



Direkt von der Aufbereitungsanlage der Kibag befüllt der Radlader den Container mit 15 Kubikmeter Betongranulat.

CO₂-Speicherung im Beton

Richtig Gas geben bei der Dekarbonatisierung

Die Versteinerung des klimaschädlichen Kohlendioxids im Betongranulat von aufbereitetem Abbruchmaterial hat für die Bauindustrie grosses Potenzial. Ein Grossteil der CO₂-Emissionen liesse sich kompensieren. Das Verfahren eines ETH-Spin-offs verbessert sogar die Materialeigenschaften des Betons. Auf einem der schweizweit grössten Recyclingwerke wird die Anlage getestet.

Von Stefan Schmid

Die Konzentration an Kohlendioxid in der Atmosphäre erhöhte sich seit den ersten Industrialisierungswellen im vorletzten Jahrhundert stetig. Die Klimakrise ist ein Fakt. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Erderwärmung sind längst bekannt. Über die Folgen der Klimakrise ist sich auch die Wirtschaft im Klaren. Das revidierte CO₂-Gesetz, das im Juni zur Abstimmung gelangt, findet breite Unterstützung in der Wirtschaft. Der Pariser Klimavertrag verpflichtet die Schweiz zudem, bis 2030 die Emissionen um die Hälfte zu senken. Mit zwei Stossrichtungen ist die Dekarbonati-

sierung daher wichtiger Bestandteil der Massnahmen. Einerseits heisst das, weniger CO₂ in die Atmosphäre zu blasen, andererseits das schädliche Klimagas zu binden. Den zweiten Weg beschreitet die Neustark AG mit einem neuen Verfahren.

«Es bestand von Anfang an der Anspruch, an Zukunftstechnologien zu forschen, um CO₂ speichern zu können. Gleichzeitig wollten wir Lösungen erarbeiten, die sich heute schon einsetzen lassen», sagt Valentin Gutknecht, Mitgründer und CEO des ETH-Spin-offs. Dabei sind Dekarbonatisierung und Karbonatisierung sozusagen die zwei Seiten der gleichen Medaille. Die Begriffe zeigen, wie naheliegend die Lösung des Jungunternehmens für die Bauindustrie ist, handelt es sich beim Prozess der natürlichen Karbonatisierung doch um einen gängigen Begriff der Bauchemie. Das Phänomen ist schon lange bekannt und auch gut erforscht.

Altes Phänomen neu gedacht

Auf dem Kibag-Areal in Regensdorf ZH, einem der schweizweit grössten Recyclingwerke für Bauschutt und Abbruchmaterial, steht seit letzten Sommer die Anlage der Neustark AG, es ist weltweit die erste und einzige ihrer Art. Mit der mobilen Pilotanlage, bestehend aus drei Containern, soll das Verfahren unter realen Bedingungen im Produktionsprozess für Frischbeton ge-

testet werden. Zum einen geht es um betriebswirtschaftliche Aspekte der Prozessgestaltung, zum anderen um die Optimierung der Anlage für die CO₂-Speicherung. Das Neustark-Verfahren beschleunigt den Mineralisierungsprozess massiv und vervielfacht dadurch die durchschnittliche CO₂-Aufnahme. Zentraler Prozessschritt des Verfahrens: die Karbonatisierungsfront.

Bedingungen sind hochreaktiv

Dazu wird einer der beiden Container mit 15 Kubikmetern aufbereitetem Betongranulat bis zur Hälfte befüllt und danach luftdicht verschlossen. In einem zweiten Schritt wird CO₂ in den Behälter gepumpt. Die CO₂-Beflutung schafft hochreaktive Bedingungen, sodass bei Kleinstpartikeln aus Zement der Mineralisierungsprozess in Gang kommt. Dabei wird Calciumhydroxid unter Bindung von CO₂ in Calciumcarbonat umgewandelt. Es ist die Umkehr des chemischen Prozesses, wie er bei der Zementherstellung abläuft.

Aufgrund der chemischen Reaktion im Behälter entwickeln sich gewaltige physikalische Kräfte, weil das Gasvolumen viel grösser ist als der entstehende Kalkstein. Zum Vergleich: CO₂ vom Volumen eines Luftballons wird in ein paar Gramm Kalkstein umgewandelt. Ein Vakuumbrecher regelt daher den Unterdruck im Behälter. Über ein Injektionssystem im Innern wird



Der chemische Prozess setzt physikalische Kräfte in Gang, die mit einem Druckausgleichssystem unter Kontrolle gehalten werden müssen.

sichergestellt, dass die gesamte Masse des Granulats durchflutet wird und das Gas den Weg zu den Kleinstpartikeln findet. Dabei gilt: Je feiner das Granulat ist, desto grösser ist gesamthaft die reaktive Oberfläche.

Klimaneutralen Beton herstellen

Zudem werden kleinste Zementpartikel von der Karbonatisierungsfrost schneller durchdrungen als grössere Brocken. Der Druck für die Zufuhr von CO₂ und die Siebkurve des Granulats sind daher zwei wichtige Regelgrössen. Ein bis zwei Stunden dauert es, bis die Karbonatisierungs-

front die Kleinstpartikel durchdrungen hat. Dann schwächt sich die Reaktion ab, doch ist in dieser Zeit bereits ein Sättigungsgrad von rund 80 Prozent erreicht. Grössere Zementbrocken sind noch nicht vollständig in Kalkstein umgewandelt. Bis eine maximale Sättigung resultiert, dauert der Prozess entsprechend länger. 95 bis 99 Prozent des verwendeten CO₂ werden nachgewiesenermassen zu Kalkstein umgewandelt.

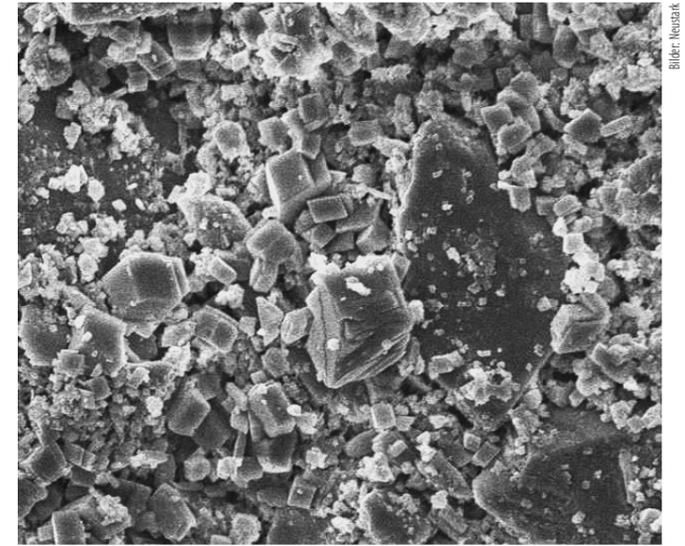
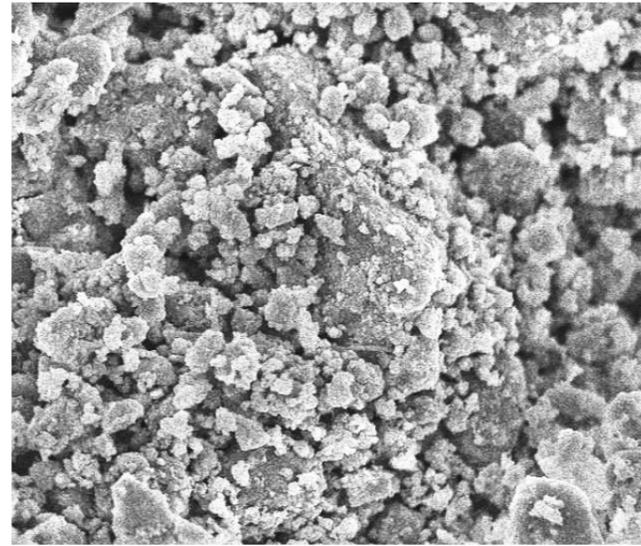
Zehn Kilogramm CO₂ pro Kubikmeter Frischbeton lassen sich mit dem Verfahren bei der Testanlage speichern. Doch der Effekt kann vervielfacht werden. «Einem

Kubikmeter Beton kann schliesslich so viel gespeichertes CO₂ zugeführt werden, dass die Emissionen, die mit der Zementproduktion entstehen, komplett rückgängig gemacht werden können. Je nach Betonmischung können dann pro Kubikmeter zwischen 150 und 250 Kilo CO₂ gespeichert werden. Damit wäre es dann ein klimaneutraler Beton», sagt Betriebswirt Gutknecht. Nach dem Umwandlungsprozess kann das Granulat zu Frischbeton weiterverarbeitet und danach direkt verbaut werden.

Ausstoss und Speichereffizienz sind für Betonwerke zwei Optimierungsgrössen. Bei 99 Prozent ist der Verlust kleiner, die



Der Tank enthält 20 Tonnen flüssiges CO₂. Damit lassen sich 2000 Kubikmeter Frischbeton herstellen. Im Container befindet sich die Prozesssteuerung.



Das Verfahren verbessert auch die Eigenschaften des Betons hinsichtlich Festigkeit und Wasseraufnahme. Die mikroskopische Aufnahme zeigt die poröse Oberfläche der Zementpartikel des Granulats vor der Gasbeflutung (Bild links) und nachdem sich Kalkstein gebildet hat (Bild rechts).

Kapazität der Anlage aber leicht reduziert. Um die Massenzunahme des Granulats zu messen, steht der Container auf einer Waage. Das Resultat wird durch die Messung des Gasdurchflusses validiert.

Bessere Qualität des Betons

Die Siebkurve des Granulats wurde bisher wenig verändert, für Recyclingbeton liegen die Zuschlagsstoffe oft zwischen 0 bis 16 und 0 bis 22 Millimeter. Allenfalls liesse sich das Granulat feiner brechen, um mehr reaktive Oberfläche zu schaffen. Betonwerke müssen daher ein Optimum finden zwischen dem Aufwand fürs Brechen und der CO₂-Speicherung.

Der nach dem Neustark-Verfahren hergestellte Beton entspricht zu 100 Prozent den bestehenden Leistungsnormen. Weil der eingelagerte Kalkstein die Poren schliesst, resultiert sogar eine bessere Qualität des ausgehärteten Betons hinsichtlich Druckfestigkeit. Bei gleichen Eigenschaften kann der Zementgehalt des Betons darüber hinaus in vielen Fällen leicht reduziert werden.

Für die Bauindustrie eröffnet sich mit dem Verfahren die Möglichkeit, die Dekarbonisierung breitflächig voranzutreiben. Denn allein die Zementproduktion verursacht sieben Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen oder doppelt so viel wie der gesamte weltweite Flugverkehr. Insgesamt emittiert die Zementproduktion weltweit pro Jahr rund 2,5 Milliarden Tonnen CO₂. Laut Schätzungen von Wissenschaftlern könnten bis 2050 jährlich rund 500 Millionen Tonnen CO₂ gespeichert werden. «Das Abscheiden von CO₂ aus der Luft ist zentral, um sich das im Beton gespeicherte CO₂ anrechnen zu lassen», sagt Gutknecht. Was mit dem Neustark-Verfahren im Klei-

nen beginnt, könnte sich zu einem gigantischen Hebel entwickeln. Denn durch die Einlagerung des Klimagases entsteht zugleich eine sogenannte CO₂-Senke. Diese wiederum liesse sich mit CO₂-Umweltzertifikaten kombinieren. Und mit Gütesiegel produzierter Neustark-Beton könnte sowohl öffentliche oder private Bauherrenschaften veranlassen, mehr für die Dekarbonisierung zu tun. Auch bei der Immobilienvermarktung könnte das Gütesiegel für die Profilierung des Angebots künftig eine Rolle spielen. Mit der konsequenten Wiederverwertung von Abbruchmaterial können zudem Primärstoffe geschont werden, was insbesondere für Grossagglomerationen wie Zürich gilt. Denn für Betonproduktionsunternehmen wie die Kibag wird es wegen des Widerstands der Bevölkerung immer schwieriger, neue Kiesabbaugebiete zu erschliessen.

«Positive Bilanz»

Durch die Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre und die anschliessende Speicherung können sogenannte Negativemissionen und damit Klimapositivität realisiert werden. Beim Gesamteffekt der CO₂-Speicherung sind allerdings noch graue Emissionen zu berücksichtigen, die bei der Gasverflüssigung mit Strom, dem Transport sowie dem Betrieb der Anlage entstehen. Drei bis fünf Prozent sind daher pro Tonne eingespartes CO₂ in Abzug zu bringen, wie eine Analyse der ETH Zürich ergab. «Es ist aber ganz klar eine positive Bilanz», bekräftigt Gutknecht.

Das verflüssigte CO₂ wird künftig von der Abwasserreinigungsanlage Region Bern bezogen, bei der die Neustark AG im April eine Abscheide- und Verflüssigungs-

anlage in Betrieb nimmt. Das CO₂ entsteht dort bei der Biogasanlage durch die Vergärung von Biomasse. Es wird direkt beim Kamin abgefangen, anstatt es in die Atmosphäre entweichen zu lassen.

Stationäre Grossanlagen geplant

Derzeit mineralisiert die mobile Pilotanlage pro Stunde rund 20 Tonnen Betongranulat. Pro Container liegt die Kapazität bei 100 Tonnen pro Tag. Mobile Anlagen könnten nach Optimierungen bei kleinen und mittelgrossen Betonherstellern künftig dauerhaft zum Einsatz kommen. «Der Markt ist bereit dafür. Dann braucht es betriebsspezifisch ideale Lösungen, um den Prozess in bestehende Anlagen von Betonwerken zu integrieren», sagt Gutknecht. Die effizienteste Lösung für die Speicherung von CO₂ aber könnten stationäre Grossanlagen sein, indem man den Versteinerungsprozess in Lagersilos ablaufen lässt.

Komplexes Verfahren

Auf die Idee, die Dekarbonisierung mit neuen Anwendungen zu verbinden, kam Gutknecht als Marketing Manager bei Climeworks, einem Unternehmen, das Lösungen zur Abscheidung von CO₂ aus der Luft anbietet. Dabei wurde er sich bewusst, dass die Abscheidung mittels Grossanlagen und die Entsorgung von CO₂ in den Untergrund schwierig zu bewerkstelligen ist. Insbesondere, weil dadurch kein direkter wirtschaftlicher Mehrwert entsteht.

Der Ansatz, die CO₂-Problematik mit einem wirtschaftlichen Mehrwert beim Abbruchmaterial zu verbinden, konkretisierte sich dann 2017 nach Gesprächen mit Betreibern von Betonwerken. Damals hat sich

auch Mitgründer Johannes Tiefenthaler, der an der ETH Maschinenbau und Verfahrenstechnik studierte, im Rahmen seiner Masterarbeit intensiv mit dem Thema befasst. Es war dann nur eine Frage der Zeit, bis sich beider Wege auf dem gemeinsamen Betätigungsfeld kreuzten.

Mit der Firmengründung war auch der selbstgewählte Auftrag klar. «Wir wollten Bewegung in die Sache bringen», sagt Gutknecht beim Gespräch auf dem Kibag-Areal. Operativ tätig ist die Gesellschaft seit 2019, wobei Gutknecht für die kommerziellen und Tiefenthaler für die technischen Belange zuständig ist. Bei der Neustark AG sind mittlerweile neun Mitarbeiter tätig.

Die kommerzielle Umsetzung des Gesamtkonzepts in eine mobile Anlage umfasst eine grosse Bandbreite von technischen Herausforderungen wie die Gewinnung und Bereitstellung von Flüssiggas, Betonrezepte sowie verfahrenstech-

nische und materialwissenschaftliche Aspekte. Schliesslich erfordert auch die CO₂-Bilanzierung über den gesamten Prozess einen genauen Nachweis der Mineralisierung und damit des Dekarbonisierungseffekts.

Internationale Ambitionen

Die Anschubinvestitionen im Umfang von insgesamt «wenigen Millionen Franken» für die Entwicklung der Anlage wurden zu Beginn aus Fördergeldern des Bundesamts für Umwelt sowie der Klimastiftung Schweiz und von Schweizer Privatpersonen finanziert. Es handelt sich um Investments mit langfristiger Perspektive, aber ohne strategische Interessen in der Baubranche. Venture Capital und Fonds sind zurzeit nicht vertreten. Tiefenthaler und Gutknecht halten die Aktienmehrheit am Unternehmen. In der Schweiz kann das Jungunternehmen die Weiterentwicklung der Anlagen sowie der Investitionen in den

Marktaufbau aus eigenen Mitteln finanzieren. Mittelfristig hat die Neustark AG aber internationale Ambitionen. Für die Wachstumsfinanzierung und die internationale Marktentwicklung könnte daher laut Gutknecht eine weitere Finanzierungsrunde erforderlich sein. Das Patent für das Verfahren und die Anlagentechnik ist hinterlegt, auch für die Erschliessung der europäischen Märkte. Eine Option gewährt in weiteren Absatzgebieten patenrechtlichen Schutz.

Für die rasche Marktbearbeitung sind laut Gutknecht Partnerschaften mit Unternehmen in anderen Ländern denkbar. Und er betont mit Blick auf die Unternehmensstrategie: «Wir wollen ein von Anbietern unabhängiges Massenprodukt schaffen, das flächendeckend Anwendung finden kann.» Der Erfolg des Geschäftsmodells dürfte auch künftige Generationen interessieren. Denn es könnte sich um eine ökologische Pionierleistung handeln. ■

Nachgefragt

Was ist das Ausgangsmaterial für das Granulat?

Der Prozess funktioniert nur mit Abbruchmaterial und nicht mit primären Zuschlagsstoffen. Wir verwenden Zementrückstände und -abfälle, was die Wiederverwendung bei der Betonproduktion vereinfacht. Das Betonwerk kann entscheiden, wie hoch der Anteil von behandeltem Betongranulat im Frischbeton ist. Das ist sehr ortsabhängig. Beispielsweise gibt es in Zürich viel Betonrückbau und wenig Kies. Da macht es Sinn, bei der Betonproduktion höhere Recycling-Anteile zu fahren. In ländlichen Gebieten kann das anders sein. Wir versetzen den Betonrückbau lediglich mit CO₂, der Rest ist die Kernkompetenz der Betonwerke.

Zehn Kilogramm CO₂ lässt sich mit dem Neustark-Verfahren pro Tonne Frischbeton speichern. Sie gehen von einer Vervielfachung der gespeicherten Menge aus. Wie ist das möglich?

Wir haben eine neue Technologiegeneration entwickelt, die im Labor schon funktioniert und diesen Sommer als Ergänzung zur bestehenden Lösung im grösseren Massstab getestet wird. Es handelt sich um ein zweistufiges Verfahren für die Feinfraktion von Brechsand. Zuerst werden Zementanteile vom Primärsand getrennt. Danach lässt sich mit dem Zement hochreiner Kalk herstellen. Damit kommen wir sehr nahe ans theoretische CO₂-Bindepotenzial.

Der Frischbeton ist zwar teurer, aber es gibt Vorteile bei den Materialeigenschaften. Können die Kosten damit ausgeglichen werden?

Die Preise für den Beton machen nicht wir. Die Mehrkosten betreffen vor allem die Handhabung der mobilen Anlage sowie die Abscheidung und den Transport des flüssigen Kohlendioxids. Unser Ziel ist es, stationäre Lösungen möglichst kostenneutral anbieten zu können und Mehrkosten optional über CO₂-Zertifikate abzuwälzen.

Kann der Beton überall verwendet werden?

Die Betonsorten, bei denen Neustark zur Anwendung kommen kann, machen bei vielen Werken etwa 80 Prozent des Ausstosses aus. Ein Hochbauprojekt kann damit komplett umgesetzt werden. Der Tiefbau kann in einem zweiten Schritt beliefert werden. Alles, was sich mit Recycling-Beton machen lässt, geht auch mit der Neustark-Lösung.

Kommen künftig vor allem stationäre Anlagen zum Einsatz?

Es ist sehr abhängig vom Betrieb. In vielen Fällen macht eine stationäre Anlage Sinn. Bei Unternehmen mit verschiedenen Standorten kann die mobile Lösung die bessere sein. Mit Varianten können wir die unterschiedlichen Kundensegmente abdecken. (sts)

... bei Valentin Gutknecht



Valentin Gutknecht ist Mitgründer und CEO der Neustark AG.

H. Jakober

54116

**DEMARKIERUNG
HDW | MECHANISCH**

hjakober.ch

AVANT

Avant 860i

AVANT setzt neue Massstäbe und bietet den grössten und stärksten Kompaktlader auf den Markt. Dieser besticht mit seiner enormen **Hubkraft von 1,9 Tonnen** und bringt die Ladung sicher auf eine **Hubhöhe von 3,5 m**.

Mit diesen besonderen Eigenschaften ist es unter anderem möglich einen LKW aus einer Seite über die ganze Fläche zu beladen und entladen.

Auch sind, dank der Hubkraft von 1,9 Tonnen, grosse Steinpaletten keine Herausforderung mehr. Trotz all diesen hervorragenden Eigenschaften ist es gelungen kompakt, flink und wendig zu bleiben. Des weiteren können durch die enorme Hydraulikleistung eine Vielzahl an hydraulisch betriebene Anbaugeräte eingesetzt werden.

Gujer Landmaschinen AG
8308 Mesikon
052 346 13 64

www.avant-lader.ch

54181

CPC-Carbonbetonplatten

vorgespannt – filigran und hoch belastbar

CPC Pat. pend.

Silidur AG 8450 Andelfingen Tel. 052 305 22 11 Fax 052 305 22 12 info@silidur.ch www.silidur.ch

52707

Cosenz AG

Schalungen & Baugeräte

7203 Trimmis
Tel. 081 300 02 40
Fax 081 300 02 41
www.cosenz-ag.ch
admin@cosenz-ag.ch

54173