



Materialforschung

CO₂-neutraler Beton mit Pflanzenkohle-Pellets

Mit CO₂ bauen: Daran tüfteln derzeit Forscher an der Empa. Mit der Zugabe von Pflanzenkohle in Beton loten sie das Potenzial von Netto-Null-Beton aus. Für den optimalen Praxiseinsatz wird die Kohle in Pellets-Form verarbeitet und ersetzt damit handelsübliche Gesteinskörnungen.

Von Pascale Boschung

Klimaneutralität bis 2050 – das hat sich die internationale Gemeinschaft der meisten Länder zum Ziel gesetzt. Um in der Schweiz tatsächlich «Netto-Null» zu erreichen, braucht es umfassende Strategien und Prozesse. Neben der Verminderung von Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich, im Verkehr und in der Industrie spielen vor allem auch sogenannte Negativemissionstechnologien (NET) eine Schlüsselrolle. Diese CO₂-Senken greifen dort, wo sich Emissionen nicht

oder nur mit sehr grossem Aufwand vermeiden lassen. Unter diese Bereiche fallen neben der Landwirtschaft unter anderem auch die Kehrrichtverbrennung und nicht zuletzt die Zementherstellung.

Die Zementbranche allein wird für ungefähr zwei Millionen Tonnen der zu erwartenden Restemissionen verantwortlich sein, wie das Bundesamt für Umwelt (Bafu) im Juni 2022 im viermal jährlich erscheinenden Magazin «Die Umwelt» festhielt. Nach Angaben des Bafu verursachen die

sechs Zementwerke in der Schweiz rund sechs Prozent der nationalen Treibhausgasemissionen. Der Grund dafür liegt beim Klinker, der Hauptbestandteil von Zement, der sich besonders negativ auf das Klima auswirkt. Die Branche ist daher seit längerem auf der Suche nach Strategien und Lösungen, um diese Restemissionen zu tilgen.

Cemsuisse, der Verband der Schweizerischen Zementindustrie, hat eine Roadmap als Beitrag zum Netto-Null-Ziel er-

arbeitet. Es müsse vor allem gelingen, weniger Klinker im Zement, weniger Zement im Beton und weniger Beton im Baugewerbe zu verwenden, wie Verbandsprecher David Plüss gegenüber dem Bafu erklärte. Um die Restemissionen in den Griff zu bekommen, wird die Schweizer Zementindustrie nicht um zusätzliche Massnahmen herumkommen. Der CCUS-Ansatz (Carbon Capture, Utilization and Storage) schein dafür in der Branche am besten geeignet zu sein, wie Plüss erklärte. Dabei wird CO₂ zum Beispiel aus Industrieanlagen abgeschieden und anschliessend in Produkten verwendet oder im Untergrund gelagert.

CO₂ als Ressource nutzen

Ein Beispiel für diesen Ansatz ist die Technologie von Neustark. Ziel des ursprünglich als ETH-Spin-Off gestarteten Unternehmens ist es, das schädliche Klimagas bei verschiedensten Anlagen – etwa bei der Betonherstellung oder der Biogaserzeugung – abzufangen, bevor es überhaupt in die Atmosphäre gelangt. Danach wird das CO₂ verflüssigt und mineralisiert als Kalkstein in Abbruchmaterial gebunden. Mit

Die Forscher zeigten auf, dass sich mit einem Pflanzenkohle-Pellets-Anteil von 20 Volumenprozent bei Verwendung eines CEM I als Bindemittel Netto-Null-CO₂-Beton mit einer Festigkeitsklasse bis C30/37 produzieren lässt.

Holcim ist inzwischen ein Branchenriesen als Partner mit an Bord. Der Zementkonzern unterzeichnete im September eine Kooperationsvereinbarung zur weltweiten Aufrüstung seiner Baustoffrecyclingwerke mit der Technologie.

Die Reduzierung von CO₂ in der Atmosphäre zählt aktuell auch zu den wichtigsten Themen an der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa in Dübendorf. Im Rahmen der Forschungsinitiative «Mining the Atmosphere» werden dazu diverse «Pfeiler» erforscht. Die Idee dahinter: Das überschüssige CO₂ aus der Atmosphäre zu entziehen und als Ausgangsmaterial für kohlenstoffhaltige Materialien zu nutzen, die in verschiedensten Bereichen verwendet werden. Als Speichermedien kommen hierbei Baustoffe und insbesondere Beton in Frage, da sie in ausreichender Menge produziert werden.

Im Grunde bietet der Bausektor mit seinem massiven Ressourcenverbrauch paradoxerweise also eine Basis für eine CO₂-Senke mit Langzeitwirkung, indem effektiv mit dem schädlichen Klimagas gebaut wird. «Beton und Asphalt mit Kohlenstoff könnte man mehrmals recyceln, damit der Kohlenstoff für hunderte von Jahren in Baumaterialien gespeichert wird», erklärt Pietro Lura, Abteilungsleiter des «Concrete & Asphalt Lab» an der Empa, auf Anfrage. Am Ende des Prozesses könne man Beton

mit einem grossen Massenanteil von CO₂ in finalen Senken deponieren. «Die Kohle würde sozusagen dorthin zurückkehren, wo sie herkam.»

Pflanzenkohle als CO₂-Senke

Pietro Lura entwickelt in diesem Zusammenhang mit Kollegen im «Concrete & Asphalt Lab» ein Verfahren, mit dem sich Pflanzenkohle praxistauglich in Beton integrieren lässt. Dabei loten die Forscher das Potenzial von CO₂-neutralem oder gar CO₂-negativem Beton aus. Denn Pflanzenkohle entsteht durch einen pyrolytischen Verkohlungsprozess unter Luftabschluss und besteht zu einem grossen Teil aus reinem Kohlenstoff, den die Pflanzen beim Wachstum aus der Atmosphäre entnommen haben. Während bei der Verbrennung von Pflanzen das CO₂ wieder entweicht, bleibt es in der Pflanzenkohle langfristig stabil.

Diesen Vorteil hat längst auch die Baubranche erkannt. So gibt es bereits erste Betonprodukte mit integrierter Pflanzenkohle auf dem Markt. Dabei wird die Kohle aber häufig unbehandelt eingebracht. Laut Lura kann das zu einigen Schwierigkeiten führen: «Grosse Mengen an Pflanzenkohle beeinträchtigen die mechanischen Eigenschaften und die Dauerhaftigkeit von Beton.» Auch die Frischbetoneigenschaften stellen laut dem Forscher eine grosse Herausforderung dar. «Aufgrund der hohen



Der Zementkonzern Holcim hat sich verpflichtet, weltweit auf seinen Baustoffrecyclingwerken die CO₂-Speichertechnologie von Neustark einzuführen. Im Bild: Holcimwerk in Oberdorf NW.



Mateusz Wyrzykowski (rechts) und Nikolajs Toropovs ersetzen Gesteinskörnungen durch Pellets aus Pflanzkohle und loten damit das Potenzial von CO₂-neutralem oder CO₂-negativem Beton aus.

Porosität saugt Pflanzkohle eine grosse Menge Wasser während des Mischens auf und verschlechtert die Verarbeitbarkeit des Betons.»

Dies wiederum müsse durch eine höhere Dosierung von Fliessmitteln ausgeglichen werden. Gleichzeitig brauche es gegebenenfalls eine höhere Dosierung chemischer Zusatzstoffe im Beton wie Luftporenbildner und Schwindreduzierer, wenn diese teilweise an den Oberflächen der Pflanzkohle absorbiert werden. Auch sei die Handhabung des Pflanzkohle-Betons nicht ganz ungefährlich. Lura dazu: «Beim Umgang mit feinem, kohlenstoffreichem Staub in Betonwerken oder auf Baustellen können technologische Probleme auftreten, etwa hinsichtlich Brandrisiken und Explosionen.» Nicht zuletzt bestehen auch Gesundheitsrisiken für die Bauarbeiter, da der Kohlenstaub problematisch für die Atemwege ist.

Kohle wird zu Pellets

Aus diesen Gründen schlagen die Empa-Forscher Mateusz Wyrzykowski, Nikolajs Toropovs, Frank Winnefeld und Pietro Lura vom «Concrete & Asphalt Lab» einen alternativen Ansatz vor, bei dem die Pflanzkohle in runde Pellets verarbeitet wird. Für die Herstellung mischte das Team in einem Kaltbindeverfahren Pflanzkohle, Zement und Wasser zu einer dicken Aufschlämmung und verarbeitete diese in einem rotierenden Tellermischer zu kleinen Kügelchen mit einem Durchmesser zwischen vier und 32 Millimetern. «Danach wurden die «grünen» Pellets mehrere Tage bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit und Raumtemperatur gelagert, bis sie vollständig ausgehärtet waren», so Lura.

Auf diese Weise fertigte das Team aus der Pflanzkohle kohlenstoffreiche Leichtzuschläge für Beton. Diese seien leichter handzuhaben als die ursprüngliche Pflanzkohle, wie die Forscher im Paper zu ihrer Arbeit schreiben, welches kürzlich im «Journal of Cleaner Production» veröffentlicht wurde. Der Pellets-Ansatz bietet laut Lura auch einen Vorteil für den Praxiseinsatz: «Betonproduzenten haben bereits Erfahrungen mit leichten Gesteinskörnungen und würden bei der Handhabung unserer kohlenstoffreichen Variante keine Probleme haben.» Weiter könne die Herstellung separat in einer industriellen Produktionsanlage erfolgen.

Im Rahmen ihrer Forschungsarbeit stellte das Team mit den Kügelchen Normalbeton der Festigkeitsklassen C20/25 bis C30/37 her. Die Pellets weisen eine ähnliche Porosität und Festigkeit wie herkömmliche Leichtzuschläge auf und können laut Lura grundsätzlich für jede Betonart verwendet werden. «In unserer Publikation haben wir gezeigt, dass wir mit einem Pellets-Anteil von 20 Volumenprozent bei Verwendung eines CEM I als Bindemittel Netto-Null-CO₂-Beton mit einer Festigkeitsklasse bis C30/37 produzieren können.» Mit anderen Zementsorten und mehr Pellets sei es auch möglich, stark CO₂-negativen Beton zu erhalten. Sei eine geringere Festigkeit anzustreben und Zement mit geringeren Emissionen zu verwenden, könne man auch mit weniger Pellets CO₂-neutral werden.

Netto-Null-Beton erreicht

Wie die Forscher im Paper darlegen, lassen sich mit der gespeicherten Menge Kohlenstoff alle Emissionen kompensieren, die

bei der Pellets- und Betonproduktion anfallen. Beim Normalbeton mit einer Dichte zwischen 2000 bis 2600 Kilogramm pro Kubikmeter sei die Grenze mit 20 Volumenprozent wohl noch nicht erreicht, schreibt die Empa in einem Artikel zur Forschungsarbeit. Besonders sichtbar werde das negative Emissionspotenzial aber bei Leichtbeton mit einer Dichte von zirka 1800 Kilogramm pro Kubikmeter: Ein Anteil von 45 Volumenprozent der Pellets führt zu insgesamt negativen Emissionen von minus 290 Kilogramm CO₂ pro Kubikmeter. Zum Vergleich: Ein herkömmlicher Beton schlägt mit plus 200 Kilogramm CO₂ pro Kubikmeter zu Buche.

Bei der aktuellen Forschung diene Pflanzkohle als Modellmaterial. Als wichtigste Kohlenstoffquelle sieht Lura diese aber nicht, wie er im Empa-Bericht erklärt. Vielmehr soll der Blick auf dem «grossen Saubermachen» liegen, respektive der Initiative «Mining the Atmosphere». Verschiedenste Forschungsabteilungen verfolgen das breit angelegte Konzept: die Produktion von synthetischem Methangas mithilfe von Sonnenenergie, Wasser und CO₂ aus der Atmosphäre in sonnenreichen Regionen der Erde und die anschliessende Pyrolyse des Gases. «Durch erhält man Wasserstoff, den man als Energieträger in der Industrie oder der Mobilität nutzen kann und festen Kohlenstoff, den wir – wie die Pflanzkohle – zu Pellets verarbeiten und in den Beton einbringen können», so Lura. ■

Literaturhinweis

Die Forschungsarbeit wurde kürzlich als Studie im «Journal of Cleaner Production» veröffentlicht.

Cold-bonded biochar-rich lightweight aggregates for net-zero concrete.

M. Wyrzykowski, N. Toropovs, F. Winnefeld, P. Lura. Journal of Cleaner Production (2023).

doi: 10.1016/j.jclepro.2023.140008

