertigteil-Technik

Reprint from/Sonderdruck aus BFT INTERNATIONAL 08/2009

bau||verlag
We give ideas room to develop



A number of advantages SCC with lightweight aggregates

Zahlreiche Vorteile SVB mit Leichtzuschlag

Address/Anschrift

Argex NV
Kruibeeksesteenweg 227
B-2070 Burcht/Belgium
Tel.: +32 3250 1515
Fax: +32 3250 1500
info@argex.be
www.argex.eu

• The need to reduce the dead weight of building structures and to reduce transport costs has resulted in an increasing demand for light-weight Argex concrete. This concrete is used especially for renovating floors, for new structures equipped with foundations of lower load-bearing capacity, and precast wall and floor sections. The Argex lightweight concrete results in a number of some further advantages when compared to standardweight concrete: good fire resistance due to the fire-proof nature of Argex particles and increased heat insulation due to their open structure. Together with the benefits of self-compacting concrete, the combination of these properties offers great opportunities for the precast industry, which is already producing a large proportion of sections in self-compacting concrete.

Self-compacting concrete can be processed purely under the impact of gravity and without any vibration, even in densely reinforced false work or complex geometries. For this purpose, the concrete must be highly fluid and the mixture must be sufficiently stable to prevent segregation.

If manufacturers of precast components wish to incorporate self-compacting light-weight concrete into their production process, they will have to take into account a number of practical issues that are associated with the application of lightweight aggregates, such as the water absorption of the particles, possible segregation of the mix and the surface finish.

The development of a self-compacting concrete with light-weight aggregate presents several challenges:

- » The integration of lightweight, porous aggregate can have an impact on the water management of a mixture and can have consequences for the rheology and the effective w/c-ratio.
- » The light-weight aggregate is associated with a risk of reverse segregation: due to their low density particles can float to the top in the matrix/paste.
- » The use of well-defined quantities of light-weight aggregate, which are necessary to achieve a specific density for the concrete, imposes limitations on the overall granulometry of the structure.

In order to meet these challenges, Argex launched a research project in collaboration with the BBRI (Belgian Building Research Institute) in early 2006. The aim of the project was not to propose just one ideal composition, but instead to develop a flexible design method which could be applied by the various companies in the precast industry, each with their own base materials and required combination of compressive strength and density.

The project investigated a wide range of possible types of light-weight SCC, both in terms of compressive strength class and the dry density of the concrete. In general it covered an (oven) dry density range from 1,400 up to 2,000 kg/m³, and compressive strength classes ranging

• Das Erfordernis der Eigengewichtsreduzierung von Bauwerken und der Senkung der Transportkosten hat zu einer stärkeren Nachfrage nach Argex-Leichtbeton geführt. Dieser Beton wird vor allem für die Sanierung von Decken, für neue Bauten mit Gründungen mit niedrigerer Tragfähigkeit sowie für Wand- und Deckenfertigteile verwendet. Außerdem führt der Einsatz von Argex-Leichtbeton zu einigen weiteren Vorteilen im Vergleich zu Normalbeton: z. B. zu einem guten Feuerwiderstand aufgrund der Feuerfestigkeit der Argex-Gesteinskörnung und einer besseren Wärmedämmung wegen ihrer offenporigen Struktur. Die Kombination dieser Eigenschaften bietet in Verbindung mit den Vorteilen des selbstverdichtenden Betons große Chancen für die Fertigteilindustrie, die bereits einen Großteil der Elemente aus SVB herstellt.

Selbstverdichtender Beton ist ein Beton, der ausschließlich unter dem Einfluss der Schwerkraft und ohne jegliche Vibrationsverdichtung verarbeitet werden kann – und dies selbst in dicht bewehrten Schalungen oder bei komplexer Geometrie. Zu diesem Zweck muss der Beton hochfließfähig sein, und das Gemenge muss eine für die Vermeidung einer Entmischung ausreichende Stabilität aufweisen.

Wenn die Fertigteilhersteller selbstverdichtenden Leichtbeton in ihren Produktionsprozess integrieren wollen, so müssen sie dabei eine Reihe praktischer Fragen im Zusammenhang mit dem Einsatz von Leichtzuschlägen beachten, z. B. die Wasseraufnahme der Körnung, eine mögliche Entmischung des Gemenges und die Oberflächenqualität.

Die Entwicklung eines selbstverdichtenden Betons mit Leichtzuschlag bringt verschiedene Herausforderungen mit sich:

- » Der Einsatz von haufwerksporigem Leichtzuschlag kann die Steuerung des Wasseraufnahme eines Gemenges beeinflussen und sich auf das Fließverhalten und den effektiven W/Z-Wert auswirken.
- » Der Leichtzuschlag birgt das Risiko einer umgekehrten Entmischung: Aufgrund ihrer niedrigen Dichte kann sich die Körnung in der Matrix/im Zementleim nach oben bewegen.
- » Der Einsatz genau definierter Mengen an Leichtzuschlag, der zur Erzielung einer bestimmten Betondichte erforderlich ist, führt zu Beschränkungen hinsichtlich der gesamten Granulometrie der Struktur.

Zur Bewältigung dieser Herausforderungen initiierte Argex in Zusammenarbeit mit dem BBRI (Belgian Building Research Institute; Belgisches Bauforschungsinstitut) zu Beginn des Jahres 2006 ein Forschungsprojekt. Ziel des Vorhabens war nicht die Entwicklung einer einzigen idealen Betonzusammensetzung, sondern eines flexiblen Rezepturverfahrens, das von den verschiedensten Unternehmen der Fertigteilindustrie anzuwenden war – jeweils unter Nutzung ihrer eigenen Ausgangsstoffe und unter

from LC 25/28 to LC 50/55 (classes in accordance with EN 206-1).

Quite early, besides the resulting characteristics of the hardened concrete, the project concentrated on the properties of fresh, liquid concrete. The practical testing programme made it possible to refine or to broaden the known criteria for typical SCC tests, such as the slump flow, V-funnel, L-box, and other tests.

The design method found was established in a software tool that enables the quick design of new mixes based on new raw materials. Precast companies that wish to design their own lightweight self-compacting Argex concrete should contact the company, so as to ensure that a mixture can be proposed on the basis of the required density and compressive strength whilst taking into account the raw materials available.

Approach and basic principles

The modified Brouwers model was used as a starting point for the project, which was based on the Chinese method of mix design. The basic principles of this method are:

- » A compact matrix, achieved by optimising the particle distribution using the modified Andersen & Andreasen. This theoretical aggregate grading allows for more fine sand than the well-known Fuller's curve. This modified Andersen & Andreasen curve is more suitable for types of concrete that contain a relatively high amount of sand and filler material, such as high-strength concrete and self-compacting concrete.
- » In general, a compact matrix with a continuous grading improves the flow behavior of the mix and results in better compaction mix.
- » The use of fine sand can reduce the filler content to improve cost-efficiency.

The application of this design method to an extensive testing program allowed a carefully targeted adjustment for SCC, in which the integration of large quantities of lightweight aggregate sometimes causes additional problems. The definition of a new set of reference curves, suitable for all density classes, facilitates the practical mix design (see Fig. 1).

Three types of lightweight aggregates have been used: a light-weight sand AR 0/4 – 650, and lightweight coarse aggregates AM 4/8 – 650 and AM 4/8 – 750. Prior to incorporating the lightweight aggregate into the mix design, the impact of the somewhat porous aggregate on the water management of the mix was studied. Obviously, the aggregate can absorb water fairly quickly. In order to counteract this absorption, it is recommended to pre-moisten the aggregate up to a minimum moisture content of 20%.

A second point that requires attention in the use of lightweight aggregate is the risk of (reverse) segregation: the lightweight aggregate has a tendency to float to the top. A stable mix with a minimum of viscosity is important to counteract this behavior. In this regard the use of a viscosity-modifying agent (VMA) can help. Moreover, this additive can provide a certain buffer to better compensate the effect of possible variations in the moisture content of the aggregate.

Testing and specific target values

On the basis of the laboratory tests, the basic characteristics of the designed mixtures were investigated, both in liquid and in hardened state.

Dry density Trockendichte	Compressive strength classes Druckfestigkeitsklassen
D 1.6 (1400 < Dry density/ Trockendichte < 1600 kg/m ³)	LC 25/28 tem./bis LC 35/38
D 1.8 (1600 < Dry density/ Trockendichte < 1800 kg/m ³)	LC 25/28 tem./bis LC 40/44
D 2.0 (1800 < Dry density/ Trockendichte < 2000 kg/m ³)	LC 30/33 tem./bis LC 50/55

Table 1 Dry densities with related compression strengths according to EN 206-1.

Tabelle 1 Trockendichten mit entsprechenden Druckfestigkeiten nach EN 206-1.

Berücksichtigung der erforderlichen Kombination aus Druckfestigkeit und Dichte.

Im Forschungsprojekt wurde eine breite Palette an möglichen selbstverdichtenden Leichtbetonen untersucht im Hinblick auf die Betondruckfestigkeitsklasse und Trockendichte. Im Allgemeinen wurde bei der Trockendichte (Ofentrocknung) ein Bereich von 1.400 bis 2.000 kg/m³ abgedeckt, die Druckfestigkeitsklassen umfassten LC 25/28 bis LC 50/55 (Klassen gemäß EN 206-1).

Natürlich lag der Schwerpunkt neben den ermittelten Festbetoneigenschaften insbesondere auf den Merkmalen des flüssigen Frischbetons. Das praxisbezogene Prüfprogramm ermöglichte eine Verfeinerung bzw. Ausweitung der bekannten Kriterien für typische SVB-Prüfungen, z. B. Ausbreitversuch, V-Trichter, L-Kasten und andere.

Das erarbeitete Rezepturverfahren wurde in einem Softwaretool umgesetzt, das den schnellen Entwurf neuer Rezepturen auf Grundlage neuer Ausgangsstoffe ermöglicht. Fertigteilhersteller, die ihre eigene Rezeptur für selbstverdichtenden Argex-Leichtbeton entwickeln möchten, sollten sich an das Unternehmen wenden, so dass auf Basis der benötigten Dichte und Druckfestigkeit und unter Berücksichtigung der verfügbaren Ausgangsstoffe eine Rezeptur vorgeschlagen werden kann.

Vorgehen und Grundsätze

Als Ausgangspunkt für das Projekt wurde das modifizierte Brouwers-Modell verwendet, welches auf dem chinesischen Verfahren des Rezepturentwurfes beruht. Die Grundprinzipien dieses Verfahrens sind:

- » eine kompakte Matrix, die durch Optimierung der Sieblinie mit dem modifizierten Verfahren nach Andersen und Andreasen erzielt wird. Diese theoretische Korngrößenverteilung ergibt einen höheren Feinsandanteil als die bekannte Fuller-Kurve. Die erwähnte modifizierte Sieblinie nach Andersen und Andreasen ist geeigneter für Betonarten, die einen relativ hohen Anteil an Sand und Füllstoffen enthalten, z. B. für Hochleistungsbeton und selbstverdichtenden Beton.
- » Im Allgemeinen verbessert eine kompakte Matrix mit kontinuierlicher Kornabstufung das Fließverhalten des

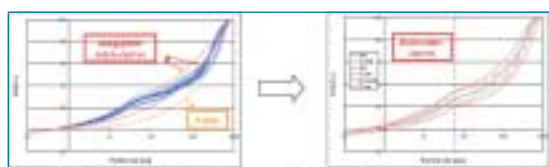


Fig. 1 Definition of empirical reference curves based on the results with theoretical curves for granule distribution.

Abb. 1 Definition empirischer Bezugskurven auf Grundlage der mit theoretischen Sieblinien erzielten Ergebnisse.

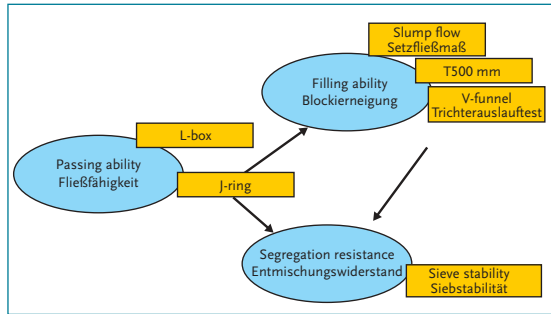


Fig. 2 Required criteria and their testing methods.
Abb. 2 Erforderliche Kriterien und deren Versuchsmethoden.

For the typical SCC tests for liquid SCC, the following target values can be defined:

- » Slump flow: optimum range 700–750 mm, a wider range of 650 to –800 mm remains possible provided that the risk of insufficient fluidity or blocking is also evaluated,
- » V-funnel flow-time: 5–25 seconds, with peaks depending on the type of additives,
- » L-box ratio: minimum 0.7 (evaluation depends on field of application),
- » J-ring: blocking step under 15 mm,
- » Sieve stability test: difficult to use, testing of hardened concrete is recommended.

These target values do not vary much from the values of normal density SCC.

Industrial testing

During the final stage, the suggested mixture design method was tested by prefab manufacturers in a range of industrial tests, including the production of large volumes of concrete and the pouring of larger concrete sections. The following procedure was followed for each test:

- » Design of the mix,
- » Preparation of one or several laboratory mix on the basis of raw materials supplied by the relevant manufacturer,
- » Testing of the optimised mixture on an industrial scale, with or without adjustments, e.g. additive dosing,
- » Evaluation of the resulting sections and test specimen.

These industrial tests have resulted in a practice-oriented refinement of the design method, and have illustrated how the theoretical mix design can be used as a

Betongemenges und führt zu einer wirksameren Verdichtung.

- » Durch den Einsatz von Feinsand kann der Füllstoffanteil verringert werden, was zu einer kostengünstigeren Lösung führt.

Die Anwendung dieses Bemessungsverfahrens auf ein umfassendes Prüfprogramm ermöglichte eine gezielte Anpassung der SVB-Rezeptur, bei der die Verwendung großer Mengen an Leichtzuschlag in manchen Fällen weitere Probleme mit sich bringt. Die Definition einer neuen Reihe von Bezugskurven, die für jede Dichteklasse geeignet ist, erleichtert die praxisorientierte Rezepturentwicklung.

Es wurden drei Arten von Leichtzuschlag verwendet: Leichtsand AR 0/4 – 650 sowie leichte Grobzuschläge AM 4/8 – 650 und AM 4/8 – 750. Vor der Hinzufügung der Leichtzuschläge zur Rezeptur wurde der Einfluss des leicht haufwerksporigen Zuschlages auf die Wasseraufnahme des Gemenges untersucht. In trockenem Zustand können die Zuschläge Wasser auf jeden Fall relativ rasch aufnehmen. Um dieser Wasseraufnahme entgegenzuwirken, wird eine Vorfeuchtung der Zuschläge bis zu einem Feuchtegehalt von mindestens 20 % empfohlen.

Ein zweiter beim Einsatz von Leichtzuschlägen zu beachtender Punkt ist das Risiko einer (umgekehrten) Entmischung: Der Leichtzuschlag bewegt sich tendenziell nach oben. Zur Verhinderung dieses Verhaltens ist ein stabiles Gemenge mit einem Mindestmaß an Viskosität wichtig. Hier kann die Verwendung eines viskositätsverändernden Mittels sinnvoll sein. Dieses Zusatzmittel kann darüber hinaus einen gewissen Puffer schaffen, so dass die Auswirkungen eines möglicherweise schwankenden Feuchtegehaltes der Zuschläge besser kompensiert werden können.

Prüfung und spezifische Sollwerte

Mithilfe der Laborversuche wurden die Grundeigenschaften der entworfenen Rezepturen geprüft – sowohl im Frischbeton als auch im erhärteten Zustand.

Für die typischen Prüfungen von flüssigem SVB können die folgenden Sollwerte genannt werden:

- » Ausbreitmaß: Optimum 700 bis 750 mm, eine größere Bandbreite von 650 bis 800 mm ist weiterhin möglich, sofern das Risiko einer unzureichenden Fließfähigkeit oder Blockierung ebenfalls geprüft wird;
- » V-Trichter-Auslaufzeit: 5–25 Sekunden, mit hohen Ausschlägen je nach Art der Zusätze;
- » L-Kasten-Verhältnis: Minimum 0,7 (Beurteilung ab-



Fig. 3a and b Checking of the slump flow (left) and the L-box ratio (right).

Abb. 3a und b Ermittlung des Ausbreitmaßes (links) und des L-Box-Wertes (rechts).

sis to always quickly arrive at a mix which complies with the specific conditions required (weight, compressive strength, fluidity, etc.).

- hängig von Einsatzgebiet);
- » J-Ring: Blockierungsstufe unter 15 mm;
- » Siebstabilitätsprüfung: Anwendbarkeit erschwert, Prüfung des Festbetons wird empfohlen.

Die genannten Sollwerte unterscheiden sich nicht wesentlich von den Werten für SVB normaler Dichte.

Großtechnische Prüfung

In der abschließenden Projektphase wurde das vorgeschlagene Rezeptentwurfsverfahren von Fertigteilherstellern in einer Reihe von großtechnischen Versuchen geprüft, so in der Produktion großer Betonmengen und der Betonierung größerer Fertigteile. Bei jeder Prüfung wurde wie folgt vorgegangen:

- » Entwurf der Rezeptur
- » Herstellung einer oder mehrerer Rezepturen im Labor auf Grundlage der vom betreffenden Hersteller bereitgestellten Ausgangsstoffe
- » Prüfung der optimierten Rezeptur im großtechnischen Maßstab, mit oder ohne Anpassungen, z. B. durch die Zusatzmitteldosierung.
- » Beurteilung der hergestellten Fertigteile und Prüfkörper.

Die genannten großtechnischen Versuche ermöglichten eine praxisorientierte Verfeinerung des Entwurfsverfahrens und belegten, wie auf Grundlage des theoretischen Rezeptentwurfs stets relativ rasch eine Rezeptur entwickelt werden kann, die den jeweiligen Anforderungen genügt (im Hinblick auf Gewicht, Druckfestigkeit, Fließfähigkeit usw.).

*Xavier Kestemont, Wim Adams (Argex)
Niki Cauberg (BBRI)*

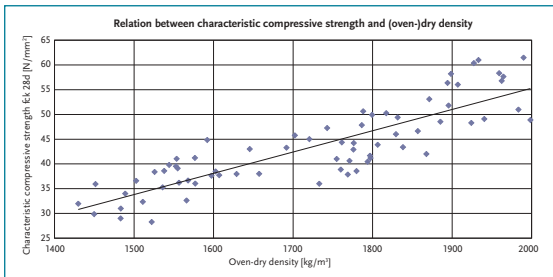


Fig. 4 Relation between characteristic compressive strength and dry density.

Abb. 4 Verhältnis von Druckfestigkeit und Trockendichte.



Fig. 5 Light-weight SCC is often used for large wall panels.

Abb. 5 Leicht-SVB wird häufig für großformatige Wandelemente eingesetzt.

Argex n.v. · Kruibeeksesteenweg 227 · B-2070 Burcht
T +32(0)3 250 15 15 · F +32(0)3 250 15 00 · info@argex.be



www.argex.eu