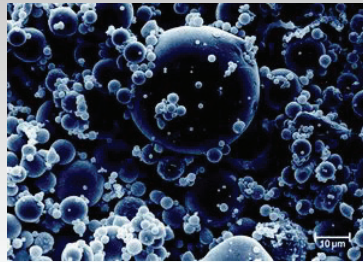


# Baustoffe aus Recyclaten und Nebenprodukten

## Flug- und Feuerraumasche



der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Flug- und Feuerraumasche Quellen

- Steinkohlekraftwerke
- Braunkohlekraftwerke
- Müllverbrennungsanlagen
- Biomasse-Heizkraftwerke

der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Baustoffe aus Steinkohlekraftwerken



der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Steinkohleflugasche Historische Entwicklung

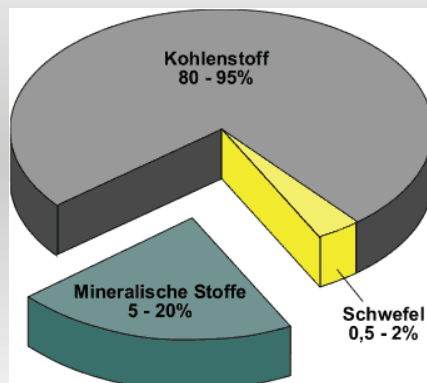
1930	erste Untersuchungen mit Steinkohlenflugstäuben in USA
1937	erstmalig wird in den USA über die Möglichkeit der Verwendung von SFA als Betonzusatzstoff berichtet
1948	erster Einsatz bei größeren Bauprojekten in USA
1959	In Österreich wird erstmals Portlandzement mit 15 % Flugaschebeimahlung im Zementwerk beim Draukraftwerk Edling verwendet
1965	BS 3892, erste britische Stoffnorm für Flugasche in Beton
1966	Beginn der systematischen Erfassung und Verwertungen von SFA-Mengen in den USA

der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Steinkohlenflugasche Historische Entwicklung

29. Juni 1970	Erster bauaufsichtlicher Zulassungsbescheid für eine SFA als Betonzusatzstoff vom Minister für Wohnungsbau und öffentliche Arbeiten des Landes Nordrhein-Westfalen maximal 20 M.-% der SFA dürfen auf Bindemittelgehalt angerechnet werden $SFA + Z \geq 300 \text{ kg/m}^3$ ; $Z \geq 240 \text{ kg/m}^3$
1971	Herstellung der leichten Gesteinskörnung Fluasint aus SFA (bis 1985)
ab 1974	Prüfbescheide
8/1992	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung
1/1995	DIN EN 450 "Flugasche für Beton -Definition, Anforderungen und Güteüberwachung"
9/1996	DAfStb-Richtlinie "Verwendung von Flugasche nach DIN EN 450 im Betonbau"

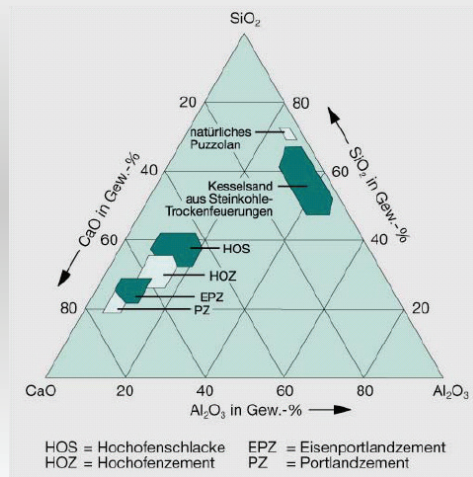
## Steinkohleflugasche Entstehung



- **Definition (DIN EN 450):** Steinkohlenflugasche ist feinkörniger Staub,
- der hauptsächlich aus kugelförmigen, glasigen Partikeln besteht,
- bei der Verbrennung feingemahlener Kohle entsteht,
- puzzolanische Eigenschaften hat und
- im wesentlichen aus  $\text{SiO}_2$  und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  besteht.



## Steinkohlenflugasche Dreistoffdiagramm



der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens



## Steinkohleflugasche Kohlenstaubfeuerung

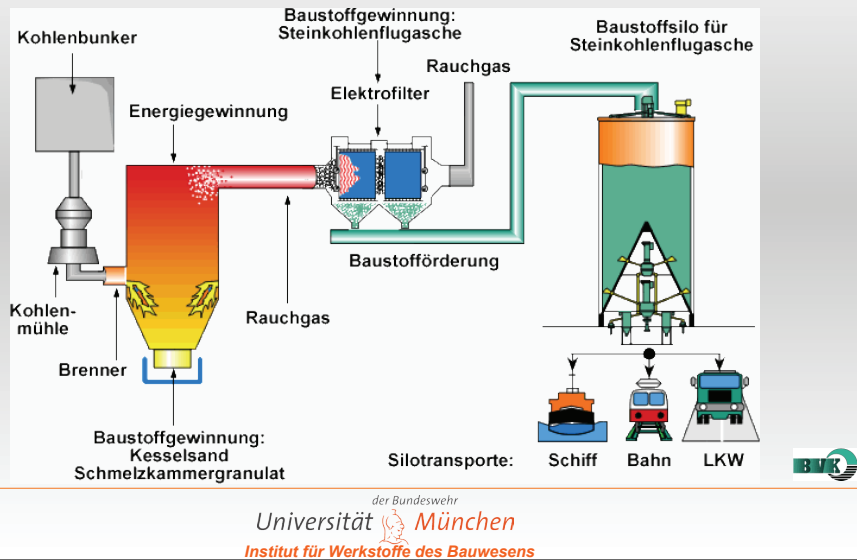
Verfahren	Feuerraum-temperatur	Produkte		
		Elektrofilter	Rauchgas-wäsche	Wasserbad/ Kesselboden
Trocken-feuerung	1100 °C - 1300 °C	Steinkohlen-flugasche	REA-Gips	Kesselsand
Schmelz-kammer-feuerung	1500 °C - 1700 °C	Steinkohlen-flugasche	REA-Gips	Schmelz-kammergranulat

- Steinkohle wird staubfein gemahlen und mit vorgewärmter Luft über Brenner in den Feuerraum des Kessels eingeblasen.
- Je nach Bauart des Feuerraumes wird zwischen Trockenfeuerung (modern) und Schmelzkammerfeuerung unterschieden.

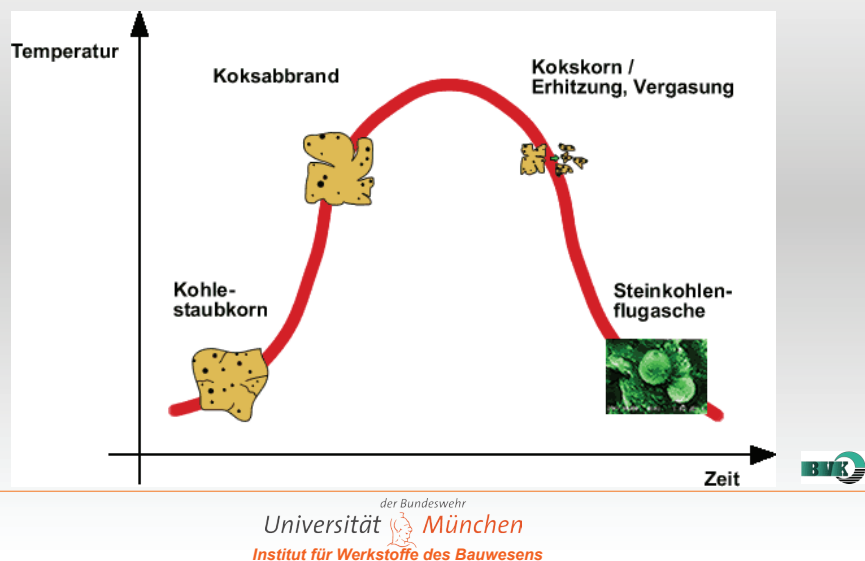
der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens



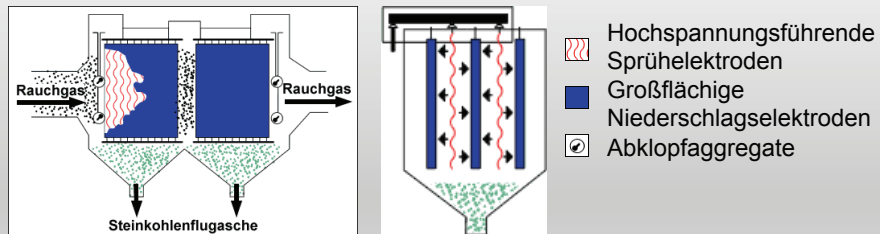
# Steinkohleflugasche Entstehung



# Steinkohleflugasche Entstehung



## Steinkohleflugasche Gewinnung im Elektrofilter

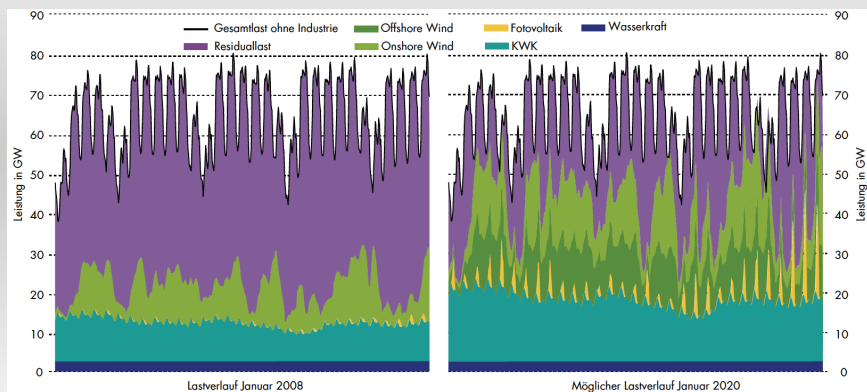


- Im elektrischen Hochspannungsfeld zwischen den Sprühelektroden und Niederschlagselektroden werden die Steinkohleflugaschepartikel im Rauchgas negativ aufgeladen und von der Niederschlagselektrode angezogen, an der sie zunächst haften bleiben.
- Durch periodisches Abklopfen fällt die Steinkohleflugasche in Sammeltrichter und wird von dort zum Silo gefördert.



der Bundeswehr  
Universität München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

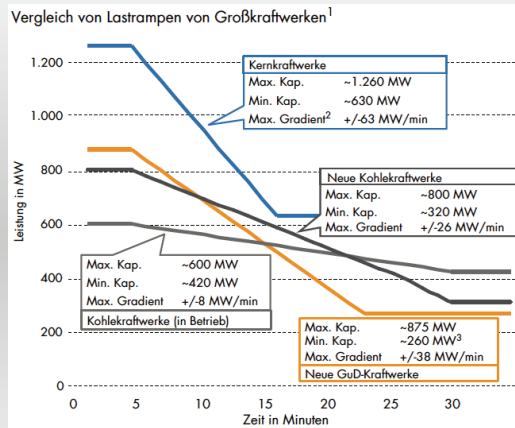
## Residuale Leistung und Flexibilität



Quelle: Universität Rostock, IEF

der Bundeswehr  
Universität München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

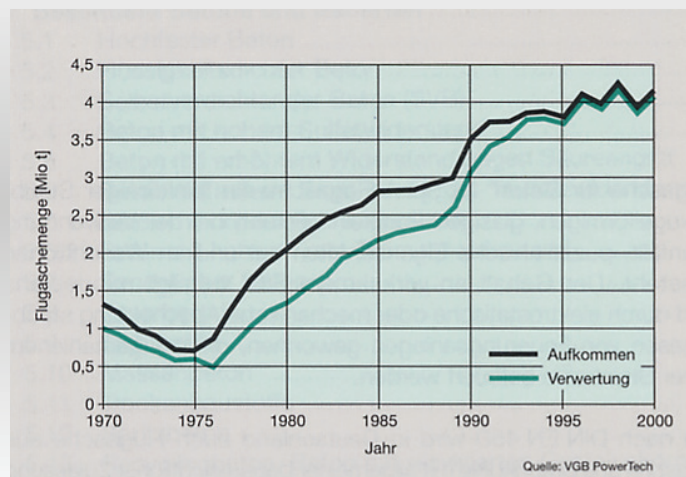
# Residuale Leistung und Flexibilität



1 Exemplarische Beispiele. Max. und min. Kapazitäten sowie Gradienten können abweichen.  
 2 Für eine Lastrampe unter 20 % der maximalen Blockleistung sind bis zu 126 MW/min erreichbar.  
 3 Eine Turbine wird herunter gefahren.

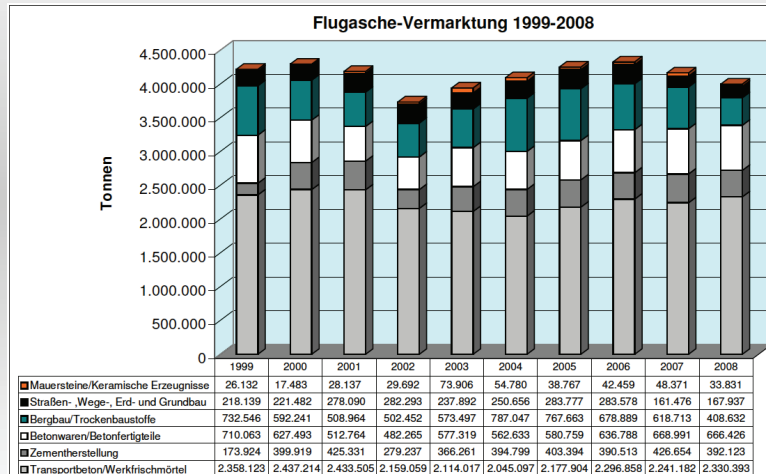
Quelle: VGB PowerTech e.V., 2011

# Steinkohlenflugasche Aufkommen und Verwertung



Quelle: VGB PowerTech

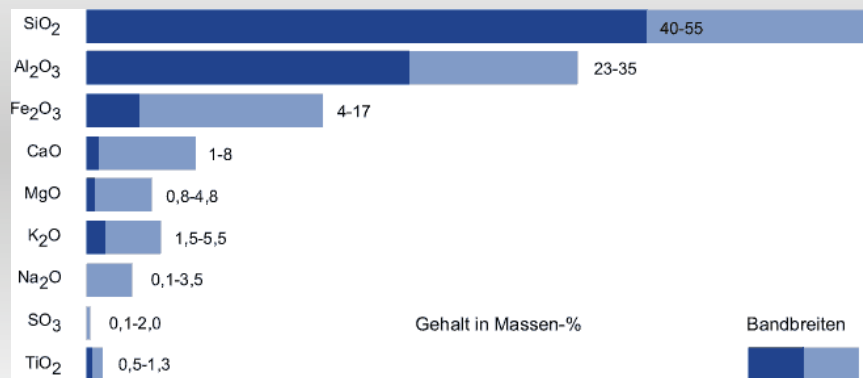
# Steinkohlenflugasche Aufkommen und Verwertung



der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens



# Steinkohleflugasche Chemische Zusammensetzung



der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens





## Steinkohleflugasche Spurenelemente [mg/kg]

Stoff	Flugasche		Boden		Litho- sphäre
			Deutschland	weltweit	
Quelle	3)		[1-4]	[1-5]	[1-5]
Antimon, Sb	< 0,5	... 43	–	–	–
Arsen, As	0,6	... 461	1 ... 20	1 ... 50	5
Barium, Ba	612	... 2249	–	100 ... 3000	430
Blei, Pb	23	... 896	2 ... 80	2 ... 200	16
Cadmium, Cd	0,2	... 11	0,1 ... 0,6	0,01 ... 70	0,2
Chrom, Cr	29	... 360	5 ... 100	1 ... 40	40
Kobalt, Co	36	... 125	–	1 ... 1000	200
Kupfer, Cu	33	... 613	2 ... 40	2 ... 100	70
Nickel, Ni	41	... 338	3 ... 50	5 ... 500	100
Quecksilber, Hg	0,1	... 1,55	0,02 ... 0,2	–	–
Thallium, Tl	0,1	... 4	0,02 ... 0,45	–	–
Vanadium, V	n.b.		–	20 ... 500	150
Zink, Zn	47	... 1483	10 ... 80	10 ... 300	80

Quelle:  
Lutze et al.

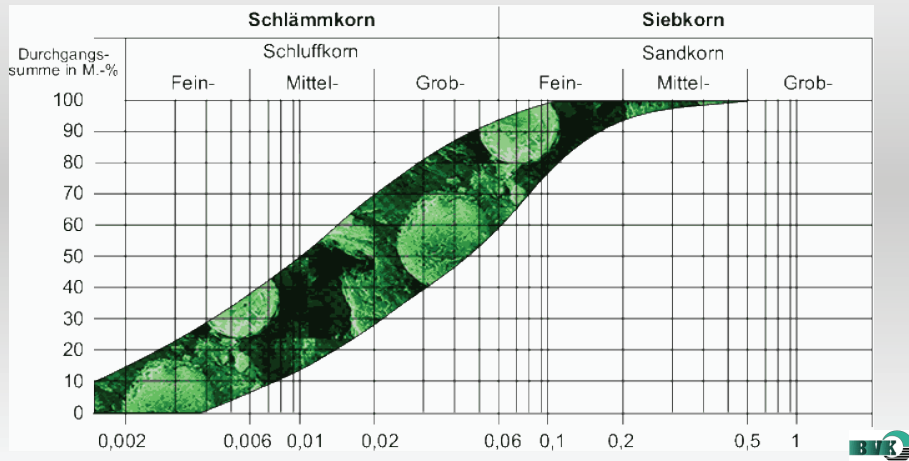
<sup>1)</sup> Die angegebenen Spannweiten sind Minimal- und Maximalwerte vorliegender Untersuchungen. Mittelwerte, charakteristische oder repräsentative Quantilwerte sind hieraus nicht ableitbar.  
<sup>2)</sup> Gesteinsmantel der Erde  
<sup>3)</sup> Werte aus [1-3] und aus der Überwachung von Flugaschen seit 1997

## Steinkohlenflugasche Physikalische Kennwerte

Kennwerte		Bandbreite
Kornrohddichte	kg/m <sup>3</sup>	2000 – 2500
Schüttdichte	kg/m <sup>3</sup>	800 – 1100
Mittlere Korngröße d <sub>50</sub>	µm	10 – 30
Spezifische Oberfläche nach BET	cm <sup>2</sup> /g	10000 – 50000

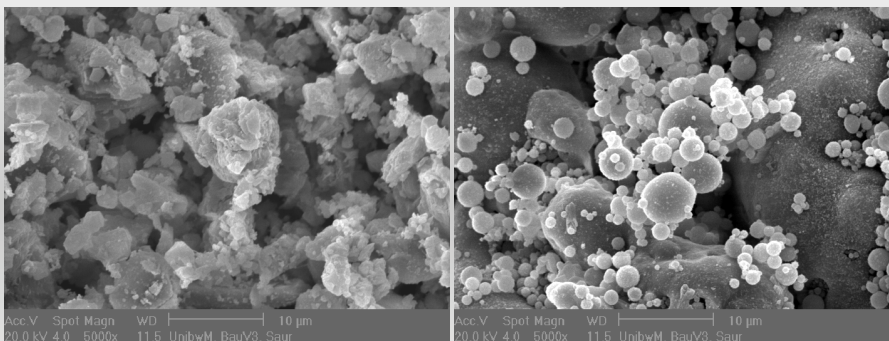
Quelle:  
Lutze et al.

# Steinkohleflugasche Korngrößenverteilung



der Bundeswehr  
**Universität München**  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

# Steinkohleflugasche Kornform

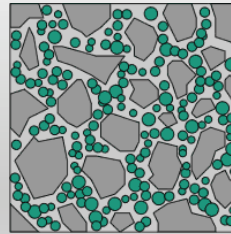
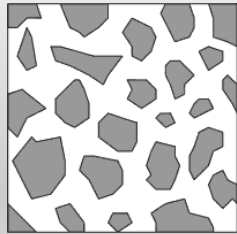


**Klinker**

**Flugasche**

der Bundeswehr  
**Universität München**  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

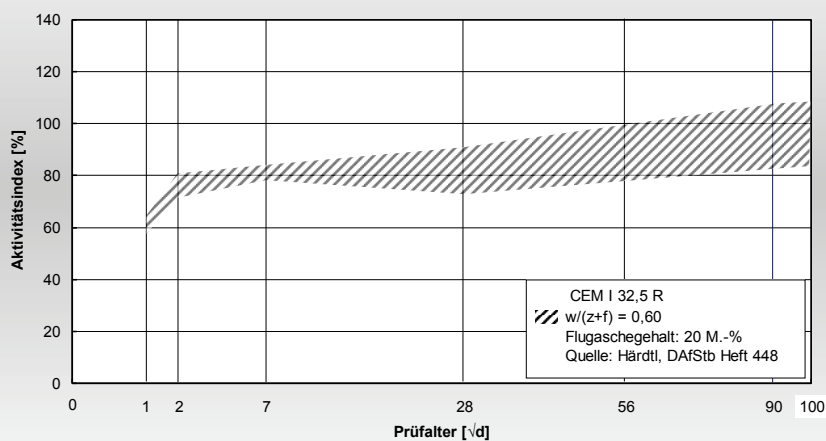
## Wirkung der Steinkohleflugasche Füllerwirkung



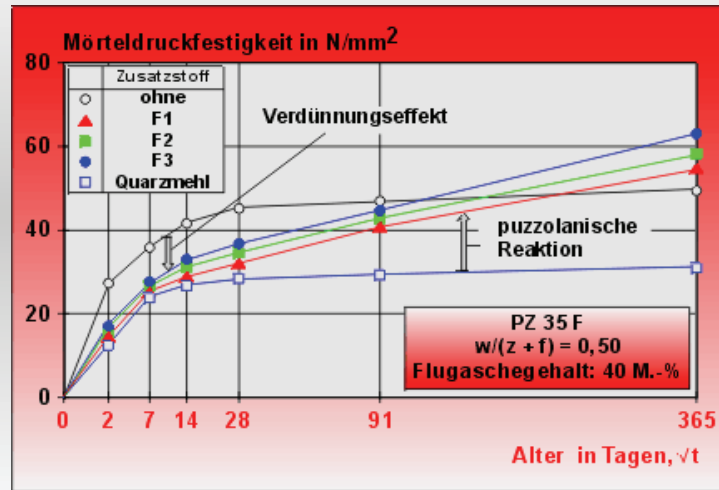
- Füller sind feinkörnige mineralische Stoffe, die in Baustoffen wie z. B. Beton die Korngrößenabstufung der Feststoffpartikel verbessern. Durch ein Ausfüllen der Zwickeln wird das Gefüge dichter und durch die Dauerhaftigkeit und Festigkeit verbessert.



## Wirkung der Steinkohleflugasche Füllerwirkung

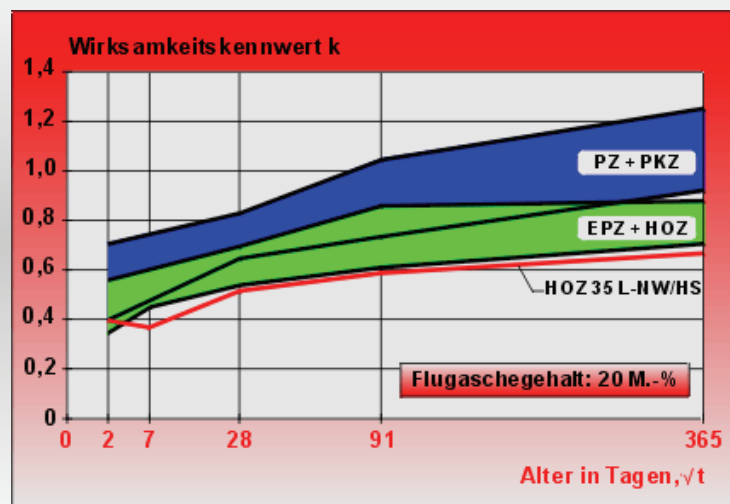


## Wirkung der Steinkohleflugasche Füllerwirkung



der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Anrechenbarkeit von Flugasche

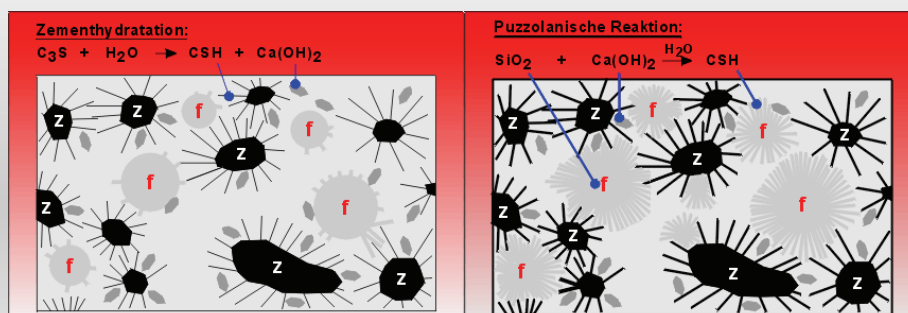


der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

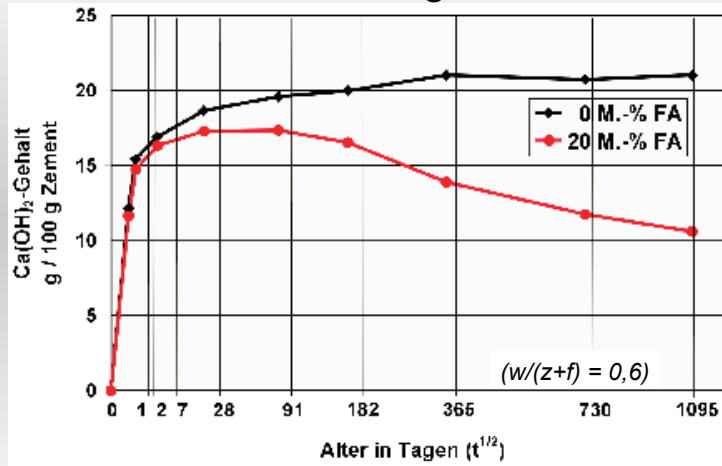
## Wirkung der Steinkohleflugasche Puzzolanität

- Bei Wasserzugabe reagiert die reaktionsfähige Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) (Puzzolan) der Steinkohleflugasche mit dem Calciumhydroxyd zu Calciumsilikathydrat.
- Eigenschaften der puzzolanischen Reaktion
  - langsame Reaktion
  - Verbrauch an Calciumhydroxyd
  - Verdichtung des Porengefüges
  - führt noch in hohem Alter zu signifikanten Gefügeveränderungen und verbesserten Eigenschaften des Betons

## Wirkung der Steinkohleflugasche Puzzolanität



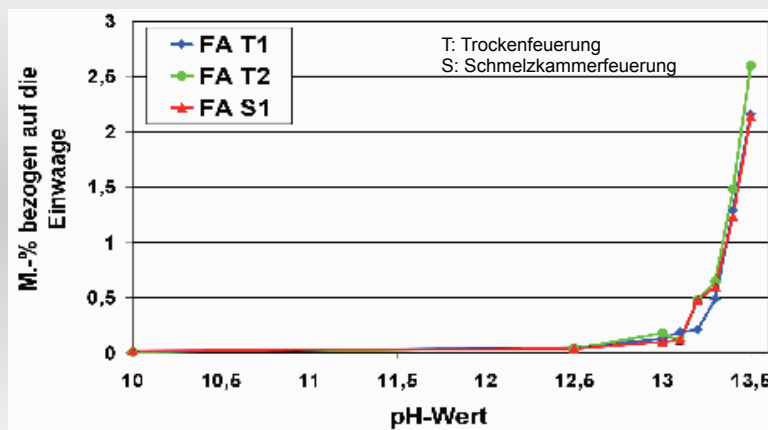
## Reaktionsmechanismus der Steinkohleflugasche



Aus: Härtl, R.: Veränderung des Betongefüges durch die Wirkung von Steinkohlenflugasche und ihr Einfluß auf die Betoneigenschaften. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 1995 Heft 448.

der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

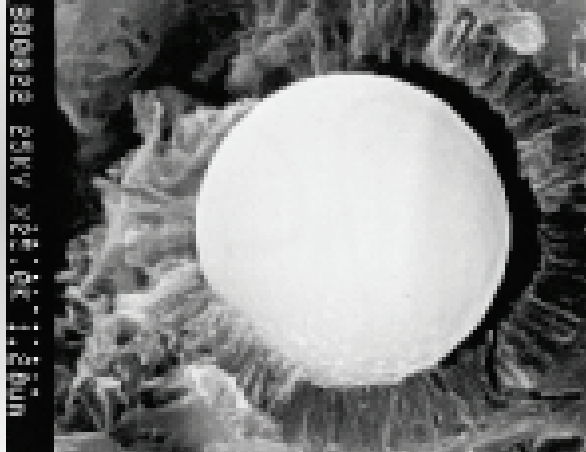
## gelöste Anteile $\text{SiO}_2$ nach einem Monat Lagerung in NaOH in Abhängigkeit vom pH-Wert



Aus: Hüttl, R.: Der direkte Nachweis des Reaktionsmechanismus von Steinkohlenflugasche. Eine neue Untersuchungsmethode. Beton-Information 5/2000

der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

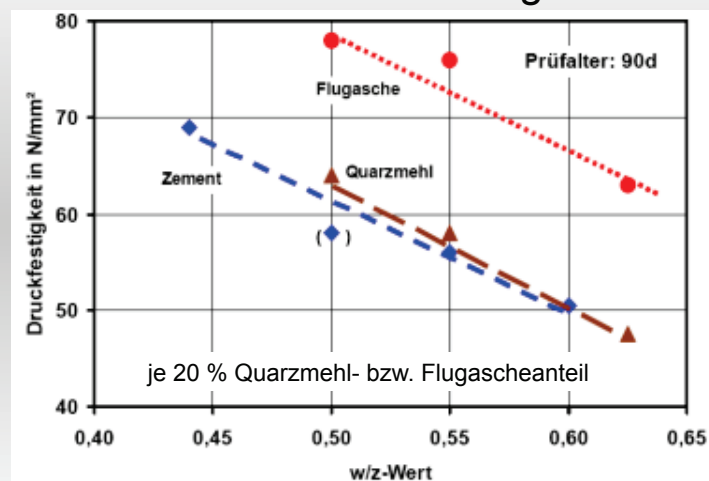
## Steinkohlenflugasche mit gerichtet auf dem Duplex-Film aufgewachsenem Reaktionssaum



Aus: Blaschke, R.: Zur Einbindung der Flugasche in den Bindemittelstein. VGB-Sondertagung Essen, 1984. VGB-Bericht TB 203, S. 80-88, 1985.

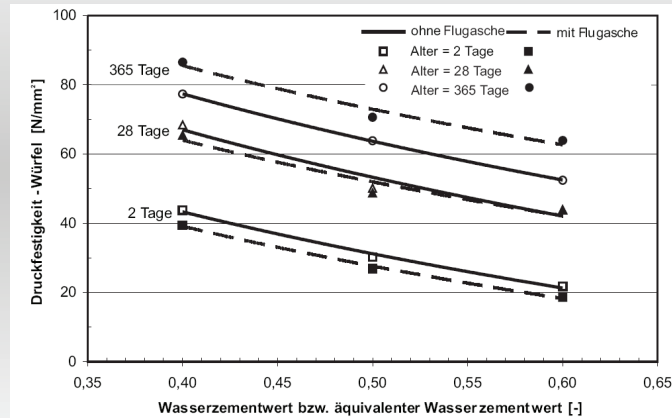
der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Wirkung der Steinkohleflugasche Puzzolane Wirkung



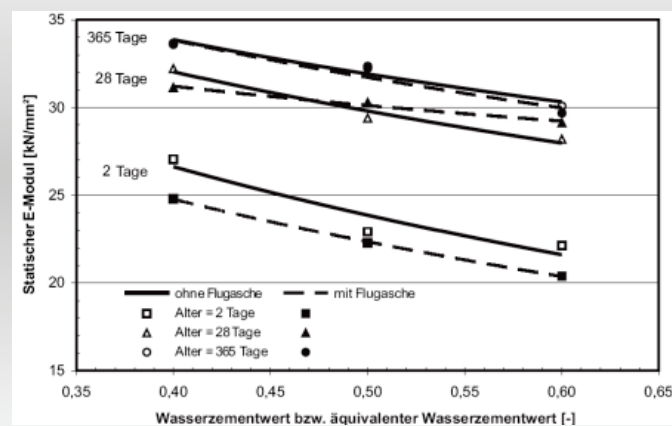
der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Wirkung der Steinkohleflugasche Druckfestigkeit



der Bundeswehr  
Universität *München*  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

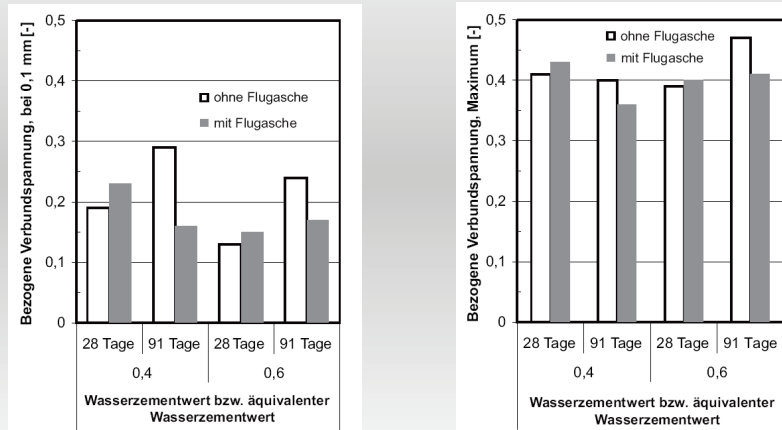
## Wirkung der Steinkohleflugasche Elastizitätsmodul



der Bundeswehr  
Universität *München*  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

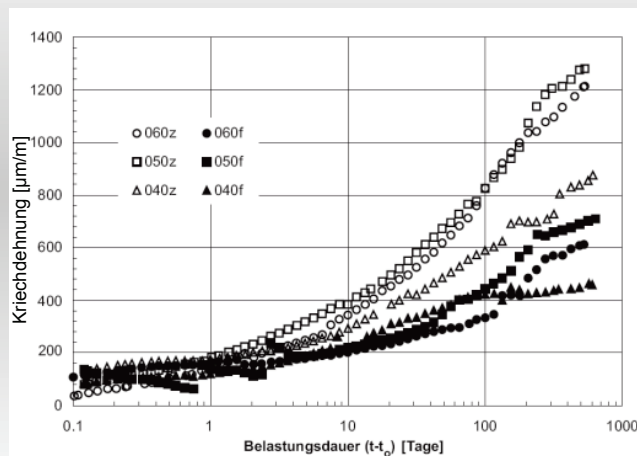


## Wirkung der Steinkohleflugasche Verbundverhalten



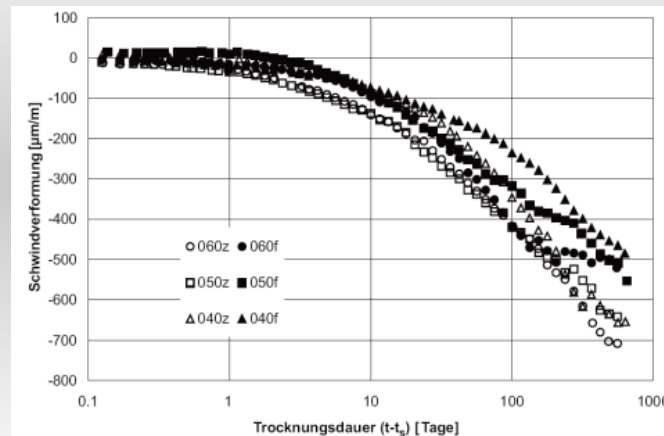
der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Wirkung der Steinkohleflugasche Kriechen



der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Wirkung der Steinkohleflugasche Schwinden



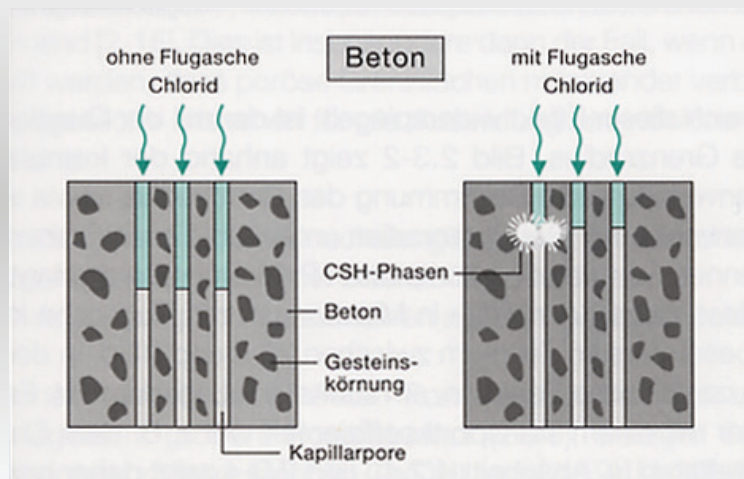
der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Wirkung der Steinkohleflugasche Wirkung auf das Porengefüge

- Bei gleichem Wassergehalt steigt der Gesamtporenraum im Zementstein mit zunehmendem SFA-Gehalt.
  - weniger Zement
  - Volumen von SFA +  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  entspricht dem der Ausgangsstoffe
- Mit steigendem SFA-Gehalt entsteht ein höherer Anteil feinerer Poren.
- Verstopfungseffekt durch SFA insbesondere zusammen mit Hüttensand

der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

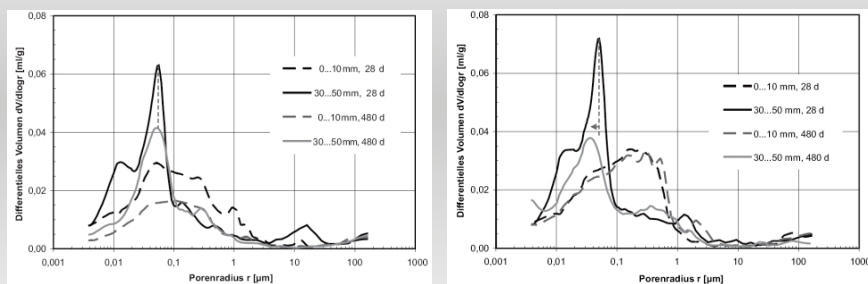
## Wirkung der Steinkohlenflugasche Blockade der Kapillarporen



Quelle:  
Lutze et al.

der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Wirkung der Steinkohlenflugasche Porenradienverteilung

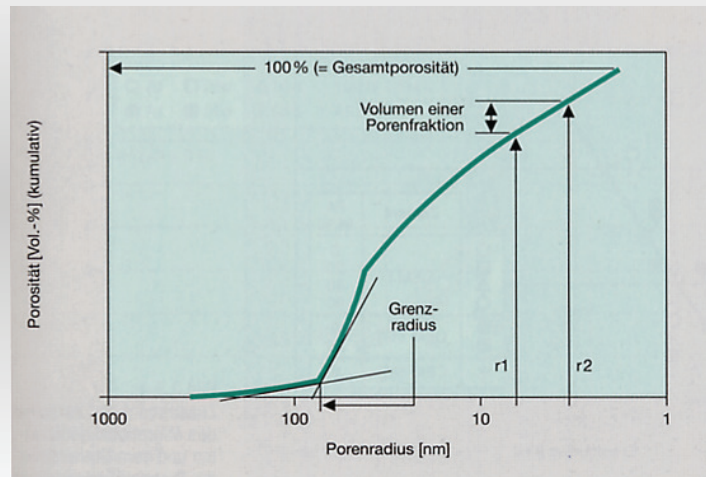


$w/z = 0,6$

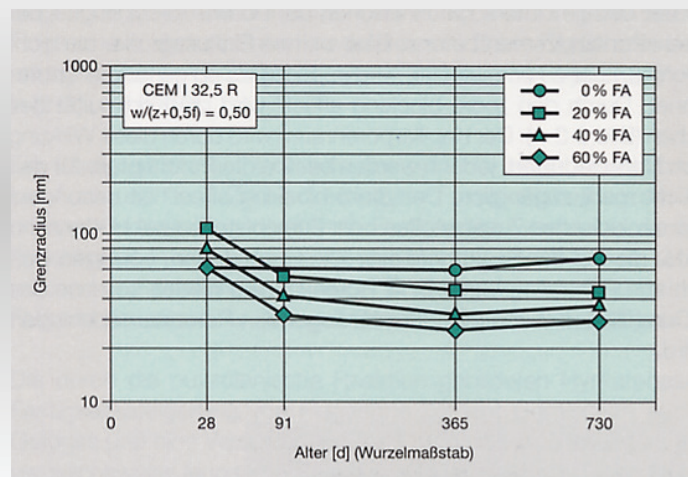
$w/(z+f) = 0,6$

der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

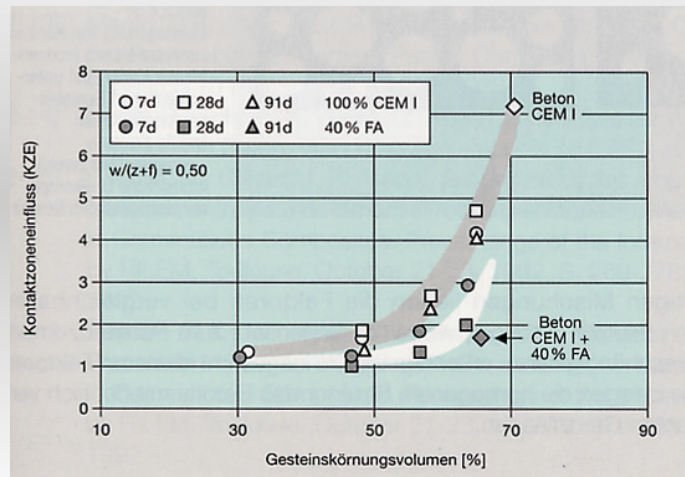
## Wirkung der Steinkohlenflugasche Definition Grenzradius



## Wirkung der Steinkohlenflugasche Zeitliche Entwicklung des Grenzradius



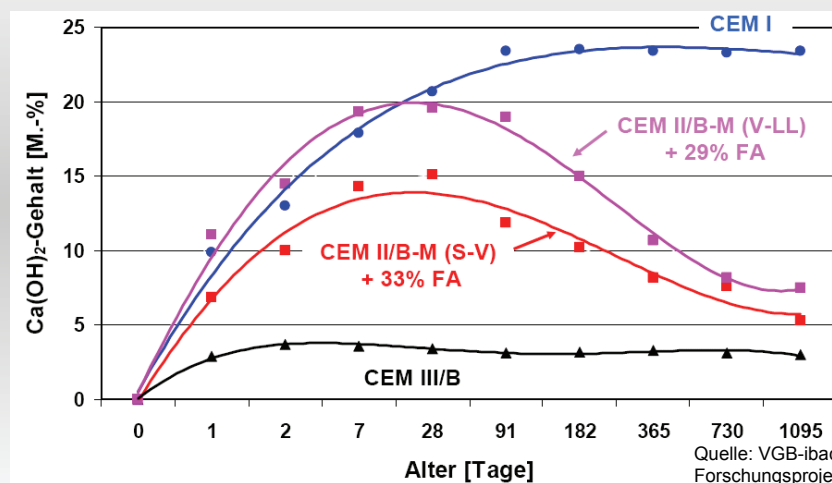
## Wirkung der Steinkohlenflugasche Einfluss der Kontaktzone auf den Diffusionskoeffizienten



Quelle:  
Lutze et al.

der Bundeswehr  
Universität **München**  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Wirkung der Steinkohleflugasche Entwicklung der $\text{Ca(OH)}_2$ -Gehaltes



Quelle: VGB-ibac  
Forschungsprojekt F236

der Bundeswehr  
Universität **München**  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Flugaschehaltige Zemente nach DIN 1164-1 / DIN EN 197

Zementart	Kurz- bezeichnung	Hauptbestandteile			Neben- bestandteile
		Portland- zementklinker	Flugasche	Sonstige	
		K	V bzw. W		
Portland- flugasche- zement	CEM II/A-V	80 - 94	6 - 20	-	0 - 5
	CEM II/B-V	65 - 79	21 - 35	-	0 - 5
	CEM II/A-W	80 - 94	6 - 20	-	0 - 5
	CEM II/B-W	65 - 79	21 - 35	-	0 - 5
Portland- komposit- zement	CEM II/A-M	80 - 94	6 - 20		0 - 5
	CEM II/B-M	65 - 79	21 - 35		0 - 5
Puzzolan- zement	CEM IV/A-M	65 - 89	11 - 35 (nur D, P, Q, V, W)		0 - 5
	CEM IV/B-M	45 - 64	35 - 55 (nur D, P, Q, V, W)		0 - 5
Komposit- zement	CEM V/A	40 - 64	18 - 30	18 - 30 (P, Q)	0 - 5
	CEM V/B	20 - 38	31 - 50	31 - 50 (P, Q)	0 - 5

der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Steinkohlenflugasche Regeln für die Anwendung im Beton

- Anrechnungsregel „w/z-Wert“:  

$$(w/z)_{eq} = w/(z + 0,4 f) \leq \max w/z$$
  - $f/z \leq 0,33$  bei Zementen ohne die Hauptbestandteile P, D oder V
  - $f/z \leq 0,25$  bei Zementen mit den Hauptbestandteilen P oder V und ohne D
  - $f/z \leq 0,15$  bei Zementen mit dem Hauptbestandteil D
- Bei Zementen mit dem Hauptbestandteil D darf keine über  $f/z \leq 0,15$  hinausgehende Menge an Flugasche verwendet werden.

der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Anrechnung auf min Z und $w/(z+0,4*f)$ -Wert

	Flugasche (f)	Silikastaub (s)	Flugasche und Silikastaub
Maximaler Zusatzstoffgehalt zur Sicherstellung der Alkalität der Porenlösung	keine Beschränkung	$s/z \leq 0,11$	$f/z \leq 3 \cdot (0,22 - s/z)$ (nur CEM I) $f/z \leq 3 \cdot (0,15 - s/z)$
Anrechenbarer Zusatzstoffgehalt für den äquivalenten Wasserzementwert	$f/z \leq 0,33$ o. P,V,D $f/z \leq 0,25$ ohne D $f/z \leq 0,15$ mit D	$s/z \leq 0,11$	$f/z \leq 0,33$ $s/z \leq 0,11$
k-Wert	$k_f = 0,4$	$k_s = 1,0$	$k_f = 0,4$ $k_s = 1,0$
äquivalenter Wasserzementwert $(w/z)_{eq}$	$w/(z + k_f \cdot f)$	$w/(z + k_s \cdot s)$	$w/(z + k_f \cdot f + k_s \cdot s)$
Reduzierter Mindestzementgehalt $z_{min}$	$z + f \geq z_{min}$	$z + f \geq z_{min}$	$z + f + s \geq z_{min}$

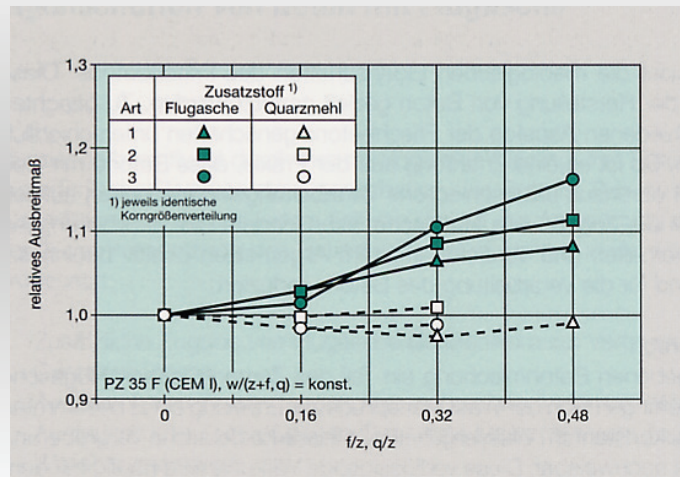
Die Grenzwerte gelten in Abhängigkeit der verwendeten Zemente.

## Steinkohlenflugasche

### Anrechnung auf min Z und $w/(z+0,4*f)$ -Wert

- Anrechnung ist für folgende Zemente möglich:
  - Portlandzement CEM I
  - Portlandsilicastaubzement CEM II/A-D
  - Portlandhüttenzement CEM II/A-S und B-S
  - Portlandschieferzement CEM II/A-T und B-T
  - Portlandkalksteinzement CEM II/A-LL
  - Portlandpuzzolanzement CEM II/A-P
  - Portlandflugaschezement CEM II/A-V
  - Portlandkompositzement CEM II/A-M (mit S, D, P, V, T, LL)
  - Portlandkompositzement CEM II/B-M (mit S-D, D-T, S-T)
  - Hochofenzement CEM III/A
  - Hochofenzement CEM III/B (HÜS-Gehalt < 70 M.-%)

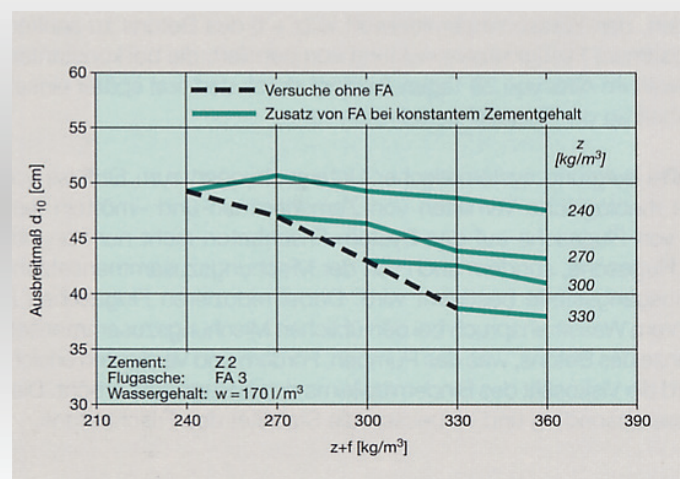
## Steinkohlenflugasche Wasseranspruch



Quelle:  
Lutze et al.

der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Steinkohlenflugasche Betonkonsistenz

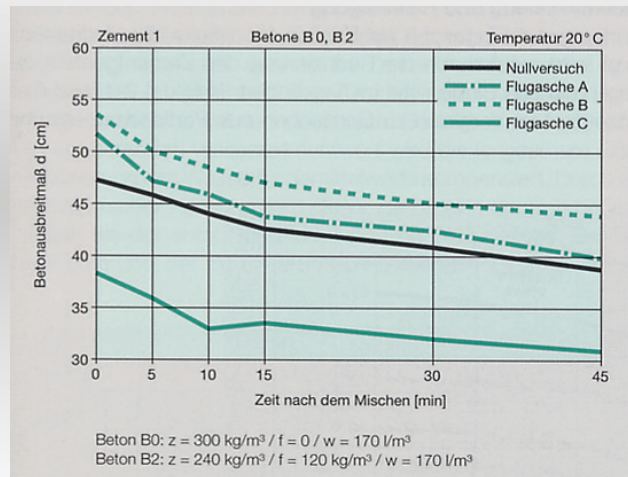


Quelle:  
Lutze et al.

der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

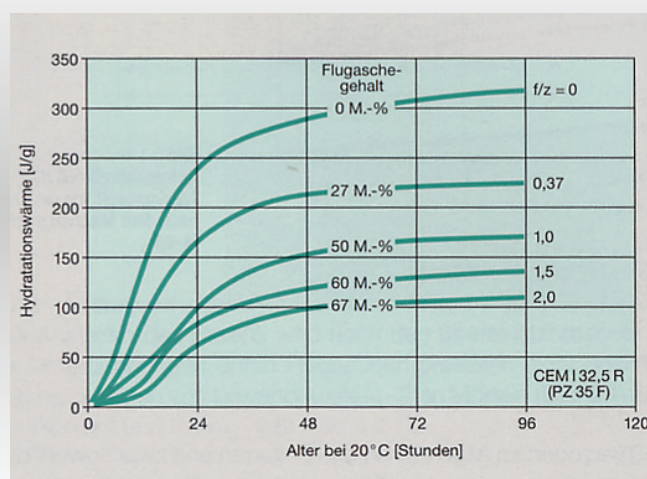


## Steinkohlenflugasche Ansteifverhalten



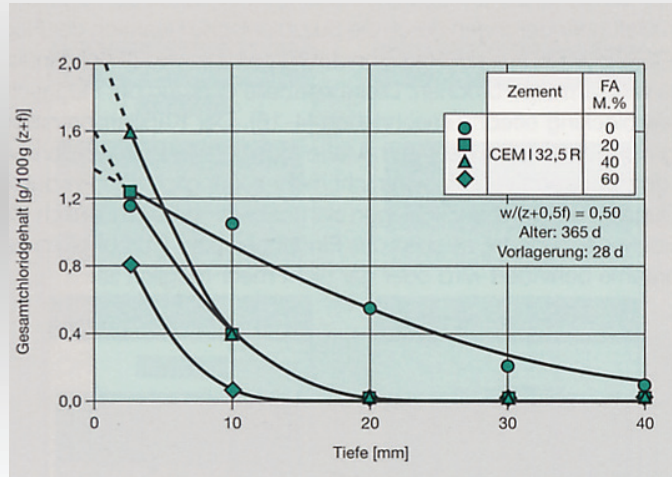
Quelle:  
Lutze et al.

## Steinkohlenflugasche Hydratationswärme



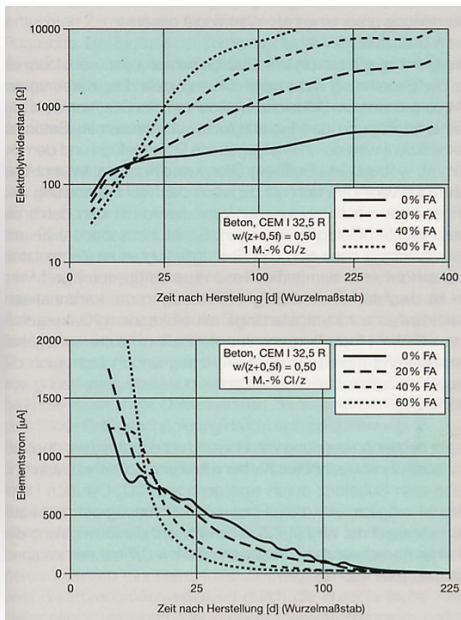
Quelle:  
Lutze et al.

# Steinkohlenflugasche Eindringen von Chloriden



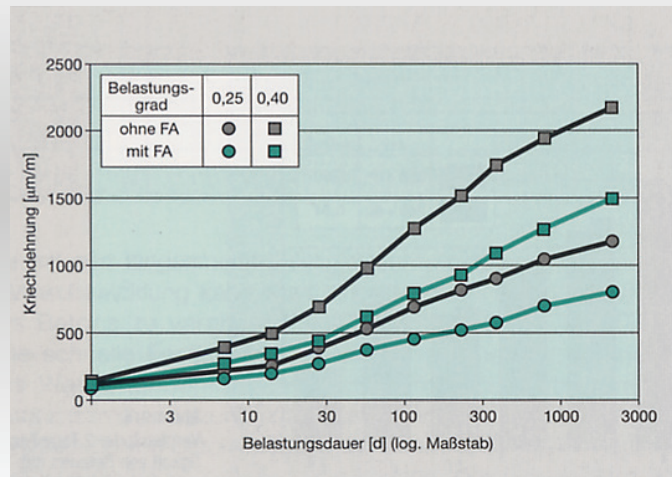
Quelle:  
Lutze et al.

# Steinkohlenflugasche Elektrolytwiderstand



Quelle:  
Lutze et al.

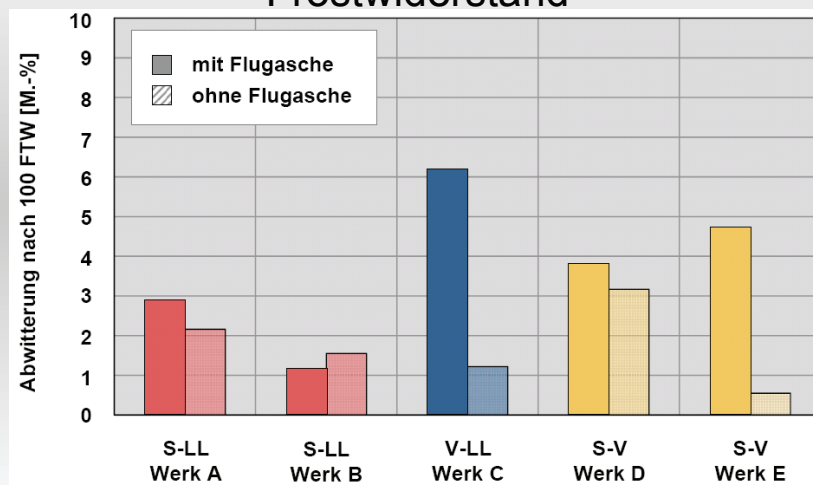
## Steinkohlenflugasche Kriechen



Quelle:  
Lutze et al.

der Bundeswehr  
Universität **München**  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Portlandkompositzelemente mit Steinkohlenflugasche Frostwiderstand



Quelle:  
Härdtl

der Bundeswehr  
Universität **München**  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Steinkohlenflugasche Vorteile im Frischbeton

- Reduzierung des Wasseranspruchs
- Verbesserung der Verarbeitbarkeit
- Verbesserung der Fließfähigkeit
- Verbesserung der Verdichtungswilligkeit
- Verringerung der Wasserabsonderung/  
Sedimentation
- Verringerung der Hydratationswärme



## Steinkohlenflugasche Vorteile im Festbeton

- bessere Nacherhärtung
- höhere Endfestigkeit
- dichteres Gefüge
- besserer Korrosionsschutz der Bewehrung
- reduzierte Reißneigung
- größerer Widerstand gegen chemischen Angriff
- höherer Sulfatwiderstand
- besserer Widerstand gegen Karbonatisierung
- verminderte Alkali-Kieselsäure-Reaktion im Beton



## Steinkohlenflugasche Vorteile für die Festbetonoptik

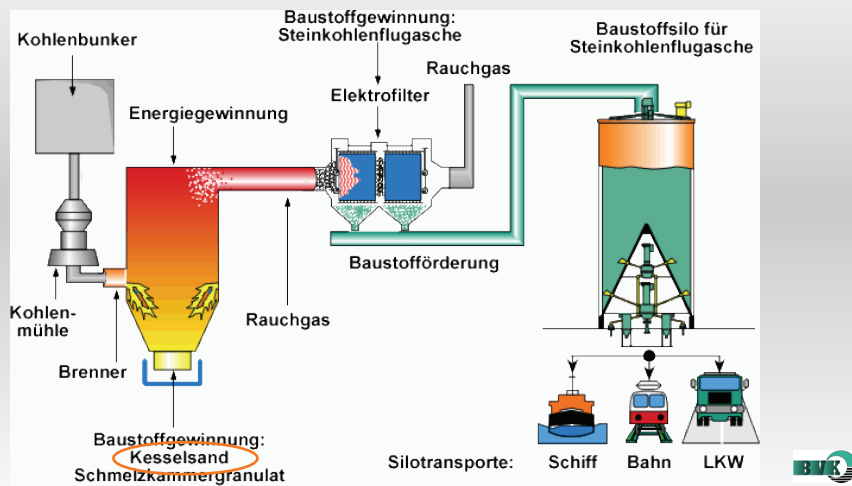
- verbesserte Sichtbetonflächen
- gleichmäßige Farbgebung
- saubere Fasen und Kanten
- weniger Ausblühungen



## Kesselsand



## Steinkohleflugasche Entstehung



der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Kesselsand Entstehung

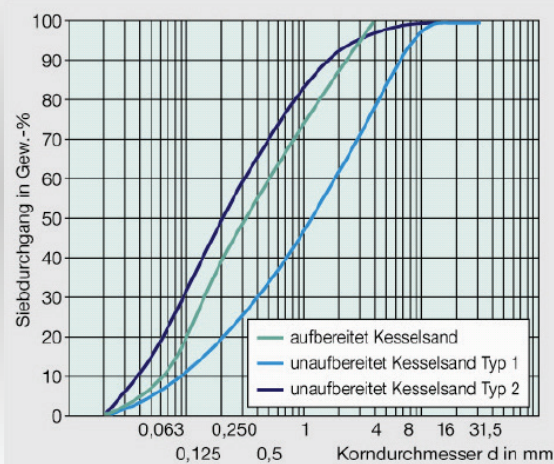
- Kesselsand wird bei der Verbrennung von Steinkohle in den **Trockenfeuerungskesseln** (1100 °C - 1300 °C) moderner Kraftwerke erzeugt.
- Er besteht aus agglomerierten Flugaschepartikeln und wird aufgrund seines höheren Gewichtes nicht im Rauchgasstrom transportiert, sondern am Kesselboden gesammelt.

der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

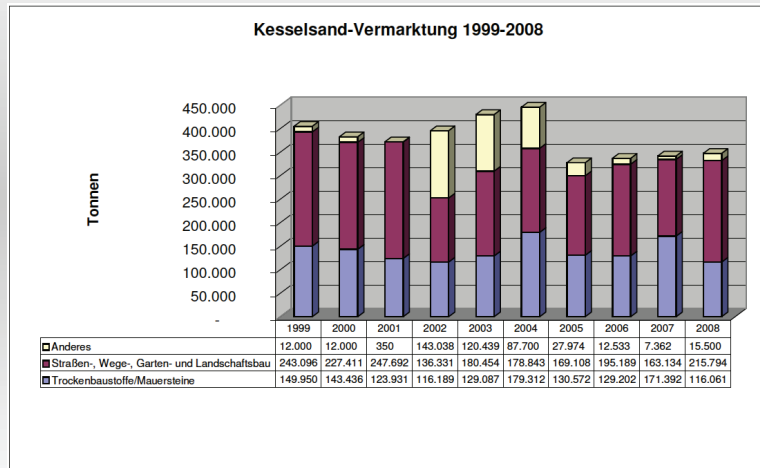
## Kesselsand Eigenschaften

- Kesselsand hat wie die Flugasche eine glasige Struktur.
- Die Oberflächen sind unregelmäßig aufgebrochen und rau.
- Kornrohichte:  $1,0 - 1,8 \text{ g/cm}^3$
- Schüttdichte:  $0,6 - 1,0 \text{ g/cm}^3$
- Glühverlust:  $\leq 10 \text{ M.-%}$
- Wasseraufnahme:  $20 - 25 \text{ M.-%}$

## Kesselsand Kornverteilung



# Kesselsand-Vermarktung 1999-2008



## Kesselsand Einsatzgebiete

- Leichte Gesteinskörnung für Beton und Mörtel nach DIN EN 13055-1





## Kesselsand Einsatzgebiete



- Anwendungen im Erd- und Straßenbau:
  - Aufschüttungen
  - Hinterfüllungen
  - Bodenverbesserungen
  - Grabenverfüllungen
  - Tragschichten



## Schmelzkammergranulat

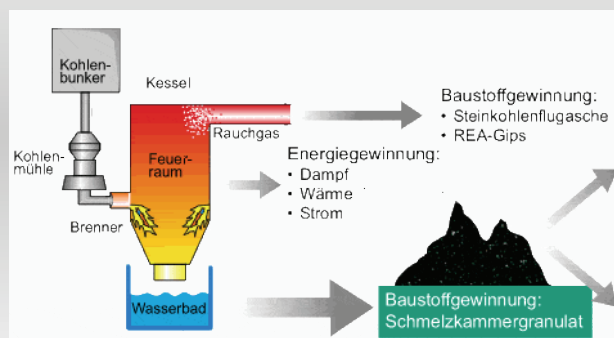


## Schmelzkammergranulat Entstehung

- Kesselsand wird bei der Verbrennung von Steinkohle in den **Schmelzfeuerungskesseln** (1500 °C - 1700 °C) älterer Kraftwerke erzeugt.
- Er besteht aus agglomerierten Flugaschepartikeln und wird aufgrund seines höheren Gewichtes nicht im Rauchgasstrom transportiert, sondern am Kesselboden gesammelt.
- Die schmelzflüssigen, unbrennbaren Bestandteile der Steinkohle werden abgezogen und schockartig im Wasserbad abgekühlt.

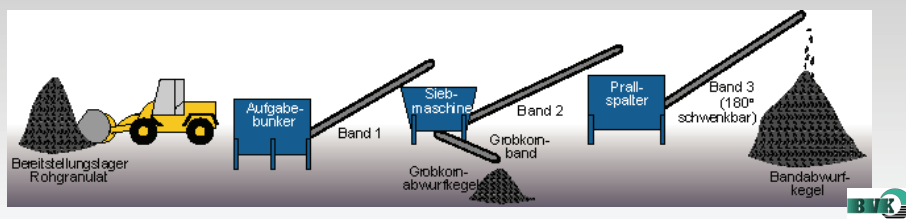


## Schmelzkammergranulat Produktion



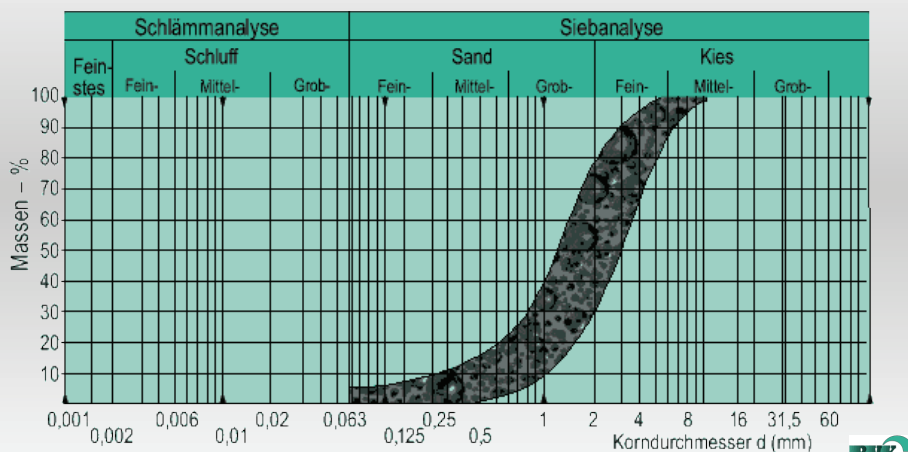
## Schmelzkammergranulat Produktion - Aufbereitung

- Schmelzkammergranulat hat herstellungsbedingt Spannungsrisse.
- Das Grobkorn wird bei 8 - 10 mm abgesiebt  
⇒ Drainagematerial
- Das prallgespaltene Granulat mit einer Korngröße von 0 - 4 mm ist formstabil.



der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Schmelzkammergranulat Kornverteilung



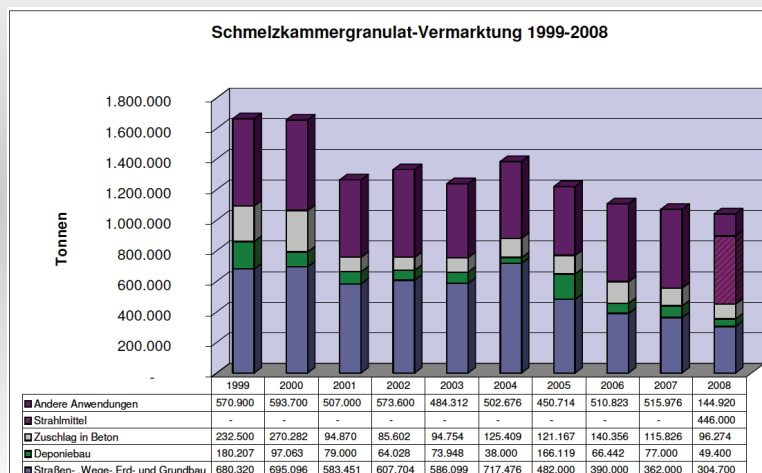
der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Schmelzkammergranulat Bodenmechanische Kenngrößen

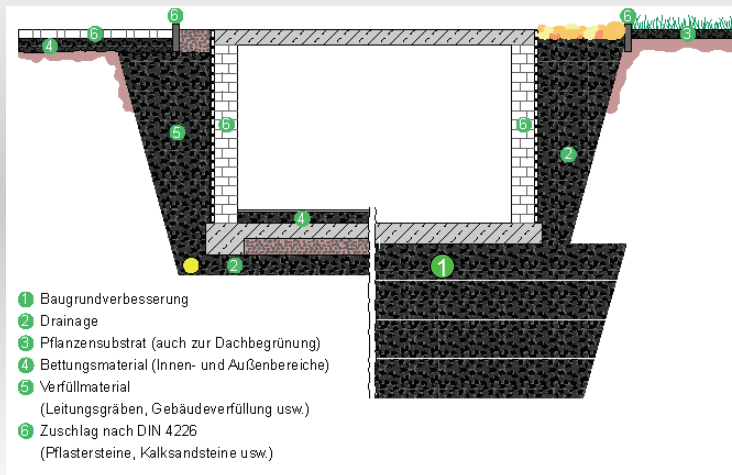
Korngrößenverteilung	mm	0,2 – 11
Ungleichförmigkeitszahl U	$d_{60}/d_{10}$	3 – 6
Durchlässigkeitsbeiwert k	$10^{-3}$ m/s	2 – 3
Dichte	$\text{g}/\text{cm}^3$	2,65 – 2,70
Kornrohddichte	$\text{g}/\text{cm}^3$	2,40 – 2,60
Schüttdichte	$\text{g}/\text{cm}^3$	1,05 – 1,40
Proctordichte		1,3 – 1,5
Hohlraumvolumen	%	37 – 42
Winkel der inneren Reibung	°	40 – 45



## Schmelzkammergranulat-Vermarktung 1999-2008

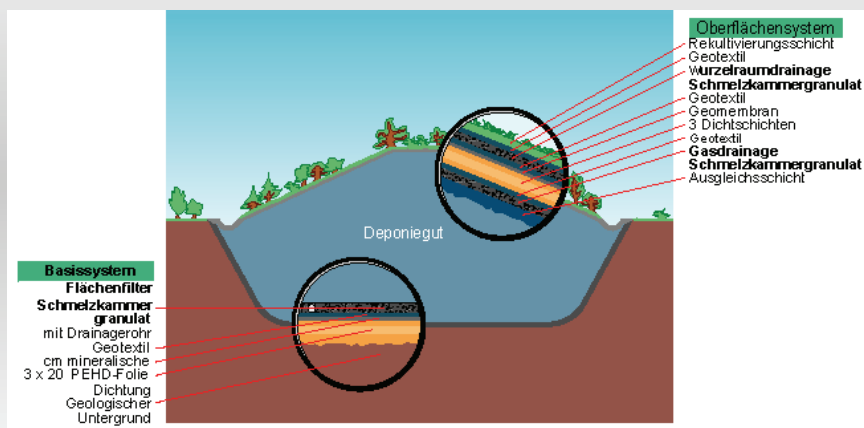


# Schmelzkammergranulat Anwendung im Hausbau



der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

# Schmelzkammergranulat Anwendung im Deponiebau



der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

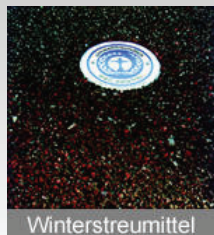
## Schmelzkammergranulat Sonstige Anwendung



Strahlmittel



Kalksandsteine



Winterstreumittel



Dachziegel



der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Wirbelschichtasche



der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Wirbelschichtasche Entstehung



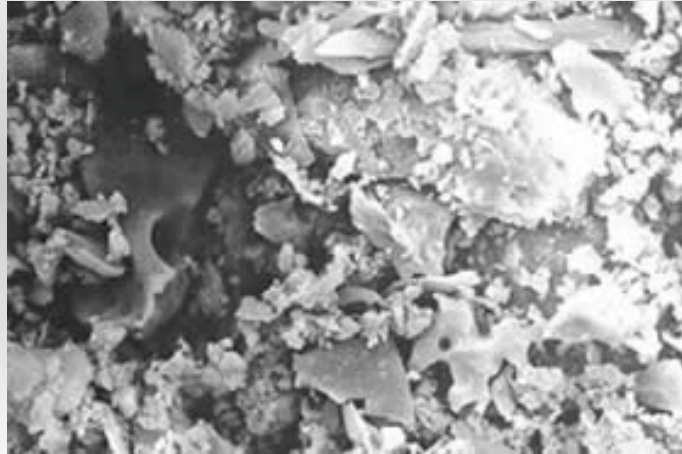
- Einsatz von Brennstoffen mit niedrigem Heizwert
- Direktentschwefelung in der Feuerung durch Kalksteinzugabe



## Wirbelschichtasche Eigenschaften

- Mischung von Brennstoffasche und Unverbranntem
- Bei kohlestämmiger Verbrennung können sie zusätzlich Entschwefelungsprodukt ( $\text{CaSO}_4$ ) und nicht reagiertes Absorbens ( $\text{CaO}$ ) enthalten.
- Durch die relativ niedrige Feuerungstemperatur von ca.  $850\text{ }^\circ\text{C}$  sind die Aschen nicht aufgeschmolzen.
- Die mineralogische Struktur vor der Verbrennung bleibt erhalten.
- Das Fehlen von Sinter- und Aufschmelzvorgängen führt zu einem überwiegend feinkörnigen, kristallinen (nicht verglasten) Material.

## Wirbelschichtasche



der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Wirbelschichtasche Eigenschaften

- Die Aschen werden an verschiedenen Stellen aus dem System abgezogen. Die Aschetypen unterscheiden sich aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften und ihrer chemischen Zusammensetzung.
  - Es fällt die sogenannte Bettasche an, die aus dem Wirbelbett direkt ausgetragen wird und
  - die Filterasche, die durch Elektro- oder Gewebefilter aus den Rauchgasen abgeschieden wird an.
- Ein Zusammenführen von Bett- und Filterasche schränkt die Verwertungsmöglichkeiten in vielen Fällen ein.

der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens



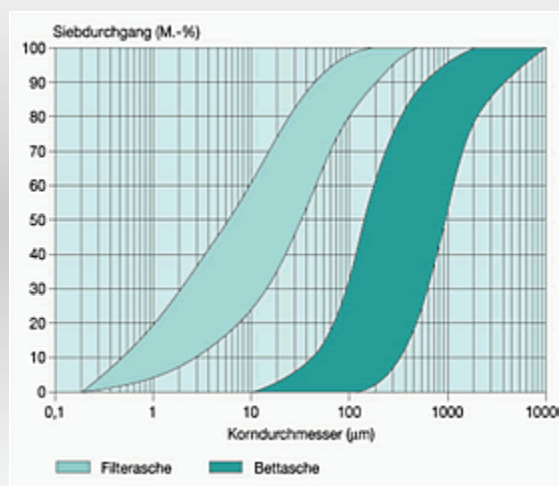
## Wirbelschichtaschen

Oxid	Bettasche	Filterasche
SiO <sub>2</sub>	6,9 bis 66,1	13,9 bis 44,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,2 bis 26,3	8,8 bis 17,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,3 bis 7,6	2,7 bis 9,5
MgO	1,1 bis 2,4	1,0 bis 9,5
K <sub>2</sub> O	0,2 bis 3,7	1,2 bis 3,0
Na <sub>2</sub> O	0,1 bis 0,9	0,3 bis 1,3
CaO	1,1 bis 52,2	8,6 bis 31,4
SO <sub>3</sub>	0,2 bis 28,3	2,2 bis 13,4
C	0,1 bis 5,9	1,0 bis 37,6



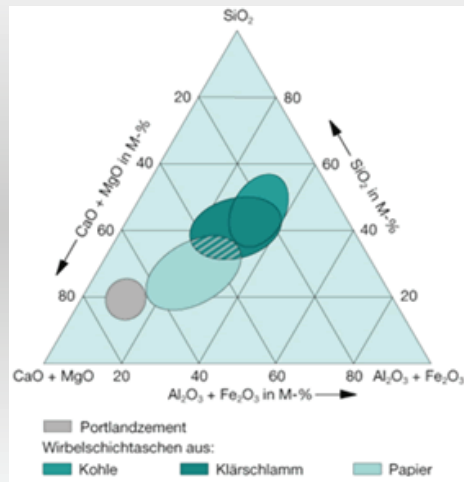
der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Wirbelschichtasche Eigenschaften



der Bundeswehr  
 Universität  München  
 Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Wirbelschichtasche Anwendung



der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Wirbelschichtasche Anfall (D)

- 400.000 t/a kohlestämmige Wirbelschichtaschen
- 200.000 t/a Klärschlamm-Wirbelschichtaschen
- 100.000 t/a Papier/Holz-Wirbelschichtaschen

der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Wirbelschichtasche

### Anwendung

- Roh- oder Zusatzstoff bei der Zement- und Mörtelproduktion
- Herstellung von Kalksandsteinen und Ziegelprodukten
- Bergbau
  - aufgrund der hydraulischen wirksamen Komponenten als Bindemittelkomponente bei der Herstellung von Bergbaumörtel und
  - als Versatz- und Verfüllmaterial

## Wirbelschichtasche

### Anwendung

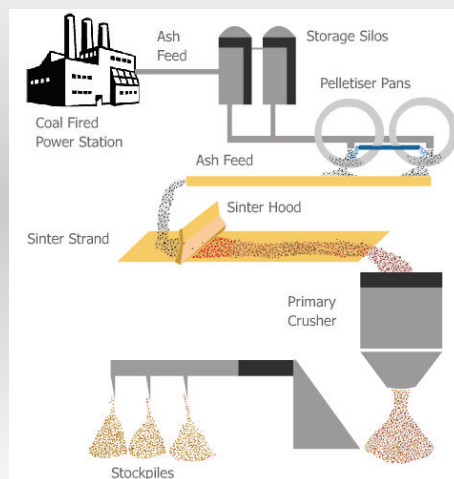
- Das Eigenverfestigungsvermögen von Wirbelschichtasche wird bei der Konditionierung von Schlamm ausgenutzt.
- Wirbelschichtasche aus Braunkohle ist ein anerkanntes, zugelassenes Düngemittel für die Forstwirtschaft.

## Wirbelschichtasche Anwendung

- Bergbau / Versatz (Bergbaumörtel)
- Zementindustrie
- Betonwarenindustrie
- Deponiebaustoff
- Erdbau
- Schlammbehandlung (Dekontaminierung)
- Kalkdüngemittel
- Kalksandsteinindustrie, Ziegelproduktion
- Bitumenfüller

der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Gesinterte Steinkohlenflugasche Herstellung



LYTAG

der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Gesinterte Steinkohlenflugasche Herstellung



- Steinkohlenflugasche wird mit Wasser auf Drehtellern granuliert
- Je nach Restkohlenstoffgehalt werden Kohlenstaub oder Tonmehl hinzugemischt
- Die Korngröße reicht bis etwa 14 mm

LYTAG

der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Gesinterte Steinkohlenflugasche Herstellung



- Die Rohgranalien kommen in einer etwa 300 mm dicken Schicht auf ein Sinterband.
- Unter einer Sinterhaube wird die Schicht einer Temperatur von ca. 1200 °C ausgesetzt.
- Die heiße Luft wird hinter der Haube nach unten abgesaugt und stellt so einen gleichmäßigen Brand sicher.

LYTAG

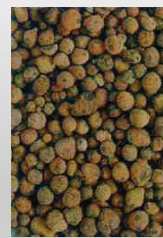
der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Gesinterte Steinkohlenflugasche Herstellung



- Das fertige Material muss auskühlen und wird für die weitere Verwendung abgeseibt.

## Gesinterte Steinkohlenflugasche Eigenschaften



- Schüttdichte: 760 – 780 kg/m<sup>3</sup>
- Kornrohddichte: 1400 – 1420 kg/m<sup>3</sup>
- Korngröße: 0,5/4; 4/8; 6/14 mm
- Wasseraufnahme: 18 M.-%
- Kornfestigkeit: > 4 MPa

## Gesinterte Steinkohlenflugasche Granalien



der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Gesinterte Steinkohlenflugasche Einsatzgebiete



- Konstruktiver Leichtbeton
  - Rohdichte  
ab  $1550 \text{ kg/m}^3$
  - Festigkeitsklassen  
LC 20/22 – LC 40/44
- Lose Schüttung
- Sonstige Anwendungen  
für leichte  
Gesteinskörnungen

LYTAG

der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens



Messturm  
Frankfurt

der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens

## Treppenhaustürme Kraftwerk Niederaußem



der Bundeswehr  
Universität  München  
Institut für Werkstoffe des Bauwesens