

## Kurzbericht

### **Verwendung von Eisenhüttenschlacken zur Steigerung des Hochtemperaturwiderstands zementgebundener Bauprodukte**

*Förderkennzeichen: AiF 20318 N*  
*Bearbeitungszeitraum: 01.10.2018 bis 31.03.2021*  
*Projektpartner: FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V.*  
*Bergische Universität Wuppertal,*  
*Lehrstuhl für Werkstoffe im Bauwesen*

#### **Einführung**

Das FEhS-Institut bearbeitete gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Werkstoffe im Bauwesen der Bergischen Universität Wuppertal das AiF-Forschungsvorhaben Nr. 20318 N "Verwendung von Eisenhüttenschlacken zur Steigerung des Hochtemperaturwiderstands zementgebundener Bauprodukte" zwischen Oktober 2018 und März 2021. Hintergrund des Projekts sind vielfältige negative Erfahrungen in verschiedenen Industrien hinsichtlich der Hochtemperaturbeständigkeit von Betonbauwerken. Beispielhaft seien die Stahlindustrie und die Zementindustrie genannt (Bild 1). Ziel des Vorhabens war es die zyklische Hochtemperaturstabilität von Betonen mit Hochofenzementen und mit industriellen Gesteinskörnungen aus der Stahl- und Eisenindustrie zu untersuchen. Ferner sollten erweiterte Erkenntnisse zur Brandbemessung mit geschlossenen Temperaturkurven gewonnen werden.



*Bild 1: Bei 800 °C geschädigter Abluftkanal einer Kokerei*

#### **Untersuchungsergebnisse**

Zunächst wurden in einem Zementwerk an einem Auflager des Drehrohrofens reale Temperaturbeanspruchungen (Maximaltemperatur, Anzahl und Länge der Temperaturzyklen) ermittelt. Mit diesen Werten wurden unter Berücksichtigung stofflicher Parameter (z.B. Hüttensandgehalt des Zements sowie Art der Gesteinskörnung) statistische Versuchspläne aufgestellt, um die zyklische Hochtemperaturbeständigkeit vergleichend bewerten zu können. Es wurden nur Betone untersucht, die einen für Beton im Alter von mehr als 6 Monaten üblichen lufttrockenen Feuchtegehalt aufwiesen. Um diesen Prozess labortechnisch abzubilden, wurde ein i.d.R. 42-tägiges Nachbehandlungsregime entwickelt, bei dem im ersten Teil eine ausreichend hohe Zementhydratation und im



Bild 2: Prüfung der Heißdruckfestigkeit eines Betons

zweiten Teil eine gezielte Trocknung und Homogenisierung der Feuchteverteilung im Probekörper eingestellt wurde. Anschließend wurden die Restfestigkeiten der Betone nach der Abkühlung entsprechend der Vorgaben der statistischen Versuchspläne auf Temperaturniveaus von 250 °C bis 700 °C sowie mit bis zu 20 Temperaturzyklen geprüft. Zur Bestimmung der Heißdruckfestigkeit wurden die Druckfestigkeiten auf denselben Temperaturniveaus im heißen Zustand geprüft (Bild 2). Nach der in den Versuchsplänen definierten Temperaturbeanspruchung und den teils zusätzlichen Nachlagerungszeiten im Normklima von bis zu 90 Tagen nach der Temperaturbeanspruchung wurden je Versuch die Restfestigkeiten geprüft. Alle Ergebnisse wurden in Relation zu den entsprechenden Größen

vor der Temperaturbelastung gesetzt. Insgesamt basieren die Erkenntnisse auf der statistischen Auswertung von ca. 1800 Datensätzen!

Mit den Untersuchungen konnte statistisch abgesichert gezeigt werden, dass Betone mit hüttensandhaltigen Zementen höhere Restfestigkeiten aufweisen als vergleichbare Betone mit Portlandzement. Beispielhaft ist das für eine Temperaturbeanspruchung von 500 °C in Bild 3 gezeigt. Der Effekt verstärkt sich mit der Anzahl an Temperaturzyklen sowie zunehmendem Hüttensandgehalt des Zementes. Dieser positive Einfluss hüttensandhaltiger Zemente wurde für die Heißdruckfestigkeit der Betone nicht in gesichertem Maße festgestellt. Für Hochofenzementbetone mit temperaturbeständigen Gesteinskörnungen sind die Heißdruckfestigkeiten gegenüber vergleichbaren Portlandzementbetonen um ca. 10 % bis 20 % geringer. Bei Kupfer- und Stahlwerkschlacken wurden höhere Heißdruckfestigkeiten gemessen. Die Ursachen für die Unterschiede der gemessenen Heißdruckfestigkeiten konnten nicht abschließend geklärt werden. Inwieweit material oder prüfbedingte Einflüsse eine Rolle spielen, ist in weiterführenden Untersuchungen zu prüfen.

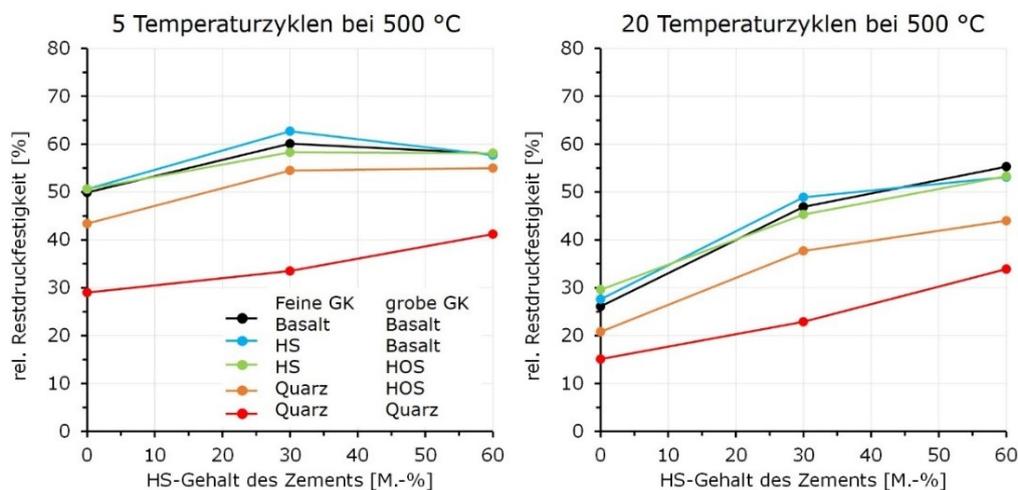


Bild 3: Relative Restdruckfestigkeiten verschiedener Betone in Abhängigkeit vom Hüttensandgehalt des Zements und der Art der Gesteinskörnung nach 5 bzw. 20 Temperaturzyklen bei 500 °C

Neben der Zementart haben natürlich auch die Gesteinskörnungen einen signifikanten Einfluss auf die Temperaturbeständigkeit des Betons. Betone mit Hüttensand als feiner und Hochofenstückschlacke als grober Gesteinskörnung haben mindestens eine ähnlich hohe Temperaturbeständigkeit wie Beton mit Basalt, der aufgrund seiner hohen Temperaturbeständigkeit als Referenzmaterial dient (vgl. Bild 3). Ferner lässt sich die Restdruckfestigkeit insbesondere bei häufigen Temperaturzyklen verbessern, wenn die feine quarzische Gesteinskörnung durch Hüttensand ausgetauscht wird.

Außer Hüttensand und Hochofenstückschlacke wurden auch Stahlwerkschlacken und Kupferschlacken als weitere industrielle Gesteinskörnungen in die Untersuchungen einbezogen, auch wenn deren Verwendung als Gesteinskörnung für Konstruktionsbeton nach DIN 1045-2 derzeit aufgrund von Anforderungen an den Schwermetallgehalt der industriellen Gesteinskörnungen in Deutschland nicht gestattet ist. Während Betone mit Kupferschlacken eine ähnlich hohe Temperaturstabilität aufwiesen wie Beton mit Basalt oder Hüttensand und Hochofenstückschlacke, waren die Ergebnisse für die Betone mit Stahlwerkschlacken nicht eindeutig. Einige Betone zeigten ein Restfestigkeitsniveau in der Größenordnung dessen von Beton mit quarzitischer Gesteinskörnung, das Gefüge eines anderen Betons war hingegen bereits nach einem Temperaturzyklus zerstört. Weiterführende Untersuchungen zur Klärung der Ursachen, z.B. zur Temperaturdehnung von Stahlwerkschlacken, sind notwendig.

Zusätzlich zu den Restfestigkeiten wurde die Wärmeleitfähigkeit der Betone als weitere Materialeigenschaft bestimmt. Die Untersuchungen belegen, wie beispielhaft in Bild 4 dargestellt, dass Betone mit hüttensandhaltigen Zementen im Vergleich zu denen mit Portlandzement geringere Wärmeleitfähigkeiten aufweisen. Wie nicht anders zu erwarten, haben Gesteinskörnungen allein durch ihren größeren Anteil im Beton einen deutlich größeren Einfluss, wobei feine Gesteinskörnungen die Wärmeleitfähigkeit stärker beeinflussen als grobe. Mit Hüttensand als feiner industrieller Gesteinskörnung kann, wie in Bild 4 dargestellt, die Wärmeleitfähigkeit von Beton unabhängig von der verwendeten Zementart signifikant gesenkt werden.

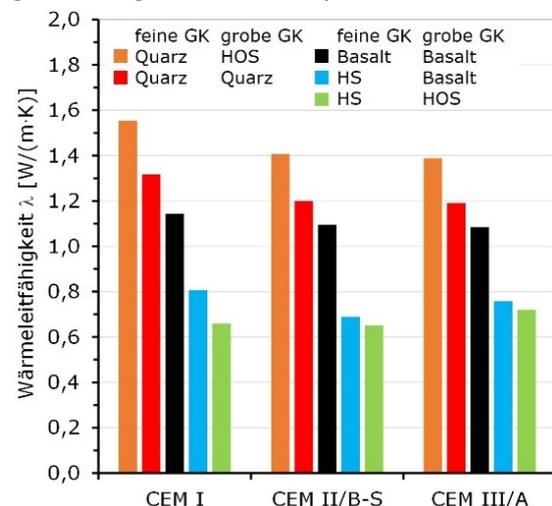


Bild 4: Wärmeleitfähigkeiten der Betone zum Prüfbeginn

Exemplarisch wurden mit einer einfachen Bauteilsimulation die zu erwartenden Maximaltemperaturen im Bauteilquerschnitt einer fiktiven 30 cm dicken Modellwand sowohl während eines Brandfalls als auch nach der erfolgten Abkühlung modelliert. Als Folge der geringeren Wärmeleitfähigkeit der Betone mit den industriellen Gesteinskörnungen breitet sich die Temperatur bei einer Temperaturbeanspruchung, z.B. im Brandfall, langsamer aus und führt entsprechend zu geringeren thermischen Schädigungen in der Modellwand. So sind die zu erwartenden Maximaltemperaturen für diese Betone im Vergleich zu Beton mit Basalt um ca. 50 °C und im Vergleich zu Beton mit quarzischen Gesteinskörnungen um ca. 300 °C niedriger.

Mit den ermittelten Maximaltemperaturen und den jeweiligen Heiß- bzw. Restdruckfestigkeiten wurden die "Heißtragfähigkeit" bzw. die "Resttragfähigkeit" der Betone in der Modellwand berechnet (Bild 5). Die Heiß- und Resttragfähigkeiten der Betone in der Modellwand, die mit Basalt bzw. mit Hüttensand und Hochofenstückschlacke hergestellt wurden, sind mit Werten von jeweils 70 % bis 80 % vergleichbar. Nur wenn Beton mit quarzitischer Gesteinskörnung verwendet wurde, sinken, wie nicht anders zu erwarten, die Heißtragfähigkeit der Modellwand auf unter 50 % und die Resttragfähigkeit abhängig von der verwendeten Zementart auf Werte von 25 % bzw. 45 %. Generell ist festzustellen, dass sich die Resttragfähigkeit der Betone in der Modellwand erhöht, wenn der Beton mit Hochofenzement anstelle von Portlandzement hergestellt wurde.

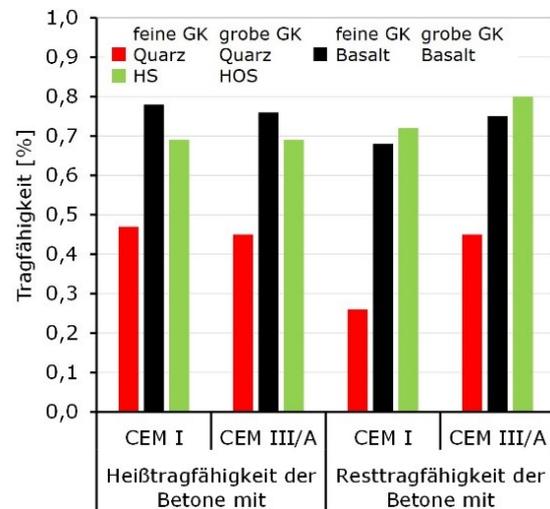


Bild 5: Tragfähigkeit der Betone im Bauteil (Wand mit 30 cm dicke)

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass industrielle Gesteinskörnungen eine hohe Temperaturstabilität haben. Sie bieten damit Vorteile für Beton für zyklisch hochtemperaturbeanspruchte Bauteile. Auch die Verwendung von Hochofenzement wirkt sich vorteilhaft auf die Hochtemperaturbeständigkeit von Beton aus.

### **Dank**

Das IGF-Vorhaben Nr. 20318 N der Forschungsvereinigung FEhS - Institut für Baustoff-Forschung e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.