

# Silicafreier hochfester Beton mit Dyckerhoff Veridur®

## Ein neuer Portlandhüttenzement EN 197-1 – CEM II/ A-S 52,5 R

Von Andreas Blobner, Dieter Israel, Wolfgang Möller und Reinhard Winzer, Wiesbaden

### 1 Stand der Technik

Das Bestreben der Bauwerksplaner, druckbeanspruchte Tragglieder mit immer schlankeren Querschnitten auszuführen, ist ein bevorzugtes Anwendungsgebiet von hochfestem Beton, z.B. im Hochhausbau (Bild 1). Hochfester Beton war in der „alten“ Betonnorm DIN 1045:1988-07 nicht erfasst und wurde durch die Richtlinie für hochfesten Beton des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (Ausgabe 1995) für die Festigkeitsklassen B 65 bis B 115 geregelt. Die „neue“ DIN EN 206-1:2001-07/ DIN 1045-2:2001-07 beinhaltet Festlegungen für Normal- und Schwerbeton der Festigkeitsklassen C55/67 bis C100/115 sowie für Leichtbetone der Festigkeitsklassen LC55/60 bis LC80/88. Trotz der europäischen normativen Regelungen bedarf in Deutschland der Einsatz der beiden jeweils höchsten Festigkeitsklassen C90/105 und C100/115 bzw. LC70/77 und LC80/88 nach DIN 1045-2 einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung oder einer Zustimmung im Einzelfall.

Eine Erhöhung der Druckfestigkeit von Beton kann durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Absenkung des Wasserzementwerts durch Verwendung von Fließmitteln, heutzutage auch Hochleistungsfließmitteln

- Verwendung von hochfesten Gesteinskörnungen (z.B. Basaltsplitt)
- Einsatz von Zement der hohen Festigkeitsklassen (CEM 42,5 R; CEM 52,5 R).

Auf diese Weise lassen sich Betonfestigkeitsklassen bis C55/67 bzw. LC50/55 erzielen. Werden darüber hinausgehende höhere Betonfestig-

keiten verlangt, sind neben der betontechnologischen Optimierung zusätzliche Maßnahmen erforderlich.

Die kritischen Punkte im Betongefüge sind zum einen die Zwickel zwischen den Zement-(und ggf. Zusatzstoff-)partikeln und zum anderen die Übergangszone zwischen der Zement-/Zusatzstoffmatrix und dem Gesteinskorn. Mit sehr feinen puzzolanischen oder latent-hydraulischen Stoffen können diese Zwickel gefüllt werden und gleichzeitig die Übergangszone zwischen Gesteinskorn und Zement-/Zusatzstoffmatrix gestärkt werden [1, 2]. Auf diese Weise können Betondruckfestigkeiten von mehr als 120 N/mm<sup>2</sup> erreicht werden.

In der Praxis werden diese Effekte oft durch die Zugabe von Silicastaub



Bild 1: Post-tower in Bonn

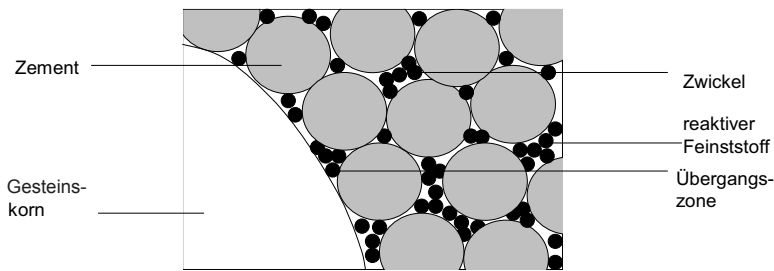


Bild 2: Schematische Darstellung der Verdichtung des Betongefüges mit Hilfe von Feinstoffen

erzielt. Die Zugabe von Silicastaub erfolgt in der Regel in Form einer Silicastaub-Suspension (Slurry) im Betonwerk. Dies erfordert eine spezielle Dosiertechnik. Dosieren und Mischen erfordern eine entsprechende Sorgfalt, da bei inhomogener Verteilung der Silicastaub-Suspension im Beton lokale Alkali-Kieselsäure-Reaktionen auftreten können, die das Betongefüge schädigen [3, 4].

Darüber hinaus werden zur Sicherstellung einer ausreichenden Verarbeitbarkeit des Frischbetons deutlich größere Fließmittelmengen als bei normalen Betonen benötigt [5, 6].

## 2 Hochleistungszement CEM II/A-S 52,5 R

Mit einer Kombination aus herkömmlichem Zement CEM I 52,5 R und Hüttensandmehlen mit definierter Feinheit lassen sich die o.g. Problemzonen im Betongefüge, d.h. die Zwischenräume zwischen den Zementpartikeln und die Übergangszone Zementsteinmatrix/Gesteinskorn, ebenfalls beseitigen (Bild 2) [7]. Voraussetzung dafür ist die optimale granulometrische Abstimmung von Hüttensandmehl und verwendetem Portlandzement. Ein auf diese Weise zusammengesetzter Zement hat einen geringen Wasserbedarf im Beton. Dadurch kann der Beton mit niedrigem Wasserzementwert  $w/z$

(oder  $(w/z)_{eq}$ ) verarbeitet werden, so dass der Bedarf an Fließmittel oder Hochleistungsverflüssiger sogar unter dem normaler Betone (z.B. C45/55) liegt.

Die beschriebene gleichzeitige Abstimmung der granulometrischen und chemisch-mineralogischen Eigenschaften der einzelnen Komponenten Hüttensandmehl und Portlandzementklinker ist im Bindemittel Dyckerhoff Veridur® verwirklicht, ein Portlandhüttenzement CEM II/A-S 52,5 R nach DIN EN 197-1 mit den in **Tafel 1** dargestellten Kennwerten.

## 3 Betondaten im Vergleich

Auf der Grundlage dieses neu entwickelten Portlandhüttenzements

Tafel 1: Einige Kennwerte des CEM II/A-S 52,5 R Veridur®

| Eigenschaften         |                   | Kennwert |
|-----------------------|-------------------|----------|
| Wasseranspruch        | %                 | 31,0     |
| Erstarrungsbeginn     | min               | 178      |
| Zementdruckfestigkeit |                   |          |
| 1 Tag                 | N/mm <sup>2</sup> | 28       |
| 2 Tage                | N/mm <sup>2</sup> | 44       |
| 7 Tage                | N/mm <sup>2</sup> | 66       |
| 28 Tage               | N/mm <sup>2</sup> | 75       |
| Kornverteilung        |                   |          |
| Lagemaß d'            | µm                | 8,8      |
| Steigungsmaß n        |                   | 0,85     |
| Hellbezugswert Y      |                   | 46       |

EN 197-1 - CEM II/A-S 52,5 R können hochfeste Betone bis zu einer Festigkeitsklasse C90/105 zielsicher hergestellt werden. Ein zusätzlicher Ausgangsstoff und der damit verbundene Aufwand sind nicht mehr erforderlich.

Es entfallen im Einzelnen:

- Aufwendige und frostfreie Lagerung der Silicastaub-Suspension
- Umwälzvorrichtung zur Homogenisierung der Silicastaub-Suspension
- Verschleißarme robuste Dosierpumpe (z.B. Membran- oder Rotorpumpe)
- Installation einer Dosiereinrichtung einschließlich Anbindung an die Anlagensteuerung
- Anpassung des Lieferscheinausdrucks.

Der besondere Vorteil liegt darin, dass diese Betone ohne Zugabe von farbbeeinflussendem Silicastaub hergestellt werden können. Im Vergleich zu den dunklen hochfesten Betonen mit Silicastaub entstehen helle Betonoberflächen für „freundlichen“ Sichtbeton (Bild 3). Insbesondere wird dadurch die Kombination mit Bauteilen aus Normalbeton im Sichtbetonbereich möglich (Bild 4).



Bild 3: Oberfläche eines Wandelements aus Veridur®

Tafel 2 enthält die Zusammensetzung eines herkömmlich hergestellten hochfesten Betons B95 mit Silicastaub, der für den Posttower in Bonn (Bild 1) verwendet wurde, im Vergleich zu der Zusammensetzung

eines mit CEM II/A-S 52,5R hergestellten C80/95.

In Tafel 3 sind das Ausbreitmaß als Kennwert für die Verarbeitbarkeit des Frischbetons, die Druckfestigkeits-

entwicklung und der Elastizitätsmodul im Alter von 28 Tagen angegeben.

Die Veränderung der Verarbeitbarkeit des mit dem Portlandhüttenze-

Tafel 2: Betondaten im Vergleich

| Betonfestigkeitsklasse          |                   | B 95<br>(Posttower Bonn) |              | C80/95                   |
|---------------------------------|-------------------|--------------------------|--------------|--------------------------|
| Zementart und Festigkeitsklasse |                   | CEM I 42,5 R             |              | CEM II/A-S 52,5 R        |
| Zementgehalt z                  | kg/m <sup>3</sup> | 400                      |              | 470                      |
| Wassergehalt w/z                | kg/m <sup>3</sup> | 155                      |              | 130                      |
| (w/z) <sub>eq</sub>             |                   | 0,42                     |              | 0,29                     |
|                                 |                   | 0,36 *)                  |              | 0,28 *)                  |
| Gesteinskörnung                 |                   |                          |              |                          |
| Rheinsand 0/2a                  | kg/m <sup>3</sup> | 558                      |              | 712                      |
| Rheinkies 2/8                   | kg/m <sup>3</sup> | 262                      |              | 267                      |
| Basaltsplit 8/16                | kg/m <sup>3</sup> | 1.069                    |              | 910                      |
| Gesamtgehalt                    | kg/m <sup>3</sup> | 1.889                    |              | 1.889                    |
| Zusatzstoff                     |                   | Steinkohlen-             | Silicastaub- | Steinkohlen-             |
| Art                             |                   | flugasche                | Suspension   | flugasche                |
| Gehalt                          | kg/m <sup>3</sup> | 80                       | 70           | 70                       |
| Zusatzmittel                    |                   | Fließmittel              |              | Hochleistungsfließmittel |
| Art                             |                   | 3,0                      |              | 1,5                      |
| Gehalt                          | % von z           |                          |              |                          |

\*) Für die (w/z)<sub>eq</sub>-Bestimmung wurden folgende Anrechnungsfaktoren verwendet: Flugasche: k<sub>f</sub> = 0,4; Silica: k<sub>s</sub> = 1,0 (für 35 kg Feststoff in 70 kg Slurry)

Tafel 3: Frisch- und Festbetonergebnisse

| Betonfestigkeitsklasse         |                   | B 95<br>(Posttower Bonn) | C80/95 |
|--------------------------------|-------------------|--------------------------|--------|
| Ausbreitmaß                    |                   |                          |        |
| $a_{10}$                       | mm                | 640                      | 620    |
| $a_{45}$                       | mm                | 580                      | 610    |
| Druckfestigkeit                |                   |                          |        |
| 1 Tag                          | N/mm <sup>2</sup> | 28                       | 74     |
| 2 Tage                         | N/mm <sup>2</sup> | 58                       | 87     |
| 7 Tage                         | N/mm <sup>2</sup> | 84                       | 90     |
| 28 Tage                        | N/mm <sup>2</sup> | 104                      | 107    |
| 56 Tage                        | N/mm <sup>2</sup> | 116                      | 113    |
| Elastizitätsmodul<br>(28 Tage) | N/mm <sup>2</sup> | 51000                    | 54000  |

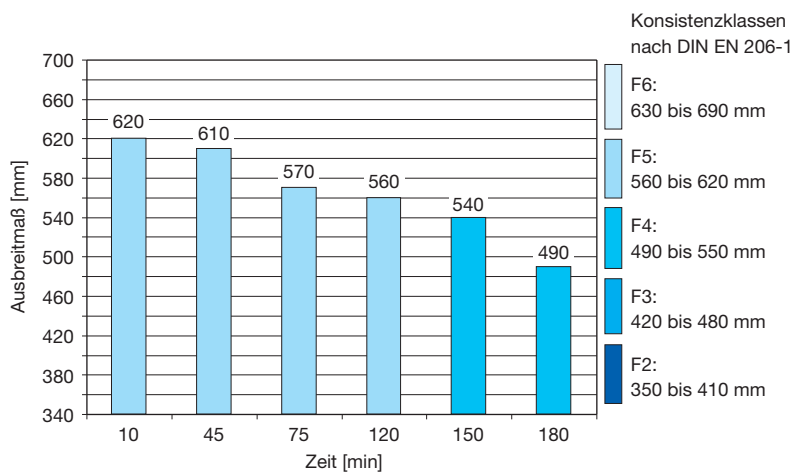


Bild 5: Konsistenzverlauf B 95 bzw. C80/95 mit Dyckerhoff Veridur®

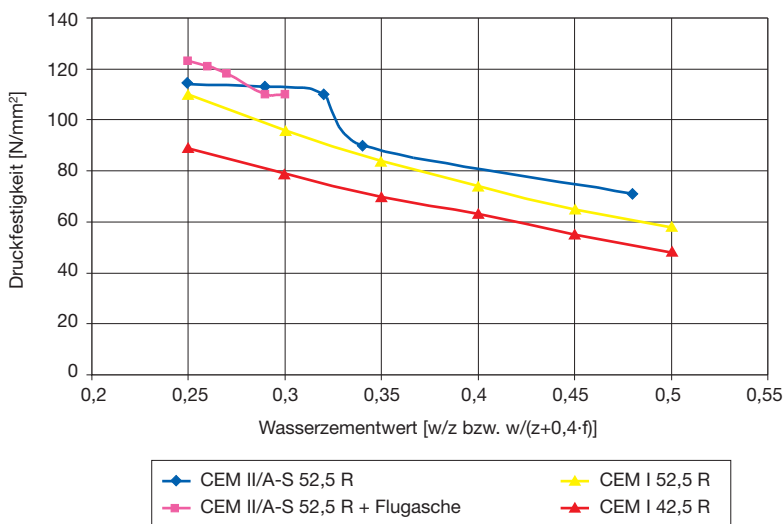


Bild 6: Walzkurve für Betone mit Dyckerhoff Veridur® (Prüfalter 28 Tage)



Bild 4: Stütze B 85 aus Veridur® auf Decke aus Normalbeton

ment CEM II/A-S 52,5 R hergestellten Betons ist deutlich günstiger. Der Beton lässt sich in die Konsistenzklasse F5 eingruppierten (Bild 5). Aufgrund des bei hochfestem Beton üblichen Mehlkorngehalts lassen sich die neuen Konsistenzklassen F5 und F6 nach DIN EN 206-1/ DIN 1045-2:2001-07 in Kombination mit geeigneten Fließmitteln zielsicher erreichen.

Die Festigkeit des Betons in jungem Alter ist bereits sehr hoch, ohne dass sich dabei die Hydratationswärme und damit die Rissgefahr entsprechend erhöhen. Somit wird ein schneller Baufortschritt möglich.

Bis zu einer Betonfestigkeitsklasse C70/85 lassen sich hochfeste Betone ohne weitere Zugabe von Zusatzstoffen zielsicher herstellen. Für Betone der Druckfestigkeitsklassen C80/95 und höher wurde zusätzlich Steinkohlenflugasche nach DIN EN 450 eingesetzt. Dieser Zusatzstoff (Typ II nach DIN EN 206-1/ DIN 1045-2:2001-07) führt infolge seiner günstigen Eigenschaften in Ver-

bindung mit dem CEM II/A-S 52,5R Dyckerhoff Veridur® zu einer Festigkeitssteigerung. **Bild 6** zeigt, dass dies insbesondere den Bereich  $w/(z+0,4\cdot f) < 0,28$  betrifft. Mit zunehmendem Prüfalter verstärkt sich dieser Effekt.

#### 4 Zusammenfassung

Die neue Zementgeneration Dyckerhoff Veridur® EN 197-1 – CEM II/A-S 52,5R ermöglicht es, hochfeste Betone ohne Zusatz von Silicastaub herzustellen. Dadurch entfällt der Bedarf an zusätzlichen Investitionen und die Betonherstellung im Betonwerk wird wesentlich vereinfacht.

Durch die granulometrische und chemisch-mineralogische Feinabstimmung des Zements, die eine hochfeste Zementsteinmatrix und eine sehr dichte verbundfeste Übergangszone zwischen Zementstein und dem eher schwieriger einzubindenden Grobkorn bewirkt, lassen sich äußerst dauerhafte Betone insbesondere hinsichtlich Frost- und Tausalz widerstand und hohem chemischen Widerstand herstellen.

#### 5 Literatur

- [1] Frigione, G.; Marra, S.: Relationship between particle size distribution and compressive strength in Portland cement. *Cement and Concrete Research* 27 (1997), S. 685–695.
- [2] Goldmann, A.; Bentur, A.: The influence of microfillers on enhancement of concrete strength. *Cement and Concrete Research* 23 (1993), S. 962–972.
- [3] Martschuk, V.; Stark, J.: Hochleistungsbeton mit hoher Dauerhaftigkeit. *Betonwerk + Fertigteil-Technik* 64 (1998) H. 4, S. 73–83.
- [4] Pettersson, K.: Effects of silica fume on alkali-silica expansion in mortar specimens. *Cement and Concrete Research* 22 (1992), S. 15–22.
- [5] Stark, J.: Zu einigen Aspekten der Dauerhaftigkeit von Hochleistungsbeton. *Leipziger Massivbau-Seminar, Band 7: Erfahrungen mit Hochleistungsbeton*, 1998, S. 57–72.
- [6] Brüggemann, H.-G.: Qualitätssicherung bei der Herstellung und Verarbeitung von Hochleistungsbeton. *Leipziger Massivbau-Seminar, Band 7: Erfahrungen mit Hochleistungsbeton*, 1998, S. 23–28.
- [7] Lange, F.: Gefügeuntersuchungen und Eigenschaften von Hüttensand enthaltenden Zementen. *Dissertation, Technische Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg*, 1996.

#### Nachtrag und Ergänzung zu Bild 6 der Beton-Information 5/6 • 2003:

