

Geopolymere auf AA Flugaschenbasis

František Škvára, Tomáš Jílek, Lubomír Kopecký^x

Institut für Glas u. Keramik, Universität für Chemie und Technologie,
CZ-166 28 Praha 6, Technická 5, Tschechische Republik

^x Lehrstuhl für Baumechanik, Technische Universität, CZ-166 27 Praha 6,
Thákurova 5, Tschechische Republik

Einleitung

Kraftanlagen-Abfall-Flugaschen (neben dem Abfall-Gipsstein) ist in der Tschechischen Republik enorm riesig (>10 Mio. t/Jahr).

Die Verwertung von den Aschen ist nicht vollständig, erheblicher Teil dieser Stoffe endet auf den Deponien oder wird mit dem Abfall-Gipsstein vermischt und weiter deponiert.

Neu ist die Idee einer Ausnutzung von den Abfall-Aschen durch alkalische Aktivierung auf die geopolymere Stoffe.

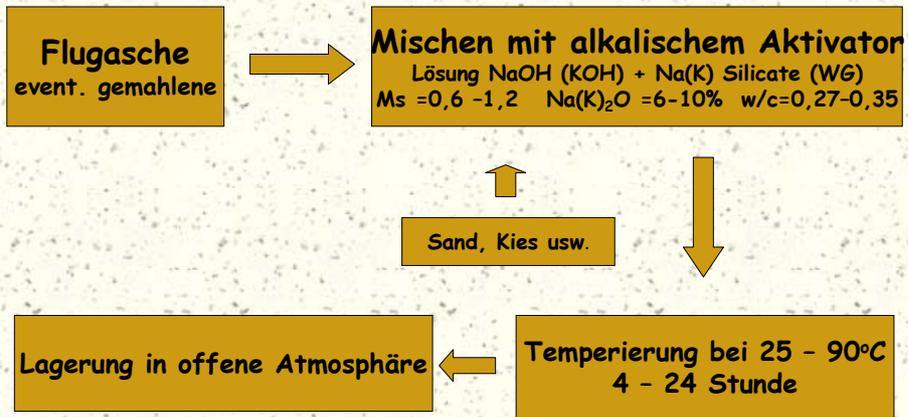
Ausgangskomponente

• **Flugasche** (Tschechische Republik)

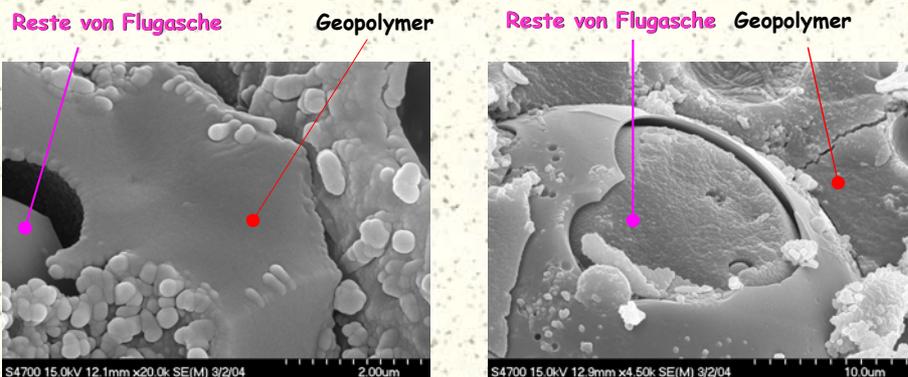
| % w. | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | K ₂ O | Na ₂ O | TiO ₂ | P ₂ O ₅ |
|-----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| Flugasche | 53.79 | 32.97 | 5.51 | 1.84 | 0.92 | 0.46 | 1.76 | 0.37 | 2.1 | 0.15 |

- **Zusatzstoffe:** Portland Zement CEM II 42.5
Rauchgips (> 95% of CaSO₄·2H₂O)
gemahlener Kalkstein u. dolomitischer Kalkstein (400 m²/kg)
- **Zuschlag:** Sand (0 - 2 mm), Kies (4 - 8, 8 - 16 mm)
Kalkstein (0 - 4 mm)

Vorbereitung von AA Flugaschen

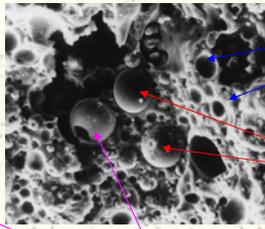
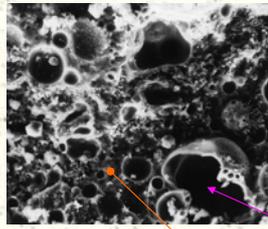


Mikrostruktur von AA Flugaschen



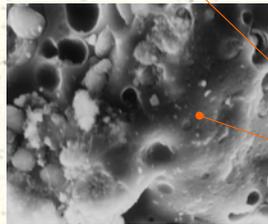
Produkt der alkalischen Aktivierung von Flugaschen
Zeolitischer Prekursor $M_n\{-(Si-O)_Z-Al-O\}_N \cdot wH_2O$ (3D-Geopolymer)

Mikrostruktur von AA Flugaschen



Luftporen

Flugasche



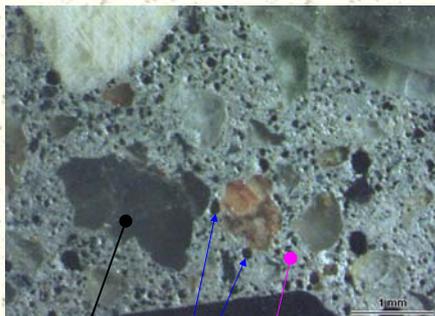
Reste von Flugasche

Porosität...Luftporen+Reste von Flugasche

Geopolymer ...Na Aluminosilikate (ED Analyse)

Detail

Mikrostruktur von AA Flugaschenbeton



Zuschlagskorn

Geopolymer

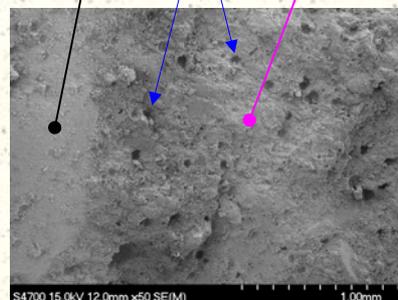
Makroporen

(Opt. Mikr.)

Zuschlagskorn

Geopolymer

Makroporen



S4700 15.0kV 12.0mm x50 SE(M)

1.00mm

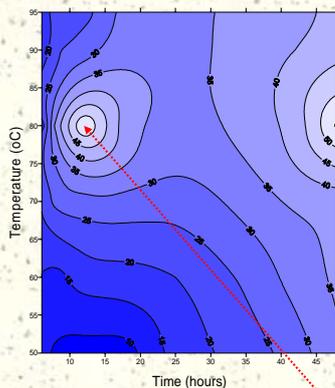
(SEM Aufnahme)

Die Eigenschaften der AA Flugaschen - der Geopolymere - sind von mehreren Faktoren abhängig:

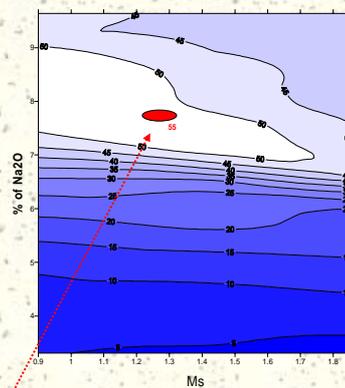
- Wassergehalt in der Mischung (Paste, Mörtel oder Beton)
- $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ u. $\Sigma \text{Na}_2\text{O}$ in Aktivator
- Verhältnis $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{CaO}$ (MgO) in Flugasche
- Gehalt von Ca in Flugasche und in der Mischung
- Zusammensetzung der Füllstoffe
- Temperierung (Temperatur u. Zeit)
- Feuchtigkeitsbedingungen während Temperierung (hydrothermale oder offene Atmosphäre?)

Optimierung der Vorbereitung

Fly ash Opatovice, mortar w=0.30
Ms= 1.43, 7.2% of Na₂O, 2 fraction of sand
2 day strength in MPa



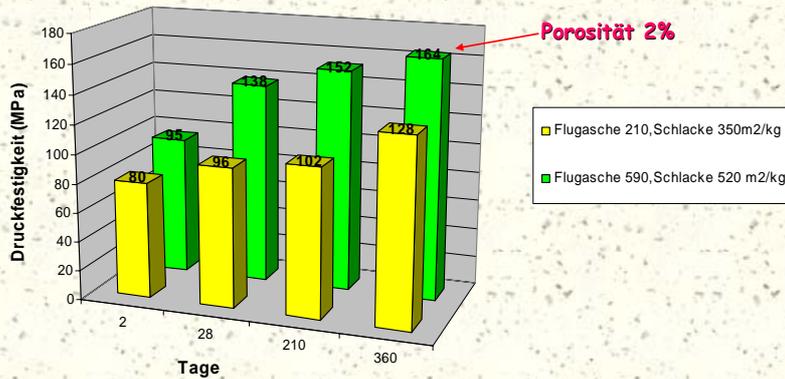
Fly ash Opatovice, mortar w=0.30
80 st.C 12 hod., 2 fraction of sand
2 days strength in MPa



Optimum

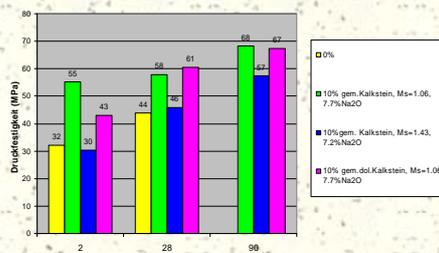
AA Flugasche u. Schlacke

Flugasche : Schlacke = 0.5
hydrothermale Bedingungen (10 St. 80°C + x Tage)



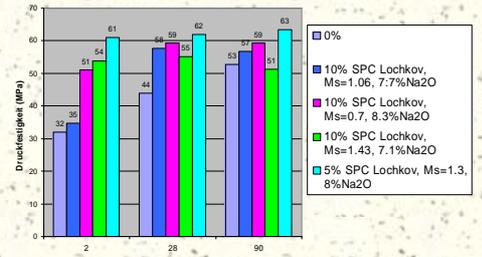
AAFa + Ca haltige Stoffe Kalkstein, PZ

AAFa + gem. Kalkstein (Mörtel, Sand 1:1.5, w = 0.32) 12 St. 70°C



Kalkstein

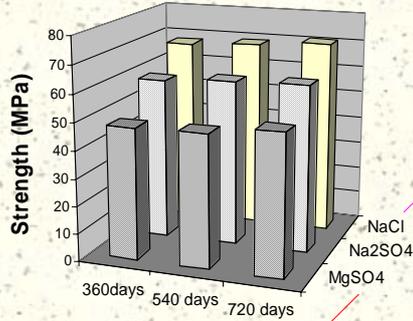
AAFa + SPC Lochkov (Mörtel 1:1.5, w = 0.32) 12 St. 70°C



SPZ

Einfluss der Ca-haltigen Stoffe

Korrosion der AA Flugaschen



NaCl Lösung (164g/dm³)



Na₂SO₄ Lösung (44g/dm³)



720 Expositionstage

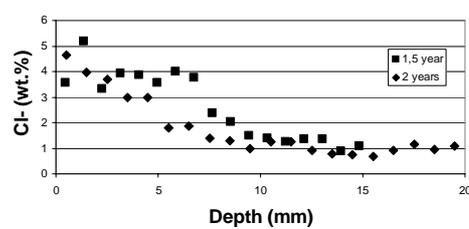
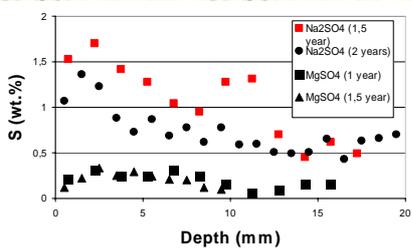
MgSO₄ Lösung (5g/dm³)

Konzentration der Lösungen nach EN206-1 für PZ

Korrosion der AA Flugaschen

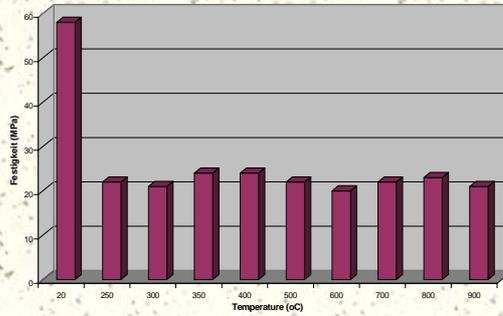
Eindringung Cl⁻ and SO₄²⁻ in AAFa Geopolymer

EPMA



Hochtemperatureigenschaften der AA Flugaschen

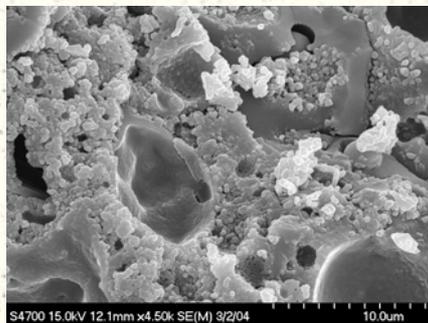
AA Flugasche, Mörtel, w=0,30



$T_{0.5} = 630^{\circ}\text{C}$

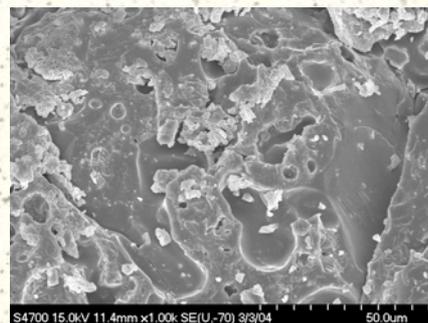
Festigkeiten nach 2 St. Brennen

Hochtemperatureigenschaften der AA Flugaschen

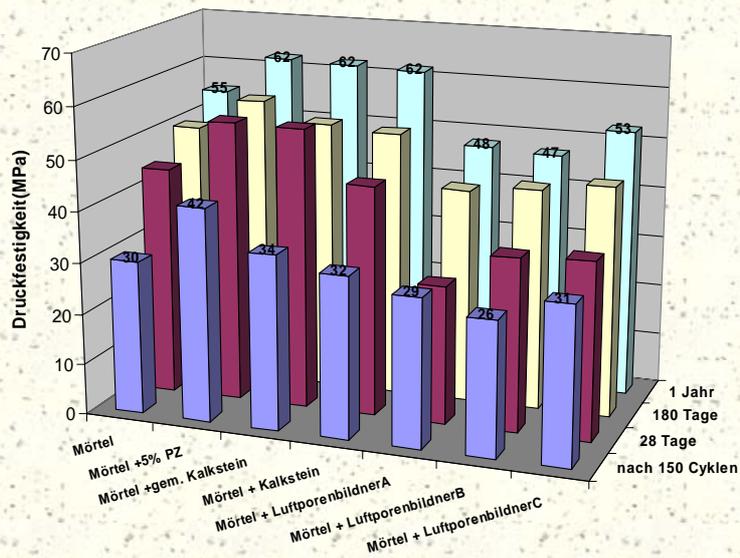


300 °C (ohne Zerlegung)

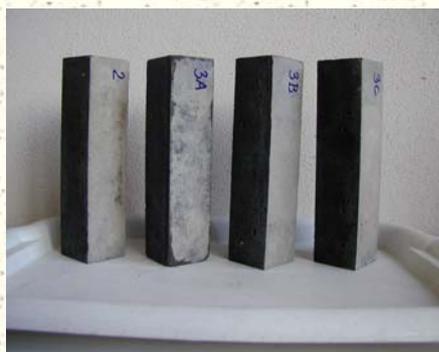
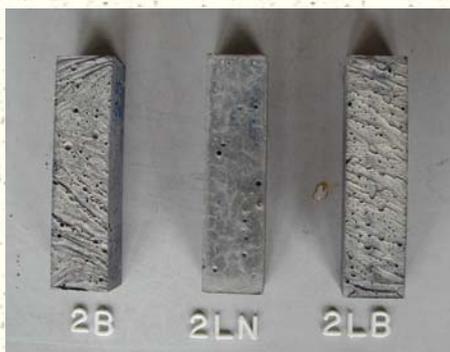
1000 °C (Gegenwart der Schmelze)



Frosttauwiderstand der AA Flugaschen



Frosttauwiderstand der AA Flugaschen



Nach 150 Frosttaucyklen

Zusammenfassung

- Die AA-Bindemittel - die Geopolymere - sind neue Stoffe und stehen an der Grenze zwischen den klassischen anorganischen Bindestoffen, glasigen Stoffen und keramischen Stoffen.
- Bei der Synthese von den alkalisch aktivierten Stoffen benötigt man keinen Ausbrand. Deshalb kann man diese Stoffe als keramische oder glasige Stoffe verstehen, die kalt bearbeitet werden.
- Die Geopolymere auf der Basis von den Flugaschen weisen nicht nur hohe Festigkeiten auf, sondern haben auch weitere positive Beschaffenheiten, wie die Beständigkeit gegen aggressive Saltlösungen, die Warmbeständigkeit bis 600°C und hohe Frosttauwiderstand.
- Der qualitative Unterschied bei der Korrosionsverlauf der AAFlugaschen und des Portlandzements.
- Die AA-Stoffe haben ein bedeutendes Gebrauchspotential mit einer deutlichen ökologischen Auswirkung (Recycling anorganischer Abfälle).
- Die erreichten Eigenschaften der AA-Aschen überwinden die Eigenschaften der normalen Portlandzemente.

Forschungsprojekt

Diese Ergebnisse sind Teil des Forschungsprojekts
CEZ:MSM 223100002 (Ministerium für Erziehung, Jugend
u. Sport)

**CEZ:MSM 6046137302: "Preparation and research
of functional materials and material technologies
using micro- and nanoscopic methods"**

und

**Grant Agency of Czech Republic 103/05/2314
"Mechanical and engineering properties of geopolymer
materials based on alkali-activated ashes".**