

# Einsatz von Pflanzenkohle zur Senkung des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atmosphäre

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

BBS INSTITUT / Hefei University Anhui-China / HAWK Hildesheim  
38302 Wolfenbüttel, h-p.leimer@bbs-institut.de

## Einleitung

Pflanzenkohle birgt ein kaum entdecktes Potential zur Senkung des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atmosphäre.

Pflanzenreste geben bei Verbrennung oder Verrottung das in sich gebundene CO<sub>2</sub> wieder frei. Werden jedoch Pflanzenreste im Rahmen eines Pyrolyseprozesses in Pflanzenkohle umgewandelt, wird das CO<sub>2</sub> zu einem großen Anteil in der Kohle gebunden, dabei stellt Pflanzenkohle selbst einen wichtigen Roh-/Werkstoff dar, der unterschiedlichste Eigenschaften aufweist, die in unterschiedlichen Anwendungen genutzt werden können.

Mit diesem Verfahren wird somit nicht, wie bei Vorgaben zur Reduzierung des Verbrauchs von Energie z. B. bei Verkehr, Heizung und/oder Kühlung etc. der CO<sub>2</sub>-Ausstoß nur vermindert, sondern das CO<sub>2</sub> wird aus dem Kreislauf der Atmosphäre heraus genommen und kann langfristig eingelagert werden.

Umfangreiche Forschungsaktivitäten in Deutschland, China und weiteren Ländern wurden zu Teilthemen auf den Gebieten der Herstellung und des Einsatzes von Pflanzenkohle erarbeitet. Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, zusammen mit den beteiligten Institutionen die Möglichkeiten des Einsatzes von Pflanzenkohle zur Generierung einer echten CO<sub>2</sub>-Senke in der Atmosphäre zu erarbeiten, um die von den jeweiligen Staaten festgeschriebenen Ziele zu den geplanten Klimaschutzbeiträgen des Pariser Abkommens (intended nationally determined contribution, "INDC"), zu realisieren.

## Grundlagen der Photosynthese und CO<sub>2</sub>-Absorption von Pflanzen

Bei der Photosynthese wird in den Chloroplasten, durch Mithilfe der Sonnenenergie, aus Wasser und Kohlenstoffdioxid Traubenzucker und Sauerstoff gebildet. Den Traubenzucker nutzt die Pflanze für ihr Wachstum, der Sauerstoff wird an die Umgebung abgegeben und das CO<sub>2</sub> in Form von Kohlenstoff in der Pflanze eingespeichert.

Dieses in den Pflanzen gespeicherte CO<sub>2</sub>, wird bei Verbrennung oder bei Verrottung der Pflanzen wieder an die Atmosphäre abgegeben und belastet somit unsere Umwelt zeitversetzt.

Die Speicherfähigkeiten von CO<sub>2</sub> in Pflanzen ist abhängig von verschiedenen Faktoren wie Standort, Alter der Pflanze, Größe der Pflanze, Dichte der Pflanze.

Folgende Ökosysteme bilden Speicher bzw. Speicher-möglichkeiten für CO<sub>2</sub>.

- Wälder: Deutsche Wälder speichern im Jahr ca. 13 t CO<sub>2</sub> je Hektar. Dieser Wert ermittelt sich über die Altersgruppen und Arten der Bäume.
- Bäume: Wie viel CO<sub>2</sub> ein Baum absorbiert ist von folgenden Faktoren abhängig: Baumart, Holzdichte, Alter, Baumhöhe. Allgemein lässt sich sagen, dass Laubbäume weniger Sauerstoff als Nadelbäume produzieren. Dazu kommt, dass junge Bäume mehr Sauerstoff produzieren als alte Bäume.

Beispiel:

- Fichte - Ø 50 cm; Alter 100 Jahre; Höhe: 35 m  
Filterleistung/Absorption: 2,6 t CO<sub>2</sub>
- Buche - Ø 50 cm; Alter 120 Jahre; Höhe: 35 m  
Filterleistung/Absorption: 3,6 t CO<sub>2</sub>

Nutzpflanzen: Auch die vom Menschen angebaute Pflanzen leisten einen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Einsparung

CO<sub>2</sub>-Absorption in

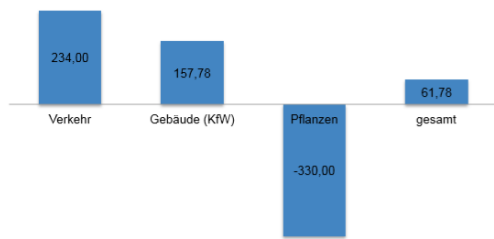
- Tomaten ca. 3,1 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>a
- Hafer/Weizen/Gerste 1,15 bis 1,35 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>a
- Wassermelone ca. 0,63 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>a.

Hieraus ergeben sich Filterleistungen / Absorptionsleistungen von

- 1ha Wald = ca. 13 t/a
- 1 ha Park/Feld = ca. 10 t/a.

## Grundlagen Herstellung von Pflanzenkohle durch Pyrolyse

Pflanzenkohle besteht zum überwiegenden Anteil aus reinem Kohlenstoff, der von Mikroorganismen nur sehr langsam abgebaut werden kann. Erhitzt man das pflanzliche Zellgewebe unter Sauerstoffausschluss auf über 400 °C, wird die Biomasse aufgespalten. Zellulose, Hemicellulose und Lignin zersetzen sich zu flüchtigen Bestandteilen und Kohlenstoff. Hochrechnungsmodelle zeigen, dass in der durch das Pyrolyseverfahren gewonnenen Pflanzenkohle ein Anteil von über 80 % des Kohlenstoffes für mehr als 1000 Jahre stabil bleibt und somit eine Möglichkeit darstellt, das ursprünglich von Pflanzen assimilierte CO<sub>2</sub> langfristig der Atmosphäre durch Einlagerung zu entziehen und dadurch den Klimawandel abzubremesen. Je nach Pyrolyseverfahren können etwa bis zu 60 % der Energie in brennbarem Gas und Öl und ca. ein Drittel der Energie in der Bio- bzw. Pflanzenkohle gespeichert werden.



**Abbildung 1:** CO<sub>2</sub>-Emissionen in 1000 t der Stadt der Zukunft pro Jahr.

Die Energien aus Öl und Gas stehen dann für eine weitere energetische Nutzung zur Verfügung. Z.B. bei dem Thermo-katalytischen Reforming (TCR<sup>®</sup>), dem von Fraunhofer UMSICHT in Sulzbach-Rosenberg entwickelten Konversionsverfahren, können Öl und Gas direkt für die Kraftwärmekopplung in Blockheizkraftwerken eingesetzt werden. Alternativ kann aber auch eine reine Wärmebereitstellung zur Trocknung des Einsatzstoffs erfolgen.

### **Bedeutung - Beispielhafte Zuordnung zu realen Ansätzen**

Die Jahreskapazität der ersten von Swiss-Biochar und dem Delinat-Institut betriebenen Pflanzenkohleanlage beträgt 1000 t Biomasse, die zu 330 t Pflanzenkohle und rund 1000 MWh Wärme umgewandelt wird. Mittels der Pyrolyse-Anlage lassen sich aus je 2 Tonnen Grünschnitt rund 1 Tonne CO<sub>2</sub> dauerhaft der Atmosphäre entziehen.

Alle Energieaufwendungen, wie der Transport des Grünschnittes, dessen Zerkleinerung, der Betrieb der Anlage sowie das Einbringen der Pflanzenkohle in den Boden, sind dabei bereits berücksichtigt. Die verwendete Pyrolyse-Anlage ist energieautark und wird im kontinuierlichen Prozess betrieben. Die Energie, die zur Aufheizung der Biomasse auf über 400 °C benötigt wird, muss zugeführt werden. Die Energie für den weiteren Prozess stammt aus der Biomasse selbst und wird durch die Verbrennung des bei der Pyrolyse entstehenden Gases erzeugt.

Im Rahmen eines eigenen Forschungsprojektes von 2017 wurden die Möglichkeit der Planung einer CO<sub>2</sub> - *neutralen Stadt* untersucht. Hierbei wurde ermittelt, in welchen Bereichen CO<sub>2</sub>-Emissionen in einer Stadt entstehen und welche Möglichkeiten zur Verfügung stehen, um diese zu verringern und einzusparen. Dazu wurden die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Stadt der Zukunft in China mit zwei Millionen Einwohnern ermittelt. Die grundsätzliche Frage in diesem Projekt war: „Ist es möglich die Emissionen von CO<sub>2</sub> einer neuen Stadt so zu optimieren, das mit Hilfe von Parks und Grünflächen eine CO<sub>2</sub> - *neutrale Stadt* entstehen kann“.

Das Forschungsvorhaben zeigt hierbei deutlich, dass es möglich ist die Planungen/Energie-Effizienzen so zu optimieren, dass die Pflanzen der Parks das CO<sub>2</sub> nahezu vollständig absorbieren können.

Somit bleibt nur noch eine Frage zu lösen: „Was geschieht mit dem Zuwachs/Baum-, Pflanzenschnitt, der in den Städten jährlich anfällt und bei Kompostierung oder Verbrennung das eingelagerte CO<sub>2</sub> wieder an die Atmosphäre abgibt.“

Auf der Grundlage einer Stadt mit 2 Mio. Einwohner ergeben sich ca. 300.000 t/a Grünschnitt, daraus resultiert ein Jahrespotential von ca.

- 100.000 t Pflanzenkohle als Wertstoff
  - 300.000 MWh Wärme aus dem Pyrolyseprozess
- und
- somit die dauerhafte Bindung von ca. 330.000 t CO<sub>2</sub>, die gesamte CO<sub>2</sub> Bindung der Pflanzen der Stadt!

### **Wertstoffe aus Pflanzenkohle**

Mit der Pyrolyse, die von Fraunhofer UMSICHT weiterentwickelt wurde, können biogener Wertstoffe bei gleichzeitiger Bereitstellung erneuerbarer Energie in Form von Strom, Wärme und Kraftstoffen hergestellt werden, welche vielseitig einsetzbar, umweltfreundlich, kostengünstig und ansatzweise problemlösend hinsichtlich der aktuellen Luftverschmutzung und deren CO<sub>2</sub>-Ziele wirken.

Hierbei können folgende Basisstoffe in Pflanzenkohle umgewandelt werden: Landschaftspflegematerial, Straßenschnitt, Strauchschnitt, Kompost, Stroh, Gärreste, Waldholz, aber auch separierte Gülle, Mist, Gärprodukte aus Biogasanlagen, Klärschlamm.

Die aus dem Prozess resultierenden Pflanzenkohle kann für die Wasseraufbereitung, Einzelfuttermittel (EU VO 68/2013), bodenbezogene Verwendung und Einsatz als Pflanzendünger eingesetzt werden.

### **Bodensanierung mit Pflanzenkohle**

Die Wirkmechanismen der Pflanzenkohle (PK) oder auch der Aktivkohle liegen darin begründet, dass durch den Eintrag von PK in den Boden der pH-Wert angehoben wird und somit, zumindest auf die Schwermetalle bezogen, diese Schadstoffe immobilisiert werden. Dadurch wird die Aufnahme von Schwermetallen durch die Pflanzen verhindert oder zumindest deutlich reduziert.

Durch den Alterungsprozess der Pflanzenkohlen werden, aufgrund ihrer sehr großen Oberfläche verschiedenste Carbonylgruppen angelagert, die aufgrund ihrer Polarität dazu in der Lage sind, verschiedenste organische Schadstoffe zu binden. Insgesamt verleiht die große spezifische

Oberfläche der PK eine sehr gute Kationenaustauschkapazität, die den pflanzenbaulichen Eigenschaften der so behandelten Böden zu Gute kommt. Gerade der Bericht „Einsatz von Biokohle und Kompost als Bodenadditive für die Immobilisierung von Schadstoffen an Altlastenstandorten“ der Universität Wien erscheint unter diesem Gesichtspunkt ein guter Ansatz zu sein, die Pflanzenkohle durch die Beimischung von Kompost mit Nährstoffkationen zu beladen und unter gleichzeitiger Immobilisierung von Schwermetallen sowie durch Absorption von vorhandenen organischen Schadstoffen, belastete Böden aufzubereiten. Es folgt eine Reduktion von Schadstoffen im Boden und eine deutliche Verbesserung der Bodenverhältnisse.

### Pflanzenkohle als Ersatz für Zuschlagstoffe in mineralischen Werkstoffen

Aktuelle Forschungen vom Deutschen Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung zeigen, dass die Auswirkungen von Sandgewinnung auf die Ökosysteme bedrohliche Auswirkungen genommen haben. Der globale Bedarf an Sanden übersteigt bei weitem das, was durch Verwitterung entsteht. Im UN-Report von 2014, *Sand - knapper als man denkt*, wird der derzeitigen Verbrauch an Sanden auf ca. 50 Milliarden Tonnen pro Jahr geschätzt.

Da Wüstensande, da zu glatt, für die Herstellung von Beton kaum geeignet sind, wird Sand aus dem Meeresgrund, aber auch aus Seen oder Flüssen gewonnen. Die Folgen für die empfindlichen Ökosysteme sind oft verheerend. Flussbetten sinken ab, Küsten erodieren, die Fauna in den Ozeanen wird zerstört, ganze Inseln verschwinden. Schutzmechanismen, die eigentlich Stürme und Tsunamis abhalten, werden außer Kraft gesetzt. So könnte hier Pflanzenkohle nicht nur als Feinkorn, sondern als Zuschlagstoff allgemein in Werkstoffen eingesetzt werden.

Mehr und mehr rückt so das Thema des Einsatzes von Pflanzenkohle in den Einsatzbereich des Bauwesens. Die Anwendungsbereiche gründen sich auf die spezifischen Eigenschaften der Kohle. Die extrem große Oberfläche der Pflanzenkohle bewirkt eine starke Kationenaustauschkapazität sowie eine starke Neigung viel Feuchtigkeit aufzunehmen und wieder abgeben zu können. Im Rahmen eines eigenen Forschungsvorhabens 2018/2021 „Einsatz von Pflanzenkohle im Bauwesen“, wurde die erfolgreiche Zugabe/Einlagerung von Pflanzenkohle in mineralischen Werkstoffen untersucht.

### Materialtests

Der Einsatz von Pflanzenkohle im Bauwesen ist derzeit noch kaum erforscht, so sind aktuell kaum Einsatzgebiete von Pflanzenkohle in der Baubranche zu verzeichnen. Erste eigene Versuche mit Putzen, Ziegeln, Tongefäßen,

Gehwegplatten sowie Wärmedämmstoff wurden durchgeführt, um die Einwirkung von Pflanzenkohle auf die Eigenschaften der genannten Baustoffe und deren Umgebung (bspw. Raumklima) zu erforschen.

Im Rahmen der geführten Untersuchungen wurde unter anderem untersucht, welche Auswirkungen hinsichtlich Biegezug- und Druckfestigkeit, kapillares Saugverhalten, Rücktrochnungsverhalten und Rohdichte die Pflanzenkohle in Verbindung mit einem Kalk- / Kalkzement- / Zementputz haben.

Die Prüfkörper wurden nach DIN EN 196-1:2005-05 hergestellt und bestehen aus einem jederzeit reproduzierbaren Werk trockenmörtel dem prozentual definierte Pflanzenkohle beigemischt wurde.

Die Prüfserien S1-S6 entsprechen hierbei den Anteilen an Pflanzenkohle in Vol-% mit S1-0%; S2-25%; S3-33%; S4-50%; S5-66%; S7-75%.

### Test of Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of hygroscopic sorption properties according ISO 12571:2013

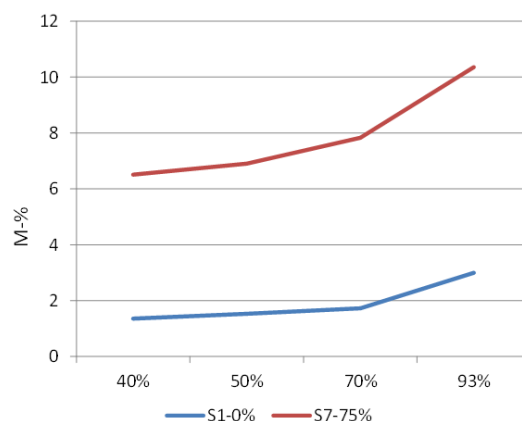
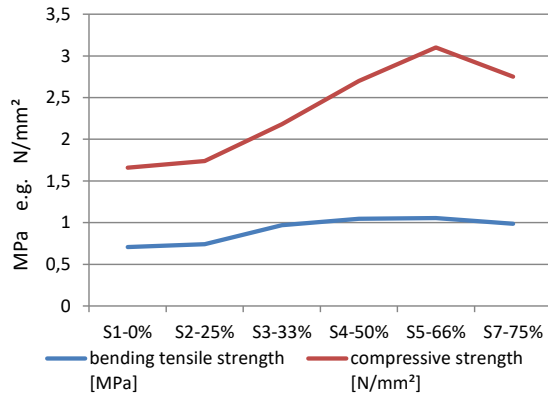


Figure 2: water absorption / sorption isotherm in M%; Test-Serie S1 und S7

### Methods of testing cement - Determination of strength according EN 196-1:2016;



**Figure 3:** bending tensile strength / compressive strength Test-Serie S1 - S7

## Ergebnisse

Die vorliegenden Versuchsergebnisse zeigen eine starke Beeinflussung der Putze durch die Beimengung von Pflanzenkohle.

Die Festigkeitsuntersuchungen zeigen, dass Pflanzenkohle den Putz schwerer, druckbelastbarer und elastischer machen.

Im Rahmen der Sorption zeigen Putze durch die Zugabe von Pflanzenkohle eine erhöhte Feuchteaufnahme aus der Raumluft. Feuchte-Simulationsberechnungen zeigen, dass Schwankungen der Raumluftfeuchte so besser gedämpft werden können.

Im Rahmen des kapillaren Saugens, bei direktem Kontakt mit Flüssigwasser (z.B. Schlagregen), zeigen Putze durch die Zugabe von Pflanzenkohle eine verlangsamte Wasseraufnahme und Wasserabgabe, aber eine deutlich höhere Aufnahme der Wassermenge.

So können, aufgrund der bisherigen Ergebnisse und den allgemeinen Eigenschaften der Pflanzenkohle, wie hohe Wasserspeicherung, große Oberfläche und je nach Herstellungsart staub- oder grobkörnige Struktur und niedrige Wärmeleitfähigkeit, der Pflanzenkohle ein hohes Potential für den Einsatz im Bauwesen zugeschrieben werden.

## Literatur

- [1] Deryck, Henrike; Die CO2 neutrale Stadt, HAWK Hildesheim 2017
- [2] Schwedhelm, Jan-André; Einsatz von Pflanzenkohle im Baubereich, HAWK Hildesheim, 2018
- [3] Bode, Ingo; N-Team, Hameln
- [4] Stenzel, Fabian; Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

## Curriculum Vitae

**Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer**



### Vita:

- seit 1990 selbstständige Tätigkeit BBS INGENIEURBUERO / BBS INTERNATIONAL GmbH
- seit 2000 Professur für Baukonstruktion und Bauphysik an der HAWK Hildesheim - Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst
- seit 2001 Leiter des BBS Institut - Forschungs- und Materialprüfinstitut für angewandte Bauphysik und Werkstoffe des Bauwesens
- 2001 – 2013 Präsident der WTA- Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege
- seit 2007 Leitung des Institutes für angewandte Bauphysik und Qualitätssicherung an der Hefei University - China
- seit 2007 Gast-Professor für Bauphysik an der Hefei University – China
- seit 2009 CEO BBS INTERNATIONAL Ltd. - China
- seit 2014 Leiter des neuen HAWK Labors für Bauphysik, Hildesheim
- seit 2017 CTO und Partner der Firma BERLIND (Shanghai) Engineering Ltd sowie BERLIND (Kunshan) Factory Ltd.
- since 2020 CSO und Partner CARBONplus GmbH – Deutschland