
Leichtzuschläge aus Feinstoffen des Mauerwerksabbruchs

1. Einleitung

Beim Recycling von Bauabfällen, speziell beim Recycling von Wandbaustoffen, fallen erhebliche Mengen unterschiedlicher Brechsande an. Bei der Aufbereitung von Ziegelabbruch durch einstufiges Brechen entstehen beispielsweise, abhängig vom Brechertyp, 13 - 32 M.-% Ziegelsand 0/4 mm /1/. Während für die Grobfraktionen der einzelnen Materialien meist Verwertungswege existieren, stellen die unterschiedlichen Sandfraktionen im Recycling ein Problem dar und werden daher oft deponiert. Bestimmte Bauschuttfraktionen, wie z.B. Porenbeton, müssen aufgrund ihrer besonderen Stoffeigenschaften aussortiert und gesondert verwertet werden. Aus diesem Grund werden neue Verwertungswege für die in Zukunft anwachsenden Anfallmengen an Porenbeton und die bereits heute im Überschuss vorhandenen Ressourcen an Recycling-sanden gesucht.

In dem Forschungsprojekt wird die gemeinsame Verwertung von Porenbeton- und Ziegelabfällen untersucht, wobei die bautechnisch günstigen Eigenschaften der einzelnen Ausgangsstoffe genutzt und miteinander kombiniert werden sollen. Das Ziel ist dabei die Entwicklung von Leichtzuschlägen bzw. konstruktiver Leichtschüttungen mit günstigen Eigenschaften. Variable bautechnische Eigenschaften (Rohdichte, Wasseraufnahme, Korngröße) und damit gute Adaption an individuelle Problemstellungen sollen hierbei eine hohe Wertschöpfung sicherstellen.

2. Rahmenbedingungen

Von den jährlich in der Bundesrepublik Deutschland anfallenden ca. 85 Mio. t Bauschutt entstehen etwa 30 Mio. t beim Abbruch von Gebäuden /2/. Die Menge an Porenbeton – Bauabfällen beträgt etwa 50.000 t bzw. 100.000 m³ /3/. Dem gegenüber stehen Produktionszahlen von ca. 2,23 Mio. t oder 4,45 Mio. m³ jährlich (1997) /4/. D.h., die im Gebäudeabbruch entstehenden Porenbetonabfälle entsprechen etwa 2,25 % der hergestellten Mengen. Die verbleibenden 97,75 % werden derzeit im Gebäudebestand kumuliert und fallen zeitversetzt potentiell als Bauschutt an. Seit 1956 wurden in Deutschland ca. 55 Mio. t bzw. 110 Mio. m³ Porenbetonbauteile hergestellt, die sich überwiegend noch im Bestand befinden /4/. Unter Berücksichtigung dieser Fakten und einer durchschnittlichen Gebäudenutzungsdauer von 30 bis 100 Jahren ist in der Zukunft folglich mit einem deutlichen Anstieg des Porenbetonanteils im Bauschutt aufkommen zu rechnen. Die Porenbetonindustrie hat sich selbst zur kostenlosen Rücknahme und Verwertung von Porenbeton-Bauabfällen verpflichtet und ein entsprechendes Erfassungsnetz installiert. Derzeit sind die aus dem Gebäuderückbau stammenden Porenbetonmengen jedoch noch so gering, dass die räumlich meist weit verbreitet anfallenden Mengen auf lokalen Deponien abgelagert werden /5/. Produktionsinterne Abfälle werden gebrochen, feingemahlen und als Rohstoffe in die laufende Porenbetonproduktion zurückgeführt. Bei derartiger Aufbereitung anfallende Grobfraktionen können mit hoher Wertschöpfung zu Katzenstreu oder Granulat zur Flüssigkeits- bzw. Ölbindung verarbeitet werden.

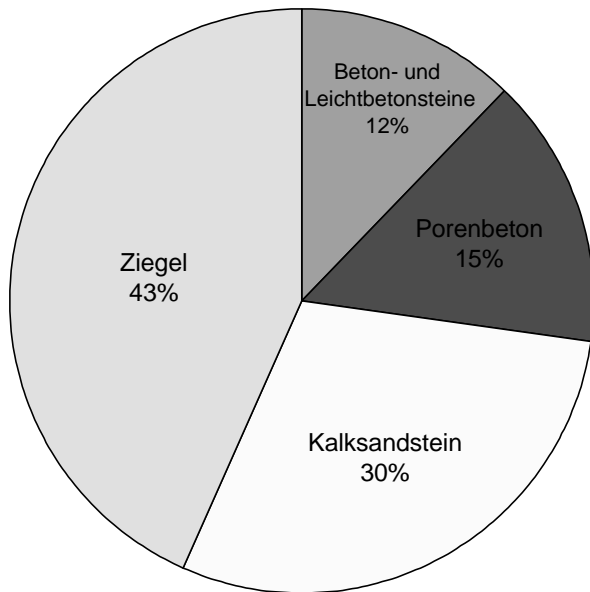


Abbildung 1: Anteile der Steinarten am Gesamtaufkommen an Mauersteinen /6/

Die gesamte Produktion an Mauersteinen betrug 1997 in der BRD 29,2 Mio. m³. Die Grafik in Abbildung 1 weist dem Porenbeton im Durchschnitt der vergangenen Jahre einen Marktanteil von 15 % zu, welcher sich zu gegebener Zeit im Bauschutt aufkommen wiederfinden wird /6/.

Der Anteil von Mauerwerksabbruch am Gesamtbauabfallaufkommen aus Gebäudeabbruch beträgt je nach Gebäudeart 50 – 65 M. - % /7/. Das entspricht unter Berücksichtigung des Gesamtaufkommens /2/ etwa 15 – 19,5 Mio. t pro Jahr. Entsprechend der historischen Entwicklung der Wandbaustoffe liegt der Anteil an Ziegelmaterialien deutlich über dem in Abbildung 1 angegebenen. Für die Grobfraktion dieser Bauschutt Komponente sind bereits verschiedene Verwertungswege bekannt. Diese kann zu Substrat für die Dachbe-

grünung, Belag für Spiel- und Tennisplätze sowie für Laufbahnen verarbeitet werden. Weiterhin gibt es Bestrebungen die puzzolanischen Eigenschaften einiger fein aufgemahlener Ziegelmehle in Mörteln oder Betonen zu nutzen. Die überwiegenden Mengen des Ziegelabbruchs erfahren jedoch ein deutliches Downcycling im untergeordneten Wegebau oder werden deponiert /4/. Besonders kritisch ist somit die Situation bei Brechsanden aus Ziegel- bzw. Mauerwerksabbruch. Die jährliche Produktion von Mauerziegeln betrug 1997 ca. 16,4 Mio. t bzw. 12,6 Mio. m³. Im Bestand befinden sich derzeit etwa 420 Mio. t bzw. 323 Mio. m³ Mauerziegel.

3. Experimentelle Untersuchungen

3.1 Charakterisierung der Ausgangsstoffe

Tabelle 1: Charakteristische Eigenschaften der Ausgangsstoffe

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

Bei den Ausgangsmaterialien handelt es sich um Recyclingmaterialien, deren Eigenschaften schwanken können. Für die Untersuchungen wurden sortenrein rückgebaute Materialien und Produktionsabfälle aus der Baustoffindustrie verwendet. Die an den Ausgangsmaterialien ermittelten bautechnischen Eigenschaften sind in der Tabelle 1 zusammengefasst. Die Ergebnisse der chemischen Analyse enthält Tabelle 2.

Tabelle 2: Werte der chemischen Analyse

[M.-%]	GV	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl
Porenbeton	15,1	43,6	3,6	1,7	30,1	0,8	1,9	0,5	0,0	0,022
Ziegel	2,6	56,1	15,7	5,8	5,0	2,8	3,5	0,9	0,6	0,017

Bei der Untersuchung von Porenbeton aus 24 deutschen Werken /5/ wurden mittlere Werte für auslaugbares Sulfat von durchschnittlich 1,05 M.-% ermittelt. Diese Stoffkomponente rührt daher, dass dem Porenbeton zur Verbesserung der Grünstandfestigkeit während der Produktion oftmals Anhydrit zugegeben wird /8/. Dieser hohe SO₃ – Gehalt erschwert jedoch das stoffliche Recycling von Porenbeton /9/.

3.2 Problemlösung in drei Varianten, Charakterisierung der hergestellten Granulate

Die prinzipielle Vorgehensweise bei der Problemlösung zeigt Abbildung 2. Die Aufbereitung der Bauabfälle Porenbeton und Ziegelbruch erfolgt in separaten Arbeitsgängen. Anschließend werden die zwei Hauptkomponenten gemischt und in Verbindung mit Wasser zu Grüngranulaten verarbeitet. Nach der Trocknung werden diese im Drehrohr-Ofen gebrannt. In den Versuchen wurden die Anteile der Hauptkomponenten jeweils zwischen 33 und 67 M.-% variiert.

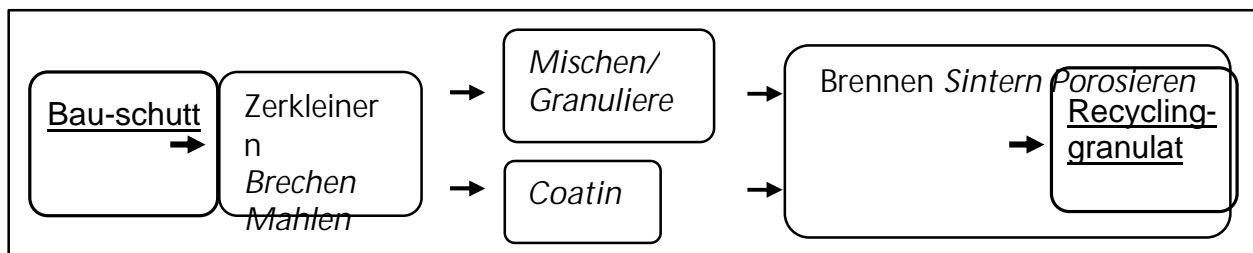


Abbildung 2: Schema der Granulatherstellung

Ziel der Untersuchungen war es, neue Baustoffgranulate herzustellen, und dabei die positiven Eigenschaften der recycelten Ausgangsstoffe zu erhalten. Konsequenterweise wurde dieses Bestreben in Variante 1 umgesetzt: Poröse Porenbetonkerne der Fraktion 4/8 mm aus zerkleinertem Porenbetonabbruch wurden mit einer stabilisierenden und gegen Wasserzutritt dichtenden Ziegelmehlschicht umhüllt und gebrannt. Die Kornrohichte derartig hergestellter Granulate beträgt ca. 1,1 g/cm³, die Wasseraufnahme erreicht Werte von etwa 20 M.-%. Abbildung 3 zeigt die fotografische Darstellung der Granulatvarianten.

Unter Berücksichtigung des hohen Sandanteils, welcher bei der Zerkleinerung von Porenbeton anfällt, wurde Variante 2 entwickelt. Durch eine Aufbaugranulierung /10/ wurde dabei unter Verwendung eines Granuliertellers, aus der Porenbetonsandfraktion 0/2 mm ein Granulat der Fraktion 4/8 mm hergestellt. Die so erzeugten Porenbetonagglomerate wurden anschließend mit Ziegelmehl umhüllt und gebrannt.

Die für die Aufbaugranulierung ungünstige Korngrößenverteilung und Porosität des Porenbetonsandes erforderte den Einsatz unterschiedlicher Bindemittel und hoher Wassergehalte und führte so zu einem aufwendigen Herstellungsprozess. Die Granulate der Variante 2 erreichten Kornrohdichten von $1,6 \text{ g/cm}^3$ und Wasseraufnahmen von $\leq 10 \text{ M.-%}$. Die Kornfestigkeiten waren gegenüber Variante 1 deutlich erhöht.

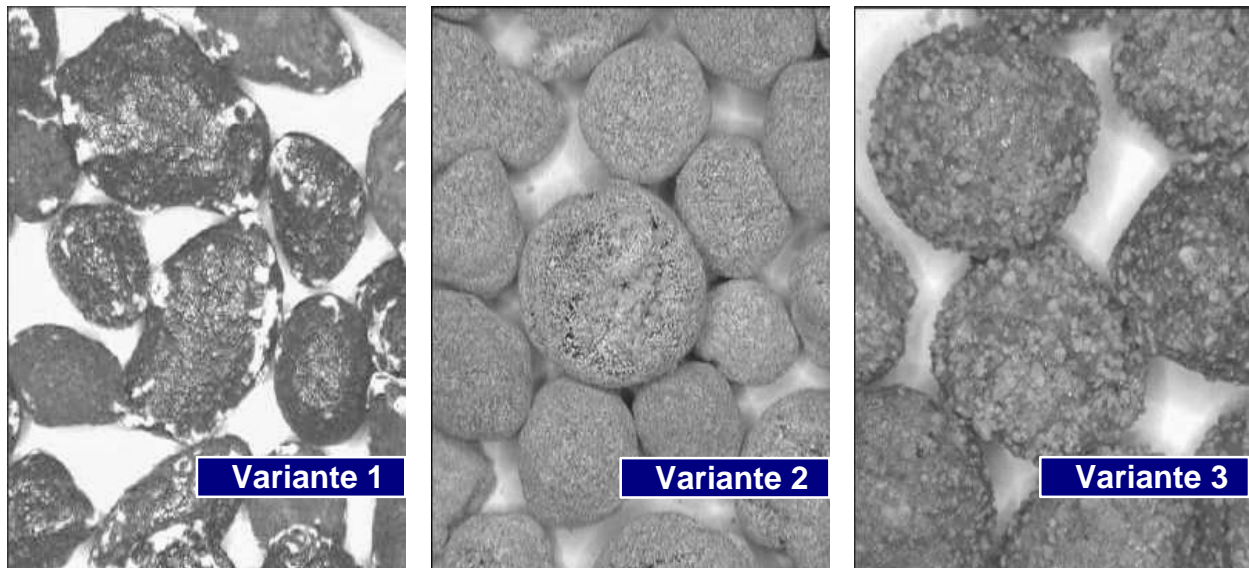
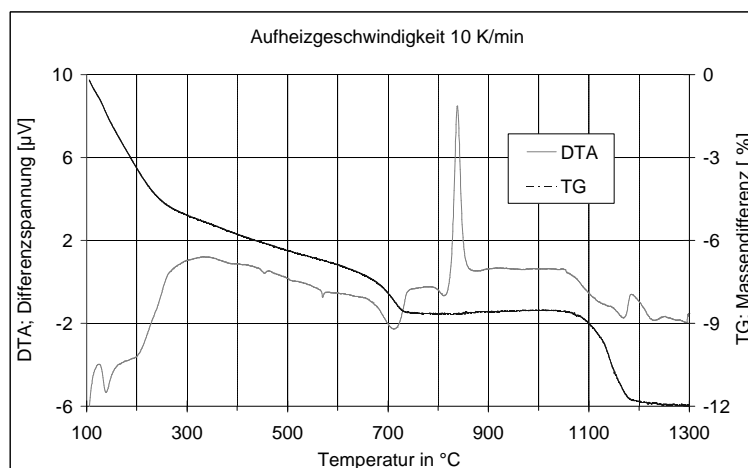


Abbildung 3: Granulatvarianten

Das mit Variante 3 untersuchte Verfahren entspricht im Wesentlichen dem der Blähton- bzw. Blähglasherstellung. Die Ausgangsstoffe Porenbeton und Ziegelbruch werden vor der Granulierung aufgemahlen und innig gemischt. Dieser Verfahrensschritt führt zur deutlichen Verbesserung der Granulierfähigkeit und zu gut steuerbaren Granulateigenschaften. Diese können über verschiedene Parameter in einem weiten Bereich variiert werden. Die Kornrohdichten bautechnisch relevanter Granulate nehmen Werte zwischen $0,5$ und $1,8 \text{ g/cm}^3$ an. Die Wasseraufnahmen liegen zwischen $2,3$ und 10 M.-% .



Während der Versuche wurde deutlich, dass die Verfestigung grober Porenbetonfraktionen bzw. das Aufbringen stabilisierender Hüllen in Verbindung mit dem Brand in einem Drehrohr-Ofen gemäß den Varianten 1 und 2 durch ein grundsätzliches Problem erschwert werden. Das

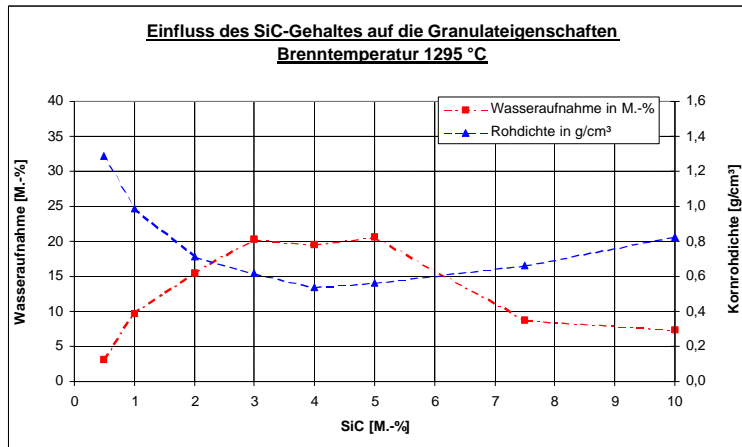
Abbildung 4: DTA und TG Kurve des Porenbetons

Aufheizen des Porenbetons auf Temperaturen bis zu 1200 °C führt zur thermischen Zersetzung des Calcites und der CSH - Phasen und somit zum Schrumpfen und zu Festigkeitsverlusten im Porenbetonkorn. Die thermogravimetrische Untersuchung des Porenbetons (Abbildung 4) zeigt deutliche Massenverluste im Bereich bis 712 °C und bei 1171 °C .

Durch die Feinmahlung der Rohstoffe in Variante 3 werden die Porenbetonkörner gut im Schmelzphasen bildenden Ziegelmehl dispergiert. Aufgrund der guten Granulierfähigkeit des Materials und der erzielten Granulateigenschaften wird Variante 3 derzeit favorisiert.

3.3 Herstellung von Granulaten durch Aufbaugranulierung aus feingemahlene Rohstoffen und thermische Behandlung im Drehrohrofen

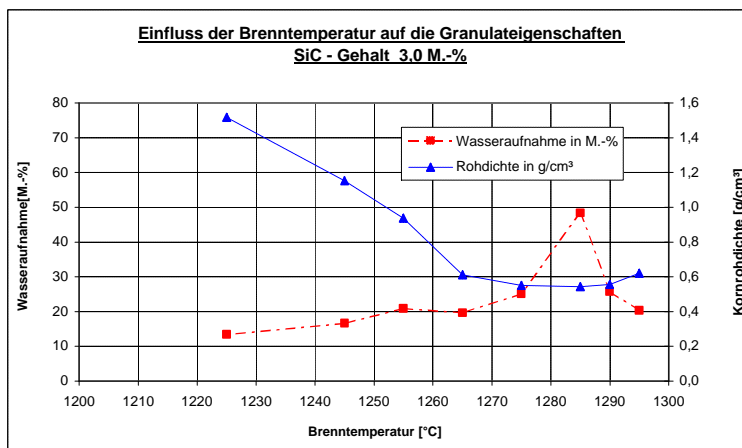
In Abhängigkeit vom Einsatzgebiet der herzustellenden Granulate können durch Änderung der Gemengerezeptur und der Parameter des Drehrohrofens die Granulateigenschaften variiert werden.



Für die Herstellung leichter Baustoffgranulate kommt dem Einsatz eines geeigneten Porosierungsmittels hier besondere Bedeutung zu. Zur Porosierung von Granulaten des hier beschriebenen Stoffsystems erscheint Siliciumcarbid (SiC) geeignet, da es in einem weiten

Abbildung 5:
Einfluss des SiC - Gehalts

Temperaturintervall (800 – 1150 °C) Gas freisetzt [11]. Durch die Variation der Porosierungsmittelkonzentration und -körngröße sowie der Brenntemperatur und der Verweildauer der Granalien in der heißen Zone des Ofens kann die Porengröße und die Porenstruktur der gebrannten Granulate beeinflusst werden. Für die untersuchten Rezepturen wurde die maximale Blähwirkung bei einem SiC – Gehalt von 4 M.-% erzielt (Abbildung 5). Während geringere SiC – Gehalte das vorhandene Dehnungspotential nicht ausschöpfen, führen zu hohe Konzentrationen zum Kollabieren der Granalien. Die Werte der Wasseraufnahme entwickeln sich umgekehrt proportional zu denen der Rohdichte.



Die Graphen in Abbildung 6 zeigen für den Einfluss der Temperatur ein ähnliches Bild. Zu geringe Brenntemperaturen verhindern die vollständige Zersetzung des SiC und ein hinreichendes Aufschmelzen des Gemenges, wogegen Ofentemperaturen über 1285 °C zum Schrumpfen der Granalien führen.

Abbildung 6:
Einfluss der Temperatur

Die Abbildung 7 zeigt die Bruchflächen von Granulaten 4/8 mm, deren Hauptbestandteile Porenbetonsand und Ziegelmehl im Massenverhältnis 66,6 % / 33,3 % gemischt und mit 0,0 % ; 1,0 % und 3,0 % SiC versetzt wurden. Die Brenntemperatur im Drehrohrofen betrug 1295 °C.

Mit steigendem SiC – Gehalt erhöht sich der Anteil polyedrisch ausgebildeter Porenstrukturen, die sowohl fein als verteilte separate Poren als auch als größere

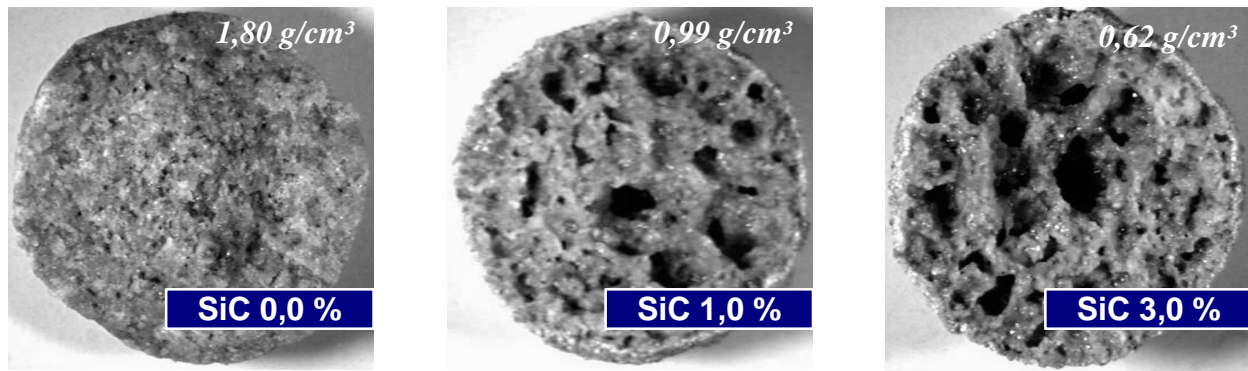


Abbildung 7: Ausbildung der polyedrischen Porenstruktur

zusammenhängende Hohlräume ausgebildet sein können. Die genauen Zusammenhänge der Porenbildung hinsichtlich der Porengrößenverteilung und der Porenkeimbildung bedürfen allerdings weiterer Untersuchungen.

4. Zusammenfassung

In dem beschriebenen Forschungsprojekt werden drei Varianten zur Herstellung hochwertiger Leichtzuschläge aus recycelten Porenbeton- und Ziegelabbruchmaterialien untersucht. Die einzelnen Varianten zielen darauf ab, Porenbeton, dessen Anteil im Bauabfall sich in der Zukunft erheblich erhöhen wird, und Brechsande aus der Bau-schutt- bzw. Baustoffaufbereitung auf qualitativ hohem Niveau zu verwerten.

Durch die Granulierung der unterschiedlichen Ausgangsstoffe und das anschließende Brennen im Drehrohrofen wurden die Materialeigenschaften in jedem Fall verbessert. Die besten Resultate erzielt das Verfahren, in dem die Ausgangsstoffe fein aufgemahlen, und vor dem Brennen gemischt und granuliert werden. Über die dosierte Zugabe von SiC als Porosierungsmittel und die Änderung der Ofenparameter können die Eigenschaften der fertigen Granulate variiert werden. Die so einstellbaren Baustoffkenngrößen sind denen anderer mineralischer Leichtzuschläge ebenbürtig.

Literatur

- /1/ Hechler, N.: Ermittlung der Produkteigenschaften von Baurestmassen nach der Zerkleinerung in unterschiedlichen Brechertypen, HAB Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung, Studienarbeit ,1996
- /2/ Schultmann, F. Sindt, V., Ruch, M. und Rentz, O.: Schadstofforientierte Erfassung und Demontage von Gebäuden, Abfallwirtschaftsjournal 3/1997, S.38
- /3/ Frey, E.: Die Wiederverwertung von Porenbetonresten in der Produktion, Hebel AG, Emmering
- /4/ Bundesverband Baustoffe Steine + Erden e.V.: Gutachten über den künftigen Bedarf an mineralischen Rohstoffen unter Berücksichtigung des Einsatzes von Recycling-Baustoffen, Frankfurt/M., 2000
- /5/ Lang-Beddoe, I., Schober, G.: Wiederverwertung von Porenbeton Baustoffrecycling 12/1999, S. 4
- /6/ Bautenschutz und Bausanierung, 8/1998, S.79
- /7/ Kohler, G.: Recyclingpraxis Baustoffe, 3. Auflage, Köln, 1997
- /8/ Bundesverband Porenbeton: Porenbeton Handbuch, 4. Auflage, Wiesbaden 1999
- /9/ Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen / Abfällen – Technische Regeln, Neuburg 1996
- /10/ Heinze, G.: Handbuch der Agglomerationstechnik, Weinheim, 2000
- /11/ Köse, S.: Untersuchungen zur Blähdynamik des Schaumglases, Dissertation ETH Zürich, 1981