

Baustoffrecycling

1. Zusammenfassung/Summary

Recycling als die Rückführung genutzter Produkte und Materialien in den Stoffkreislauf ist kein Phänomen unserer Zeit. Für Materialien wie Almetalle, Lumpen, Kleidung, Papier, Knochen und Asche war das Sammeln und Verwerten seit dem späten Mittelalter üblich. In Bezug auf das Baustoffrecycling kann bei den meisten erhaltenen Bauwerken von der Antike bis zum Mittelalter der Rückgriff auf das Material älterer Bauwerke nachgewiesen werden. Erst nachdem die industrielle Revolution die Massenproduktion von Baustoffen ermöglichte, verlor das Baustoffrecycling seine Bedeutung und war immer nur dann wieder notwendig, wenn in Krisensituationen der Baustoffbedarf nicht anders gedeckt werden konnte. Das meistgenannte Beispiel hierfür ist das Recycling in deutschen Großstädten nach dem 2. Weltkrieg. Den Zeitpunkt des Beginns des „modernen“ Baustoffrecycling angeben zu wollen, ist sicher schwierig. Hervorgehend oftmals aus Fuhrunternehmen begann Anfang der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts der Aufbau von stationären Recyclinganlagen. So wird bereits 1984 in der Fachpresse über den Einsatz eines Aquamators in einer neu errichteten Recyclinganlage berichtet [1]. Eine Wende vollzieht sich – vom Abbruch zum Rückbau und von der Deponierung von Bauabfällen zur Verwertung. Bauwerke, welche nicht mehr benötigt werden, oder solche, die nicht mehr den Ansprüchen der Nutzer oder den technischen Anforderungen genügen, werden zurückgebaut, um Neuem Platz zu machen oder einfach der Natur ihr Terrain zurückzugeben. Zumindest der Abbruch und Rückbau und die Aufbereitung sind mittlerweile notwendiger und akzeptierter Bestandteil des Baugeschehens. Beim Einsatz von Recycling-Baustoffen gibt es dagegen immer noch Vorbehalte. Gründe dafür sind Defizite bei den eingesetzten Technologien, welche den immer komplexer werdenden Baustoffen und Baustoffverbänden nicht gewachsen sind, und die einseitige Betrachtung bei der stofflichen Beurteilung, die bisher hauptsächlich unter dem Schadstoffaspekt,

nicht aber unter den Ressourcenaspekt erfolgt.

Recycling construction waste

Summary: Recycling efforts in order to restore used products and materials to the material cycle are by no means a new idea. In fact, used materials such as scrap metals, rags, clothing, paper, bones and ash have been collected for re-use ever since the Middle Ages. Throughout Antiquity and the Middle Ages materials from earlier structures that had fallen into disuse were constantly employed in new construction, and it was not until the Industrial Revolution enabled the mass production of building materials that construction waste recycling lost its importance and only became necessary in times of crisis when the demand for building materials could not be met by other means. A commonly quoted example is the recycling of building materials in the large German cities after the Second World War. It is certainly difficult to say when exactly “modern” building waste recycling began. Haulage contractors started the establishment of stationary recycling plants in the early 1980s. The specialised press reported the use of an aquamator in a newly built recycling plant already in 1984. It is thus clear that a turnaround is under way – from demolition to dismantling and from dumping to recovery. Buildings no longer needed or failing to answer the requirements of the users or state-of-the art standards are dismantled to clear the way for something new or simply for returning land to Nature. Actually, demolition and dismantling as well as processing have meanwhile become necessities and accepted elements of the building industry. The re-use of recycled building materials is still not universally accepted, however, on account of the shortcomings involved in the technologies used, which are not rising to the standards of ever more complex building materials and also due to bias in the assessment of the substances involved, a focus which to date has been based mainly on the contaminant aspect and not on the resources issue.

Stoffströme der Baubranche

Angaben zum Rohstoffverbrauch der Baubranche können zusammen mit Zahlen zum Aufkommen an Bauabfällen den regelmäßig vorgelegten Monitoringberichten des Kreislaufwirtschaftsträgers Bau [2] entnommen werden. Daraus geht hervor, dass die Bauwirtschaft in Deutschland einen erheblichen Bedarf an mineralischen Rohstoffen hat. Allein die Menge an Sand und Kies sowie Naturstein beträgt im Mittel 510 Mio. t (Tabelle 1). Dazu kommen die verwerteten Bauabfälle und industriellen Nebenprodukte sowie die Rohstoffe für die Herstellung von Zementen, von Steinen für den Mauerwerksbau und von Baugipsen. Die Menge dieser Rohstoffe beläuft sich nach [4] auf ca. 100 Mio. t. Als Summe ergibt sich daraus ein Stoffstrom von nahezu 700 Mio. t, der jährlich zu Bauwerken unterschiedlichster Art verarbeitet wird.

Dem Rohstoffbedarf der Baubranche steht ein Aufkommen an Bau- und Abbruchabfällen gegenüber, dass – wengleich es den größten Abfallstrom in Deutschland darstellt – vergleichsweise gering ist. Der Monitoringbericht von 2007 weist aus, dass in Deutschland im Jahre 2004 72,4 Mio. t Bauabfälle anfielen, die sich in die Stoffgruppen mineralischer Bauschutt (50,5 Mio. t), Straßenaufbruch (19,7 Mio. t) und Baustellenabfälle einschließlich Bauabfälle auf Gipsbasis (2,2 Mio. t) aufteilten. Die Verwertungsquote als Quotient aus verwerteter Menge und Aufkommen lag bei ca. 70%.

Bei einer Betrachtung der seit 1996 verfügbaren Daten zum Aufkommen an Bauabfällen und deren Verbleib (Tabelle 2) wird deutlich, dass bei den Zahlen zum Aufkommen an Bauabfällen gewisse Schwankungen auftreten, die konjunkturell bedingt sein können. Die summarischen Recyclingquoten sind dagegen relativ konstant. Die Begründung dafür ist, dass bei intensiver Bautätigkeit große Bauabfallmengen entstehen. Gleichzeitig zieht eine intensive Bautätigkeit einen hohen Roh- und Baustoffbedarf nach sich, der z.T. mit Recycling-Baustoffen gedeckt wird.

Bei den Einsatzgebieten von Recycling-Baustoffen, die aus Bauabfällen her-

TABELLE 1

Von der Bauwirtschaft verarbeitete Mengen an Sand, Kies und Naturstein nach [2][3]

	1996	1998	2000	2002	2004	2006
	Aufkommen [Mio. t]					
Kies und Sand		372,5	343,0	303,5	278,9	277,0
Naturstein	Keine Angabe	190,0	210,0	201,6	190,0	187,0
Gesamt		562,5	553,0	505,1	468,9	464,0

TABELLE 2

Bauabfallmengen, Einsatzgebiete von daraus hergestellten Recycling-Baustoffen und Recyclingquoten nach [2][3]

	1996	1998	2000	2002	2004	2006
	Aufkommen [Mio. t]					
Bauschutt (aus dem Hochbau)	58,1	58,5	54,5	52,1	50,5	57,1
Straßenaufbruch	17,6	14,6	22,3	16,6	19,7	14,3
Gemischte Bau- und Abbruchabfälle (ab 2004 inkl. Gipsabfälle)	7,5	4,0	11,8	4,3	2,2	11,3
Gesamt	83,2	77,1	88,6	73,0	72,4	82,7
	Verbleib [Mio. t]					
Straßenbau	38,2	40,4	42,5	35,5	32,9	
Erdbau	13,4	11,8	11,9	9,9	12,3	
Beton	1,6	0	1,9	0,8	2,4	
Sonstiges	5,3	3	5,1	4,9	2	
Gesamt	58,5	55,2	61,4	51,1	49,6	56,2
	Recyclingquote [%]					
	70,3	71,6	69,3	70,0	68,6	68,0

TABELLE 3

Verwertungsquoten für die verschiedenen Kategorien von Bauabfällen [2]

	1996	1998	2000	2002	2004
	Recyclingquote [%]				
Bauschutt aus dem Hochbau	70,1	70,9	74,5	68,5	61,6
Straßenaufbruch	79,0	85,6	85,7	85,5	93,4
Baustellenabfälle	53,8	30,0	14,4	27,9	4,5

gestellt wurden, dominiert der Straßenbau, gefolgt vom Erdbau. Nur ein geringer Prozentsatz des Materials wird gegenwärtig als Gesteinskörnung für die Betonherstellung verwendet.

Wird bei den Recyclingquoten zwischen den Bauabfallarten differenziert (Tabelle 3), nehmen die Quoten für den Bauschutt aus dem Hochbau und die Baustellenabfälle in dem betrachteten Zeitraum ab. Dagegen steigt die Quote für Straßenaufbruch an. Die Ursache für diese gegenläufigen Entwicklungen können die Unterschiede in der Zusammensetzung sein. Straßenaufbruch besteht aus As-

phalt- oder Betonauflbruch, weist eine gleichmäßige Qualität auf und ist deshalb gut rezyklierbar. Hochbauschutt bzw. Baustellenabfälle stellen ein heterogenes Gemisch unterschiedlicher Baustoffe dar, die mit einfachen Verfahren kaum zu anforderungsgerechten Produkten aufbereitet werden können. Beispielsweise erschweren Verbundbaustoffe, die aus mehreren Komponenten bestehen, das Recycling. Sie finden sich im Bauschutt und in den Baustellenabfällen wieder und senken die Materialausbeute.

Die große Differenz zwischen den von der Baubranche verarbeiteten Rohstoff-

mengen und den entstehenden Abfallmengen hat den Aufbau eines anthropogenen Baustofflagers zur Folge. Allerdings ist das insgesamt in Bauwerken aufgestaute Lager an Baustoffen kaum genau zu beziffern. Eine in [4] zitierte Abschätzung für 1991 ergab eine Gesamtmasse des Stofflagers im Hochbau von 10.100 Mio. t. Nach neusten, 2010 veröffentlichten Berechnungen [5] beträgt allein das Baustofflager „Wohnen“ 10.128 Mio.t. Dazu kommt das Baustofflager, das in Gewerbebauten, im Straßen- und Schienennetz, in sonstigen Verkehrs- und Versorgungsbauten sowie in Industriebauten enthalten ist.

Davon ist nur der Bestand im Straßen- und Schienennetz annäherungsweise zu beziffern, wenn bestimmte Annahmen zum spezifischen Baustoffinhalt gemacht werden [6]. Die Summation der Baustoffmengen in Wohnbauten sowie in Straßen- und Eisenbahnverkehrsnetzen ergibt einen Wert von 21.000 Mio.t. Diese Zahl gibt eine Orientierung zu dem Materiallager „Bau“, bildet aber nicht das gesamte Baustofflager ab. Gefolgert werden kann, dass das anthropogene Baustofflager einen erheblichen Umfang erreicht hat. Auch wenn es noch deutlich unter den vorhandenen Vorräten an Kies und Sand, die für Deutschland auf 220.000 Mio. t geschätzt werden, bleibt, wird es zukünftig zunehmend als Rohstofflager Berücksichtigung finden.

Innerhalb des Baustofflagers wird der Beton zunehmend zum dominierenden Baustoff. Zur Abschätzung der in Bauwerken vorhandenen Betonmengen können die Statistiken der Zementherstellung, die bis in die Zeit der Erfindung des Portlandzements zurückreichen, dienen. Werden nur die ab 1950 erzeugten Zementmengen einer Ermittlung der produzierten Betonmengen zugrunde gelegt, resultiert der dargestellte Verlauf (Abb. 1). Wird daraus die Betonmenge berechnet, die sich im Bauwerksbestand kumuliert hat, ergibt sich eine fiktive Menge von über 12 Milliarden Tonnen. Die tatsächliche Menge ist etwas geringer, weil der Abbruch von Betonbauwerken nicht berücksichtigt ist. Wird angenommen, dass 15% der jährlich dazu kommenden Betonmenge durch Rückbau und Abbruch dem Bauwerksbestand entnommen wird, beträgt die Betonmenge, die im Bauwerksbestand vorliegt, ca. 10.000 Mio. t (Abb. 2). Sie steht damit nicht im Widerspruch zu den o.g. Angaben für das Baustofflager.

2. Aufbereitungstechnologien

Die Aufbereitung hat die Aufgabe, aus dem Sekundärrohstoff Bauabfall (Abb. 3, Abb. 4) einen Recycling-Baustoff mit definierten Eigenschaften zu erzeugen. Das betrifft zum einen die Korngrößenzusammensetzung, die den Anforderungen entsprechen muss, die für das jeweilige Einsatzgebiet gelten, zum anderen müssen die Stoffzusammensetzung und bestimmte physikalische Merkmale eingehalten werden, insbesondere wenn die Gesteinskörnung im Straßenbau oder im Betonbau eingesetzt werden soll. Des Weiteren müssen Recycling-Baustoffe strenge Anforderungen zur Umweltverträglichkeit erfüllen.

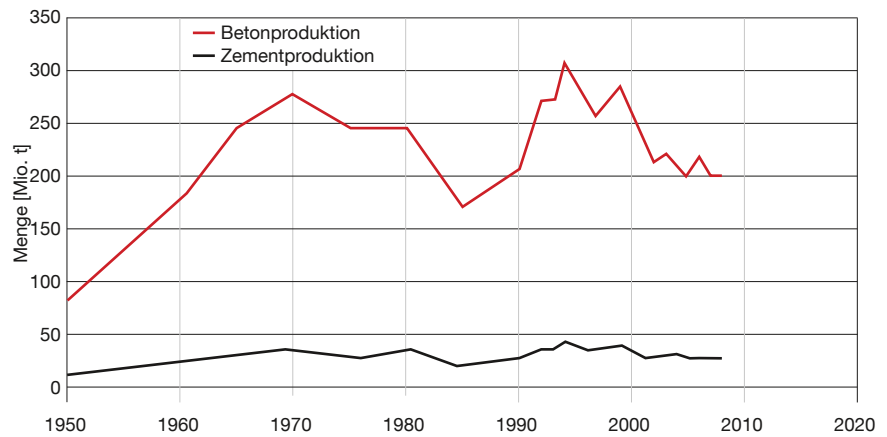


Abb. 1: Jährliche Betonproduktion in Deutschland seit 1950 (berechnet aus der Zementstatistik aus [7])

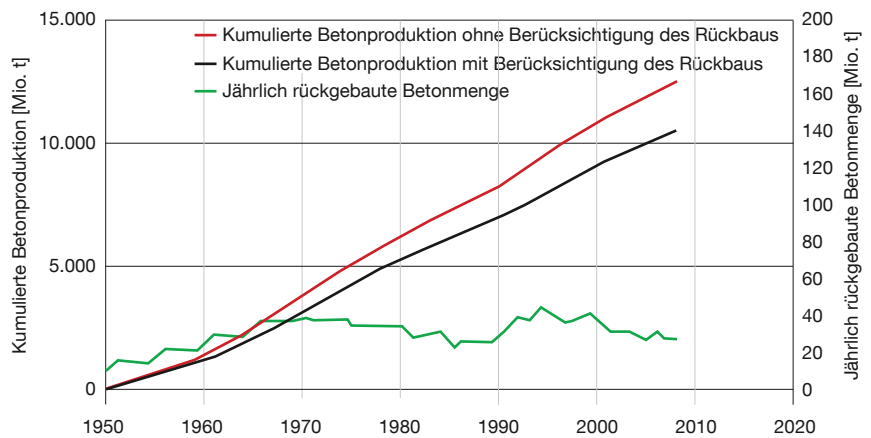


Abb. 2: Im Bauwerksbestand kumulierte Betonmenge



Abb. 3: Mauerwerkbruch im Ausgangszustand



Abb. 4: Betonbruch im Ausgangszustand

Die Aufbereitungstechnologien für Bauabfälle sind im Wesentlichen von den Technologien für natürliche Baurohstoffe abgeleitet. Die eingesetzten Brecher entsprechen von den realisierten Beanspruchungsmechanismen her den Maschinen, die zur Aufbereitung natürlicher Zuschläge verwendet werden. Konstruktive Veränderungen betreffen hauptsächlich den Bereich des Materialaustrags. Mit diesen Brechern wird in erster Linie eine Reduktion der Korngröße erreicht. Bei einem Beton, z.B. aus einem Straßenaufbruch

reicht das aus, um ein robustes Produkt, das als Tragschichtmaterial eingesetzt werden kann, herzustellen.

Die Aufbereitung von Bauabfällen zu Recycling-Baustoffen kann in mobilen oder stationären Anlagen erfolgen. Wie in Abb. 5 gezeigt ist die Anzahl der mobilen Anlagen deutlich höher als die der stationären oder semi-mobilen Anlagen. Die Anzahl der stationären Anlagen hat sich über den betrachteten Zeitraum von 1996 bis 2008 nur wenig verändert, während die Anzahl der mobilen Anlagen größere

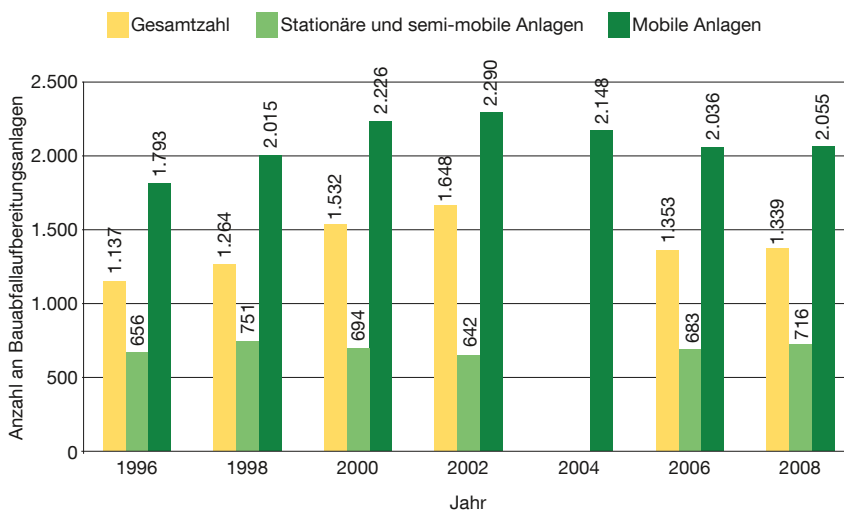


Abb. 5: Anzahl der Aufbereitungsanlagen für Bauabfälle in Deutschland (Angaben entnommen aus [8])

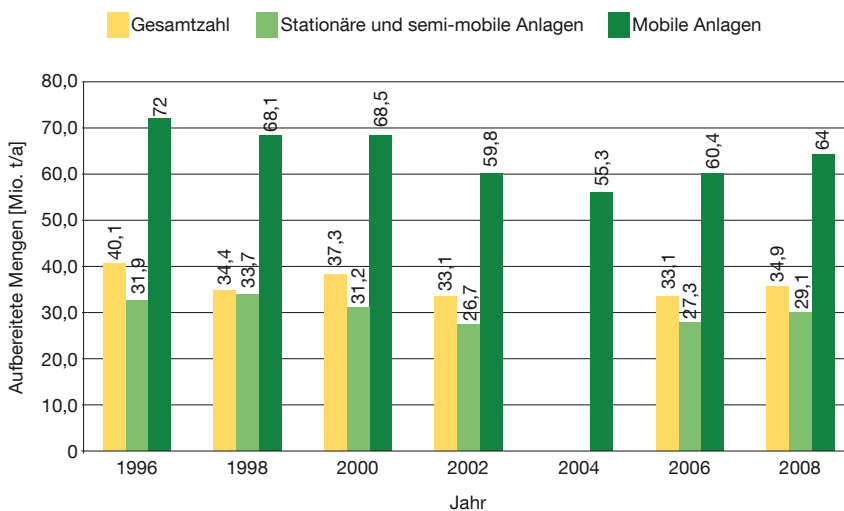


Abb. 6: Stationär bzw. mobil aufbereitete Bauabfallmengen (Angaben entnommen aus [8])

Schwankungen zeigt. Die in mobilen Anlagen verarbeitete Menge an Bauabfall beträgt 35 Mio. t/a. In stationären bzw. semi-mobilen Anlagen werden 30 Mio. t/a aufbereitet (Abb. 6).

In mobilen Aufbereitungsanlagen wird das Abbruchmaterial, das ggf. vorzerkleinert werden muss, zunächst durch Vorabsiebung in zwei Fraktionen getrennt. Das Grobgut wird dem Brecher zugeführt und zerkleinert. Ein nach dem Brecher angeordneter Überbandmagnet entfernt die Stahl- und Eisenteile. Als Produkte entstehen bei dieser Aufbereitungstechnologie das sogenannte Vorsiebmaterial und der eigentliche Recycling-Baustoff. Mit dieser Variante ist im Wesentlichen nur die Korngröße beeinflussbar. Eine direkte Einflussnahme auf den Stoffbestand ist nicht möglich.

Anspruchsvollere Technologien für die Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfäl-

len können in stationären Anlagen verwirklicht werden. Dabei können folgende, zusätzliche Aufbereitungsschritte durchlaufen werden:

- Zweistufige Zerkleinerung: Prallbrecher im Anschluss an einen Backenbrecher
- Aussortieren von Störstoffen am Sortierband sowie mittels Windsichtung oder Nasswäsche
- Herstellung von Kornfraktionen mittels Vibrationssiebmaschine.

Mit den in der Bauabfallaufbereitung eingesetzten Sortierverfahren ist eine Einflussnahme auf den Stoffbestand in gewissen Grenzen möglich. So können mit der Windsichtung leichte Störstoffe wie Papier, Folien, Dämmstoffe und z.T. auch Holz abgeschieden werden. Eine Trennung der mineralischen Komponenten ist

mit bestimmten nassen Sortierverfahren möglich.

3. Verwertungswege für RC-Baustoffe

Wie bereits der Tabelle 2 zu entnehmen ist, stellt der Bau von Straßen- und Verkehrsflächen den am meisten genutzten Verwertungsweg für Recycling-Baustoffe dar. Eingesetzt werden können Recycling-Baustoffe, die aus Asphalt oder Betonaufbruch hergestellt wurden. Damit ist in diesem Sektor ein nahezu geschlossener Stoffkreislauf aufgebaut. Im Hochbau ist dieser Zustand dagegen noch nicht erreicht. So werden nach der von Weil [4] vorgenommenen detaillierten Bilanzierung der Stoffströme im Hochbau und im Tiefbau, von den insgesamt 51,7 Mio.t/a Bauschutt aus dem Hochbau, die der Aufbereitung zugeführt werden, lediglich 1,9 Mio. t als Recycling-Baustoffe in den Hochbau zurückgeführt. Die überwiegende Menge von 40,4 Mio. t/a wird in ungebundener Form im Straßen- und Tiefbau verwertet. Der verbleibende Rest von 9,4 Mio. t/a wird deponiert.

Gegenwärtig sind verstärkt Bemühungen zu beobachten, im Hochbau ebenfalls geschlossene Kreisläufe zu etablieren [9]. Ziel ist es, aus Betonbruch rezyklierte Gesteinskörnungen herzustellen, welche den in der DIN 4226-100 „Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel. Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen“ gestellten Qualitätsanforderungen genügen und entsprechend der Richtlinie des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton für die Betonherstellung eingesetzt werden können [10][11]. In den Untersuchungen der erzeugten Rezyklate und der daraus hergestellten Betone [9] wurde nachgewiesen, dass in Bezug auf die Aufbereitung eine Minimaltechnologie ebenso wie eine erweiterte Technologie in Abhängigkeit von der Qualität des Ausgangsmaterials zum Erfolg führen kann:

- Besteht die Aufbereitung nur aus einer Zerkleinerung mittels Prallbrecher und einer anschließenden Klassierung können anforderungsgerechte Rezyklate erzeugt werden, wenn ein sortenreines Inputmaterial „Betonbruch“ vorliegt.
- Wird eine erweiterte Technologie bestehend aus einer zweistufigen Zerkleinerung, einer Siebklassierung zur Einstellung einer definierten Korngrößenverteilung und einer Nasswäsche angewandt, lassen sich auch leichte Störstoffe aus dem Ausgangsmaterial

entfernen. Die Anforderungen an das Ausgangsmaterial können in dieser Hinsicht etwas reduziert werden.

Im Rahmen von mehreren Projekten wurden Rezyklate aus beiden Aufbereitungsvarianten untersucht und für die Betonherstellung eingesetzt. Die Qualitätsparameter, die in der mobilen bzw. der stationären Anlage erreicht wurden, sind in *Tabelle 4* gegenübergestellt. In beiden Fällen erfüllten die Rezyklate die Anforderungen der DIN 4226, Teil 100. Es konnten anforderungsgerechte Betone hergestellt werden.

Von dem Material, das in der stationären Anlage aufbereitet wurde, wurden ausgewählte Parameter an trocken bzw. nass aufbereiteten Chargen bestimmt. Besonders deutlich ist der Unterschied der Gehalte an Beton und natürlicher Gesteinskörnung, der von 86,4 M.-% ohne Nassaufbereitung auf 98,6 M.-% mit Nassaufbereitung anstieg [13]. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung einer qualifizierten Aufbereitung und/oder einer hohen Sortenreinheit des angelieferten Materials für die Herstellung hochwertiger rezyklierter Gesteinskörnungen.

Recycling wird zu einer echten Herausforderung, wenn auch durch einen gezielten Rückbau keine Sortenreinheit erzielt werden kann. Das gilt besonders für Bauabfälle aus Mauerwerkbruch und die daraus hergestellten Körnungen, wie sie exemplarisch in *Abb. 7* dargestellt sind.

Hier ist eine deutlich aufwändigere Aufbereitung erforderlich, wenn das Material einer Verwertung zugeführt werden soll. Zwei unterschiedliche Strategien sind denkbar:

- Die „differenzierende“ Strategie: Nach der Vorabsiebung wird das Bauabfallgemisch zerkleinert und zunächst die Störstoffe wie Holz und Kunststoffe abgetrennt. Die mineralischen Bestandteile werden anschließend durch geeignete Sortiertechnologien in un-



Abb. 7: RC-Baustoff aus Mauerwerkbruch

TABELLE 4

Ausgewählte Eigenschaften der stationär bzw. mobil aufbereiteten Rezyklate und der daraus hergestellten Betone [9][12]

	Parameter der Rezyklate	
	Stationäre Aufbereitung	Mobile Aufbereitung
Gehalt an Beton und natürlicher Gesteinskörnung	2/8 mm: 99,2 M.-% 8/16 mm: 98,6 M.-%	2/16 mm: 99,4 M.-%
Rohdichte	2/8 mm: 2535 kg/m ³ 8/16 mm: 2588 kg/m ³	2/16 mm: 2614 kg/m ³
Wasseraufnahme	2/8 mm: 3,1 % 8/16 mm: 2,2 %	2/16 mm: 3,3 %
Parameter der aus den Rezyklaten hergestellten Betone		
Festigkeitsklasse/ Expositionsklasse	C 30/37 XC4/XA1, XD1/XM1	C 30/37
Anteil an rezyklierter Gesteinskörnung	30 Vol.-%	45 Vol.-%
Druckfestigkeit nach 28 d	51,8 N/mm ²	44 N/mm ²

terschiedliche Baustoffarten getrennt. Die dann sortenrein vorliegenden Fraktionen an Ziegel, Kalksandstein, Porenbeton oder Beton können als Sekundärrohstoff für die Herstellung des jeweiligen Baustoffs wieder eingesetzt werden. Der Vorschlag solche „Stoffsubkreisläufe“ aufzubauen, wurde erstmals 1998 von Kohler vorgelegt [14].

- Die „integrierende“ Strategie: Nur die Störstoffe werden abgetrennt und anschließend das gesamte Bauabfallgemisch ohne Stofftrennung weiterverarbeitet. Diese Strategie wird gegenwärtig erstmals in einem Verbundforschungsprojekt [15] für eine Produktentwicklung genutzt.

Bei der „differenzierenden“ Strategie nimmt die Sortierung - wie in anderen Sektoren der Abfallwirtschaft auch - eine Schlüsselstellung ein. Dabei kann auf herkömmliche Verfahren wie die Setztechnik zurückgegriffen werden. Diese Technik ist ein seit Jahrhunderten bekanntes Aufbereitungsverfahren, bei welchem die Trennung in einem pulsierenden Wasserstrom stattfindet. Es fand erstmals 1556 bei Agricola als Erzgewinnungsverfahren Erwähnung [16]. Heute dienen Setzmaschinen zur Aufbereitung von Kohle, Erzen, Kiesen und anderen Rohstoffen. Zunehmend wird diese Technik auch beim Recycling von Baustoffen eingesetzt. Durch Veränderungen des Setzhubdiagramms können auch mineralische Gemische aus Komponenten mit geringen Dichteunterschieden oder feinkörnige Gemische getrennt werden. Beispiele sind die Abtrennung von Gips aus Gips-Beton-Gemischen oder die

Trennung von Betonbrechsanden in zementsteinreiche Partikel und solche mit geringem Zementsteingehalt. Die Sortierquotienten, die als Verhältnis der Dichtedifferenzen von Schwerstoff und Fluid ($\rho_{\text{Schwerstoff}} - \rho_{\text{Fluid}}$) zu Leichtstoff und Fluid ($\rho_{\text{Leichtstoff}} - \rho_{\text{Fluid}}$) berechnet werden, liegen für diese Gemische zwischen 1,2 und 1,6. Dabei wird angenommen, dass die Partikel im wassergesättigten Zustand vorliegen und das Fluid die Dichte von reinem Wasser hat. Nach Lehrbuchmeinung ist bei diesen Quotienten nur ein mäßiger Erfolg der Sortierung zu erwarten, was durch die Versuche mit den Setzmaschinen [17][18][19], die an die jeweiligen Aufgabenstellungen angepasst worden waren, widerlegt werden konnte (*Abb. 8, Abb. 9*). Besonders deutlich war die Abnahme des Gipsgehaltes im Produkt auf ca. ein Drittel des Gehaltes im Ausgangsmaterial.

Zu den neueren Sortierverfahren gehört die sensorgestützte Sortierung, mit welcher die Partikel eines Haufwerks erkannt und in Stoffgruppen getrennt werden können. Die dann sortenrein vorliegenden Fraktionen an Ziegel, Kalksandstein, Porenbeton, Beton oder Leichtbeton wären als Rohstoff oder Zuschlag zur Herstellung des ursprünglichen Produkts entsprechend der „differenzierenden“ Strategie der Substoffkreisläufe geeignet. Die Sensoren für die Partikelidentifizierung können in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen des elektromagnetischen Spektrums arbeiten.

Bei der Aufbereitung von Kunststoffabfällen oder Altpapier wird die Identifizierung im Nahinfrarotbereich vorgenom-

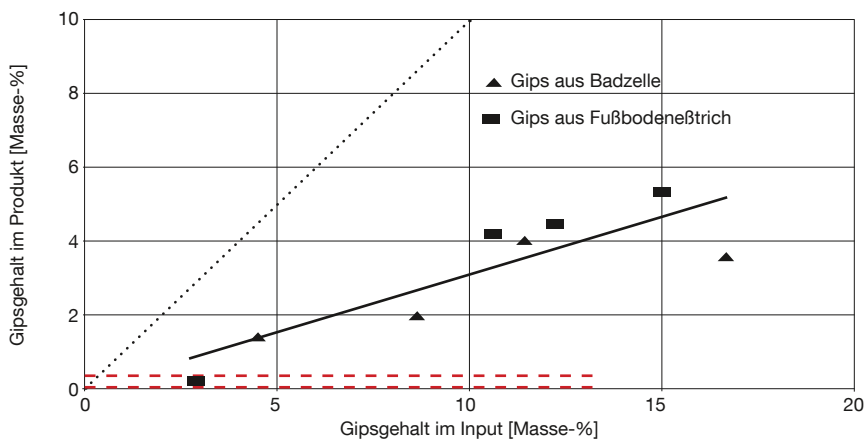


Abb. 8: Veränderungen der Gipsgehalte im Produkt in Abhängigkeit vom Gipsgehalt im Aufgabematerial
 Grenzwerte für Gipspartikel: 0,2 M.-% bzw. 0,5 M.-% entsprechend DIN 4226-100
 Mittlere Rohdichten Beton 2,22 g/cm³, Badzellen-Gips: 1,56 g/cm³, Estrich-Gips: 1,89 g/cm³

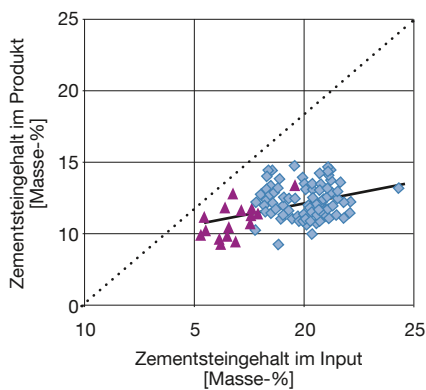


Abb. 9: Veränderungen der Zementsteingehalte im Produkt der Betonbrechsande B (Rauten) und C (Dreiecke) in Abhängigkeit vom Zementsteingehalt im Aufgabematerial
 Mittlere Rohdichten: Zementsteinarmer Beton 2,25...2,29 g/cm³, zementsteinreicher Beton 1,94...2,07 g/cm³

men. Um zu ermitteln, ob mittels der Nahinfrarottechnik auch eine Unterscheidung der verschiedenen Hauptbaustoffarten möglich ist, wurden erste Untersuchungen vorgenommen [20]. Als Beispiel sind die 1. Ableitungen der Mittelwertspektren, die aus 11612 Spektren von insgesamt 59 Proben von verschiedenen Baustoffarten gebildet wurden, dargestellt (Abb. 10). Daraus ist zu entnehmen, dass signifikante Intensitätsunterschiede im Wellenlängenbereich um 2220 nm zwischen Ziegeln und Mauerwerkbruch einerseits und mineralisch, durch Calciumsilicathydrate gebundenen Baustoffen andererseits bestehen. Die Ursachen für diese Unterschiede und die Möglichkeiten, daraus eindeutige Identifizierungsmerkmale abzuleiten, ist Gegenstand wei-

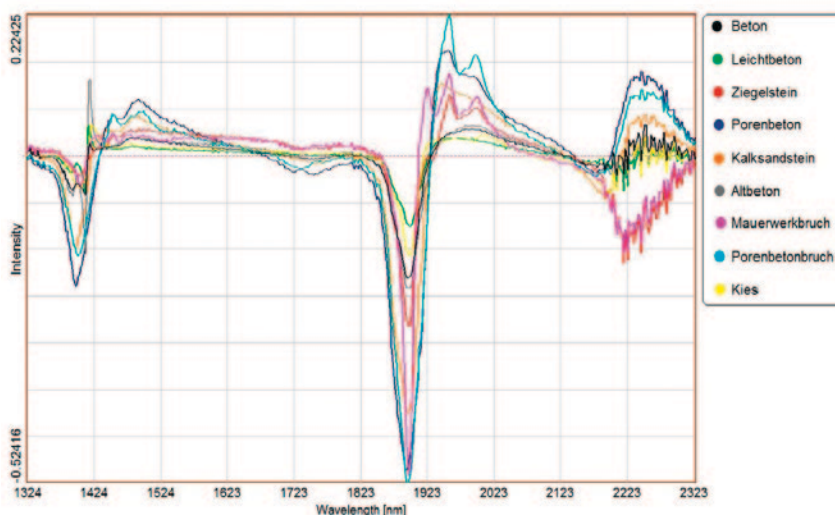


Abb. 1: Erste Ableitung der Mittelwertspektren der 9 Hauptkomponenten einer Baustoffsammlung [20]

terer Forschungen.

Eine rohstoffliche Verwertung ohne vorherige Trennung nach Stoffarten entsprechend der „integrierenden“ Strategie verlangt die bisher nur selten vorgenommene Bewertung der Bauabfälle anhand ihrer chemischen Zusammensetzung. Daraus ergibt sich, dass Mauerwerkbruch die chemischen Voraussetzungen für die Herstellung von geblähten Granulaten ähnlich dem Blähton erfüllt [22][21][22]. Im Rahmen eines Verbundprojektes wird gegenwärtig an der Technologieentwicklung gearbeitet. Heterogener, von RC-Anlagen angelieferter Mauerwerkbruch, der nach der Mahlung mit einem Blähmittel versetzt wurde, wird zu Leichtgranulaten verarbeitet. Der Verfahrensablauf ist der Technologie der Blähtonherstellung ähnlich und umfasst die Schritte Zerkleinerung des Ausgangsmaterials → Zugabe eines Blähmittels, Mischung und Formgebung (Pelletiermischer) → thermische Behandlung. In Abb. 11 sind nach diesem Verfahrensablauf hergestellte Granulate dargestellt. Die gegenüber dem Ausgangsmaterial erreichte Vergleichmäßigung der Produkteigenschaften, die auf eine „Autohomogenisierung“ durch die Mischung verschiedener Baustoffarten im Mauerwerkbruch, die Mahlung und die Formgebung zurückgeführt werden kann, ist am Beispiel der Rohdichte dargestellt. Das Produkt kann als leichte Gesteinskörnung im Beton und zusätzlich in anderen Anwendungsfeldern - auch über den Bausektor hinausgehend - eingesetzt werden.

Bei der Beurteilung des Aufwands, welcher für die Herstellung der Leichtgranulate erforderlich ist, stellt sich die Frage nach der gewählten Bezugsbasis. Bei einem Vergleich mit der gegenwärtig praktizierten Anwendung von wenig oder gar nicht aufbereitetem Mauerwerkbruch für Verfüllungen von Kiesgruben etc. erfordern die Leichtgranulate einen deutlich höheren Aufwand. Allerdings sind aus diesem Baustoff keine Schadstoffauswaschungen zu erwarten. Bei einem Vergleich mit Blähtonen werden die Unterschiede im Herstellungsaufwand dagegen gering sein. Im Sinne der Ressourcenschonung stellen die Leichtgranulate aus Mauerwerkbruch das deutlich günstigere Produkt dar, weil sie ohne den Verbrauch von natürlichen Rohstoffen herstellbar sind. Die Technologie zur Erzeugung von Leichtgranulaten stellt somit einen Baustein im Konzept einer nachhaltigen »Recyclingfabrik der Zukunft« dar, die ihre Roh- und Brennstoffe aus Bauabfällen bezieht, Stoffkreisläufe schließt und somit ei-

nen wichtigen Beitrag für die Umwelt leistet.

4. Zusammenfassung

Bauabfälle stellen den größten Abfallstrom in Deutschland dar. 70% der Bauabfälle werden bereits verwertet, wobei der Straßen- und Tiefbau dominiert. Der Wiedereinsatz von aufbereitetem Betonbruch für die Betonherstellung spielt bisher eine eher untergeordnete Rolle. Z.Z. sind aber verstärkt Bemühungen zu beobachten, positive Praxisbeispiele für die Betonherstellung aus normgerechten, rezyklierten Gesteinskörnungen zu schaffen und bekannt zu machen, um so Impulse für die kommerzielle Herstellung von Transportbeton aus RC-Baustoffen in Deutschland zu geben.

Für Bauabfälle aus Mauerwerkbruch, stehen bisher noch keine technischen Lösungen für eine hochwertige Verwertung zur Verfügung. Hier muss entweder die Sortierung ausgebaut werden, um die heterogenen Ausgangsgemische in sortenreine Teilströme zu zerlegen, oder eine rohstoffliche Verwertung erfolgen, mit der sich Leichtzuschläge ähnlich den Blähto-

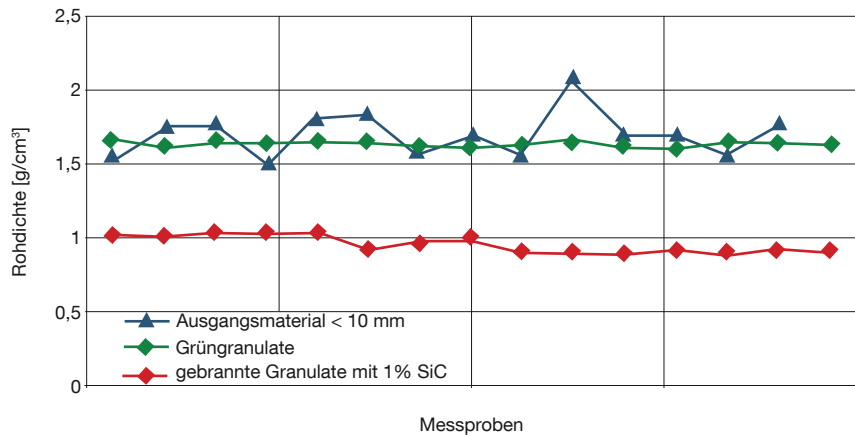
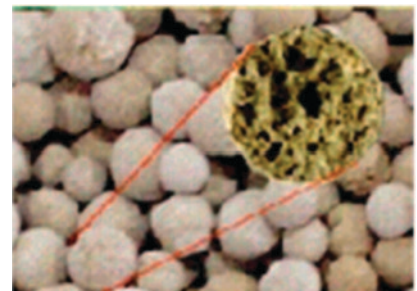


Abb. 11: Ansicht der gebrannten Granulate und Nachweis der Vergleichmäßigkeit anhand der Rohdichte

nen herstellen lassen. Zu beiden Sektoren besteht noch Forschungsbedarf. ■

Korrespondenz:
 Prof. Dr.-Ing. Anette Müller
 Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung e. V.
 Postfach 2022
 99401 Weimar
 anette-m.mueller@abw-recycling.de



LITERATUR

- [1] Krüger, W.: Neue Recyclinganlage zur Herstellung von Baustoffen aus Bauschutt in Düsseldorf. Aufbereitungs-Technik – Nr. 10/1984. S. 613-614.
- [2] Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau (KWTB): 1.-5. Monitoring-Bericht Bauabfälle. Berlin/ Düsseldorf/ Duisburg 2000, 2001, 2003, 2005, 2007.
- [3] Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau (KWTB): 6. Monitoring-Bericht Bauabfälle (Erhebung 2006). Berlin 2008 (unveröffentlicht)
- [4] Weil, M.: Ressourcenschonung und Umweltentlastung bei der Betonherstellung durch Nutzung von Bau- und Abbruchabfällen. Schriftenreihe WAR der Technischen Universität Darmstadt. Heft 160. Darmstadt 2004.
- [5] Schiller, G.; Deilmann, C.: Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung. Umweltbundesamt, Texte, 56, 2010.
- [6] Baccini, P.; Bader, H.-P.: Regionaler Stoffhaushalt. Erfassung, Bewertung und Steuerung. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin, Oxford 1996.
- [7] <http://www.bdzement.de/> Stichwort Statistik
- [8] <http://www.destatis.de> Umweltstatistische Erhebungen, Abfallwirtschaft
- [9] Knappe, F.: Hochwertige Verwertung von Bauschutt als Zuschlag für die Betonherstellung, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, Zwischenbericht ifeu-Institut Heidelberg Dezember 2010, unter: <http://www.rc-beton.de/rc-beton-projekte/stuttgart-ost/stuttgart-ost-download.html>
- [10] DIN 4226-100:2002-02: Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel. Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen. Beuth-Verlag, Berlin, 2002.
- [11] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie - Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100 - Teil 1: Anforderungen an den Beton für die Bemessung nach DIN 1045-1, Beuth-Verlag, Berlin, 2004.
- [12] Mettke, A.: Untersuchungsergebnisse zu den Eigenschaften der entwickelten RC-Betonrezepturen. Bericht zum DBU-Forschungsprojekt AZ 26101-23. Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik, Lehrstuhl Altlasten, Fachgruppe Bauliches Recycling. Cottbus 2009.
- [13] Mettke, A.: Pilotprojekt Recycling-Beton. Sind Normal- und RC-Betone vergleichbar? Vortrag Ludwigshafen, 30. Juni 2009.
- [14] Kohler, G.: Kreisläufe schließen. Beratende Ingenieure, Mai 1998, S. 41-48.
- [15] <http://www.aufbaukoernung.de>
- [16] Agricola, G.: De re metallica - Translated from the first latin edition of 1556. Hrsg. H.C. Hoover und L.H. Hoover. New York: Dover Publications Inc. 1950.
- [17] Müller, A.; Kehr, K.; Schnellert, T.: Gips im Griff – Gypsum under control Teil 1. AT Mineral Processing Vol.51, 2010, S. 34-43.
- [18] Müller, A.; Kehr, K.; Schnellert, T.: Gips reduziert - Gypsum reduced Teil 2. AT Mineral Processing Vol. 51, 2010, S. 54-69.
- [19] Müller, A.; Weimann, K.: Leistungsfähigkeit der Setztechnik. BR Fachzeitschrift für Baustoffrecycling, Abbruch, Entsorgung und Altlastensanierung, 26. Jahrgang, 2010, März/April, S. 20-27.
- [20] Escher, M.: Untersuchungen zur Sortierbarkeit von heterogenen Abbruchgemischen mittels Nahinfrarot-Technik. Diplomarbeit, Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung, Bauhaus-Universität Weimar, Dezember 2010.
- [21] Schnell, A., Müller, A.: Thermische und hydrothermale Erhärtung von Granulaten aus Bau- und Abbruchabfällen Chemie Ingenieur Technik, 82 (2010), Heft 11, S. 1999-2004.
- [22] Müller, A.; Rübner, K., Schnell, A.: Das Roststoffpotential von Bauabfällen. Chemie Ingenieur Technik, 82 (2010), Heft 11, S. 1861-1870.