

## **Leistungsfähigkeit von Flugasche nach DIN EN 450 als Betonzusatzstoff**

- in Spannbeton mit sofortigem Verbund
- in flüssigkeitsdichtem Beton  
beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
- in Beton mit hohem Widerstand  
gegen chloridinduzierte Korrosion
- in Beton mit hohem Sulfatwiderstand
- in Beton für massige Bauteile
- in hochfestem Beton
- in Beton für die Herstellung von Fahrbahndecken
- in selbstverdichtendem Beton
- in sandreichem Beton und
- in Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen

Seit mehr als 30 Jahren werden Steinkohlenflugaschen mit großem Erfolg als Betonzusatzstoffe eingesetzt und auf den Zementgehalt des Betons angerechnet. Die Wirksamkeit der Steinkohlenflugasche im Beton beruht im wesentlichen auf der physikalischen Füllerwirkung und der puzzolanischen Reaktivität. Füllerwirkung und Puzzolanität dieses feinen staubförmigen Baustoffs bewirken in der Regel:

- die Verringerung des Wasseranspruchs bei der Frischbetonherstellung
- die Verbesserung der Verarbeitbarkeit
- die Verbesserung der Verdichtungswilligkeit
- die Verringerung der Hydratationswärme
- die Verringerung des Ausblühens
- die Erhöhung der Dichtigkeit und der Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe sowie gegen Frost-Tau-Wechsel.

Die Erkenntnisse um die vielfältigen positiven Wirkungen von Steinkohlenflugasche in Beton wurden im Laufe der letzten 15 Jahre verstärkt durch wissenschaftliche Untersuchungen nachgewiesen.

Mit der Veröffentlichung der neuen Normen für Beton **DIN EN 206-1, Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität** und der deutschen Anwendungsregel **DIN 1045-2, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität** im Juli 2001 und der bauaufsichtlichen Einführung durch Aufnahme in Bauregelliste 1/2002 verliert die DAfStb-Richtlinie „Verwendung von Flugasche nach DIN EN 450 im Betonbau“ ihre Gültigkeit.

Die Verwendung von Zusatzstoffen und damit von Flugasche nach DIN EN 450 als Zusatzstoff Typ II wird in DIN 1045-2 in den Abschnitten 5.2.5 und 5.3.4 geregelt.

### **Flugasche für Spannbeton mit sofortigem Verbund**

DIN 1045-2, Abschnitt 5.2.5.1, erlaubt den Einsatz von Flugasche auch bei der Herstellung von Spannbeton mit sofortigem Verbund. Die Ergebnisse eines umfangreichen Forschungsprojektes [1] an der RWTH Aachen (ibac) hinsichtlich dem Einfluss der Flugasche auf eine mögliche Spannungsrissskorrosion [2] wiesen die Unbedenklichkeit

für diesen Einsatz nach. Damit können die bekannten betontechnologischen Vorteile der Flugasche auch bei Spannbeton mit sofortigem Verbund genutzt werden.

### **Flugasche im flüssigkeitsdichten Beton beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen nach Wasserhaushaltsgesetz (WHG)**

Nach DIN 1045-2, Abschnitt 5.3.5, wird die Zusammensetzung flüssigkeitsdichter Betone in der DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ definiert. Dabei kann für Betone (ohne besonderen Nachweis FD-Betone) beim Einsatz von Flugasche diese unter den Bedingungen

$$f_b \leq 0,25 z$$

$$(w/z)_{eq} = w/(z + 0,4 f_b) \leq 0,50$$

auf den Bindemittelgehalt angerechnet werden. Der maximale Gehalt an Bindemittelleim ist auf 290 l/m<sup>3</sup> festgelegt, damit Schwinden und Hydratationswärmeentwicklung niedrig gehalten werden. Abweichend von diesen Vorgaben können auch andere geeignete flüssigkeitsdichte Betone mit Eignungsnachweis (FDE-Betone) entwickelt werden.

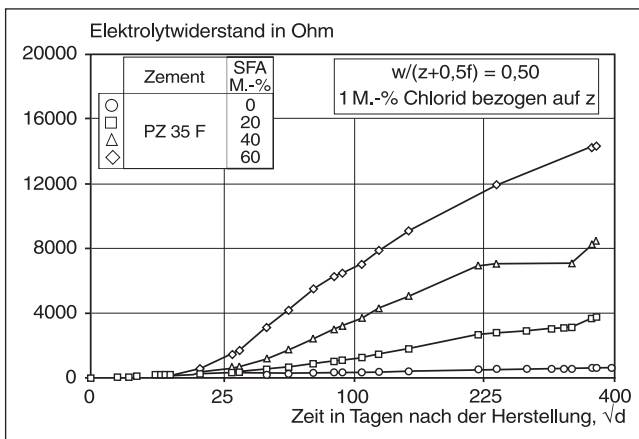
Die Ergebnisse eines Forschungsprojektes [3] an der RWTH Aachen (ibac) unterstützen den Einsatz von Flugasche beim flüssigkeitsdichten Beton.

### **Flugasche in Beton mit hohem Widerstand gegen chloridinduzierte Korrosion**

Die Nutzungsdauer chloridbeanspruchter Betonbauwerke, z. B. im Meerwasser, wird bei Verwendung von Steinkohlenflugasche im Beton deutlich verlängert.

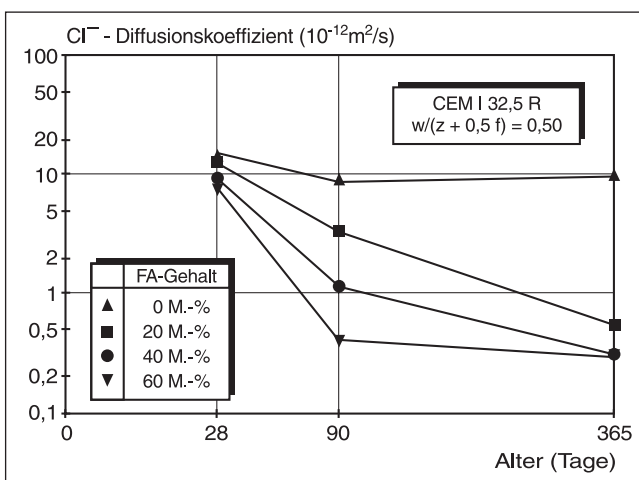
Aufgrund der physikalischen und chemischen Wirkung der Flugasche im Beton wird dessen Dichtigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe erhöht. In welchem erstaunlichen Maße sich durch Flugasche als Bindemittelkomponente die Eigenschaften von Beton hinsichtlich der für die chloridinduzierte Stahlkorrosion maßgebenden Mechanismen ändern, konnte durch ein weiteres Forschungsprogramm [4] nachgewiesen werden.

Im Zuge des Forschungsprogramms wurden mit Hilfe von Betonkorrosionszellen Kenndaten - u.a. die Erfassung von Elementströmen und die Ermittlung der zeitlichen Entwicklung des Elektrolytwiderstands - gemessen. Es zeigte sich, dass in Betonen, die Chlorid enthalten, mit zunehmendem Flugaschegehalt der Elektrolytwiderstand des Betons steigt und die Korrosionsgeschwindigkeit abnimmt (Bild 1).



**Bild 1:** Zeitliche Entwicklung des Elektrolytwiderstands von Beton ohne und mit FA

Desweiteren wurde festgestellt, dass bei Beaufschlagung von außen mit Chloridlösung mit steigendem Gehalt an Flugasche im Beton und zunehmender Versuchsdauer der Chloriddiffusionskoeffizient von Beton aufgrund der Änderung der Porenstruktur infolge der puzzolanischen Reaktion der Flugasche deutlich abnimmt (Bild 2).



**Bild 2:** Chloriddiffusionskoeffizient von Mörtel ohne und mit FA

Die Ergebnisse dieser Forschung bestätigen im Grunde wissenschaftlich die Erkenntnisse, die Mitte der 80er Jahre

durch die Auslagerung von Betonprobekörpern mit EFA-Füller im Meerwasser gewonnen wurden, über die in Heft 7/86 der „Beton- und Fertigteiltechnik“ von W. Scholz und Dr. H. Scholz berichtet wurde [5].

### Flugasche in Beton mit hohem Sulfatwiderstand

DIN 1045-2, Abschnitt 5.2.5.2.2, regelt die Herstellung eines sulfatwiderstandsfähigen Betons mit Flugasche. Danach können auch anstelle von HS-Zementen Kombinationen aus Flugasche mit Portland-, Portlandhütten-, Portlandschiefer-, Portlandkalkstein- und Hochofenzement bei betonangreifenden Wässern mit Sulfatgehalten  $SO_4^{2-} \leq 1.500 \text{ mg/l}$  verwendet werden (Bild 3).

#### Herstellung von sulfatwiderstandsfähigem Beton mit Steinkohlenflugasche nach DIN EN 450

$$(w/z)_{eq} = w/(z + 0,4 f_b) \leq 0,50$$

$$f_b \leq 0,33 z$$

$$f_b/(z + f_b) \geq 20 \text{ M.-% bei}$$

CEM I, CEM II/A-S und CEM II/B-S, CEM II/A-LL

$$f_b/(z + f_b) \geq 10 \text{ M.-% bei}$$

CEM II/A-T und CEM II/B-T, CEM III/A

Sulfatgehalt des angreifenden Wassers

$$SO_4^{2-} \leq 1.500 \text{ mg/l}$$

**Bild 3:** Anwendungsfall nach DIN 1045-2: 2001-07, Abschnitt 5.2.5.2.2

Der Gehalt an Flugasche muss mindestens 20 M.-% des Gesamtbindemittelgehalts betragen.

Ein Forschungsprojekt der RWTH Aachen (ibac) über den Einfluss von Flugasche auf den Sulfatwiderstand von Beton [6] zeigt, dass die obere Begrenzung mit 1.500 mg/l deutlich auf der sicheren Seite liegt. Dieser Grenzwert liegt über der maximalen Löslichkeit von Gips in Wasser bei 20 °C.

Als Anwendungsbeispiel hierfür sei der Beton für den Neubau des Engelbergtunnels bei Stuttgart [7] genannt, wo Teilbereiche des Tunnels durch Anhydritvorkommen - also reines Calciumsulfat - führen.

Bei Sulfatangriffen über 1.500 mg/l kann eine Zulassung im Einzelfall erwirkt werden.

## Flugasche in Beton für massige Bauteile

Bei massigen Bauteilen kommt es zur Erzielung guter Betonierleistungen auf eine gute Verarbeitbarkeit des Frischbetons und zur Vermeidung hoher Temperaturspannungen auf eine niedrige Hydratationswärme des abbindenden Betons an. Hierfür haben sich anstelle von CEM III-Zementen auch Kombinationen von Flugasche mit CEM I-, CEM II- und CEM III-Zementen bei niedrigen Zementgehalten bewährt [7]. Für Betone mit solchen Bindemittelzusammensetzungen, abweichend von den Vorgaben der DIN 1045-2, müssen jeweils Zustimmungen im Einzelfall eingeholt werden.

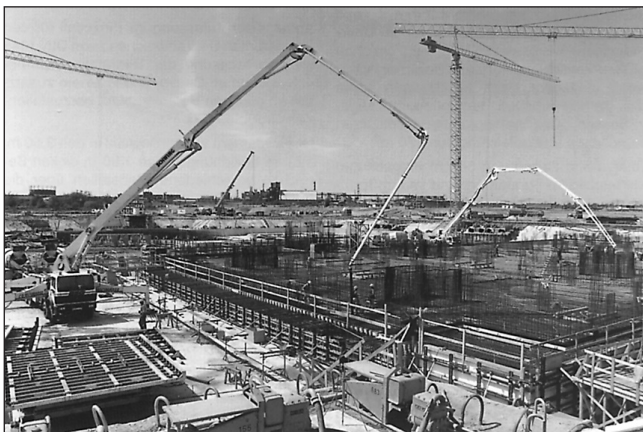
So wurden z.B. die Massenfundamente des Kraftwerks Schkopau der E.ON Kraftwerke GmbH (Bild 4) in Einzelabschnitten bis 17.000 m<sup>3</sup> mit einem Beton B 25 (C 20/25) aus

180 kg/m<sup>3</sup> CEM I 32,5 R

200 kg/m<sup>3</sup> Flugasche **EFA-Füller® S-B/E**

175 kg/m<sup>3</sup> Wasser

hergestellt.



**Bild 4:** Betoneinbau der Fundamentplatte

Die gleiche Rezeptur, allerdings mit Zement CEM III/A 32,5 NA, wurde im Zuge der Erneuerung des Este-Sperrwerkes in Hamburg für die 10.000 m<sup>3</sup> Beton der Sohle gewählt.

Eine weitere interessante Betoniermaßnahme stellten die Herstellung und der Einbau von Unterwasserbeton für die pfahlverankerten Baugrubensohlen im Zuge der Bebauung Potsdamer Platz in Berlin dar [9]. Bei diesen Betonen wurden bis zu 250 kg/m<sup>3</sup> Flugasche als Betonzusatzstoff eingesetzt.

## Flugasche in hochfestem Beton

Nach DIN 1045-2, Abschnitt 5.3.7, können Betone bis zu einer Druckfestigkeitsklasse C 80/95 hergestellt werden. Flugaschen nach DIN EN 450 sind zur Herstellung dieser Betone allein oder in Verbindung mit Silikastaub oder Silikasuspension die ideale Betonkomponente, wie eine Vielzahl bisher national und international, vor allem in den USA, ausgeführter Betonbauwerke zeigt.

Als nationales Beispiel sei hierfür stellvertretend das Hochhausensemble "Kastor und Pollux" (Bild 5) in Frankfurt am Main aufgeführt.



**Bild 5:** Hochhäuser "Kastor und Pollux" während der Rohbauarbeiten

Bei diesem Bauvorhaben wurde der Beton B 65 (C 55/67) mit

400 kg/m<sup>3</sup> Zement CEM I 42,5 R

und 100 kg/m<sup>3</sup> Flugasche

bzw. der Beton B 115 (C 100/115) mit

470 kg/m<sup>3</sup> Zement CEM I 42,5 R

120 kg/m<sup>3</sup> Flugasche

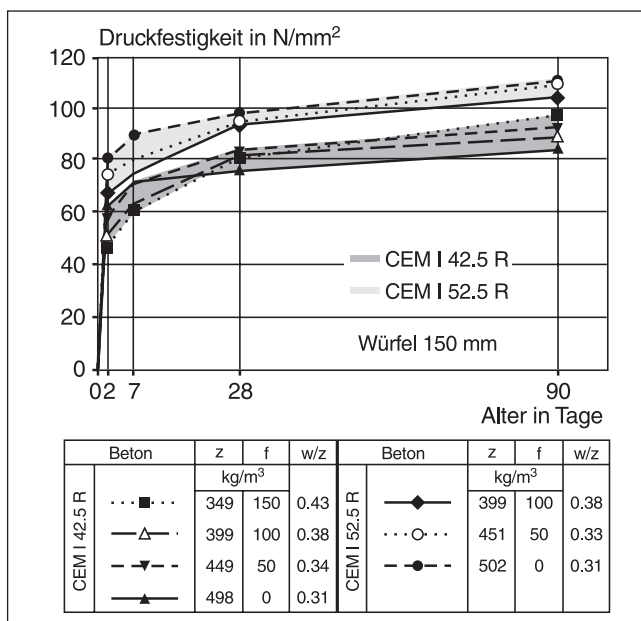
und 35 kg/m<sup>3</sup> Silikastaub

hergestellt [10].

Beide Betone wurden im Konsistenzbereich KP/KF (F2/F3) hergestellt und eingebaut.

Um auch für diese Betonart die Einflüsse und die Wirkung der Flugasche wissenschaftlich nachzuweisen, wurde das Forschungsprojekt „Herstellung von hochfestem Beton mit Steinkohlenflugasche“ [11] initiiert.

Als Ergebnis der umfangreichen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die Wirksamkeit der Flugasche in Betonen mit w/z-Werten  $< 0,4$  über den bei Normalbeton üblichen Anrechenbarkeitsbeiwert  $k = 0,4$  weit hinausgeht, weil Füllerwirkung und puzzolanischer Festigkeitsbeitrag mit sinkendem w/z-Wert zunehmen. Betone der Druckfestigkeitsklasse B 75 bis B 95 - C 70/85 und C 80/95 -, hergestellt mit CEM I 42,5 und 52,5 und im Alter von 90 Tagen geprüft, lassen sich danach mit Gehalten an Flugasche bis zu 30 M.-% zielsicher ohne Silikastaub bei vergleichbaren Verformungs- und Festigkeitsverhalten wirtschaftlich herstellen (Bild 6).



**Bild 6:** Festigkeitsentwicklung hochfester Betone ohne und mit FA

Um einen umfassenden Überblick über die Leistungsfähigkeit dieser Betone hinsichtlich Dichtheit, Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand, korrosionsschutzfördernder Wirkung, Nachbehandlungsunempfindlichkeit sowie möglicher Mikrorissbildung als Folge chemischen Schwindens zu erhalten, wurden in einem weiteren Forschungsprojekt vorgenannte Parameter sowie das Voranschreiten der puzzolanischen Reaktion untersucht [12].

Beide Forschungsprojekte [11/12] wurden als VGB-Technisch-wissenschaftliche-Berichte „Herstellung von Hochleistungsbetonen mit Steinkohlenflugasche“ (VGB - TW 709) veröffentlicht.

## Flugasche in Beton für die Herstellung von Fahrbahndecken

Bei der Herstellung von Beton für Fahrbahndecken nach ZTV-Beton - StB 93 - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton - ist die Anrechnung von Flugasche auf den Zementgehalt nicht zulässig. Als Mindestzementgehalt werden  $340 \text{ kg/m}^3$  Beton vorgeschrieben.

Um den Stand der Technik in situ für diesen Anwendungsfall nachzuweisen, wurde 1990 beim Neubau einer 500 m langen Werkstraße (Bild 9) in Dortmund die Fahrbahndecke in zwei Abschnitte geteilt, von denen einer mit Beton nach ZTV-StB (78) und der andere mit einem Alternativbeton, dessen Eignungsnachweis am ibac in Aachen erfolgte, hergestellt wurde [13].



**Bild 7:** Werkstraße am Kraftwerksstandort Knepper in Dortmund

Der Alternativbeton setzte sich im Bindemittel aus

$270 \text{ kg/m}^3$  Zement CEM I 32,5 R (PZ 35 F)

$90 \text{ kg/m}^3$  Flugasche EFA-Füller® S-B/E

bei gleichen Zuschlägen wie die des ZTV-Betones zusammen.

Der Bau der Straße erfolgte in einer Stärke von 22 cm auf einer Breite von 7 m mit einem Gleitschalungsfertiger. Vergleichende Festbetonprüfungen beider Betone - wie Druckfestigkeit und Frost-Taumittel-Widerstand - wurden über fünf Jahre durchgeführt (Bild 8).

Eigenschaft	Alter		Beton	
			ohne EFA-Füller	mit EFA-Füller
Druckfestigkeit an Bohrkernen	28d	N/mm <sup>2</sup>	37,40	40,40
	90d		41,60	57,00
	365d		49,14	63,01
	5a		60,86	71,30
Abwitterung nach 50 Frost-Tau-Wechseln <sup>1)</sup>	28d	M.-%	3,70	2,70
	90d		2,40	2,70
	365d		1,90	1,40
	5a		0,30	0,80

1) Probekörper 10 cm x 10 cm x 10 cm aus Bohrkernen mit 15 cm Durchmesser geschnitten

**Bild 8:** Prüfergebnisse Fahrbahndecken Versuchsstraße

Bei wesentlich höherer Druckfestigkeit des Alternativbetones mit EFA-Füller® zeigen die Ergebnisse der Frost-Taumittel-Versuche keine signifikanten Unterschiede [14]. Auch eine Auswirkung auf den Gebrauchs- und Substanzwert der Straße durch den Austausch von Zement durch EFA-Füller® hat sich gemäß gutachterlicher Bewertung nicht ergeben [15].

Diese Erkenntnisse lassen sich auch auf den Bau fester Fahrbahnen im Eisenbahnbau übertragen.

### Flugasche in selbstverdichtendem Beton

Flugasche ist für selbstverdichtende Betone die ideale Feinststoffkomponente zur Optimierung der rheologischen Eigenschaften.

Selbstverdichtende Betone sind Hochleistungsbetone

- mit hohem Mörtelgehalt und weicher Konsistenz
- die ohne Entmischung und Bluten bis zum Niveaueausgleich fließen
- die sich unter Eigengewicht und Schwerkraft bei gleichzeitiger Entlüftung verdichten (selbstverdichten)
- die eine vollständige Hohlraumfüllung und lunkerfreie Umhüllung der Bewehrung und der Einbauteile gewährleisten
- die qualitativ hochwertige Oberflächen in Abhängigkeit von der Schalung abbilden.

Sie werden auf der Baustelle bzw. im Betonfertigteilwerk mit einem Ausbreitmaß von 650 bis 700 mm zur Verarbeitung übergeben. Die Grundlage für eine derart zielsichere Herstellung von selbstverdichtendem Beton beruht auf einer nach Volumenanteilen ermittelten Betonzusammensetzung mit einem hohem Mörtelgehalt in Kombination mit einem Spezialfließmittel. Der Anteil an Grobzuschlag < 4 (2) mm beträgt in der Regel 50 bis 65 Vol.-% des Feststoffvolumens. 60 % des Mörtelvolumens werden als tragfähige, niedrig viskose Suspensionen aus dem Gesamtmehlkorn, Wasser und Fließmittel hergestellt [16]. Der Gesamtmehlkorngehalt im Mörtel setzt sich dabei additiv zusammen aus den Ausgangsrohstoffen Zement, Flugasche und dem Anteil < 125 µm aus der Gesteinskörnung.

Der Gesamtmehlkorngehalt ist je Anwendungsgebiet durch rheologische Vormessungen am Bindemittelleim und am Mörtel zu ermitteln und zu optimieren. In der Regel liegen die Gehalte an Zement und Flugasche in Abhängigkeit von der Art der Gesteinskörnung und des Größtkorns insgesamt zwischen 500 und 600 kg/m<sup>3</sup>, wobei der Anteil an Flugasche mit ≥ 250 kg/m<sup>3</sup> anzusetzen ist. Durch den Einsatz des hochwirksamen Fließmittels entspricht der Wasserbedarf dieser selbstverdichtenden Betone dem der normalen Betone.

Da Flugasche als Bindemittelkomponente einen wirksamen Beitrag zur Festigkeitsentwicklung leistet, sind bei Betonen "normaler" Festigkeitsklassen die Zementgehalte auf die Mindestzementgehalte nach DIN 1045-2 zu begrenzen.

Gegenwärtig bedarf es zur Anwendung von selbstverdichtendem Beton noch einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung bzw. einer Zulassung für den Einzelfall.

### Flugasche in sandreichem Beton

Um die, vor allem in den nördlichen Bundesländern, bei der Kies- und Sandindustrie anfallenden Überschusssande in Qualität nach DIN 4226, Teil 1, sinnvoll zu verwerten wurde die Technologie sandreicher Betone auf der Grundlage eines hochwirksamen, neuen Fließmittels entwickelt.

Dieses Fließmittel bewirkt neben der starken Verflüssigung einen guten Zusammenhalt der Betone mit Sandanteilen von bis zu 80 M.-%. Bei der Entwicklung dieser Betone hat Flugasche nach DIN EN 450 als Betonzusatzstoff mit Anteilen von  $> 80 \text{ kg/m}^3$  Beton gute Dienste zur Füllung der aufgrund derartiger Kornzusammensetzung vorhandenen Hohlräume geleistet [17]. Obwohl durch die Gesamtmenge der feinen Gesteinskörnung deren Oberfläche sehr groß ist, ermöglicht die Flugasche als Füller eine gute Verarbeitung in fließfähiger Konsistenz.

Desgleichen gewährleistet die Verwendung von Flugasche als Bindemittelkomponente die zielsichere Herstellung von sandreichen Betonen der Güte C 20/25 (B 25) mit Zementgehalten bis  $320 \text{ kg/m}^3$ .

Zwischenzeitlich steht nun eine neue Generation bauaufsichtlich zugelassener noch hochwirksamerer Fließmittel auf Polycarboxylat- bzw. Polycarboxyletherbasis für selbstverdichtende Betone mit hohem Gesamtmehlkorngehalt unter Verwendung von Flugasche zur Verfügung.

Da sandreiche Betone mit geringem Verdichtungsaufwand verarbeitbar sein müssen, gelten für sie die gleichen Anforderungen hinsichtlich Rheologie und Frischbetoneigenschaften wie für selbstverdichtende Betone, d.h. man kann die Grundlagen und Eigenschaften dieser auf sandreiche Betone übertragen.

Mit Reduzierung des Anteils grober Gesteinskörnung von z.B. 50 M.-% auf  $> 20 \text{ M.-%}$  und Optimierung des Hohlraumgehaltes der feinen Gesteinskörnung mit einer Bindemittelkombination Zement/Flugasche als Feinststoff sind diese Anforderungen zu erfüllen.

Bei Einhaltung moderater Wassergehalte  $< 200 \text{ l/m}^3$  werden selbstverdichtende sandreiche Betone höhere Festigkeitsklassen als B 25 mit verbesserten Festbetoneigenschaften möglich. Für derartige Betone ist sicherlich ein großer Bedarf vorhanden.

Die Zugabe von Flugasche wirkt sich im sandreichen Beton physikalisch positiv durch eine Reduzierung des Luftporengehaltes des Frischbetons aus, während durch die puzzolanische Reaktion die Dauerhaftigkeit des Betons verbessert wird.

Der Einsatz von Flugasche in sandreichem Beton trägt damit zur besseren Rohstoffnutzung bei und wirkt sich positiv auf seine wirtschaftliche Verwendung aus.

## **Flugasche in Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen**

Mit der Richtlinie „Beton mit rezykliertem Zuschlag, Teil 1: Betontechnik, Teil 2: Betonzuschlag aus Betonsplitt und Betonbrechsand“ vom August 1998 hat der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton die Grundlagen für die Verwendung von Betonsplitt und Betonbrechsand als Gesteinskörnung zur Herstellung von Beton bis zur Festigkeitsklasse B 35 (C 30/37) geschaffen. Durch Aufnahme in Bauregelliste A, Teil 1, Ausgabe 1999/2, wurde diese DAfStb-Richtlinie bauaufsichtlich eingeführt. Danach muss Beton mit rezykliertem Zuschlag die Anforderungen nach DIN 1045, 7.88, erfüllen.

Bereits vor Veröffentlichung der DAfStb-Richtlinie wurden verschiedene Bauvorhaben in Beton mit rezyklierten Zuschlägen mit Zustimmung im Einzelfall ausgeführt. Auch bei diesen Betonen hat Flugasche nach DIN EN 450 als Betonzusatzstoff zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit und der Dauerhaftigkeit beigetragen.

Eines der ersten Bauvorhaben war 1994 der Hauptsitz der Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück, bei dem die Innenteile aus B 35 mit Betonsplitt 4/16 und 16/32 mit  $70 \text{ kg/m}^3$  Flugasche in Regelkonsistenz hergestellt wurde [18]. Bei den dann im Zuge des Forschungsvorhabens „Baustoffkreislauf im Massivbau“ ausgeführten Betonbaumaßnahmen wurde Flugasche in Mengen bis  $50 \text{ kg/m}^3$  verwendet. Inzwischen liegt mit DIN 4226-100 Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel - Teil 100: „Rezyklierter Gesteinskörnungen“ eine nationale Stoffnorm für diesen Zuschlag vor. Für die Verwendung dieser Gesteinskörnungen gilt gemäß DIN 1045-2, Abschnitt 5.2.3.5, die DAfStb-Richtlinie.

Für Tragwerke aus Beton und Stahlbeton mit rezyklierten Gesteinskörnungen entsprechend DAfStb-Richtlinie steht mit Flugasche eine unverzichtbare Komponente zur Optimierung der Frisch- und Festbetoneigenschaften zur Verfügung.

#### Literaturhinweise:

- [1] Untersuchung zur Verwendung von Steinkohlenflugasche in Spannbeton mit sofortigem Verbund  
Forschungsbericht F430 vom 17.02.1995, ibac, Aachen
- [2] P. Schießl, R. Hårdtl, J. Moersch  
Zur Verwendung von Steinkohlenflugasche in Spannbeton mit sofortigem Verbund  
Bauingenieur 71 (1996), S. 275 - 279
- [3] Eindringverhalten von umweltgefährdenden Flüssigkeiten in Beton mit Steinkohlenflugasche  
Forschungsbericht F556 vom 04.03.1996, ibac, Aachen
- [4] Einfluß von Steinkohlenflugasche auf die chloridinduzierte Korrosion  
Forschungsbericht F436 vom 24.03.1997, ibac, Aachen
- [5] W. Scholz, Dr. H. Scholz  
Beton im Meerwasser  
Betonwerk- und Fertigteiltechnik  
Heft 7/1986, S. 462 - 470
- [6] Einfluß von Steinkohlenflugasche auf den Sulfatwiderstand von Betonen  
Forschungsbericht F262 vom 05.10.1992, ibac, Aachen
- [7] P. Schießl, U. Wiens  
Neue Betone für massige Bauteile  
Baugewerbe 22/97, S. 24 - 28
- [8] H.-J. Koch, D. Lutze  
Sonderbeton für Fundamentplatten  
Beton 44 (1995), Heft 4, S. 227 - 233
- [9] H. Hildebrand, J. Stapel, M. Wooge  
Unterwasserbeton mit Stahlfasern  
Beton 46 (1996), Heft 11, S. 661 - 666
- [10] V. Theile, H. Hildebrand, H.G. Brüggemann  
Hochhausensemble mit projektbezogenen Sonderbetonen  
Beton 46 (1996), Heft 9, S. 535 - 540
- [11] Herstellung von hochfestem Beton mit Steinkohlenflugasche  
Forschungsbericht F552 vom 03.07.1997, ibac, Aachen
- [12] Verwendung von Steinkohlenflugasche in Hochleistungsbetonen (high performance concrete)  
Forschungsvorhaben F521 am ibac, Aachen
- [13] H.-J. Koch, D. Lutze  
Fahrbahndecken mit Steinkohlenflugasche  
Beton 47 (1997), Heft 6, S. 319 - 322
- [14] Prof. Dr.-Ing. P. Schießl  
Gutachtliche Stellungnahme zur Verwendung von Steinkohlenflugasche in Beton mit hohem Frost-Tausalz-Widerstand für den Straßenbau  
B 2222/2 vom 21.08.98
- [15] A. Schniering, D. Lutze  
Fahrbahndecken aus Beton mit Steinkohlenflugasche als Bindemittelkomponente  
Straße und Autobahn 49 (1998), Nr. 12, S. 679 - 684
- [16] Deutscher Ausschuß für Stahlbeton  
Sachstandbericht Selbstverdichtender Beton (SVB), Berlin 2000
- [17] H. Sievers  
Sandreiche Betonzusammensetzungen  
Beton 47 (1997), Heft 1, S. 20 - 25
- [18] Sibo als Vorreiter für "Umweltbeton" Einsatz  
Baustofftechnik (1995), Heft 2, S. 60

#### Quellenangabe Bilder:

Bild 1, 2: ibac, Aachen, Forschungsbericht F436 "Einfluß von Steinkohlenflugasche auf die chloridinduzierte Korrosion im Beton"

Bild 3, 4: BauMineral GmbH Herten

Bild 5: Beton 46 (1996), Heft 9, S. 535 [8]

Bild 6: ibac, Aachen - Vortragsdia

Bild 7: VEBA Kraftwerke Ruhr AG

Bild 8: BauMineral GmbH Herten

## BauMineral

BauMineral GmbH  
Hiberniastraße 12  
45699 Herten  
Telefon: 0 23 66/509-0  
Telefax: 0 23 66/509-256

Baustoffprüfstelle  
Betonprüfstelle E + W  
Telefon: 0 23 66/509-230/-236  
Internet: [www.baumineral.de](http://www.baumineral.de)  
e-mail: [baumineral@baumineral.de](mailto:baumineral@baumineral.de)

