



Foto: Anette Müller, Yuwu Sui, Bauhaus-Universität Weimar

# Altbeton vollständig recycelt

**BAUSTOFFE** Große Mengen Altbeton gehen als Bauschutt auf Deponien verloren. Dass es nicht so sein muss, zeigt die thermisch-mechanische Behandlung.

**B**eton ist gegenwärtig der meistverwendete Baustoff. Weltweit werden jährlich etwa 8.000 Millionen Tonnen Beton hergestellt, davon rund 250 Millionen Tonnen in Deutschland und rund 3.000 Millionen Tonnen in China. Gleichzeitig fallen große Mengen Betonbruch an.

Eine Prognose für Deutschland, die auf Daten zu hergestellten Betonmengen und Annahmen zur Lebensdauer von Betonbauwerken fußt, weist aus, dass bis 2020 annähernd 100 Millionen Tonnen Betonabbruch entstehen könnten.

Die in China zu erwartenden Mengen Betonbruch bewegen sich zwischen 200 und 1.040 Millionen Tonnen pro Jahr. Sie liegen damit

ähnlich wie die produzierten Betonmengen um den Faktor 10 über den für Deutschland angegebenen Werten.

In Deutschland liegt die Verwertungsquote für Altbeton derzeit bei etwa 87 Prozent. Haupteinsatzgebiete sind der Straßenbau, der Erd- und der Landschaftsbau. Nur etwa 4,9 Prozent werden in Form hochwertiger Recycling (RC)-Stoffe als Betonzuschlag wiederverwendet. In China wird der Betonschutt überwiegend deponiert.

Aktuell werden verstärkt Bemühungen unternommen, geschlossene Kreisläufe im Hochbau zu etablieren.

In dem von Angelika Mettke (BTU Cottbus) beschriebenen Pilotprojekt wurden Betonrezyklate als Gesteinskörnungen für die Herstellung von Beton entsprechend der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStB) eingesetzt.

Insgesamt wurden 500 Kubikmeter RC-Beton produziert, welcher zur Herstellung von aufgehenden Wänden und Decken in einem Wohngebäude eingesetzt wurde.

Die Rezyklate wurden in einer zweistufigen stationären Anlage aufbereitet, die mit einer Nasswaschanlage aus-

gerüstet war. Sie wiesen dabei mit einem Gehalt an Beton und natürlicher Gesteinskörnung von rund 98,6 Prozent eine hohe Sortenreinheit auf. Darüber hinaus zeichneten sich die Rezyklate zusätzlich durch eine geringe Wasseraufnahme aus: weniger als 3,8 Prozent bei der Fraktion 2/8 Millimeter und weniger als 3,2 Prozent bei der Fraktion 8/16 Millimeter.

Bei Anteilen der Rezyklate zwischen 25 und 35 Volumenprozent (Vol.-%) an der

Gesamtgesteinskörnung waren die Qualitäten der RC-Betone gut bis sehr gut.

## Spezielle Aufbereitung

Die Ergebnisse des Pilotprojekts unterstreichen die Bedeutung einer qualifizierten Aufbereitung für die Herstellung hochwertiger Zuschläge. Dabei ist neben der Sortenreinheit des angelieferten Altbetons vor allem die Menge des an den rezyklierten Gesteinskörnungen anhaftenden Zementsteins von Bedeutung.

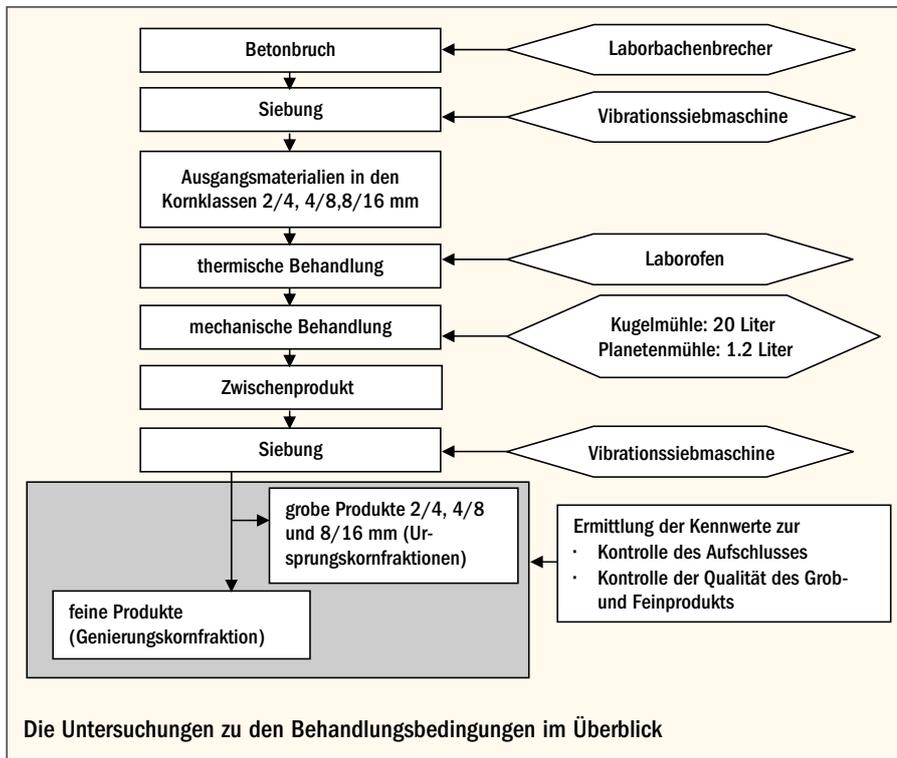
Grundsätzlich sind Betonrezyklate zusammengesetzte Stoffe (Komposite) aus Zementstein und den ursprünglichen Zuschlägen. Werden diese Komposite zur erneuten Betonherstellung eingesetzt, entsteht ein Beton, der neben den Gesteinskörnungen und dem „neuen“ Zementstein, noch „alten“ Zementstein enthält. Dies kann besonders solche Festbetoneigenschaften verschlechtern, wie Elastizitätsmodul (E-Modul), Schwinden und Kriechen, die sehr stark vom Zementstein beeinflusst werden.

Bei der Herstellung von Beton entsprechend den Vorgaben der DAfStB-Richtlinie kann es aufgrund der Variabilität der Zusammensetzung von Betonrezyklaten zu beträchtlichen Unterschieden kommen, vor allem in Bezug auf die Menge an altem Zementstein, die in den Beton eingebracht wird. Wird davon ausgegangen, dass 45 Vol.-% rezyklierte Körnungen und 55 Vol.-% natürliche Gesteinskörnungen bei der Betonherstellung verwendet werden, können sich in Abgängigkeit vom Zement-

## Rezyklate zu fast 100 Prozent sortenrein

**Von Anette Müller und Yuwu Sui**  
Die Professorin leitet den Lehrstuhl für Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar. Yuwu Sui forschte als Doktorand an ihrem Lehrstuhl.





Grafikern: Anette Müller, Yuwu Sui, Bauhaus-Universität Weimar

Betonbruchs in einem Drehrohrföfen bei einer Temperatur von 700 °C. Eine zusätzliche Abrasionsbeanspruchung findet nicht statt. Mit beiden Verfahren gelingt es, die Qualität der rezyklierten Gesteinskörnungen aus Altbeton zu verbessern, indem der Zementstein von den ursprünglichen Gesteinskörnungen abgetrennt wird. Zu der notwendigen Behandlungstemperatur und der Intensität der mechanischen Behandlung wird wenig ausgesagt.

Daher widmet sich der Artikel im Folgenden der systematischen Untersuchung der thermisch-mechanischen Behandlung zur Trennung des Altbetons in den ursprünglichen Zuschlag und den Zementstein. Darüber hinaus sollte nachgewiesen werden, dass die erzeugten Produkte Brechsand und Altbetonmehl als Ersatz von natürlichem Sand beziehungsweise als sekundäres Bindemittel und Füller wieder verwendet werden können.

### Einflüsse auf das Altbetonrecycling

steingehalt der RC-Körnung beispielsweise folgende Fälle ergeben:

- Fall 1: Der Zementsteingehalt der Rezyklate, die eine spezielle Aufbereitung durchlaufen haben, liegt bei fünf Masseprozent; die eingebrachte Menge an Altbeton beträgt lediglich 36 kg/m<sup>3</sup> Beton.
- Fall 2: Der Zementsteingehalt der Rezyklate liegt bei 25 Masseprozent; die eingebrachte Menge an Altbeton beträgt 178 kg/m<sup>3</sup> Beton.

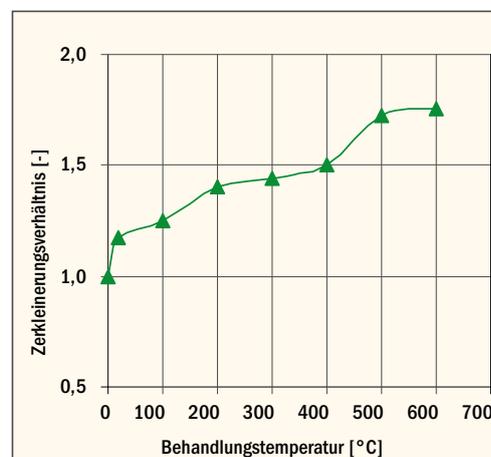
Nach den Ergebnissen der Untersuchungen von Karin Weimann (BAM Berlin) zur Nassaufbereitung von Betonbrechsand mittels Setzmaschinenteknik lässt ein Zementsteinantrag von 36 kg/m<sup>3</sup> nur geringe Veränderungen der Druckfestigkeit und des dynamischen E-Moduls erwarten. Dagegen tritt eine deutliche Abnahme sowohl der Druckfestigkeit als auch des E-Moduls auf, wenn der Eintrag an Altbeton 178 kg/m<sup>3</sup> beträgt.

Um einen hochwertigen Betonsplitt mit geringen Zementsteinanhaftungen herzustellen, wird weltweit an der Entwicklung neuer Aufschlusstechniken auf der Basis von konventionellen Techniken oder unter Nutzung völlig neuer Wirkprinzipien gearbeitet. Bei den konventionellen Techniken wird die Entfernung des Zementsteins von

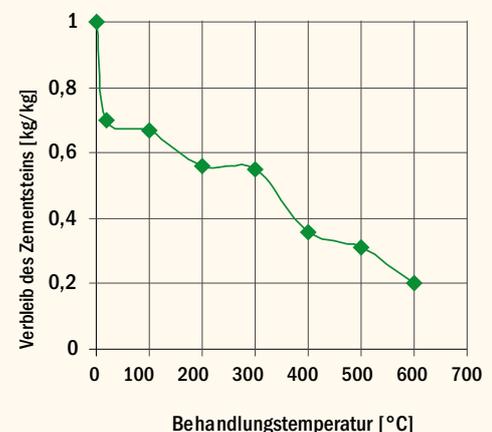
den Altbetonkörnern durch Scherung und Abrasion (Abschälen) erreicht. In einigen Fällen – insbesondere bei dem in Japan sowie bei dem in den Niederlanden entwickelten Verfahren – ist eine thermische Behandlung vorgeschaltet.

Beim japanischen Verfahren wird der Betonbruch mit auf 300 °C vorgewärmter Luft durchströmt und anschließend in Kugelmöhlen abrasiv beansprucht. Beim niederländischen Verfahren erfolgt die thermisch-mechanische Behandlung des

Die Versuche wurden mit Laborbetonen durchgeführt, die Portlandzement als Bindemittel sowie Sand und Kies als Gesteinskörnung enthielten. Die Ausgangsstoffe, die Zusammensetzung und die Festigkeiten der Betone waren bekannt. Die Untersuchungen zu den Behandlungsbedingungen und den erzeugten Produkten liefen in den Schritten Probenvorbereitung, thermische Behandlung oder mechanische Behandlung, Trennung der Zerkleinerungsprodukte durch Siebung und Beurteilung



Temperaturerfluss auf das Zerkleinerungsverhältnis des Ausgangsmaterials: 8/16 mm nach 3 Minuten Mahlung



Temperaturerfluss auf den Verbleib des Zementsteins im Grobprodukt: 8/16 mm nach 3 Minuten Mahlung



der hergestellten Produkte ab (siehe Seite 27 oben). In den Versuchsserien, in welchen die Auswirkungen der thermischen Behandlung auf den Aufschluss von Beton untersucht wurden, war die nachfolgende mechanische Behandlung auf drei Minuten beschränkt. In den Serien zur mechanischen Behandlung erfolgte die thermische Behandlung bei 300 und 500 °C. Die Dauer der thermischen Behandlung betrug 30 Minuten.

Es konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass durch die thermische Behandlung eine Zerkleinerung und ein Aufschluss des Altbetons erreicht werden können: Mit der Erhöhung der Behandlungstemperatur steigt die erreichte Korngrößenreduktion an (Seite 27 links). Der Zementsteinverbleib in der groben Fraktion, der mit zunehmendem Aufschlussgrad geringer wird, nimmt mit steigender Temperatur ab (Seite 27 rechts).

Bei der mechanischen Behandlung sind die Behandlungsdauer, die Drehzahl der Mahltrommel und die Größe sowie die Dichte der Mahlkörper die signifikanten Einflussgrößen: Die Zerkleinerung und der Aufschluss nehmen mit einer Verlängerung der Mahldauer, dem Anstieg der Drehzahl oder durch die Verwendung relativ großer oder schwerer Mahlkörper zu.

Die thermische und die mechanische Behandlung beeinflussen sich gegenseitig und können sich gegenseitig ersetzen. Der erreichte Aufschluss und die Qualität der Produkte können durch die Variation von Behandlungstemperatur und Mahldauer gezielt eingestellt werden.

**Bis zu 20 Prozent mehr Festigkeit**



Die thermisch-mechanische Behandlung erzeugt kiesähnliche Körnungen: 2/4 und 4/8 mm vor (links) und nach Behandlung

Die Rohdichte der groben Produkte als Qualitätsmerkmal hängt bei geringer Mahldauer stark von der Behandlungstemperatur ab. Erst bei entsprechend hohen Behandlungstemperaturen werden die gewünschten hohen Rohdichten erreicht. Dagegen ist bei höherer Mahldauer der Anstieg der Rohdichte mit zunehmender Temperatur geringer. Bereits bei Behandlungstemperaturen von rund 300 °C werden Rohdichten erreicht, die nahe der Rohdichte des Ausgangsmaterials liegen. Temperaturänderungen wirken sich bei diesen Mahldauern wenig auf die Produktqualität aus.

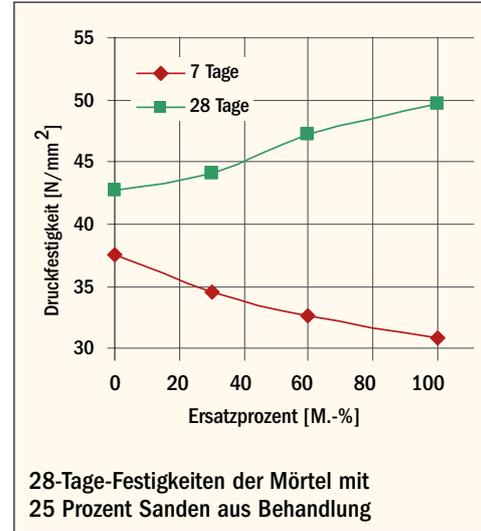
**Erhöhte Festigkeit**

Aufbauend auf den Untersuchungsergebnissen zu den Bedingungen der thermisch-mechanischen Behandlung, bei welchen ein deutlicher Aufschluss von Beton erreicht werden kann, wurden größere Mengen an Betonbruch einer solchen Behandlung unterworfen. Die vorzerkleinerten Fraktionen 2/4 und 4/8 Millimeter wurden im Industrietrockenschrank bei 250 °C für zwei Stunden thermisch behandelt. Anschließend

erfolgte eine Trennung bei einer Partikelgröße von 0,125 Mikrometer. Grobgut größer als 0,125 Mikrometer wurde in einer Laborkugelmühle einer Abrasionsbeanspruchung unter

folgenden Bedingungen unterzogen:

- 15-minütige Beanspruchung der Fraktion 0,125/2 mm,
- 25-minütige Beanspruchung der Fraktionen 2/4 und 4/8 mm,
- Verwendung relativ großer Kugeln mit



einem Durchmesser von 35 mm.

Die erzeugten Rezyklate der Fraktionen 2/4 und 4/8 Millimeter sind in ihrer Qualität deutlich gegenüber dem Ausgangsmaterial verbessert (siehe Tabelle unten). Die Rohdichten entsprechen nahezu dem Wert des originalen Zuschlags (2,62 g/cm³). Die 24-Stunden-Wasseraufnahme und Gesamtporosität sind gegenüber den Werten, welche für die Fraktionen vor der Behandlung gemessen wurden, deutlich geringer.

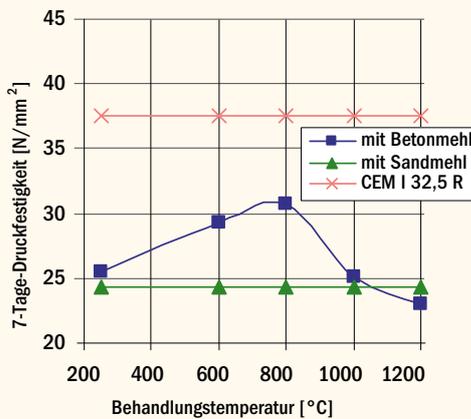
Der optische Vergleich der Fraktionen 2/4 und 4/8 Millimeter (Seite 28 unten) zeigt deutlich, dass die ursprünglichen Komposite aus Zementstein und Gesteinskörnung auch bei den gewählten, relativ niedrigen Behandlungstemperaturen aufgeschlossen werden konnten. Kiesähnliche Körnungen konnten erzeugt werden.

Der Sand (0,08/2 mm), der bei der thermisch-mechanischen Behandlung entstanden

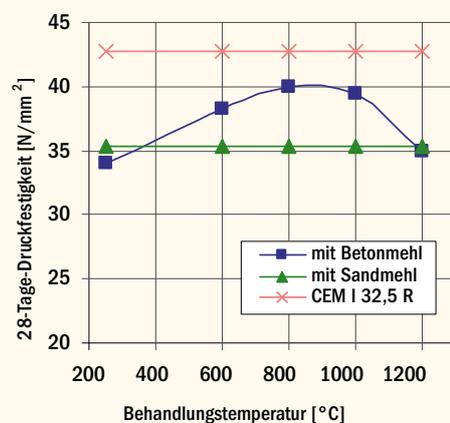
ist, wurde als Substitut von Normsand in Mörteln nach DIN EN 196-1 verwendet. Die Ausbreitmaße und die 7-Tage-Druckfestigkeiten der Mörtel, die 30, 60 und 100 Prozent Brechsand anstelle von Normsand enthielten, nahmen um 19 bis 25 Prozent und 8 bis 18 Prozent ab. Hingegen sind die 28-Tage-Festigkeiten der Mörtel mit dem Sand um 3 bis 20 Prozent höher als die

**Eigenschaften der Fraktionen 2/4 und 4/8 mm aus Kiesbeton vor und nach der thermisch-mechanischen Behandlung**

	Fraktion	Vor der Behandlung	Nach der Behandlung	Anstieg [in %]
Rohdichte [g/cm³]	2/4 mm	2,287	2,582	12,9
	4/8 mm	2,378	2,627	10,5
Reindichte [g/cm³]	2/4 mm	2,650	2,702	1,9
	4/8 mm	2,660	2,700	1,3
Gesamtporosität [Vol.-%]	2/4 mm	13,69	4,46	/
	4/8 mm	10,61	2,61	/
24h-Wasseraufnahme [M.-%]	2/4 mm	5,56	1,40	/
	4/8 mm	4,60	1,08	/



Die Reaktivierungstemperatur der Betonmehle hat einen deutlichen Einfluss auf die Festigkeiten der Mörtel, der 25 Prozent Beton- oder Sandmehl als Zementersatz enthält



entsprechenden Werte der Mörtel ohne Zusatz (Seite 29 oben). Bei der thermisch-mechanischen Behandlung entstehen Altbetonmehle, deren Menge bis zu 50 Prozent des behandelten Aufgabematerials betragen kann.

Um einen Verwertungsweg für diese Mehle aufzuzeigen, wurde überprüft, ob sie durch eine zweite thermische Behandlung so verändert werden können, dass sie als Bindemittel wiederverwendet werden können. Die zweite thermische Behandlung zur Reaktivierung des hydraulischen Potenzials erfolgte bei Temperaturen von 600, 800, 1.000 und 1.200 °C.

Die Festigkeiten der Mörtel, in denen der Zement durch 15, 25 und 35 Prozent Altbetonmehl ersetzt wurde, blieben unter den Festigkeiten der reinen Portlandzementmörtel. Sie lagen aber deutlich über den Festigkeiten der Mörtel, die inertes Sandmehl anstelle von Altbetonmehl enthielten. Die Reaktivierungstemperatur kann also einen deutlichen Einfluss auf die Festigkeiten ausüben (Seite 29 oben).

Bei Temperaturen um 800 °C wurden jeweils die höchsten Festigkeiten gemessen. Übereinstimmend mit den Messergebnissen zur Wärmeentwicklung bei der Hydratation (chemisch-physikalische Reaktion von Zement mit Wasser) scheint das Betonmehl bei diesen Temperaturen die höchste Reaktivität aufzuweisen. Aus den mineralogischen Untersuchungen folgt, dass die Gehalte an Dicalciumsilicaten bei 800 und 1.000 °C am höchsten sind.

Außerdem tritt bei diesen Temperaturen freier Kalk auf. Die Maxima der Festigkeit und der Wärmeentwicklungsrate könnten

also durch eine hydraulische Reaktion der Dicalciumsilicate und/oder die Reaktion freier Kalks mit Wasser verursacht worden sein.

### Hochwertiger Altbeton

Durch die gezielte thermisch-mechanische Behandlung kann ein effektiver Aufschluss von Betonen aus Bauschutt erreicht werden. Die Erzeugung hochwertiger Rezyklate mit geringen Zementsteinanhaftungen ist möglich. Die Behandlungsbedingungen können anhand der Ergebnisse ausgewählt werden, und darauf aufbauend kann ein Technologievorschlag entwickelt werden.

Übereinstimmend mit den Literaturangaben sind zwei Behandlungsvarianten möglich: Entweder wird eine hohe Temperatur gewählt und auf eine mechanische Behandlung verzichtet oder die Behandlungstemperatur wird reduziert,

was eine anschließende Abrasionsbehandlung erforderlich macht. Eine technische Umsetzung ist für die zweite Variante denkbar, da das Temperaturniveau der Behandlung mit 250 bis 300 °C niedrig ist.

Thermisch hervorgerufene Schädigungen der zurückgewonnenen Gesteinskörnungen sind nicht zu befürchten. Die Behandlung könnte in bekannten Trockentrommeln erfolgen. Für die anschließende Abrasionsbehandlung kann auf Kugelmöhlen mit entsprechend abgestimmter Gattierung zurückgegriffen werden.

Als Produkte der thermisch-mechanischen Behandlung entstehen zementsteinarme, grobe Gesteinskörnungen, die im Beton wiederverwendet werden können. Die feinen Gesteinskörnungen und insbesondere die Mehle, in welchen sich der Zementstein anreichert, können ebenfalls wieder im Beton eingesetzt werden. Allerdings müssen diese Verwertungswege noch ausführlich untersucht werden. □

Anette Müller,  
Yuwu Sui

Anzeige

## ATLAS Teamwork





**Recyclingfachmann Horst Bohmann setzt als Teampartner auf einen ATLAS Radlader AR 95:**

„Die ATLAS Kinematik ist unschlagbar: hohe Reißkräfte, exzellente Hubhöhen und optimale Parallelführung. Und durch die hydraulische Schnellwechseleinrichtung ist das Anbauwerkzeug in Sekunden getauscht.“

ATLAS Weyhausen GmbH  
Visbeker Straße 35  
27793 Wildeshausen  
www.radlader.com

