

# Werkstoffe

in der Fertigung

DIE FERTIGUNGSWELT VON MORGEN

**GoodFellow**

Wählen Sie aus  
über 70.000  
Katalogprodukten

Materiallösungen für jede  
Forschungsproblematik



Metalle



Legierungen



Keramiken



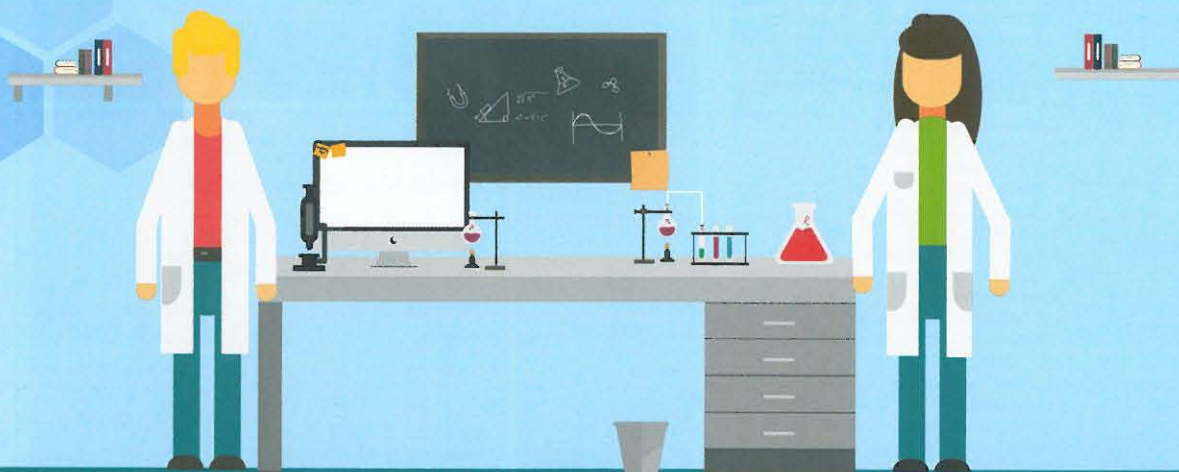
Polymere



Verbundstoffe



Verbindungen



[www.goodfellow.com](http://www.goodfellow.com) | [info@goodfellow.com](mailto:info@goodfellow.com) | 0800 1000 579



# Thema: Recycling und Umwelttechnik

## Das Verbundprojekt »BauCycle«: Von feinkörnigem Bauabbruch zu funktionalen Baumaterialien und Bauteilen

### Motivation

Keine andere Branche ist so ressourcenintensiv wie die volkswirtschaftlich bedeutsame Herstellung und Verarbeitung von Steinen und Erden (ca. 19 Tonnen pro 1 000 € Bruttowertschöpfung im Jahr 2008 [9]) und keine andere Branche verursacht mehr Abfälle. Gleichzeitig findet nur in geringem Umfang (ca. 5 Prozent, [18]) ein hochwertiges Recycling auf Produktniveau statt. Der meiste Abfall landet im Unterbau von Straßen, in Deponiebefestigungen oder direkt auf der Deponie. Diese Situation verschärft sich aktuell aufgrund der seit 10 Jahren andauernden Diskussionen um die als Teil einer neuen Mantelverordnung zum Einsatz von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken geplante Ersatzbaustoffverordnung (ErsatzbaustoffV) [2]. Diese hat bereits heute spürbare Konsequenzen: Mineralische Abfälle, die bislang als Ersatzbaustoffe eingesetzt wurden, werden wieder verstärkt auf Deponien abgelagert. Der Deponieraum wird in absehbarer Zeit knapp, so dass erste Deponiebetreiber bereits Genehmigungsanträge für eine Vergrößerung der Deponiekapazitäten stellen [12]. Dies führt dazu, dass der Bauwirtschaft wertvolle Rohstoffe entzogen werden.

### Aktuelle Situation

Der Bausektor setzt in der Bundesrepublik jährlich rund 550 Mio Tonnen mineralische Baurohstoffe ein. Der Großteil (ca. 450 Mio Tonnen) davon wird über Primärrohstoffe (Naturstein, Kies und Sand) und nur ein geringer Anteil über Recycling-Baustoffe (RC-Baustoffe) gedeckt [1]. Grundsätzlich hat das Recycling von Bauabfall (Bauschutt, Baustellenabfällen etc.) in Deutschland eine langjährige Tradition und stabile Recyclingquoten [11], wobei Recycling vor allem im Straßenbau stattfindet und somit nach Auffassung der Autoren als »Downcycling« zu bezeichnen ist, da nahezu keine Rückführung von Recyclingmaterial in den Hochbau stattfindet.

Die Realisierung eines echten Stoffkreislaufes ist nur selten umgesetzt. So können, abhängig von Art und Güte bereits bis zu 20 Ma.-Prozent ziegelhaltige Fraktionen aus Mauerwerksbruch bei der Produktion von neuen Ziegeln oder Dachplatten eingesetzt werden ohne Qualitätseinbußen befürchten zu müssen [17]. In Summe werden jedoch lediglich 5 Prozent des deutschlandweit anfallenden



Abbildung 2: Herausforderungen »BauCycle«-Ansatz, eigene Darstellung.

Bauschutts zu hochwertigen Produkten wie beispielsweise Lärmschutzplatten verarbeitet [18]. Auch ohne aufwändige Sortiermethoden können aus feinkörnigem Mauerwerksbruch (< 4mm) höherwertige Baustoffe hergestellt werden: unter Zugabe von Blähmitteln entstehen beispielsweise Leichtgranulate [15]. Diese können als Zuschläge für Leichtbetone oder als dämmendes Schüttgut für Verfüllungen eingesetzt werden. Ein generelles Problem bei der Verwertung von Mauerwerksbruch stellt die Verunreinigung des Materials mit Gipsresten dar. Diese können zu einer schädigenden Reaktion durch sekundäre Ettringit- oder Thaumasil-Bildung führen [16]. Der Großteil der aktuellen Verwertungsmöglichkeiten beschränkt sich auf einen gewissen Korngrößenbereich wobei die Fraktion < 2mm in allen Fällen als nicht verwertbarer Reststoff einer Deponierung zugeführt wird.

Aus logistischer Sicht der Baustoffaufbereitung existiert aktuell keine umfassende Lösung welche die anfallenden Stoffströme (qualitativ und quantitativ) der einzelnen Abbruchstandorte einerseits und die benötigten Mengen in RC-Material herstellenden Betrieben andererseits erfasst. Greift allerdings die ErsatzbaustoffV in der geplanten Form bei gleichzeitig steigenden Bauschuttmengen wird die simulationsgestützte Verbesserung der Stoffstromlogistik unabdingbar werden, um Materialquellen mit Senkenkapazitäten intelligent zu verknüpfen. Zusammenfassend wurden die in Abbildung 2 dargestellten zentralen Herausforderungen durch die Autoren identifiziert.

### Stand der Technik

Das IBP konnte in Projektarbeiten der letzten drei Jahre zeigen, dass es technisch möglich ist, aus idealem feinkörnigem Betonabbruch Rohstoffe für die Produktion von Porenbeton und sogar für die Zementherstellung zurückzugewinnen [10]. Eine Realisierung eines echten Stoffkreislaufs ist jedoch nur möglich, wenn eine Sortiertechnik entwickelt werden kann, die in der Lage ist Fraktionen < 2 mm selektiv zu sortieren. Bisherige Verfahren zur Sortierung von heterogenen Bauschuttabfällen funktionieren mittels Windsichtung und nutzen Dichteunterschiede der einzelnen Fraktionen. Somit können leichte Störstoffe wie Dämmmaterial, Papier oder Folien effektiv abgetrennt werden. Eine Sortierung der mineralischen Bestandteile wie Beton und Ziegel ist mit Windsichtung jedoch nicht möglich [15]. Für die Gipsabtrennung von Betonbestandteilen kommt eine Nasssetzmaschine in Frage. Dabei wird das zu trennende Material mit definierten Frequenzen angeregt, wodurch die unterschiedlichen Bewegungen der Gips- und Betonpartikel verstärkt und damit die Trennung insbesondere bei geringen Dichteunterschieden erhöht wird. Einen effizienten Ansatz für das Baustoffrecycling stellt die optische Schüttgutsortierung dar, die bereits in anderen Anwendungsfeldern erfolgreich eingesetzt wird, z.B. im Kunststoff- und Glasrecycling, Lebensmittelsicherheit oder Mining zur Gewinnung von Industriemineralen. Hierfür wird das Schüttgut zunächst in geeigneter Form auf ein Förderband oder eine Rutsche aufgegeben und vereinzelt.



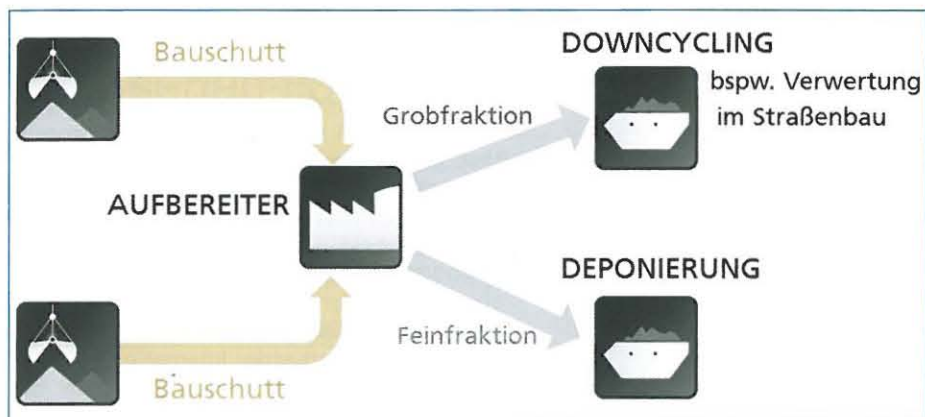


Abbildung 3: Vereinfachte Materialflussdarstellung im Bauwesen »Stand heute«, eigene Darstellung

Mit Hilfe einer bildgebenden Sensorik, z. B. Farbzeilenkamera, erfolgt eine Erfassung der optischen Eigenschaften des Schüttgutstroms bzw. der einzelnen Partikel. Diese Informationen werden in Echtzeit ausgewertet, sodass eine nachgeschaltete Trennung bzw. Ausschleusung einzelner Schüttgutbestandteile durch geeignete Aktuatoren, in der Regel Druckluftdüsen, erfolgen kann. Derzeit werden für die optische Sortierung von Bauschutt vorwiegend Farbzeilenkameras eingesetzt, die eine Identifizierung und Trennung der Partikel anhand von Farbe, Textur, Form und Größe ermöglichen. In der Regel ist die Schüttgutsortierung für Korngrößen > 4 Millimeter ausgelegt, sie kann mitunter aber auch in Bereichen zwischen 3 und 5 mm bestehende Aufbereitungsprozesse entlasten oder teilweise ersetzen [7]. Aufgrund von Weiterentwicklungen in der Sensortechnik kann mit hochauflösenden Farbzeilenkameras mit hoher Aufnahmegeschwindigkeit mittlerweile auch eine Sortierung von kleinen Korngrößen > 1 mm realisiert werden. Seit kurzem werde auch Hyperspektralsensoren im kurzwelligen Infrarot (1000–2500 nm) für die Bauschutt-sortierung erprobt, die vielversprechende Ergebnisse liefert [13]. Im Unterschied zu Farbkameras ermöglichen diese eine materialerkennende Bildverarbeitung und -auswertung. Problematisch hierbei ist allerdings die stark eingeschränkte Sensorauflösung, die derzeit um den Faktor 10 unter der einer Zeilenkamera liegt. Eine vielversprechende Lösung stellt hier ein neuartiger „Optical Computing“-Ansatz dar, bei dem spezielle, an die jeweilige Sortieraufgabe angepasste optische Spektralfilter angefertigt und eingesetzt werden [14, 19]. Dieser ermöglicht es, hochauflösende Zeilenkameras für eine materialerkennende Bildgewinnung einzusetzen.

## Projektansatz

**Aufbereiten:** Nur ein Erkennungsverfahren auf Basis von »Optical Computing« bietet die Möglichkeit feinkörnigen Bau-

abfall industriell mit hohen Durchsätzen in die Hauptfraktionen Beton, Kalksandstein und Ziegel sowie eine Mischfraktion selektiv zu sortieren. Methodisch wird ein spektrales Modell erstellt; dafür müssen repräsentative Daten mittels Hyperspektralanalyse gewonnen werden. Die Herausforderung besteht darin, einen robusten optischen Spektralfilter herzustellen, welcher eine hohe Selektivität beim Sortieren erlaubt. Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass sowohl Fertigungstoleranzen des optischen Filters, Winkeleinflüsse bei der Beobachtung sowie kleine Änderungen der spektralen Zusammensetzung der Lichtquelle das Verfahren empfindlich stören. Derzeit eingesetzte Hyperspektralkameras sind zu langsam, um Feinkorn wirtschaftlich zu sortieren.

**Analysieren, Zertifizieren:** Ansetzend bei feinkörnigen Materialien aus dem Bauschutt werden aufbauend auf bestehenden Verfahren Analysemethoden für das Ausgangsmaterial sowie Zertifizierungsverfahren für die aufbereiteten Produkte entwickelt. Die Herausforderung besteht darin, aus einem heterogenen Gemisch ein Material mit definierter, gleichbleibender Qualität zu generieren. Nur eine dauerhafte Qualitätssicherung und Zertifizierung der aufbereiteten Baustoffe garantiert deren Akzeptanz und Konkurrenzfähigkeit in der Bauwirtschaft.

**Material- und Bauteilentwicklung:** Die Feinkörnigkeit stellt aufbereitungstechnisch eine besondere Herausforderung dar. Gleichzeitig bietet sie aber auch die Chance, Baustoffe und Bauteile mit einer maßgeschneiderten Mikrostruktur herzustellen. Dies beeinflusst Festigkeit, Oberflächenqualität, Wassertransport und Schallabsorption. Die Herausforderung besteht im Beschreiben des Bezugs zwischen physikalischer Funktion und der Mikrostruktur des aufbereiteten Stoffstroms. Die Erkenntnisse fließen in Simulationswerkzeuge ein, die ausgehend von einer angestrebten Funktion, die optimale Mikrostruktur für die gewünschte Funktionalität berechnen. Weiterhin müssen Herstellungsverfahren identifiziert

oder weiterentwickelt werden, die diese optimale Mikrostruktur in RC-Produkten abbilden können.

**Marktplattform:** Die Herausforderung besteht in der Handhabung und Bewertung großer Datenvolumina zu Materialien, Mengen, Terminplänen und Projektbeteiligten sowie in der wirtschaftlichen und ökologischen Optimierung der Verknüpfung von Materialquellen und Materialsenken, wie Abbruch- und potenziellen Produktionsstandorten. Hier wird berücksichtigt, dass sich sowohl die Geschäftsmodelle als auch die Anforderungen an die Plattform für die einzelnen Anwendungen wie Granulate, funktionale Bauteile oder Bindemittel deutlich unterscheiden. In Zukunft wird sich der Materialfluss im Recyclingbereich von Bauabbruch wie in Abbildung 4 gezeigt darstellen:

## Ausblick

Eine erfolgreiche Umsetzung der gesetzten Ziele kann entscheidenden Einfluss auf die zukünftige Entwicklung des Baustoff-Recyclings nehmen. Zum einen kann der Anteil an zu deponierendem Material fast vollständig reduziert werden, womit BauCycle dazu beiträgt, die angespannte Lage der knappen Deponieflächen nicht weiter zu verschärfen. Zum anderen schon Das Recycling von Bauabbruch im Sinne eines ressourcenschonenden Nachhaltigkeitskonzepts primäre Abbaustellen wie Ton-, Sand- und Kiesgruben sowie Steinbrüche. Die Zahl der notwendigen Neuerschließungen von Lagerstätten und die damit verbundenen Emissionen und Immissionen könnten um ein Vielfaches verringert werden. Durch die Implementierung der logistischen Marktplattform profitieren sowohl Abbruchunternehmen als auch Produzenten von RC-Baustoffen. Abbruchunternehmer können ihr jeweiliges Material entsprechend der Nachfrage auf dem Markt an Aufbereitungsunternehmen liefern. Diese können das Material je nach Bedarf an verschiedene Produzenten mit unterschiedlichen Anforderungen an das Material weiterveräußern. Somit profitieren langfristig auch die am Recycling des Bauabbruchs beteiligten Firmen. Die im Projektverbund gesteckten Ziele und Technologien bieten jedoch Potenzial um auch in anderen Einsatzgebieten neben der Bauindustrie verwertet und eingesetzt zu werden. Die Simulation der Quellen- und Senkenbeziehungen sowie die Sortiertechnologie erlauben vielfältige Einsatzzwecke etwa in der chemischen Industrie, der Lebensmittelindustrie oder auch dem Bergbau. Das Projekt BauCycle ist im Januar 2016 gestartet und soll im Dezember 2018 beendet sein. Spätestens dann soll das BauCycle-Prinzip anhand ausgewählter Demonstratoren sein Potential unter Realbedingungen unter Beweis stellen.



**BauCycle ermöglicht hochwertiges Recycling und ersetzt Deponierung der Feinfraktion**



Abbildung 4: Vereinfachte Materialflussdarstellung im Bauwesen nach BauCycle Implementierung

**Literatur**

[1] BBSE-201 Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V.(Hrsg.): Mineralische Bauabfälle – Monitoring 2012, Berlin 2015  
 [2] [BMUB-2015a] BMUB (Hrsg.): 3. Arbeitsentwurf der Mantelverordnung (MantelV), Stand: 23.07.2015, Bonn, 2015, www.bmub.bund.de/N46921/ (aufgerufen am 8.4.2015)  
 [3] [BMUB-2015b] BMUB (Hrsg.): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess), Stand: 2012, 2. Auflage, Berlin, 2015  
 [4] [BMUB-2015c] BMUB (Hrsg.): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) II: Fortschrittsbericht 2012-2015 und Fortschreibung 2016-2019, Stand: 10.08.2015  
 [5] [BMVI-2010] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.): Berücksichtigung der Geringfügigkeitsschwellenwerte bei der Rechtssetzung und ihre Auswirkungen auf das Bauwesen, Berlin, 2010  
 [6] [Bundesregierung-2013] Deutsche Bundesregierung: Koalitionsvertrag 18. Legislaturperiode, Berlin; Dezember 2013  
 [7] [Dehler-2004] Dehler, M.: Optische Sortierung von mineralischen Rohstoffen, Schüttgut Vol. 10 (2004) Nr. 3, S. 212ff  
 [8] [Deilmann-2014] Deilmann, C.; Krauß, N.; Gruhler, K.; Reichenbach, J.: Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau, Dresden, 2014  
 [9] [DESTATIS-2010] Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Umweltnutzung und Wirtschaft – Bericht zu den umweltökonomischen Gesamtrechnungen, Wiesbaden, 2010  
 [10] [Dittrich-2015] Dittrich, S., Thome,

V., Seifert, S., Höhn, A.-L.: Verwertungspotential von elektrodynamisch aufbereitetem Altbeton, Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 2 – Aschen, Schlacken Stäube und Baurestmassen, TK Verlag 2015, S. 631 – 638  
 [11] [Eisleben-2013] Eisleben, A.: Baustoff-Recycling in Europa – Erfahrungen aus den Mitgliedstaaten. EQAR-Kongress, Brüssel, 2013  
 [12] [EUWID-2015] Kurth: »Entwurf zu MantelV bleibt weit hinter dem Notwendigen und Machbarem zurück«, EUWID Recycling und Entsorgung 38/2015  
 [13] [Linß-2015] E. Linß, H.-M. Ludwig, M. Landmann, A. Karrasch, und F. Kaiser, „Sensor-based sorting of mineral construction and demolition wastes by near-infrared“, in OCM 2015-Optical Characterization of Materials-conference proceedings, 2015, S. 179.  
 [14] [Michelsburg-2010] Michelsburg, M., Gruna, R., Vieth, K. U., & Puente León, F. (2010). Spektrale Bandselektion

beim Entwurf automatischer Sortieranlagen. In Forum Bildverarbeitung (pp. 389-400). KIT Scientific Publishing  
 [15] [Müller-2011] Müller, A., Weiß, A., Schnell, A.: Up-Cycling von Mauerwerkbruch, Recycling Magazin, Nr. 4, 2011, S. 30-34  
 [16] [Müller-2012] Müller, A.: Das Sulfatproblem, Recycling Magazin, Nr. 22, 2012, S. 26-29  
 [17] [Müller-2015] Müller, A.: Fortschritte beim Recycling von Mauerwerkbruch (Teil 2), Ziegelindustrie International Nr. 2, 2015, S. 24 – 28  
 [18] [Schnell-2010] Schnell, A.; Müller, A.: Entwicklung von Technologien zur Herstellung von Leichtgranulaten aus heterogenen Bau- und Abbruchabfällen, in: Teipel, U. (Hrsg.): Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovationen, Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2010  
 [19] [Taphanel-2013] Taphanel, M., Hovestreydt, B., & Beyerer, J. (2013): Speed-up chromatic sensors by optimized optical filters. Proc. SPIE Optical Measurement Systems for Industrial Inspection VIII, 8788, 87880S-87880S  
 [20] [VDZ-2014] Verein Deutscher Zementwerke e. V. (Hrsg.): Zementindustrie im Überblick 2014, Berlin 2014

Autoren: Sebastian Dittrich, Joseph Dörmann, Robin Gruna, Jochen Nühlen

**SCHLEIFEN**  
*optimal...*

**Manuelle Handhebel-Flachschleifmaschine**



**BEMA MASCHINEN GMBH**

Bunsenstraße 13 · D-75210 Keltern-Ellmendingen  
 Tel. (0 72 36) 14 27 · Fax (0 72 36) 14 29  
 Internet: <http://www.bemagmbh.de> · E-Mail: [info@bemagmbh.de](mailto:info@bemagmbh.de)