

Baustoffrecycling – beantwortete und offene Fragen

Recycling als die Rückführung genutzter Produkte und Materialien in den Stoffkreislauf ist kein Phänomen unserer Zeit. Bei den meisten erhaltenen Bauwerken von der Antike bis zum Mittelalter kann der Rückgriff auf das Material älterer Bauwerke nachgewiesen werden. Erst nachdem die industrielle Revolution die Massenproduktion von Baustoffen ermöglichte, verlor das Baustoffrecycling seine Bedeutung.

Den Zeitpunkt des Beginns des „modernen“ Baustoffrecycling angeben zu wollen, ist 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. Eine Wende vollzieht sich – vom Abbruch zum Rückbau und von der Deponierung von Bauabfällen zur Verwertung. Bauwerke, die nicht mehr benötigt werden, oder solche, die nicht mehr den Ansprüchen der Nutzer oder den technischen Anforderungen genügen, werden zurückgebaut. 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.

1 Aufbereitung von Bauabfällen

Die Aufbereitung hat die Aufgabe, aus dem Sekundärrohstoff Bauabfall einen Recycling-Baustoff mit definierten Eigenschaften zu erzeugen. Das betrifft zum einen die Partikelgrößenzusammensetzung, die den Anforderungen entsprechen muss, die für das jeweilige Einsatzgebiet gelten. Zum anderen müssen die Materialzusammensetzung und bestimmte physikalische Merkmale eingehalten werden, insbesondere wenn die Gesteinskörnung im klassifizierten Straßenoberbau oder im Betonbau angewendet werden soll.

Die Qualität der erzeugten Recycling-Baustoffe hängt von dem jeweiligen Ausgangsmaterial und der eingesetzten Aufbereitungstechnologie ab. Bei homogenem Ausgangsmaterial kann mit einem geringen technologischen Aufwand ein qualitätsgerechter Recycling-Baustoff erzeugt werden. Ist das Ausgangsmaterial sehr heterogen, muss der Aufbereitungsprozess deutlich aufwändiger sein, um dieses Ziel zu erreichen. Die für die Bauschuttaufbereitung zu wählende Technologie wird also durch die Merkmale des Ausgangsmaterials und die angestrebte Produktqualität bestimmt.

Zerkleinerung

Bei der Aufbereitung von Bauabfällen nimmt die Zerkleinerung eine Schlüsselstellung ein. Zum Einsatz kommen hauptsächlich Backenbrecher und Prallbrecher, in welchen das Material durch Druck oder Prall beansprucht wird. Bedingt durch das näherungsweise spröde Verformungsverhalten der Hauptbestandteile von Bauabfällen entstehen polydisperse Partikelkollektive, in welchen Partikel verschiedenster Größen in unterschiedlichen Anteilen nebeneinander vorliegen. Die Charakterisierung in Bezug auf die Granulometrie erfolgt mit Hilfe von Siebanalysen.

In Abbildung 1 sind Partikelgrößenverteilungen von insgesamt 14 RC-Baustoffen, die aus Prüfberichten entnommen wurden, dargestellt. Bei einem Größtkorn von 45 mm entsteht ein Feinanteil < 0,063 mm von 1,6 bis 5 %. Der Anteil der Gesteinskörnungen < 2 mm bzw. < 4 mm beträgt 15 bis 35 % bzw. 20 bis 40 %. Die granulometrischen Anforderungen nach den Vorschriften des Straßenbaus (TL SoB-StB) werden erfüllt.

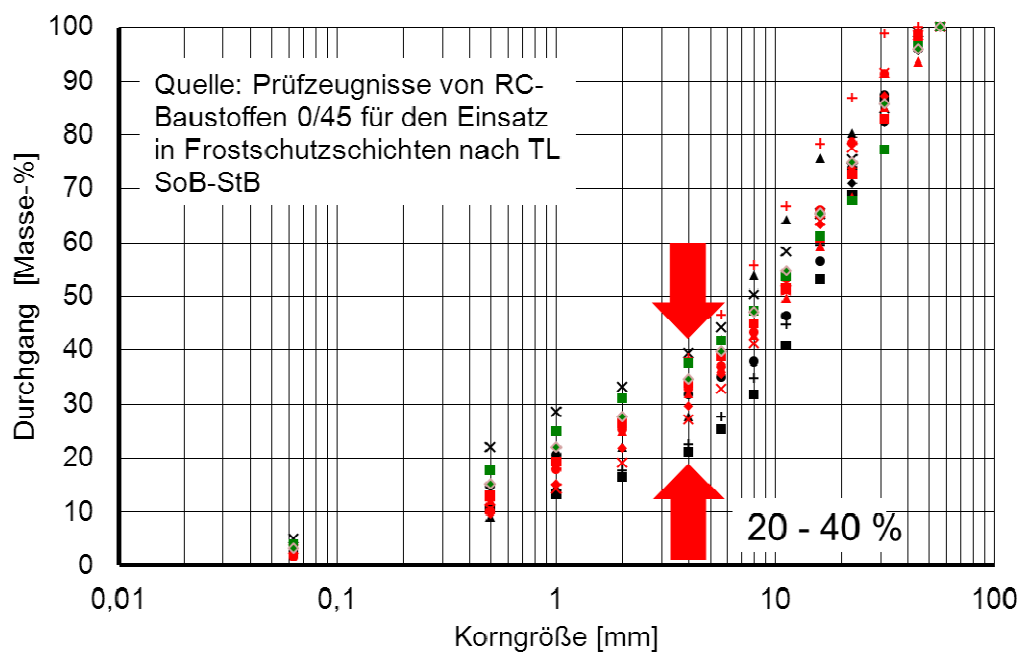


Abb. 1: Korngößenverteilungen von RC-Baustoffen 0/45 mm, Daten entnommen aus Prüfzeugnissen

Zusätzlich zur Granulometrie bestehen für RC-Baustoffe Anforderungen an die Materialzusammensetzung. Die Bestimmung der Materialzusammensetzung kann nur an den groben Gesteinskörnungen > 4 mm erfolgen. Bei der Verwendung für Frostschutz- oder Schottertragschichten kommt aber die gesamte Körnung 0/45 mm zum Einsatz. Ca. ein Drittel dieser Körnung kann also nicht im Hinblick auf ihre stoffliche Zusammensetzung geprüft werden. Es ergibt sich also die Frage, ob die Zusammensetzung der Fraktion < 4 mm identisch mit der der geprüften Fraktion 4/45 mm ist.

Bei der Verwertung als rezyklierte Gesteinskörnung für Beton kommen nur grobe Gesteinskörnungen > 4 mm zum Einsatz. Hier stellt sich die Frage, wie die Sandfraktion verwendet werden kann. Es bestehen mehrere Optionen:

- Mahlung und Verwendung als Zementersatz oder Betonzusatz
- Verwendung als Pflastersand
- Verwertung in Prozessen mit SiO_2/CaO -Bedarf.

Die Verwendung als Zementersatz wurde mehrfach untersucht. Aus den eigenen Untersuchungen [1] ergab sich, dass das Betonmehl sich nicht an der Festigkeitsentwicklung beteiligt. Wird es als Zementersatz verwendet, kommt es zu einer Festigkeitsabnahme. Wird das Betonmehl als Betonzusatzstoff eingesetzt, tritt eine Zunahme der Festigkeit ein, die vermutlich auf die Verbesserung der Packungsdichte durch die Addition des Mehles zurückzuführen ist. Aus den Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass eine Kombination von Zementersatz und Betonzusatz Zementersparungen ohne Festigkeitsverluste erlaubt. Dazu durchgeführte Praxisversuche bestätigten das Konzept. Es konnten tatsächlich Zementersparungen ohne Festigkeitsreduzierungen erreicht werden.

Der Umsetzung der Verwertungsoption als Betonzusatzstoff kommt zu Gute, dass in der Norm DIN EN 12620 auf die Herstellung von Füllern auch aus rezyklierten Gesteinskörnungen hingewiesen wird. Für die Recyclingpraxis ergibt sich die Herausforderung, dass eine Mahlung als zusätzlicher Prozessschritt erforderlich wird. Gleichzeitig werden dadurch aber die Voraussetzungen für eine wirkungsvolle Güteüberwachung anhand von chemischen und mineralogischen Parametern geschaffen.

Sortierung

Die Sortierung ist der zweite Verfahrensschritt mit entscheidender Bedeutung für die Qualität der RC-Baustoffe. Auch bei selektivem Rückbau bleiben Störstoffe im RC-Baustoff zurück. Beispiele sind Mörtel und Putze, die fest am Untergrund haften und zunächst durch eine Zerkleinerung abgetrennt werden müssen, oder die als Kammerfüllungen vorkommenden Wärmdämmstoffe in Mauersteinen.



Abb. 2: Ziegel mit anhaftendem Mörtel bzw. Leichtbetonstein mit Wärmedämmfüllung

Die in Recyclinganlagen angewandten Sortierverfahren leiten sich aus traditionellen Verfahren der Rohstoffaufbereitung ab oder sind spezielle Weiterentwicklungen für das Recycling. Bei der Mehrzahl der Verfahren wird auf die Dichte als Sortiermerkmal zurückgegriffen. Die Abhängigkeit der Sinkgeschwindigkeit eines Feststoffpartikels in einem fluiden Medium von seiner Masse wird genutzt, um Partikel gleicher Größe nach der Dichte zu trennen. Bei nassmechanischen Sortierverfahren werden zusätzliche Effekte wie gerichtete Strömungen, Filmströmungen und Schichtungserscheinungen in pulsierenden Strömungen einbezogen.

Die trockene Dichtesortierung wird mit Windsichtern realisiert. Damit können leichte Stoffe wie Dämmstoffe, Kunststoffe oder Papier abgetrennt werden. Hier kommt begünstigend hinzu, dass diese Bestandteile zum Teil flächig ausgebildet sind, was die Mitnahme der Fremdstoffe durch den Luftstrom begünstigt.

Leichtstoffe mit unterschiedlicher Dichte, Größe und Form, aber gleicher Sinkgeschwindigkeit sind in Abbildung 3 gegenübergestellt.

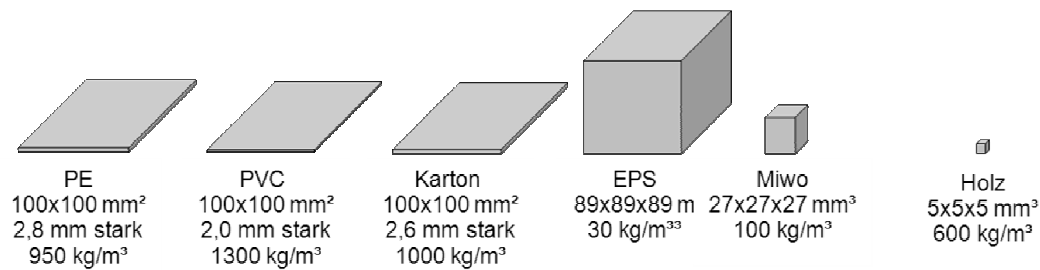


Abb. 3: Beispiele für gleichfällige Leichtstoffpartikel

Für die nasse Dichtesortierung können Aufstrom- und Filmschichtsortierer sowie Setzmaschinen eingesetzt werden. Die Trenndichten dieser Verfahren liegen im Bereich von 1,2 g/cm³ bis über 2,0 g/cm³ (Abbildung 4).

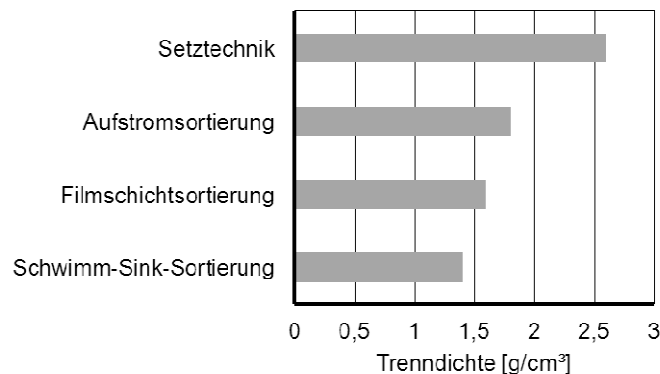


Abb. 4: Trenndichten für verschiedene nasse Sortiervverfahren [2]

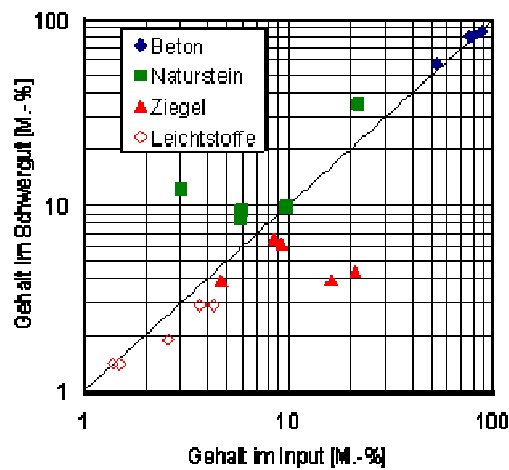
Die meisten Bestandteile von RC-Baustoffen weisen eine offene Porosität auf. Das hat zur Folge, dass die Partikel während des Sortiervorgangs Wasser aufnehmen und schwerer werden. Die wirksame Partikeldichte verschiebt sich von der Trockenrohddichte (OD) in Richtung der Dichte bei Wassersättigung (SSD), die dann mit der Trenndichte verglichen werden muss.

Tab. 1: Partikelrohddichten von Bauschuttbestandteilen im ofentrockenen und wassergesättigten Zustand

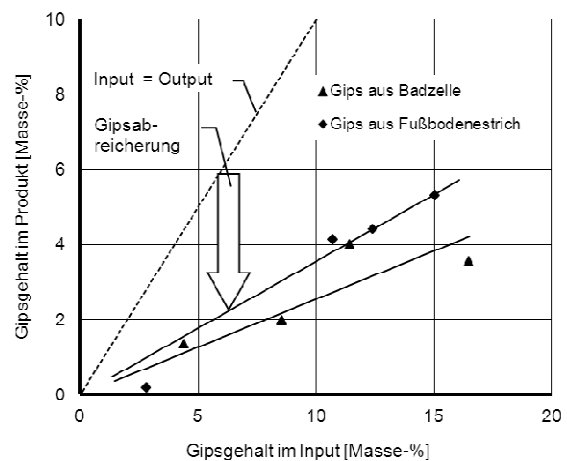
	Partikelrohddichte [g/cm³]	
	OD	SSD
Porenbeton	0,54-0,75	1,32-1,45
Gipsbaustoffe	0,96-1,86	1,58-2,12
Ziegel	1,68-1,99	2,01-2,20
Leichtbeton	1,38-2,30	1,82-2,38
Beton	1,76-2,58	2,06-2,58

Beispielsweise wären Porenbetonpartikel im trockenen Zustand sowohl mit der Filmschicht- als auch mit der Aufstromsortierung abtrennbar. Wird die Dichte bei Wassersättigung wirksam, lassen sich mit der Filmschichtsortierung lediglich ein Teil der Porenbetonpartikel abtrennen. Mit der Aufstromsortierung wäre zusätzlich zum Porenbeton ein Teil der Gipsbaustoffe entfernbare. Es ergibt sich also die Frage, wie die Veränderung der Dichte durch die Wasseraufnahme der Partikel die Abtrennung der mineralischen Leichtstoffe aus RC-Baustoffen tatsächlich beeinflusst. Eine Beantwortung durch experimentelle Untersuchungen steht noch aus, wird aber unter dem Aspekt ansteigender Gipsgehalte im Bauschutt immer dringlicher.

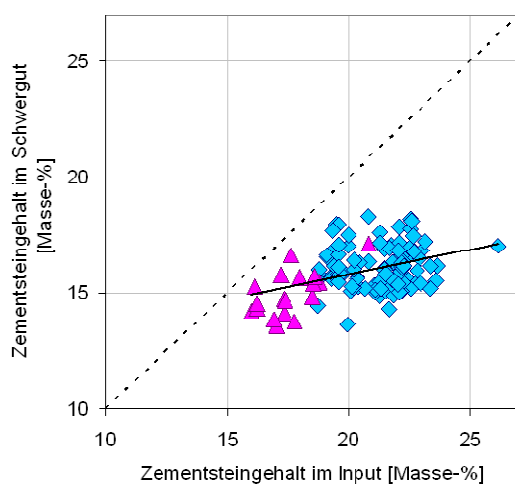
Die Sortierung von RC-Baustoffen mittels Setzmaschinen war bereits mehrfach Gegenstand von experimentellen Untersuchungen. Ausgewählte Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt.



Trennung der Fraktion 4/32 mm eines RC-Baustoffs



Aussortierung von Gipspartikeln aus der Fraktion > 4 mm



Veränderungen der Zementsteingehalte im Schwergut von zwei Betonbrechsanden

Abb. 5: Ergebnisse von Untersuchungen zur Sortierung mittels Setzmaschinen [3,4,5]

Bei RC-Baustoffen 4/32 mm aus mehreren Bestandteilen konnte eine Zunahme der Partikel aus natürlichen Gesteinskörnungen und eine Abnahme der Ziegelpartikel und der Leichtstoffe nachgewiesen werden. Bei gipshaltigen RC-Baustoffen > 4 mm wurde der Gipsgehalt durch die Setzsartierung deutlich reduziert. Gleiches wurde für den Zementsteingehalt in einem Betonbrechsand erreicht.

Eine Trennung der mineralischen Bestandteile, die nur geringe Dichteunterschiede aufweisen, ist mit der sensorgestützte Sortierung denkbar. Damit können die Partikel eines Haufwerks erkannt und in Stoffgruppen getrennt werden. Die dann sortenrein vorliegenden Fraktionen an Ziegel, Kalksandstein, Porenbeton, Beton oder Leichtbeton wären als Rohstoff oder Zuschlag zur Herstellung des ursprünglichen Produkts 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 vorgenommen. Um zu ermitteln, ob auch eine Unterscheidung der verschiedenen Hauptbaustoffarten mittels der Nahinfrarottechnik möglich ist, wurden erste Untersuchungen vorgenommen [6]. Die Ermittlung möglichst eindeutiger Identifizierungsmerkmale und die technische Umsetzung ist Gegenstand weiterer Forschungen.

Lagerung

Die Lagerung von RC-Baustoffen erfolgt in der Regel auf Halden im Freien. Ob es auf diesen Halden zumindest bei rezyklierten Gesteinskörnungen aus Betonbruch zu Reaktionen wie beispielsweise einer Carbonatisierung kommt, ist zu vermuten, aber nicht nachgewiesen. Bei Betonsand oder den feinen Anteilen von Korngemischen ist eine solche Reaktion wahrscheinlich. So konnte an der Fraktion 0/8 mm eines RC-Baustoffs aus Beton ein Calcitgehalt (CaCO_3) von 12,8 %, an dem Korngemisch 0/45 mm von 8 % nachgewiesen werden. Portlandit (Ca(OH)_2) wurde nicht gefunden. Bei RC-Sanden sind Krustenbildungen und das Entstehen feiner Aggregationen auf den Partikeloberflächen zu beobachten. Die gezielte Untersuchung dieser Phänomene steht noch aus.



Abb. 5: Krustenbildung und Aggregationen auf der Oberfläche von RC-Sanden

Offen sind auch die Fragen, ob die Calcitbildung im eingebauten Zustand ebenfalls erfolgt und ob es günstiger ist einen „abgelagerten“ RC-Baustoff zu verwenden, bei dem die Umwandlung von Portlandit in Calcit bereits abgeschlossen ist, oder einen „frischen“ RC-Baustoff, bei dem die Umwandlung bei ausreichendem Feuchtigkeitsangebot im eingebauten Zustand stattfindet.

2 Güteüberwachung

Bei der Güteüberwachung von RC-Baustoffen sind unterschiedliche Parameter zu bestimmen, wie beispielsweise die Korngrößenverteilung oder die Widerstandswerte gegen Schlag bzw. gegen Frost-Tau-Wechsel. Aber auch die stoffliche Zusammensetzung und umweltrelevante Merkmale müssen geprüft werden (Tabelle 2). Bei der Bestimmung der Zusammensetzung und aller anderen, an grobkörnigen Proben ermittelten Eigenschaften hängt die Zuverlässigkeit der

Ergebnisse maßgeblich von der verwendeten Probenmenge und dem Vorgehen bei der Probenahme ab.

Tabelle 2: Bei der Güteüberwachung von RC-Baustoffen nach TL SoB StB [7] zu bestimmende Parameter

Zusammensetzung	Granulometrische Parameter	Physikalische Parameter
– Materialzusammensetzung – Reinheit und schädliche Bestandteile – Umweltrelevante Parameter	– Korngrößenverteilung – Anteile < 0,063 mm – Überkorn – Kornform – Bruchflächigkeit	– Wassergehalt – Rohdichte – Proctordichte – Widerstand gegen Zertrümmerung – Widerstand gegen Frost-Tau-Wechselbeanspruchung

Die Probenahme aus heterogenen Haufwerken spielt in der Recyclingwirtschaft insgesamt eine wichtige Rolle. Oft ist der Gehalt bestimmter Fremdstoffe streng begrenzt, um die Eigenschaften der Sekundärprodukte nicht zu beeinträchtigen. Beispiele sind der Gehalt an Keramik, Porzellan und Steinen in aufbereitetem Altglas oder der Gehalt an Störstoffen in Ersatzbrennstoffen.

Die erforderliche Qualitätskontrolle führt nur dann zu zuverlässigen Ergebnissen, wenn eine ausreichende Probenmenge untersucht wird. Dabei hängt die erforderliche Probenmasse von den Eigenschaften des zu analysierenden Haufwerks, wie maximale Korngröße und Heterogenität ebenso wie von der Höhe des nachzuweisenden Gehaltes und den Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Aussage ab.

Für die Berechnungen der erforderlichen Probenmasse wurden verschiedene Modelle entwickelt, in welche die genannten Einflussgrößen eingehen. Unter den vereinfachenden Annahmen, dass die Probenzusammensetzung normalverteilt ist und die Probe aus Partikeln gleicher Größe und gleicher Dichte besteht, ergibt sich die Anzahl Z der Partikel, die eine Probe enthalten muss, welche für das Gesamthaufwerk repräsentativ ist, aus folgender Gleichung:

$$\text{Anzahl } Z = \left(\frac{z(S)}{y} \right)^2 \cdot \frac{1-P}{P} = \left(\frac{z(S)}{\Delta \bar{X} / P} \right)^2 \cdot \frac{1-P}{P}$$

Darin werden die gewünschte statistische Sicherheit durch den Faktor z(S), die relative Abweichung $y = \Delta \bar{X} / P$ (in g/g) und der Gehalt P der Komponente (in g/g), die bestimmt werden soll, berücksichtigt. Aus der Anzahl Z kann die benötigte Probenmenge unter der Annahme kugelförmiger Partikel und einer bestimmten Partikelgrößenverteilung sowie bei Kenntnis der Rohdichte berechnet werden.

In Tabelle 3 ist die Partikelanzahl, die sortiert werden muss, um nachzuweisen, dass die Anforderungen an die Materialzusammensetzung nach TL SoB StB erfüllt werden, angegeben.

Tabelle 3: Zu prüfende Partikelanzahl bei einer Sortieranalyse zur Bestimmung der Materialzusammensetzung (statistische Sicherheit 95 %, $z(S) = 1,65$)

Anforderungen an die Materialzusammensetzung [Masse-%]	Gehalt P [g/g]	Abs. Abweichung [Masse-%]	$\Delta \bar{X} / P$ [g/g]	Notwendige Partikelanzahl
30	0,3	± 3	0,1	635
5	0,05	$\pm 0,5$	0,1	5.173
1	0,01	$\pm 0,1$	0,1	26.953
0,2	0,002	$\pm 0,02$	0,1	135.853

Für den Nachweis des Gehalts an Kalksandstein, Putzen und ähnlichen Stoffen, der 5 Masse-% nicht überschreiten darf, muss die Sortieranalyse ca. 5.000 Partikel ≥ 4 mm umfassen, was näherungsweise einer Probenmasse von 5 kg entspricht. Für die 1 %-Anforderung, die für mineralische Leicht- und Dämmstoffe gilt, müssen etwa 27 kg und für die Fremdstoffanforderung von 0,2 % etwa 136 kg sortiert werden, wobei 80 % der Partikel in der Fraktion 4/8 mm vorliegen. Insbesondere der Nachweis, dass die Fremdstoffanforderung erfüllt wird, ist also mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Es stellt sich die Frage, wie hier durch automatisierte Prozesse der Erkennung und Zählung bzw. Wägung der Partikel eine Verbesserung erreicht werden kann.

Bei der Beprobung von Schüttgütern kann die Probenahme von der Halde unter Zuhilfenahme von Großgeräten oder aus dem bewegten bzw. frei fallenden Materialstrom erfolgen. Übereinstimmend wird in der Literatur die so genannte „eindimensionale“ Probenahme aus dem frei fallenden Materialstrom, z.B. an Bandübergabestellen, empfohlen. Über ein bestimmtes Zeitintervall werden Einzelproben festgelegter Größe genommen, bis die erforderliche Gesamtmenge erreicht ist. Diese wird dann in einem horizontalen Mischbett homogenisiert und vor der eigentlichen Analyse geteilt.

In Abbildung 6 sind die Ergebnisse einer dreidimensionalen Probenahme von der Halde und einer eindimensionalen Probenahme gegenübergestellt. Die Probenahmen und die Analysen erfolgten an unterschiedlichen Standorten und durch unterschiedliche Personen, so dass zusätzliche Faktoren auf die dargestellte Abhängigkeit zwischen dem Gehalt der analysierten Komponente und dem gemessenen Variationskoeffizienten wirken.

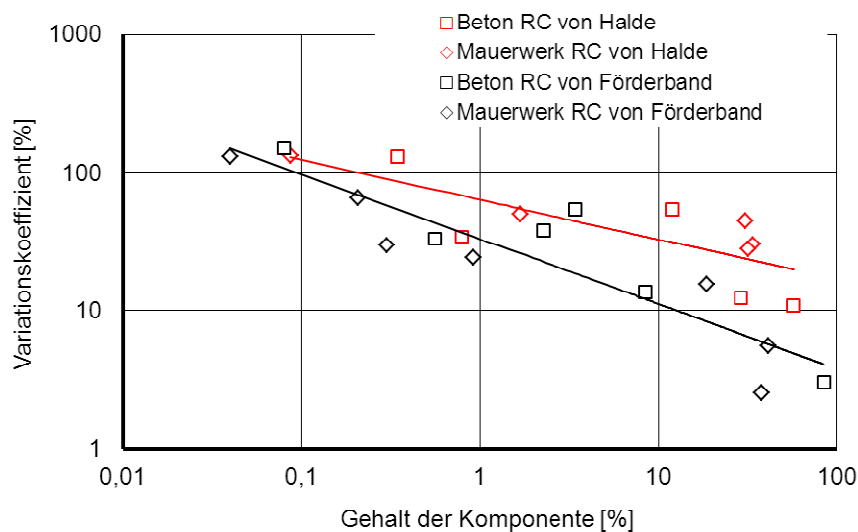


Abb. 6: Abhängigkeit des Variationskoeffizienten vom Gehalt der Komponente für RC-Baustoffe aus Beton und Mauerwerkbruch bei unterschiedlicher Arten der Probenahme

Trotz der Streuung der Messwerte kann die Aussage abgeleitet werden, dass bei eindimensionalen Probenahmen geringere Variationskoeffizienten der Sortieranalyse erreichbar sind. Bei Komponenten, die in sehr geringen Gehalten vorliegen, treten unabhängig von der Art der Probenahme vergleichsweise hohe Variationskoeffizienten auf, was damit zusammenhängt, dass die analysierte Probenmenge in beiden Fällen nicht ausreichte.

Für die Realisierung der eindimensionalen Probenahme an Bandübergabestellen werden automatisierte Probenehmer angeboten. Ob solche Probenehmer für die Güteüberwachung von RC-Baustoffen geeignet sind und die Zuverlässigkeit der Ergebnisse erhöhen können, wäre eine Aufgabenstellung für praxisorientierte Forschungen.

3 Einsatz von RC-Baustoffen in Tragschichten oder als Gesteinskörnung im Beton

RC-Baustoffe, deren Qualität durch eine Güteüberwachung nachgewiesen wurde, werden gegenwärtig überwiegend in Tragschichten ohne Bindemittel eingesetzt. Für den Einsatz im Beton gibt es bisher nur wenige Beispiele. Anhand der Gegenüberstellung in Tabelle 4 sollen wichtige Kriterien für beide Einsatzgebiete verglichen werden. Bei der Zerkleinerung kann unabhängig von der vorgesehenen Verwendung gleich vorgegangen werden. Ist eine Sortierung erforderlich, kann damit nur der grobe Anteil des RC-Baustoffs, der in der Tragschicht zum Einsatz kommt, behandelt werden. Die Körnungen < 4 mm kommt ohne Sortierung zum Einsatz oder muss von der Verwertung ausgeschlossen werden. Bei rezyklierten Gesteinskörnungen fließen dagegen keine unsortierten

Anteile in die Betonherstellung ein, weil nur die groben Fraktionen zum Einsatz kommen. Ähnlich ist die Situation bei der Güteüberwachung, wo beim Tragschichtmaterial nur zur Zusammensetzung der groben Fraktionen Aussagen gemacht werden können.

Tabelle 4: Vergleich der Verwertung von RC-Baustoffen in Tragschichten bzw. im Beton

	Einsatz in Tragschichten ohne Bindemittel	Einsatz im Beton
Aufbereitung		
Zerkleinerung	– einstufig ausreichend	– einstufig möglich, zweistufig günstiger
Klassierung	– ggf. Siebschnitt zur Begrenzung der oberen Partikelgröße	– Fraktionierung in Körnungen, z.B. 4/8 mm, 8/16 mm, 16/32 mm
Sortierung	Vorsortierung des Aufgabematerials	
	Windsichtung und/oder Nasssortierung	
	– keine Sortierung der Fraktion < 8 (4) mm des eingesetzten RC-Baustoffs	– Sortierung aller eingesetzten Körnungen > 8 (4) mm
Güteüberwachung		
Materialzusammensetzung	– Bestimmung an Teilprobe 4/45 mm – keine Prüfung des Materials 0/4 mm	– Bestimmung aller eingesetzten Körnungen – zusätzliche Bestimmung des Gehalts an Sulfat und Chlorid
Verwertung		
Einsatz- und Nutzungsbedingungen	– strikte umwelttechnische, weniger ausgeprägte bautechnische Vorgaben zu den Einsatzbedingungen – Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit durch internen oder externen Sulfatangriff während der Nutzung nicht ausgeschlossen	– strikte umwelttechnische und bautechnische Vorgaben zu den Einsatzbedingungen – Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit durch Festlegung der Einsatzbedingungen und zusätzliche Prüfungen (Sulfat, Chlorid, AKR) nahezu ausgeschlossen
Herstellung des RC-Baustoffs, Einbau	2 Akteure: RC-Unternehmen, Baufirma	3 Akteure: RC-Unternehmen, Transportbetonhersteller, Baufirma
Ausnutzung des Materialinputs	– Reiner Betonbruch: 100 % – Betonbruch mit Verunreinigungen x: (100 – x) %	– Reiner Betonbruch: 60 % – Betonbruch mit Verunreinigungen x: (60 – x) %

Bei der Verwertung sind im Falle der Betonherstellung aus Rezyklaten die Expositionsclassen vorgeschrieben, in welchen der Beton eingesetzt werden darf. Der erlaubte Anteil der groben Rezyklate an der Gesteinskörnung wird mit zunehmender Beanspruchung während der Nutzung geringer. Im Falle der Herstellung von Tragschichten aus RC-Baustoffen werden Vorgaben hinsichtlich der Schicht, in welcher der RC-Baustoff eingesetzt werden darf, und der Bauklasse der Straße gemacht. Ein Eindringen von Wasser als Voraussetzung für Schadreaktionen erscheint in Tragschichten eher möglich als in Betone, die beispielsweise für Decken, Fahrstuhlschächte und Innenwände von Wohngebäuden eingesetzt werden. Die bisher dominierende Vorstellung, dass der Einsatz von RC-Baustoffen in Tragschichten die robustere Verwertungsvariante ist, ist nicht wirklich bewiesen.

4 Zusammenfassung

Verglichen beispielsweise mit der Zement- bzw. Betonforschung ist die Beschäftigung mit dem Recycling von Baustoffen aus technischer und wissenschaftlicher Sicht ein sehr junges Forschungsgebiet. Systematische Untersuchungen zur Technologieentwicklung und zu den Spezifika von RC-Baustoffen sind erforderlich.

Bei der Aufbereitung ist es unbedingt erforderlich, die Sortierung weiterzuentwickeln. Zum einen muss die Leistungsfähigkeit der auf der Dichte als Trennmerkmal basierenden, nassen Verfahren untersucht werden. Zum anderen sind - ähnlich wie in anderen Sektoren der Abfallwirtschaft - die Potentiale sensorgestützter Verfahren für die Sortierung von Bauabfällen zu erschließen.

Bisher überhaupt nicht in die Betrachtungen einbezogen wurde die Lagerung von RC-Baustoffen. Zumindest bei solchen aus Beton sind beim Vorhandensein von Wasser chemische Reaktionen denkbar, die zur Bildung von Calcit oder Ettringit führen. Der Nachweis der Reaktionen steht noch aus. Wenn Unterschiede zwischen „abgelagerten“ und „frischen“ RC-Baustoffen bestehen, wären die Konsequenzen für die Verwertung zu überprüfen.

Die Güteüberwachung von RC-Baustoffen und die Veröffentlichung der Ergebnisse als „vertrauensbildende Maßnahme“ stellt einen wichtigen Wissensfundus dar, der systematisch ausgewertet werden sollte. Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Methoden für die Probenahme und der erforderlichen Probenmenge bis hin zu einer automatischen Probenahme, die eine kontinuierliche Güteüberwachung möglich machen würde. Die Bestimmung der Materialzusammensetzung mit automatischen, sensorgestützten Verfahren ist ebenfalls eine Aufgabe für zukünftige Projekte.

Die Frage, welche der durch technische Vorschriften definierten Verwertungen für RC-Baustoffe – die in Tragschichten oder die im Beton – favorisiert werden sollte, ist bisher nicht schlüssig beantwortet. Selbst wenn die Anwendung in

Tragschichten als Stand der Technik betrachtet werden kann, gibt es Fragen z.B. nach Treiberscheinungen durch Ettringitbildung und deren Vermeidung. Die Verwertung von RC-Baustoffen als rezyklierte Gesteinskörnung im Beton ist bisher nur in vergleichsweise wenigen Projekten realisiert worden. Vorteile dieser Variante sind, dass sowohl die rezyklierten Gesteinskörnungen als auch die Einsatzbedingungen besser definiert sind als beim Einsatz in Tragschichten. Dem stehen Nachteile wie der Ausschluss der Sandfraktion von der Verwertung gegenüber. Die bisherige Recyclingpraxis mit der Bevorzugung der Tragschicht als qualifiziertes Einsatzgebiet, ist also zu hinterfragen.

Literatur

- [1] Müller, A.; Liebezeit, S.; Badstübner, A.: Verwertung von Überschusssanden als Zusatz im Beton. Steinbruch und Sandgrube (2012), H. 5, S. 46-49.
- [2] Petit, E.: Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Nassaufbereitung von Bauschutt. Aachener Beiträge zur Angewandten Rechnerntechnik, Bd. 22, 1997.
- [3] Meesters, K.; Kurkowski, H.: Dichtesortierung von Recycling- Baustoffen mit Hilfe der Setzmaschinentechnik. Aufbereitungs- Technik 38 (1997), Nr. 10, S. 536-542.
- [4] Müller, A.; Kehr K.; Schnellert, T.: Gips reduziert - Gypsum reduced. Teil 2. AT Mineral Processing Vol. 51, 2010, S. 54-69.
- [5] Müller, A.; Weimann, K.: Leistungsfähigkeit der Setztechnik. BR Fachzeitschrift für Baustoffrecycling, Abbruch, Entsorgung und Altlastensanierung, 26. Jahrgang, 2010, März/April, S. 20–27.
- [6] Escher, M.: Untersuchungen zur Sortierbarkeit von heterogenen Abbruchgemischen mittels Nahinfrarot-Technik. Diplomarbeit, Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung, Bauhaus-Universität Weimar, Dezember 2010.
- [7] TL SoB – StB 04/07: Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2007.