

# Selbstverdichtender Beton auf der Basis von AALBORG WHITE®



# Weißer selbstverdichtender Beton - der Beton der Zukunft

Selbstverdichtender Beton - oder SVB – ist das Betonmaterial der Zukunft. Dank der geringeren Beeinträchtigung der Arbeitsumgebung durch fehlendes Rütteln und die Fähigkeit, durch Selbstfließen komplexe und engmaschiger bewehrte Formteile auszufüllen als herkömmlicher Beton, ist SVB der nächste Schritt in die Zukunft der Betonentwicklung.

Die erfolgreiche Verwendung von SVB erfordert allerdings Kenntnisse dieses neuen Materials – das Wissen um seine Stärken und Schwächen, Möglichkeiten und Begrenzungen. Mit **AALBORG WHITE®** und der Expertise mit weißem SVB ist es möglich, leichte Herstellung mit reizvollen weißen oder farbigen Strukturen zu verbinden.

## 1. Umstellung von verwendeten SVB-Mischungen auf AALBORG WHITE®

Viele Hersteller von Fertigbetonelementen und Lieferbeton haben sich schon für SVB entschieden, dabei ihr Augenmerk aber auf grauen SVB gerichtet.

In diesem Fall lässt sich weißer SVB am leichtesten einführen, indem eine bereits verwendete, bewährte graue SVB-Rezeptur in eine ähnliche SVB-Mischung mit **AALBORG WHITE®** geändert wird. Die Umstellung basiert auf den allgemeinen Richtlinien, die bei Probeumstellungen von mehreren grauen Zementtypen entwickelt wurden. Daher sollte von der ersten Rezeptur noch nicht erwartet werden, dass auf Anhieb eine optimale SVB-Mischung gelingt. Ausbreitmaß und Luftgehalt müssen auf die Einsatzbedingungen des SVBs abgestimmt werden.

## Schritt-für-Schritt-Umstellung von Grau auf AALBORG WHITE®

### 1. Vorläufige Anpassung

Eine befriedigende SVB-Mischung auf der Basis von grauem Zement wird wie folgt hergestellt:

- Grauen Zement im Verhältnis 1:1 durch **AALBORG WHITE®** ersetzen
- Wassergehalt um 5% verringern
- Dosierung des Plastifizierers um 25% verringern
- Dosierung des Luftporenbilders um 50% verringern (ausgehend von ca. 6% Luft in der Originalmischung. Falls keine Luft verwendet wird, sollte diese zugegeben werden.
- Falls dies aus Gründen der Farbgebung notwendig ist, Sand mit hellerer Tönung verwenden.

### 2. Probemischung

Eine geringe Menge anmischen, und anschließend die folgenden Versuche durchführen (normale SVB-Mischsequenz verwenden):

- Ausbreitmaß ermitteln. Das Ausbreitmaß muss zum Zeitpunkt nach dem Mischen ermittelt werden, an dem der SVB normalerweise eingebracht wird (bei Fertigbetonteilen normalerweise innerhalb von 5 Minuten nach dem Mischen, bei Lieferbeton innerhalb von einer Stunde, abhängig von der Transportdauer). Dabei visuell die Segregationsneigung beurteilen.

- Luftgehalt im frischen Beton messen – dieser sollte zwischen 5 und 7% liegen, um optimale Eigenschaften des weißen SVBs zu erzielen.

- Einen 150/300 mm-Zylinder, einen 150/150 mm-Würfel oder ein ähnliches Probekörper mit SVB füllen, um die Segregation zu bestimmen. Die Probe darf aushärten (1 Tag) und wird anschließend in Längsrichtung durchtrennt. Anschließend den Abstand der 10 obersten Steine bis zur Oberfläche messen. Diesen Abstand durch die Gesamtlänge teilen und mit 100 multiplizieren. Das Ergebnis ist die Segregation in Prozent. Unter ca. 1-1,5% ist die Segregation in der praktischen Verwendung normalerweise bedeutungslos.

### 3. Anpassung

- Falls Ausbreitmaß oder Luftgehalt nicht zufriedenstellend sind oder eine Segregation von mehr als 1-1,5% ermittelt wird, muss die Mischung angepasst werden - siehe mögliche Maßnahmen in Tabelle 1. Anschließend Schritt 2, versuchsweises Anmischen, wiederholen.

### 4. Verifikation

- Wenn die Mischung die richtigen Eigenschaften hat, ist eine umfassende Probeproduktion mit anderen relevanten Prüfungen, wie Festigkeitsprüfung, Frost-Tau-Prüfung etc. durchzuführen.

## Visuelle Beurteilung

Die Messung des Ausbreitmaßes gibt einen ersten Hinweis darauf, ob Segregation auftritt oder nicht. Dies muss allerdings immer durch eine Segregationsberechnung überprüft werden.



Abb. 1: SVB-Proben mit AALBORG WHITE®.

Links:  
Unveränderte Mischung  
(1:1-Austausch von grauem Zement  
mit AALBORG WHITE®).

Rechts:  
Gleiche Mischung nach Änderung.  
Auffällig ist die unterschiedliche  
Segregation an den Kanten.



## Segregationsberechnung

150/300 mm-Zylinder, Würfel oder andere Probekörper in Längsrichtung durchtrennen, und die obersten zehn Steine ermitteln.

Abstände zwischen Steinoberkante und Oberfläche messen, und Durchschnitt errechnen.

Dieser Durchschnittsabstand, geteilt durch die Gesamtlänge und multipliziert mit 100, ist die Segregation in Prozent.



Abb. 2: SVB-Proben mit AALBORG WHITE®.

Links: Unveränderte Mischung (1:1-Austausch von grauem Zement mit AALBORG WHITE®).

Rechts: Gleiche Mischung nach Änderung. Abbildungen der Ausbreitmaße siehe oben.

Die anhand der Formel ermittelte Segregation beträgt in den beiden Beispielen 3,2% bzw. 0,7%.

**Tabelle 1: Änderung des Rezepts anhand der beobachteten Eigenschaften der SVB-Mischung**

| Ausbreitmaß | Luftgehalt | Segregation | Änderung   |
|-------------|------------|-------------|--|
| Zu gering   | << 5%      | Nein / Ja   | Luftgehalt auf 5-7 % erhöhen und Wasser hinzufügen, um gewünschtes Ausbreitmaß zu erzielen.  |
| Zu gering   | >> 7%      | Nein        | Luftgehalt auf 5-7 % verringern.   |
| Zu gering   | 5 - 7%     | Nein        | Wassergehalt erhöhen, um gewünschtes Ausbreitmaß zu erzielen.  |
| Zu gering   | 5 - 7%     | Ja          | Mehlkorngehalt und/oder Zementleimgehalt in der Sieblinie vergrößern.  |
| Zu hoch     | << 5%      | Nein / Ja   | Luftgehalt auf 5-7 % erhöhen.  |
| Zu hoch     | >> 7%      | Nein / Ja   | Luftgehalt auf 5-7 % verringern, und Dosierung des Superverflüssigers und/oder Wassergehalt verringern, um das gewünschte Ausbreitmaß zu erzielen. |
| Zu hoch     | 5 - 7%     | Nein / Ja   | Dosierung des Plastifizierers und/oder Wassergehalt verringern, um das gewünschte Ausbreitmaß zu erzielen.   |
| Gut         | << 5%      | Ja          | Luftgehalt auf 5-7 % erhöhen.  |
| Gut         | << 5%      | Nein        | Mischung akzeptieren, oder Luftgehalt auf 5-7 % erhöhen, und anschließend Wassergehalt verringern, bis das gewünschte Ausbreitmaß erzielt ist.     |
| Gut         | >> 7%      | Ja          | Feinkornanteil und/oder Zementleimgehalt in der Sieblinie vergrößern. Luftgehalt auf 5-7 % verringern.   |
| Gut         | >> 7%      | Nein        | Entweder hohen Luftgehalt akzeptieren, oder Luftgehalt auf 5-7 % ändern, und Wassergehalt leicht erhöhen.  |
| Gut         | 5 - 7%     | Ja          | Gehalt an Plastifizierer leicht verringern, und Wassergehalt erhöhen, bis das gewünschte Ausbreitmaß erreicht ist.                                 |

Mit den oben beschriebenen Maßnahmen kann eine Mischung erzielt werden, mit der das gewünschte Ausbreitmaß ohne Segregation eingestellt werden kann. Die Mischung kann allerdings aufgrund des geringeren Wassergehalts etwas zähflüssiger sein als der originale graue Beton.

Bei der Verifizierung ist zu beachten, dass bestimmte Plastifizierer sich besser für **AALBORG WHITE®** eignen als andere. Dies kann zu unterschiedlichem Verhalten führen, wenn ver-

schiedene Typen verwendet werden. So kann sich abhängig vom verwendeten Plastifizierer vor allem der Zeitraum unterscheiden, in dem das Ausbreitmaß erhalten bleibt. Es ist auch zu beachten, dass einige Plastifizierer die Luftaufnahme fördern.

Falls die Änderung der Rezeptur mit diesen Maßnahmen nicht zum Erfolg führt, kann versucht werden, die in Abschnitt 2 beschriebene Mischungssequenz anzuwenden.



## 2. Herstellung von weißem SVB auf der Basis von AALBORG WHITE® aus herkömmlichen Mischungen

Falls der Hersteller noch keine Erfahrungen mit SVB gemacht hat, können alle herkömmlichen Betonmischungen als Grundlage der neuen Rezeptur dienen. Wichtig ist nur, dass die Sieblinie der Zuschlagstoffe im Hinblick auf maximale Partikelverdichtung optimiert ist. Unter diesen Bedingungen können die allgemeinen Richtlinien verwendet werden, um eine SVB-Ausgangsmischung herzu-

stellen. Diese SVB-Mischung kann dann wie in Abschnitt 1 beschrieben begutachtet und mit den Maßnahmen in Tabelle 1 angepasst werden, bis das gewünschte Verhalten erzielt ist. Ausbreitmaß und Luftgehalt müssen so gewählt werden, dass sie auf die Einsatzbedingungen des SVBs zugeschnitten sind.

### Allgemeine Richtlinien:

#### *Pulvergehalt*

**Pulvergehalt:** Ein hoher Pulvergehalt ist an sich nicht erforderlich für die Dosierung bei einer SVB-Mischung. Abhängig von den Zuschlagstoffen kann mit 350 kg Zement oder weniger pro m<sup>3</sup> ein zufrieden stellender SVB hergestellt werden, solange ausreichend Zementleim vorhanden ist, um den Raum zwischen den Zuschlagpartikeln auszufüllen.

#### *Wasser-Pulver-Verhältnis*

Labortests haben gezeigt, dass ein Wasser-Pulver-Verhältnis von ca. 0,40 ein Optimalwert für SVB mit **AALBORG WHITE®** ist. Ein höherer Wassergehalt scheint die Gefahr der Segregation zu erhöhen, ein niedrigerer Wassergehalt erfordert eine höhere Dosierung des Plastifizierers, wodurch die Mischung schwerer zu kontrollieren ist (je weniger Wasser in der Mischung, desto stärker wirken sich geringe Variationen des Wassergehalts auf das Verhalten der Mischung aus).

#### *Gehalt an Plastifizierer*

Der Wasseranteil muss im Vergleich zum Plastifizierer so groß wie möglich sein, um das gewünschte Ausbreitmaß zu erzielen. Ein zu hoher Gehalt an Plastifizierer vermindert die Aufrechterhaltung des Ausbreitmaßes in der Mischung. Wie bereits erwähnt, reagiert eine Mischung mit mehr Wasser auch weniger empfindlich auf geringe Variationen des Wassergehalts.

#### *Luftgehalt*

Labortests verschiedener Mischungen haben ergeben, dass der optimale Luftgehalt von SVB mit **AALBORG WHITE®** zwischen 5 und 7 % liegt. Ein Luftgehalt von ca. 4-5 % ergibt schnell fließenden SVB mit einem großen abschließenden Ausbreitmaß. Dieser

ist unempfindlich gegen langes Mischen (wie in einem Betonmischer für Lieferbeton) und hat eine geringe Schaumbildung, ist aber auch weniger robust gegen Variationen des Wassergehalts. Ein Luftgehalt von 7-8 % ergibt langsam fließenden SVB mit einem geringen abschließenden Ausbreitmaß. Dieser ist weniger robust gegenüber Variationen des Wassergehalts, hat bei längerem Mischen aber eine ausgeprägte Tendenz zum Schäumen.

#### *Mischsequenz<sup>1</sup>*

Die folgenden Mischsequenzen haben sich als verlässlich erwiesen, indem bei Verwendung der gleichen Materialien immer der gleiche Luftgehalt und das gleiche Fließverhalten erzielt werden. Sie wurden für das Anmischen verschiedener Mischungstypen im Labor verwendet, wobei auch mit gutem Ergebnis verschiedene Zementtypen, Zusätze und Zuschläge verwendet wurden. Die Mischzeit kann erheblich verringert werden, wenn leistungsfähigere Industriemischer zum Einsatz kommen. Zunächst die kurze Sequenz versuchen. Falls diese nicht zum Ergebnis führt, kann die längere, robustere versucht werden. Bei jedem Schritt 30 Sekunden mischen.

- Zuschlagstoffe anmischen
- **AALBORG WHITE®**, Wasser (und evtl. Füllstoffe) hinzugeben.
- Luftporenbilder hinzugeben
- Plastifizierer hinzugeben

Kurze Sequenz

- Zuschläge mit ca. der Hälfte des Wassers anmischen<sup>2</sup>
- **AALBORG WHITE®** (und evtl. Füllstoffe) hinzugeben
- Restliches Wasser hinzugeben (matschige Konsistenz)
- 2/3 des Plastifizierers hinzugeben
- Luftporenbilder hinzugeben
- Restlichen Plastifizierer hinzugeben

Lange Sequenz

<sup>1</sup> Die lange Mischsequenz dauert wie hier beschrieben drei Minuten, bei leistungsfähigen Mixchern eventuell weniger. Allerdings sollte mit einer längeren Mischzeit als dem Normalwert gerechnet werden, wenn die Eigenschaften bei jeder Mischung genau gleich sein sollen.

<sup>2</sup> Bei sehr leistungsfähigen Mixchern kann möglicherweise auf das Anmischen verzichtet werden.

### 3. Beispiele von SVB-Mischungen auf der Basis von AALBORG WHITE®

Die SVB-Mischungen in Tabelle 2 haben im Labortest akzeptable Eigenschaften gezeigt. Beim Anmischen in Industriegemischen darf nicht mit genau den gleichen Eigenschaften gerechnet werden. Hier sind entsprechende Änderungen erforderlich, kleine Anpassungen besonders beim Wasserge-

halt sollten es aber ermöglichen, sehr ähnliche Eigenschaften herzustellen.

Die Sieblinie der einzelnen Zuschlagstoffe sowie die gesamten Sieblinien jeder Mischung sind Tabelle 3 und Abb. 3 zu entnehmen.

**Tabelle 2: Beispiele von SVB-Mischrezepten auf der Basis von AALBORG WHITE® [kg/m³]**

| Material               | Mischung 1 | Mischung 2 | Mischung 3 |
|------------------------|------------|------------|------------|
| AALBORG WHITE®         | 350        | 390        | 410        |
| Geschiebesand          | 648        | 457        | 427        |
| Quarzsand 1            |            | 229        |            |
| Quarzsand 2            |            |            | 290        |
| Flusskiesel, rund 4-8  | 270        |            |            |
| Flusskiesel, rund 8-16 | 882        | 1072       |            |
| Granitsplitt 4-8       |            |            | 198        |
| Granitsplitt 8-16      |            |            | 793        |
| Wasser                 | 138        | 141        | 167        |
| Luftporenbilder        | 0,4        | 0,4        | 0,5        |
| Plastifizierer         | 3,0        | 3,5        | 3,6        |
| Ausbreitmaß [mm]       | 600        | 630        | 600        |
| T <sub>30</sub> [s]    | 2,0        | 1,9        | 1,9        |
| T <sub>50</sub> [s]    | 3,6        | 5,6        | 4,8        |
| T <sub>max</sub> [s]   | 21,9       | 24,8       | 19,3       |
| Luftgehalt [%]         | 6,4        | 5,4        | 4,8        |

Dosierungen abhängig von Art der Zusätze

Ausbreitmaß und -zeit sind abhängig von der gewählten Methode. Diese Werte wurden in einem 300 mm langen umgekehrten Kegel ermittelt.

Tabelle 3: Korngrößenverteilung der in den Beispielen verwendeten Zuschlagstoffe und gesamte Sieblinien

| Maschenweite [mm] | Geschiebesand | Quarzsand 1 | Quarzsand 2 | Flusskiesel 4-8 mm | Flusskiesel 8-16 mm | Granit 4-8 mm | Granit 8-16 mm | Mischung 1 | Mischung 2 | Mischung 3 |
|-------------------|---------------|-------------|-------------|--------------------|---------------------|---------------|----------------|------------|------------|------------|
| 32                | 100           | 100         | 100         | 100                | 100                 | 100           | 100            | 100        | 100        | 100        |
| 16                | 100           | 100         | 100         | 100                | 100                 | 100           | 100            | 100        | 100        | 100        |
| 8                 | 100           | 100         | 100         | 97                 | 10                  | 100           | 3              | 56         | 45         | 54         |
| 4                 | 100           | 100         | 100         | 17                 | 4                   | 91            | 2              | 41         | 41         | 43         |
| 2                 | 98            | 55          | 81          | 6                  | 2                   | 3             | 0              | 37         | 34         | 39         |
| 1                 | 88            | 32          | 71          | 4                  | 2                   | 2             | 0              | 33         | 28         | 34         |
| 0,5               | 55            | 8           | 18          | 3                  | 1                   | 0             | 0              | 21         | 16         | 17         |
| 0,25              | 15            | 1           | 0           | 1                  | 1                   | 0             | 0              | 6          | 5          | 4          |
| 0,125             | 4             | 0           | 0           | 0                  | 0                   | 0             | 0              | 1          | 1          | 1          |
| 0,075             | 1             | 0           | 0           | 0                  | 0                   | 0             | 0              | 0          | 0          | 0          |

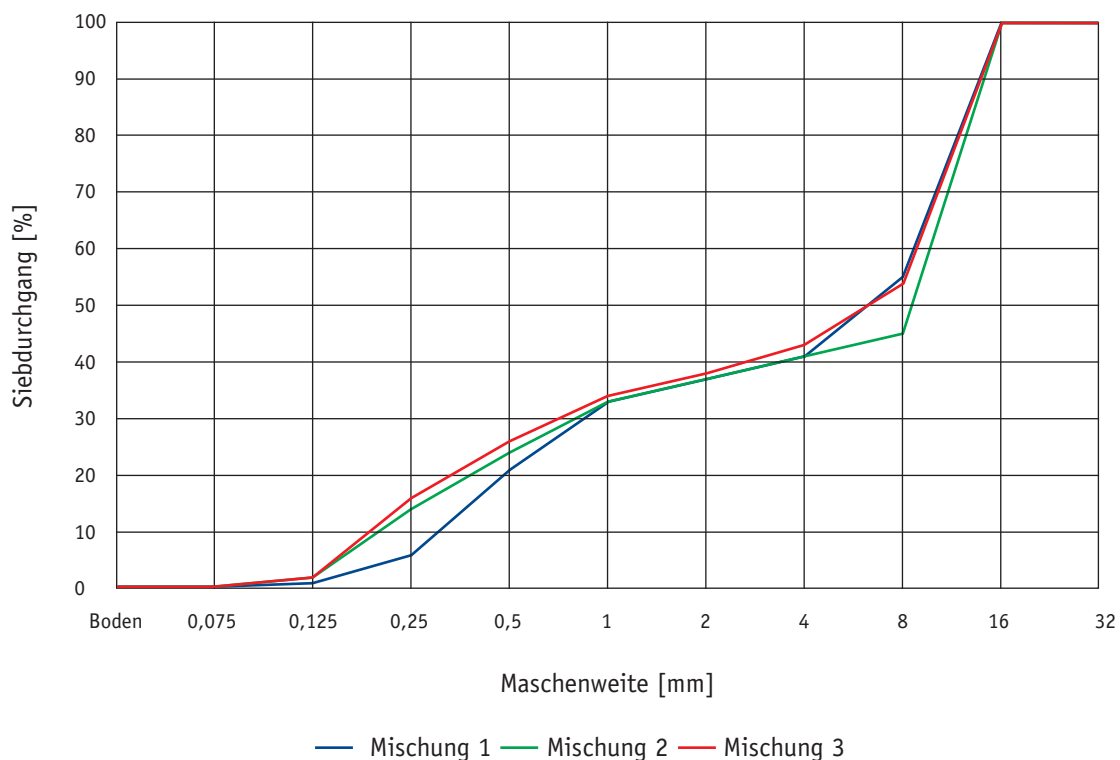


Abb. 3: Sieblinien für die drei Beispiele.



Aalborg Portland A/S

---

Rørdalsvej 44  
P.O.Box 165  
9100 Aalborg  
Dänemark

Telefon +45 98 16 77 77  
Fax +45 98 10 11 86  
E-Mail: [white@AalborgWhite.dk](mailto:white@AalborgWhite.dk)  
Internet: [www.AalborgWhite.com](http://www.AalborgWhite.com)