

## Einleitung

Durch den massiven Einsatz von Beton in der ganzen Welt ist der Bausektor für einen erheblichen Teil der CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich [1]. Die Produktion von Zement ist für etwa 5 - 8% der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich [2]. Trotz der Fortschritte, die durch neue Zementbindemittel erzielt wurden - das GWP (Global Warming Potential) von CEM III (Hochfenzement) beträgt ~ 280 [kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent / t], im Vergleich zu CEM I (Portlandzement) mit ~ 530 [kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent / t] [3] - ist es von entscheidender Bedeutung, das GWP von Bindemitteln weiter zu senken.

Die Verwendung von Pflanzenkohle (oft auch Biokohle genannt) mit einem GWP-Wert von - 2472 [kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent / t] [4] bietet eine praktikable Lösung zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Zusammenhang mit der Betonherstellung und gewinnt zunehmend an Aufmerksamkeit. Pflanzenkohle ist ein feinkörniger, kohlenstoffreicher Feststoff, der aus der thermischen Zersetzung von Biomasse-Rohstoffen ohne Sauerstoff (Pyrolyse) gewonnen wird. Pflanzenkohle ist dafür bekannt, dass sie in großem Umfang Kohlenstoff binden kann und ihre mögliche Verwendung in Beton wird zunehmend untersucht.

Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung eines Betons zero- CO<sub>2</sub> -Emissionen, indem eine Teilmenge des Zements durch Pflanzenkohle ersetzt wird.

Der aus Zement und Pflanzenkohle hergestellte Beton soll bewertet und die Grenzen des Biokohlegehalts erforscht werden, indem sowohl die Eigenschaften des frischen als auch des erhärteten Betons untersucht werden. Auf diese Weise können wir Einblicke in die potenziellen Einsatzmöglichkeiten und Vorteile von Pflanzenkohle als nachhaltiges Material in der Bauindustrie gewinnen.

## Methoden

In dieser Forschungsarbeit wird der Ersatz von Zement durch Pflanzenkohle (negatives Treibhauspotenzial - GWP) untersucht, um einen leicht fließenden Beton mit null CO<sub>2</sub>-Emissionen und ausreichenden mechanischen Eigenschaften zu entwickeln.

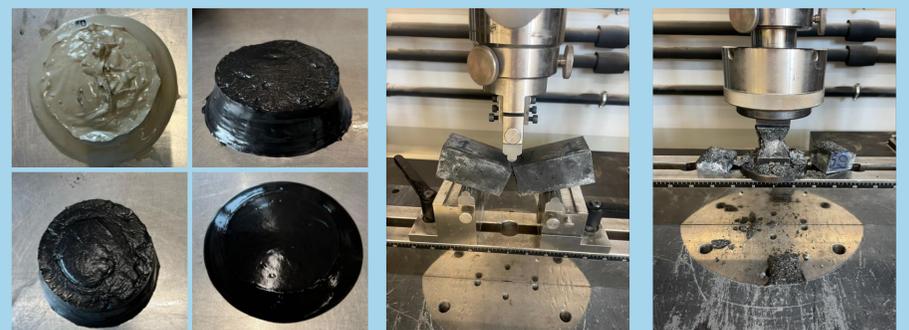
Pflanzenkohle ist ein hochporöses Material mit Poren unterschiedlicher Größe, die besser charakterisiert werden müssen, um das Verhalten der Pflanzenkohle beim Mischen mit Wasser und Zement zu verstehen. Zu diesem Zweck wird die Mikrostruktur der Pflanzenkohle mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie (REM).

Die Wasseraufnahmefähigkeit des Pulvers wurde durch Pycnometrie bestimmt. Schließlich wird der Wasserbedarf des Zement-Biokohle-Bindemittelleimes durch Messung des Fließverhaltens des Leimes bei verschiedenen Wasser-Bindemittel-Verhältnissen bestimmt (Okamura-Methode [5]).

Unter Verwendung des zuvor optimierten Bereichs des Pflanzenkohlegehalts und des Wasserbedarfs wird der frische Zustand des Leimes mittels Rheologie und Kalorimetrie untersucht, um seine mechanischen Eigenschaften in frischem Zustand und seine frühe Reaktivität zu charakterisieren. Die mechanischen Eigenschaften des ausgehärteten CO<sub>2</sub>-neutralen Betons werden schließlich durch die Herstellung von Mischungen mit verschiedenen Mengen an Pflanzenkohle untersucht.

Die Analyse der Auswirkungen der Pflanzenkohleart, der Mikrostruktur und der Partikelgröße zeigt, wie wichtig die Auswahl der Pflanzenkohle für die Betonkonstruktion ist.

Für ein erfolgreiches nachhaltiges Betondesign erwies sich die Charakterisierung der gemahlene Biokohle (Größenverteilung, Porosität und Wasseraufnahme) als entscheidend für optimierte Eigenschaften sowohl im frischen (links) als auch im ausgehärteten Zustand (rechts).



Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass der Ersatz von Zement durch 10-15% optimierter Pflanzenkohle und 20-25% Kalksteinmehl, bezogen auf die Zementmasse, vielversprechende Ergebnisse liefert und ausreichende mechanische Eigenschaften des Betons gewährleistet, die seine Verwendung in verschiedenen Bereichen des Bauwesens ermöglichen.

Insbesondere eine Mischung, bei der 15 % des CEM III durch Holzkohle und 30 % durch Kalkstein ersetzt werden, weist eine Druckfestigkeit von 5,22 MPa nach zwei Tagen und eine Druckfestigkeit von mehr als 25 MPa nach sieben Tagen auf, wobei der GWP-Wert unter Null bleibt.

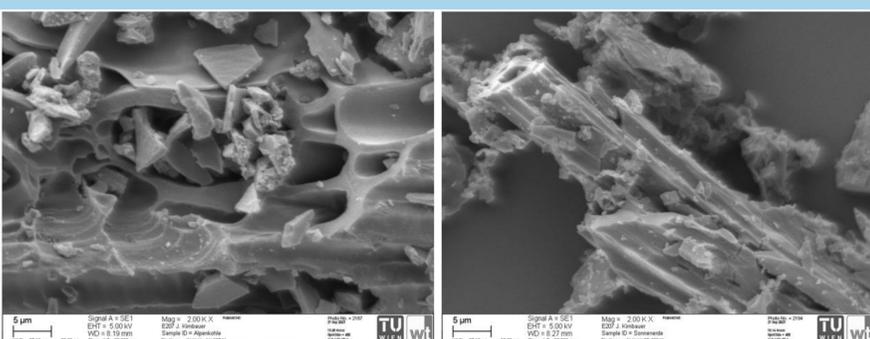
## Zusammenfassung

Durch den teilweisen Ersatz von Zement durch Pflanzenkohle konnten die CO<sub>2</sub>-Emissionen der hergestellten Betone insgesamt deutlich verringert werden, ohne die mechanischen Eigenschaften wesentlich zu beeinträchtigen.

Es konnten sogar Betonzusammensetzungen entwickelt werden, die ein negatives GWP aufweisen. Auf diese Weise könnte Beton als Langzeitspeicher für CO<sub>2</sub> genutzt werden.

## Ergebnisse

Zwei verschiedene Arten von Pflanzenkohle - Holzkohle (links) und Kohle aus Getreidespelzen (rechts) - werden in dieser Arbeit verwendet und zu feinen Partikeln gemahlen.



## Literatur

- [1] <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.104>  
 [2] <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121942>  
 [3] Veröffentlichte EPDs | Institut Bauen und Umwelt e.V. (ibu-epd.com)  
 [4] EBC (2020), Certification of the carbon sink potential of biochar, Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland. (<http://European-biochar.org>). Version 1.0E of 1st June 2020  
 [5] Okamura, H. and Ouchi, M., 2003. Self-compacting concrete. Journal of advanced concrete technology, 1(1), pp.5-15.