

Das Sulfatproblem

GIPSABFÄLLE Als Baustoff in Wänden, Decken und Böden stecken schon heute bis zu zehn Prozent Gips in der Gebäudesubstanz Deutschlands. Nach einem Abriss bereiten diese Stoffe in Recyclingbaustoffen massive Probleme. Aus diesem Grund werden Gipsabfälle bislang deponiert. Doch ein Recycling lohnt.



Foto: VG-Orth Multigips

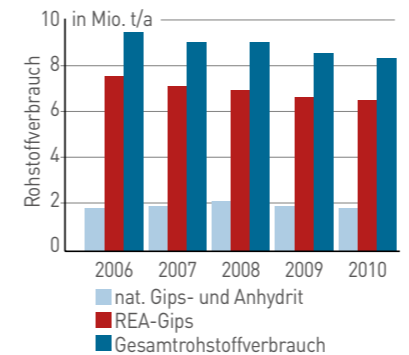
Richtung REA-Gipse verschoben. Der Herstellungsprozess von Gipsprodukten kann in die eigentliche Bindemittelherstellung und die anschließende Weiterverarbeitung unterteilt werden. Während der Bindemittelherstellung werden Rohgips oder REA-Gipse in einem thermischen Prozess teilentwässert. Die ursprüngliche Calciumsulfat-Dihydrat-Struktur – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – liegt dann als Halbhydrat vor: $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$.

Die Wasserabgabe ist reversibel, sodass bei der Verarbeitung als Putzgips oder der Produktion von Platten wieder Wasser zugegeben werden kann. Dieses Wasser wird in die Kristallstruktur eingebaut. Dadurch wird eine Gefügeverdichtung 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.

Der Gipskreislauf gilt allerdings nur für reine Stoffe. In technischen Produkten sind Zusätze enthalten. Gipsabfälle aus Abriss oder Umbau enthalten außerdem Verunreinigungen. Im Bauschutt ist der Gips Bestandteil eines Gemischs. Die Konsequenz ist, dass der Gips durch eine Aufbereitung in einen möglichst sortenreinen Zustand überführt werden muss. Nur dann kann der Gipskreislauf tatsächlich realisiert werden.

Darüber hinaus hat Gips in einem Bauschuttgemisch zum Teil negative Wirkungen. 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 leicht löslicher, reaktiver Bestandteil mit

Rohstoffe zur Gipsherstellung
Über 80 % der Gipse sind REA-Gipse



Quelle: Anette Müller

anderen Bestandteilen des Bauschutts oder mit Zement bei der Verarbeitung zu Beton reagieren. Dadurch entstehen Schäden, die oftmals den vollständigen Ausbau des Recyclingbaustoffs nach sich ziehen. Zu diesem Aspekt liegen bisher sehr wenige Forschungen vor. Grenzwerte, geeignete Methoden für die Bewertung und die Güteüberwachung sowie gegebenenfalls erforderliche Empfehlungen für die Einbaubedingungen fehlen.

Wichtigstes Einsatzgebiet für RC-Baustoffe aus Betonbruch ist die Frostschutzschicht. In den letzten Jahren wurden an Straßen, die dieses Material enthielten, vereinzelt Schäden festgestellt. Sie traten überwiegend nach Frostperioden auf und sind bisher aus Berlin, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Baden-Württemberg bekannt. Meist äußerten sich die Schäden in ungleichmäßigem Heben und Aufwölben des Asphaltoberbaus. Obwohl bisher keine systematische Ursachenforschung durchgeführt wurde, konnten bei allen untersuchten Schadensfällen das sulfathaltige Mineral Ettringit und zum Teil auch Thaumasit nachgewiesen werden.

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 Aluminiumoxid (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: $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$. Dabei vergrößert sich das Volumen bis auf das Achtfache des Ausgangsvolumens. Treiberscheinungen 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 verwandtes Mineral mit ähnlicher Kristallstruktur und der Zusammensetzung, $\text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$. Die Thaumasitbildung führt im Unterschied zur Ettringitbildung nicht zu einer treibenden Reaktion, sondern zu einer Entfestigung bis hin zu einer Auflösung der Zementsteinmatrix. In der Folge verwandelt sich fester Beton in eine Art breiige Masse. Die Thaumasitbildung erfolgt bei Temperaturen unter 15 Grad Celsius.

Wird zum Beispiel gipshaltiger RC-Baustoff aus Beton als Tragschichtmaterial eingebaut, reagiert der Sulfatanteil der Gipsreste mit Al_2O_3 sowie CaO aus den Hydratphasen des Zements und/oder aus reaktiven

Gipsreste führen zu Ettringit- und Thaumasitbildung

Ziegel- sowie Bodenbestandteilen. Da ein Wasserzutritt nicht auszu-schließen ist, steht auch Wasser als weiterer Reaktionspartner zur Verfügung. Die Reaktionen zur Ettringit- beziehungsweise Thaumasitbildung können also ablaufen. Und werden noch zusätzlich begünstigt, da beim Zerkleinern des Betonbruchs eine relativ große Reaktionsoberfläche geschaffen wurde. Aus der Betonforschung ist zudem 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 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) 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. 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.

Bereits ein geringer Kalkeintrag in den Boden reicht aus, 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 oben genannten anderen Reaktionspartner, die für die Ettringit- beziehungsweise 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:

- Bei Untersuchungen verschiedener 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 vier Prozent auf. In diesem Fall war also das RC-Material selbst die Quelle der Sulfationen.
- Bei Untersuchungen zum Wiedereinsatz von RC-Beton, der aus dem Rückbau von Start-

Ob als Putz, Estrich oder in Form von Platten, ohne Gips läuft in der Bauindustrie gar nichts. Das liegt zum einen an der ökologisch sowie ökonomisch vorteilhaften Herstellung, die vergleichsweise wenig Energie erfordert. Und zum anderen in der einfachen Verarbeitung und den günstigen bautechnischen Eigenschaften von Gips. Baustoffe – hergestellt aus dem Mineral Calciumdisulfat – setzen Baufirmen daher bevorzugt für den Innenausbau und bei der Sanierung von Gebäuden ein.

Durchschnittlich werden etwa sieben Millionen Tonnen Gipsprodukte hergestellt – Tendenz steigend. Das Sortiment an Gipsbaustoffen ist groß und umfasst Baugipse und

Calciumsulfat-Binder für Estriche, Gipskartonplatten, Gipsfaserplatten, Gipsbauplatten und Trockenestriche. Gipselemente machen dabei etwa die Hälfte des Gipsortiments aus. Der Anteil von Gipsputzen einschließlich Calciumsulfat-Bindern für Estriche, welche auf Wände oder Fußböden aufgebracht werden, beträgt rund ein Drittel. Die verbleibenden 17 Prozent werden als Abbinderegler bei der Zementherstellung benötigt.

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

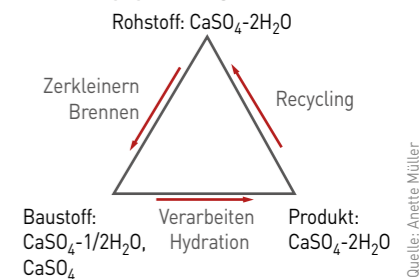


Von Anette Müller

Bis April 2011 besetzte Anette Müller die Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung an der Bauhaus-Universität Weimar. Seit dieser Zeit widmet sie sich in einem Verein diesem Thema. Weitere Informationen zum Gipsrecycling sind direkt bei der Autorin erhältlich.

Gipskreislauf

Chemisch sind Gipsrohstoff und Gipsprodukt gleich



Quelle: Anette Müller

und Landebahnen von insgesamt acht Flughäfen an verschiedenen Standorten der USA stammte, wurden nur in einem Fall Schäden beobachtet. Bei dem in New Mexico rückgebauten Material traten an den Schichten aus dem RC-Beton erhebliche Treiberscheinungen durch Sulfatangriff auf, obwohl der Ausgangsbeton aus einem sulfatresistenten Zement bestand 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 höhere Permeabilität von RC-Körnungen im Vergleich zu Beton.

Daraus folgt, dass eine Ettringit- und Thaumasitbildung in RC-Beton auftreten 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. Schlüssige Antworten, wie diese Schädigungen vermieden werden können, erfordern eine intensive Forschung. Um solche Schadensfälle weitestgehend zu vermeiden, bestehen verschiedene Möglichkeiten für die Abtrennung von Gips aus Abbruchmaterial – beginnend beim selektiven Rückbau bis hin zur Anwendung eines thermischen Verfahrens.

Beim Rückbau können Gipsbauelemente wie Gipskartonplatten, Bauplatten und Trockenstriche demontiert und repariert werden. Gipsputze sind bisher nicht demontierbar. Fließstriche müssen differenziert betrachtet werden: Sind sie etwa auf einer Trennschicht aufgebracht, können sie leicht entfernt werden. Sind sie direkt auf die Betonoberfläche aufgebracht, ist die Haftung möglicherweise so stark, dass sie schwer abgetrennt werden können.

Im Verfahrensablauf der Aufbereitung kann der Gips mit unterschiedlichen Techniken zurückgewonnen werden. Eine Möglichkeit ist die Feinkornabsiebung im Anschluss an die Zerkleinerung. Mit dieser Abtrennung wird nur dann eine wirksame Sulfatreduzierung erreicht, wenn sich der Gips im Feinkorn anreichert.

Um zu überprüfen, ob eine solche Anreicherung stattfindet, wurden im Rahmen eines Forschungsprojekts zwölf Modellwände aus unterschiedlichen Wandbaustoffen errichtet. Nach einer ausreichenden Standzeit wurden diese Wände wieder abgebrochen, im Prallbrecher zerkleinert und anschließend in die Fraktionen kleiner vier Millimeter und größer vier Millimeter getrennt.

An den Fraktionen wurden die Gesamtsulfatgehalte mittels chemischer Analyse bestimmt. Stellt man die Sulfatgehalte der groben Fraktionen und feinen Fraktionen gegenüber, sind die Sulfatgehalte der Fraktionen kleiner vier Millimeter nur bei vier der

neun Messpunkte erhöht. Es findet also nur in bestimmten Fällen eine Anreicherung statt. Ferner ist der verbleibende Sulfatgehalt in den Fraktionen größer vier Millimeter teilweise erheblich.

Als weitere Möglichkeit zur Gipsabtrennung können Sortierverfahren eingesetzt werden. Das setzt voraus, dass der Gips durch die Zerkleinerung von seinem Untergrund abgetrennt wurde. Ist diese Voraussetzung erfüllt, können verschiedene Techniken verwendet werden, die allerdings nur grobe rezyklierte Gesteinskörnungen effektiv behandeln. In



Marienglas ist eine besonders reine, durchsichtige Form von Gips

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

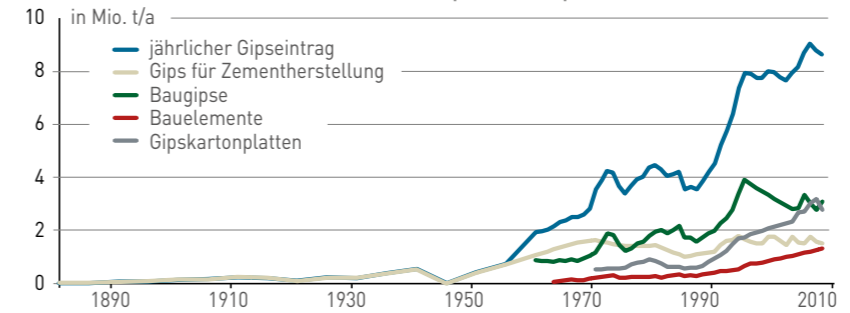
Die Gipsabtrennung mittels Setztechnik beruht auf den Dichteunterschieden, die zwischen Gips einerseits und Wandbaustoffen beziehungsweise Beton andererseits bestehen. Das aufgegebene Material, das aus Partikeln unterschiedlicher Dichte besteht, wird in Leichtgut, in welchem die spezifisch leichteren Partikel angereichert sind, und Schwergut, in welchem die spezifisch schwereren Partikel angereichert sind, getrennt.

Während des Setzvorgangs wird das zu sortierende Korngemisch von einem pulsierenden Wasserstrom aufgelockert. Dabei sinken die spezifisch schwereren Körnungen ab und die spezifisch leichteren Körnungen steigen nach oben auf und ordnen sich über den spezifisch schwereren Körnern an. Die leichteren Körner werden über ein Wehr ausgetragen. Die schwereren Körner werden im unteren Teil des Setzbetts abgezogen.

Die Gipsabtrennung mittels optischer Sortierung beruht auf Farbunterschieden zwischen Gips und Beton sowie Mauerwerksbausteinen. Durch eine Befeuchtung der Ober-

Gipseintrag in Deutschland 1880–2010

Durchschnittlich sieben Millionen Tonnen Gips werden pro Jahr verbaut



Quelle: Anette Müller

fläche können diese Farbunterschiede intensiviert werden. Die für die Versuche verwendete Anlage war mit einer Farbzeilenkamera (CCD) ausgestattet, welche die Identifizierung von Bauschuttbestandteilen anhand verschiedener Sortierkriterien wie Farbe, Helligkeit, Form und so weiter ermöglicht. Nach der Identifizierung wurden die auszuwählenden Gipspartikel mittels Druckluftimpulsen aus dem Materialstrom abgetrennt. Sie sind im abgewiesenen Materialstrom angereichert und im akzeptierten Strom abgereichert. Letzterer ist das Produkt.

Experimentell konnte nachgewiesen werden, dass mit beiden Aggregaten eine Gipsabreicherung 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 kleiner 0,5 Masseprozent (RC-Typ 2) beziehungsweise kleiner 0,2 Masseprozent (RC-Typ 1) gefordert. Die Grenze von 0,5 Masseprozent kann in einem einstufigen Pro-

zess erreicht werden, wenn das Aufgabematerial 1 bis 2 Masseprozent Gips enthält. Ein Gehalt an Gipspartikeln kleiner 0,2 Masseprozent kann in einem einstufigen Prozess nicht erreicht werden.

Unter dem Strich ist das abgewiesene Material nach der sensorgestützten Sortierung wesentlich reiner als das Leichtgut nach der Setzsortierung und besteht fast vollständig aus Gips. Dagegen beträgt der Gipsgehalt im Leichtgut der Setzsortierung zwischen 20 und 40 Prozent. Es liegt also eine beträchtliche Menge nicht verwertbaren Leichtguts vor, bestehend aus Gips und anderen Baustoffen.

Nach dieser Abschätzung scheint die sensorgestützte Sortierung bezüglich der Effektivität günstiger als die Setzsortierung. 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

des in diesem Magazin beschriebenen thermischen Verfahrens möglich, mit welchem aus Mauerwerkbruch leichte, geblähte Granulate hergestellt werden können. 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 Gramm pro Kubikzentimeter, die etwa für die Herstellung von Leichtbetonsteinen oder für konstruktiven Leichtbeton eingesetzt werden kann. Zugegebenermaßen ist dies das aufwendigste Verfahren, um Gips aus 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.

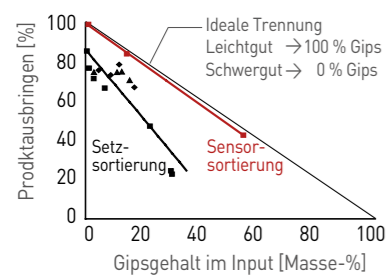
Um erhöhte Gipsgehalte im Bauschutt künftig zu vermeiden, besteht nach wie vor dringend Forschungsbedarf. Denn Gips wird weiterhin als Baustoff favorisiert. Darauf lässt auch die steigende Gipsproduktion in den vergangenen Jahren schließen.

Aufgrund von Produktionsstatistiken, Berechnungen zur Baustoffzusammensetzung von Gebäuden sowie Recherchen von Ausschreibungsunterlagen und chemischen Analysen von Bauschutt und Modellwänden wird bisher davon ausgegangen, dass ein durchschnittlicher Gipsgehalt in Gebäuden von 3,6 Masseprozent realistisch ist. In Einzelfällen konnte jedoch ein Gipsanteil von bis zu 10 Prozent an der verbauten Baustoffmasse festgestellt werden.

Anette Müller

Gipsabtrennung

Die optische Sortierung bewirkt eine fast 100 % reine Gipsfraktion

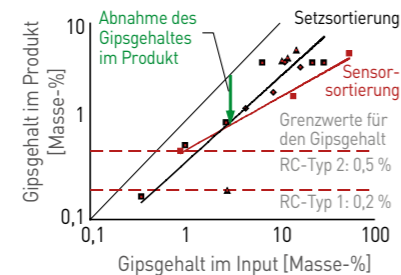


- ◆ Setzsortierung: Beton + Gips aus Badzelle
- ▲ Setzsortierung: Beton + Gips aus Estrich
- Setzsortierung: Mischung aus Beton und Ziegel + Gips
- Sensor-sortierung: Mischung aus Beton, Mörtel, Ziegel + Gips

Quelle: Anette Müller

Gipsgehalt im Produkt

Sortierverfahren lohnen bei einem geringen Gipsanteil des Inputs



- ◆ Setzsortierung: Beton + Gips aus Badzelle
- ▲ Setzsortierung: Beton + Gips aus Estrich
- Setzsortierung: Mischung aus Beton und Ziegel + Gips
- Sensor-sortierung: Mischung aus Beton, Mörtel, Ziegel + Gips

Quelle: Anette Müller

Abdecknetze

wasserdichte Abdeckplanen

luftdurchlässige Abdeckplanen

Absetzkipper-Zubehörteile

Zurrsysteme

Hebebänder

Absetzmulden-/ Container-Verzurrungen

Anschlagmittel Drahtseil/Kette

Lothar Huck GmbH
 Im Mühlgut 8-10, 77815 Bühl-Weitenung, Tel. 07223-9623-0, Fax 07223-9623-30
www.huck-gmbh.de