

## Kalt härtende Keramik durch nanotechnologische Gefügeoptimierung - Teilprojekt des FEhS-Instituts

Förderstelle: BMBF  
Nr.: 03X0067H  
Laufzeit: 01.06.2009 bis 30.11.2012  
Projektleiter: Dr.-Ing. A. Ehrenberg

### Kurzfassung

Das Gesamtziel des Projektes, das von verschiedenen Partnern mit jeweils eigenen Teilprojekten durchgeführt wurde, war insbesondere die Formulierung hoch widerstandsfähiger nanotechnologisch optimierter mineralischer Feinmörtel für den Oberflächenschutz von Normalbeton. Das Projekt ging dabei von den bei ultrahochfesten Betonen gesammelten Erkenntnissen über die Wirkung kornoptimierter Feinstpartikel auf die Gefügedichtigkeit, die Festigkeit und die Dauerhaftigkeit aus. Ein entscheidendes Element zum Erreichen dieses Ziels war die gezielte Synthese und Bereitstellung von Nanopartikeln sowie darauf abgestimmter neuartiger Fließmittel. Zusammen bildeten beide die notwendige Basis zur Optimierung der Packungsdichte des Betons bis in den Nanometerbereich. Die spezifischen Ziele des FEhS - Instituts waren fokussiert auf:

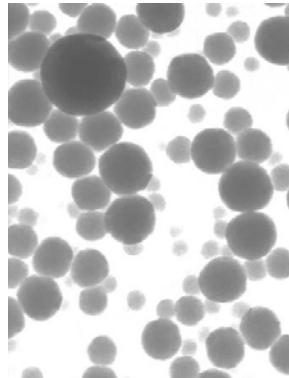
- die Steigerung der Frühfestigkeit konventioneller hüttensandhaltiger, insbesondere hüttensandreicher Zemente. Das Teilprojekt des FEhS-Instituts strebte die Übertragung der für die im Rahmen des Gesamtprojektes gemachten Erfahrungen bzw. der hierfür verwendeten Stoffe (Feinst-Hüttensand, Kieselsole, Flugaschen) und Techniken (Packungsdichteoptimierung) auf das Problem geringerer Frühfestigkeit an.
- Sicherstellung der Umweltverträglichkeit und Dauerhaftigkeit von Betonen mit neuartigen Bindemitteln auf Basis alkaliaktivierter Hüttensande.

Daneben stellte das FEhS-Institut den Partnern verschiedene, z. T. im Schmelzlabor modifizierte Hüttensande bereit und charakterisierte diese. Des Weiteren wurden betontechnische Dauerhaftigkeitsuntersuchungen an Prüfkörpern durchgeführt, die bei der Fertigung von Betonrohrdemonstratoren bei einem der Projektpartner hergestellt wurden.

Ein wichtiger Ansatz bei der Herstellung von "Kalter Keramik" war die Packungsdichteoptimierung. Fraglich war, ob diese Optimierung auch von Bedeutung ist für herkömmliche Bindemittelsysteme mit deutlich höheren w/z-Werten. Die Ergebnisse zeigen, dass das im Projekt verwendete Packungsdichtemodell nicht geeignet erscheint, um für die gezielte Frühfestigkeitssteigerung hüttensandhaltiger Zemente angewendet zu werden. Diese Art der Packungsdichteberechnung erscheint demnach eher dazu geeignet, eine Verarbeitbarkeitsoptimierung vorzunehmen, als eine Festigkeitsoptimierung.

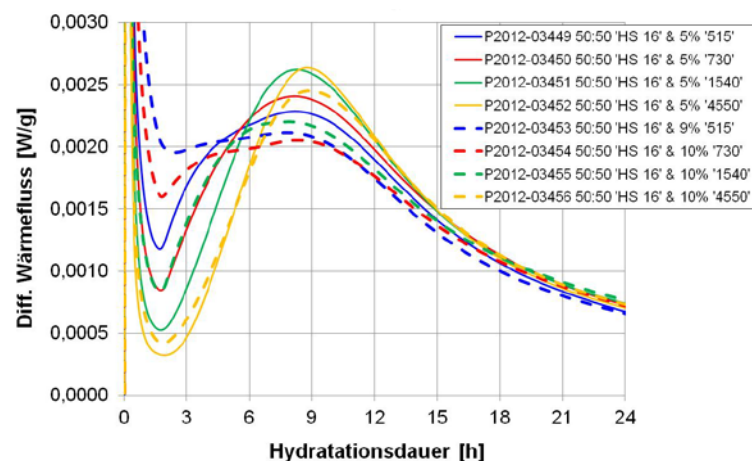
Eine Möglichkeit, nanoskalige Partikel hinsichtlich ihres Potentials zur Steigerung der Frühfestigkeit zu untersuchen, war die Verwendung von Kieselsole. Kieselsole sind kolloide Dispersionen aus SiO<sub>2</sub>-Partikeln in Wasser. Sie sind kugelförmig, untereinander unvernetzt und an der Oberfläche hydroxyliert. Mit, je nach Typ, durchschnittlichen Partikelgrößen von 5-80 nm liegen sie im kolloidalen Bereich und werden mit Feststoffkonzentrationen zwischen 15 M.-% und 50 M.-% hergestellt. Vom Projektpartner CWK wurden 4 handelsübliche Kieselsole (Handelsname "Köstrosol®") bereitgestellt. Sie unterschieden sich hinsichtlich der mittleren Partikelgröße und des Feststoffgehalts der Suspensionen, daher auch hinsichtlich Dichte, Viskosität und pH-Wert. Sie wurden Hochofenzementen mit 50 und 75 M.-% Hüttensand zu 5 und 10 M.-% (zementbezogen) unter Anrechnung des Wasseranteils auf den w/z-Wert zugegeben. Ihre Verwendung erschwerte signifikant die Verarbeitbarkeit der Zementmörtel nach DIN EN 196-1. Das Wasser der Kieselsole

wirkt offenbar nicht wie das "freie" Anmachwasser", so dass in den Untersuchungen praxisfremd hohe Fließmittelkonzentrationen aufgewendet werden mussten.



Beispiel eines Köstrosol® im TEM (CWK)

Die Hydratationswärmemessungen zeigen jedoch eine deutliche Wirkung der Kieselsole, die auch bei den Mörteln mit hüttensandreichen Zementen teilweise reaktivitätssteigernd wirken. Kieselsole können demnach bei Hochofenzementen bei konstantem w/z-Wert eine Frühfestigkeitssteigerung ermöglichen, da sie als Keimbildner zu wirken scheinen. Hierzu werden weitere Arbeiten erfolgen.



Hydratationswärmeentwicklung bei Verwendung unterschiedlicher Köstrosole® HS/CEM I 52,5 R-HS/NA = 50/50; mit Admix-Zelle

Im Hinblick auf die Umweltverträglichkeit der Betone, die mit wasserglasaktiviertem Hüttensand hergestellt waren, wurden einige der Prüfkörper nach Erreichen eines Alters von 56 Tagen in Anlehnung an die "Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser" des DIBt in Eluatversuchen charakterisiert. Die Analysen ergaben im Vergleich zum Referenzbeton im Eluat keinen Anstieg relevanter Parameter; dies ist als sehr positiv im Hinblick auf mögliche künftige industrielle Anwendungen zu werten. Eine höhere Alkalität, bedingt durch die Verwendung von K-Wasserglas als Anreger, war nicht erkennbar, da die über die Anreger eingebrachten Alkalien fest in die spezifischen Hydratationsphasen eingebracht werden. Dies ist eine Voraussetzung dafür, dass die Vorteile der alkalisch aktivierten Bindemittel auf Hüttensandbasis, z.B. ihr hoher chemischer Widerstand, zum Tragen kommen können.

Hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Betone mit alkaliaktiviertem Hüttensand wurden Festigkeitsentwicklung, Carbonatisierungstiefe, Frostwiderstand (Würfelfest) und Frost-Tausalz-Widerstand (CDF-Test) überprüft. Die dauerhaftigkeitsrelevanten Eigenschaften erscheinen insgesamt optimierungsbedürftig. Hinsichtlich der Carbonatisierung gebührt verstärkter Augenmerk der oberflächennahen Betonrandzone. Problematisch erwies sich bei der Prüfkörperherstellung die

z. T. schwierige Verarbeitbarkeit der erdfeuchten Betone, woraus Probekörper resultierten, die insbesondere gegenüber dem Frost-(Tausalz)-Angriff empfindlicher reagieren mussten als beispielsweise der Referenzbeton.