

Zerkleinerung

# Mahlbarkeit mineralischer Bauabfälle

Gabi Seifert, Annette Müller

In Deutschland fallen jährlich etwa 80 Millionen Tonnen Bauabfälle an, die zu etwa 70 Prozent wiederverwertet werden. Für die bei der Verarbeitung anfallenden Brechsande werden technisch gangbare Verwertungswege aufgezeigt.



Bilder: Bauhaus Universität Weimar

Baustoffe wie Beton, Naturstein oder Asphalt aus Straßen- oder Ingenieurbauwerken werden hauptsächlich nach der Grobzerkleinerung einer Wiederverwendung im Straßenbau zugeführt. Bei der Aufbereitung von Primärrohstoffen fallen ebenso wie bei der Zerkleinerung von mineralischen Bauabfällen zum Teil erhebliche Mengen an Brechsanden an, für die keine oder nur wenige Verwertungsmöglichkeiten bestehen. Für diese Sandfraktionen können durch eine Fein- bzw. Feinstzerkleinerung innovative Verwertungswege erschlossen werden, wie die Erzeugung von Aufbaukörnungen (Granulate), der Einsatz als Zementersatz oder als Betonzusatz.

## 1 Anwendungsmöglichkeiten

Besonderes Potenzial für eine zukünftige Nutzung besitzen die Verwertungswege „Aufbaukörnungen“ und „Betonzusatz“. Bei den Aufbaukörnungen dienen heterogene, aus Ziegel, Mörtel, Beton sowie weiteren Wandbaustoffen, bestehende Gemische als Rohstoff für die Herstellung von Leichtgranulaten, die als Gesteinskörnung im Beton eingesetzt werden können [1]. In diesem Fall ist die Mahlung der Gemische ein wichtiger technologischer Schritt, mit welchem zum einen die Vergleichmäßigung und zum anderen die Granulierbarkeit erreicht wird.

Für die Verwertung als Betonzusatzstoff kommen vor allem die Brechsande aus der Aufbereitung von Betonbruch in Frage [2]. Die daraus hergestellten Mineralmehle können als Zusatzstoff bei der Betonherstellung folgende positive Auswirkungen hervorrufen:

- Verbesserung der Verarbeitbarkeit;
- Steigerung der Festigkeit und der Dauerhaftigkeit durch Erhöhung der Packungsdichte.

Beide Verwertungswege können dazu beitragen, die Ressourceneffizienz zu verbessern. Sie verdeutlichen, dass auch Rohstoffe für neue Produkte eingesetzt werden können. Für diese rohstoffliche Verwertung stellt die Mahlbarkeit einen wichtigen technologischen Parameter dar. Daraus entstand die Motivation, eine Datenbank mit Mahlbarkeitskennwerten zu erstellen.

Um die Wirtschaftlichkeit und Effizienz der Feinstzerkleinerung abschätzen zu können, wurde die Mahlbarkeit für die Zerkleinerung an einer Vielzahl von mineralischen Bauabfällen (definierte Betone und Betonbruch, Ziegel und Mauerwerkbruch, Porenbetonbruch) und ausgewählten Primärrohstoffen (Grauwacke, Dolomit, Kalkstein, Hüttensand, Quarzsand) ermittelt.

## 2 Versuchsapparatur und -durchführung

Zur Untersuchung der Mahlbarkeit wurde der von Bond entwickelte Mahltest angewandt [3], bei dem eine Kreislaufmahlung in einer

Bauhaus-Uni Weimar		Nach Bond, 1953	
Stoff	Mittelwert $w_i$ [kWh/t]	Stoff	$w_i$ [kWh/t]
Betonbruch	19,43 (16,92 – 24,21)	Zementklinker	13,56
Mauerwerkbruch	15,83 (14,30 – 18,87)	Zement-Rohmat.	10,51
Beton	24,87 (19,68 – 30,65)	Glas	12,31
Kalkstein	13,07 (11,33 – 14,80)	Gipsstein	6,73
Kalkst./Dolomit	10,67 (9,71 – 11,72)	Kalkstein	12,54
Quarzsand	22,12 (17,73 – 25,90)	Schlacke	9,39
Grauwacke	14,20 (13,38 – 15,21)	Schmirgel	56,70
Hüttensand	22,11 (20,43 – 23,52)	Baryt	4,73
		Dolomit	11,27
		Feldspat	10,80
		Granit	15,05
		Quarz	13,57
		Schiefer	15,87

Tabelle 1: An der Bauhaus-Universität ermittelte und von Bond ermittelte spezifische Arbeitsindizes

Kugelmühle simuliert wird (Abb. 1). Aus der in Abhängigkeit von der Anzahl der Umdrehungen der Mühle erzeugten Produktmengen einer definierten Feinheit wird zunächst ein Kennwert der Mahlbarkeit in Gramm/Umdrehungen ermittelt. Dieser Kennwert kann auch als Mahlgeschwindigkeit interpretiert werden, d.h. als erzeugte Produktmenge  $\Delta M$  pro Zeiteinheit  $\Delta t$ .

Unter Berücksichtigung der Partikelgrößenverteilungen des Ausgangsmaterials und des Mahlprodukts kann der spezifische Energieverbrauch für die Zerkleinerung eines Materials berechnet werden. Das Ergebnis, der Arbeitsindex nach Bond ( $w_i$  in kWh/t), ermöglicht es, verschiedene Stoffe in Bezug auf ihr Zerkleinerungsverhalten unter bestimmten, einheitlichen Beanspruchungsbedingungen zu beurteilen.

Die Werte der Arbeitsindizes, welche an der Bauhaus-Universität ermittelt wurden, liegen zwischen knapp 10 und etwa 30 kWh/t. Den höchsten spezifischen Energieverbrauch verzeichnet reiner Beton. Ursache sind die im Beton enthaltenen quarzhaltigen Zuschläge.

Die mineralischen Bauabfälle weisen folgende Reihenfolge der Arbeitsindizes auf:  $w_i$  reiner Beton >  $w_i$  mit Ziegel verunreinigter Betonbruch >  $w_i$  Mauerwerkbruch. Bei den Primärrohstoffen ergibt sich folgende Reihenfolge:  $w_i$  Quarzsand sowie Hüttensand >  $w_i$  Grauwacke >  $w_i$  Kalkstein/Dolomit. Tabelle 1 vergleicht die an der Bauhaus-Universität ermittelten mit den 1953 von Bond ermittelten Arbeitsindizes.

Es gibt große Unterschiede der Arbeitsindizes der verschiedenen Materialien sowie innerhalb eines Materials. Im Vergleich zu den Bond-Werten liegen die an der Bauhaus-Universität ermittelten Werte in einem recht engen Bereich. Unterschiede innerhalb der einzelnen Materialien kommen hauptsächlich bei Beton, Betonbruch und Mauerwerk vor. Bei den natürlichen Gesteinen sind die Unterschiede nicht so groß, obwohl sie aus verschiedenen Lagerstätten stammen.

In Abbildung 2 sind die Arbeitsindizes verschiedener Materialien in Abhängigkeit von der Produktkorngröße bei 80 Prozent Durch-



Abb. 1: Schematische Darstellung Bond-Mühle

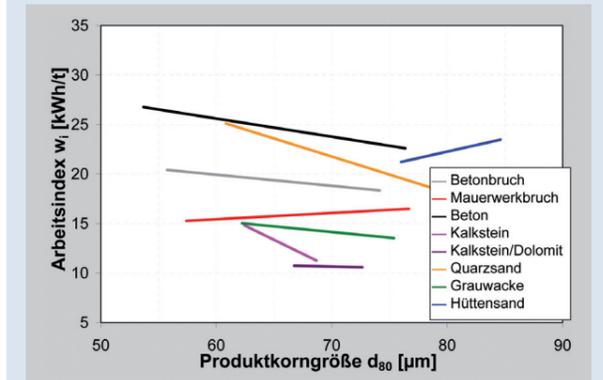


Abb. 2: Spezifische Arbeitsindizes in Abhängigkeit von der Produktkorngröße bei 80% Durchgang

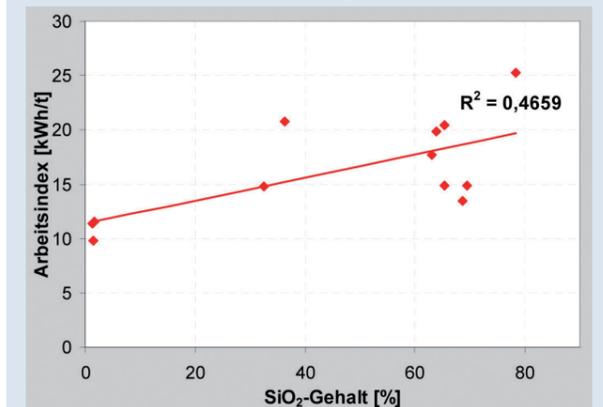


Abb. 3: Korrelation spezifischer Arbeitsindex nach Bond zum SiO<sub>2</sub>-Gehalt

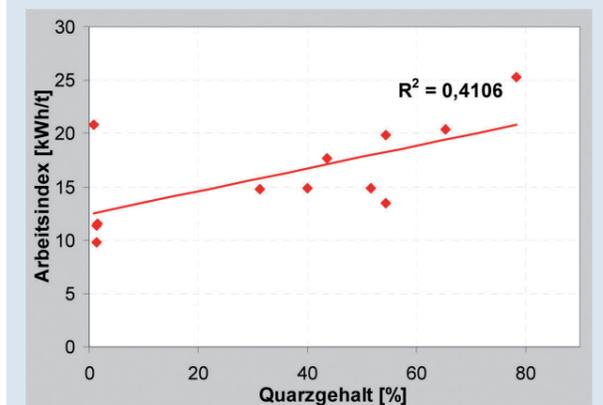


Abb. 4: Korrelation spezifischer Arbeitsindex nach Bond zum Quarzgehalt

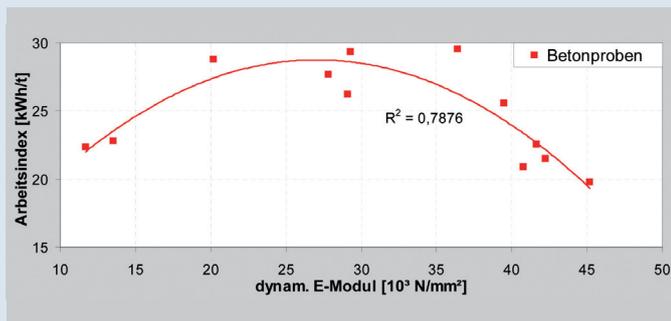


Abb. 5: Korrelation spezifischer Arbeitsindex nach Bond zu dynamischem E-Modul

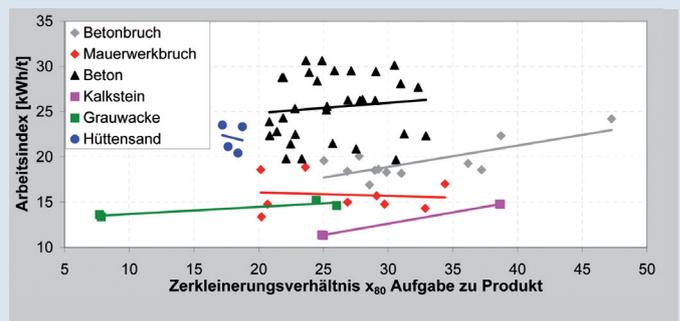


Abb. 6: Korrelation spezifischer Arbeitsindex nach Bond zu Zerkleinerungsverhältnis

gang dargestellt. Eine Abnahme des spezifischen Energieverbrauchs mit Zunahme der Produkt Korngröße bei 80 Prozent Durchgang ist bei fast allen Materialien zu erkennen.

Einflussgrößen auf die Mahlbarkeit und mögliche Korrelationen zwischen Mahlbarkeit und anderen physikalischen sowie chemischen Kenngrößen der untersuchten Materialien wurden geprüft. Der  $\text{SiO}_2$ -Gehalt der Materialien wurde mit der chemischen Analyse bestimmt. Mittels mineralogischer Untersuchung, der Röntgenanalyse, wurde der Quarzgehalt der Materialien ermittelt und mit der Rietveldmethode ausgewertet. Mit steigendem  $\text{SiO}_2$ - sowie Quarzgehalt steigt auch der spezifische Arbeitsaufwand nach Bond (Abb. 3 und 4).

Abbildung 5 zeigt, dass bei mittlerem dynamischen E-Modul der spezifische Arbeitsindex am größten ist. Bei geringerem dynamischen E-Modul zerfällt das Material, die Festigkeit ist zu gering und somit der Arbeitsindex niedriger. Bei hohem dynamischen E-Modul ist das Material zwar fest, zerfällt aber, weil es spröde ist und somit ist der Arbeitsindex auch hier niedriger.

Aus dem Diagramm in Abbildung 6 können Tendenzen abgelesen werden. Nimmt man Hüttensand als Orientierung, ist Beton schlechter zu mahlen, Mauerwerk günstiger. Die Natursteine sind in etwa mit dem Mauerwerk zu vergleichen. Der Arbeitsaufwand ist bei größerem Zerkleinerungsverhältnis höher.

### 3 Zusammenfassung

Der Arbeitsaufwand ist umso höher, die Mahlbarkeit umso schlechter:

- je höher der Quarz- bzw.  $\text{SiO}_2$ -Gehalt ist (Abb. 3 und 4);
- bei mittlerem dynamischen E-Modul (Abb. 5);
- je größer das Zerkleinerungsverhältnis  $x_{80}$  Aufgabe zu Produkt ist (Abb. 6).

Die Durchführung des Mahltestes nach Bond ruft hinsichtlich seiner Realisierung und Zuverlässigkeit immer wieder kritische Meinungen hervor. Durch experimentelles Vorgehen und Versuche werden Verbesserungsvorschläge erarbeitet.

### Literatur

- [1] A. Schnell, A. Müller: Entwicklung von Technologien zur Herstellung von Leichtgranulaten aus heterogenen Bau- und Abbruchabfällen; in: U. Teipel (Hrsg.) Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovationen, Fraunhofer Verlag, 2010, S. 235-247

- [2] B. Leydolph, A. Badstübner, A. Müller, Ch. Bollert: Einsparpotenziale bei der Betonfeinsandverwertung, 16. Internationale IFF-Fachtagung, Weimar, 2009, S. 40-41
- [3] F. C. Bond: The Third Theory Of Comminution, Mining Engineering, May 1952, S. 484-494

### Die Autoren



**Prof. Dr.-Ing. Anette Müller** studierte von 1964 bis 1968 an der HAB Weimar, Fakultät Baustoffingenieurwesen, wo sie 1974 promovierte und sich 1988 habilitierte. Sie ist heute Leiterin des Lehrstuhls Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung und beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit Themen wie der Aufbereitung von Primärrohstoffen, Abfällen zur Verwertung und Produktion, der Entwicklung und den Eigenschaften von Recyclingbaustoffen oder der Verwertung industrieller Nebenprodukte.



**Dipl.-Ing. Gabi Seifert** studierte von 1990 bis 1996 an der HAB Weimar, Fakultät für Baustoffingenieurwesen. Seit 2004 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung der Bauhaus-Universität Weimar. Ihr Forschungsgebiet liegt im Bereich der Betonherstellung unter Verwendung von Recyclingmaterialien, mit einem Schwerpunkt auf der Mahlbarkeit von mineralischen Bauabfällen.

#### Bauhaus-Universität Weimar

Professur ABW

Coudraystr. 7, 99423 Weimar

Tel.: +49 (0) 36 43/58-4600

Fax: +49 (0) 36 43/58-4631

E-Mail: anette-m.mueller@uni-weimar.de

gabi.seifert@uni-weimar.de

Internet: www.uni-weimar.de/Bauing/aufber/