

# „Lasst uns über Recycling sprechen“ -

Ein Projekt der Leibniz Universität mit Schüler\*innen, Lehrer\*innen und engagierten Bürger\*innen,  
konzipiert und umgesetzt von der ZEW Zentralen Einrichtung für Weiterbildung.

April 2022 bis Juni 2023.

## - Pyrolyse -

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik

PD Dr.-Ing. habil. Dirk Weichgrebe

„Projekte wie „Lasst uns über Recycling sprechen“ sollen genutzt werden, um aus den gesammelten Erfahrungen mit den beteiligten Akteur\*innen der Zivilgesellschaft Weiterbildungsformate zu entwickeln, die im Sinne nachhaltiger Bildung auch über das Projekt hinaus fortgeführt werden können, in diesem Fall zum Beispiel mit einer Lehrer\*innen-Fort- und Weiterbildung zum Thema „Recycling“ sowie einer Weiterbildung „Pyrolyse“ für Mitarbeiter\*innen in der Forstwirtschaft und im Garten- und Landschaftsbau sowie einer Weiterbildung „Kreislauftechnik“ für Ingenieur\*innen.“





PD Dr.-Ing. habil. Dirk Weichgrebe  
Forschungsbereich Abfallwirtschaft &  
Kreislaufwirtschaft

Welfengarten 1  
30167 Hannover  
+49 (0) 511 762 2899  
weichgrebe@isah.uni-hannover.de  
www.isah.uni-hannover.de

| Uhrzeit       | Was   | Ort                           |
|---------------|---|-------------------------------|
| 09.05 – 10.00 | Begrüßung   |                               |
|               | Vortrag zum Thema   |                               |
|               | Sicherheitsunterweisung Unterschrift<br>Gefährdungsbeurteilung        |                               |
|               | Aufteilung in zwei Gruppen.   |                               |
| 10:00 - 11:15 | Gruppe 1: Labor (TGA-FTIR)  | TGA Labor                     |
|               | Gruppe 2: Pyrolyse (im Freien)  | Eingang Ost 1<br>Hauptgebäude |
| 11:15 - 12:30 | Gruppe 1: Pyrolyse (im Freien)  | Eingang Ost 1<br>Hauptgebäude |
|               | Gruppe 2: Labor (TGA-FTIR)  | TGA Labor                     |
| 12:30 - 13:00 | Mittagspause  | Cafeteria im<br>Hauptgebäude  |
| 13:00 - 14:00 | Gruppenarbeit mit Diskussion und<br>Erstellung eines Posters (analog) | GBR                           |
| 14.00 – 14.30 | Verabschiedung und weitere Schritte                                   | GBR                           |



M. Eng. Rahul Ramesh  
Stipendiat



M. Sc. Sara Zahedi Nezhad  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin



Jan-Endrik Tetzlaff  
Mitarbeiter in Technik und Verwaltung



Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik



Institut

Lehre

Forschung



Forschung

Forschungsfelder

Abwasser

Abfall- und Kreislaufwirtschaft

Mikrobiologie

Trinkwasser

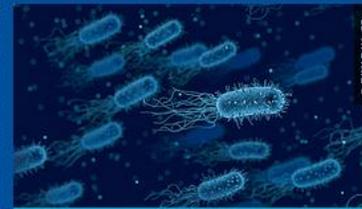
## Forschungsfelder



Abwasser



Abfall- und  
Kreislaufwirtschaft



Mikrobiologie



Trinkwasser

# – Pyrolyse – Erzeugung, Charakterisierung und Anwendung von Biokohle

- Biokohle (Pflanzenkohle) ist eine kohlenstoffangereicherte und kohleähnliche Biomasse, die aus Holz oder landwirtschaftliche Reststoffen gewonnen wird.
- Übliche Rohstoffe sind Holz, Landschaftspflegeabfälle, aber auch Nussschalen, Reisspelzen, Baumzapfen, Bananenstauden oder Klärschlamm, usw.
- Biokohle kann bis zu 50 % des Kohlenstoffs aus organischem Material vom aktiven in den inaktiven Kohlenstoffzyklus in der Pedosphäre übertragen.
- Die Entstehung und Nutzung von Biokohle geht auf die Indigene Kulturen am Amazonas (Terra Preta de Indio) (> 8000 v. Chr.) und die Köhlerei und Höhlenmalerei (> 5000 v. Chr.) zurück.



Foto 1 eigene Aufnahme

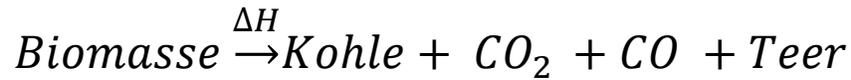
Foto 2 eigene Aufnahme

Foto 3: <https://blog.berchtesgadener-land.com/wp-content/uploads/2017/07/DSC0833-Kohlenmeiler-anzueden-neu.jpg>

Foto 4: [www.carbon-terra.de](http://www.carbon-terra.de)

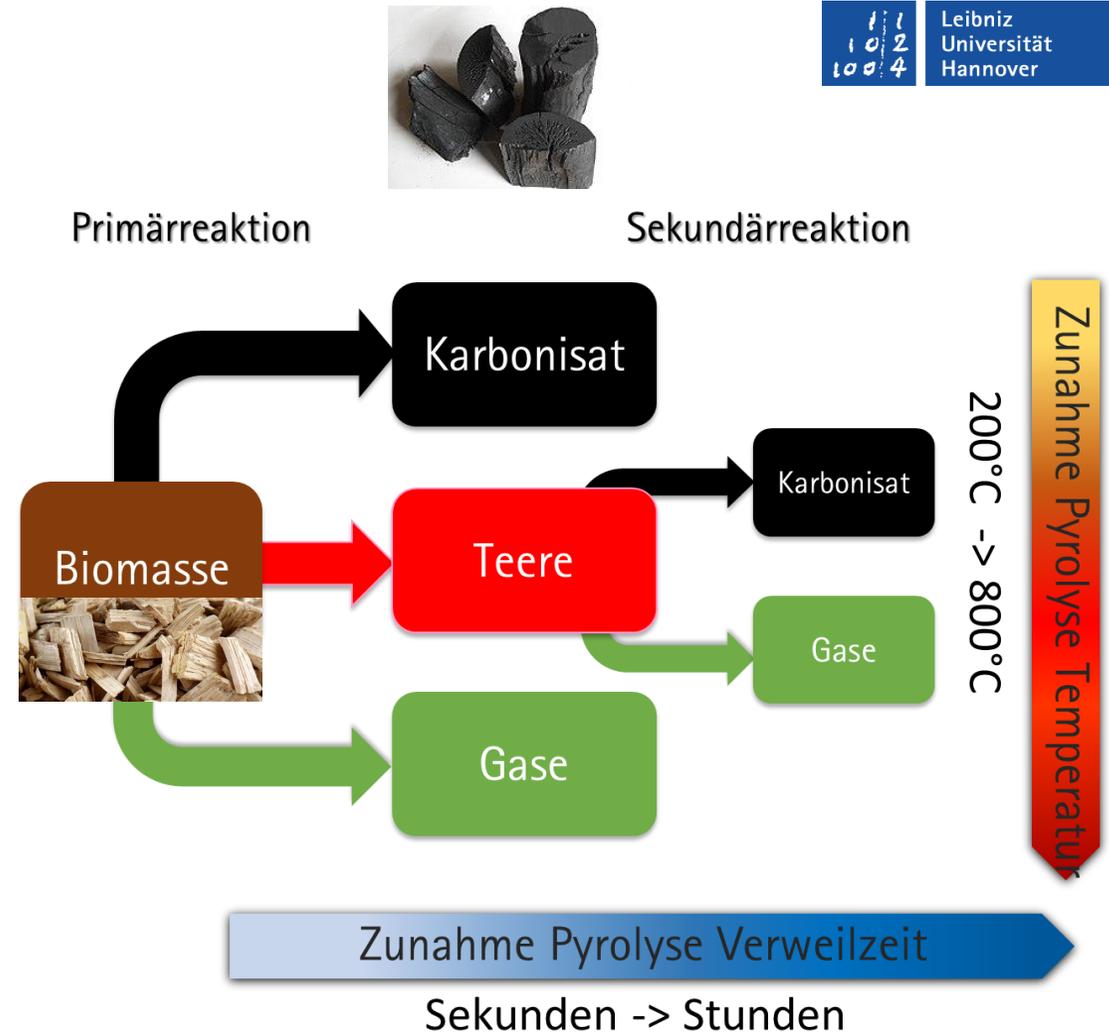
# Wie wird Biokohle hergestellt? Was ist Pyrolyse?

- -durch langsames Erhitzen der Biomasse in einer inerten Umgebung oder weitgehend unter Sauerstoffausschluss



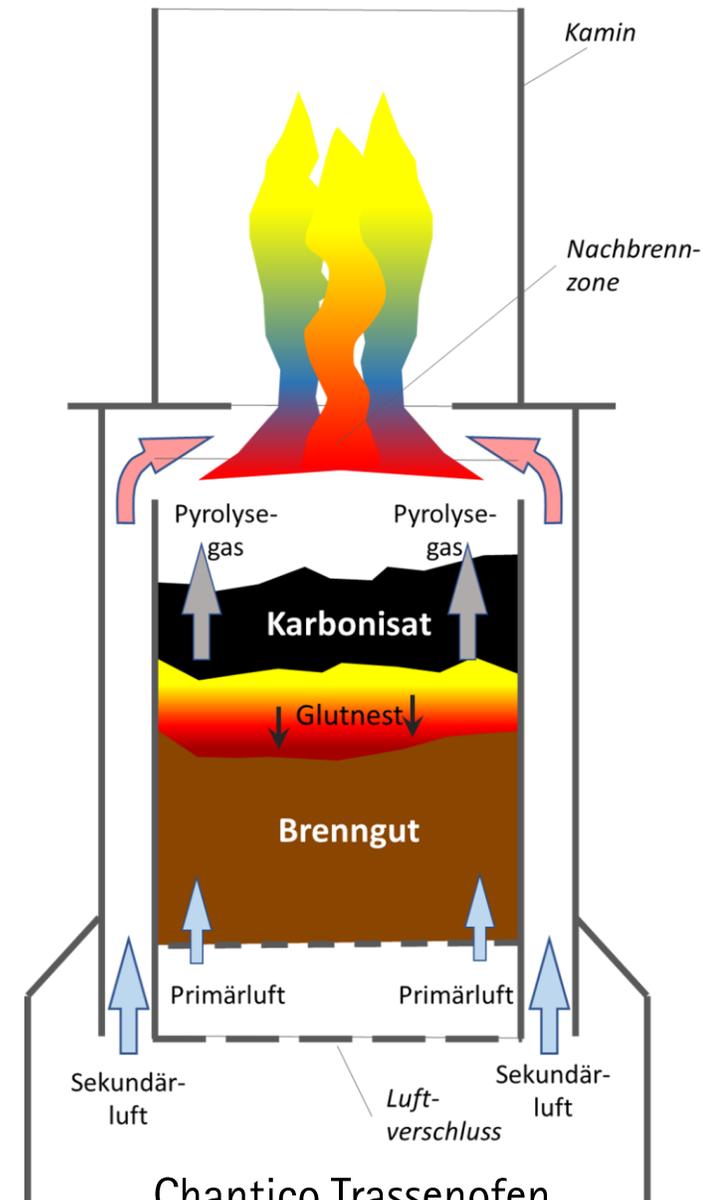
Pyrolytische Zersetzung = Pyrolyse

- Entsprechend der verwendeten Biomassen und den Prozessbedingungen kann die Pyrolyse endotherm ( $-\Delta H$ ) oder exotherm ( $+\Delta H$ ) sein.
- Pyrolysereaktoren können im Batch- oder im kontinuierlichen Modus betrieben werden.



Verändert nach Quicker & Weber, 2016

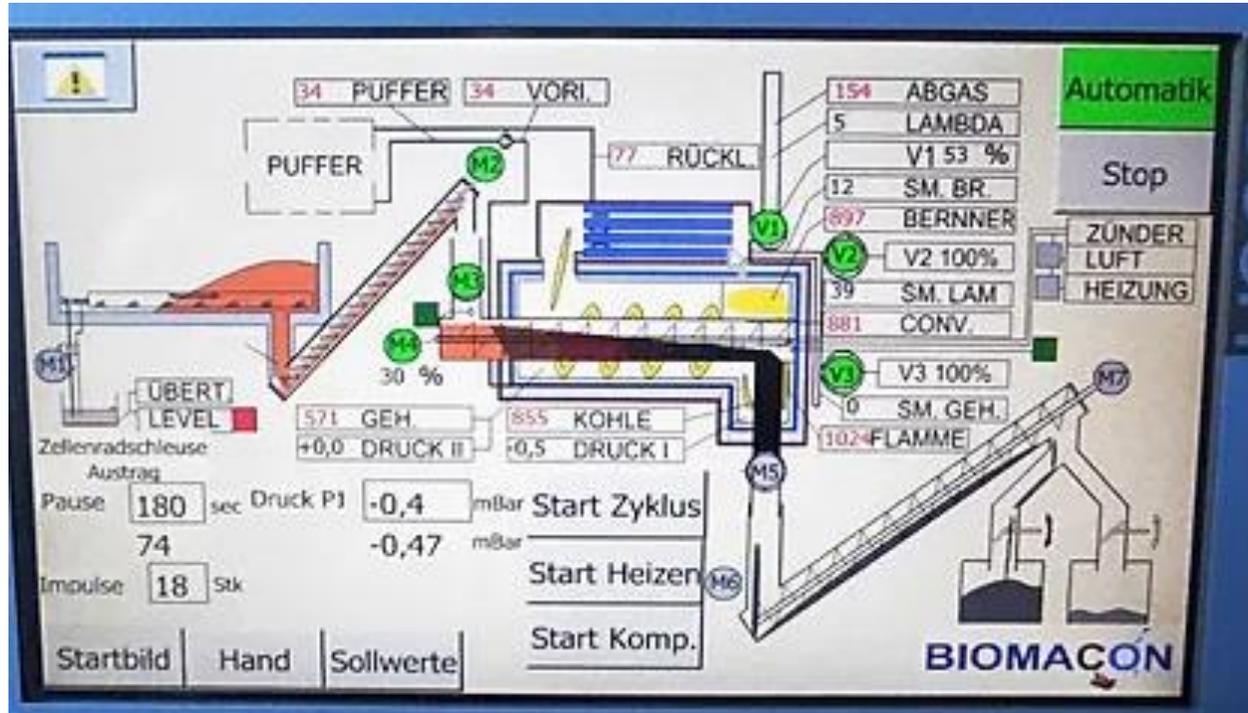
# Welche Ausgangsstoffe sind geeignet?



Chantico Trassenofen  
Sagawe & Sohn GbR

Lignin- und holozellulosereiche Biomasse ist geeignet

Rehburg Loccum



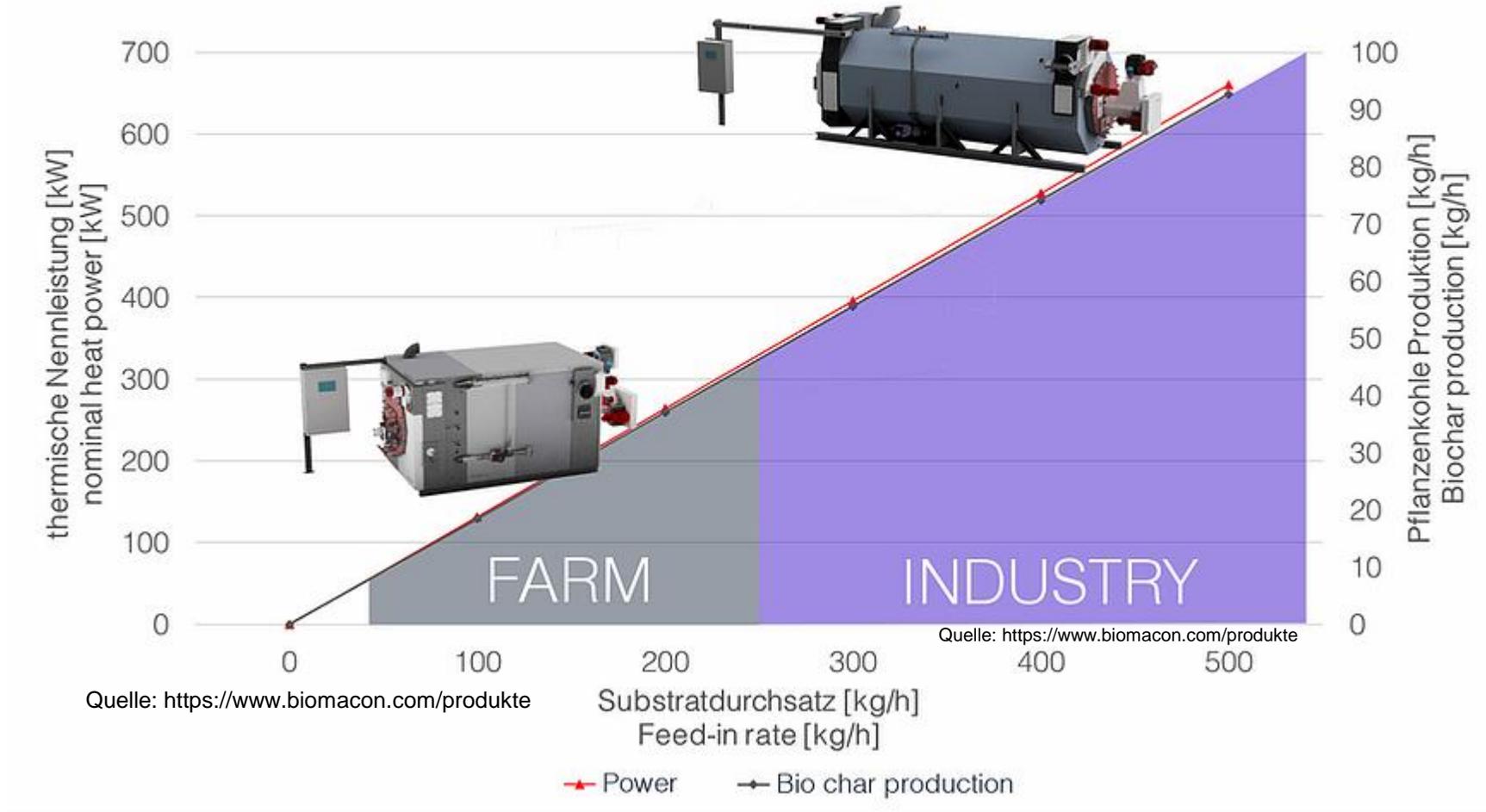
© Foto Weichgrebe

Quelle: www.biomacon.com



# Pyrolyseanlage von BIOMACON (C63-F 35-63kW)

## Anlagenauslegung System dimensioning

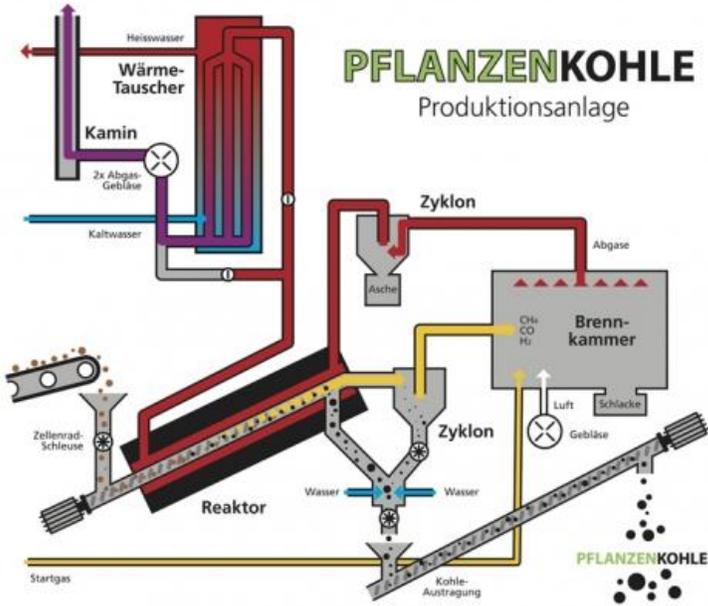


# Pyrolyseanlage von BIOMACON (C63-F 35-63kW)

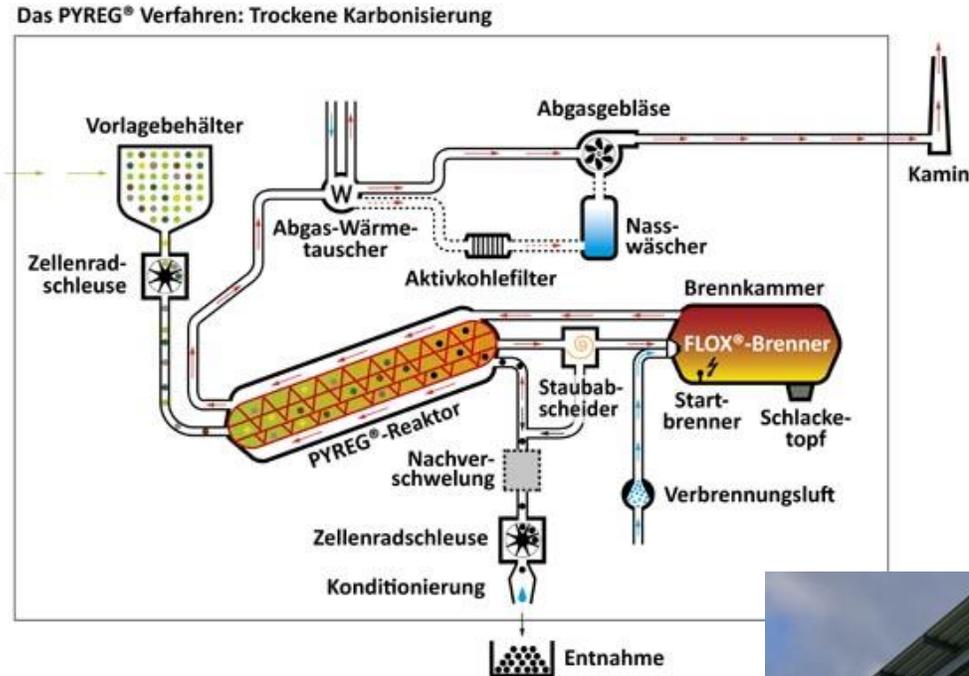
| Anlagenbezeichnung/<br>System<br>Description | Grundfläche/<br>Space | Biomasse Eintrag/<br>Biomass intake | Pflanzenkohle/<br>Biochar | Thermische<br>Leistung/<br>Thermal Power |
|--|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|--|
| C40-F  | 1900 x 4600           | 32 kg/h                             | 7 kg/h                    | 25-40kW                                  |
| C63-F  | 1900 x 5100           | 45 kg/h                             | 10 kg/h                   | 35-63kW                                  |
| C100-F                                       | 1900 x 5400           | 75 kg/h                             | 16 kg/h                   | 50-100kW                                 |
| C160-F                                       | 2500 x 6100           | 120 kg/h                            | 26 kg/h                   | 80-160kW                                 |
| C250-I                                       | 2500x 8700            | 188 kg/h                            | 40 kg/h                   | 125-250kW                                |
| C400-I                                       | 2500x 10200           | 300 kg/h                            | 63 kg/h                   | 250-400kW                                |
| C500-I                                       | 2500x 11700           | 318 kg/h                            | 68 kg/h                   | 300-500KW                                |

Quelle: <https://www.biomacon.com/produkte>





Quelle: <https://www.sonnenerde.at/de/pflanzenkohle/produktion/>



Quelle: <https://energyawards.handelsblatt.com/allgemein/pyreg-d1/>

Pyrolysereaktor mit anschließendem Prozessen für die Verwertung der Gase/Zwischenprodukte



Quelle Foto: <http://www.ithaka-journal.net/wpForschung1/uploads//2018/06/I07-PYREG-system.jpg>

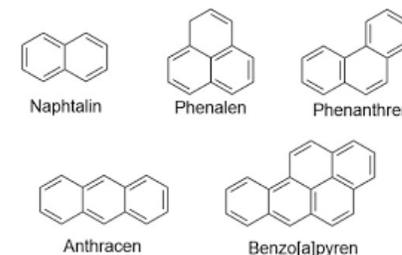
# Wie wird Biokohle charakterisiert?



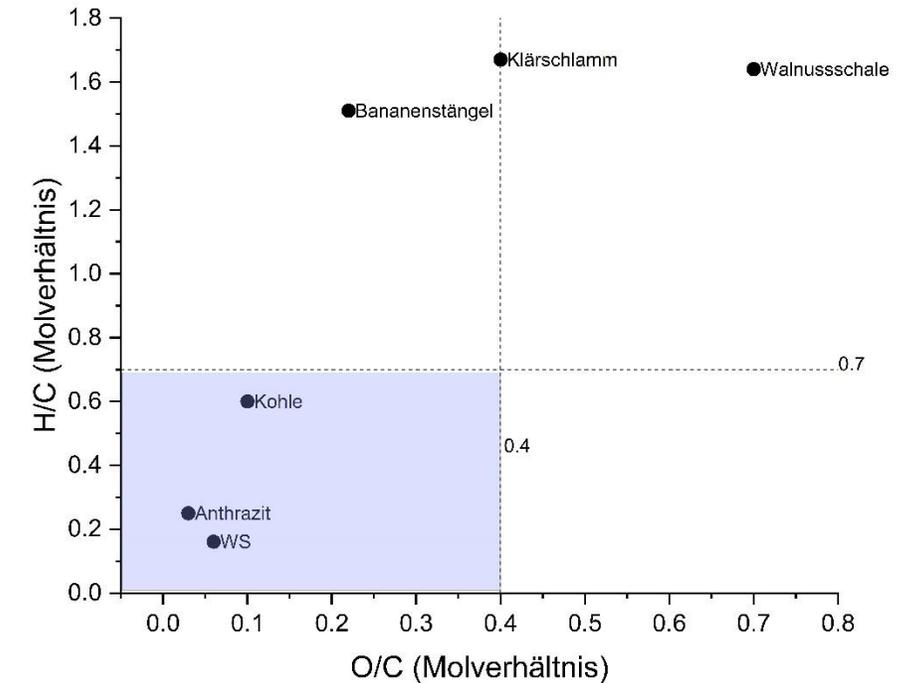
© Foto Satish CLRI, Projekt PYRASOL

## Physikalische & chemische Eigenschaften & Interaktion mit Böden und Pflanzen

- Porenoberfläche und -volumen
- Molare Verhältnisse von  $H/C_{org}$ ,  $O/C_{org}$
- Konzentration an Schwermetallen (Pb, As, Cu, Ni usw.)
- Alkali- und Erdalkalimetalle (K, Mg, Na und Ca)
- Polymerisationsgrad (PAH  $\leq$  7-Ringe)



- Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe (N, P und S)

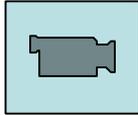


## Van Krevelen-Diagramm von Biokohle

Eigene Darstellung, ISAH, Rahul Ramesh Nair

# Wo und wie wird Biokohle eingesetzt?

- Bodenverbesserung (z.B. Terra Preta, Kompost, Humusaufbau, Wasserrückhalt, Düngung)
- Adsorption von organischen und anorganischen Schadstoffen aus Wasser- und Abwasser
- Kohlenstoffsequestrierung & Wärmeenergiebereitstellung

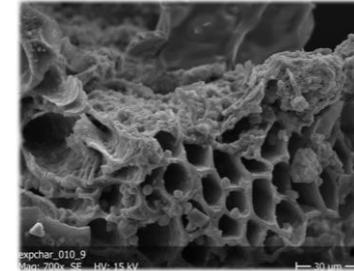


Video vom Fachverband Pflanzenkohle e.V.

<https://www.youtube.com/watch?v=tu4-KamBEzA>

Unter üblichen Bedingungen ist der Kohlenstoff für mehr als 1000 Jahre stabil.

1 kg Kohlenstoff bindet 3,6kg CO<sub>2</sub>



- Bodenverbesserung (z.B. Terra Preta, Kompost, Humusaufbau, Wasserrückhalt, Düngung)
- Adsorption von organischen und anorganischen Schadstoffen aus Wasser- und Abwasser
- Kohlenstoffsequestrierung & Wärmeenergiebereitstellung
- Brennstoffzellen
- Katalysatoren
- Direkte CO<sub>2</sub>-Abscheidung (Adsorption von Gaskomponenten)
- Biofiltration (CH<sub>4</sub> (g), NH<sub>3</sub> (g) – Reduktion)
- Energiereicher Brennstoff
- Tierhaltung (NH<sub>3</sub>-Aufnahme, Futtermittelzusatz, ...)
- Kompositmaterialien (mit Zeolithen und MOFs)



[https://www.pumper.com/uploads/images/\\_facebook/biofilter2.jpg](https://www.pumper.com/uploads/images/_facebook/biofilter2.jpg)

- Einsatz im Biofilter zur Abluftbehandlung (Z.B. Bioabfallkompost)
- Biologische Behandlung von Deponierestgasen (CH<sub>4</sub>-Oxidation)
- Pyrolyse von organischen Siedlungsabfällen ([www.pyrasol.net](http://www.pyrasol.net))
- Unkontrollierte Pyrolyse und exotherme Reaktionswege
- Adsorption von organischen Stoffen und Schwermetallen aus dem Deponiesickerwasser



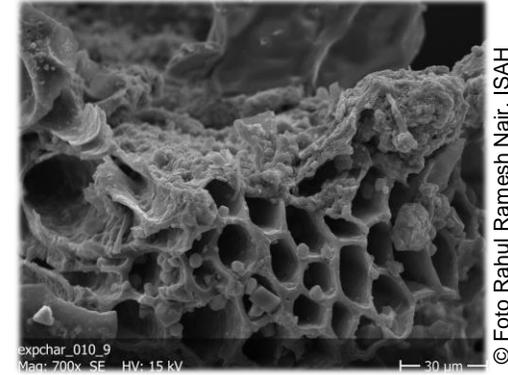
Demonstration eines Biomacon Pyrolyse-Konverters im Pilotmaßstab

© Foto Srinivasan, CLRI, Projekt PYRASOL



© Foto Satish, CLRI, Projekt PYRASOL

Pflanzversuche mit Biokohle und Erde



© Foto Rahul Ramesh Nair, ISAH

Biokohle unter dem Rasterelektronenmikroskop



© Foto Rahul Ramesh Nair, ISAH

Magnetische Biokohle für Adsorptionszwecke



© Foto Jan Tetzlaff, ISAH

Biofilter zur Abluftreinigung

# Semi Labscale Pyrolyse (Chantico)

<https://www.chantico-terrassenofen.de/>



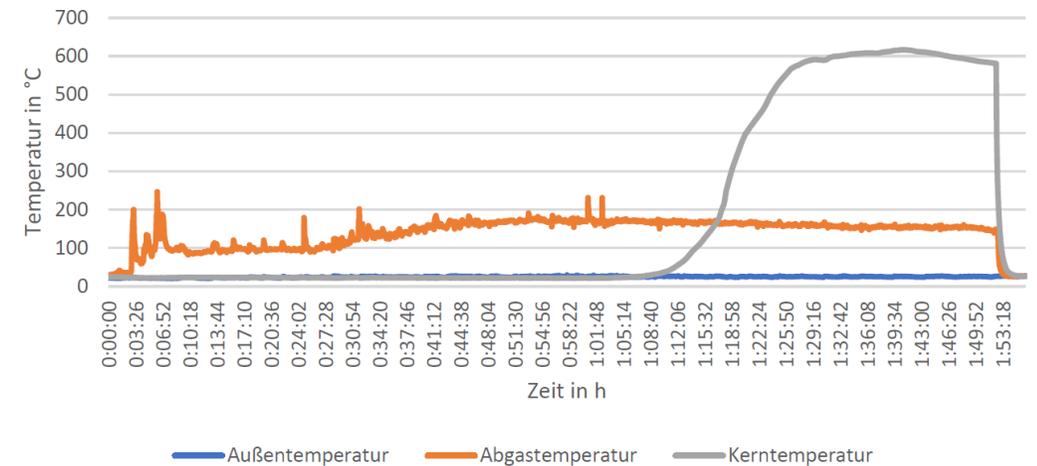
Baum- und Strauchschnitt



Walnusschalen



Pyrolyse - Batch 1 - Industrie WS



moarried from chantico terrace oven's manual <https://www.chantico-terrassenofen.de/>

pyrasol

Baum- und Strauchschnitt

Walnusschalen

Chantico



© foto: weichgrebe



© foto: weichgrebe

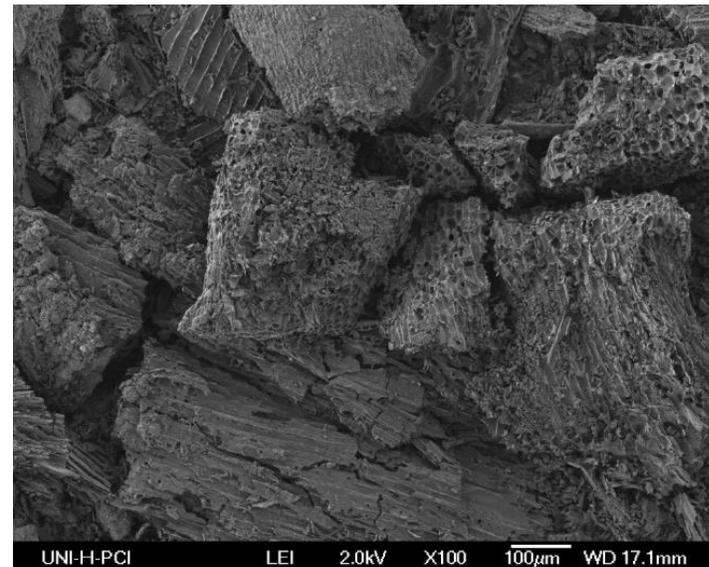
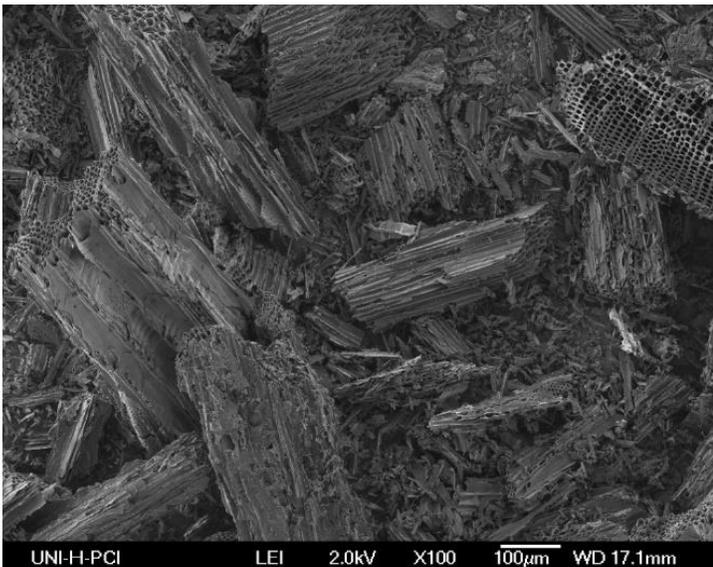
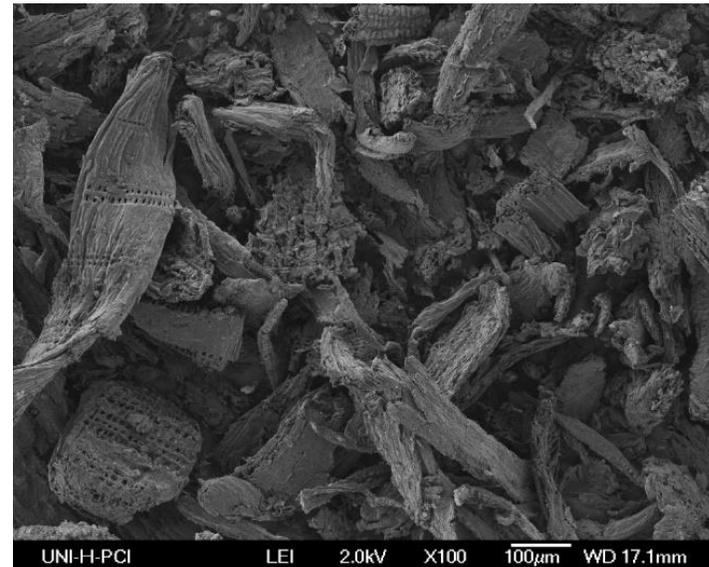
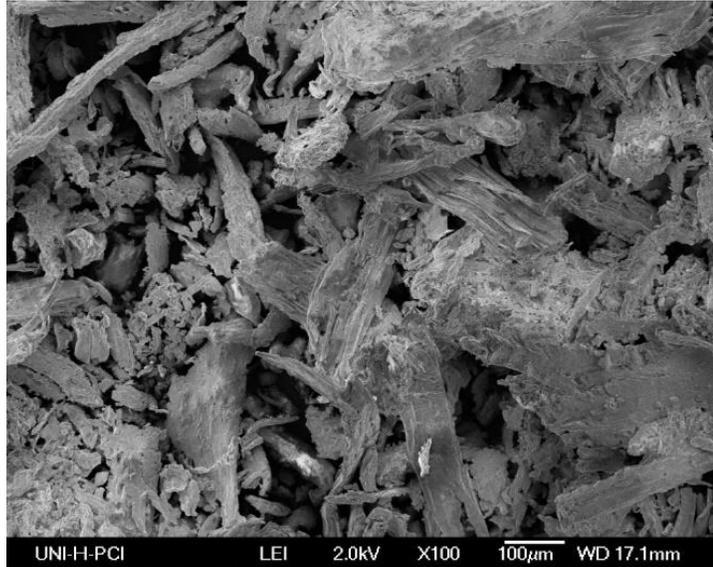
Biomacon



© foto: weichgrebe



© foto: weichgrebe

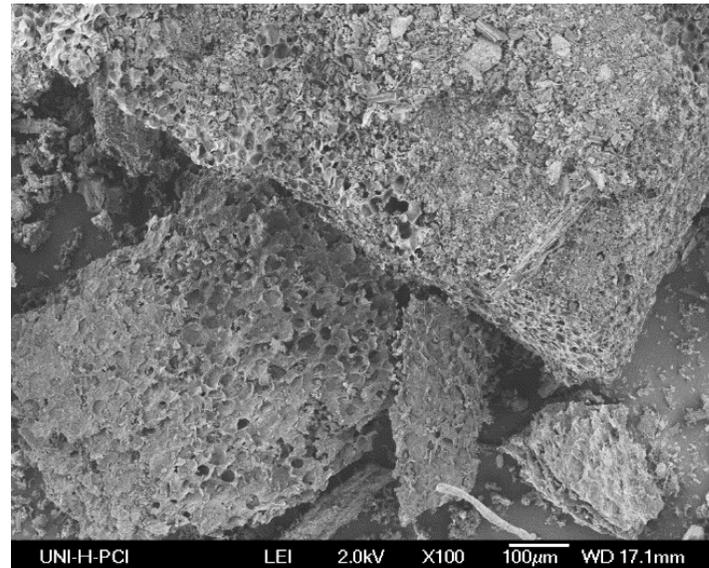
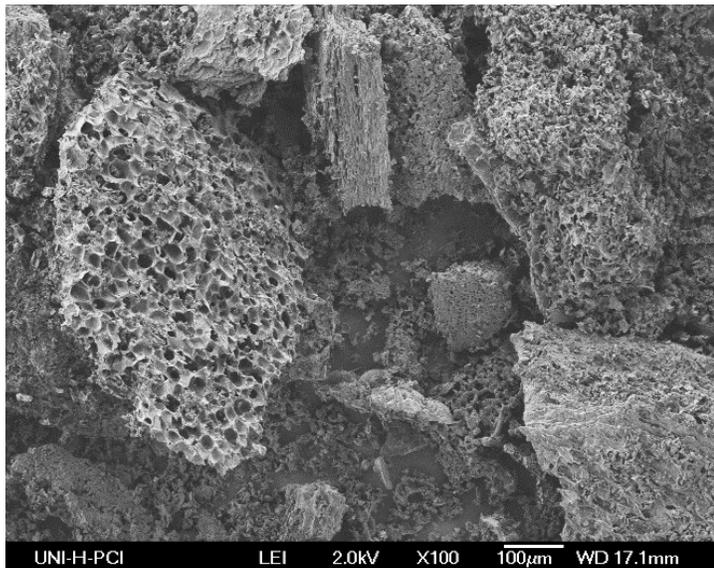
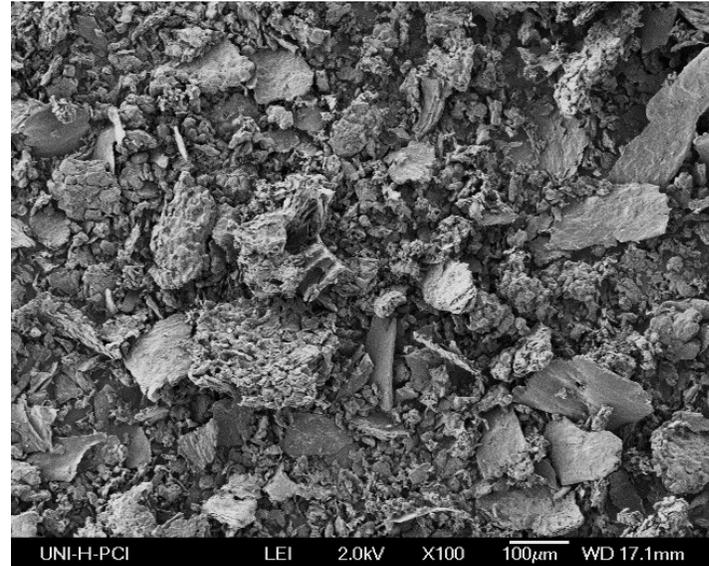
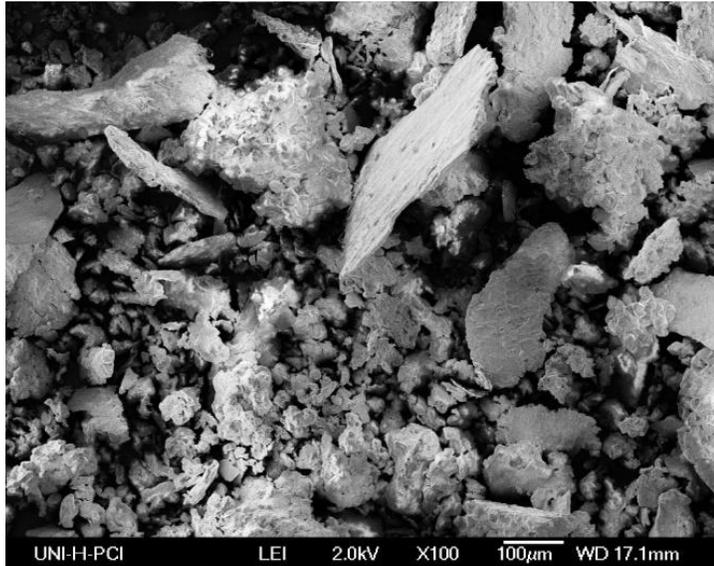


Pflanzenkohle  
aus Baum- und Strauchschnitt

- Faserartige, ungleichmäßige Strukturen
- Keine unverkohlten Anteile
  - Porenbildung

© foto: Prof. Behrens, IAC





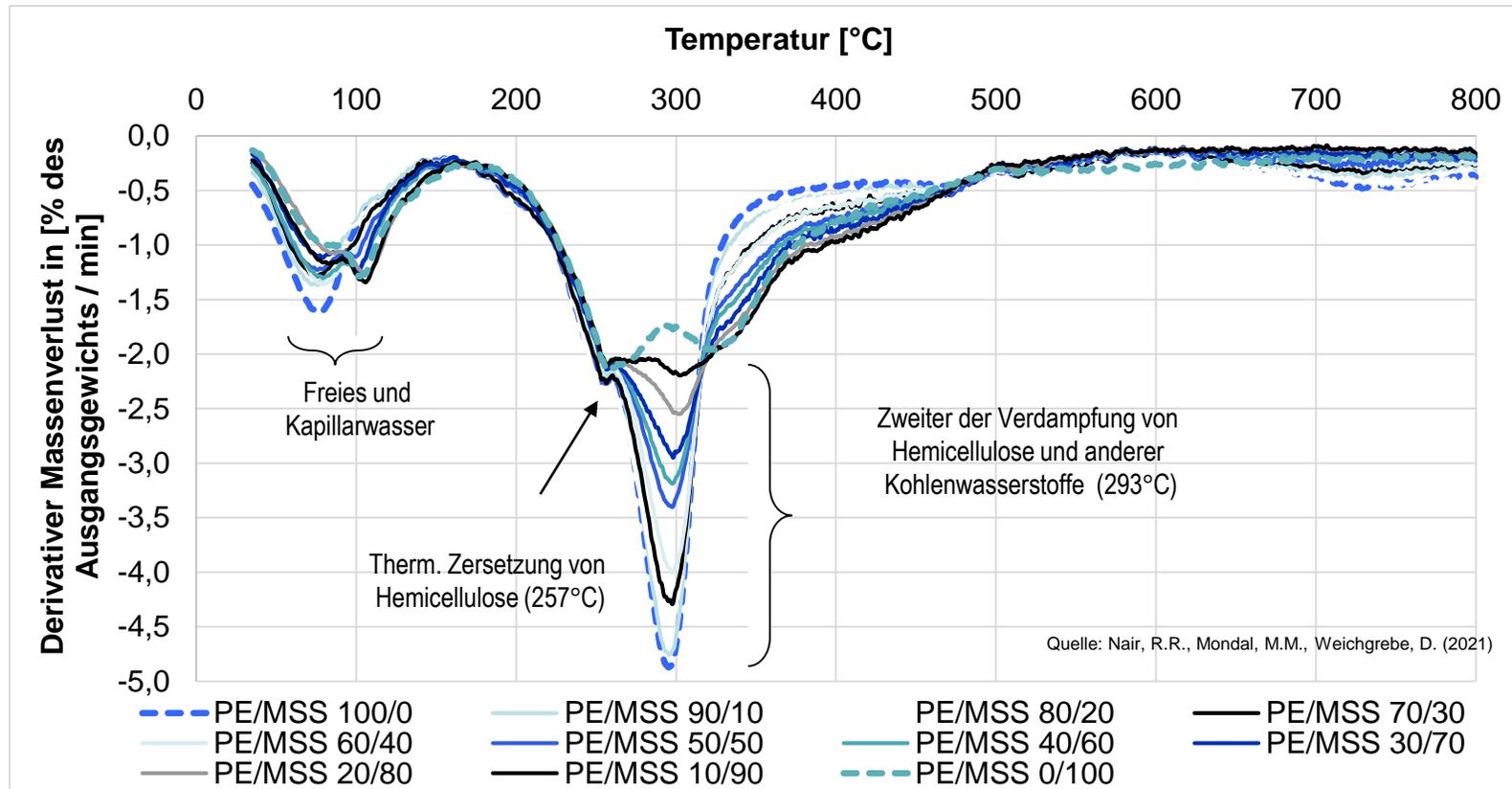
Pflanzenkohle aus Walnussschalen

- plättchenartige, ungleichmäßige Strukturen
- Porenbildung

© foto: Prof. Behrens, IAC



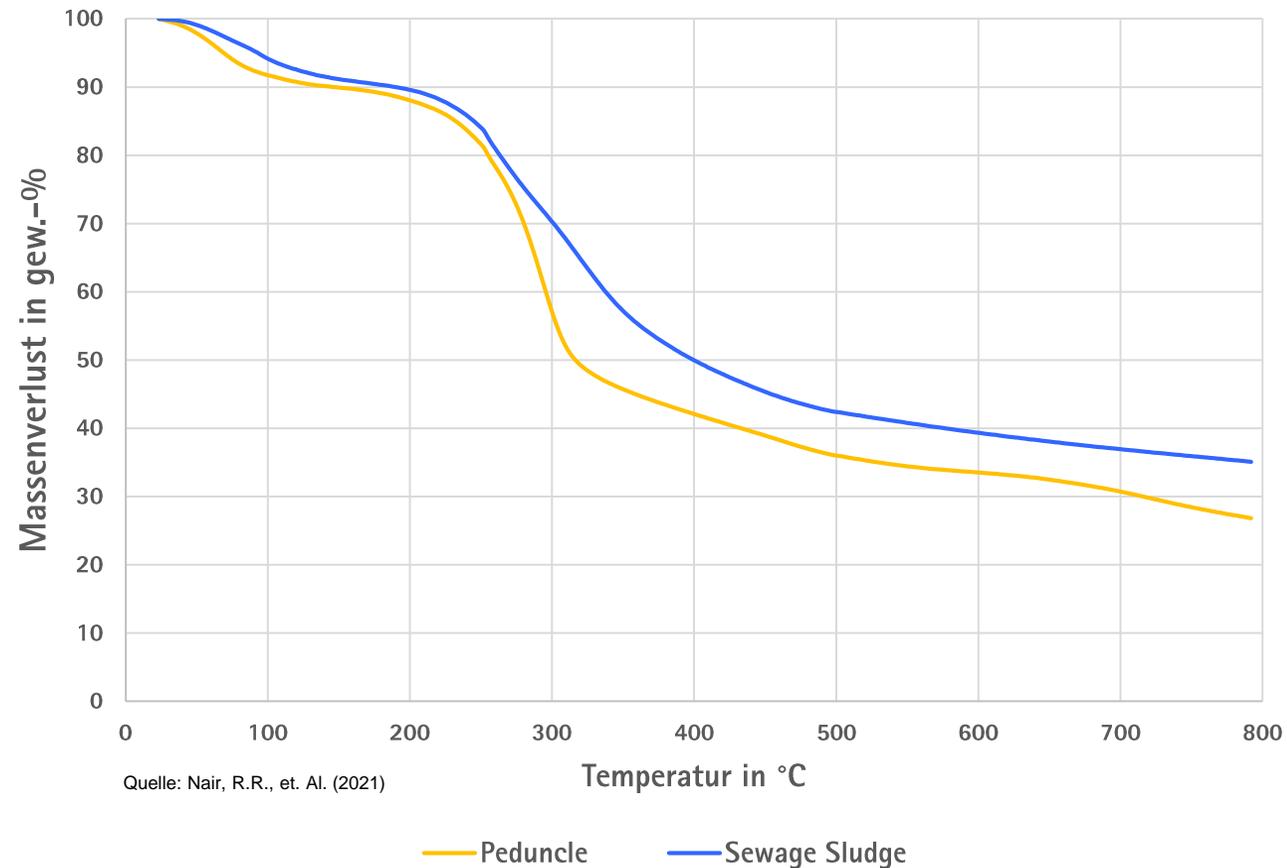
# Thermogravimetrische Eigenschaften von Mischung aus Bananen-Peduncle (PE) und Klärschlamm (MSS)



PE Banana peduncle  
MSS Municipal Sewage sludge



# Thermogravimetrische Eigenschaften von Bananen-Peduncle und Klärschlamm



# Gruppeneinteilung

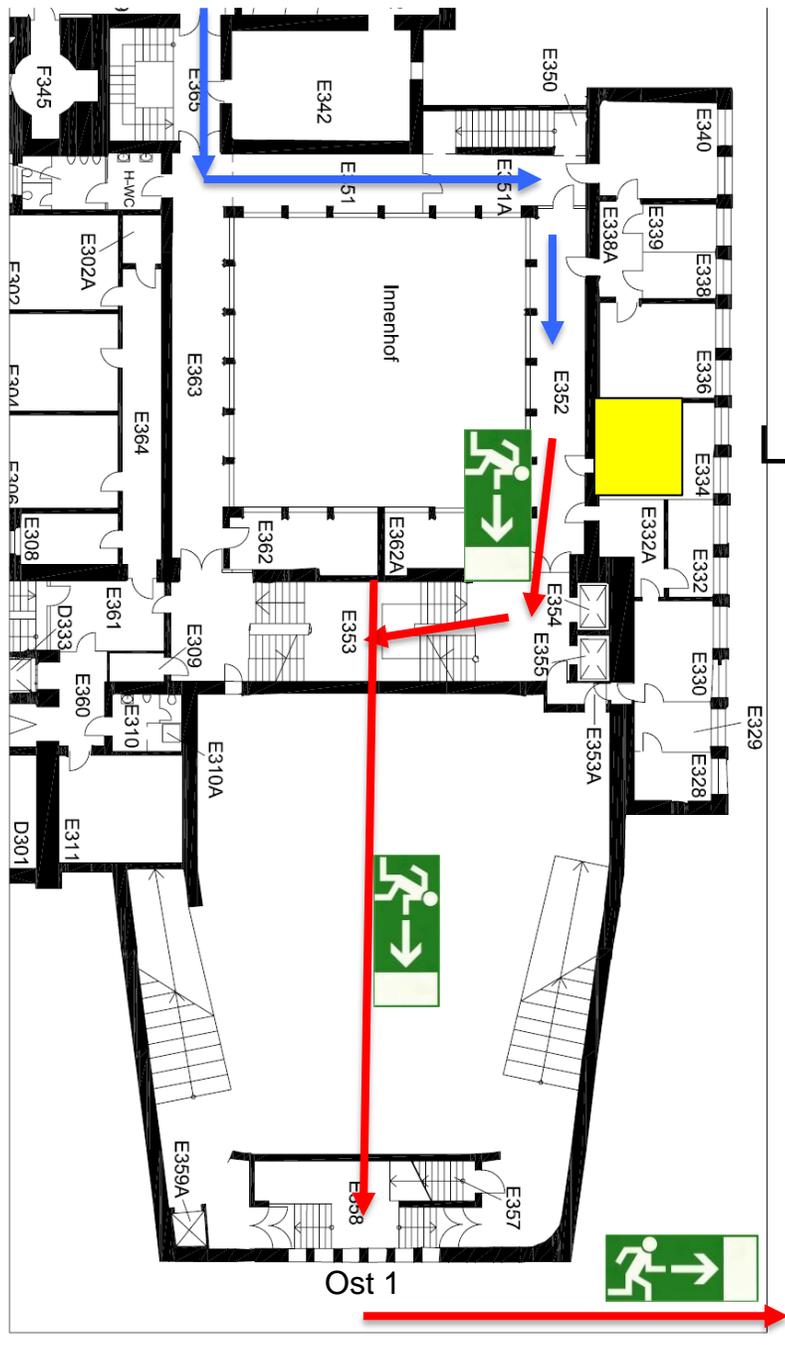
## Gruppe 1

1. Labor
2. Chantico

## Gruppe 2

1. Chantico
2. Labor

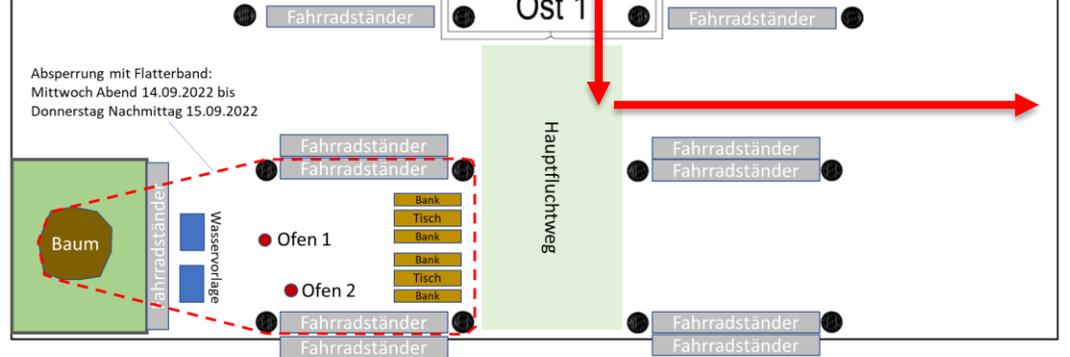
Unterweisung / Unterschrift Gefährdungsbeurteilung



Im Labor:  
Schutzkleidung tragen  
keine Flüssigkeiten anfassen  
keine Schalter oder Ventile betätigen  
Auf die Anweisungen hören.

Unterweisung

Beim Chantico Ofen:  
Heiße Flächen nur mit Handschuhen oder  
Zangen oder Haken anfassen  
Vorsichtiges und umsichtiges Hantieren wie  
an einer offenen Feuerstelle.



Pyrolyse Chantico