

# Pflanzenkohle – eine uralte Kulturtechnik



# Inhalt

- **Grundlagen**
- Produkt, Markt und Anwendung
- Übersicht Pyrolysetechnik
- Voraussetzungen für Kohleherstellung
- Anlagen Schweiz
- Aktuelle Herausforderungen

## Pflanzenkohle im Amazonas: terra preta vor 2'000 Jahren von Mensch gemacht!



Fotos:  
Bruno Glaser

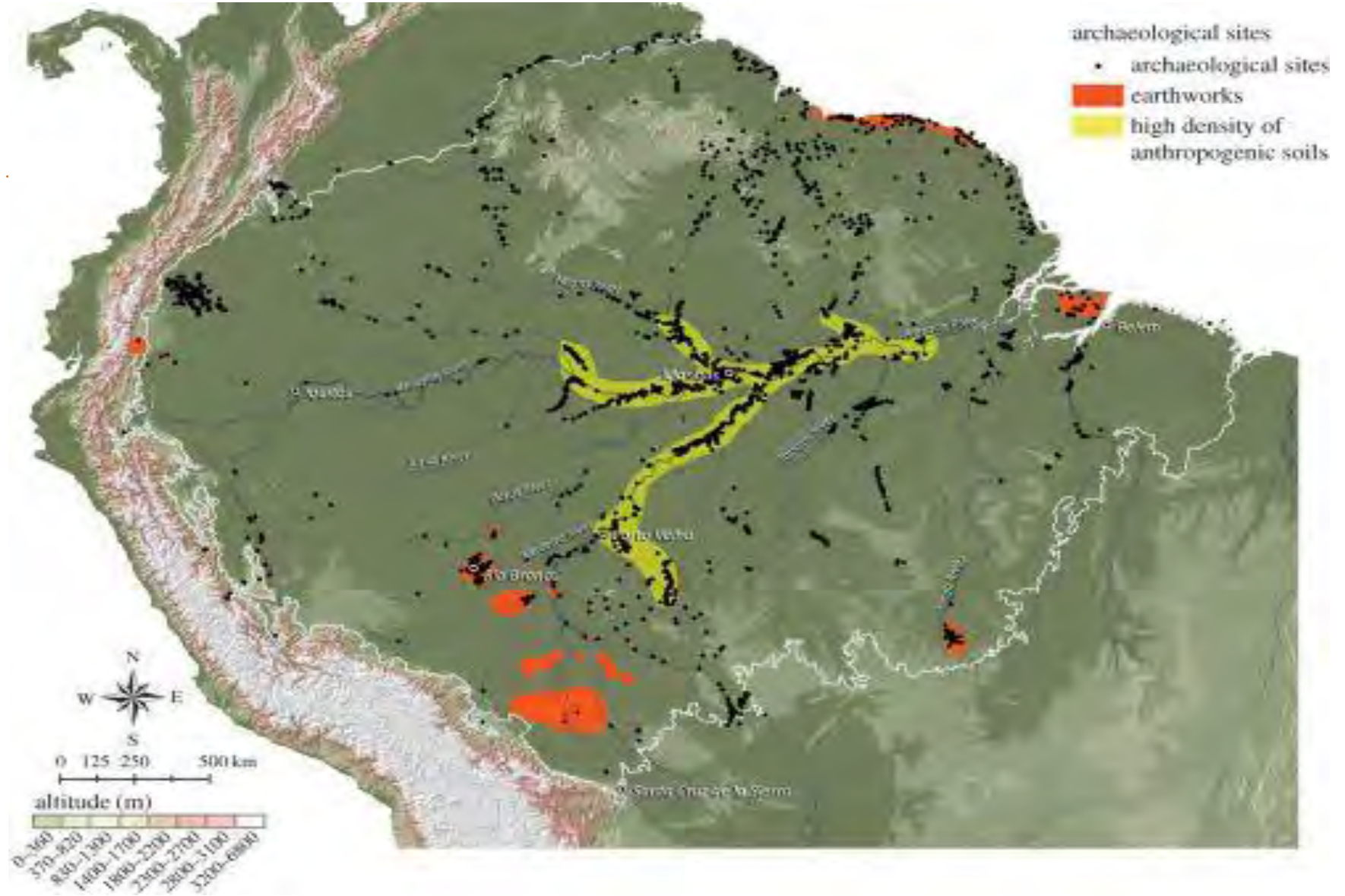


**Anthrosol** = terra preta...

...und **Ferralsol**

in Amazonien, Fundorte unweit voneinander entfernt





Map Showing Where Terra Preta is Currently known to be Found [Source: Clement et al 2015 “The domestication of Amazonia before European conquest”]





# Pflanzenkohle: Nährstoff-Träger und CO<sub>2</sub>-Speicher



Seit Beginn der Eisenzeit vor 4'000 Jahren ist Holzkohle als effizienter Bodenverbesserer fast überall in der Welt bekannt (Japan, China, Indonesien, Europa, Afrika, Südamerika...)



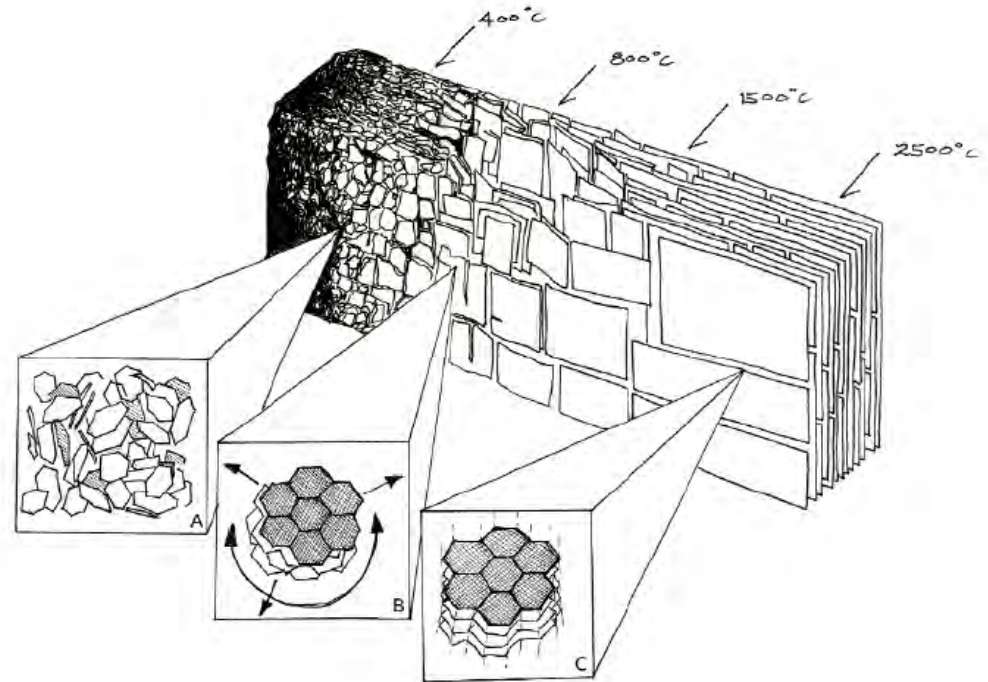
# Pyrolyse-Prozess

Thermische Zersetzung von hochmolekularen organischen Verbindungen zu brennbarem Gas (CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, Teer) und Pflanzenkohle bei 300-700°C ohne Sauerstoff.

Energiebilanz:

50% Pyrolysegas, 50% Kohle

different temperature  
- different biochar



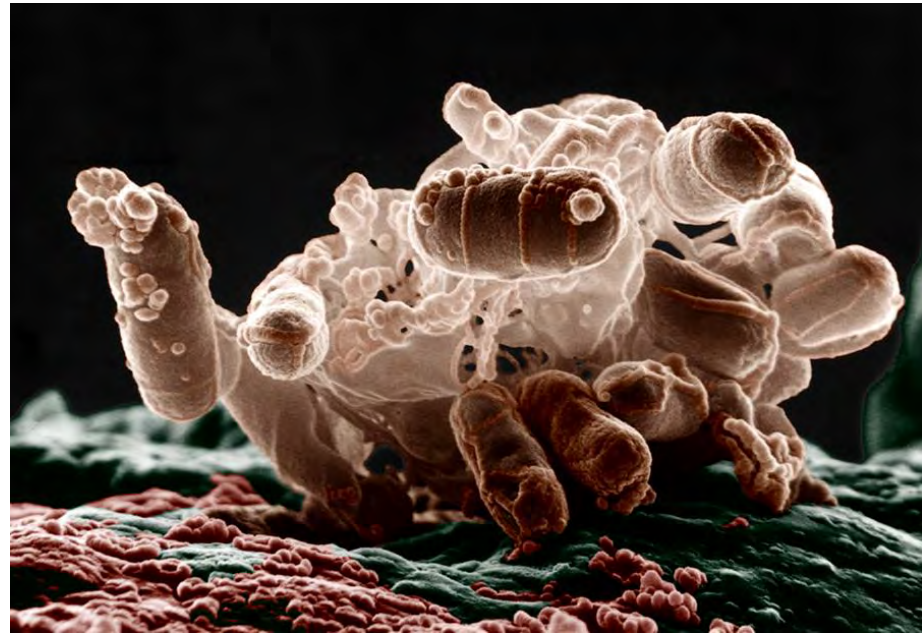
*Adriana Downie, Alan Croxky and Paul Munroe (2009)*

## Positive Effekte Kohle: physikalisch

- **Wasserspeicherung:** Die Wasserrückhaltekapazität der Böden (WHC) steigt mit zunehmendem Kohleanteil (→ Futterkohle);
- **Nährstoffspeicherung:** Die Kationenaustauschkapazität (KAK) wird durch Zugabe von Kohle massiv verbessert (bis Faktor 20);
- **Nährstoffauswaschung:** Durch die Zugabe von Kohle kann die Auswaschung (leaching) von Ammonium und Magnesium deutlich verringert werden;
- **Boden-pH:** Bei einem pH unter 5.5 sinkt die Verfügbarkeit von Nährstoffen und Schwermetalle werden mobilisiert. Kohle im Boden wirkt als Puffer und erhöht den Boden-pH.



# Biologische Aktivierung & Nährstoffaufladung



→ **Pflanzenkohle ist ein leerer Behälter**

Nach der Herstellung bei 600° C ist die Pyrokohle unbelebt und muss vor der Einbringung in den Boden mittels organischem Kohlenstoff (z.B. Kompost) biologisch aktiviert und mit Nährstoffen aufgeladen werden

# Lebensraum für Wurzeln und Mikroorganismen



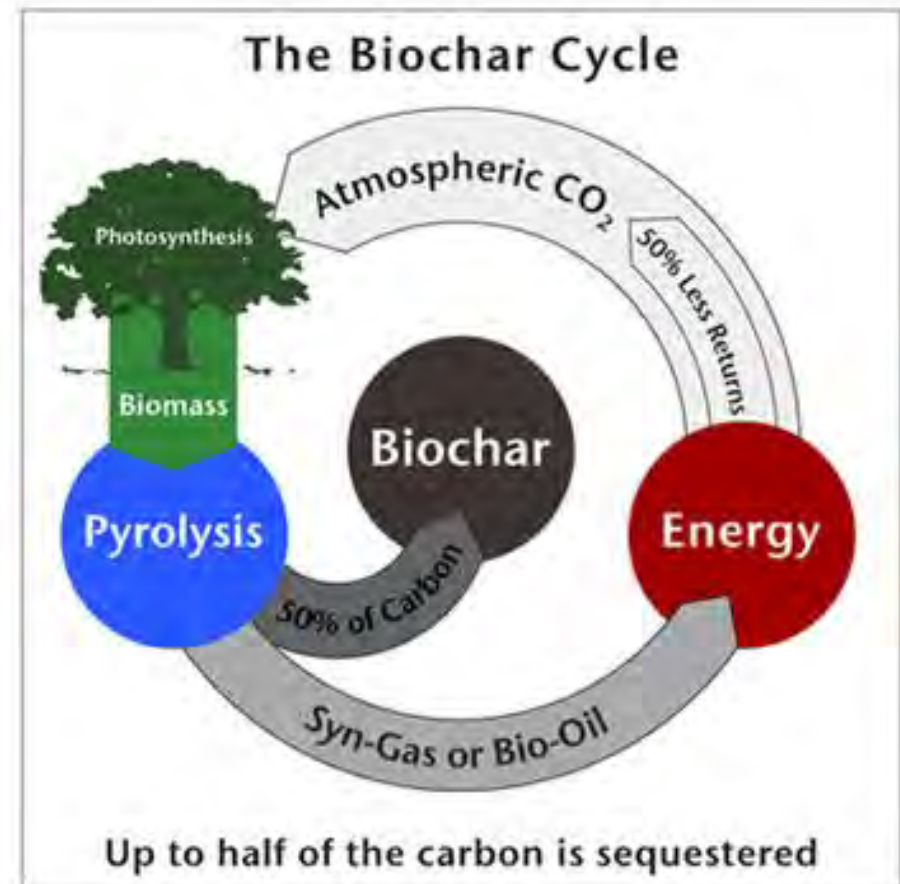
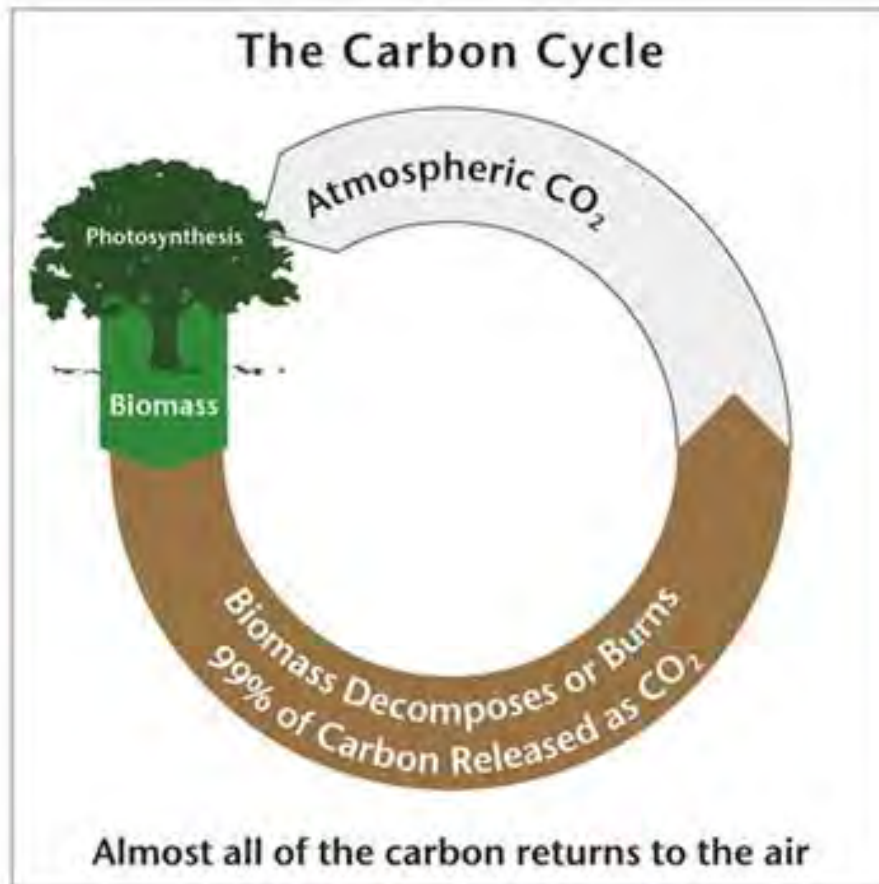
Wurzelhärchen einer Senfpflanze in Buchenholzkohle. Photo: Andreas Thomsen, 2009

## Weitere positive Effekte Kohle

- **Bodenfauna & Mykorrhizen:** Zuwachs von Mikroorganismen und der Symbiosen mit Wurzelpilzen, welche um die Mikroporen der Kohle ansiedeln → Erhöhung der Nährstoffverfügbarkeit;
- **Entgiftung:** Adsorption toxischer Stoffe wie Schwermetalle, Nitrite und Pestizide durch die Kohle (→ Futterkohle);
- **Bodendurchlüftung:** Höhere Bodendurchlüftung und somit deutliche Reduktion der Methan- und Lachgasemissionen (Klimagase) insbesondere in verdichtungsgefährdeten Böden;
- **Globales CO<sub>2</sub>-Einlagerungspotenzial:** mindestens 500 Millionen Tonnen Kohle pro Jahr (ca. 6% des heutigen anthropogenen CO<sub>2</sub>-Ausstosses).



# Pflanzenkohle-CO<sub>2</sub>-Kreislauf



# Inhalt

- Grundlagen
- **Produkt, Markt und Anwendung**
- Übersicht Pyrolysetechnik
- Voraussetzungen für Kohleherstellung
- Anlagen Schweiz
- Aktuelle Herausforderungen

# Richtlinien Pflanzenkohle → Qualitätssicherung

## European Biochar Certificate EBC – seit 2012



Please cite as:

EBC (2012) 'European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.' European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. <http://www.european-biochar.org/en/download>. Version 6.4E of 2<sup>nd</sup> June 2018, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043



## EBC - Eingesetzte Biomasse

- Ausschließlich organische Reststoffe, die auf der Positivliste aufgeführt sind;
- Saubere Trennung von nichtorganischen Abfällen wie Plastik, Gummi, Elektronikschrott etc.;
- Keine Farbreste, Lösungsmittel oder andere nichtorganische Verunreinigungen;
- Landwirtschaftliche Primärprodukte, Forstholz oder Kurzumtriebsplantagen müssen nachhaltig produziert werden;
- Biomasse muss aus der EU stammen.

## EBC – Grenzwerte Schwermetalle

Schwermetall	basic [g/t TM]	premium [g/t TM]
Blei (Pb)	< 150	< 120
Cadmium (Cd)	< 1.5	< 1
Kupfer (Cu)	< 100	< 100
Nickel (Ni)	< 50	< 30
Quecksilber (Hg)	< 1	< 1
Zink (Zn)	< 400	< 400
Chrom (Cr)	< 90	< 80
Arsen (As)	< 13	< 13

## EBC - Pyrolyseprozess

- Energieautonome Pyrolyse:
  - Basic: maximal 8% externe Energie
  - Premium: maximal 4% externe Energie
- Pyrolysegase (35–60 % Biomasse-Energie) müssen abgefangen werden
- Verbrennung der Pyrolysegase: Einhaltung der lokal geltenden Emissionsgrenzwerte für entsprechende Feuerungsanlagen
- 70% der Abwärme (exkl. benötigte Prozesswärme) der Pyrolyseanlage muss genutzt werden.

(Anlagen mit <50 t Pflanzenkohle pro Jahr haben keine Pflicht zur Abwärmenutzung)



## EBC – Kohle für die Tierfütterung

- Vorbedingung: EBC Premiumqualität
- Ausgangsbiomasse: nur naturbelassenes **Stammholz**
- Kohlenstoffgehalt: > 80% der Trockensubstanz
- Deklaration Trockensubstanzgehalt
- Deklaration Rohasche und salzsäureunlösliche Asche bei 550°C auf Basis von 88% Trockensubstanzgehalt
- Deklaration der Rohprotein-, Rohfaser- und Rohfettgehalte = 0

# Zulassung in der Schweiz

## - inzwischen auch für bio

- 2012: temporäre Bewilligung für 3 Jahre, falls PK-Einsatz wissenschaftlich begleitet;
- Juni 2016: das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) bewilligt den generellen PK-Einsatz, falls EBC premium erfüllt ist;
- Januar 2018: der PK-Einsatz wird auch im Biolandbau bewilligt.

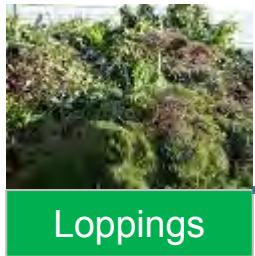
# Pflanzenkohle-Produkte und Herkunft

- Als **Bodenverbesserung**: Voraussetzung ist das EBC. Jedoch existiert keine Positivliste sondern es gilt als Inputmaterial «naturbelassenes Holz». Dieses wird nach Bundesamt für Landwirtschaft nicht eindeutig definiert. So sind z.B. in der Praxis bisher zulässig:
  - Stammholz (klar)
  - Rinde
  - Laub
  - Kirschenkerne
  - Ausgesiebtetes Holz aus der Kompostierung
- Als **Futtermittel**: EBC = naturbelassenes, unbehandeltes Stammholz (wenig Asche/Mineralien)
- Als **Farbstoff** (E153): naturbelassene, unbehandelte Biomasse jeglicher Art
- Als **Filter- und Aktivkohlen**: Herkunft ist egal (könnte auch Steinkohle sein). Entscheidend ist, dass alle Normen bzgl. Eigenschaften des Produktes eingehalten werden.

# Einsatzmöglichkeiten Pflanzenkohle

- Bodenhilfsstoffe für die Landwirtschaft
- Terra-Preta-ähnliche Erden mit Zusatz von Pflanzenkohle (Torfersatz)
- Komposthilfsstoffe
- Güllezusatz, Trägermittel für organische und mineralische Dünger
- Stall-Einstreu auf der Basis mikrobiell aktivierter Pflanzenkohle
- Futterzusatz, Zusatzstoff für die Futtermittelsilage
- Nahrungsergänzungsmittel, Farbstoff (E153)
- Zusatzstoff für Biogasanlagen
- Filtermittel für Abwasserreinigung, Boden- und Seewassersanierung
- Wasserzusatz für Fischzucht und Aquarien
- Saatgutpellets
- Isolationsmaterial für den Hausbau
- Pflanzenkohle als Verputz (Feuchteregulation, Geruchs- und Giftstoff-Absorption)
- Pellets für Metallurgie (Energiequelle und Reduktionsmittel)

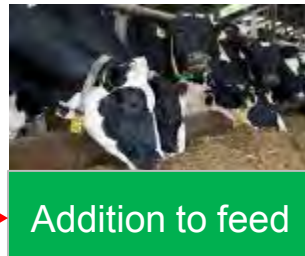




Loppings

# Swiss Pionier Farm

Shredding & screening



Addition to feed

- Diary products
- Meat products
- Cereal products

Pyrolysis

waste straw



Addition to bedding

- Fertilizer savings
- More cereals

heat

heat



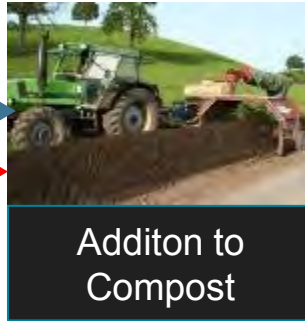
Farm house heating

biochar



Addition to manure

- Stable & steady production through resilience of soil
- Thicker Humus Layer
- GHG reduction (N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>)
- Carbon deposit



Additon to Compost

Terra Preta sale



Wood chip drying

Biochar for gardening & composting, hygiene, odor filter, water filter,...

Quali-Chips Increased price

**Pflanzenkohle:  
Nährstoff-Träger  
und CO<sub>2</sub>-Speicher**

# Beispiel Verora GmbH

[www.verora.ch](http://www.verora.ch)

## Mehrstufige Nutzung ist längerfristig interessant

1. gute Verdauung = bessere Leistung und Gesundheit der Tiere
2. Reduktion der Stickstoffverluste = besseres Stallklima und Hofdünger mit Mehrwert
3. Aufwertung von Gülle (ca. 1 Vol% Kohle/ m<sup>3</sup> Gülle) und Mist durch Erhöhung des C-Gehaltes = N-Bindung und bessere Verrottung während der Lagerung oder Kompostierung. Gülle fließt besser im Kanal und stinkt spürbar weniger.
4. Bodenverbessernde Wirkung durch Anreicherung der Böden mit abbau-stabiler Kohle über Hofdünger = langfristige Anreicherung des Humusgehaltes (CO<sub>2</sub>-Sequestrierung). Verbesserte Stickstoffeffizienz im Boden (reduzierte Lachgasverluste und N-Auswaschung)

Streuen mit Düngestreuer auf Herbst-Grassilage und Silomais:



Durch die Einsilierung wird die Pflanzenkohle vor der Fütterung aufgeladen. So erhält man ein kostengünstiges Carbonfutter.

Die Verora GmbH besitzt die Zulassung für das Inverkehrbringen und den Einsatz der Pflanzenkohle als Bodenverbesserungsmittel. Pflanzenkohle ist als Futtermittel zugelassen. Für den Biolandbau ist seit 2016 Schweizer Futterkohle (als Futterkohle zertifizierte Pflanzenkohle) von der Verora GmbH in der Bio-Betriebsmittelliste aufgeführt. Verfügbarkeit ab Dezember 2017. Ab 2018 wird auch normale Pflanzenkohle in die Bio-Betriebsmittelliste aufgenommen.

# Pflanzenkohle-Kaskade → den Benefit potenzieren



**Klimafarming**

# Inhalt

- Grundlagen
- Produkt, Markt und Anwendung
- **Übersicht Pyrolysetechnik**
- Voraussetzungen für Kohleherstellung
- Anlagen Schweiz
- Aktuelle Herausforderungen



## Pyrolyseanlagen weltweit

- PyroCook (TLUD, 3kW), Kaskad-E → **eigener Garten**  
Aufsatz zur Verkohlung von feuchter Biomasse in Entwicklung
- PyroGrill (TLUD), Kaskad-E (6kW) → **eigener Garten**
- PyroFarm (TLUD, 20-50kW), Kaskad-E → **Landwirtschaft Schweiz**
- Biomacon (kontinuierlich, 60-500kW), Biomacon GmbH  
→ **Landwirtschaft Schweiz/EU**
- Pyreg500, Pyreg (kontinuierlich, 250kW)  
→ **Landwirtschaft Schweiz/EU**
- PyroPowerPlant, Oekozentrum (kontinuierlich, 200-800kW)  
→ **Landwirtschaft Schweiz/EU/Schwellenländer**
- Kaffakocher (TLUD, 6kW) → **Entwicklungsländer**
- Erd-Kontiki, Metall-Kontiki (Nepal, Tansania, Emmental)  
→ **Landwirtschaft Entwicklungsländer/Schweiz/EU**

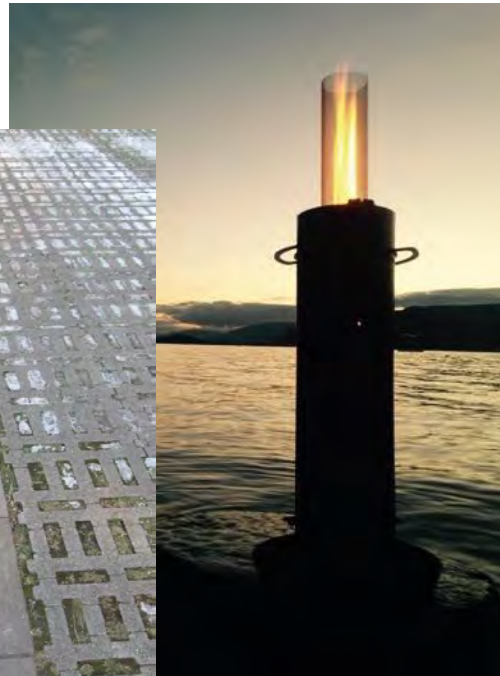
# PyroCook, 3kW<sub>th</sub>

eigener Garten

→ Kleinserienprodukt

→ Preis: ca. 650 CHF

→ 150 Stück verkauft



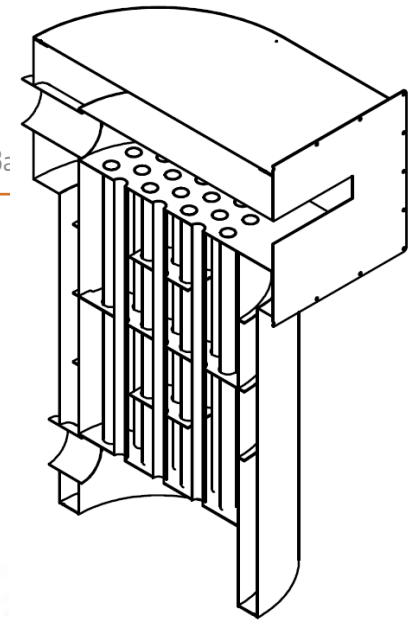
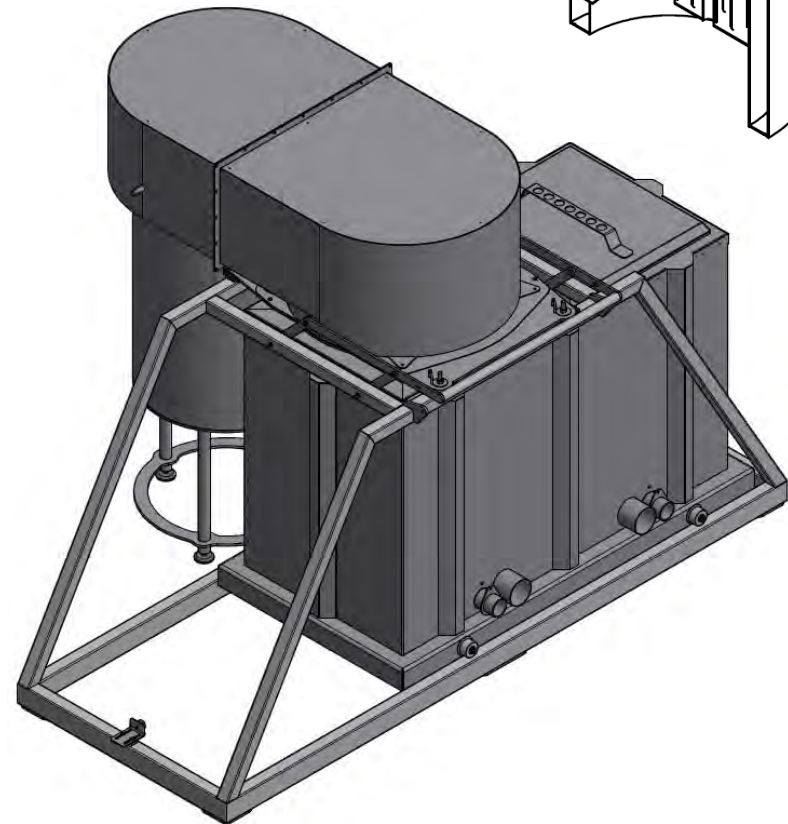
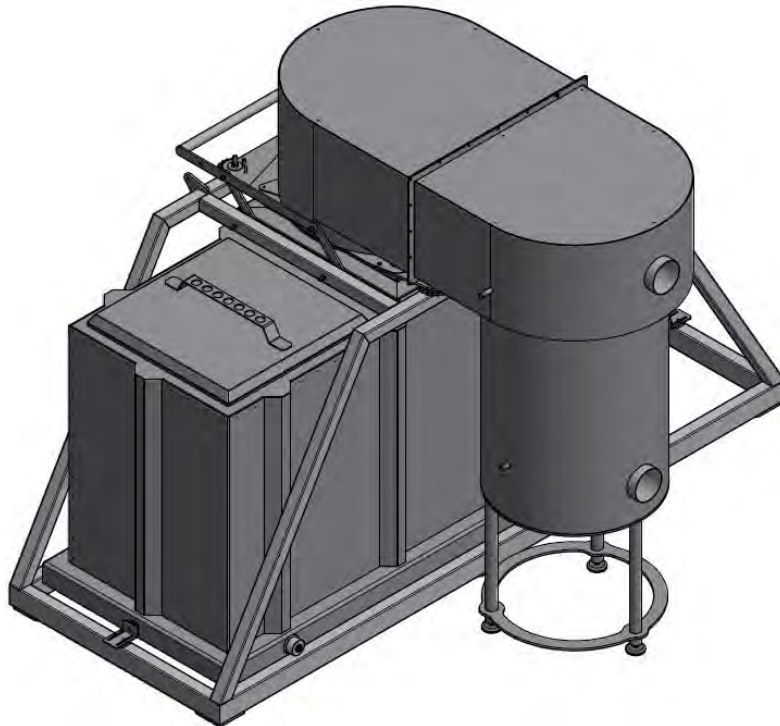
[www.kaskad-e.ch](http://www.kaskad-e.ch)

Pflanzenkohle:  
Nährstoff-Träger  
und CO<sub>2</sub>-Speicher

Kaskad-E GmbH, Dornacherstrasse 192, 4053 Bz

# PyroFarm, 50kW<sub>th</sub>

## Landwirtschaft Schweiz



→ **in Entwicklung/Feldtest**  
(unterstützt durch die Klimastiftung Schweiz)

→ **2 Prototypen**

→ **1 Feldtestanlage in Basel ab Oktober 2019**



# Biomacon, 65kW<sub>th</sub> Landwirtschaft Schweiz/EU



terra BoGa

Schließung von Kreisläufen durch Energie- und Stoffstrommanagement bei Nutzung der Terra-Preta-Technologie im Botanischen Garten im Hinblick auf Ressourceneffizienz und Klimaschutz – Modellprojekt Urban Farming

Projektnummer: 11260UEPII/2

## Karbonisierungsanlage

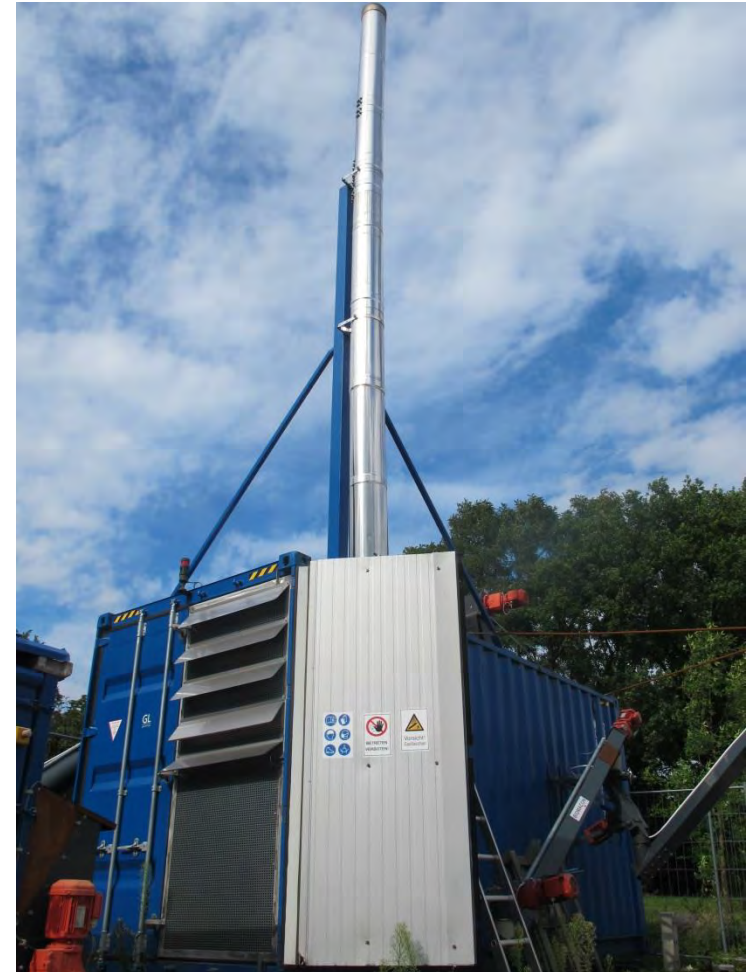
Projektpartner: **BIOMAÇON** **HATI**

Ausführende Firmen: **BIOMAÇON** Lehrstuhl für Holz- und Biomasse-Verfahrenstechnik **HATI** Lehrstuhl für Holz- und Biomasse-Verfahrenstechnik

Planung/Objektüberwachung

Finanzierung: **EFRE** ...eine Chance durch Europa! **be mit Berlin**

Europäische Union  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung  
Investition in Ihre Zukunft





# Biomacon 400kW<sub>th</sub>



- Kleinserienprodukt seit 2012
- Preis: 75'000-300'000 EUR
- ca. 10 Anlagen europaweit

[www.biomacon.de](http://www.biomacon.de)

IG Holzenergie Nordwestschweiz



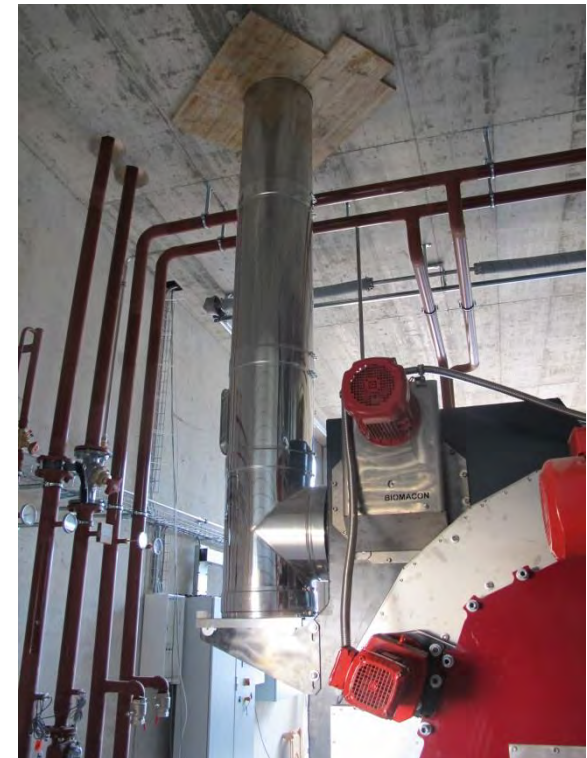


# Biomacon 400kW<sub>th</sub>: Flaach 28.2.2019



# Wärmenutzung in Flaach: Fernwärme

- EBC: 70% der Wärme muss genutzt werden





# Wärmenutzung in Flaach: **Biomassetrocknung**

- EBC: 70% der Wärme muss genutzt werden





# CPP 800 von Compag

Entwicklung: Oekozentrum

- Pilotanlage seit Januar 2019
- Preis: 550'000-830'000 CHF

Input: 2'400 t/a Biomasse mit maximal 40% Wassergehalt  
= 800 kW Heizwert = 2'000 t/a CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre



## PYREG 250kW<sub>th</sub> in Neuheim CH, seit 2012



- Kleinserienprodukt seit 2009
- Preis: 350'000-400'000 EUR
- ca. 25 Anlagen europaweit



# Biochar Making in Nepal

## Erdmeiler (Kon-Tiki)

World CharDay 2015

→ CH-Kontext: Waldrandpflege



# Inhalt

- Grundlagen
- Produkt, Markt und Anwendung
- Übersicht Pyrolysetechnik
- **Voraussetzungen für Kohleherstellung**
- Anlagen Schweiz
- Aktuelle Herausforderungen



# Voraussetzungen für eine erfolgreiche Pflanzenkohle-Wirtschaft

- Robuste Anlagen mit kalkulierbarer Lebensdauer
- Brennstoff günstig und in genügenden Mengen vorhanden (möglichst «Abfall»-Biomasse anzapfen)
- Abnahme & Wertschöpfung der Kohle gesichert (Eigenverbrauch oder Verkauf, optimierte Kaskadennutzung)
- Hohe Anlagenauslastung und hoher Nutzungsgrad der (Ab)wärme
- Kurze Wege & einfache Logistik

# Pflanzenkohle: Nährstoff-Träger und CO<sub>2</sub>-Speicher



Zwiebeln stecken in Pflanzenkohle-Hotspots («Tröpfchenanwendung»), Nepal

Ithaka-Institut, 2015

# Inhalt

- Grundlagen
- Produkt, Markt und Anwendung
- Übersicht Pyrolysetechnik
- Voraussetzungen für Kohleherstellung
- **Anlagen Schweiz**
- Aktuelle Herausforderungen

# Pflanzenkohleproduktion EU und Schweiz 2018

- GreenCarbon (D), ca. 3'000 t/a Pflanzenkohle
- Terra4 (D), ca. 1'000 t/a Pflanzenkohle
- Carbonauten (D), 3 Anlagen in Bau, in Zukunft 4'800 t/a Pflanzenkohle
- Verora AG (CH), 2 Anlagen in CH und D, 600 t/a
- Sonnenerde (A), 2 Anlagen in A, 550 t/a
- Basna d.o.o. (SRB). 1 Anlage, 300 t/a Pflanzenkohle, Futterkohle, Aktivkohle

**Total 2018: 10'250 Tonnen Pflanzenkohle pro Jahr, davon Schweiz: 300 Tonnen**

Zusätzliche Pflanzenkohleproduktion in der Schweiz ab 2020 (Quelle: Kaskad-E GmbH):

- APD Auen Pflege Dienste AG (CH), 1 Biomacon-Anlage, 300 t/a
- Compag AG (CH), 1 CPP800-Pilotanlage, 350 t/a
- Inega AG (CH), 1 Biomacon-Anlage, 300 t/a



**Markt-  
potenzial  
Anwen-  
dung  
Schweiz**

Hochrechnung  
Kaskad-E GmbH  
2019

Produkte Pflanzkohle- markt	[Tonnen/a]	Qualitätsanforderung	Markt
Bodenverbesserung	356'404	Mittel (holziges Schnitt- gut, EBC Basic)	Potenzial riesig, wachsend, geringe Zah- lungsbereitschaft (< 500 CHF/Tonne)
davon Futter	66'217	hoch (Stammholz, EBC Premium)	Potenzial sehr gross, sehr stark wachsend, sehr hohe Zahlungsbereitschaft (1'000- 1'500 CHF/Tonne)
davon Einstreu	102'900	Mittel (holziges Schnitt- gut, EBC Basic)	Potenzial sehr gross, stark wachsend, hohe Zahlungsbereitschaft (500-800 CHF/Tonne)
Torfersatz	25'000	Mittel (holziges Schnitt- gut, EBC Basic)	Potenzial gross, mässig wachsend, hohe Zahlungsbereitschaft (700-1'000 CHF/Tonne)
Baumsubstrate <sup>1</sup>	6'500	Mittel (holziges Schnitt- gut, EBC Basic)	Potenzial klein, stark wachsend, sehr hohe Zahlungsbereitschaft (1'000-1'500 CHF/Tonne)
Grillkohle	13'000	Hoch (Stammholz?, EBC Premium)	Potenzial mittel, stagnierend, sehr hohe Zahlungsbereitschaft („Ökogewissen“, 1'000-3'000 CHF/Tonne)
Aktivkohle	8'000	sehr hoch (Stammholz?, EBC Premium, Dampf- aktivierung?)	Potenzial klein, stagnierend, sehr hohe Zahlungsbereitschaft (1'500-2'500 CHF/Tonne)
<b>Total rund</b>	<b>410'000</b>		

## Zukunft Pflanzenkohleanlagen Schweiz

- Produktion heute (ab 2020): 1'250 Tonnen/a
- Potenzial Anwendung: 410'000 Tonnen/a
- Potenzial Produktion: mindestens 150'000 Tonnen/a  
(konservative Schätzung Kaskad-E GmbH 2019: keinerlei Konkurrenz heutiger Biomassenutzung)

### Hochrechnung Anlagen:

Um 150'000 Tonnen Pflanzenkohle pro Jahr mittels der heute grössten Biomacon-Anlage von 400kW zu produzieren wären 456 Anlagen nötig – bis 2050 sind das 15 Anlagen pro Jahr

# Inhalt

- Grundlagen
- Produkt, Markt und Anwendung
- Übersicht Pyrolysetechnik
- Voraussetzungen für Kohleherstellung
- Anlagen Schweiz
- **Aktuelle Herausforderungen**

# Pflanzenkohle gegen Klimawandel

- Markt CH: 500'000 Tonnen Pflanzenkohle pro Jahr
    - entspricht rund **1.2 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Sequestrierung**
  - CO<sub>2</sub>-Ausstoss total (2017): 47.2 (inkl. Ausland: 118) Mio. Tonnen
- CO<sub>2</sub>-Kompensation durch Pflanzenkohle: **2.5% (1.0%)**
- Pflanzenkohle hilft v.a. sekundär gegen den Klimawandel:
- Düngemittleinsparung und Ascherückführung (ohne Chrom VI)
  - Bodenfruchtbarkeit verbessern / Klimaanpassung
  - Klimagasreduktion (Lachgas, Methan)
  - Humusaufbau (4-Promille-Initiative)



## Zulassung in der Schweiz: 2 Wege

- Als Heizkessel nach **EN 303-5** Heizkessel für feste Brennstoffe
  - Sicherheit und Emissionen ✓
  - Wirkungsgrad: Berücksichtigung der produzierten Pflanzenkohle möglich ?
- Als „Anlagen zum Verbrennen von biogenen Abfällen und Erzeugnissen der Landwirtschaft“ (Verora GmbH u. Inega AG)  
**LRV Ziffer 74**, Anhang 3 Ziffer 82 (Misch-Feuerungen)
  - Emissionen ✓
  - Wirkungsgrad: nicht definiert
  - Positivliste: Abfälle eigentlich nicht erlaubt ?

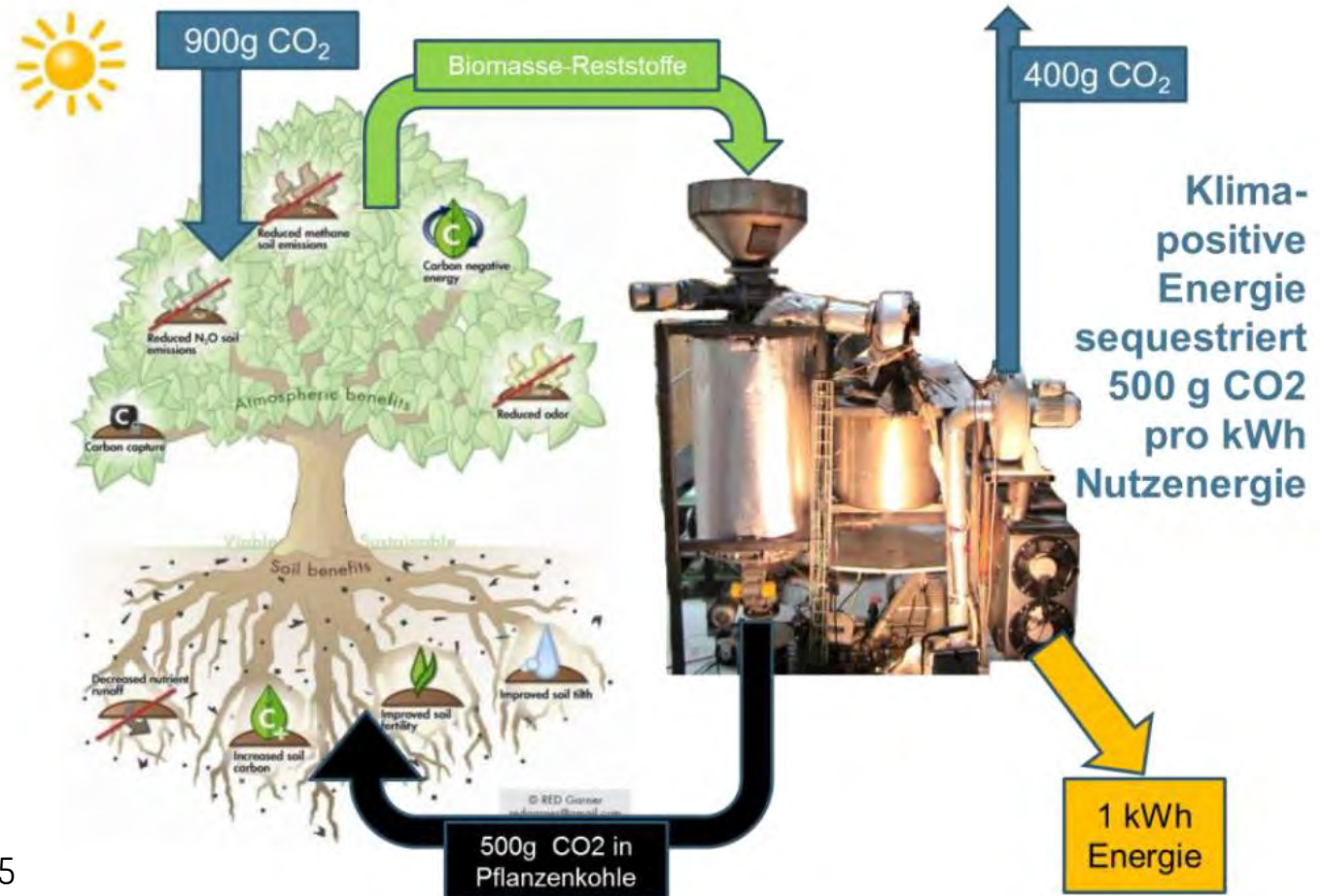
## Pflanzenkohle = Holzenergie ohne Chrom(VI)

In der VVEA ist ab 11/2018 Holzasche zwar wieder auf der Positivliste, doch ist das Chrom(VI)-Problem (noch) ungelöst und die Nährstoffe der Asche gehen verloren

→ Projekt «HARVE» (Holzaschen in der Schweiz – Aufkommen, Verwertung und Entsorgung), 2018-2020

- Ergänzung des Leitfadens mit Verwertung im System Pflanzenkohle

# Pyrolyse-Wärme: klimapositiv!



Quelle: Oekozentrum, 2015

## Angebot Kaskad-E GmbH

- Offerte und Planung Biomacon-Anlagen
- Betriebsoptimierung Pyrolyseanlagen
- Verkauf eigener Pyrolyseanlagen (PyroCook + PyroFarm)
- Fernwärmeplanung

## KONTAKT

### Adresse

#### Kaskad-E GmbH

Telefon: +41 61 534 68 86

Email: > [info@kaskad-e.ch](mailto:info@kaskad-e.ch)

### Büro- und Postadresse

Kaskad-E GmbH

Dornacherstrasse 192

4053 Basel

Lageplan: [maps.google.com](https://maps.google.com), Bau 1, 3

### Werkstatt

Entwicklung TLUD-Pyrolyseanlagen

Dornacherstrasse 192

4053 Basel

Lageplan: [maps.google.com](https://maps.google.com), Halle 2 Ost, 13



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Mehr Informationen:

→ [www.kaskad-e.ch](http://www.kaskad-e.ch)

→ [www.charnet.ch](http://www.charnet.ch)

→ [www.biomacon.com](http://www.biomacon.com)

→ [www.ithaka-institut.org](http://www.ithaka-institut.org)

→ [www.oekozentrum.ch](http://www.oekozentrum.ch)

→ [www.verora.ch](http://www.verora.ch)

→ [www.pyreg.de](http://www.pyreg.de)

→ [www.swiss-biochar.com](http://www.swiss-biochar.com)

