

Institut für Bauforschung Aachen
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule

KURZBERICHT 13

2 (1989)

AKTUELLE FORSCHUNGSERGEBNISSE

WIRKSAMKEIT VON STEINKOHLENFLUGASCHEN

Pozzolanic activity of bituminous coal fly ash

F. Sybertz

1 EINFÜHRUNG

Seit 1984 ist für Beton für Außenbauteile eine Anrechnung von Steinkohlenflugaschen (SFA) auf den Wasserzementwert bei vermindertem Zementgehalt zugelassen. Die Anrechnung von SFA setzt aber voraus, daß immer ein ausreichend hoher Beitrag zur Festigkeit und vor allem zur Dauerhaftigkeit von Beton gewährleistet ist. Daher ist eine regelmäßige Überprüfung der Wirksamkeit im Rahmen der Güteüberwachung erforderlich. In den Prüfbescheiden wurde deshalb als vorläufige Anforderung festgelegt, daß das gleitende Mittel der Druckfestigkeit von nach Prüfzeichenrichtlinie hergestellten Mörtelprüfkörpern mit SFA im Alter von 28 Tagen mindestens 80 % der Druckfestigkeit des flugaschefreien Vergleichsmörtels betragen muß.

Ziel dieser gemeinsam von der Technischen Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber (VGB) und dem Ibac durchgeführten Untersuchung //1 war die Gewinnung von neuen Erkenntnissen über die unterschiedliche Wirksamkeit von SFA, die Bedeutung verschiedener Einflußfaktoren und die Tauglichkeit verschiedener Prüfverfahren zur Beurteilung der Flugaschewirkung.

2 VERSUCHE

Im Ibac wurden in einem ersten Versuchsteil an 36 SFA mit Prüfzeichen aus 28 verschiedenen Kraftwerken die chemische Zusammensetzung, die Reaktivität und die Kornzusammensetzung untersucht. In einem zweiten Teil wurde dann die Wirksamkeit von 8 ausgewählten SFA durch Prüfung des Festigkeitsbeitrages an Zementmörteln unter Berücksichtigung verschiedener Einflußparameter näher untersucht. Dabei wurden variiert:

- die Zementart (3 PZ 35 F, 1 PZ 45 F, 3 HOZ 35 L),
- der SFA/Zement-Wert $f/z = 0, 0,25$ und $0,50$,
- konstantes Ausbreitmaß bzw. konstanter Wassergehalt,
- Lagerungstemperatur und Prüfaller.

3 REAKTIVITÄT

An der puzzolanischen Reaktion sind nur die amorphen, überwiegend glasigen Bestandteile der SFA und hier vor allem die amorphe Kieselsäure beteiligt. Dementsprechend wird z. B. bei der geplanten europäischen Zementnorm DIN EN 197 für SFA, die für die Herstellung von Zement verwendet wird, der Gehalt an reaktionsfähiger Kieselsäure auf mindestens 25 M.-% festgelegt. Als Bestimmungsverfahren wird der Kalilaugeaufschluß entsprechend DIN EN 196 Teil 2 vorgeschrieben.

Im Bild 1 wurden die Gehalte an Kieselsäure SiO_2 und löslicher Kieselsäure beim Kalilaugeaufschluß einander gegenübergestellt. Zusätzlich sind die einer Löslichkeit von 70, 85 und 100 % entsprechender Geraden eingezeichnet. Es wird deutlich, daß der überwiegende Anteil des in den SFA enthaltenen SiO_2 in Lösung geht. Bei Schmelzfeuerungsaschen (S) ist erwartungsgemäß die Löslichkeit im allgemeinen etwas besser als bei Trockenfeuerungsaschen (T). Es ergeben sich bei den SFA Gesamtgehalten an löslichem SiO_2 zwischen rd. 31 und 50 M.-%. Alle SFA erfüllen damit problemlos die Anforderungen der DIN EN 197.

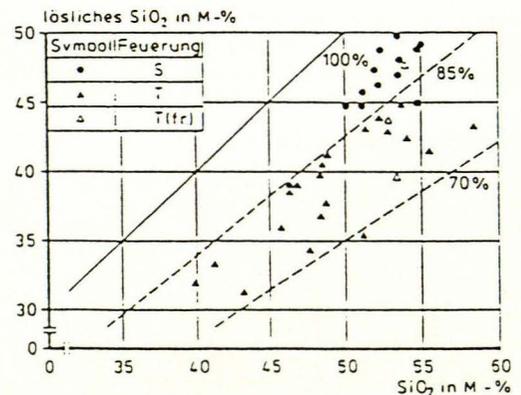


Bild 1: Zusammenhang zwischen dem Kieselsäuregehalt (SiO_2) und dem Gehalt an löslicher Kieselsäure beim Kalilaugeaufschluß

Fig. 1: Relation between the content of silica (SiO_2) and the content of soluble silica in the potassium hydroxide dissolution method

Beim Kallitaugeverfahren ist der Lösungsvorgang sehr intensiv. Daher ermöglicht dieses Verfahren wahrscheinlich nur eine Aussage über den potentiell reaktionsfähigen Flugascheanteil. Vor allem die Reaktionsgeschwindigkeit hängt maßgebend noch von anderen Einflußparametern, wie der zur Verfügung stehenden Reaktionsoberfläche und der Anregung durch die Porenlösung ab.

4 FEINHEIT

SFA trägt nicht nur durch die puzzolanische Reaktion, sondern auch durch ihre physikalische Wirkung zur Festigkeitsbildung bei. Die physikalische Wirkung hängt von verschiedenen Faktoren, wie z. B. der Korngrößenverteilung, der Kornform, dem Glühverlust und dem Zeta-Potential, ab. Vor allem die Feinheit der SFA beeinflusst bekanntermaßen entscheidend nicht nur die chemische, sondern auch die physikalische Wirkung.

Im Bild 2 sind die Bereiche der ermittelten Korngrößenverteilungen der SFA im Vergleich zu denen von Zement dargestellt. Es wird deutlich, daß SFA sich deutlich in der Feinheit unterscheiden können. Einige SFA hatten deutlich höhere Kornanteile $< 10 \mu\text{m}$ als die untersuchten Zemente, bei anderen ist er etwa gleich groß.

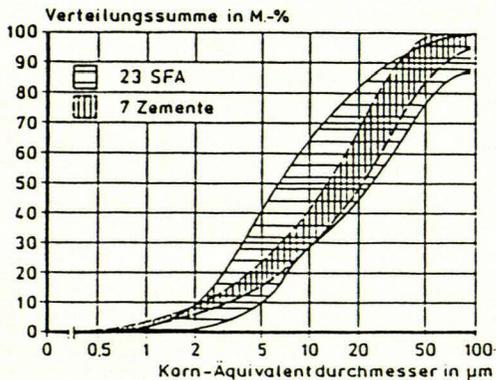


Bild 2: Vergleich der Korngrößenverteilungen von SFA und Zement (Sedigraph-Messung)

Fig. 2: Comparison of particle size ranges of fly-ash and cement (Sedigraph-measure)

5 MÖRTELEIGENSCHAFTEN

Die Untersuchungen an Mörteln nach verschiedenen Wirksamkeitsprüfverfahren haben gezeigt, daß der Festigkeitsbeitrag außer von der jeweiligen SFA noch von anderen Einflußparametern maßgebend mitbestimmt wird. Vor allem der Zement (Alkaligehalt, Mahlfeinheit, Hauptbestandteile) übt einen nicht unerheblichen Einfluß auf das Festigkeitsniveau und die Festigkeitsentwicklung der flugaschehaltigen Mörtel aus. Bei Portlandzement sind die Unterschiede zwischen einzelnen SFA ausgeprägter als bei Hochofenzement. Mit zunehmendem Alter und steigendem Flugaschegehalt kommt es dabei zu einer deutlicheren Differenzierung.

Manche SFA erhöhen das Mörtelausbreitmaß in erheblichem Maße, andere verändern die Konsistenz dagegen kaum bzw. erhöhen zum Teil sogar geringfügig den Wasseranspruch. Wird bei der Versuchsdurchführung durch Konstanthalten des Mörtelausbreitmaßes ($a = 160 \text{ mm}$) die mehr oder weniger große wassersparende Wirkung der SFA berücksichtigt, so kommt es erwartungsgemäß zu einer wesentlich ausgeprägteren Differenzierung zwischen den SFA als bei konstantem Wassergehalt ($w/(z+f) = 0,50$, Bild 3). Als Kennwert für die Flugaschewirkung wurde der Verhältniswert der Druckfestigkeiten von Flugasche- und Vergleichsmischung $\text{rel } \beta_D$ im Alter von 90 d angegeben. Bei SFA mit großem Feinkornanteil ergeben sich nun deutlich höhere Festigkeiten, während bei groben SFA keine signifikante Veränderung der Festigkeiten festzustellen ist.

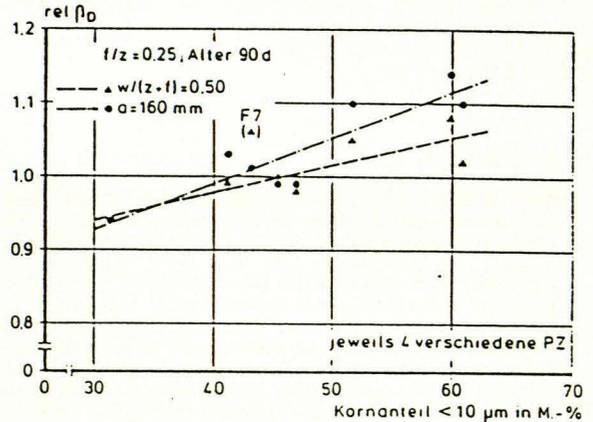


Bild 3: Zusammenhang zwischen dem Kornanteil $< 10 \mu\text{m}$ von SFA und der bezogenen Druckfestigkeit $\text{rel } \beta_D$ von Mörteln

Fig. 3: Relation between the fly-ash particle size fraction below 10 microns and the relative compressive strength $\text{rel } \beta_D$ of mortars

6 ZUSAMMENFASSUNG

Die Versuchsergebnisse zeigten die Problematik, ein allgemeingültiges Wirksamkeitsprüfverfahren für SFA zu finden. Vor allem die Aussagefähigkeit von Prüfungen am Mörtel wird durch die Wechselwirkungen zwischen SFA- und Zementigenschaften eingeschränkt. Ergänzend ist daher die Prüfung einiger weniger Eigenschaftskenngrößen der SFA, die eine frühzeitige und genügend aussagekräftige Beurteilung der Flugaschequalität zulassen, erforderlich. Besondere Bedeutung hat dabei vor allem die Feinheit der SFA.

// Forschungsberichte "Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bestimmung der Wirksamkeit von Steinkohlenflugaschen. Teil I: Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (Ibac), 1987; Teil II: Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber (VGB), Essen, 1986 (AIF-Nr. 6551)

Forschungsförderer: Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen (AIF-Nr. 6551) mit Mitteln des Bundesministers für Wirtschaft

Herausgeber:



Institut für Bauforschung Aachen
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
Schinkelstraße 3, D-5100 Aachen
Tel. (02 41) 80-5100, FAX (02 41) 80-5120
Telex 832 704 thac d

Direktoren:
Prof. Dr.-Ing. H. R. Sasse
Prof. Dr.-Ing. P. Schießl