



Gips in RC-Produkten ist problematisch. Die Elimination gelingt mit verschiedenen Verfahren.

Fotos und Abbildungen soweit nicht anders genannt: Autorin

Bauschutt ohne Gips

Forschung: Gips ist ein beliebter Baustoff in Gebäuden. Im Bauschutt enthaltener Gips kann jedoch zu Schäden im Recycling-Baustoff führen. Unsere Autorin stellt Forschungsergebnisse und neue Methoden zur Gipselimination vor.

» Gips ist ein wegen seiner günstigen Eigenschaften zunehmend eingesetzter Baustoff. Er wird im Innenausbau als Putz, als Estrich oder in Form von Platten eingesetzt. Die Merkmale von Gipsbaustoffen sind die einfache Verarbeitbarkeit und günstige bautechnische Eigenschaften. Gleichzeitig ist für die Herstellung ein vergleichsweise niedriger Energieaufwand erforderlich, was zu ökologischen und ökonomischen Vorteilen führt. All das trägt dazu bei, dass die Anwendung von Gipsbauprodukten im Innenausbau und bei der Sanierung von Gebäuden zugenommen hat. Das Sortiment an Gipsbaustoffen umfasst Baugipse und Calciumsulfat-Binder für Estriche, Gipskartonplatten, Gipsfaserplatten, Gipsbauplatten und Trockenestriche. Gips wird außerdem bei der Zementherstellung als Abbindeeregler benötigt. Baugipse haben einschließlich Calciumsulfat-Binder für Estriche den größten Marktanteil gefolgt von Gipskartonplatten.

Zur Herstellung von Gips werden sowohl natürliche Rohstoffe als auch industrielle Nebenprodukte in Form von Rauchgasentschwefelungsgipsen (REA) eingesetzt. Dabei hat sich die Rohstoffbasis zunehmend in Richtung REA-Gipse verschoben.

Der Herstellungsprozess von Gipsprodukten kann in die eigentliche Bindemittelherstellung und die anschließende Weiterverarbeitung unterteilt werden. Bei der Bindemittelherstellung wird der Rohgips bzw. der REA-Gips, die als Calciumsulfat-Dihydrat $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ vorliegen, in einem thermischen Prozess zu Halbhydrat $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ teilentwässert. Die Wasserabgabe ist reversibel. Bei der Verarbeitung als Putzgips oder der Produktion von Platten wird wieder Wasser zugegeben. Dieses Wasser wird in die Kristallstruktur eingebaut. Dadurch wird eine Gefügever-

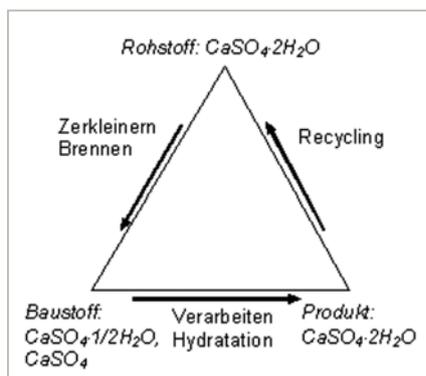


Abbildung 1: Gipskreislauf

dichtung erreicht, die zusammen mit der Verzahnung der nadelförmigen Gipskristalle die Festigkeitsentwicklung bewirkt. Das Endprodukt ist wieder Dihydrat.

Vom chemischen Gesichtspunkt her sind das Ausgangsmaterial, aus dem Gipsbaustoffe hergestellt werden, und das Erhärtungsprodukt identisch. Es besteht also ein Kreislauf (Abbildung 1). Der Gipskreislauf gilt allerdings nur für reine Stoffe. In technischen Produkten sind Zusätze enthalten. Gipsabfälle aus dem Umbau enthalten Verunreinigungen. Im Bauschutt ist der Gips Bestandteil eines Gemisches. Die Konsequenz ist, dass der Gips durch eine Aufbereitung in einen möglichst sortenreinen Zustand überführt werden muss, um den Kreislauf realisieren zu können.

Berechnung: Wie viel Gips steckt in den Bauwerken?

Der Gipsgehalt von Bauwerken kann nach verschiedenen Methoden abgeschätzt werden:

- Stoffstrombetrachtungen anhand der produzierten Mengen
- Generierung von Durchschnittsgebäuden, deren Zusammensetzung auf Statistiken und Annahmen basieren, und/oder Berechnungen zur Baustoffzusammensetzung von Gebäuden, für die „Baustofflisten“ vorhanden sind
- Recherchen von Ausschreibungsunterlagen
- Chemische Analysen von tatsächlich anfallendem Bauschutt und Modellwänden

Eines der wichtigsten Abschätzungsmethoden sind Untersuchungen an Modellwänden, die auf ihren Gips- bzw. Sulfatgehalt überprüft wurden. Im Rahmen

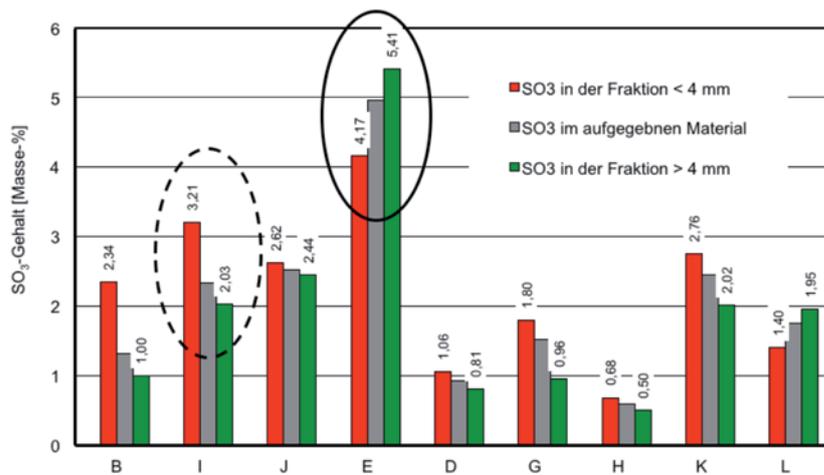


Abbildung 2: Verteilung des Gipsputzes der Modellwände auf die Fraktionen < 4 mm und > 4 mm; gestrichelte Markierung – Anreicherung in der Feinfraktion, durchgezogene Markierung – Anreicherung in der Grobfraktion [12]

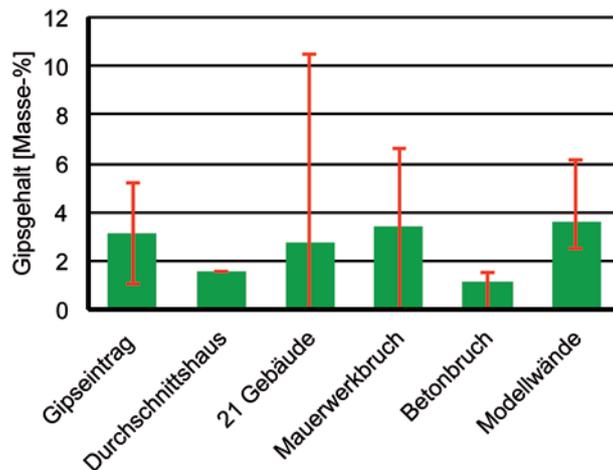


Abbildung 3: Zusammenfassung der Abschätzungen zum Gipsgehalt

eines Forschungsprojektes [12] wurden 12 Modellwände aus unterschiedlichen Wandbaustoffen errichtet und nach einer ausreichenden Standzeit wieder abgebrochen, zerkleinert und weiteren Untersuchungen unterzogen. Die Wände waren unterschiedlich aufgebaut. 9 Wände waren auf einer Seite mit Gipsputz mit einer Stärke von etwa 10 mm versehen. Anhand der geometrischen Abmessungen der Wände und der Rohdichten der Bestandteile kann der Gipsgehalt berechnet werden. Der Mittelwert beträgt 3,6 Masse-% Gips bei 2,5 Masse-% als Minimalwert und 6,1 Masse-% als Maximalwert. Nach der Zerkleinerung im Prallbrecher wurde das Material in die Fraktionen < 4 mm und > 4 mm getrennt. An den Fraktionen wurden die Gesamtsulfatgehalte mittels chemischer Analyse bestimmt. Die Ergebnisse in Abbildung 2 zeigen, dass die Sulfatgehalte sowohl von der Wandbaustoffart als auch von der Fraktion abhängen. Bei dem Vergleich der Sulfatgehalte in den Fraktionen zeigt sich, dass die Anreicherung von Gips in der Feinfraktion differenziert zu betrachten ist. Bei 4 der 9 verputzten Modellwände trat eine Anreicherung in der Fraktion < 4 mm auf, bei 2 Wänden war der Gips in der Fraktion > 4 mm angereichert. Bei 3 Wänden traten nur geringe Unterschiede zwischen den beiden Fraktionen auf.

Die Gegenüberstellung aller Ergebnisse zum Gipsgehalt von Gebäuden in Abbildung 3 zeigt, dass die unterschiedlichen Betrachtungsweisen zu mittleren Gipsgehalten von 1,1 bis 3,6 Masse-% führen. Die Unterschiede und die breiten Spannweiten ergeben sich u.a. daraus, dass der Einfluss des Bauwerksalters nicht berücksichtigt wurde. Der Gipseintrag an-

hand der Produktionsstatistiken und die Modellwände bilden die gegenwärtige Situation bezüglich der Gipsverwendung wahrscheinlich an besten ab.

Neue Verfahren zur Elimination von Gips im Bauschutt

Für die Abtrennung von Gips aus dem Abbruchmaterial bestehen verschiedene Möglichkeiten – beginnend mit dem Rückbau bis hin zur Anwendung eines thermischen Verfahrens.

Beim Rückbau können Gipsbauelemente wie Gipskartonplatten, Bauplatten und Trockenstrich demontiert und separiert werden. Gipsputze sind bisher nicht demontierbar. Estriche müssen differenziert betrachtet werden. Sind sie beispielsweise auf einer Trennschicht aufgebracht, können sie leicht entfernt werden. Sind sie direkt auf die Betonoberfläche aufgebracht worden (Abbildung 4), kann eine starke Haftung bestehen. Sie sind dann schwer abtrennbar.

Bei der Aufbereitung kann der Gips durch eine Siebung im Anschluss an die Zerkleinerung nur dann abgetrennt werden, wenn er sich im Feinkorn anreichert. Wie die Untersuchungen an den Modellwänden zeigen, tritt diese Anreicherung nicht zwangsläufig auf. Vielmehr richtet sie sich nach den Zerkleinerungswiderständen. Hat beispielsweise ein weicher Ziegel einen geringeren Zerkleinerungswiderstand als der Gipsputz, reichert sich der Ziegel in der Feinfraktion an.

Die Anwendung von Sortierverfahren zur Gipsabtrennung setzt voraus, dass der Gips durch die Zerkleinerung vom Untergrund abgetrennt ist. Ist diese Voraussetzung erfüllt, bestehen verschiedene Mög-

lichkeiten. In eigenen Untersuchungen wurde die Gipsabtrennung mittels Setzmaschine untersucht und die optische Sortierung getestet.

Für die Gipsabtrennung mittels Setztechnik wurde die Nasssetzmaschine Triple A der Firma AGS Anlagen und Verfahren GmbH ausgewählt (Abbildung 5), mit welcher sich asymmetrische Setzhubdiagramme realisieren lassen.

Für die Gipsabtrennung mittels sensorgestützter Sortierung wurde die Anlage Titech Combisense im Technikum des Herstellers genutzt (Abbildung 6). Sie war mit einer Farbzeilenkamera (CCD) ausgestattet, welche die Identifizierung von Bauschuttbestandteilen anhand verschiedener Sortierkriterien wie Farbe, Helligkeit, Form etc. ermöglicht. Nach der Identifizierung wurden die auszusondernden Gipspartikel mittels Druckluftimpulsen aus dem Materialstrom abgetrennt. Sie sind im abgewiesenen Materialstrom angereichert und im akzeptierten Strom abgereichert. Letzterer stellt das Produkt der sensorgestützten Sortiermaschine [17] dar.



Abbildung 4: Estrichschicht auf Betonuntergrund



Abbildung 5: Setzmaschine an Recyclinganlage



Blick in das Setzbett



Das Leichtgut wird ausgetragen.

Fotos: Hamish John Applepy, Alexander Schnell

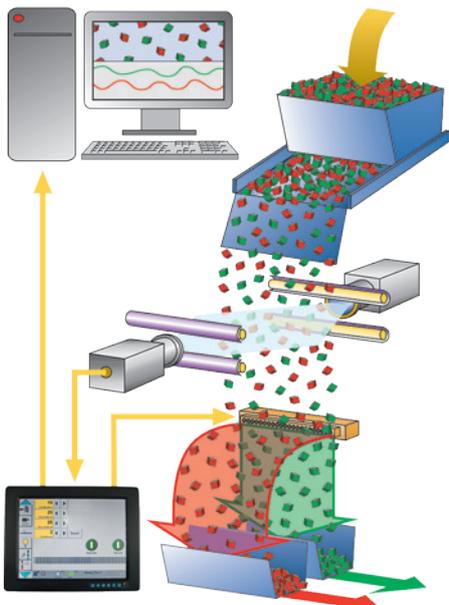


Abbildung 6: Schematischer Aufbau einer sensorgestützten Sortiermaschine [17]

Für die Versuche mit der Setzmaschine wurden Gips-Beton-Gemische mit abgestuften Gipsgehalten und Gips-Beton-Ziegel-Gemische hergestellt, welche die Maschine einmal oder mehrfach durchlaufen. Die Komponenten wurden zunächst getrennt zerkleinert und klassiert. Anschließend wurden die benötigten Massen der Komponenten verwogen und im Mischbettverfahren homogenisiert. Für die Versuche mit dem sensorgestützten

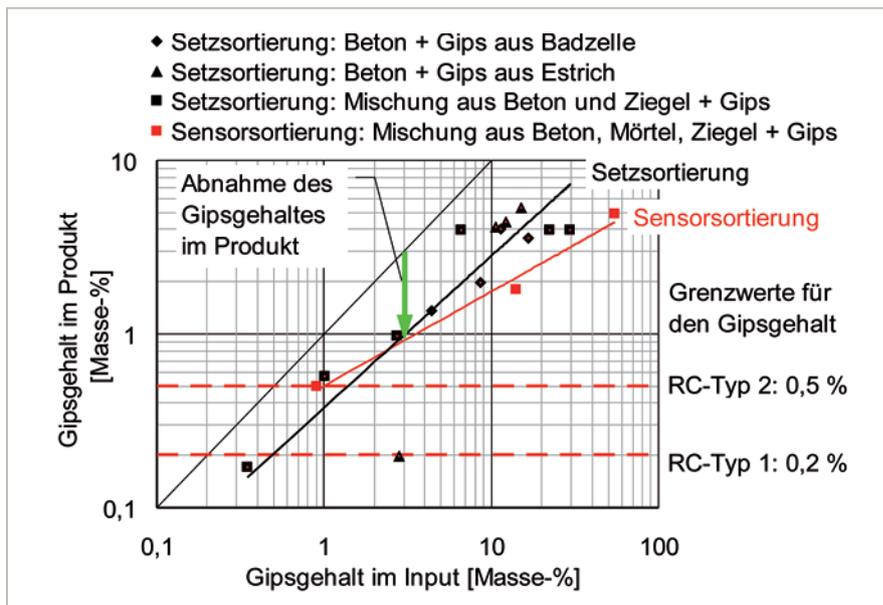


Abbildung 7: Abhängigkeit des Gipskörnergehalts im Produkt vom Gehalt im Aufgabematerial.

Verfahren wurden verschiedene Gipsbaustoffe einem Gemisch aus Beton, Mörtel und Ziegel zugegeben. Das Aufgabematerial lag sowohl bei der Setzsartierung als auch bei der Sensorsortierung als Kornfraktion 4/32 mm vor.

Für die Bewertung des Trennergebnisses wurden die Gipsgehalte im erzeugten Produkt und im Abprodukt sowie die Massen der getrockneten Outputmaterialien als Grundlage der Berechnung des

relativen Produkt- und Leichtgutausbringens bestimmt.

Experimentell konnte nachgewiesen werden (Abbildung 7), dass mit beiden Aggregaten eine Gipsanreicherung im Produkt gegenüber dem Ausgangsmaterial erreicht werden kann. In der zum Zeitpunkt der Versuche gültigen Norm für rezyklierte Gesteinskörnungen (DIN 4226-100) wird ein Gehalt an Gipspartikeln $< 0,5$ Masse-% (RC-Typ 2) bzw. $< 0,2$ Masse-% (RC-Typ 1) gefordert. Die Grenze von 0,5 Masse-% kann in einem einstufigen Prozess erreicht werden, wenn das Aufgabematerial 1 bis 2 Masse-% Gips enthält. Ein Gehalt an Gipspartikeln $< 0,2$ Masse-% kann in einem einstufigen Prozess nicht erreicht werden.

Das Produktausbringen ist bei der sensorgestützten Sortierung höher als bei der Setzsartierung (Abbildung 8). Das Leichtgut besteht nahezu vollständig aus Gips. Bei der Setzsartierung bewegt sich das Produktausbringen zwischen 20 und 85 %. Es entsteht eine beträchtliche Menge von nicht verwertbarem Leichtgut, bestehend aus Gips und anderen Baustoffen. Nach dieser Abschätzung scheint die sensorgestützte Sortierung bezüglich der



FÖRDERBAND-ABDECKUNG

- Öffnen und Rasten beidseitig ohne Werkzeug
- Einfache Montage durch Klemmbefestigung
- Keine losen Teile



Lommatzsch · Dresden
 Tel.: (03 52 41) 82 09-0
 Fax: (03 52 41) 82 09-11
www.kuehne-haube.de

Effektivität günstiger als die Setsortierung. Möglichkeiten für die weitere Verarbeitung des abgewiesenen Materials mit einem vergleichsweise hohen Gipsgehalt sind vorstellbar. Allerdings müssen diese Aussagen durch weitere Untersuchungen konsolidiert werden.

Als Alternative für die Gipsabtrennung durch eine Sortierung ist die Anwendung eines thermischen Verfahrens denkbar (Abbildung 9). Bei diesem Verfahren wird der Gips thermisch zersetzt und so vollständig aus dem Bauschutt entfernt. Er kann anschließend als REA-Gips aus dem Rauchgas zurückgewonnen werden. Das eigentliche Produkt dieses Verfahrens ist eine leichte Gesteinskörnung mit Rohdichten unter 1 kg/dm^3 , die beispielsweise für die Herstellung von Leichtbetonsteinen oder für konstruktiven Leichtbeton eingesetzt werden kann. Zugabeernermaßen ist das das aufwändigste Verfahren, um den Gips aus dem Bauschutt zu entfernen, aber auch das gründlichste. Mit dem Verfahren können hochwertige Produkte hergestellt werden – REA-Gips für die Gipsindustrie und leichte Gesteinskörnungen für die Bauindustrie.

Die Auswirkungen von RC-Gips in Bauwerken

Von dem im Bauschutt enthaltenem Gips können zwei Wirkungen ausgehen. Zum einen kann er gelöst werden und Sulfationen in das Grundwasser abgeben. Auf diesen Aspekt haben sich bisher die Forschungen konzentriert. Zum anderen kann der Gips als vergleichsweise leicht löslicher, reaktiver Bestandteil mit anderen Bestandteilen des Bauschutts oder mit Zement bei der Verarbeitung zu Beton reagieren. Dadurch entstehen Schäden, die oftmals den vollständigen Ausbau des Recycling-Baustoffs nach sich ziehen. Zu diesem Aspekt liegen bisher sehr wenige Forschungen vor. Grenzwerte, geeignete Methoden für die Bewertung und die Güteüberwachung sowie ggf. erforderliche Empfehlungen für die Einbaubedingungen fehlen.

Wichtigstes Einsatzgebiet für RC-Baustoffe aus Betonbruch ist die Frostschuttschicht. In den letzten

Jahren wurden an Straßen, die dieses Material enthielten, vereinzelt Schäden festgestellt. Die Schäden äußerten sich in ungleichmäßigen Hebungen und Aufwölbungen im Asphaltoberbau. Sie traten überwiegend nach Frostperioden auf. Schadensfälle aus den Bundesländern Berlin, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Baden-Württemberg sind bekannt geworden.

Obwohl bisher keine systematische Ursachenforschung durchgeführt wurde, wurde bei allen untersuchten Schadensfällen das sulfathaltige Mineral Ettringit und zum Teil auch Thaumasit nachgewiesen.

Für Betone ist das Phänomen der Gefügeschädigung durch Ettringitbildung seit mehr als 100 Jahren bekannt und

bis heute Gegenstand intensiver Forschungen. Ausgelöst wird die Ettringitbildung durch das Zusammenwirken von Sulfaten und reaktionsfähigem Al_2O_3 bei einem ausreichenden Kalkangebot und dem Vorhandensein von Wasser. Die Sulfate können entweder aus dem Beton selbst oder aus Wässern und Böden stammen. Es entsteht die Verbindung Ettringit $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$. Eine Volumenvergrößerung bis auf das 8-fache des Ausgangsvolumens tritt auf. Treiberscheinerungen sind die Folge. Parallel zur Bildung von Ettringit kann beim Sulfatangriff auch Thaumasit gebildet werden. Reaktionspartner sind in diesem Fall Siliziumdioxid, Carbonat, Sulfat und Wasser. Thaumasit ist ein dem Ettringit



Zuviel Verschleiß? CRACO hat was dagegen!

CRACOX
Premium-Verschleißstahl

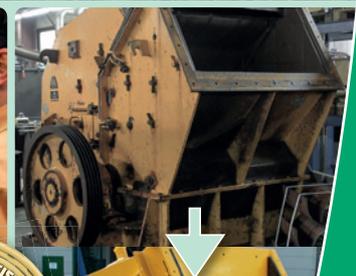
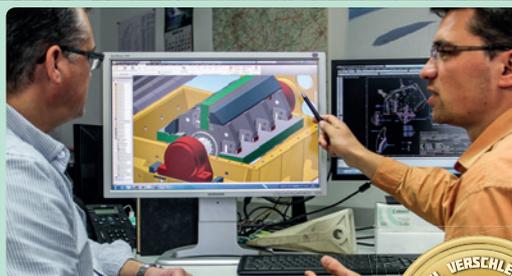
maxforce
Hochleistungs-Zahnsysteme

75 Jahre
Erfahrung
zum Vorteil des Kunden

LongLife
Zusatz-Vergütungsverfahren



Im Dialog mit Ihnen entwickeln wir Lösungen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit Ihrer Maschinen.



CRACO
Ihr Spezialist für Verschleißteile.

CRACO GmbH
Naubergstraße 6
D-57629 Atzelgift

T 02662-9552-0
F 02662-9552-549
E info@craco.de



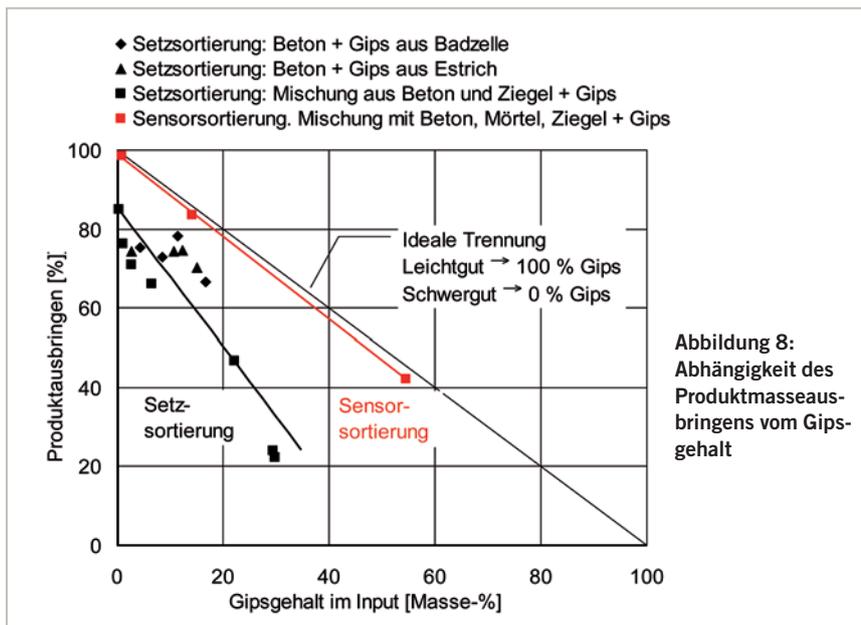


Abbildung 8: Abhängigkeit des Produktmasseausbringens vom Gipsgehalt

verwandtes Mineral mit ähnlicher Kristallstruktur und der Zusammensetzung $\text{CaSiO}_3\text{-CaCO}_3\text{-CaSO}_4\cdot 16\text{H}_2\text{O}$. Die Thaumasitbildung führt im Unterschied zur Ettringitbildung nicht zu einer treibenden Reaktion, sondern zu einer Entfestigung bis hin zu einer „Auflösung der Zementsteinmatrix, so dass sich fester Beton in eine breiige Masse umwandelt“ [13]. Eine Thaumasitbildung erfolgt vorzugsweise bei Temperaturen unter 15 °C.

Wird gipshaltiger RC-Baustoff aus Beton als Tragschichtmaterial eingebaut, stehen alle Reaktionspartner zur Verfügung: Der Gips als Rückstand von Putzen oder Estrichen, das benötigte Al_2O_3 sowie das CaO aus den Hydratphasen des Zementes

und/oder aus reaktiven Ziegel- sowie Bodenbestandteilen. Da ein Wasserzutritt nicht auszuschließen ist, steht auch Wasser als weiterer Reaktionspartner zur Verfügung. Die Reaktionen zur Ettringit- bzw. Thaumasitbildung können also ablaufen, begünstigt durch den Sachverhalt, dass durch die Zerkleinerung des Betonbruchs eine relativ große Reaktionsoberfläche geschaffen wurde. Aus der Betonforschung ist bekannt, dass Ettringit und Thaumasit sich bevorzugt bei tiefen Temperaturen bilden. Das erklärt die Beobachtung, dass die Schäden gehäuft nach Frostperioden auftreten.

Auch aus der Bodenstabilisierung mit Weißfeinkalk (CaO) oder Kalkhydrat (Ca(OH)_2) ist bekannt, dass es zu chemischen Reaktionen und zur Bildung quellfähiger Verbindungen kommen kann, wenn im Boden Sulfate vorhanden sind. Die in diesem Zusammenhang beobachteten Verbindungen sind wiederum Ettringit und Thaumasit [14]. Bei ausreichendem Wasserangebot während oder auch nach der Entstehung dieser Verbindungen tritt eine deutliche Volumenzunahme auf. Die Folge sind Hebungen und Rissbildungen in den Deckschichten. Solange die Ausgangsprodukte der Schädreaktionen – Kalk aus der Bodenstabilisierung, Aluminiumoxid und Sulfat aus dem Boden sowie Feuchtigkeit – in ausreichenden Mengen zur Verfügung stehen, muss mit dem Auftreten dieser Reaktionen gerechnet werden. Deshalb ist zur Behebung der Schäden in der Regel ein kompletter Bodenaustausch erforderlich, weil durch Reparaturen der Deckschichten nicht die eigentlichen Ursachen beseitigt werden.

Die Befunde aus der Bodenstabilisierung zeigen, dass bereits ein Kalkeintrag in den Boden ausreicht, um die Ettringit-

und Thaumasitbildung auszulösen. Alle anderen Reaktionspartner (Al_2O_3 , SiO_2 , CaCO_3 , SO_3 , H_2O) können vom Boden zur Verfügung gestellt werden. Werden RC-Baustoffe aus Beton im Boden eingesetzt, findet ebenfalls ein Kalkeintrag statt. Die o. g. anderen Reaktionspartner, die für die Ettringit- bzw. Thaumasitbildung ebenfalls erforderlich sind, müssen nicht zwingend allein aus dem Beton herrühren, sondern können auch aus dem Boden stammen. Zwei Beispiele aus der Literatur belegen das anschaulich:

Beispiel 1: Bei Untersuchungen an verschiedenen Körnungen aus RC-Beton zeigte nur der RC-Beton eine Dehnung, der durch Sulfatangriff geschädigt war. Hier trat nach einer Wasserlagerung von 70 Tagen eine Volumendehnung von 4 % auf [15]. In diesem Fall war also das RC-Material selbst die Quelle der Sulfationen.

Beispiel 2: Bei Untersuchungen zum Wiedereinsatz von RC-Beton, der aus dem Rückbau von Start- und Landebahnen von insgesamt 8 Flughäfen an verschiedenen Standorten der USA stammte, wurden nur in einem Fall Schäden beobachtet [16]. Bei dem in New Mexico ausgebauten und wieder eingesetzten Material traten an den Schichten aus dem RC-Beton erhebliche Treiberscheinungen durch Sulfatangriff auf, obwohl der Ausgangsbeton aus einem sulfatresistenten Zement hergestellt worden war und im zwischengelagerten Material keinerlei Gips, Ettringit oder Thaumasit nachgewiesen wurde. Hauptursache ist der für New Mexico typische, sehr hohe Sulfatgehalt im Boden. Begünstigt wird der Angriff durch die Anwesenheit von Bodenpartikeln im RC-Material, die als Al_2O_3 -Träger wirken können, und die naturgemäß höhere Permeabilität von RC-Körnungen im Vergleich zu Beton.

Aus dem Gesagten folgt, dass eine Ettringit- und Thaumasitbildung in als Tragschichtmaterial eingesetztem RC-Beton eintreten kann, wenn Sulfationen aus Gipsbestandteilen vorhanden sind. Sind keine Sulfationen vorhanden, können trotzdem Schäden auftreten, wenn der benachbarte Boden entsprechende Bestandteile – geogen oder anthropogen verursacht – enthält. Die Ettringit- und Thaumasitbildung hängen vom Zusammentreffen sehr vieler Faktoren ab. Schlüssige Antworten, wie diese Schädreaktionen vermieden werden können, erfordern eine intensive Forschung.

Zusammenfassung und Ausblick

Der Baustoff Gips ist ein zunehmend im Innenausbau und bei der Sanierung von Gebäuden eingesetzter Baustoff. Die Gipsproduktion hat in den letzten Jahr-

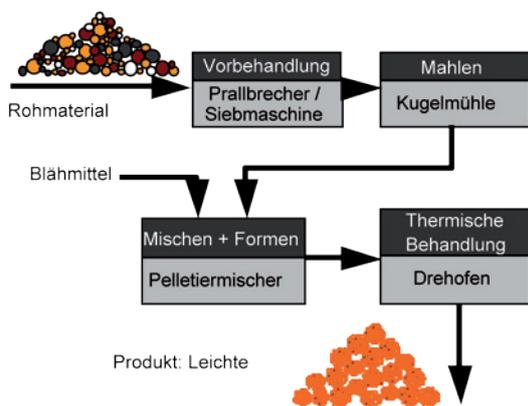
„Bei 'nem neuen Brecher entscheidet der Kaufpreis!“

„...und katastrophale Betriebskosten interessieren nicht? Abgerechnet wird immer noch unter'm Strich!“ Also: Besser gleich



CHRISTOPHEL
SIEBEN • BRECHEN • SCHREDDERN • DOSIEREN

Tel.: (0451) 8 99 47-0 • www.christophel.com



Ausgangsmaterial



Drehrohren



Leichtgranulat

Abbildung 9: Verfahrensablauf Herstellung von Leichtgranulaten aus Mauerwerk [18]

zehnten erheblich zugenommen, was eine Erhöhung des Gipseintrags in Gebäude zur Folge hat. Mit Recherchen auf der Basis von unterschiedlichen Ausgangsdaten wurde ermittelt, dass der Gipsgehalt von Gebäuden bis zu 10 % der verbauten Baustoffmasse betragen kann.

Von dem im Bauschutt enthaltenem Gips können zwei Wirkungen ausgehen. Zum einen kann er gelöst werden und Sulfationen in das Grundwasser abgeben. Zum anderen kann der Gips als vergleichsweise leicht löslicher, reaktiver Bestandteil mit anderen Bestandteilen des Bauschutts reagieren. Dadurch entstehen Schäden, die oftmals den vollständigen Ausbau des Recycling-Baustoffs nach sich ziehen. Um diese Auswirkungen zu vermeiden, ist ei-

ne Abtrennung des Gips' erforderlich. Auf der Basis der dazu durchgeführten Untersuchungen mit einer Setzmaschine und mit einem optischen Verfahren wurden die Grenzen dieser mechanischen Sortierverfahren aufgezeigt. Als Alternative wurde ein thermisches Verfahren beschrieben, das einen Technologiesprung für die Recyclingbranche darstellen würde. Um den Herausforderungen durch erhöhte Gipsgehalte im Bauschutt begegnen zu können, besteht dringend Forschungsbedarf. (Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller, Institut für Angewandte Bauforschung gGmbH Weimar)

✗ SUSA Wegweiser
www.iab-weimar.de

Literatur

- [1] Der Bedarf an mineralischen Baurohstoffen. Gutachten. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. 2000.
- [2] Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V.: Konjunkturexpertisen. Statistischer Teil. 2008, 2009, 2010, 2011, 2012.
- [3] Staatliche Geologische Dienste der Bundesrepublik Deutschland: Rohstoffsicherung in der Bundesrepublik Deutschland – Zustandsbericht – Stand: 31. Dezember 2008.
- [4] DERA Rohstoffinformationen Deutschland Rohstoffsituation 2010. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover Dezember 2011.
- [5] Arendt, M.: Kreislaufwirtschaft im Baubereich: Steuerung zukünftiger Stoffströme am Beispiel Gips. Dissertation, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe 2000.
- [6] Doka, G.: Ökoinventar der Entsorgungsprozesse von Baumaterialien. Grundlagen zur Integration der Entsorgung in Ökobilanzen von Gebäuden. Zürich 2000.
- [7] Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen. Materialien zur Abfallwirtschaft, Landesamt für Umwelt und Geologie, Freistaat Sachsen, 1999.
- [8] Hornfeck, Christine: Iststandermittlung zur Baustoffverwendung in verschiedenen ausgewählten Gebäudetypen. Diplomarbeit, Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, 1996.
- [9] Weber-Blaschke, G.; Faulstich, M.: Analyse, Bewertung und Management von Roh- und Baustoffströmen in Bayern. Schlussbericht Verbundprojekt Stoffflussmanagement Bauwerke, TU München Freising 2005.
- [10] Keilhauer, Jana; Stüken, Rebecca: Gipshaushalt in Deutschland. Projektarbeit, Professur Werkstoffe des Bauens der Bauhaus-Universität Weimar 2012.
- [11] Lipsmeier, Klaus: Abfallkennzahlen für Neubauleistungen im Hochbau. Dissertation, Technische Universität Dresden 2004.
- [12] Aufschlussverfahren zur Trennung von Verbundkonstruktionen im Mauerwerksbau AiF-IFG-Projekt, Institut für Angewandte Bauforschung gGmbH Weimar 2012.
- [13] Sulfatangriff auf Beton - Stellungnahme des DAfStb, März-Ausgabe des DAfStb-Rundschreibens 2003
- [14] Veith, G.: Verwendung von kalkaktivierter Hochofenschlacke bei der Bodenstabilisierung. TIEFBAU (2001), Heft 10, S. 680-682.
- [15] Rathje, Ellen; Trejo, David; Folliard, Kevin: Potential Use of Crushed Concrete and Recycled Asphalt. Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin. March 2006.
- [16] Athar Saeed u.a.: Evaluation, Design and Construction Technique for Airfield Concrete Pavement Used as Recycled Material for Base. Applied Research Associates, Vicksburg 2006.
- [17] Dehler, M.: Optische Sortierung von mineralischen Rohstoffen. Schüttgut Vol. 10 (2004) Nr. 3, S. 212-216.
- [18] Müller, A.; Schnell, A.; Rübner, K.: Aufbaukörperungen aus Mauerwerkbruch. Chemie Ingenieur Technik Vol. 84 (2012), No. 10, 1-13.

Wir reduzieren Energiekosten. Speziell für die Sand- und Kiesindustrie.

Für unsere Kunden konnten wir 2011
500 – 80.000 EUR Ersparnis
realisieren*
* Verbrauchs- und Versorger abhängig

WOLFF & MÜLLER ENERGY
Optimiert Energiekosten.
Für die Bauzulieferbranche.

Im Jahr 2011 konnte die WOLFF & MÜLLER ENERGY bei ihren Kunden die Energiekosten bis zu **15 %** senken. Seit über 10 Jahren unterstützen wir Unternehmen aus der Bauzulieferbranche im Strom- und Gaseinkauf. Nutzen Sie dieses Know-how für Ihr Unternehmen – und senken auch Sie Ihre Energiekosten.



Unverbindliches
Angebot anfordern:
07141 – 912 111

www.wm-energy.de