

Korngrößenspezifische Verwertung von Mauerwerksabbruch

1. Mauerwerksabbruch – Aufbereitung und Charakterisierung

Jährlich fallen in Deutschland 80 bis 90 Mio. t Bauabfälle an. Dazu gehören neben dem Bodenaushub und dem Straßenaufbruch, die den größten Anteil ausmachen, der Mauerwerks- und Betonabbruch aus dem Hochbau. Die Bauweise der abzureißenden Gebäude, das sind derzeit vorwiegend Gebäude aus dem 19. und Beginn des 20. Jahrhunderts, bestimmt die stoffliche Zusammensetzung des Mauerwerksabbruchs. Da der selektive Rückbau aus Kostengründen heute noch eher selten ist, hängt die Qualität der RC-Materialien und damit die Verwertungsquote und das Verwertungsniveau hauptsächlich von der Aufbereitung des Abbruchmaterials ab.

Die Bauschutttaufbereitung beginnt mit einer getrennten Annahme von Mauerwerksabbruch und Betonabbruch. So erzielt man eine erste Sortierung und kann bei getrennter Aufbereitung Produkte mit deutlich unterschiedlichem Stoffbestand herstellen. Sortieranalysen von Mauerwerksabbruch zeigen, dass die stoffliche Zusammensetzung der heute abgerissenen Gebäude im Wesentlichen gleiche Bestandteile enthalten, diese aber zu sehr unterschiedlichen Anteilen, wie in Tabelle 1 gezeigt wird.

Bestandteil	Anteile [M-%]
Ziegel	31...79
Beton	1...27
Mörtel	14...49
Naturstein	2...24
Holz / Papier	0...0,3
Glas	0...0,5
Gips	0...5,2
Keramik	0,2...2,4
Sonstige Bestandteile	0...2,6

Tabelle 1: Stoffliche Zusammensetzung von Mauerwerksbruch [1]

Ziegelanteile > 80 % erreicht man bei Dacherneuerungsarbeiten, die eine relativ sortenreine Sammlung der gebrauchten Dachziegel ermöglichen.

Die einfachste Variante der Aufbereitung wird in mobilen Aufbereitungsanlagen realisiert. Es handelt sich in der Regel um einstufige Anlagen bestehend aus Vorsiebmaschine, Prallbrecher und Überbandmagnet (Bild 1). Es entsteht ein RC–Mineralstoffgemisch mit breitem Kornband und einer heterogenen stofflichen Zusammensetzung, das als Damm- und Verfüllmaterial, im Wegebau und im Landschafts- und Deponiebau eingesetzt werden kann, dort wo geringe Anforderungen an den Baustoff gestellt werden. Bei höheren Anforderungen hinsichtlich des Kornbandes, wie beim Einsatz als Drän-schichten, ist eine Klassierung der Produkte sinnvoll.

Für hochwertige Einsatzgebiete der RC–Materialien ist eine anspruchsvollere Aufbereitungstechnologie erforderlich, die in stationären Anlagen mit folgenden zusätzlichen Aufbereitungsschritten durchgeführt werden kann:

- Zweistufige Zerkleinerung – Prallbrecher im Anschluss an einen Backerbrecher

- Aussortierung von Störstoffen am Sortierband
- Aussortieren von Leichtstoffen mittels Windsichtung oder Nasswäsche
- Herstellung von Kornfraktionen mittels Vibrationsiebmaschine.

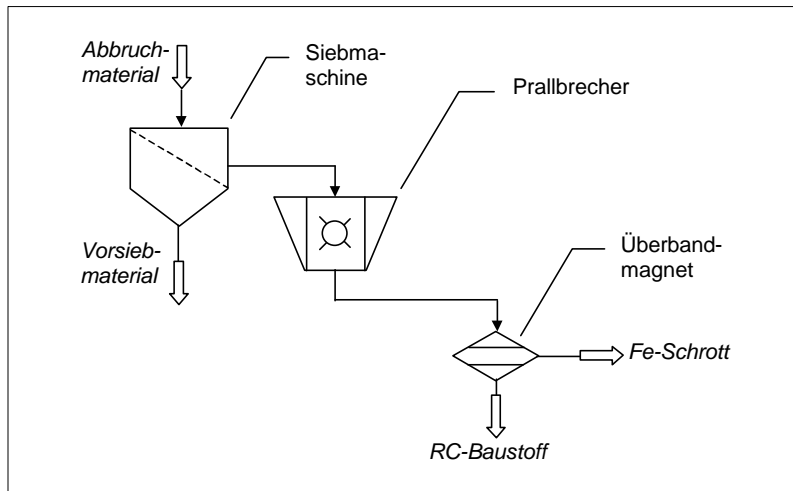


Bild 1: Technologisches Schema einer einstufigen Aufbereitungsanlage

Als Ergebnis einer solchen Aufbereitung ergeben sich Recycling-Baustoffe, in denen die mineralischen Bestandteile angereichert werden, wie die chemischen Analysen an 26 Proben aus 7 Recyclinganlagen (Tabelle 2) im Zusammenhang mit röntgendiffraktometrischen Untersuchungen zeigen. Als Hauptbestandteile sind Quarz und Kalium-Feldspäte zu nennen. Nebenbestandteile bilden Natrium-Feldspat und Calcit (CaCO_3). Der Anteil von Calcit ist für den Einsatz der Recycling-Baustoffe als Dichtungs- oder Entwässerungsmaterialien in Deponie-Oberflächendichtungssystemen von Bedeutung. Für Dichtungsschichten ist der Anteil an CaCO_3 auf 15 % und für Entwässerungsschichten auf 20 % begrenzt. Vergleicht man die halbqualitativen Ergebnisse der Röntgenanalyse mit den Werten des Glühverlustes der chemischen Analyse, so wäre mit einer Überschreitung dieser Grenzwerte nur bei Glühverlusten ab 6,6 % bzw. 8,8 % zu rechnen [1].

	Gehalt [M-%]		Grenzwerte [M-%]
Glühverlust	2,9...	12,3	6,6 /8,8
SiO_2	52,0...	74,5	
Al_2O_3	7,2...	13,4	
Fe_2O_3	2,5...	5,3	
CaO	3,7...	15,0	
SO_3	0,2...	3,3	1,0
Cl?	0,018...	0,058	0,04

Tabelle 2: Ergebnisse der chemischen Analyse von 26 Proben Mauerwerks-RC-Baustoffen [1]

Die mittleren Gehalte an SO_3 bzw. Cl? aller Proben betragen 0,91 M-% bzw. 0,037 M-% und liegen damit im statistischen Mittel unterhalb der Grenzwerte, die nach DIN 4226 für Betonzuschlag für die Verwendung als rezyklierten Zuschlag vorgeschrieben werden. Bei 25 % der Proben werden diese Werte jedoch überschritten.

Die physikalischen Eigenschaften variieren gemäß ihres Stoffbestand d.h. in Abhängigkeit vom Ziegelgehalt, wie Tabelle 3 deutlich zeigt.

Reindichte [g/cm ³]	2,65... 2,75
Rohdichte [g/cm ³]	1,53... 2,10
Schüttdichte [g/cm ³]	0,9... 1,35
Wasseraufnahme [M-%]	7,5... 19,4
Kornform	Ziegelbruchstücke z.T. plattig, länglich; andere Bestandteile kubisch

Tabelle 3: Physikalische Eigenschaften von 26 Proben RC-Baustoffe aus Mauerwerksabbruch [1]

Die Variationsbreite der Korngrößenverteilungen der RC-Baustoffe aus Mauerwerksabbruch [1] vor der Klassierung, dargestellt mittels Durchgangskennlinien (=Sieblinien), zeigt Bild 2.

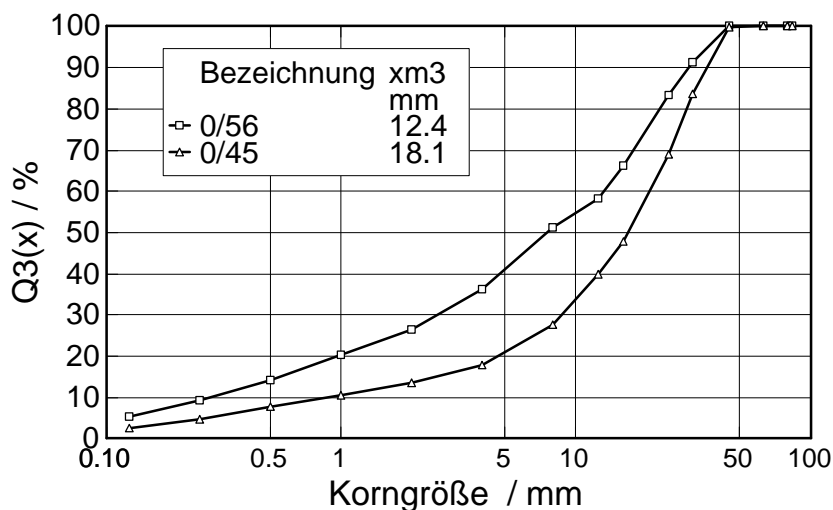


Bild 2 : Sieblinien der RC- Baustoffe aus Mauerwerksabbruch vor der Klassierung [1]

2. Korngrößen-spezifische Verwertung von RC-Baustoffen aus Mauerwerksabbruch – Iststand

Im **Mehl – und Sandkornbereich** ist eine Verwertung von RC-Baustoffen aus Mauerwerksabbruch als Pflastersand der Korngruppe 0/8 üblich. Für weitere Einsatzmöglichkeiten ist entweder die große Heterogenität oder das große Wasseraugvermögen des Ziegelanteils von Nachteil.

Verwertungsmöglichkeiten erschließen sich (auch für die gröberen Korngruppen) erst bei Ziegelanteilen von mehr als 80 %, d.h. also vorwiegend für Dachziegelbruch oder gut sortiertem Mauerwerksabbruch.

So kann Ziegelmehl < 5 mm, das entweder aus 100 % Bruchmaterial aus Ziegeleien oder aus einem Gemisch aus 2/3 Bruchmaterial und 1/3 gebrauchter Dachziegel besteht, für den Sport- und Tennisplatzbau eingesetzt werden. Die Schichtenfolge einer solchen Tennenfläche ist in Bild 3 dargestellt, wobei das Ziegelmehl im Tennenbelag eingebaut wird [2].

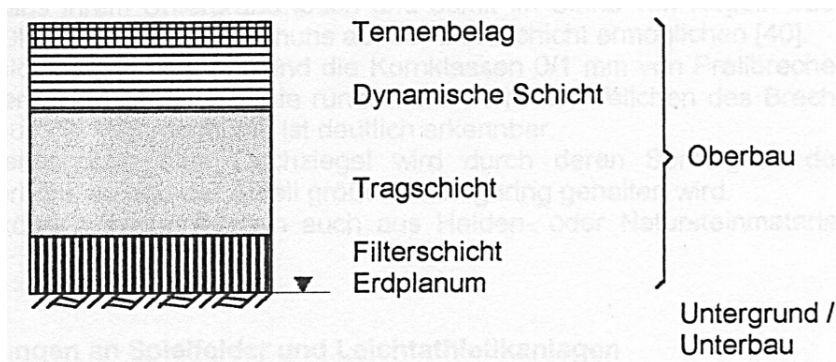


Bild 3: Schichtenfolge einer Tennenfläche

Für den Einschichtaufbau eines Tennenbelages wird die Körnung 0/2 mm, für einen Mehrschichtaufbau ein Gemisch aus Körnungen 0/1, 0/2 und 0/4 mm eingesetzt.

Im **Splittkornbereich** werden Mauerwerks- und Dachziegelbruch mit Ziegelanteilen von > 80 % als Bestandteil des Dachbegrünungssubstrates genutzt [3,4]. Nebenbestandteile wie Bims, Beton- und Mörtelanteile, Naturstein und Porenbeton werden toleriert, Eisen und andere Metallbestandteile sind jedoch unzulässig. Die für andere Anwendungen oft störenden Eigenschaften wie sehr splittrig gebrochenes Korn und hohe Wasseraufnahme werden als Dachbegrünungsmaterial gezielt zur Verbesserung der Scherfestigkeiten des Schüttgutes und zur Wasser- und Nährstoffspeicherung genutzt. In Abhängigkeit von der beabsichtigten Begrünungsart und der Dachneigung kommen ein- oder mehrschichtige Bauweisen zum Einsatz. Weiterhin wird unterschieden zwischen

- extensiver Begrünung mit niedrigem Pflanzenbestand (Wuchshöhen < 50 cm, wie Sedum und andere Steingartenpflanzen) und einem minimalen Pflegeaufwand und
- intensiver Begrünung mit Wuchshöhen bis zu 10 m (Stauden, Gehölze und Bäume), die immer einen mehrschichtigen Aufbau und eine regelmäßige Pflege benötigen.

Bild 4 zeigt die verschiedenen Bauweisen für eine extensive Begrünung.

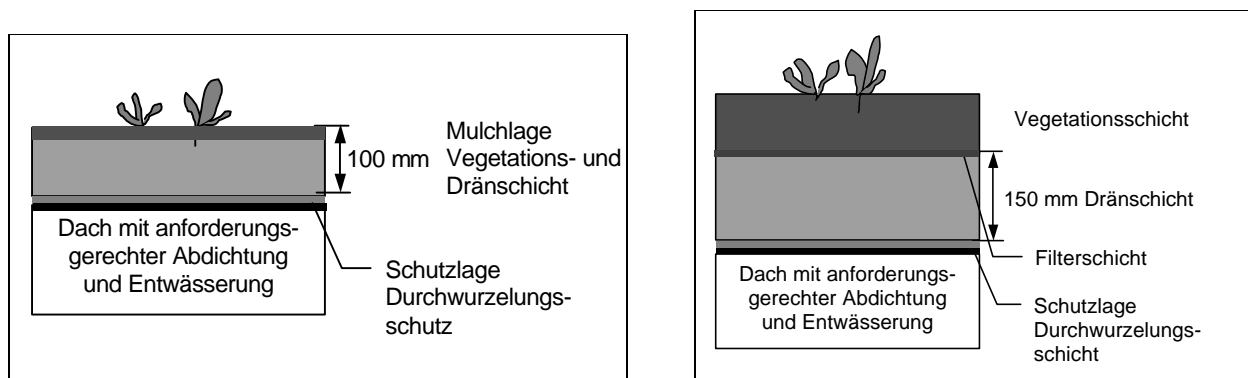


Bild 4: Schichtenfolge für extensive Begrünung in Ein- und Mehrschichtbauweise

Sowohl für die Dränschicht als auch für die Vegetationsschicht kann Ziegelsplitt eingesetzt werden. Die Dränschicht erfordert einen Ziegelsplitt ohne Feinkornanteil beispielsweise die Körnung 4/16 mm, um die notwendige hohe Wasserdurchlässigkeit zu gewährleisten. Für die Vegetationsschicht variieren die Körnungen von 0,1 bis 16 mm in Abhängigkeit von der Bauweise (Bild 5).

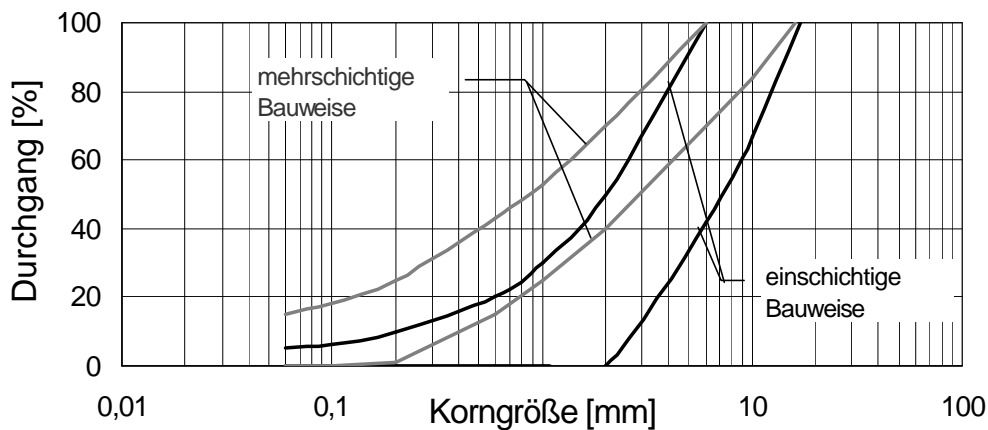



Bild 5: Korngrößenbereiche des Ziegelsplitts für die extensive Dachbegrünung [4]

Eine Patent- und Literaturrecherche [2] zeigt einige Möglichkeiten der Verwertung von Mauerwerksabbruch der **Splitt- und Schotterfraktion** auf, die sich teilweise in geringem Umfang in der Praxis eingeführt haben:


- Korngruppe 2/4 mm als Mörtelzusatz [1]
- Korngruppen 0,35/2 mm, 2/8 mm und 3/16 bzw. 8/16 mm von reinem Ziegelbruch als Zuschlag für Formkörper und/oder Beläge mit Oberflächenschliff für die Bauindustrie. Dieser neue Werkstoff soll eine Weiterentwicklung des Römischen Betons darstellen und die baulichen Vorzüge der bekannten Ziegel in Bezug auf Abmessung, Dichte und Festigkeit aufweisen. Die Farbe wird durch Zugabe von Ziegelstaub erzielt. Die Verwendung ist sehr vielseitig, z.B. als Fußböden, Platten und Steine für Mauern, als hohle Formkörper mit wärme- und/oder schalldämmendem atmungsaktivem Füllmaterial.
- Leichtzuschlag für Beton
- Zuschlag für Gehweg- und Terrassenplatten.

Tabelle 4 zeigt die Verwertungsmöglichkeiten in den einzelnen Korngrößenklassen im Überblick. Bei den unterlegten Feldern handelt es sich hauptsächlich um Angaben aus Literatur und Patentschriften. Leere Felder sind in der Tabelle in den Mehlkorn- und den Grobkornbereichen zu erkennen, die durch die Forschungsarbeiten an der Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung ausgefüllt werden sollen. Die neuen Verwertungsmöglichkeiten sind kursiv geschrieben.

Größenbereiche			
Mehl	Sand	Splitt	Schotter
Tennenflächen im Sportplatzbau Pflastersand			
RC-Granulate	Dachbegrünung		
Rohstoff für Dämmstoffe	Mörtelzusatz	Leichtbetonzuschlag Terrazzoplatten und Dekorsteine	
Betonzusatz		Zierkies	
Landschafts- und Deponiebau, Dämm- und Verfüllmaterial, Wegebau			



Mauerwerksmehl



Zierkies aus Mauerwerksbruch

Tabelle 4: Korngrößen-spezifische Verwertung von Ziegel- und Mauerwerksabbruch

3. Neue Verwertungswege

Für die **Sand- und Mehlfraktion** eröffnen sich aus den Forschungsarbeiten 3 erfolgversprechende Verwertungsvarianten:

- Herstellung von Leichtzuschlägen aus Feinstoffen des Mauerwerksabbruchs und Porenbeton ? RC-Granulate [5].
 Durch Aufmahlen der Korngruppen < 4 mm des Mauerwerksabbruchs auf Korngrößen < 100 µm und des Porenbetonbruchs auf Korngrößen < 2 mm und < 100 µm, anschließendes Mischen und Granulieren unter Zusatz eines Porosierungsmittels sowie einem Brand bei ca. 1200 °C im Drehrohfen werden Granulate erzeugt, die als Leichtzuschlag mit den Eigenschaften von Blähton vergleichbar sind.
- Verwertung von RC-Mauerwerkssand als Rohstoffkomponente für die Herstellung von mineralischen Dämmstoffen [6].
 Ziegelsand zeigt in einer Mischung mit Betonsand ein günstiges Schmelzverhalten und könnte somit die Herstellung von Mineralfasern ermöglichen.

- Verwertung des Mauerwerkssandes durch Feinmahlung auf Zementfeinheit, d.h. Korngrößen $< 100 \mu\text{m}$ und Nutzung des Mauerwerksmehls als Betonzusatz [7]. Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass die Mahlbarkeit von Mauerwerksabbruch in der Größenordnung der von Kalkstein liegt und deutlich kleiner als die von Hüttensand ist. Die Verarbeitbarkeit bleibt durch eine Substitution von 20 % Zement durch das Mauerwerksmehl gleich bzw. wird sogar verbessert. Die Festigkeitsentwicklung - untersucht an Mörtelprismen über einen Zeitraum von 90 Tagen - zeigt, dass die Festigkeit der Mörtelprismen aus reinem Portlandzement nicht erreicht wird, aber die Kurve deutlich über der theoretisch berechneten Kurve für 20 % Inertmaterial liegt (Bild 6).

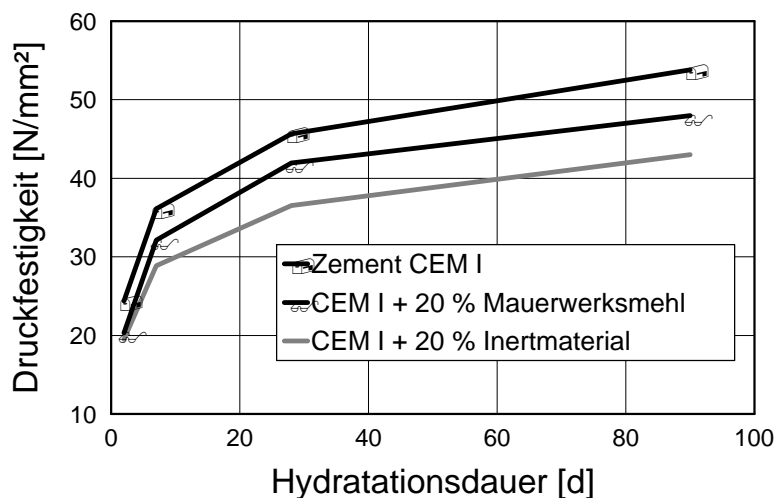


Bild 6: Verlauf der Druckfestigkeit für Bindemittel aus 80 % Portlandzement und 20 % Mauerwerksmehl

Für die **Grobfraktionen** könnte durch die Herstellung von Zierkies eine Verwertung als Dränageschüttung, Sauberkeitsschicht und als Zierkies für die Gartengestaltung realisiert werden. Die Anforderungen bestehen hier in der Frostbeständigkeit und in dem ästhetisch schönen Aussehen. Die Umsetzung dieser Idee wird erzielt durch eine Behandlung des zerkleinerten Abbruchmaterials in rotierenden Trommeln ohne Mahlkörper. In einer Reihe von Laboruntersuchungen wurden folgende Varianten getestet [8]:

- Labor-Schwingmühle - trocken, mit Sand als mögliches Schleifmittel und nass
- Los-Angeles Trommel.

Die besten Ergebnisse im Hinblick auf eine Kornformveränderung, d.h. eine Abrundung der Splitt- und Schotterkörner wurden mit der Los-Angeles Trommel erreicht. Deshalb wurden im nächsten Schritt die Untersuchungen im Technikumsmaßstab in der Kugelmühle Super Orion 100/70 durchgeführt [9]. Variiert wurden der Füllungsgrad (30, 40 und 50 %) und die Behandlungsdauer (500, 1000 und 1500 Mühlenumdrehungen). Bei einer Drehzahl der Mühle von 32 U/min bedeuten die untersuchten Mühlenumdrehungen Verweilzeiten von etwa 15, 31 und 47 min.

Das Ausgangsmaterial wurde von einem Recyclingplatz zur Verfügung gestellt. Das Versuchsprogramm zeigt das Schema in Bild 7.

Als Abrieb wird die Masse der Korngrößen $< 8 \text{ mm}$ verstanden, die zusätzlich zu der im bereits vorzerkleinerten Material enthaltenen Menge bei der Beanspruchung in der Kugelmühle erzeugt wird. Die Kornform wurde einmal mittels Kornformmessschieber charakterisiert. Eine bessere Beschreibung ist jedoch mit der Sphärizität möglich, die mit dem HAVER-CPA-Gerät 3-2 ermittelt wurde. Mittels einer digitalen CCD-Zeilenkamera

werden die Teilchen abgeschant. Über die Gerätesoftware lassen sich neben der Korngrößenverteilung auch Aussagen über die Kornform machen.

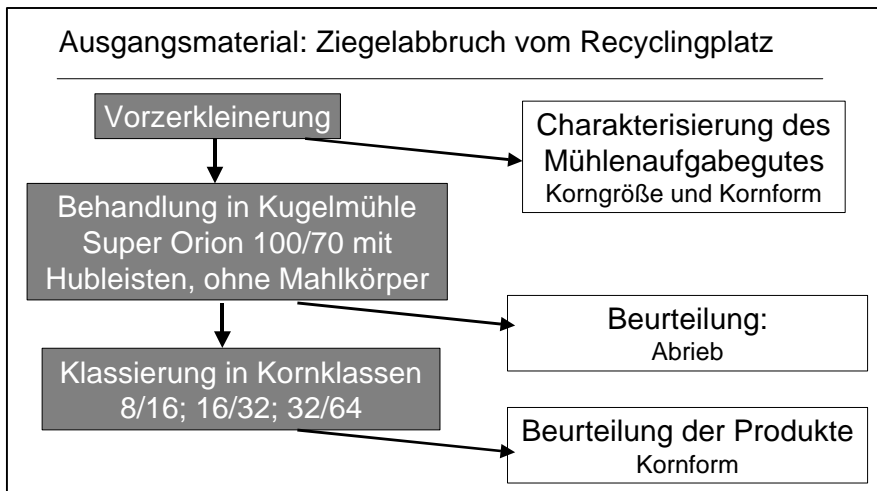


Bild 7: Technologisches Schema des Versuchsablaufes im Technikumsmaßstab

Dazu werden u.a. Projektionsfläche und Umfang der Projektionsfläche ermittelt und daraus die Sphärität des Teilchens berechnet (Gleichung 1).

$$SPHT = \frac{2 \cdot \sqrt{p \cdot A}}{U} \quad (1)$$

Der Kreis besitzt für die Sphärität den Wert 1 und alle anderen Formen haben ein Sphäritätsmaß < 1. Eine Ellipse mit $D:d = 2:1$ liegt beispielsweise bei 0,916 und mit $D:d = 2,5:1$ bei 0,851.

Die Ergebnisse der Technikumsuntersuchungen sind in Bild 8 zusammenfassend dargestellt.

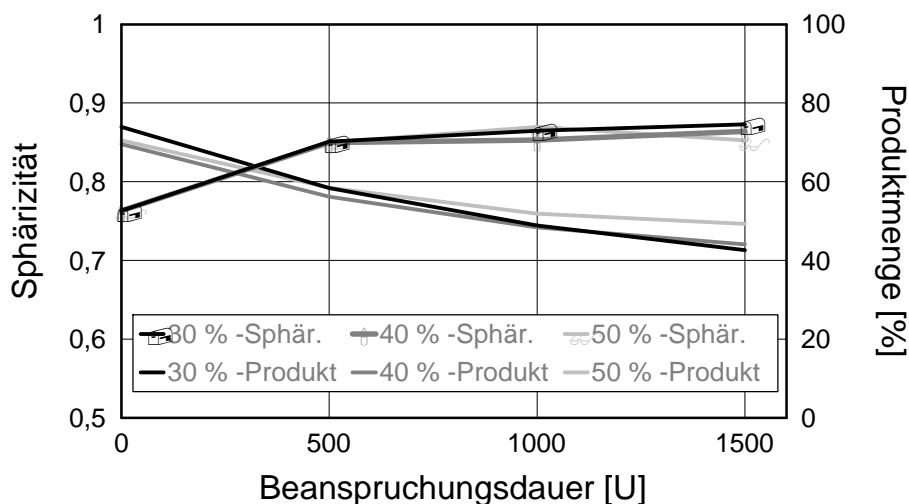


Bild 8: Einfluss der Beanspruchungsdauer auf Kornformänderung und Produktmenge

Das Bild zeigt deutlich, dass mit der Abrundung der Körner erwartungsgemäß der Abrieb zunimmt. Der Abrieb liegt nach 1000 Umdrehungen (31 min) bei 22 M-%. Dabei ist der Einfluss des Füllungsgrades unbedeutend. Es ist zu erkennen, dass die größten Veränderungen innerhalb der ersten 30 min ablaufen, danach nimmt der Abrieb weiter zu, er steigt auf 26 %, eine deutliche Kornformveränderung, die im Diagramm für die Kornklasse 16/32 mm gezeigt wird, ist jedoch nicht festzustellen. Für die Kornklassen

8/16 und 32/63 mm ergaben sich gleiche Tendenzen. Vergleicht man die erreichten Sphäritätswerte mit denen definierter Körper, so wurden durch den Rundungsvorgang Werte von Ellipsen mit $D:d = 2,5:1$ erzeugt, was in der folgenden Abbildung (Bild 9) deutlich zu erkennen ist. Die physikalischen Eigenschaften der Zierkiese sind in Tabelle 6 zusammengefasst.



Bild 9: Kornformen der Kornklassen 8/16, 16/32 und 32/63 mm

Rohdichte [g/cm ³] mit GeoPyk 1360	1,77		
Wasseraufnahme [%]	14,2		
Frostbeständigkeit 10 Frost-Tauwechsel Absplitterung [M-%]	8/16 mm	16/32 mm	32/63 mm
	2,62	2,20	1,02

Tabelle 6 : Physikalische Eigenschaften der Zierkiese

Die abrasive Behandlung in der Kugelmühle zeigt neben der Rundung der Kornform eine weitere positive Wirkung, es kommt zu einer selektiven „Zerkleinerung“. Alle am Ziegel anhaftenden Putz- und Mörtelreste werden entfernt. Die hergestellten Zierkiese bestehen dann aus einem homogenen Ziegelmateriale, dessen Farbunterschiede lediglich auf unterschiedliche Ziegelsorten im Mauerwerk zurückzuführen sind.

In weiteren Forschungsarbeiten wird nach einer optimalen Technologie hinsichtlich des technologischen Ablaufes als auch des besten Ergebnisses der Kornformbeeinflussung gesucht. Es sind zunächst folgende Varianten vorgesehen:

- Ausgangsmaterial - RC-Produkt einer stationären Recyclinganlage der Körnung 0/x mm, Vorabsiebung bei 8 mm, Behandlung in der Kugelmühle, Klassierung in Abrieb < 8 mm und Kornklassen 8/16, 16/32 und 32/63 mm
- Ausgangsmaterial – RC-Produkte einer stationären Recyclinganlage in verschiedenen Körnungen, getrennte Behandlung in der Kugelmühle und Absiebung des Abriebes.

4. Zusammenfassung

Eine hochwertige Verwertung von Mauerwerksabbruch erfolgt bei großer stofflicher Homogenität, d.h. einem Ziegelanteil mit >80...90%, hauptsächlich im Splittkornbereich für Dachbegrünungen. Defizite einer Verwertung bestehen bei den Fein- und Grobfraktionen.

Für diese Korngrößenbereiche < 4 mm und > 8 mm wurden resultierend aus den an der Professur laufenden Forschungsarbeiten neue Verwertungswege aufgezeichnet. Das sind im Überblick:

- Herstellung von RC-Granulaten als Leichtzuschläge
- RC-Mauerwerkssand als Rohstoff für die Herstellung von mineralischen Dämmstoffen
- Herstellung von Mauerwerksmehl als Betonzusatz
- Herstellung von Zierkies für die Kornklassen > 8 mm.

Mit diesen neuen Verwertungswegen könnten alle Kornklassen der Mauerwerksaufbereitung einer anspruchsvollen Verwertung zugeführt werden.

Als Ausblick soll der von Landschaftsarchitekten auf der Bundesgartenschau 2001 in Potsdam gestaltete „Garten der Perspektive“ eine gelungene Nutzung von RC-Mauerwerksmaterial als Wegebelag zeigen.



„...Rot blühende Pflanzen und rötliche Materialien für den Wegebelag sorgen darüber hinaus für immer wieder andere Perspektiven“

5. Literatur

- [1] Winkler, Antje: Herstellung von Baustoffen aus Baurestmassen. Shaker Verlag Aachen 2001
- [2] Jelen, Tonja: Recycling von Dachziegeln – Zerkleinerung und Wiederverwertungsmöglichkeiten. Diplomarbeit, Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, 1996
- [3] Das grüne Dach. Standardwerk für Planung und Ausführung, 5.Auflage , Mai 1995, Herausgeber: ZinCo Dach-Systeme
- [4] Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Ausgabe 1995. Herausgeber FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau E.V.
- [5] Reinhold, Matthias; Müller, Anette: Leichtzuschläge aus Feinstoffen des Mauerwerksabbruchs. Vortrag „Recycling 2001“ am 12.10.2001, Weimar
- [6] Schnell, Alexander; Müller, Anette: Verwertung von RC-Betonsand. Vortrag „Recycling 2001“ am 12.10.2001, Weimar
- [7] Lander, Stefan; Müller, Anette: Bauabfallverwertung durch Feinmahlung. Vortrag „Recycling 2001“ am 12.10.2001, Weimar
- [8] Borchardt, Karsten: Kornformänderungen von Ziegelsplitt durch Behandlung in der Schwingmühle. Diplomarbeit, Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, 2000
- [9] Schröder, Michael: Herstellung von Zierkies in der Kugelmühle, Studienarbeit, Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, 2001