

S. Lander, A. Müller

Sanitärkeramik – wenig beachteter Bauabfall mit großem Potential¹⁾, Teil 2

Fortsetzung aus *Keram. Z.* 56 (2004) [1] 10–14

Dipl.-Ing. Stefan Lander (31) studierte 1992–1997 an der Bauhaus-Universität Weimar, Studiengang Bauingenieurwesen mit Abschluss zum Dipl.-Ing. 1997–2003 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Bauhaus-Universität, Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung. Seit 2003 ist er Leiter des Kompetenzzentrums für Stoffstrom-, Energie- und Flächenmanagement an der Fachhochschule Nordhausen.



Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller promovierte 1974 und habilitierte 1988 zu Themen der Verfahrenstechnik und der Zementchemie. 1995 wurde sie zur Universitätsprofessorin für Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung an der Bauhaus-Universität Weimar berufen, 2001 war sie Gastprofessorin an der University of Illinois at Urbana-Champaign, USA. Ihre gegenwärtigen Hauptarbeitsgebiete sind Aufbereitungsverfahren für Primärrohstoffe und Abfälle, Entwicklung sowie Eigenschaften von Recyclingbaustoffen. Sie ist Mitglied in nationalen und internationalen Gremien auf dem Recyclingsektor und verfasste insgesamt über 90 Publikationen.

KURZFASSUNG

Im Rahmen von Untersuchungen zum stoffspezifischen Recycling von Bauabfällen wurde die Verwertbarkeit von Sanitärkeramik aus Abbruch und Sanierung untersucht. Das Aufkommen wurde anhand eines Prognosemodells für den Freistaat Thüringen beurteilt, wonach dort mit 2500 t/a verwertbarem Material zu rechnen ist. Für die Erfassung können bestehende Strukturen bei Recyclingbetrieben und Großhändlern genutzt werden. In Laboruntersuchungen wurden die Eigenschaften gebrauchter Sanitärkeramik analysiert. Es konnte kein signifikanter Einfluss des Verschmutzungsgrades auf die

chemische Zusammensetzung nachgewiesen werden, auch die Parameter der Umweltverträglichkeit werden weitgehend erfüllt. Typische Fremd- und Störstoffe im Abbruchmaterial wurden durch Sortieranalysen qualitativ benannt. Die Aussortierung dieser Bestandteile nimmt in der entwickelten Aufbereitungstechnologie zu marktfähigen RC-Produkten aus Alt-Sanitärkeramik einen wichtigen Stellenwert ein. In mehreren Zerkleinerungs-, Klassier- und Sortierstufen entstehen Körnungen, die korngößenspezifisch verwertet werden können. Die hohen Gebrauchseigenschaften der erzielten Produkte ergeben vielfältige Einsatzmöglichkeiten bis hin zu Zusatzstoffen in Mörtelsystemen, als Sekundärrohstoff in der Feuerfestindustrie oder Aufhellungszuschlägen in Asphaltbeton.

ABSTRACT Ceramic Sanitaryware – a disregarded Building Material Waste with high Potential

The recycling value of ceramic sanitaryware salvaged from demolition work and sanitation was investigated within the framework of a research project on the recycling of specific material arising from building materials waste. According to a prognosis model for the federal state of Thuringia, it is expected that 2.500 t/a of recycling material could occur. Data can be gleaned from existing structures at recycling operations and wholesale dealers. The properties of used ceramic sanitaryware were analysed in the laboratory. No significant contamination effect on the chemical composition could be determined and parameters for environmental tolerance could also be fulfilled. In the developed preparation technology the separation of these components to saleable recycling products is of high value. In several crushing, classification and sorting processing steps, grains occur which can be utilised according to specific particle size. The very good utilisation properties of the obtained products show many possibilities ranging from additives in mortar systems to secondary raw materials in the refractory industry or light-brightening aggregates in asphalt concrete.

STICHWÖRTER

Recyclingbaustoff Sanitärkeramik, Eigenschaftsanalyse, Korngößenspezifische Verwertungsmöglichkeit, Einsatz in Mörtelsystemen, Asphaltbeton, Feuerfestmaterialien. *Keram. Z.* 56 (2004) [2]

4.2 Konzept für die Sortierung

Die Sortenreinheit der aus gebrauchter Sanitärkeramik erzeugten Körnungen ist ausschlaggebend dafür, ob eine hochwertige Verwertung realisiert werden kann. Durch ein dreistufiges Sortierkonzept, wie in Bild 5 dargestellt, ließe sich die geforderte hohe Sortenreinheit erzielen:

- Vorsortierung mittels Bagger
- zweite Sortierstufe: Magnetabscheidung und Absiebung der Fremdbestandteile >20 mm nach der Grobzerkleinerung
- dritte Sortierstufe: Optoelektronische Sortierung der Fremdbestandteile in der Fraktion 2/20 mm.

In der zweiten Sortierstufe wird der Umstand genutzt, dass sich die Fremdbestandteile in ihrem Verformungsverhalten grundsätzlich von dem der Sanitärkeramik unterscheiden. Die überwiegend nicht spröden Fremdbestandteile werden durch die Prallbeanspruchung während des Brechprozesses nicht zerkleinert und können deshalb mittels Klassierung abgetrennt werden.

In der dritten Sortierstufe kann ein optoelektronisches Verfahren zum Einsatz kommen. Solche detektierenden Verfahren, die auf Klauverfahren zurückgehen und im Zusammenhang mit der Abfallaufbereitung entwickelt wurden, finden zunehmend Anwendung. Die technische Machbarkeit einer solchen Sortierung zeigte eine erste Testreihe mit Sanitärkeramikscherven, die bewusst mit weißen Störstoffen aus Kunststoffen, Silicon etc. sowie mit anderen Fremdbestandteilen versetzt wurde. Das erzeugte Produkt wies eine Sortenreinheit von 99,8 % auf. Der Abweisestrom bestand überwiegend aus den genannten Störstoffen und enthielt daneben aber auch noch Sanitärkeramik (Bild 6).

5 Verwertung

Zu möglichen Anwendungsgebieten für aufbereiteten Sanitärkeramikbruch gibt es bis heute wenige Angaben, die sich außerdem im Wesentlichen auf ungebrauchte defekte bzw. fehlerhafte Keramik beziehen. Bereits benutztes Material gelangt bisher über die Bauschutt-aufbereitung zumeist in die tiefbauliche An-

¹⁾ Ergebnisse eines durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Verbundprojektes. Verbundpartner Bauhaus-Universität Weimar, IFF e. V. Weimar, GERK GmbH Weimar.



▲ Bild 5 • Technologischer Ablauf einer dreistufigen Sortierung

wendung oder wird deponiert. Die Wiederverwertungsbeispiele

- Gießschlickerzusatz in der Keramikindustrie
 - Rohstoff in der Feuerfestindustrie
- betreffen bisher ausschließlich Fehl- und Bruchware aus der Produktion. Für gebrauchte Sanitärkeramik sind neue Einsatzfelder zu erschließen.

Der Einsatz der recycelten Sanitärkeramik als Sinterhilfs- und Magerungsmittel in der Feuerfestindustrie analog zu aufbereiteter Keramik aus Fehl- und Bruchware ist denkbar. Die feuerfesten Steine werden bei Temperaturen von 1400 °C gebrannt, so dass organische Anhaftungen vollständig verbrennen und die Produkteigenschaften somit nicht beeinflussen. Voraussetzung ist allerdings, dass reines Keramikmaterial verwendet wird und keine Störstoffe wie z. B. Plastik oder Metalle enthalten sind. Das Material muss in Korngrößen 0–100 µm vorliegen.

5.1 Einsatz im Straßenbau

Die Eignung von Sanitärkeramikbruch als Material für Frostschuttschichten wurde bereits in früheren Untersuchungen nachgewiesen und durch die eigenen Messungen zur Widerstandsfähigkeit gegen Schlag sowie zur Frostbeständigkeit bestätigt. Allerdings kann dieses Einsatzgebiet den eingangs formulierten Anspruch eines stoffspezifischen Recyclings nicht erfüllen. Deshalb wurde untersucht, ob

sich Sanitärkeramiksplitt als Aufhellungsmaterial in Asphaltdeckschichten eignet. Durch eine solche Aufhellung werden verbesserte Sichtverhältnisse und eine höhere Verformungsstabilität von Asphaltdeckschichten erreicht [17].

In ersten eigenen Versuchen wurde ein Asphaltbeton 0/11 mit Sanitärkeramiksplitt in den Korngrößen 2/5 mm und 5/8 mm sowie mit weiteren Mineralstoffen hergestellt. Der Anteil des Rezyklats am Mineralstoffgemisch betrug 36 %. Die geforderten Qualitätskriterien für einen Asphaltbeton 0/11 konnten laut Prüfprotokoll des Asphaltmischwerks entsprechend den Forderungen aus der ZTV Asphalt-StB 01 eingehalten werden. Wie in Bild 7 zu erkennen ist, ist das Bindemittel teilweise in den Keramiksplitt eingedrungen. Trotzdem wird der gewünschte Aufhellungseffekt erreicht. Bei höheren Rezyklat-Anteilen könnte der Effekt noch verstärkt werden.

Bild 6 • Körnung aus Sanitärkeramik und aussortierte Fremdbestandteile ▶▶

Bild 7 • Asphaltbeton mit Sanitärkeramiksplitt ▶

5.2 Einsatz im Fußbodenbau

Der Einsatz von aufbereitetem Sanitärkeramikbruch in kunstharzgebundenen Fußböden stellt eine weitere Möglichkeit der Verwertung dar. Kunstharzestriche bestehen aus einem Zweikomponenten-Flüssigkunststoffbindemittel und den Zuschlägen. Sie werden zumeist in einer Dicke von 5–30 mm verlegt. Durch den Zusatz von Zuschlägen wird einerseits der Elastizitätsmodul des Kunststoffes erhöht und andererseits die thermische Längenänderung herabgesetzt. Die möglichen Einsatzgebiete reichen von Feinmehlen als Füll- und Farbmaterial über feinkörniges Material mit Korngrößen bis 0,1 mm als Abstreumittel bis zu splittrigem, körnigem Material, das als Gestaltungskomponente und Matrixstabilisierer zugegeben wird. Porzellanbruch wird bereits in dieser Branche eingesetzt und hat sich dort bewährt.

Eine Einführung der Sanitärkeramikrezyklate in diesem Bereich wird dadurch erleichtert, dass keine direkten gesetzlichen Zulassungskriterien für diese Füllstoffe bzw. Körnungen gelten. Sie müssen qualitativ stabil zur Verfügung stehen und bestimmte Anforderungen erfüllen. In stofflicher Hinsicht wird ein trockenes, chemisch inertes, nicht korrodierendes Material gefordert, das frei von produkteigenschaftsverändernden Verunreinigungen ist. In Bezug auf die mechanischen Eigenschaften sind die Schlag- und Abriebfestigkeit sowie die Tau-

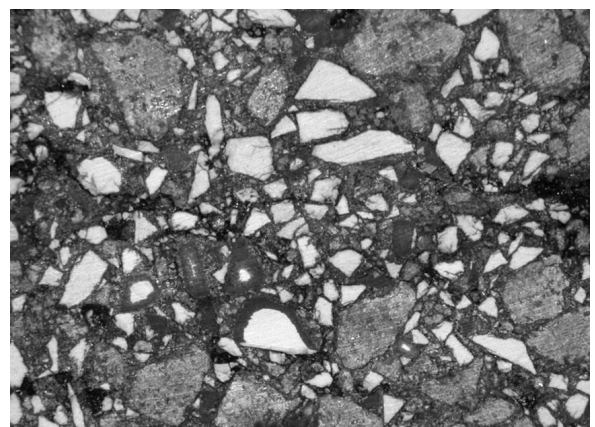
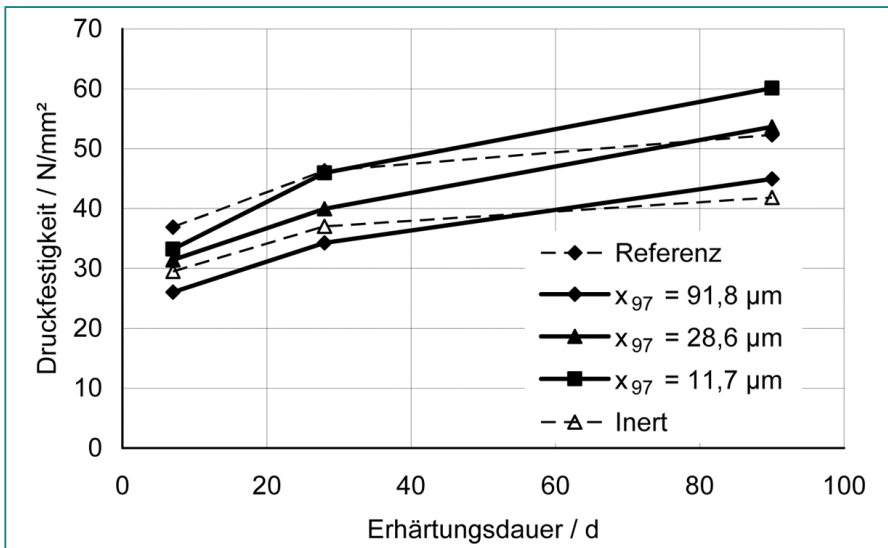


TABELLE 3 • Ausbreitmaße der untersuchten Mörtel

CEM I 32,5 R	CEM I 32,5 R + 20 % Sanitärkeramik		
$x_{97} = 98,4 \mu\text{m}$	$x_{97} = 91,6 \mu\text{m}$	$x_{97} = 28,6 \mu\text{m}$	$x_{97} = 11,66 \mu\text{m}$
14,5 cm × 15,5 cm	15 cm × 15 cm	16 cm × 16 cm	15 cm × 15,5 cm
14,5 cm × 15,5 cm	14 cm × 14,5 cm	15,5 cm × 15,5 cm	16 cm × 16 cm



▲ Bild 8 • Festigkeitsentwicklung der Mörtel aus Mischbindemitteln (80 Masse-% Portlandzement + 20 Masse-% Sanitärkeramikmehl)

salzbeständigkeit ausschlaggebend. Bei entsprechender Aufbereitung kann Sanitärkeramikbruch diese Anforderungen erfüllen, weil ein splittriges Korn mit hoher Härte und ausreichender Schlagfestigkeit erzeugt wird. Nach ersten Versuchen in Zusammenarbeit mit einer Fachfirma wird Sanitärkeramiksplit gut in Kunstharz eingebunden, wobei die raue Struktur in der Versiegelungsebene zur Geltung gelangt.

5.3 Sanitärkeramikmehl als Zusatzstoff in Mörteln und Betonen

Ein weiterer Ansatz zur Verwertung besteht im Einsatz von gemahlener Sanitärkeramik als Zusatzstoff für Mörtel und Betone. Zu diesem Einsatzgebiet wurden Mörteluntersuchungen durchgeführt, wobei auf das Sanitärkeramikmehl zurückgegriffen wurde, welches in den Untersuchungen zur Feinstzerkleinerung in der Kugelmahl-Sichtanlage produziert wurde.

Die Untersuchungen erfolgten an Normmörteln, in denen 20 Masse-% der vorgegebenen Zementmenge durch Sanitärkeramikmehl unterschiedlicher Feinheit substituiert wurde. Die so erzeugten Mörtel wurden hinsichtlich ihrer Frisch- und Festmörteleigenschaften untersucht. Dazu wurde das Ausbreitmaß ermittelt, um die Verarbeitbarkeit des Frischmörtels beurteilen zu können, und die Festigkeiten der Mörtelprismen nach 7, 28 und

90 Tagen gemessen. Als Referenz diente ein Mörtel mit der Normzusammensetzung aus 450 g Zement + 225 ml Wasser + 1350 g Normsand.

Die Verarbeitbarkeit der Frischmörtel hängt eindeutig von der Feinheit der zugegebenen Mehle ab. Bei Mehlen, deren Feinheit der des eingesetzten Zements entspricht, ergeben sich keine Veränderungen gegenüber dem Referenzmörtel. Mit zunehmender Feinheit ist eine Verflüssigung der Frischmörtel zu beobachten (Tabelle 3). Durch den Austausch eines Zementanteils durch ein feineres Material wird der Kornaufbau der Gesamtmischung hinsichtlich seines Lückenvolumens optimiert. Es dringt weniger Wasser zwischen die Partikel, der Gesamtwasserbedarf sinkt und die Mischung wird „weicher“.

Die Druckfestigkeiten der Mörtel mit Mineralmehlen aus Sanitärkeramik steigen ebenfalls mit zunehmender Feinheit der Mehle an. Die Abhängigkeit der Festigkeit von der Feinheit der Mehle und der Lagerungsdauer ist in Bild 8 dargestellt. Der Mörtel unter Zusatz des feinsten Sanitärkeramikmehls weist Festigkeiten zum Teil über denen des Referenzmörtels auf. Deutlich wird auch die verzögerte Festigkeitsentwicklung bis zum 28. Tag. Nach dem 28. Tag treten für alle Mischbindermörtel noch erhebliche Festigkeitszuwächse auf. Nach 90 Tagen überschreiten die Festigkeiten der Mörtel mit dem feinsten und dem mittleren Mischbindemittel die Referenzfestigkeiten. Der gröbere Mischbinder unter Zu-

satz von Mehl in Zementfeinheit erreicht immerhin noch etwa 85 % der Festigkeit unter Normbedingungen.

6 Ausblick

Im Laufe der Bearbeitung des Forschungsvorhabens konnten zahlreiche Kontakte zu potentiellen Abnehmern für hochwertige Recyclingkörnungen aus Sanitärkeramik geknüpft werden. Diese Betriebe sind daran interessiert, ein Recyclingprodukt zu erhalten, welches spezielle Eigenschaften aufweist, die mit Primärmaterialien nicht oder nur wesentlich aufwendiger zu erzielen sind. Dazu zählen z. B. die hohe Härte, Festigkeit und Verschleißresistenz, die das Material als geeigneten Zuschlag für die Herstellung von Industriefußböden ausweisen. Weiterhin wurde in Zusammenarbeit mit einem Hersteller von mineralischen Mörteln und Klebern für den Sanitärbereich die Verwendung von Sanitärkeramikmehlen als Füllstoff in zementären Mörtelsystemen getestet. Die Ergebnisse waren positiv und ein Einsatz ist aus technischer Sicht möglich. Mit der Realisierung dieser Verwertungsrichtung könnten jährlich mehrere tausend Tonnen der bis jetzt verwendeten Naturkreide durch ein Rezyklat ersetzt werden.

Diese Beispiele machen deutlich, dass der Markt für neue Produkte durchaus offen ist. Wichtig für eine dauerhafte Akzeptanz sind die permanente Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe in den erforderlichen Mengen sowie eine gleichbleibend hohe Qualität der erzeugten Produkte. Das kann von der technischen Seite mit einer optoelektronischen Sortierung und regelmäßigen Laborkontrollen garantiert werden.

Schwerpunkt der vorgestellten Untersuchungen war es, Aufbereitungstechnologien für gebrauchte Sanitärkeramik zu entwickeln und Verwertungswege aufzuzeigen. In einem nächsten Schritt muss die Wirtschaftlichkeit dieser Technologien nachgewiesen werden.

Literatur

- [1] Müller, A.: Recycling von Mauerwerkbruch – Stand und neue Verwertungswege, Teil 1. ZI 56 (2003) [6] 17–25
- [2] Müller, A.: Recycling von Mauerwerkbruch – Stand und neue Verwertungswege, Teil 2. ZI 56 (2003) [6] 42–46
- [3] Müller, A.: Verwertung von Recyclingbaustoffen aus Mauerwerkbruch – Eigene Entwicklungen, Teil 3. ZI 56 (2003) [11] 51–59

- [4] Müller, A.: Baustoffkreisläufe – Stand und Entwicklung. Ibausil-Tagungsbericht, September 2003, 1–1289 bis 1–1308
- [5] Kohler, G.; Kurkowski, H.: Aktuelle technische Entwicklungen der Bauschuttzubereitung mit dem Ziel der höherwertigen Verwertung. Abfallwirtschaftsjournal **32** (1998) [5] 32–36
- [6] Europas Sanitärkeramik: Verstärkte Importe aus Osteuropa. cfi/Ber. DKG **78** (2000) [3] 31
- [7] DIN 38 414, Teil 4: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Schlamm und Sedimente, Gruppe S. Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S 4). Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 1984
- [8] Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen-Technische Regeln. Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20. 1995
- [9] DIN EN 1097-6: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen, T. 6 – Bestimmung der Rohdichte und der Wasseraufnahme; DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2001
- [10] DIN 52104, Teil 1: Prüfung von Naturstein. Frost-Tau-Wechsel-Versuch. Verfahren A bis Q. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 1982
- [11] Winkler A.: Herstellung von Baustoffen aus Baurestmassen. Forschungsbericht, Bauhaus-Universität Weimar, Shaker-Verlag, Aachen 2001
- [12] Nuran, A.; Mevlüt, Ü.: The Use of Waste Ceramic Tile in Cement Production. Cement and Concrete Research **30** (2000) [5] 497–499
- [13] O’Farrell, M.; Wild, S.; Sabir, B. B.: Resistance to Chemical Attack of Ground Brick-PC Mortar: Part I. Sodium Sulphate Solution: Cement and Concrete Research **29** (1999) [4] 1781–1790
- [14] O’Farrell, M.; Wild, S.; Sabir, B. B.: Resistance to Chemical Attack of Ground Brick-PC Mortar: Part II. Synthetic Seawater. Cement and Concrete Research **30** (2000) [5] 757–765
- [15] Turanli, L.; Bektas, F.; Monteiro, P. J. M.: Use of Ground Clay Brick as a Pozzolanic Material to Reduce the Alkali-Silica Reaction. Cement and Concrete Research **33** (2003) [5] 1539–1542
- [16] Wienke, L.; Lander, S.; Stark, U.; Müller, A.: Untersuchungen zur Mahlung von Rohstoffen, Abfällen und Zwischenprodukten in einer kleintechnischen Anlage. ZKG **55** (2002) [8] 39–48
- [17] Jüngst, W.: Höhere Verkehrssicherheit und Verformungsstabilität durch helle Asphaltdeckschichten. Aufbereitungstechnik **42** (2001) [4] 185–190