

**Zeitschrift:** Cementbulletin  
**Herausgeber:** Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)  
**Band:** 62 (1994)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Zusatzmittel. Teil 2, BV und HBV  
**Autor:** Hermann, Kurt  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-153796>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 09.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Zusatzmittel: BV und HBV

Die im letzten «Cementbulletin» begonnene Reihe über Zusatzmittel wird mit einem Artikel über BV und HBV fortgesetzt.

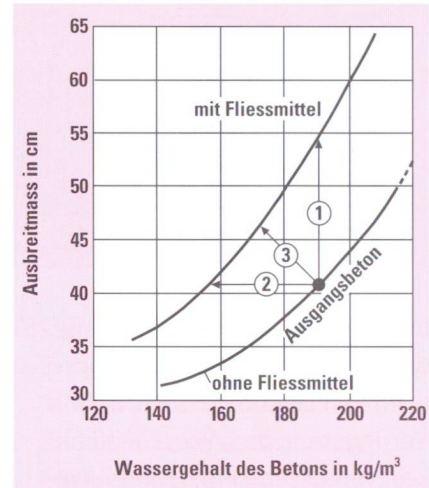
## Teil 2

Hochleistungsverflüssiger (HBV) sind – nicht nur in der Schweiz – die am häufigsten verwendeten Zusatzmittel. Wie Verflüssiger (BV) vermindern sie den Wasseranspruch und/oder verbessern die Verarbeitbarkeit von Frischbeton. HBV eignen sich zusätzlich zur Herstellung von Beton mit fliessfähiger Konsistenz (Fliessbeton); in Deutschland werden sie deshalb als Fliessmittel (abgekürzt FM) bezeichnet. Vieles, was im folgenden über HBV ausgesagt wird, gilt abgeschwächt auch für BV. Dies lässt sich beispielsweise anhand der in *Tabelle 1* enthaltenen Anforderungen an die beiden Zusatzmittelarten bezüglich Druckfestigkeitserhöhung bei Fest- und Wasserreduktion bei Frischbeton zeigen. Diese Angaben sind in der prEN 934-2 [1], enthalten, die wohl auch in der Schweiz Gültigkeit erlangen wird. Allgemein

gilt: BV können oft durch HBV in niedrigeren Konzentrationen ersetzt werden, HBV aber nicht durch höherdosierte BV.

Durch HBV (und in geringerem Ausmass auch durch BV) lassen sich unterschiedliche Effekte erzielen, die sich positiv auf die Eigenschaften von Frisch- und/oder Festbeton auswirken. Die wichtigsten sind aus *Abbildung 1* herauszulesen [2]:

- **Pfeil 1:** Starke Verflüssigung des Betons (Vergrösserung des Ausbreitmasses) bei gleichem Zement- und Wassergehalt bzw. bei gleichem Wasserzementwert (W/Z-Wert), was – vereinfacht ausgedrückt – besserer Verarbeitbarkeit bei gleicher Festbetonqualität entspricht.
- **Pfeil 2:** Beibehaltung einer vorgegebenen Konsistenz (Verarbeitbarkeit), aber Reduktion des Wassergehalts bei konstanter Zementdosierung (niedrigerer W/Z-Wert), was zu besseren Festbetoneigenschaften (Festigkeiten, Dauerhaftigkeit, Schwinden) führt.



**Abb. 1 Wirkung von Fliessmitteln (s. Text) [2].**

- **Pfeil 3:** Kombination der vorstehenden Effekte, indem der W/Z-Wert reduziert wird (weniger Wasser) und gleichzeitig die Konsistenz des Frischbetons erhöht wird, was bessere Verarbeitbarkeit und bessere Festbetoneigenschaften bedeutet.

Die positiven Eigenschaften von BV und HBV kommen vor allem dann zum Tragen, wenn sie verwendet werden, um den W/Z-Wert einer gegebenen Betonmischung zu verringern, indem der Wassergehalt gesenkt wird (siehe auch *Tabelle 1*): Neben der Verflüssigungswirkung ist besonders die Erhöhung der Früh- und Endfestigkeit von Bedeutung. Dabei kann die Zunahme der Druckfestigkeit grösser sein, als aufgrund der Reduktion des W/Z-Werts erwartet werden könnte. Möglicherweise ist dieser Effekt auf eine verbesserte Effizienz der Zementhydratation zurückzuführen [3]. Zudem wirkt sich die gleichmässige Verteilung des Zements in der Betonmatrix günstig aus.

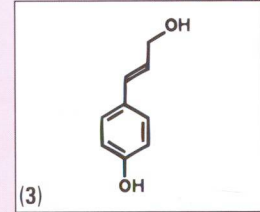
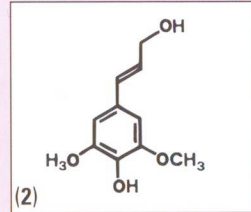
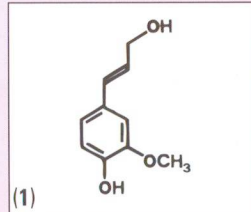
Eigenschaft	Anforderung an BV	Anforderung an HBV
Druckfestigkeit in % der Nullmischung	110 % (nach 7 Tagen) 110 % (nach 28 Tagen)	140 % (nach 1 Tag) 115 % (nach 28 Tagen)
Wasserreduktion in % der Nullmischung (gleiche Ausgangskonsistenz)	5%	12%
Konsistenzverbesserung (gleicher W/Z-Wert, Ausgangskonsistenz 380 mm)	—	160 mm
Abfall der Verflüssigungswirkung auf Ausgangskonsistenz	—	min. 30 min

**Tab. 1 Anforderungen an Zusatzmittel gemäss prEN 934-2 [1].**

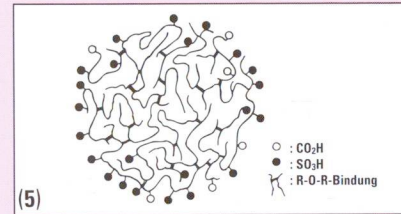
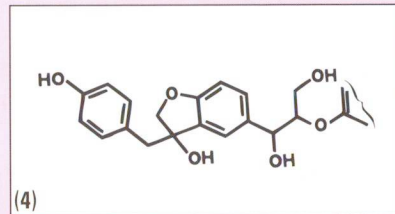


## Die wichtigsten BV und HBV

**Ligninsulfonate** sind Salze der Ligninsulfonsäuren, die bei der Herstellung von Papier oder Zellstoff durch den sauren Sulfitaufschluss anfallen. Ihr Polymerisationsgrad ist uneinheitlich. Die Molekularmassen liegen zwischen 5000 und 100 000, je nach Rohstoff und Herstellungsverfahren. Die Bausteine von Lignin sind Coniferylalkohol (1), Sinapinalkohol (2) und Cumarylalkohol (3) [13].



Die Alkohole 1 bis 3 sind auf mindestens zehn verschiedene Arten miteinander verknüpft. Die Grundeinheit von Ligninen und Ligninderivaten ist 4, eine stark vereinfachte schematische Darstellung von Ligninsulfonaten ist 5 [14].



In der Norm SIA 162 ([4], Tabelle 25) werden zudem die folgenden positiven Einflüsse von HBV erwähnt: Verringerung der Wasserleitfähigkeit, verbesserte Frost- und Frosttausalzbeständigkeit sowie geringeres Schwinden und Kriechen.

### Die wichtigsten BV und HBV

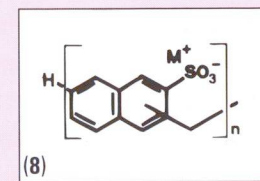
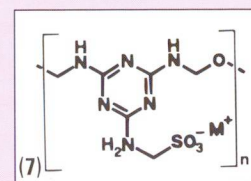
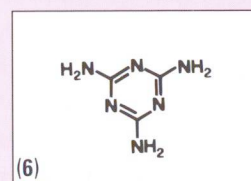
Die chemische Zusammensetzung der wichtigsten BV und HBV ist recht kompliziert, da es sich um Polymere handelt, deren Zusammensetzung variieren kann. Sie stammen entweder aus chemisch modifizierten Naturprodukten (Ligninsulfonate) oder werden künstlich hergestellt (Melamin- und Naphthalinsulfonate sowie die noch relativ wenig verbreiteten synthetischen Polyvinylverbindungen). Zusätzliche Informationen über die Herstellung und ausgewählte Eigenschaften der am häufigsten verwendeten HBV und BV enthält der Kasten «Die wichtigsten BV und HBV».

**Ligninsulfonate** sind bereits in niedrigen Konzentrationen als Verflüssiger von Frischbeton wirksam: 0,2 bis 0,5 % einer 30%igen wässrigen Lösung (bezogen auf Zementgehalt) können in vielen Fällen ausreichen. Allerdings verzögern Ligninsulfonate die Zementhydratation und haben die Tendenz, Luftporen zu bilden, besonders wenn sie relativ

Die Ligninsulfonate sind mit anderen Holzinhaltsstoffen wie Zucker, Abbauprodukten der Cellulose oder Lignin selbst verunreinigt. Sie müssen, um als BV oder HBV eingesetzt werden zu können, gereinigt werden. Dabei gelingt es, weitgehend zuckerfreie Produkte herzustellen.

Ligninsulfonate sind wasserlöslich. Technisch genutzt werden sie wegen ihrer Binde- und Klebekraft sowie ihres Tensidcharakters. Als Verflüssiger werden Calcium- oder Natriumsalze der Ligninsulfonate eingesetzt.

**Melaminsulfonate** (7) sind Polymere des Melamins (6). Sie werden durch einfache Syntheseschritte grostechnisch hergestellt. Die durchschnittliche Molekularmasse der Endprodukte (Natriumsalze) beträgt 30 000.



**Naphthalinsulfonate** (8) wurden bereits vor dem 2. Weltkrieg als BV verwendet, konnten sich damals aber wegen des hohen Preises nicht durchsetzen. Erst 1960 tauchten sie erneut auf dem japanischen Markt auf, allerdings unter der Bezeichnung HBV.

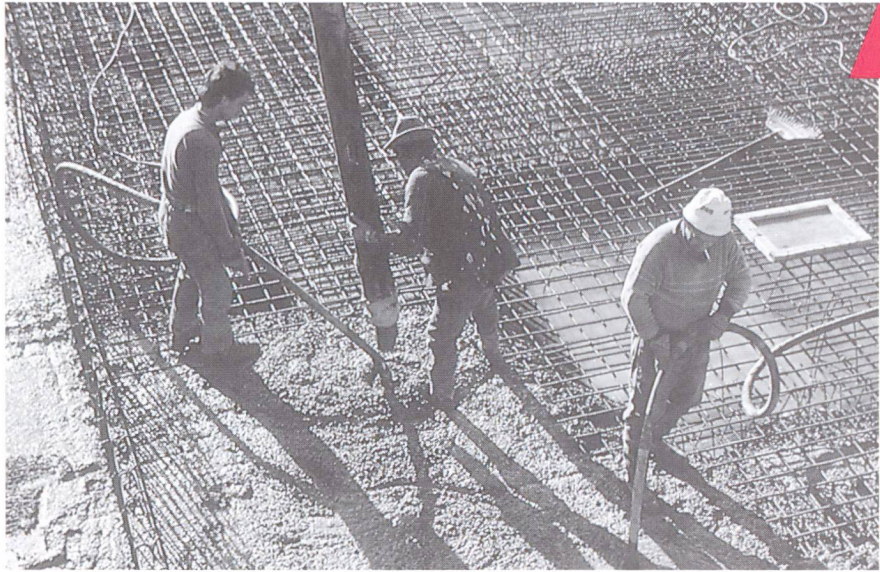
Als HBV werden Calcium- oder Natriumnaphthalinsulfonate eingesetzt, deren mittlerer Kondensationsgrad  $n$  um 8 liegen sollte. Zu tiefe  $n$ -Werte führen zu Naphthalinsulfonaten, die die Oberflächenspannung von Wasser herabsetzen und Luft in den Beton einführen [5].

viel Zucker als Verunreinigung enthalten. Die eingeführte Luft kann in grossen Blasen vorliegen, die wenig zur Frosttausalzbeständigkeit des Betons beitragen [6]. Deshalb werden Ligninsulfonate oft mit entschäumenden Additiven kombiniert, die aber die gleichzeitige Ver-

wendung von Luftporenbildnern (LP) erschweren.

Ligninsulfonate eignen sich nicht für Beton, der für die Herstellung von Fertigteilen eingesetzt wird. Die verzögernde Nebenwirkung kann allerdings bei Transportbeton durchaus erwünscht sein.





*Melaminsulfonate.* Die Dosierungen sind relativ hoch ( $> 1\%$  einer 30%igen wässrigen Lösung, bezogen auf den Zementgehalt). Zusätzlich zur weichen Konsistenz des Frischbetons kann durch höhere Dosierungen ein gewisser «Klebeffekt» erzielt werden, der einen guten Zusammenhalt des Betons bewirkt, ohne dass dieser an der Schalung haftet [5]. Im Gegensatz zu Ligninsulfonaten weisen sie keine verzögernde Wirkung auf. Einige Produkte beschleunigen sogar die Zementhydratation.

Melaminsulfonate eignen sich für die Herstellung frühhochfester Betone in Fertigteilwerken und beim Strassenbau (kombiniert mit einem LP), wo die erwähnte Klebwirkung dazu beiträgt, dass die Luftporen in Beton besser gehalten und nicht ausgetrieben werden.

*Naphthalinsulfonate* sind sehr gute HBV, die bereits in niedrigen Konzentrationen (0,2 bis 0,5 % einer 30%igen wässrigen Lösung, bezogen auf den Zementgehalt) wirksam sind. Sie verzögern die Zementhydratation kaum und wirken nicht luftporenbildend.

Naphthalinsulfonate bewähren sich bei der Herstellung von Fertigteilen und – kombiniert mit Melaminsulfonaten – auch für Strassenfliessbeton, wenn kurze Ausschallfristen angestrebt werden.

Vorteilhaft sind auch Kombinationen von Melamin- oder Naphthalinsulfonaten mit Ligninsulfonaten. Dadurch werden einerseits die Kosten gesenkt und andererseits können Zucker im Ligninsulfonat das Abbinden leicht verzögern und damit eine verlängerte Verarbeitbarkeit gewährleisten.

Neben den drei Haupttypen sind zahlreiche andere Verbindungen bekannt, die sich als HBV oder doch wenigstens als BV einsetzen lassen. Beispiele sind Polyacrylate, Polystyrolsulfonate und Polymere von Maleinsäurederivaten, also Polyvinylverbindungen. Diese Produkte kommen aber in ihrer Bedeutung bei weitem nicht an die drei Haupttypen heran; sie werden deshalb hier nicht weiter behandelt.

### Einflüsse auf BV und HBV

Die Wirkungen von BV und HBV im Frischbeton sind hauptsächlich physikalischer Natur, das heisst, sie beeinflussen die Hydratation des Zements nicht oder nur wenig. Im Kasten «Wirkungsmechanismen von HBV» wird vertiefter auf die komplizierten, nur teilweise geklärten Vorgänge eingegangen. Ihre Kenntnis ist zum Verständnis des Folgenden nicht erforderlich. Die Wirkung von BV und HBV wird durch zahlreiche Faktoren beeinflusst.

Zu den wichtigsten gehören:

- Zusatzmittel (Typ und Hersteller, Menge und Dosierungsart)
- Zement (Zusammensetzung, Feinheit und Gehalt)
- Wassergehalt
- Zuschläge (Kornform und Korngrösse)
- Frischbetontemperatur
- Zugabe- und Mischvorgang
- Betonkonsistenz

Diese Aufzählung macht verständlich, dass keine allgemeinen Vorschriften für die Dosierung eines bestimmten HBV möglich sind. Diese muss vielmehr durch Vorversuche unter möglichst wirklichkeitsnahen Bedingungen ermittelt werden, wie dies in der Norm SIA 162 gefordert wird [4].

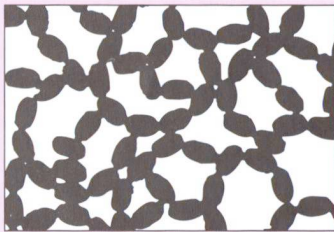
### Dosierung von BV und HBV

Die Wirksamkeit von Melamin- und Naphthalinsulfonaten ist während etwa einer halben Stunde nach der Zugabe noch hoch, fällt danach aber rasch ab (Melaminsulfonate schneller als Naphthalinsulfonate) und kann nach 45 bis 90 min vollständig verschwunden sein. Ligninsulfonate sind länger wirksam, verlieren aber am Anfang stärker an Aktivität als die anderen HBV. Neuentwickelte Spezialprodukte (sulfonierte Vinylpolymere [7]) sollen hier Abhilfe schaffen, indem sie über längere Zeit wirksam sind.

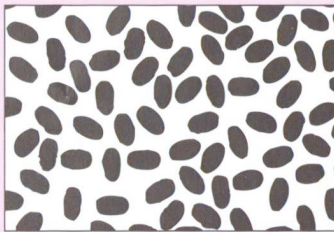


Zementteilchen haben eine starke Tendenz, in Wasser auszuflocken. Verantwortlich dafür sind sogenannte van der Waals-Wechselwirkungen zwischen den Teilchen, elektrostatische Wechselwirkungen zwischen Stellen entgegengesetzter Ladung sowie Brückenbildungen unter Beteiligung von Wassermolekülen.

Im offenen Netzwerk, das durch das Ausflocken gebildet wird, kann ein Teil des Wassers «eingefangen» werden (Abb. A). Dieses Wasser steht für die oberflächliche Hydratation der Zementteilchen und die Verflüssigung nicht mehr zur Verfügung, der Frischbeton steift an. Durch die Zugabe eines HBV werden die Zementteilchen entflockt und stark dispergiert, d. h. verteilt (Abb. B).



A



B

Schematische zwei-dimensionale Darstellung von Zementteilchen im ausgeflockten Zustand (A) und als Dispersion (B) nach Zugabe eines HBV [15].

Die Entflockung allein genügt jedoch nicht, um die verflüssigende und dispergierende Wirkung von HBV zu erklären. Zu den weiteren Einflüssen, die in der Literatur diskutiert werden, gehören unter anderem:

- Erniedrigung der Oberflächenspannung des Wassers
- Induktion von elektrostatischer Abstossung zwischen Teilchen
- Bildung eines Schmierfilms zwischen den Zementteilchen
- Behinderung der oberflächlichen Hydratation der Zementteilchen, wodurch mehr Wasser für Verflüssigung vorhanden
- Morphologie der Hydratationsprodukte (z. B. Ettringit) verändert
- Unterbindung des Kontakts zwischen Teilchen durch induzierte sterische Hinderung

Wahrscheinlich ist die verflüssigende Wirkung von HBV auf mehrere dieser Phänomene zurückzuführen. Der gegenwärtige Stand des Wissens lässt sich folgendermassen zusammenfassen: Für die Ausflockung der Zementteilchen sind vor allem van der Waals- und elektrostatische Kräfte verantwortlich. Bei der Adsorption der geladenen HBV-Teilchen auf der Oberfläche von Zementteilchen entstehen abstossende Kräfte, die grösser als die anziehenden Kräfte sind; die Teilchen werden dispergiert, ihre Reagglomeration wird verhindert. Daneben spielen weitere Effekte wie die Veränderung des Hydratationsprozesses von  $C_3A$  durch Naphthalinsulfonate eine positive Rolle.

Die Konzentration der aktiven HBV-Moleküle an den Grenzflächen von Zementteilchen und Wasser sinkt laufend, da die Wirkstoffe teilweise in den Hydratationsprodukten eingebunden werden. Deshalb nimmt der verflüssigende Effekt der HBV im zeitlichen Verlauf ebenfalls ab.

(Quelle: [15])

dass er nicht mehr verarbeitbar ist, darf nicht durch die Zugabe von Wasser verflüssigt werden! Hin- gegen kann die gewünschte Konsistenz eines Betons im Fahrmischer oft durch einen geeigneten HBV wiederhergestellt werden, wenn entsprechende Vorversuche durchgeführt wurden.

### Ökologische Aspekte

Die meisten HBV und BV sind gift- klassenfrei oder gehören der Gift- klasse 4 an. Über die Schwierigkei- ten beim Sammeln ökologischer Daten über Zusatzmittel wurde bereits berichtet [9]. Die folgenden Angaben stammen fast ausschliess- lich aus einer Schrift, die in Deutsch- land vom Industrieverband Bau- chemie und Holzschutzmittel her- ausgegeben worden ist [10].

Die wichtigsten Angaben über die Toxizität von BV und HBV sind in *Tabelle 2* zusammengefasst. Daraus geht hervor, dass die biologische Abbaubarkeit wohl die Achillesferse der HBV darstellt. Allerdings ist fest- zuhalten, dass diese Zusatzmittel schnell aus dem Wasser absorbiert und fest in die Zementmatrix einge- baut werden [10].

Im erwähnten Bericht [10] wird zu- dem festgehalten, «dass beim Be- tonrecycling keine Schwierigkeiten zu erwarten sind, die einer Wieder-

BV und HBV werden im allgemeinen gleichzeitig mit dem Anmachwasser oder etwas später in den Mischer gegeben. In der Schweiz ist es üb- lich, im Sommer HBV-VZ und im Winter HBV zu verwenden. Nachdosierungen von HBV auf der Baustelle sind durchaus möglich, werden aber meist auf Fälle von unvorhersehbaren Einbauverzöge- rungen beschränkt [8]. Bei einigen Produkten wird sogar empfohlen, diese erst auf der Baustelle in den Fahrmischer zu geben. Anschlies-

send muss pro  $m^3$  Frischbeton während mindestens 1 min ge- mischt werden. Bei einem Fahrmis- cher mit  $5 m^3$  Inhalt sind 5 min allerdings oft zu knapp bemessen. Deshalb sollte die Mischzeit leicht erhöht werden. Dabei muss un- bedingt mit einer Uhr kontrolliert werden, da nach Gefühl festgelegte Mischzeiten erfahrungsgemäss zu kurz ausfallen. Die Folgen können Entmischungen sein [8]. Übrigens: Beton, der zum Zeitpunkt des Einbaus so weit angesteift ist,



Hochleistungsverflüssiger	Humantoxizität	genetische Effekte	Fischtoxizität	biologische Abbaubarkeit
Ligninsulfonate	nicht haut- oder schleimhautreizend (Tierversuche)	keine erbgutverändernden Eigenschaften	keine	mässig gut abbaubar
Melaminsulfonate	wenig toxisch bei Aufnahme durch den Mund, leicht haut- und schleimhautreizend in hohen Konzentrationen	keine erbgutverändernden Eigenschaften	gering	nicht leicht abbaubar
Naphthalinsulfonate	nicht hautreizend, leichte Reizungen bei Augenkontakt		gering	schwer abbaubar

Tab. 2 Toxische Eigenschaften der wichtigsten HBV-Typen [10].

verwendung von Altbeton entgegenstehen. Erste Zwischenergebnisse der Grundlagenforschung auf diesem Gebiet bestätigen die guten Erfahrungen aus der Praxis.» Weitere Untersuchungen sind jedoch sicher notwendig.

### Hochleistungsbeton

Die Herstellung von Hochleistungsbetonen ist nur durch den Einsatz

von HBV möglich. Hochleistungsbetone sind mehr als hochfeste Betone [11, 12]: Neben einer hohen Druckfestigkeit weisen sie weitere interessante Eigenschaften wie hohe Elastizitätsmodule, hohe Dichtigkeit, niedrige Permeabilität sowie einen ausgezeichneten Widerstand gegen Umwelteinflüsse auf. Typische Merkmale eines Hochleistungsbetons sind der relativ hohe

Zementgehalt, die Verwendung von Silicastaub sowie ein niedriger W/Z-Wert ( $<0,35$ ). Durch die Zugabe von HBV weist der Frischbeton eine weiche bis fließfähige Konsistenz auf. Allerdings treten relativ häufig Kompatibilitätsprobleme zwischen HBV und Zement auf [12]. Kombinationen, die sich bei W/Z-Werten um 0,5 bewährt haben, müssen bei niedrigen W/Z-Werten nicht unbedingt auch «funktionieren». Dieses Problem lässt sich vorläufig nur durch Vorversuche lösen.

Typische Anwendungsbereiche von Hochleistungsbetonen sind Hochhäuser und Ingenieurbauwerke. Ein Beispiel ist das 1990 fertiggestellte Bürohochhaus «South Wacker Drive» in Chicago, mit 65 Stockwerken wahrscheinlich das höchste Gebäude aus Beton. Von der Betonrezeptur sind bekannt [11]: 360 kg Zement/m<sup>3</sup> (Blaine-Wert 3900 cm<sup>2</sup>/g), 58 kg Silicastaub/m<sup>3</sup>, W/Z-Wert etwa 0,32 sowie Ausbreitmass etwa 60 cm, d. h. fließfähige Konsistenz. (Angaben über den verwendeten HBV sind in der Publikation keine enthalten.) Eingebaut wurde der Beton durch Betonpumpen und Verteilermasten mit Förderleistungen bis 80 m<sup>3</sup>/Std. Der Beton entsprach einem B 100 (Druckfestigkeit 100 N/mm<sup>2</sup> nach 28 Tagen) [11].

Kurt Hermann

### Literatur

- [1] prEN 934-2, «Zusatzmittel für Beton und Mörtel und Einpressmörtel – Teil 2: Betonzusatzmittel – Definitionen, Spezifizierungen und Konformitätskriterien» (1992).
- [2] Kern, E., «Anwendung von Betonzusatzmitteln – Arten, Eigenschaften und Einsatzgebiete», Beton **37** [9], 359–362 (1987).
- [3] «Chemical admixtures for concrete», ACI Manual of Concrete Practice, Part 1–1994, Seiten 212.3R-1 bis 212.3R-31.
- [4] Norm SIA 162, «Betonbauten» (1993).
- [5] Heinrich, W., und Bonder, W., «Über die Rohstoffe und Wirkungsweise von Betonverflüssigern», Beton- und Stahlbetonbau **78** [8], 218–220 (1983).
- [6] «Chemical admixtures for concrete», Concrete International **15** [10], 48–53 (1993).
- [7] Bürge, Th., «Der richtige Einsatz von Betonzusatzmitteln», schriftliche Unterlagen zum Wildegger Kurs «Betonzusatzmittel und Betonzusatzstoffe» vom 13./14. März 1991.
- [8] Antwerpen, P., und Hersel, O., «Verkehrsflächen aus Beton mit Fließmittel», Beton **39** [8], 336–340 (1989).
- [9] Hermann, K., «Zusatzmittel – Teil 1», Cementbulletin **62** [9], 2–7 (1994).
- [10] «Betonzusatzmittel und Umwelt», Sachstandsbericht des Industrieverbands Bauchemie und Holzschutzmittel e.V., Frankfurt am Main (1993).
- [11] Kern, E., «Technologie des hochfesten Betons», Beton **43** [3], 109–115 (1993).
- [12] Aitcin, P.-C., and Neville, A., «High-performance concrete demystified», Concrete International **15** [1], 21–26 (1993).
- [13] Zander, M., «Studie zur Nutzung von Lignin als Rohstoff für Chemieprodukte», Bundesministerium für Forschung und Technologie, Forschungsbericht T 84–199, September 1984.
- [14] Rixon, M. R., and Mailvaganam, N. P., «Chemical Admixtures for Concrete», Verlag E. & F.N. Spon, Ltd., London, 2. Auflage (1986).
- [15] Aitcin, P.-C., Jolicœur, C., and MacGregor, J. G., «Superplasticizers: How they work and why they occasionally don't», Concrete International, **16** [5], 45–52 (1994).