



Blähgranulate aus Mauerwerkbruch

Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller

1 Einleitung

Ausgangspunkt für diese Entwicklung war ein Verbundforschungsprojekt*), in dem Möglichkeiten zur gemeinsamen Verwertung von Porenbetonabfällen und Mischbrechsanden untersucht wurden [1,2-5]. Ziel der Entwicklung waren Rezepturen und Technologien zur Herstellung von Leichtgranulaten auf der Basis der genannten Bauabfälle, die als Leichtzuschlag für Beton oder in konstruktiven Leichtschüttungen eingesetzt werden können. Die Auswahl der Ausgangsstoffe erfolgte hauptsächlich aus der Sicht des Recyclings – für diese Materialien bestehen Defizite hinsichtlich der Verwertungsquote und des Verwertungs-niveaus.

2 Entwicklung unterschiedlicher technologischer Varianten

In den Untersuchungen kamen Porenbetonabfälle und Mischbrechsand zum Einsatz, die von Recyclingunternehmen bezogen wurden. Der Brechsand entsprach in seiner Zusammensetzung in etwa einer rezyklierten Gesteinskörnung des Typs 4 der DIN 4226-100. Für diesen Liefertyp bestehen geringe Anforderungen. Von den Hauptbestandteilen Ziegel, Beton und Kalksandstein, die in der Summe 80 % der Körnung ausmachen müssen, dominierte augenscheinlich der Ziegel. Die wichtigsten Eigenschaften der Ausgangsmaterialien sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Material	Porenbeton	Mischbrechsand
Habitus	kantig gebrochen, grobporig	kantig gebrochen
angelieferte Korngrößen	Bruchstücke, Sand 0/1 mm	Sand 0/4 mm
verarbeitete Korngrößen	2/12 mm, 0/2 mm, 0/0,1 mm	0/0,1 mm
Kornrohddichte	0,64 g/cm ³ (Fraktion 4/8 mm)	1,85 g/cm ³
Wasseraufnahme	99,3 M.-% (Fraktion 4/8 mm)	12,1 M.-%
Kornfestigkeit	gering	hoch
Schmelzbereich	1200–1280 °C	1190–1300 °C

Tabelle 1: Charakteristische Eigenschaften der Ausgangsstoffe

Zu Beginn der Untersuchungen wurden drei Varianten für die Granulaterstellung konzipiert und getestet:

– **Variante 1:** Die Zielstellung dieser Variante bestand darin, Porenbeton in einer solchen Körnung einzusetzen, dass die in diesem Material vorhandenen Poren in der Größe von 0,1–1 mm weitestgehend erhalten bleiben. Durch eine auf die Oberfläche der Körner aufgetragene Schicht aus Mineralmehl sollte darüber hinaus die Festigkeit der Körner verbessert und zugleich die Wasseraufnahme verringert werden.

Als Coatingmaterial wurde auf Korngrößen < 100 µm aufgemahlener Mischbrechsand verwendet. Das Aufbringen auf den Porenbeton der Körnung 2–12 mm erfolgte auf einem Granulierteller unter Wasserzugabe. Anschließend wurde dieses Zwischenprodukt in einem Drehrohrföhrfen gebrannt.

– **Variante 2:** Diese technologische Variante hatte zum Ziel, die Sandfraktion < 2 mm, die bei der Zerkleinerung des Porenbetons zwangsläufig anfällt und die bei einer Verarbeitung nach Variante 1 nicht eingesetzt werden kann, zu verwerten. Dazu war eine zweistufige Granulation erforderlich: In der ersten Stufe wurde der Porenbetonsand 0/2 mm unter Zugabe von Bindemittel und Wasser bis zu einer maximalen

Korngröße von 8 mm granuliert. Anschließend wurden die Granulate analog zur Variante 1 gecoatet. Danach erfolgte die thermische Behandlung im Drehföhrfen.

– **Variante 3:** Die Zielstellung dieser Variante bestand darin, ein Granulat mit höherer Porosität und damit geringerer Schüttdichte herzustellen als mit den Granulaten der Varianten 1 und 2, für die keine Schüttdichten unter 0,7–0,8 g/cm³ erreicht werden konnten. Dazu wurden Porenbetonmehl und Mehl aus Mauerwerkbruch gemischt und granuliert. Die Zugabe eines Bindemittels war nicht erforderlich. Die Blähmittelzugabe richtete sich nach der Rohddichte, welche die Granulate nach der thermischen Behandlung aufweisen sollten.

Die Eigenschaften der gebrannten Granulate sind im Bild 1 zusammengefasst.

Wenn als Qualitätskriterium eine möglichst geringe Rohddichte und eine geringe Wasseraufnahme angestrebt wird, weist die Variante 3 die überzeugendsten Ergebnisse auf. Die Granulate der Variante 1 erreichen ähnlich geringe Dichten. Die Wasseraufnahme ist aber unbefriedigend, weil die Coatingschicht an den Ecken und Kanten der Porenbetonkörner unterbrochen ist. Die Granulate der Variante 2 waren in ihrer Qualität nicht zufriedenstellend.

*) Verbundpartner: Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung der Bauhausuniversität Weimar und Verfahrenstechnisches Institut Saalfeld GmbH

Variante 1

Kornrohddichte: 1100 kg/m³
 Wasseraufnahme: 20 M.-%
 Kornfestigkeit ca. 30 % der Blähtonfestigkeit



Variante 2

Kornrohddichte: ca. 1600 kg/m³
 Wasseraufnahme: ca. 9,5 M.-%
 Kornfestigkeit etwas geringer als Blähton gleicher Dichte



Variante 3

Kornrohddichte zwischen 530 und 1600 kg/m³
 Wasseraufnahme zwischen 2,3 und 10 M.-%
 Kornfestigkeit wie Blähton gleicher Dichte

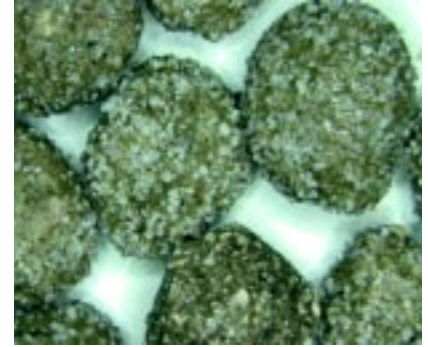


Bild 1: Gegenüberstellung der Eigenschaften der nach verschiedenen Technologien hergestellten Leichtgranulate

3 Optimierung der technologischen Variante 3

Den Versuchsablauf der Optimierungsversuche zeigt Bild 2. Die Ausgangsmaterialien Mischbrechsand und Porenbetonabfall wurden zunächst getrennt auf Korngrößen < 100 mm aufgemahlen und dann gemischt. Der Anteil des Mauerwerkmehl im Gemisch kann bis zu 100 % betragen, während der Anteil an Porenbetonmehl 50 % nicht übersteigen sollte. An die Aufmahlung schlossen sich die Mischung der Komponenten unter Zugabe des Blähmittels – geeignet waren z. B. SiC-Rückstände – und die Granulierung an. In dem nachfolgenden thermischen Prozess wurde das Granulat aufgebläht und verfestigt.

Der in den Untersuchungen verwendete Mischbrechsand von einer stationären Recyclinganlage wies erhebliche Schwankungsbreiten hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung auf. Um trotzdem ein Produkt mit ausgeglichenen und definierten Eigenschaften zu erzeugen, kommen der Mahlung und dem thermischen Prozess besondere Bedeutung zu. Durch die Mahlung werden zwei wichtige, technologische Effekte erreicht:

- Die Homogenität wird verbessert. Die Granaliengröße, die eine für die Gesamtzusammensetzung repräsentative Anzahl der unterschiedlichen, im Gemisch vorliegenden Baustoffpartikel enthält, nimmt mit sinkender Partikelgröße ab. Nach Abschätzungen auf der Basis von [6] ist bei 0,1 mm-Partikeln eine Granaliengröße von etwa 5 mm erforderlich, während bei 1 mm-Parti-

- keln erst 50 mm große Granalien in ihrer mittleren Zusammensetzung der Grundgesamtheit entsprechen.
- Die Agglomerierfähigkeit wird soweit verbessert, dass stabile Grüngranalien ohne Zugabe von Bindemitteln auf dem Granulierteller erzeugt werden können.

Der thermische Prozess und die Art, der Gehalt und die Feinheit des Blähmittels sind ausschlaggebend für die Umwandlung der Grüngranulate in Blähgranulate mit definierten Eigenschaften. Bei der thermischen Behandlung ist eine ausreichende Gasbildung durch das Blähmittel in einem Temperaturbereich, in dem bereits genügende Mengen an Schmelzphasen vorhanden sind, notwendige Voraussetzung für die Erzeugung poröser Granulate. Gleichzeitig ist das Kollabieren der Granalien aufgrund zu hoher Schmelzphasenanteile zu vermeiden. Bild 3 verdeutlicht diese Zusammenhänge:

Bild 2: Technologischer Ablauf der Blähgranulatherstellung und Untersuchungen zur Verfahrens- und Produktbewertung

- Das linke Diagramm weist aus, dass der einzuhaltende Temperaturbereich zwischen 1260 und 1290 °C liegt. Bei zu geringen Brenntemperaturen (< 1260 °C) findet keine vollständige Zersetzung des SiC statt und die Menge an Schmelzphase, die sich bildet, ist nicht ausreichend. Bei zu hohen Temperaturen schrumpfen die Granalien. Die Rohdichte steigt an.
- In Bezug auf die Menge und die Feinheit des Porosierungsmittels gibt es ebenfalls ein Optimum. Bei geringen Zusatzmengen oder im Vergleich zum Matrixmaterial grö-

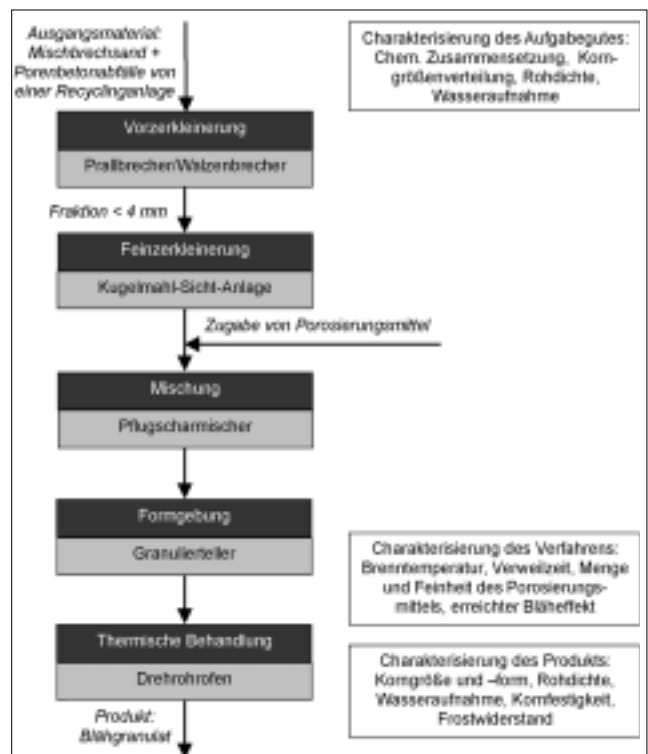


Bild 3: Einfluss der Brenntemperatur und der Zugabemenge an SiC auf die Kornrohichte und die Wasseraufnahme der erzeugten Granulate

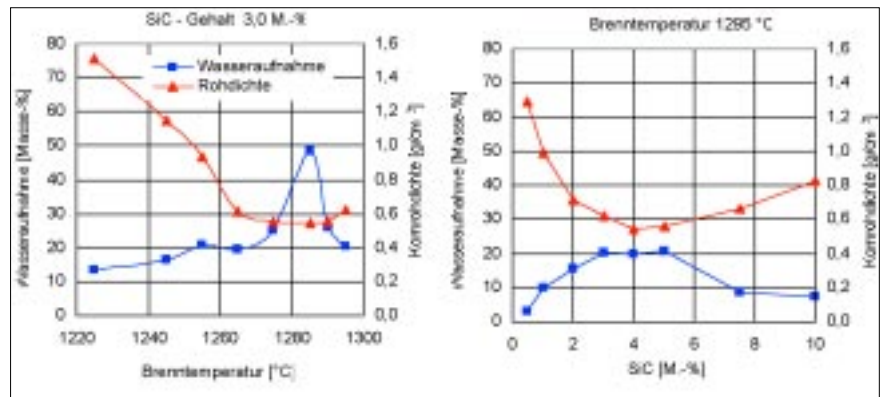
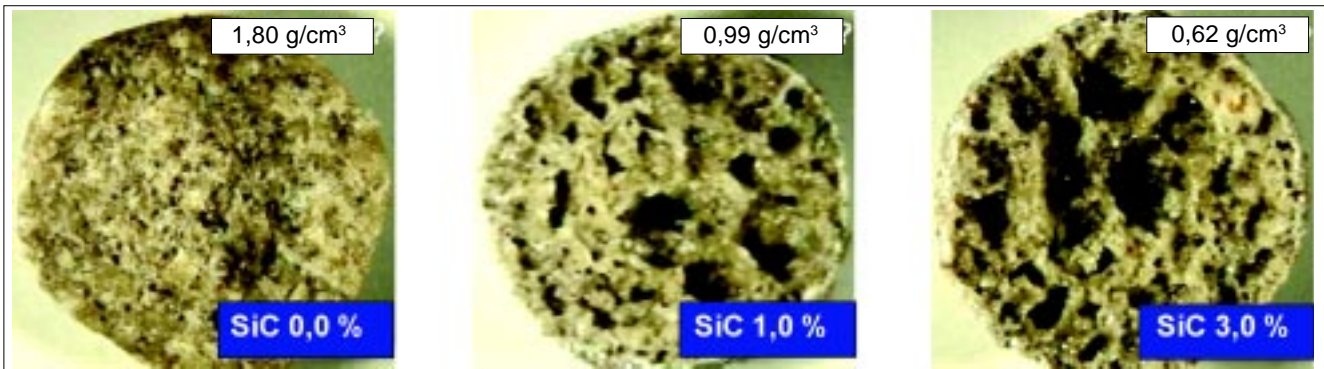


Bild 4: Ausbildung der Poren in Granulaten auf der Basis von Gemischen aus Mauerwerkabbruch und Porenbeton



berer Korngröße des Porosierungsmittels werden dichte Granalien mit hoher Rohdichte erzeugt. Bei höheren Zusatzmengen und feinerer Aufbereitung nimmt die Porenbildung zu, woraus eine geringere Rohdichte resultiert. Bei einer weiteren Erhöhung der Zugabemenge kollabieren die Granalien. Die Rohdichte steigt wieder an.

Im Bild 4 ist die Herausbildung polyedrischer Poren in Granalien mit unterschiedlichen Blähmitteldosierungen dargestellt. Leichte Granalien mit einer Rohdichte von 0,62 g/cm³ entstehen, wenn die Blähmittelzugabe 3 M-% beträgt. Dichte Granalien entstehen, wenn ganz auf die Blähmittelzugabe verzichtet wird. Durch die Dosie-

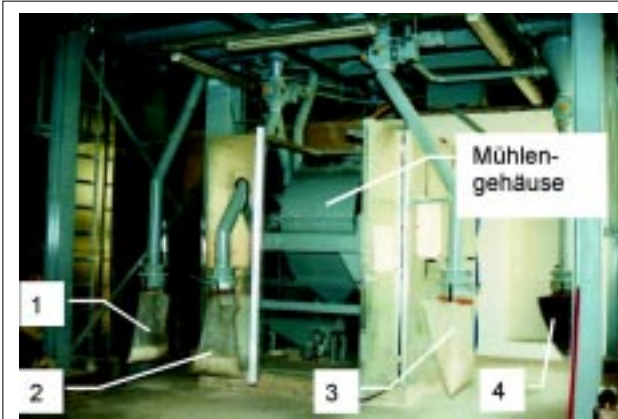
rung des Porosierungsmittels können die Granulate also an die gestellten Aufgaben angepasst werden.

4 Kleintechnische Herstellung und Erprobung der Leichtgranulate

Um die bautechnischen Eigenschaften der Granulate nach Variante 1 und 3 ausführlicher ermitteln zu können, wurden Granulatchargen von je 300 Liter hergestellt. Für die Variante 3, über die hier berichtet werden soll, entsprach der technologische Ablauf dem im Bild 2 dargestellten Schema mit der Erweiterung, dass die Granulate nach der Formgebung klassiert und das Überkorn > 8 mm in den Mischer zurückgeführt wurde. Die Mah-

lung der Ausgangsstoffe Porenbeton und Mischbrechsand erfolgte getrennt in der Kugel-Mahl-Sicht-Anlage im Aufbereitungstechnikum der Bauhaus-Universität (Bild 5). Anschließend erfolgte die Einwaage der Komponenten entsprechend der Rezeptur 49,5 % Porenbetonmehl + 49,5 % Mehl aus Mischbrechsand + 1,0 % SiC.

Die Mischung der Komponenten erfolgte im Pflugscharmischer (Bild 6) zu Chargen von je ca. 40 kg. Die Granulation der Mischungen unter Zugabe von Wasser wurde auf dem Granulierteller im Technikum des VTI Saalfeld durchgeführt (Bild 7). Die Korngröße der Grüngranulate sollte in Bereich 4 – 8 mm liegen, was durch die Herstellung von zwei Teilfraktionen 4 – 5,6 mm und 5,6 – 8 mm



Kugelmühle:

Super Orion 100/70 S.O. (Ø 820 mm, eff. Länge 700 mm; Drehzahl 32 U/min)

Feinstsichter:

Turboflex 100 ATP (Sichterraddrehzahl 1.150 – 11.500 U/min)

Anlage:

Trennkorngröße 4 – 100 µm; Durchsatz bis 50 kg/h

Mühlenausgangsmaterial (1), Grobgut (2), Feingut (3), Staub (4)

Bild 5: Ansicht der Kugel-Mahl-Sicht-Anlage im Aufbereitungstechnikum der Bauhaus-Universität Weimar



Gesamtinhalt der Mischtrommel 50 l
Drehzahl 26 – 156 U/min
Messerkopf zuschaltbar

Bild 6: Pflugscharmischer mit Messerkopf im Aufbereitungstechnikum der Bauhaus-Universität Weimar



Tellerdurchmesser 1600 mm
Drehzahl 15 – 30 U/min
Neigung verstellbar
Durchsatz 50 bis 400 kg/h

Bild 7: Granulierteller im Technikum des Verfahrenstechnischen Instituts Saalfeld GmbH



Siebdeckdurchmesser 600 mm
3 Siebdecks

Bild 8: Vibrationsrundsiebmaschine im Technikum des Verfahrenstechnischen Instituts Saalfeld GmbH



Durchsatz 2 bis 10 kg/h
beidseitig offenes rotierendes Einsatzrohr aus Keramik, $d_i = 115$ mm
Drehzahl max. 15 U/min
beheizte Länge 700 mm,
3 variable Heizzonen mit 18 kW, Maximaltemperatur 1500 °C
Aufheizgeschwindigkeit 1 bzw. 7 K/min

Bild 9: Drehofen mit Dosiervorrichtung im Technikum des Verfahrenstechnischen Instituts Saalfeld GmbH

bei jeweils angepasster Neigung des Tellers gut reproduzierbar realisiert werden konnte. Das erzeugte Grüngranulat wurde auf der Vibrationsrundsiebmaschine (Bild 8) kontinuierlich in die Fraktionen < 4 mm, 4 - 5,6 mm, 5,6 - 8 mm und > 8 mm getrennt. Die Fraktion < 4 mm wurde dem Granulierprozess direkt wieder zugeführt, während die Fraktion > 8 mm erst nach einer Zerkleinerung im Mischer erneut granuliert wurde. Der Anteil der rückgeführten Fraktionen < 4 mm und > 8 mm betrug im Mittel 20 %.

Die Nutzfraktionen 4 - 5,6 mm und 5,6 - 8 mm des Grüngranulats wurden in Vorbereitung auf den nachfolgenden thermischen Prozess getrocknet. Für den Brand der Granulate wurde ein elektrisch beheizter Drehrohrföfen eingesetzt (Bild 9), dessen Temperatur am Ofeneinlauf und in der Ofenmitte auf 1225–1235 °C, am Auslauf auf 1235–1250 °C eingestellt wurde. Das entspricht einer mittleren Temperatur an der Innenoberfläche des Keramikrohres von etwa 1160–1200 °C. Es wurde ein mittlerer Durchsatz von 1,7 kg/h erreicht.

Während des Brandes nahm infolge des Blähvorgangs die Korngröße Granalien zu bei gleichzeitiger Abnahme der Roh- und Schüttdichte. Die Schüttdichte der aus der Ausgangskörnung 4–5,6 mm hergestellten Granalien bewegte sich zwischen 0,4 und 0,8 g/cm³, wobei der Anteil in der Schüttdichteklasse 0,5–0,6 g/cm³ über 50 % betrug (Bild 10).

Die Eigenschaften der hergestellten Leichtgranulate wurden an der MFPA Weimar nach DIN EN 1097, DIN 4226-2 und DIN 52104-N untersucht. Sie sind in der Tabelle 2 den Eigenschaften eines Blättons gegenübergestellt. Diese Ergebnisse belegen, dass die hier vorgestellten mineralischen Leichtzuschläge aus Mauerwerkbruch und Porenbetonabfällen in ihren Eigenschaften den auf dem Markt eingeführten Produkten wie Blätton mindestens ebenbürtig sind. Besonders im Hinblick auf die Wasseraufnahme haben die hier beschriebenen Granulate Vorteile gegenüber dem Blätton.

Den Abschluss der Untersuchungen bildete die Betonwarenherstellung unter Verwendung der Recycling-Granulate in einem Betonwerk (Bild 11 und 12), wobei der dort verwendete Blätton ohne weitere Rezepturabstimmung volumetrisch ersetzt wurde.

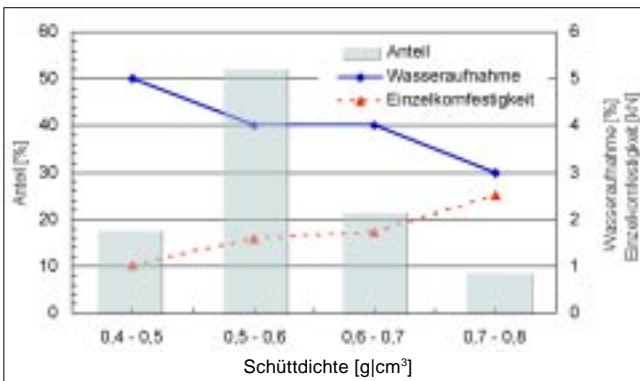


Bild 10: Eigenschaften der Blähgranulate aus der Ausgangskörnung 4–5,6 mm: Anteile in verschiedenen Schüttdichteklassen sowie Einzelkornfestigkeit und Wasseraufnahme nach 10 min in Abhängigkeit von der Schüttdichteklasse

Tabelle 2: Parameter der Leichtgranulate aus Mauerwerkbruch im Vergleich zu Blähton

	Leichtgranulat	Blähton
Brenntemperatur [°C]	1250*	1150**
Kornrohddichte [kg/m³]	780	700
Schüttdichte [kg/m³]	540	330
Wasseraufnahme [M.-%]	14	27
Frostbeständigkeit [M.-%]	0,03	n.b.
Kornfestigkeit [kN]	12,7	n.b.
Raubeständigkeit [M.-%]	0,33	n.b.

* Technikumsversuch mit indirekt elektrisch beheiztem Drehrohrföfen
 ** technische Herstellung im direkt befeuerten Drehföfen

Die Betone aus den kleintechnisch hergestellten Leichtgranulaten (Tabelle 3) weisen sehr gute Eigenschaften auf. Da die unzureichende Rezepturabstimmung höhere Trockenrohddichten zur Folge hatte, war die Wärmeleitfähigkeit des Versuchsbetons um ca. 30 % höher als die des

Referenzbetons. Bei der Druckfestigkeit und der Frostbeständigkeit wies der Versuchsbeton dagegen eindeutig bessere Werte auf als der Referenzbeton.

5 Schlussfolgerungen

Mit der patentierten Leichtgranulatherstellung [1] aus der Sandfraktion von Mauerwerkbruch wird nachgewiesen, dass sich dieses Material als Rohstoff für ein hochwertiges Produkt eignet. Nach der Aufmahlung kann es zu Granalien geformt werden, die anschließend gebläht und thermisch verfestigt werden. Im Unterschied zu der traditionellen Leichtzuschlagherstellung aus Blähton enthält der Sekundärrohstoff »Mauerwerkbruch« kein chemisch gebundenes Wasser, was aus energetischer Sicht von Vorteil ist. Hinsichtlich der Wasseraufnahme und der Rohddichte sind die hier vorgestellten

Granulate den auf dem Markt eingeführten Produkten mindestens ebenbürtig. Darüber hinaus ist ihre Rohddichte durch die Zugabe von Blähmitteln gezielt einstellbar.

Eine erste Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt, dass die entwickelte Technologie im Vergleich zur traditionellen Blähtonherstellung nicht ungünstiger abschneidet. In weiteren Untersuchungen müssten die Auswirkungen unterschiedlicher Stoffzusammensetzungen des Ausgangsmaterials auf die Qualität der erzeugten Granulate ermittelt werden, um so die zulässige Schwankungsbreite der Rohstoffqualität festlegen zu können.

Literatur

- 1 Reinhold, M.; Müller, A.; Schwieger, B.; Knopf, U.: Patent „Poröse Granulate aus Bauabfällen zur Verwendung als Leichtzuschlag“, gemeinsam mit dem VTI Saalfeld.Inanspruchnahmeerklärung, 29. 01. 2003.
- 2 Reinhold, M.; Müller, A.: Leichtzuschläge aus Feinstoffen des Mauerwerksabbruchs. Vortrag zur Recycling'01, Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung, 12. Oktober, 2001.
- 3 Mueller, A.; Reinhold, M.: Lightweight Aggregate Produced From Fine Fractions Of Construction and Demolition Waste. R'02 World Congress on Integrated Resources Management, Vortrag am 14. Februar, Genf, 2002.
- 4 Reinhold, M.: The measurement of important granulometric characteristics of aggregates on the basis of photoptical image analysis systems. Challenges of concrete construction, University of Dundee, 5 - 11 September 2002.
- 5 Reinhold, M.: Leichtgranulate aus Mauerwerkbruch. Vortrag Tagung „10 Jahre UVR-FIA-GmbH“, Aufbereitung und Recycling, Freiberg, 13. u. 14. November 2002.
- 6 Stieß, M.: Mechanische Verfahrenstechnik 1. 2. Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1995.

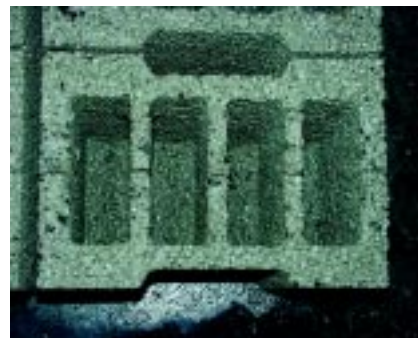
Zuschlag	Druckfestigkeit β_{w200} [N/mm²]	Trockenrohddichte ρ_{tr} [kg/m³]	Frostbeständigkeit (CIF-Test)			Wärmeleitfähigkeit nach DIN 52612 $\lambda_{10,tr}$ [W/mK]
			Abwitterung (56 FTW) [g/m²]	rel. elast. E-Modul [%]	Abnahme bestanden	
Granulat	11,93	1120	169	-2,6	ja	0,35
Blähton	6,18	871	285	-67,9	nein	0,24

Tabelle 3: Festbetoneigenschaften der Versuchsbetone

Bild 11: Steinfertiger und Steinlage nach einem Arbeitszyklus



Bild 12: Betonleichtmauersteine nach der Fertigung



Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. habil. A. Müller
 Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung
 Bauhaus-Universität Weimar
 Coudraystraße 7
 99423 Weimar
 E-Mail: anette-m.mueller@bauing.uni-weimar.de
 Tel.: 0 36 43 / 58 46 06