

Was ist ein Puzzolan?

Unter Puzzolanen werden natürliche oder künstliche, saure, d.h. kieselsäurereiche, fein anfallende oder feingemahlene Silikate verstanden, die in Mischung mit Wasser und Calciumhydroxid und/oder Calciumsulfat hydraulisch erhärten.

Ursache dieser puzzolanischen Reaktion ist die chemische und mineralogische Zusammensetzung, der große Anteil glasig-amorpher Bestandteile und die große spezifische Oberfläche dieser Stoffe.



Bild 1 Römische Wasserleitung
Quelle: Opus Caementitium

Puzzolane werden nach dem Ort Pozzuoli bei Neapel benannt. Bereits die Römer verwendeten Vulkanasche aus der Region Pozzuoli für die Herstellung von Bindemitteln.

Das Pantheon in Rom und die römische Wasserleitung, welche die Stadt Köln mit Wasser aus der Eifel versorgte (s. Bild 1), sind Beispiele sowohl für die Baukunst der Römer als auch für ihren hohen Stand der Bautechnik, hydraulische Bindemittel und dauerhafte Mörtel und Betone herzustellen und zu verarbeiten. Das Pantheon in Rom und die Relikte der römischen Wasserleitung zeugen auch heute noch von der Leistungsfähigkeit der mit Puzzolanen hergestellten Bindemittel.

Was ist Flugasche?

Flugasche (FA) entsteht bei der Verbrennung von **Steinkohle** in Kraftwerken mit Staubfeuerung bei Temperaturen $> 1200^{\circ}\text{C}$. Sie wird aus dem Rauchgasstrom in Elektrofiltern abgeschieden. Die FA sind sehr feinteilig und haben hohe Anteile kugelförmiger Partikel. Der Anteil glasig-amorpher Bestandteile liegt zwischen 70 und 95 M.-%

Chemische Hauptbestandteile von FA sind SiO_2 und Al_2O_3 sowie Fe_2O_3 , deren Anteil in der Regel mehr als 80 M.-% beträgt. Diese Bestandteile sind ebenfalls Hauptbestandteile von natürlichen Puzzolanen. Sie werden als Hydraulefaktoren bezeichnet und sind für das Reaktionsvermögen mit Kalk oder kalkabspaltenden Stoffen verantwortlich.

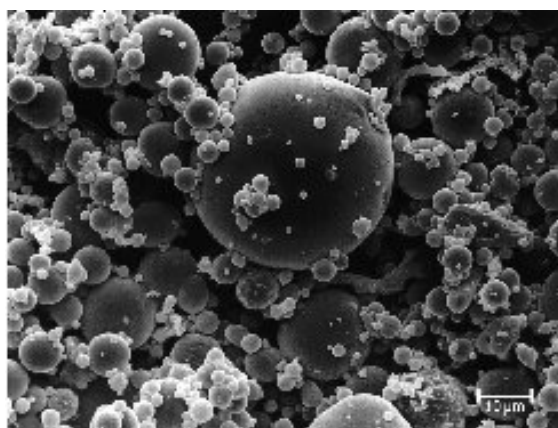


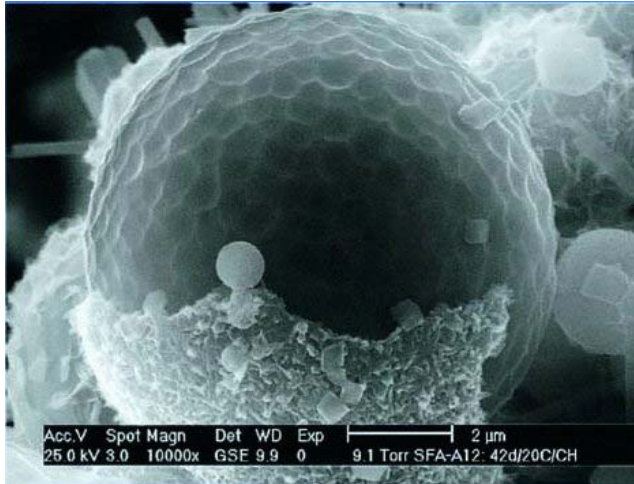
Bild 2 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer FA

Bestandteil	Steinkohlen- flugasche	natürliche Puzzolane
	Anteil [M.-%]	
SiO_2	40 – 55	36 – 81
Al_2O_3	23 – 35	10 – 22
Fe_2O_3	4 – 17	1 – 12
CaO	1 – 8	0,2 – 16
MgO	0,8 – 4,8	0,5 – 9

Tab. 1 Chemische Zusammensetzung von FA und natürlichen Puzzolanen

Flugasche als Betonzusatzstoff

Flugasche wird seit mehr als 30 Jahren im Beton zur Verbesserung der Betoneigenschaften eingesetzt. Für die Wirksamkeit von Flugaschen im Beton sind im Wesentlichen die Feinkörnigkeit, die günstige Kornverteilung, die kugelige Form und der Glasanteil verantwortlich.



**Bild 3 Reaktion von Steinkohlenflugasche in gesättigter Calciumhydroxidlösung (pH = 12,5, 20°C, 42 d)
Quelle: FIB, Weimar)**

Beim Einsatz von Flugasche im Beton wirkt diese in dreifacher Weise. Bei der Herstellung verbessert sie die rheologischen Eigenschaften der Mischung; die Kugelform der Flugaschepartikel hat eine verflüssigende Wirkung (Kugellager-Effekt).

Durch die günstige Kornverteilung und die hohe Feinkörnigkeit wird der Kornaufbau des Gemisches verbessert (Füller-Effekt).

Aufgrund der chemisch-mineralogischen Zusammensetzung reagiert die Flugasche mit dem bei der Zementhydratation entstehendem Calciumhydroxid zu festigkeitsbildenden Calciumaluminat- und Calciumsilikathydraten (CAH, CSH), die denen aus der Zementhydratation ähnlich sind. Sie bilden einen Reaktionssaum um die Flugaschepartikel (s. Bild 3) und führen zu einer Verdichtung des Gefüges.

In Mörteln und Betonen bewirkt die puzzolanische Reaktion der Flugasche eine langandauernde und stetig zunehmende Gefügeverdichtung, die zu einer höheren Druckfestigkeit als die vergleichbarer Mörtel und Betone ohne Flugasche führt.

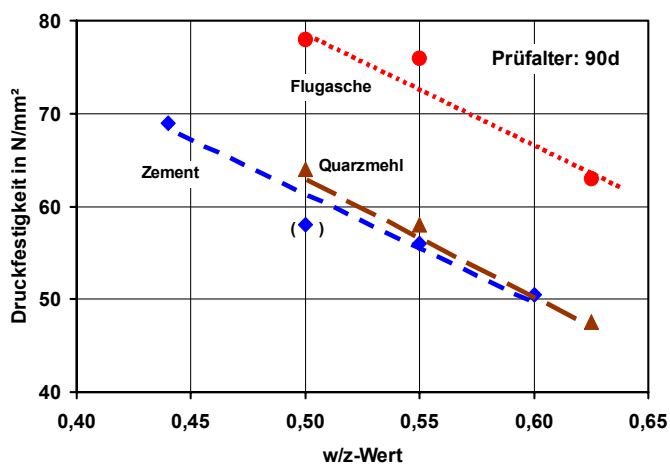


Bild 4 Druckfestigkeiten von Mörteln mit Quarzmehl und Flugasche in Abhängigkeit vom w/z-Wert

In Bild 4 sind die Druckfestigkeiten von Mörteln mit je 20 M.-% Quarzmehl und Flugasche im Vergleich zu reinen Zementmörteln in Abhängigkeit des Wasser/Zement-Wertes (w/z-Wert) dargestellt.

Nach 90 d Hydrationsdauer zeigen die Mörtel mit Quarzmehl und die Zementmörtel bei gleichem w/z-Wert gleiche Druckfestigkeiten. Die flugaschehaltigen Mörtel haben bei gleichem w/z-Wert eine deutlich höhere Festigkeit.

Dieser Festigkeitszuwachs beruht auf der puzzolanischen Reaktion der Flugasche.