



# GeoFlow Fließmittel aus nachwachsenden Rohstoffen als Schlüsseltechnologie für den Einsatz umweltfreundlicher Geopolymer-Betone aus Metakaolin

## Ausgangssituation

### Herstellung VON PORTLANDZEMENT

**4,1 Gigatonnen**  
jährlicher weltweiter Verbrauch von Portlandzement

**1450 Grad Celsius**  
Brenntemperatur im Drehrohren während der Zementherstellung

**400 Kilogramm**  
CO<sub>2</sub> pro Tonne Zement, die aufgrund der Entsäuerung von Kalkstein zusätzlich entweichen: CaCO<sub>3</sub> -> CaO + CO<sub>2</sub>

**4 Prozent**  
Anteil der Zementindustrie an der jährlichen anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen

**Zusatzmittel für Beton**  
28.700.000 t/a  
etwa 7 kg Zusatzmittel je 1000 kg Zement

**Fließmittel**  
24.400.000 t/a  
etwa 85 % aller Zusatzmittel sind Fließmittel

**Polycarboxylatether (PCE)**  
14.600.000 t/a  
etwa 60 % aller Fließmittel sind PCE

### Wozu dienen Fließmittel im Beton?

Zement benötigt zur **Aushärtung (Hydratation)** etwa 40 % seiner Masse an Wasser. Zusätzliches Wasser verbessert zwar die Verarbeitbarkeit des Frischbetons, hinterlässt jedoch während des Trocknens **Kapillarporen**. Diese verringern den Widerstand des Betons gegen das Eindringen von Wasser und schädigender Medien. Neben der **Dauerhaftigkeit des Betons** werden auch die Biegezug- und Druckfestigkeit negativ beeinflusst. Hochwirksame PCE-Fließmittel verbessern die Verarbeitbarkeit von Frischbeton bereits ab Zugabemengen von < 1 Masseprozent maßgeblich. Dadurch kann die Menge an **Wasser im Beton deutlich reduziert** werden.

### Alternative Bindemittel

In den vergangenen Jahrzehnten wurde der Anteil an Portlandzement u.a. durch **industrielle Anfallstoffe** wie Hüttensand aus der Metallverhüttung oder Flugasche aus Kohlekraftwerken sukzessive substituiert. Diese Anfallstoffe werden in der Zukunft aufgrund der **Transformation der Industrie** zu nachhaltigeren Prozessen und Energiequellen in immer geringeren Mengen zur Verfügung stehen. Als Folge dieser Verknappung werden die Preise steigen. Alternative zementfreie Bindemittel existieren u.a. in Form von **Alkalisch Aktivierten Bindern (AAB) und Geopolymeren**. Grundlage für deren Erhärtungsprozess ist die Reaktivität der Rohstoffe in Gegenwart eines alkalischen Aktivators wie Calciumhydroxid (Puzzolanität). Als Rohstoffe können industrielle Anfallstoffe wie Aschen aus der Hausmüllverbrennung oder natürliche Rohstoffe wie Tone verwendet werden. Letztere werden bei 550 - 850 °C zu Meta-Tonen gebrannt. Dabei werden durch das Austreiben chemisch gebundenen Wassers Fehlstellen in die Kristallstruktur eingebracht und damit die puzzolanische Reaktivität drastisch gesteigert (Calcinierung). Anders als bei der Herstellung von Portlandzement wird dabei **kein zusätzliches CO<sub>2</sub>** durch Entsäuerung des Brennguts frei. Enthalten die Rohstoffe < 10 Masseprozent Calcium entstehen Geopolymere. Diese bilden anstelle von nadeligen Phasen ein dreidimensional vernetztes und nicht-kristallines Netzwerk aus.

## Problematik

Wasser dient in Geopolymeren als Medium für Lösungsprozesse und wird bei der Aushärtung kaum chemisch gebunden.

Überschüssiges Wasser hinterlässt bei der Trocknung Kapillarporen, welche die Dauerhaftigkeit des Betons verringern.

Zur Reduktion des Wasseranteils im Frischbeton und zum Einstellen der Verarbeitbarkeit werden Fließmittel benötigt.

Herkömmliche Fließmittel sind im hoch alkalischen Milieu (pH ≥ 14) chemisch unbeständig, PCE werden zudem in großen Mengen an Tonmineralen adsorbiert.

Derzeit existieren keine wirksamen Fließmittel für die Herstellung besonders dauerhafter Geopolymer-Betone.

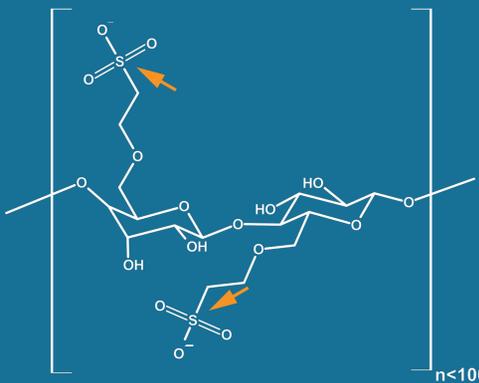
Grundlagenforschung an Geopolymeren ist aufgrund variierender chemischer und mineralogischer Zusammensetzung natürlicher Tone erschwert.

## Lösungsansatz

### Neuartige Fließmittel auf Basis von nachwachsender Stärke

Als **nachhaltige Alternative** zu petrochemisch gewonnenen PCE-Fließmitteln können Fließmittel aus nachwachsenden Rohstoffen dienen. Unter anderem kann Stärke aus Kartoffeln, Mais, Reis oder Weizen als **biopolymerer Rohstoff** verwendet werden. Da auch Abfallprodukte der Lebensmittelindustrie genutzt werden können, entsteht **kein Ressourcenkonflikt**.

Zur Herstellung **anionischer Stärkefließmittel (SFM)** werden die Molekülketten der Stärken zunächst mittels saurer Hydrolyse gekürzt. Das **Einstellen eines Molekulargewichts < 200.000 g/mol** ist notwendig, da sonst ein verdickender Effekt im Frischbeton bewirkt wird. Die gekürzten Stärken werden anschließend durch Einbringen von **Sulfonsäuregruppen (SO<sub>3</sub><sup>-</sup>)** in alkalischem Medium modifiziert.



SFM zeigen eine mit PCE-Fließmitteln vergleichbare **Verbesserung der Verarbeitbarkeit** in herkömmlichen Frischbetonen aus Portlandzement. Gleichzeitig kann eine **Reduktion der Luftporenbildung** beobachtet werden, welche eine **Verbesserung der Biegezug- und Druckfestigkeit** zur Folge hat. [1]

### Wirksamkeit in Geopolymeren

Die Synthese von SFM erfolgt in stark alkalischer Natronlauge, weshalb SFM auch in Gegenwart der alkalischen Aktivatoren für Geopolymere chemisch stabil sind (pH ≥ 14).

In ersten Versuchen konnte eine Verbesserung der Verarbeitbarkeit von Geopolymerleimen und -mörteln aus Metakaolin beobachtet werden. [2]

Die Wirkmechanismen der SFM ist jedoch bisher unbekannt und müssen durch Grundlagenforschung erforscht werden.

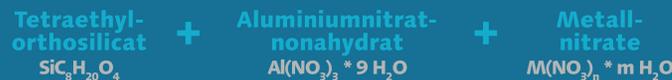
Anhand der Erkenntnisse können durch Optimierung ihrer chemischen Struktur potentiell hochwirksame Fließmittel aus nachwachsenden Rohstoffen für Geopolymere hergestellt werden.

Dies ermöglicht die Herstellung dauerhafter Bauteile aus Geopolymer-Beton und stellt damit eine Schlüsseltechnologie dar.

### Modellsystem zur Erforschung der Wirkmechanismen von SFM in Geopolymeren aus Metakaolin

Im DFG-Forschungsprojekt **GeoFlow** sollen die Wirkmechanismen von Stärkefließmitteln (SFM) in Geopolymeren aus Metakaolin erforscht werden. Dazu wurde ein Modellsystem entwickelt, dessen Grundlage die **Synthese Metakaolin-ähnlicher Alumosilicate** mit definierter chemischer Zusammensetzung ist. Dies ermöglicht gezielt den **Einfluss von Ionen wie Ca<sup>2+</sup> oder Fe<sup>2+</sup>** auf die Wirksamkeit der Stärkefließmittel zu untersuchen. Über die chemische Zusammensetzung des alkalischen Aktivators kann der für die Reaktion wichtige **Wasserglasmodul** und das **Silicium-Aluminium-Verhältnis** eingestellt werden. Durch Verwendung gekürzter Stärken unterschiedlicher Kettenlängen kann der **Einfluss des Molekulargewichts** auf die Wirksamkeit der SFM untersucht werden.

### synthetische Alumosilicate



### alkalischer Aktivator



### anionische Stärkefließmittel



### Kontakt

Bauhaus-Universität Weimar  
Fakultät Bauingenieurwesen  
F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde  
Professur Bauchemie und Polymere Werkstoffe

M. Sc. Adrian Tatal  
Coudraystraße 11A | 99423 Weimar  
Telefon: +49 (0) 3643 / 58 4770  
E-Mail: [adrian.tatal@uni-weimar.de](mailto:adrian.tatal@uni-weimar.de)  
[www.uni-weimar.de/chempover](http://www.uni-weimar.de/chempover)



### Förderung

Gefördert durch



Identifikation von Wirkmechanismen herkömmlicher Fließmittel sowie neuartiger Bio-basierter Fließmittel in Calcium-freien Geopolymer-Modellsystemen  
Projektnummer 471259463

[1] Partschefeld, S. (2022) *Synthese von Fließmitteln aus Stärke und Untersuchung der Wechselwirkung mit Portlandzement*, Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar <https://doi.org/10.25643/bauhaus-universitaet.4640>

[2] Tatal, A. et al. (2020) *Effects of bio-based plasticizers, made from starch, on the properties of fresh and hardened metakaolin-geopolymer mortar: Basic investigations* in: Clays and Clay Minerals 68, H. 5, S. 413-427 <https://doi.org/10.1007/s42860-020-00084-8>

[3] Hintergrundbild: Doura Refinery, Baghdad, Diyar Al Maamouri <https://unsplash.com/photos/i7myDM7EN-E> (24.05.2022)

