

## Druckfestigkeit von Beton mit Flugasche nach DIN EN 450 - Betonzusatzstoff nach DIN 1045-2

### 1. Einleitung

Durch die konsistenzverbessernde Wirkung und die puzolanische Reaktivität von Flugasche als Betonzusatzstoff nach DIN 1045-2 kann der Zementgehalt von Beton nennenswert verringert werden. Festigkeit und Dauerhaftigkeit werden dadurch nicht beeinflusst.

Es ist bekannt, dass die Wirksamkeit der Flugasche unter anderem in gewissen Grenzen auch vom verwendeten Zement abhängt. In der Literatur wurde außerdem verschiedentlich auf einen grundsätzlichen Unterschied der Wirksamkeit von Steinkohlenflugaschen aus Schmelzkammer- und Trockenfeuerung hingewiesen [1, 2].

Systematische Untersuchungen zur möglichen Bandbreite der Betondruckfestigkeit bei Verwendung eines bestimmten Zementes und von Steinkohlenflugaschen aus unterschiedlichen Feuerungsanlagen lagen jedoch nicht vor. Aus diesem Grunde wurden im Institut für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe (Prof. Dr.-Ing. H. K. Hilsdorf) bereits 1984 Vergleichsuntersuchungen an 9 Steinkohlenflugaschen mit Prüfzeichen [3] durchgeführt. Von den untersuchten Flugaschen stammen drei aus Schmelzkammer- und sechs aus Trockenfeuerungen. Die Versuchsergebnisse wurden in [4] mitgeteilt.

### 2. Zielsetzung

Es sollte vergleichend untersucht werden, welchen Festigkeitsbeitrag die verschiedenen Flugaschen im Betonalter zwischen 2 und 56 Tagen liefern können und inwieweit größere Festigkeitsunterschiede zwischen den Betonen mit diesen Betonzusatzstoffen festzustellen sind.

### 3. Versuchsumfang und Versuchsdurchführung

Die bei den Untersuchungen verwendeten Flugaschen wurden jeweils aus der laufenden Produktion als zufällige Stichproben entnommen.

Als Zement wurde ein handelsüblicher Portlandzement PZ 35 F verwendet. Der Zuschlag war Rheinkies und entsprach der Regelsieblinie A 32/B 32 der DIN 1045.

Es wurden 2 Vergleichsbetone ohne Flugasche mit Zementgehalten von 320 kg/m<sup>3</sup> mit Wassermengewerten von 0,50 und 0,65 (Betone 1 und 2) hergestellt und geprüft. Bei den 9 Versuchsserien mit Flugasche betrug der Zementgehalt 240 kg/m<sup>3</sup> und der Betonzusatzstoffgehalt 80 kg/m<sup>3</sup>. Der Wassergehalt der Betone (mit Ausnahme des Betons 2) wurde aufgrund von Vorversuchen so eingestellt, dass ein Ausbreitmaß nach DIN 1048 von 40 bis 42 cm eingehalten wurde. Der Beton 2 wurde entsprechend dem höchsten w/z-Wert bei den flugaschehaltigen Betonen mit einem w/z-Wert von 0,65 hergestellt.

Die Mischungen wurden in einem 150 l-Laborzwangsmischer hergestellt. Die Mischzeit nach Wasserzugabe betrug 2 Minuten. Am Frischbeton wurden das Ausbreitmaß, die Rohdichte und der Luftporengehalt nach DIN 1048 bestimmt.

Für die Festigkeitsprüfungen im Alter von 2, 7, 28 und 56 Tagen wurden je 3 Probewürfel mit 200 mm Kantenlänge hergestellt. Die Probekörper wurden gemäß DIN 1048 nach einem Tag ausgeschalt, bis zum Alter von 7 Tagen feucht bei 20°C und danach trocken im Klimaraum bei 20°C und 65% relativer Luftfeuchtigkeit gelagert.

Beton	Flug- asche	Feuerungs- art	Zementgehalt kg/m <sup>3</sup> 1)	Flugasche- gehalt kg/m <sup>3</sup> 1)	w/z	w/(z+f)	Frischbeton- roh-dichte kg/m <sup>3</sup>	Luftporengehalt (gemessen) Vol.-%	Ausbreit- maß cm	Druckfestigkeit im Alter von			
										2d	7d	28d	56d
										a	b	c	d
1	-	-	320	0	0.50	0.50	2390	1.4	42.0	16.6	29.6	41.3	46.8
2	-	-	320	0	0.65	0.65	2330	1.3	> 70.0	7.6	14.1	23.7	28.4
3	A	T	240	80	0.60	0.45	2410	1.5	40.0	15.8	29.5	44.4	50.2
4	B	S	240	80	0.61	0.46	2390	1.2	41.0	17.1	30.6	42.9	48.4
5	C	T	240	80	0.60	0.45	2410	1.3	39.5	16.2	30.5	39.6	44.4
6	D	T	240	80	0.64	0.48	2400	1.2	40.0	14.3	25.7	37.7	41.3
7	E	S	240	80	0.59	0.44	2410	1.0	41.0	15.6	28.7	37.3	45.4
8	F	T	240	80	0.63	0.47	2410	1.5	40.0	14.8	25.5	36.8	42.6
9	G	T	240	80	0.64	0.48	2400	1.0	40.0	15.5	25.4	36.5	43.4
10	H	S	240	80	0.63	0.47	2410	1.0	42.0	13.6	25.0	35.9	42.1
11	I	T	240	80	0.65	0.49	2380	1.1	42.0	13.3	24.3	33.3	41.4

1) Sollwerte

**Tabelle 1:**  
Ergebnisse der Frisch- und Festbetonprüfungen

## 4. Versuchsergebnisse

### 4.1 Frischbetoneigenschaften

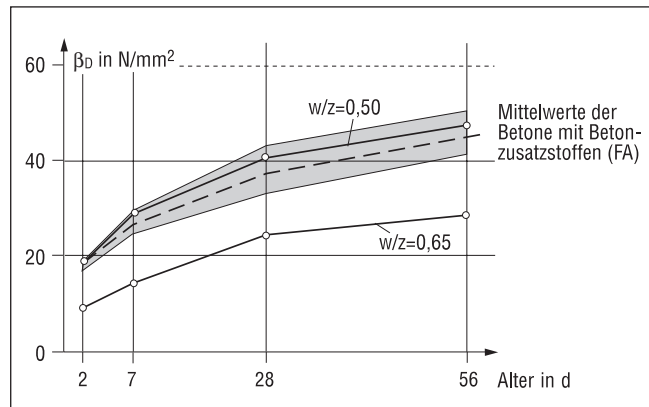
Die Ausbreitmaße, die Frischbetonroh-dichte und die gemessenen Luftporengehalte der geprüften Betone sind in Tabelle 1 angegeben. Die Betone konnten alle praktisch vollständig verdichtet werden. Das angestrebte Ausbreitmaß wurde bei allen Mischungen eingehalten. Dabei war der Wassergehalt  $w$  bei allen zusatzstoffhaltigen Betonen niedriger als beim Vergleichsbeton 1, der  $w = 161 \text{ l/m}^3$  benötigte. Der Wassergehalt lag bei den flugaschestoffhaltigen Betonen bei einem Mittelwert von  $150 \text{ l/m}^3$  zwischen  $143$  und  $158 \text{ l/m}^3$ .

### 4.2. Festbetoneigenschaften

Die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen im Alter von 2, 7, 28 und 56 Tagen enthält Tabelle 1.

In Bild 1 sind die Festigkeitsentwicklungen der untersuchten Betone ohne und mit Flugasche dargestellt. Außerdem ist der Verlauf der mittleren Druckfestigkeiten der Betone mit Flugasche eingetragen. Durch diese Darstellung wird deutlich, dass die Festigkeitsentwicklung der flugaschehaltigen Betone weitgehend derjenigen des vergleichbaren Nullbetons entspricht.

Die Balkendiagramme der Bilder 2a bis 2d ermöglichen einen Vergleich der flugaschehaltigen Betone untereinander und zu den Betonen ohne Flugasche. Die Betone mit Flugasche sind dabei nach ihrer Druckfestigkeit im



**Bild 1:**  
Festigkeitsentwicklung der untersuchten Betone

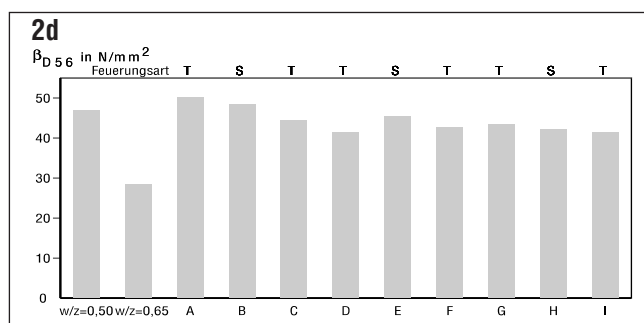
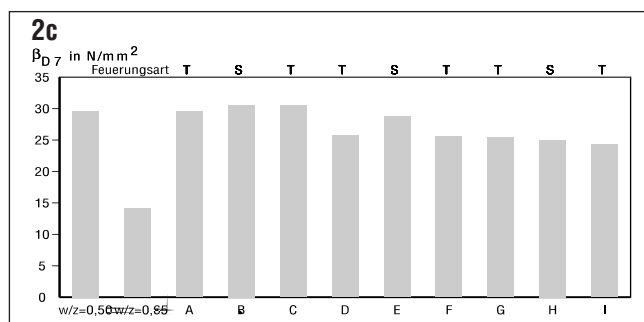
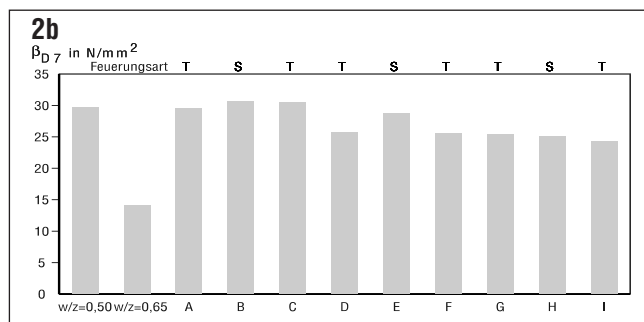
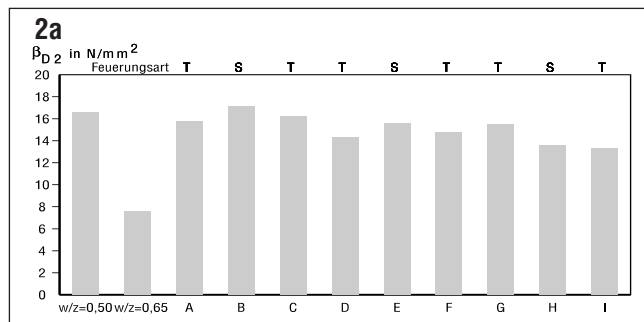
Alter von 28 Tagen geordnet. Die Bandbreite der Prüfwerte ist überwiegend auf die Wiederholstreuung der Prüfung und nur zum geringen Teil auf den Einfluss der Flugasche zurückzuführen.

Aus den Darstellungen ergibt sich:

- Alle Betone mit Flugasche erreichen sicher die Festigkeitsklasse B 25 (C 20/25) (s. Bild 2c).
- Im Alter von 56 Tagen ist bei allen Betonen mit Flugasche die Serienfestigkeit für Beton der Festigkeitsklasse B 35 (C 30/37) sicher erreicht (s. Bild 2d). Bei Bauwerken, bei denen entsprechend DIN 1045-2 der Nachweis der Festigkeitsklasse zu einem spä-

teren Zeitpunkt vereinbart werden kann, ist demnach Beton mit  $240 \text{ kg/m}^3$  Zement und  $80 \text{ kg/m}^3$  Flugasche in der Konsistenz KP (F2) mit den untersuchten Baustoffen sicher in der Festigkeitsklasse B 35 (C 30/37) herstellbar.

- Bei den untersuchten Flugaschen ist kein systematischer Einfluss der Feuerungsart festzustellen.

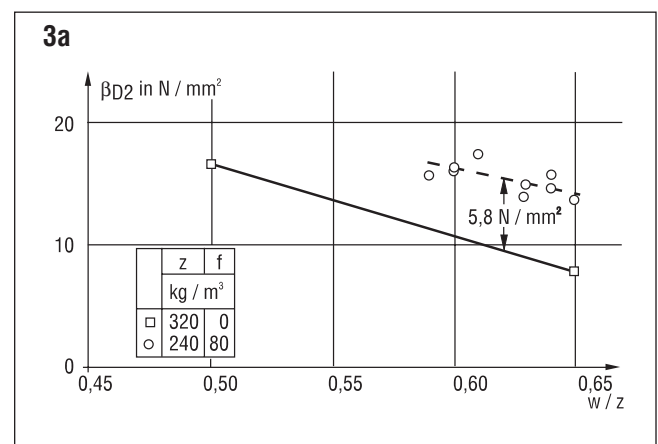


**Bild 2:**  
Druckfestigkeit bei verschiedenen Altersstufen  
Vergleiche der Betone mit und ohne Flugasche

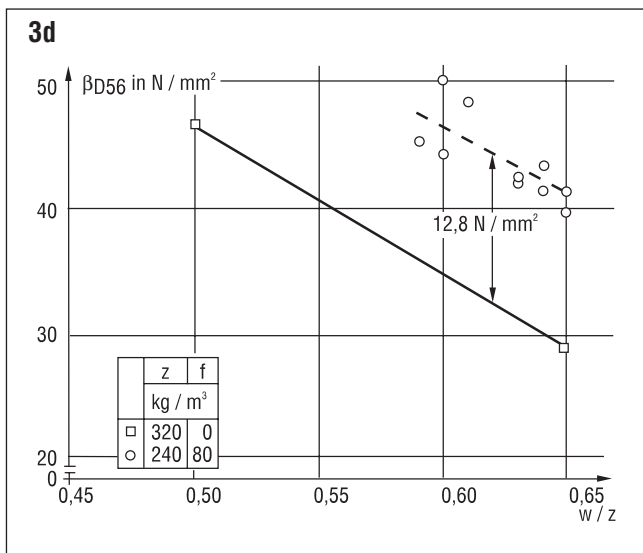
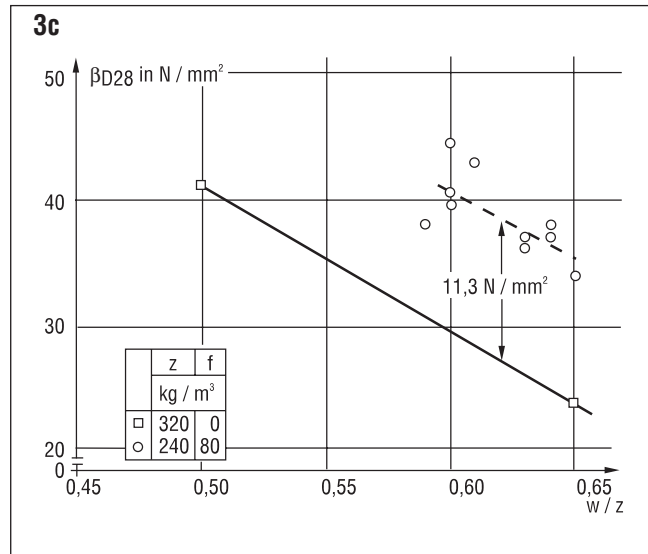
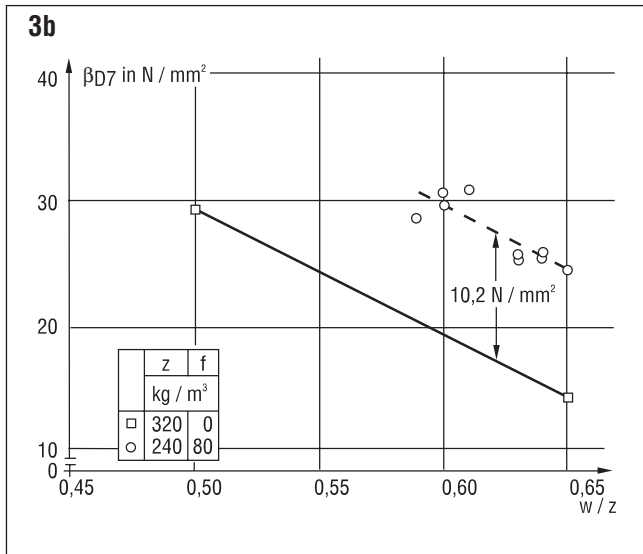
Der Festigkeits- und Dichtigkeitsbeitrag der Flugasche ergibt sich aus der Wassereinsparung (erkennbar an dem geringeren  $w/(z+f)$ -Wert [ $(w/z)_{\text{eq}}$ ] der Betone mit Flugaschen), dem Füllereffekt und der puzzolanischen Wirksamkeit.

Zur Verdeutlichung des Festigkeitszuwachses aus Füllereffekt und puzzolanischer Reaktion sind in den Bildern 3a bis 3d die ermittelten Druckfestigkeiten für die verschiedenen Altersstufen in Abhängigkeit vom  $w/z$ -Wert dargestellt. Die Ergebnisse für die Nullversuche mit  $w/z = 0,50$  und  $w/z = 0,65$  sind durch eine Gerade miteinander verbunden. Man kann davon ausgehen, dass diese Gerade in erster Näherung den Zusammenhang zwischen  $w/z$  und Druckfestigkeit zutreffend darstellt. Die Festigkeiten der Betone mit Flugasche liegen bei allen Altersstufen über der eingezeichneten Geraden und streuen in einer gewissen Bandbreite jeweils um eine zweite, gestrichelt eingezeichnete Gerade. Diese verläuft etwa parallel zu der Geraden für die Nullversuche. Der Abstand der Geraden kennzeichnet den Festigkeitszuwachs durch Flugasche im Vergleich zu Beton ohne Flugasche bei gleichem  $w/z$ -Wert.

Der Festigkeitsbeitrag betrug im Mittel im Alter von 2 Tagen bereits etwa  $5,8 \text{ N/mm}^2$  und stieg auf  $12,8 \text{ N/mm}^2$  nach 56 Tagen.



**Bild 3:**  
Druckfestigkeit bei verschiedenen Altersstufen in Abhängigkeit vom  $w/z$ -Wert



## 5. Schlussfolgerungen

- Es sind bei der Verwendung eines bestimmten Zementes keine grundsätzlichen Unterschiede in der Wirksamkeit von Flugasche aus Schmelzkammer- und Trockenfeuerungen festzustellen.
- Der Festigkeitsbeitrag der 9 untersuchten Flugaschen macht sich bereits im Alter von 2 Tagen bemerkbar und steigt bis zum Alter von 56 Tagen deutlich an. Alle flugaschehaltigen Betone erreichten nach 28 Tagen sicher die Festigkeitsklasse B 25 (C 20/25), nach 56 Tagen sogar die Serienfestigkeit der Festigkeitsklasse B 35 (C 30/37).
- Die Festigkeitsentwicklung der Betone mit Flugasche entspricht grundsätzlich derjenigen des vergleichbaren Nullbetons.

## Literaturhinweise

[1] Schubert, P. und W. vom Berg  
Flugasche mit Prüfzeichen als Betonzusatzstoff nach DIN 1045-2  
Betonwerk- und Fertigteiltechnik 45 (1979)  
S. 602-609 und S. 692-696.

[2] Scholz, H.  
Deutsche Steinkohlen-Verbrennungsrückstände - Arten und Verwendung  
Betonwerk- und Fertigteiltechnik 45 (1979), S. 595-601

[3] Richtlinie für die Erteilung von Prüfzeichen für Flugasche  
nach DIN 1045-2, Fassung September 1979  
Mitteilungen IfBt 11 (1980) S. 39-43

[4] Institut für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe  
Prüfungsbericht Nr. 52/82 852573 0450 vom 30.10.1984

# BauMineral

BauMineral GmbH  
Hiberniastraße 12  
45699 Herten  
Telefon: 02366/509-0  
Telefax : 02366/509-256

Baustoffprüfstelle  
Betonprüfstelle E+W

