

6.1.5 Einsatz von Karbonisaten in mineralisch gebundenen Werkstoffen

Eine Symbiose aus Ressourcen- und Klimaschutz

Der Klimawandel stellt eine der größten Herausforderungen unserer Zeit dar und erfordert innovative Lösungen auf den verschiedensten Ebenen. In den letzten Jahren haben sich so eine Vielzahl von Forschungsprojekten mit innovativen Lösungen etabliert. Die Erhebungen und Analysen der Wissenschaft zeigen jedoch, dass der Klimawandel allein mit der CO₂-Reduktion durch Einsparungen nicht aufgehalten werden kann und das ausgelobte **1,5-Grad-Celsius-Ziel** so nicht erreicht wird.¹



Mark Füger

Es hat sich aktuell die wissenschaftliche Meinung gefestigt, dass eine bloße Reduktion der CO₂-Emissionen nicht ausreichend ist, um die definierten Klimaziele zu erreichen. So ist auf internationaler Ebene geplant, mithilfe der CCS-Technik (Carbon Capture and Storage) der Atmosphäre CO₂ im Gigatonnenbereich zu entziehen. Jedoch konnte festgestellt werden, dass diese Möglichkeit technisch zwar machbar, jedoch mit immensen Kosten und einem sehr hohen Energieeinsatz verbunden ist, was diverse Zweifel an der Effizienz dieses Verfahrens aufwirft.²



Dr. André Stang

In der Baustoffindustrie wird diese Technologie in Kombination mit neuartigen Betonen, den sogenannten Recyclingbetonen (RC-Betone) eingesetzt. Bei diesen Betonen werden recycelte Zuschlagstoffe, die unter anderem durch Abbruch von Gebäuden gewonnen werden, eingesetzt. Diese Zuschlagstoffe werden im Zuge des Prozesses der Aufbereitung mit CO₂ aus der Atmosphäre begast, sodass auf der Oberfläche eine chemische Karbonatisierung einsetzt und so CO₂ an der Oberfläche der Zuschlagstoffe gebunden wird. Der Aufwand ist jedoch sehr hoch und die Umsetzung ist nicht für alle Betone und alle Regionen möglich, sodass die Baubranche nach weiteren Wegen sucht, den enormen CO₂-Ausstoß zu reduzieren.

1 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK und New York, USA: Cambridge University Press, 2022.

2 Vgl. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/grundwasser/nutzung-belastungen/carbon-capture-storage#grundlegende-informationen> [abgerufen am: 20.02.2024]

Im Gegensatz zur CCS-Technologie ist das Verfahren zur pyrolytischen bzw. pyrogenen Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (PyCCS) technisch weniger aufwendig und problematisch. Diese rückt durch die Entwicklung weiterer Nutzungs- bzw. Verwertungspfade als ein sinnvolles Instrument zur Mitigation der anthropogen freigesetzten CO₂-Emissionen in den Fokus unserer Gesellschaft.³

Eine konsequente pyrolytische Verwertung von organischen Reststoffen kann einen Beitrag dazu leisten, der Atmosphäre dauerhaft CO₂ zu entziehen und in Form von Kohlenstoff zu fixieren. Die entstehenden Stoffe können als Wertstoffe in den industriellen Alltag eingebunden werden. Dieses Vorgehen entspricht den Zielen eines nachhaltigen Umwelt- und Ressourcenschutzes und erfüllt die Forderungen an eine klimaeffiziente Verwertung von organischen Reststoffen. In den letzten Jahren hat diese Technologie insbesondere primär zur Wärmegewinnung und Stromerzeugung an Bedeutung gewonnen. Dies wandelt sich jedoch aktuell und die Pyrolyse, auch Karbonisierung genannt, gewinnt mehr und mehr an Bedeutung für die Kohlenstoffsequestrierung und Kohlenstofffixierung.

Die Pyrolyse – altes Verfahren im modernen Gewand

Der einstige Meiler zur Kohleherstellung der Köhler wurde in moderne Reaktoren im industriellen Maßstab überführt. Die Karbonisierung oder Pyrolyse kennt heute die verschiedensten Verfahrenstechniken. Die Reaktoren, in denen der Pyrolyseprozess abläuft, weisen die verschiedensten Bauformen auf. So gibt es zum Beispiel stehende Behälter, in denen die Biomasse von oben aufgegeben wird und so den Pyrolyseprozess durchläuft. Andere Verfahren arbeiten mit Drehrohrtechnik oder auch, und das ist wohl das häufigste Verfahren, Reaktoren, durch deren Innenraum die Biomasse mittels einer Schnecke hindurchtransportiert wird. Im Rahmen dieses allothermen Verfahrens wird das zu verarbeitende Gut nicht direkt erhitzt, sondern die Temperatur wirkt durch den Kontakt zur Reaktorwand lediglich indirekt auf diese Stoffe. Im Gegensatz dazu wird mittels des autothermen Verfahrens der zu karbonisierende Rohstoff direkt mit dem heißen Medium beaufschlagt.⁴

³ Vgl. <https://german-biochar.org/pflanzenkohle/faq-fragen-und-antworten-zur-pflanzenkohle/> [abgerufen am: 21.02.2024]

⁴ Vgl. <https://www.biomacon.com/technologie> [abgerufen am: 21.02.2024]



Abb. 01: BioMACON Pyrolyseanlage [Foto: Zindel United]

In allen Fällen wird der Reaktor derart verschlossen, dass keine Luft und somit kein Sauerstoff in den Prozess gelangen kann. Sowohl der Temperaturverlauf als auch die Verweildauer des Pyrolyseguts im Prozess bestimmen die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Karbonisate, was sowohl Pflanzenkohlen als auch Kohlen aus anderem Inputmaterial beschreibt.⁵

Die organischen Substrate wie zum Beispiel Biomasse, organische Abfälle wie Biomüll, Altholz, Klärschlamm und Kunststoffe etc. werden so in nahezu reinen Kohlenstoff überführt und Pyrolysegas und Abwärme etwa für Industrie und Kommunen nutzbar gemacht.

Neben dem Kohlenstoff, der in Form von Karbonisaten vorliegt, entstehen über die Zeit auch Schlacken, die als feste Substanzen aus Mineralien in den Behältern anfallen und als störendes Restmaterial im Pyrolyseprozess übrigbleiben. Zu welchen Anteilen dies passiert, hängt neben den eingesetzten Rohstoffen auch von der Reaktionstemperatur, der Reaktionsdauer und den vorherrschenden Druckverhältnissen ab.⁶

⁵ Vgl. https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d9094-2/**/Pyrolyse.html?op=Wiki.getwiki [abgerufen am 13.02.2024]

⁶ Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP: https://www.ibp.fraunhofer.de/de/presse-medien/presseinformationen/pi_2016-07_elexsa.html [abgerufen am: 13.02.2024]

PyCCS in der Baustoffindustrie und die aktuelle Forschung

Die verschiedenen, nach der Pyrolyse entstehenden Rohstoffe haben in den letzten Jahren bereits ein enormes Potenzial für die Baustoffindustrie aufgezeigt. Verschiedenste Forschungsprojekte laufen aktuell mit dem Ziel, das PyCCS in der Baustoffindustrie zu nutzen, um die Herausforderungen der Zement- und Betonindustrie zu bewältigen. Da der resultierende Kohlenstoff und die zugehörigen Restbestandteile der Karbonisate (zum Beispiel Mineralien) stark durch das Inputmaterial und den Pyrolyseprozess bestimmt werden, kommen die unterschiedlichen Karbonisate in verschiedensten Anwendungsgebieten zum Einsatz. Während die Karbonisate aus teuren und hochwertigen Substraten, weitläufig unter dem Begriff Pflanzenkohle bekannt, meist in Anwendungen mit sehr hohen rechtlichen Anforderungen ihren Einsatz finden, wie beispielsweise in der Landwirtschaft als Zusatz in der Tierfütterung oder Biogasanlagen und im Boden, haben Karbonisate aus organischen Reststoffen, sogenannte Synthesekohlen, eher in Bereichen mit geringeren rechtlichen Anforderungen oder Normierungen, wie zum Beispiel in der Baustoffindustrie, Einzug gehalten.

Diese Entwicklung ist insbesondere damit zu begründen, dass die Baustoffindustrie bereits jetzt mit gewaltigen Herausforderungen zu kämpfen hat. So verursacht die Zementherstellung einen enormen CO₂-Ausstoß: Je Tonne Zement entstehen ca. 600 bis 900 Kilogramm CO₂. Bei einer Jahresproduktion von mehr als 35 Millionen Tonnen Zement pro Jahr allein in Deutschland entsteht so ohne Betrachtung der weiteren Einflüsse durch Transport, Zuschlagstoffe etc. und Reduktion durch klimafreundliche Maßnahmen ein CO₂-Ausstoß von mehr als 24,5 Millionen Tonnen.⁷ Das Umweltbundesamt bezifferte den Gesamtausstoß an CO₂-Emissionen der Zementindustrie für das Jahr 2021 mit ca. 21 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent.⁸

Daher ist die Zementindustrie bereits seit Jahren auf der Suche nach Lösungen, die den Baustoff Beton klimaverträglicher machen und einen weniger starken Einfluss auf die Klimaerwärmung ausüben. Dies wird insbesondere durch die aktuelle Diskussion in Bezug auf die CCS-Technologie deutlich. In den letzten Jahren ist die CO₂-Ausschleusung aus der Atmosphäre durch die Verwendung von in Karbonisaten gebundenem Kohlenstoff und mineralischen Reststoffen wie Schlacken verstärkt in den Fokus von Forschung und Baustoffindustrie gerückt. Dies liegt daran, dass der Bausektor zunehmend nach ressourcenschonenden Stoffkreisläufen suchen muss, um zukünftige Herausforderungen, wie den drohenden Mangel an Zuschlagstoffen und die Klimaerwärmung durch CO₂-Emissionen, zu bewältigen.

7 Vgl. <https://vdz-online.de/wissensportal/publikationen/zementindustrie-im-ueberblick-2022-2023> [abgerufen am 05.03.2024]

8 Vgl. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/07_2024_cc_dekarblind_tb3.pdf [abgerufen am 15.03.2024]

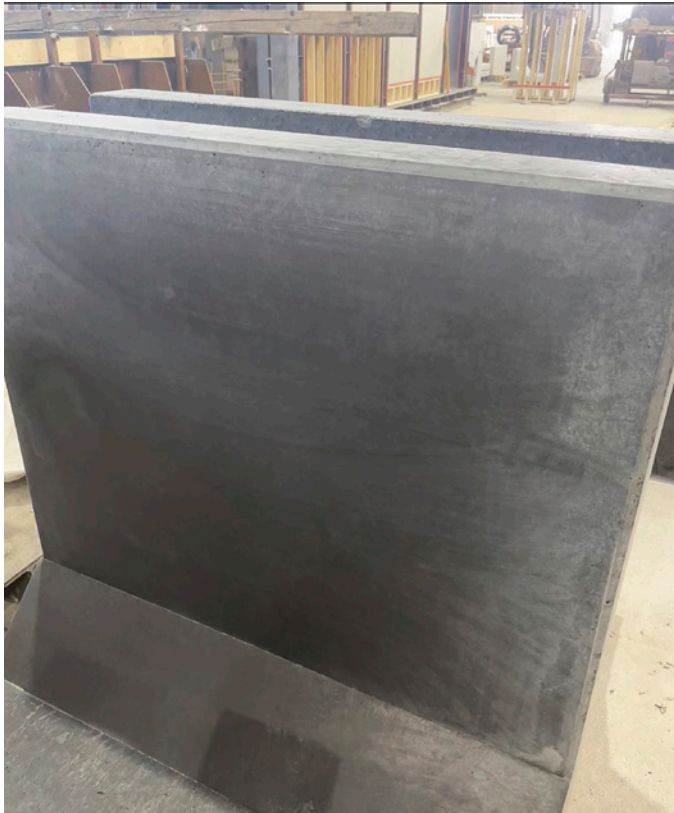


Abb. 02: Betonfertigteil der Firma Wilhelm Siemsen GmbH u. Co. KG, das durch den Einsatz von Karbonisaten CO_2 -negativ ist [Foto: Wilhelm Siemsen GmbH u. Co. KG – Betonfertigteilwerk]

Diese Herausforderungen werden durch mehrere Forschungsprojekte und Firmen untersucht und mit innovativen Lösungen angegangen. Einer der ersten getesteten Anwendungsbereiche von Karbonisaten ist die Beimischung in Asphalt. Das Tiefbauamt Basel-Stadt hat dies 2022 auf einem Recyclingbaustoff-Umschlagplatz in der Praxis erprobt. Eine Versuchsfläche von 450 Quadratmetern erhielt eine Asphalttragschicht aus 50 Prozent Recyclingasphalt und 2 Prozent Karbonisaten.⁹

⁹ Vgl. <https://www.baunetzwerk.biz/pflanzenkohle-ersetzt-bitumen-im-asphalt> [abgerufen am: 06.03.2024]



Abb. 03: Asphalt mit Zusatz von Pflanzenkohle in der St.-Alban-Vorstadt in Basel (Schweiz)
[Foto: Baunetzwerk.biz]

Mehrere Studien belegen, dass Karbonisate die Leistungsfähigkeit (Steifigkeit und Viskosität) von Asphaltbindemitteln tendenziell verbessern und umgekehrt bei niedrigen Temperaturen verschlechtern.¹⁰ Zudem scheinen die Karbonisate die Alterung des Asphaltgemisches zu verlangsamen, jedoch ist die Studienlage hierzu noch recht dürtig.¹¹

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Forschungsprojekt »ASHCON«¹² beschäftigt sich daher mit der Frage, ob aufbereitete Müllverbrennungsasche als Ausgangstoff bei der Betonherstellung dienen kann. Müllverbrennungsaschen (MV-Aschen) sind ein heterogenes Stoffgemisch, das hauptsächlich aus Aschen sowie mineralischen oder metallischen Schmelzprodukten besteht. Nun wurde ein Verfahren entwickelt, um die enthaltenen Schwermetalle aus MV-Aschen zu extrahieren und die mineralischen oder metallischen Schmelzprodukte für die Betonindustrie nutzbar zu machen. Die metallarmen Anteile eignen sich aufgrund ihrer Eigenschaften als Ersatz für natürliche Gesteinskörnung bei der Herstellung von Beton. Als zweiter Stoffstrom entstehen bei den MV-Aschen auch Karbonisate, die jedoch weniger einfach in den Baustoffen eingesetzt werden können. Denn beim Einsatz alternativer Komponenten im Beton ist zu beachten, dass sich der Baustoff mittlerweile zu einem Mehrstoffsystem entwickelt hat, das empfindlich auf Veränderungen in den Eigenschaften der Ausgangsstoffe reagieren kann, was für die erforderlichen frischen und festen Betoneigenschaften in der Baupraxis relevant ist.

¹⁰ Shen, Y.; Forrester, S.; Koval, J.; Urgun-Demirtas, M.: Yearlong semi-continuous operation of thermophilic two-stage anaerobic digesters amended with biochar for enhanced biomethane production. *Journal of Cleaner Production* 167 (2017), S. 863–874

¹¹ Rondón-Quintana, H.; Reyes-Lizcano, F.; Chaves-Pabón, S.; Bastidas-Martínez, J.; Zafra-Mejía, C.: Use of Biochar in Asphalts: Review. *Sustainability* 14 (2022), Nr. 4745, S. 1–12

¹² Vgl. <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/projekte-referenzen/ashcon.html> [abgerufen am: 06.03.2024]

Betrachtet man den Bedarf der Bauindustrie von weltweit rund 10 bis 15 Milliarden Tonnen pro Jahr an Bausanden¹³, erscheint das Forschungsprojekt ASHCON noch in einem viel helleren Licht, und die Notwendigkeit einen Weg zum Sandersatz zu finden, zeichnet sich klar ab, da eine Bauindustrie ohne Sande aktuell noch undenkbar ist.

Jedoch entstehen neben den mineralischen Bestandteilen auch reine Kohlenstoffe in Form der Karbonisate. Für diesen Rohstoff muss ebenfalls ein sinnvoller Einsatz gefunden werden, da es dem Klima nicht nutzen würde, wenn man diesen der Verbrennung zuführte. Daher hat die Firma Team Nachhaltigkeit Consulting GmbH in der letzten Dekade bereits Erfahrungen mit dem Einsatz dieser Karbonisate aus Rest- und Schadholz, Klärschlämmen oder organischen Reststoffen in der Bauindustrie gesammelt. Da Karbonisate aus der pyrolytischen Karbonisierung in der Baustoffindustrie nur bedingt eingesetzt werden können, hat das Unternehmen ein Verfahren entwickelt, das dies ermöglicht. Hieraus resultierte im Jahr 2021 eine Kooperation mit der Firma Sili-Tec, die in einem Verfahren mündete, das die Karbonisate für die Baustoffindustrie nutzbar macht.

Mark Füger nutzte in seinem bisherigen Schaffenskreis als Agraringenieur (M. Sc.) die Möglichkeiten, sich erfolgreich in verschiedenen leitenden Positionen im Bereich der Karbonisate zu bewähren. So gehörten die Aufgaben der Betriebsleitung ebenso zu seinem Wirkungskreis wie die Vertriebsleitung, das Qualitätsmanagement und die Entwicklung von Marketingstrategien. So hat er in den vergangenen Jahren die Beurteilung und Bewertung der zum Einsatz kommenden Pyrolysetechnik und der daraus resultierenden Bewertung der Karbonisate zu einem Grundsatz für den verantwortungsvollen Vertrieb gemacht.

Die Entwicklung von Innovationen um die Umwelt zu schützen stehen seit dem Studium der Naturwissenschaften im Fokus von Dr. André Stang. In den letzten Jahren fokussierte er sich auf die Entwicklung von umweltfreundlichen Baustoffen durch Zementreduktion und Einsatz von sekundären Rohstoffen. In seiner jetzigen Schaffensperiode entwickelte er gemeinsam mit Mark Füger ein Verfahren zur Etablierung von Karbonisaten in der Beton- und Baustoffindustrie. Dieses Verfahren, bekannt unter dem Namen »CarbonAra«, ermöglicht den Einsatz von hohen prozentualen Anteilen in der Betonindustrie.

¹³ Vgl. www.at-minerals.com/de/artikel/at_Rohstoff_Sand_eine_Mangelware_-3494943.html [abgerufen am: 06.03.2024]