

# Erforschung ressourcen- und energieeffizienter Ziegel (TOGRA)

## Teilprojekt: Recyclat-Ziegel

### Entwicklung von Leichtzuschlag-Granalien aus ausgewählten Bauschutt-Fractionen für die Produktion von Leichthochloch-Ziegeln mit verbesserten technischen Eigenschaften

**Projekt:** Erforschung ressourcen- und energieeffizienter Ziegel (TOGRA)

**Laufzeit:** 01.10.2013 bis 30.06.2017

**Gesamtprojektkosten:** 229.300,00 €

**Davon Förderung:** 229.300,00 €

Der Ziegel ist der älteste Werkstoff der Welt. Sogar an den Wänden der Pharaonengräber in Ägypten kann die Ziegelherstellung in Bilderschrift nachgelesen werden. Und auch heute zählen Hochlochziegel zu den beliebtesten Werkstoffen für den Häuser- und Wohnungsbau. Der Ziegel vereint als Zehnkämpfer eine Vielzahl herausragender Werkstoffeigenschaften, wie beispielsweise sehr gute Wärmedämm- und Schallschutzeigenschaften bis hin zu hohen Druckfestigkeiten, einem angenehmen Raumklima und besonders langer Lebensdauer. Damit empfiehlt er sich als idealer Baustoff für wohngesundes Bauen. Zu den heutigen Anforderungen an einen nachhaltigen Baustoff gehört neben den eigentlichen Werkstoffeigenschaften unter anderem auch deren effiziente und ressourcenschonende Produktion. Für die Ziegelindustrie besteht daher die Chance, feingemahlene und homogene Recycling-Fractionen aus der Bauschutt-Aufbereitung zur Herstellung neuartiger Mauerziegel mit höchstmöglicher Wärmedämmung einzusetzen.

Im Forschungsprojekt TOGRA wurde ein Beitrag zur nachhaltigen Herstellung hochwärmedämmender Hochlochziegel aus recyceltem Bauschutt geleistet.

## Ziele

Im Forschungsvorhaben bestand das Ziel darin, besondere Leichtfraktionen aus dem Baustoff-Recycling zu beproben. Daraus sollten geeignete Leichtzuschlag-Granalien und -Mischungen für die Produktion neuartiger, höchstwärmedämmender Mauerziegel mit verbesserten technischen Eigenschaften hergestellt werden.

## Projektverlauf

Zu Beginn des Projekts erfolgte die Beprobung aufbereiteter Bauschutt-Fractionen. Diese bestehen größtenteils aus silikatischen Bindestoffen, Ziegeln, zerkleinerten Bestandteilen von Wärmedämmverbundsystemen und Quarzsand. Beim Quarzsand handelt es sich um einen schweren, dichten Zuschlagstoff, der infolge seines regelmäßigen Kristallgitters über eine relativ hohe Wärmeleitfähigkeit verfügt und daher die Wärmedämmeigenschaften von Hochlochziegeln nicht verbessern kann.

Um das Ziel, die Herstellung hochwärmedämmender Ziegel mit Anteilen aus dem Bauschutt-Recycling zu erreichen, wur-

## Projektleiter:

Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Krcmar

Fakultät Werkstofftechnik

Technische Hochschule Nürnberg

Georg Simon Ohm

den Versuche mit granulierten Mischungen aus pulverförmigem Bauschutt und Tonmehl durchgeführt. Als Granulierungsmethode wurde eine Aufbau-Agglomeration mittels Pelletiersteller (gewinkelte, rotierende Scheibe oder Trommel zur Herstellung von Pellets) gewählt. Als Bindephasen fungierten Wasserglas und Methylcellulose. Bei den Granulierungsversuchen mit Recycling-Material wurde zunächst Ziegelmehl in unterschiedlichen Mengen zwischen 20 und 40 Ma.-% zugegeben, später erfolgte dessen Substitution durch gemahlene Bauschutt. Die so hergestellten Granalien wurden sowohl ungebrannt ausgehärtet, als auch mit ansteigenden Temperaturen gesintert (siehe Abbildung 1). Als Recycling-Zuschlag wurde die kleinste Fraktion der Bauschutt-Aufbereitungsanlage der



Abb. 1: Das Sintern der Granulate bei unterschiedlichen Temperaturen

Firma Franken Baustoff Recycling GmbH & Co. KG in Wendelstein ausgewählt. Dieses Material wurde gemahlen und gesiebt und die Korngrößenfraktion kleiner 250 µm für die Tests verwendet. Im weiteren Projektverlauf wurden die Versuche auf die Herstellung granulierter Geopolymere aus Flugasche als Leichtzuschlag für Wärmedämmziegel ausgeweitet. Es folgten Untersuchungen, die sich mit der Reaktivität der verwendeten Einsatzstoffe, der optimalen Rohstoffzusammensetzung und mit unterschiedlichen Porosierungsmethoden zur Verbesserung der Wärmedämmung beschäftigten. Für die Werkstoffcharakterisierung wurden unter anderem die Wärmeleitfähigkeit, Druckfestigkeit, Porenanalyse mittels Quecksilberporosimetrie, Schüttdichte, absolute Dichte, Röntgendiffraktometrie und ICP-OES für die Analyse der Spurenelemente eingesetzt.

Basierend auf den bisherigen Ergebnissen wurde ein Geopolymer-Leichtzuschlag hergestellt, bestehend aus Flugasche, gemahlendem Bauschutt-Recycling-Material, Ziegelstaub und Ziegelton. Dieser Geopolymer-Leichtzuschlag wurde anschließend zerkleinert und zusammen mit weiterem Ziegelton zu Laborziegeln verarbeitet. Dabei zeigte sich, dass ein Flugasche-Anteil von 50 % genügt, um als Bindephase im Geopolymer zu fungieren. Die Zusätze in Form von Recycling-Material und Ziegelstaub sind dabei beliebig austauschbar.

## Ergebnisse

Der final entwickelte Geopolymer-Leichtzuschlag besteht aus insgesamt 48 Ma.-% Recycling-Material aus der Bauschutt-Aufbereitung und weist eine relativ geringe Dichte und Wärmeleitfähigkeit auf. Dieser Effekt konnte durch Aufschäumung einer Mischung aus feingemahlenem Bauschutt, Tonpulver sowie Flugasche mit anschließender Aushärtung als aufgeschäumtes Geopolymer erreicht werden. Nach dem Zerkleinern des ausgehärteten Geopolymerschaums wurde dieser als Leichtzuschlag erfolgreich in neue Mauerziegel-Keramik integriert. Dabei wurde keine Verschlechterung der werkstofftechnischen Ziegelparameter beziehungsweise der Haltbarkeit der hergestellten Ziegel festgestellt. Die gewünschte Absenkung der Wärmeleitfähigkeit konnte erreicht werden. Je nach Rezeptur wurde dabei gleichzeitig die Ziegeldruckfestigkeit abgesenkt. Bei zwei Rezepturen konnte sogar eine Steigerung der Druckfestigkeit um 72 % beziehungsweise 61 % erzielt werden. Die durchgeführte Umweltanalyse bestätigte, dass keine erhöhten CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgrund weiterer Transportwege der Baustoff-Fraktionen in Kauf genommen werden müssen. Die Verwertung des Bauschutts in der Ziegelindustrie führt sogar zu einer vergleichweisen Abnahme von Luftverunreinigungen. Des Weiteren kann der neu entwickelte Geopolymer-Leichtzuschlag mit der in jedem Ziegelwerk vorhandenen Abwärme des Tunnelofens und ohne zusätzlichen Energieaufwand hergestellt werden und wirkt sich somit nicht negativ auf die Energiebilanz eines Ziegelwerks aus. Dabei wurden entstehende Kosten für die Zerkleinerung und Mahlung des Bauschutts und des Geopolymer-Leichtzuschlags nicht berücksichtigt. Der feingemahlene Bauschutt kann hierbei nach Belieben zugegeben werden. Es wird ebenso davon ausgegangen, dass nahezu alle Bauschutt-Recycling-Materialien als Einsatzstoffe verwendet werden können, obwohl sich die Fraktionen in ihrer Art und Zusammensetzung und insbesondere Stückgrößen gravierend unterscheiden können. Einschränkungen in der Verwertung beziehen sich dabei auf salzhaltige Baustoff-Fraktionen, wie beispielsweise Gipsreste. Diese Stoffe wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht untersucht und sollten daher gesondert betrachtet werden. Die so über die Geopolymer-Route hergestellten Recycling-Ziegel können am Ende ihrer Nutzungsphase problemlos als Bauschutt der Verwertungsschiene zugeführt, zerkleinert und pulverfein in der Ziegelindustrie wiederverwertet werden. Dadurch entsteht ein in sich geschlossener „Cradle-to-Cradle“-Verwertungskreislauf mit gleichzeitiger Ressourcenschonung und Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen.

---

Projektleiter

Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Krcmar

Telefon: 0911/5880-1173

E-Mail: wolfgang.krcmar@th-nuernberg.de

Fakultät Werkstofftechnik

Technische Hochschule Nürnberg

Georg Simon Ohm

[www.th-nuernberg.de](http://www.th-nuernberg.de)

## Fördergeber



Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft, Energie und Technologie

## Projektpartner aus der Wissenschaft



## Projektpartner aus der Industrie

Bayerische Ziegelindustrie

## Lieferanten aus der Industrie

Franken-Recycling GmbH & Co. KG.