



# Biokohle in Böden – Segen oder Gefahr?

Hintergrund, aktueller Forschungsstand und eigene Ergebnisse

*Claudia Kammann*

*Institut für Pflanzenökologie, Justus-Liebig University Gießen, Germany*



*Ferralsol & Terra Preta,  
© B. Glaser*



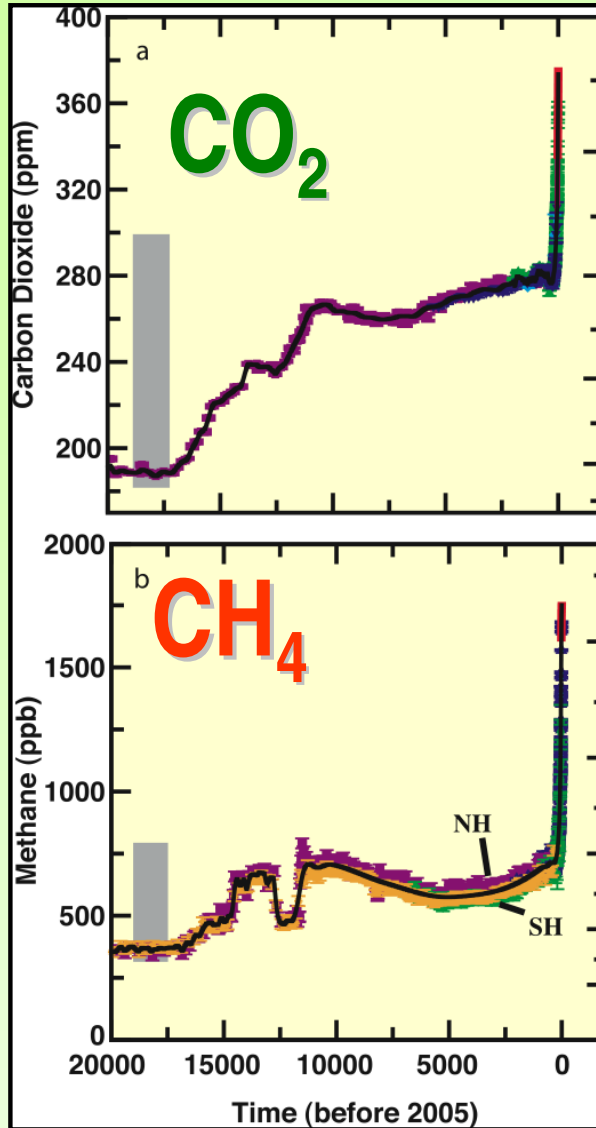
*Feldversuch Gießen  
© J. Senkbeil*



# THG: Die letzten 20.000 Jahre



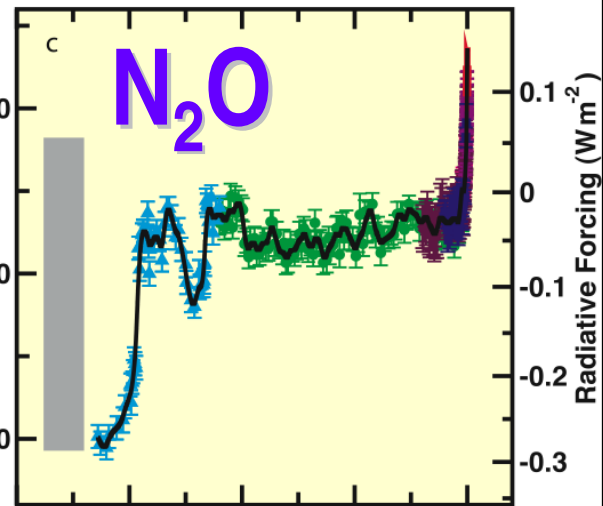
GWP 1



CO<sub>2</sub>

Radiative Forcing (Wm<sup>-2</sup>)

GWP 298

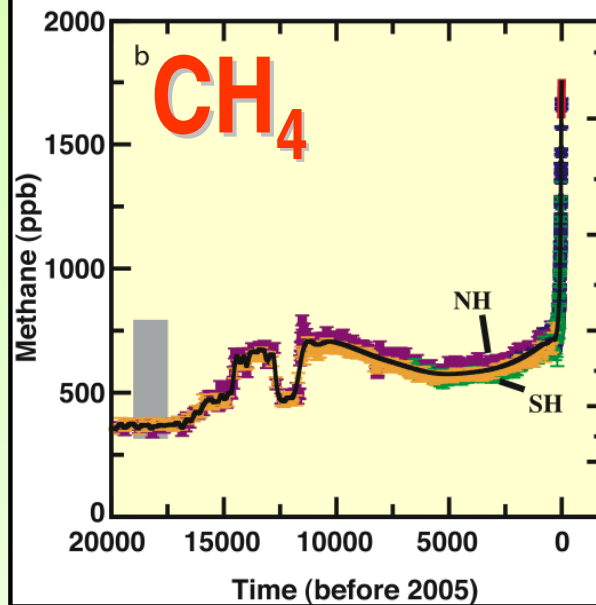


N<sub>2</sub>O

Nitrous Oxide (ppb)

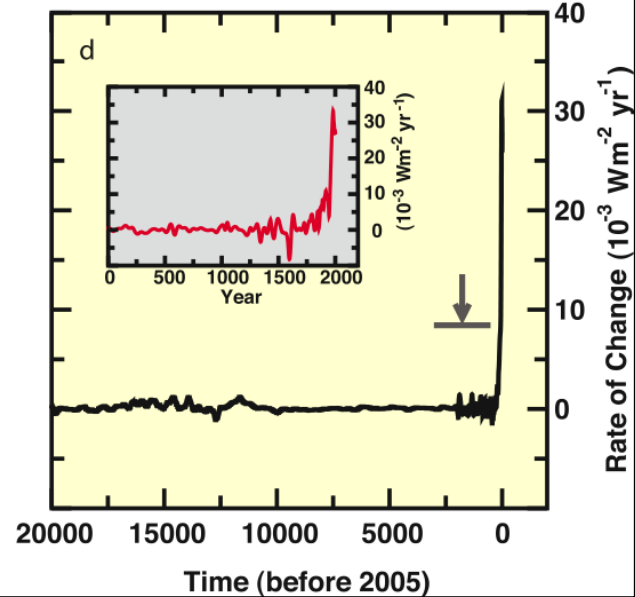
Radiative Forcing (Wm<sup>-2</sup>)

GWP 25



CH<sub>4</sub>

Radiative Forcing (Wm<sup>-2</sup>)



Rate of Change (10<sup>-3</sup> Wm<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>)

Abb. TS.2, IPCC 2007

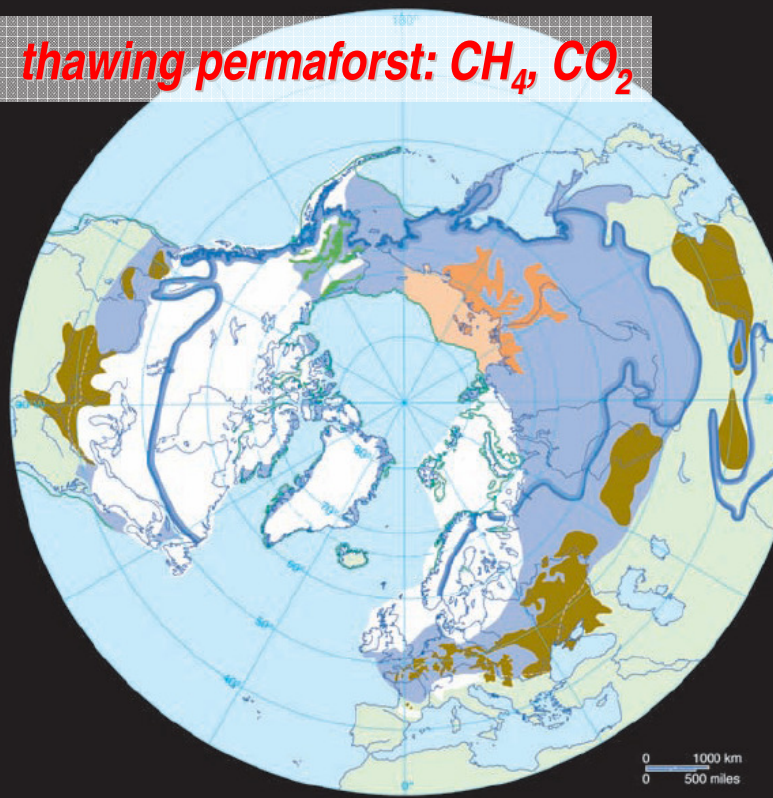


# Positive Feedback-Mechanismen



## Beschleunigung der Globalen Erwärmung

thawing permafrost:  $CH_4$ ,  $CO_2$



**Rapid carbon loss.** Because long-term net carbon uptake and loss in forests (for example, by fire, as shown here) are separated in time and space, plot-based flux studies cannot quantify regional carbon sequestration.

**Körner, 2003: "Slow in – rapid out"**. Carbon flux studies and Kyoto targets, *Science* 300, 1242-1243



# Positive Feedback-Mechanismen



## Beschleunigung der Globalen Erwärmung

thawing permafrost:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$



**Rapid carbon loss.** Because long-term net carbon uptake and loss in forests (for example, by fire, as shown here) are separated in time and space, plot-based flux studies cannot quantify regional carbon sequestration.

**Körner, 2003: "Slow in – rapid out".** Carbon flux studies and Kyoto targets, *Science* 300, 1242-1243

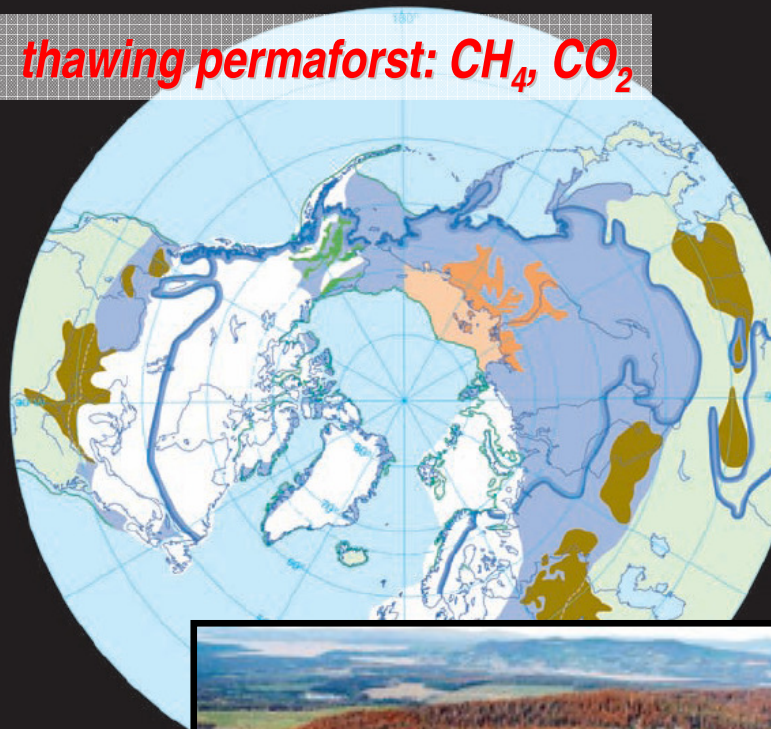


# Positive Feedback-Mechanismen



## Beschleunigung der Globalen Erwärmung

thawing permafrost:  $CH_4$ ,  $CO_2$



form net carbon uptake and loss in forests (for example, by fire, dieback and space, plot-based flux studies cannot quantify regional



Britisch Columbia, bark beetle destroyed Mio. ha

"low in – rapid out". Carbon flux studies  
et al., *Science* 300, 1242-1243

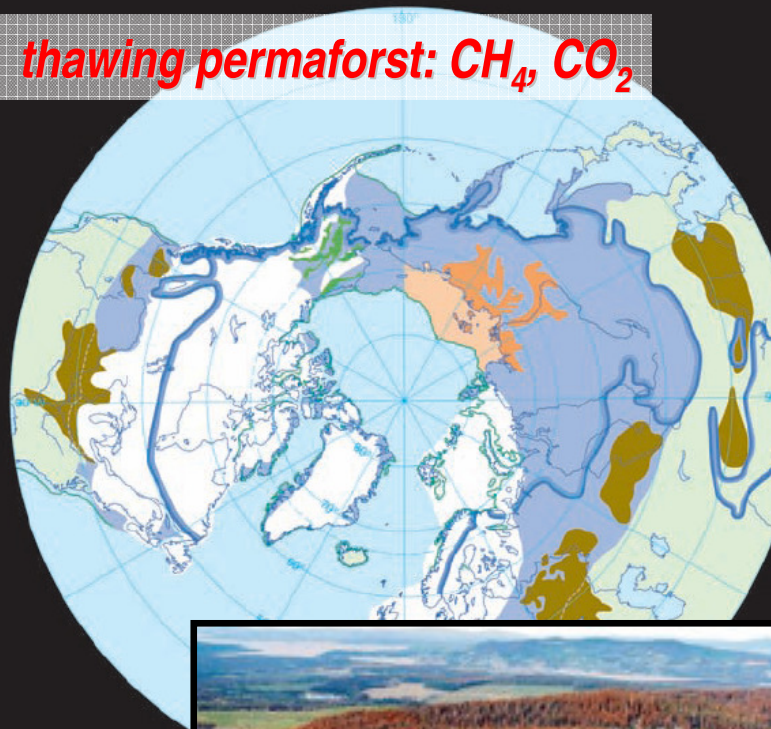


# Positive Feedback-Mechanismen



## Beschleunigung der Globalen Erwärmung

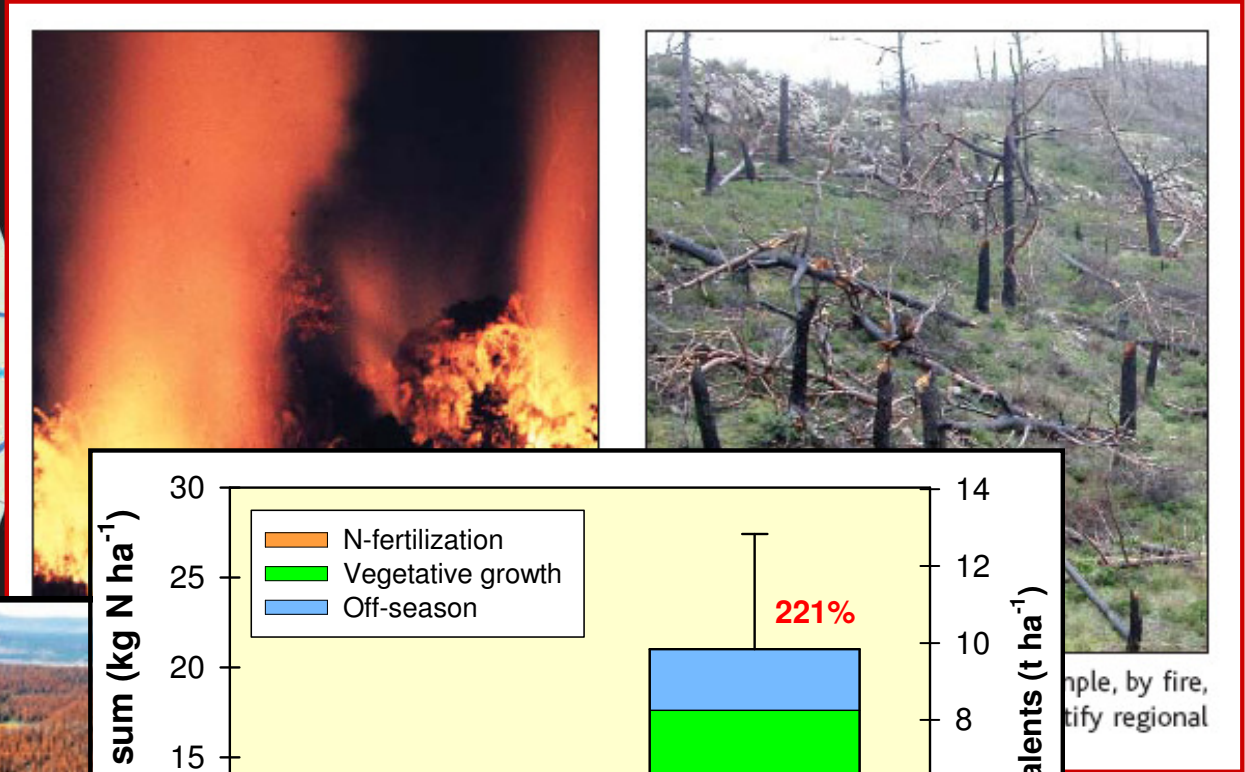
thawing permafrost:  $CH_4$ ,  $CO_2$



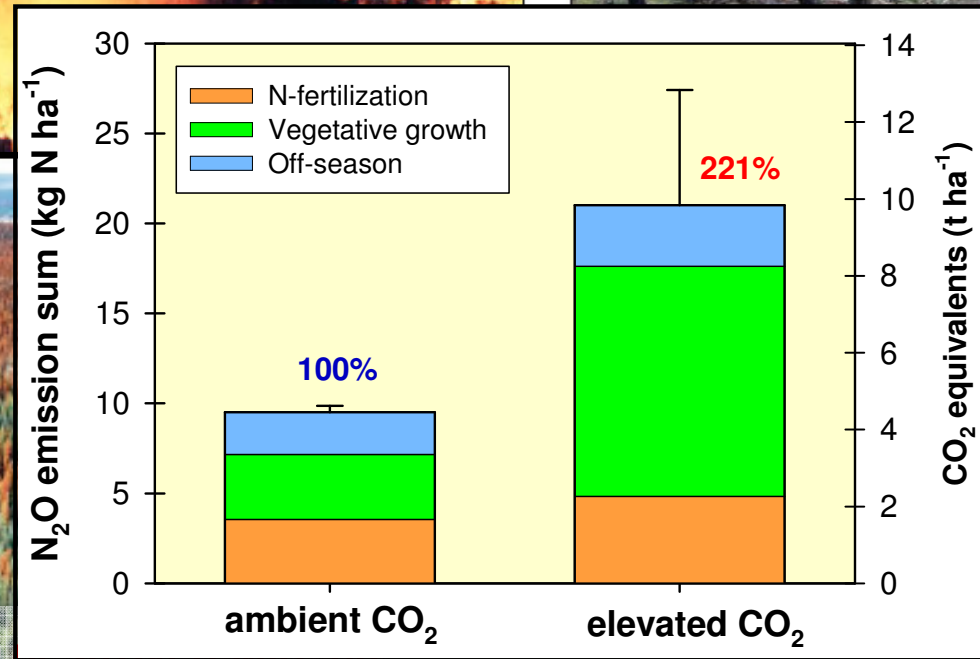
Ice sheet  
Areas of permafrost at last glacial maximum



British Columbia, bark beetle



...ple, by fire, ...tify regional



...x studies

Kammann et al. 2008, SBB 40



# Terra preta: Geschichte, Vorkommen



**Francisco de Orellana** (\* 1511 - † 1546)

- erster Europäer, der die Amazonas-Region bereiste (Rio Negro)
- Name "Amazonas": ...er hatte angeblich "Amazonen" gesichtet



© B. Glaser



© B. Glaser



Ferralsol  
(Oxisol)

Antroposol  
(Terra Preta)

Vorkommen von ADE- (TP-) soils



# Terra preta: Geschichte, Vorkommen



**Francisco de Orellana** (\* 1511 - † 1546)

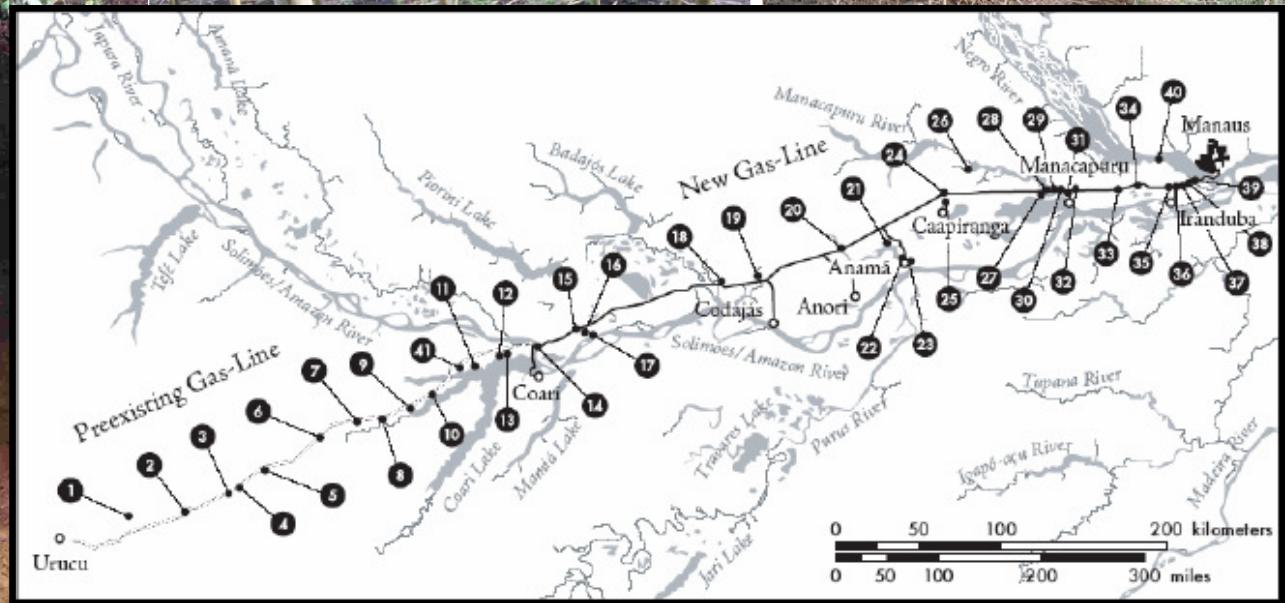
- erster Europäer, der die Amazonas-Region bereiste (Rio Negro)
- Name "Amazonas": ...er hatte angeblich "Amazonen" gesichtet



© B. Glaser



© B. Glaser



Ferralsol  
(Oxisol)

Antroposol  
(Terra Preta)

Vorkommen von ADE- (TP-) soils





## Terra Preta mit (gealtertem) biochar: wie alles begann....

- Increased soil nutrients (NPK), CEC, pH (Glaser 2001; Steiner et al., 2003)
  - Improved WHC (Bsp. Glaser 2002), aeration or porosity (BD; Bsp. Oguntunde et al. 2005)
  - Soil microbes: higher diversity (+25%, Kim et al. 2007; O'Neill et al. 2009), larger microbial biomass and respiratory efficiency (e.g. Steiner et al. 2003, 2007)
- **Increased SOC stocks in addition to the black carbon**

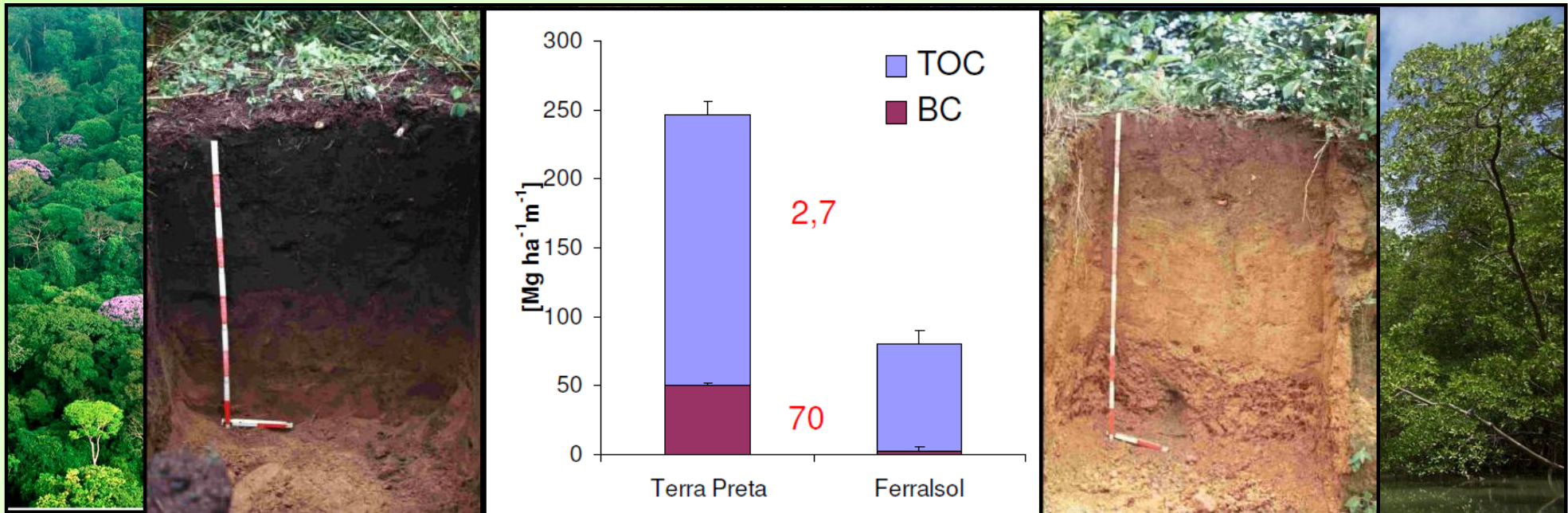






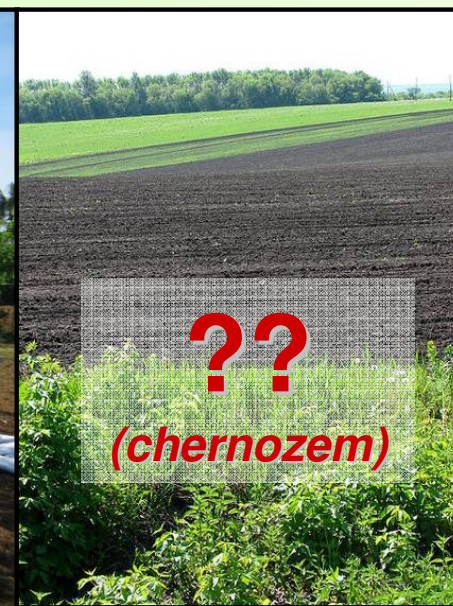
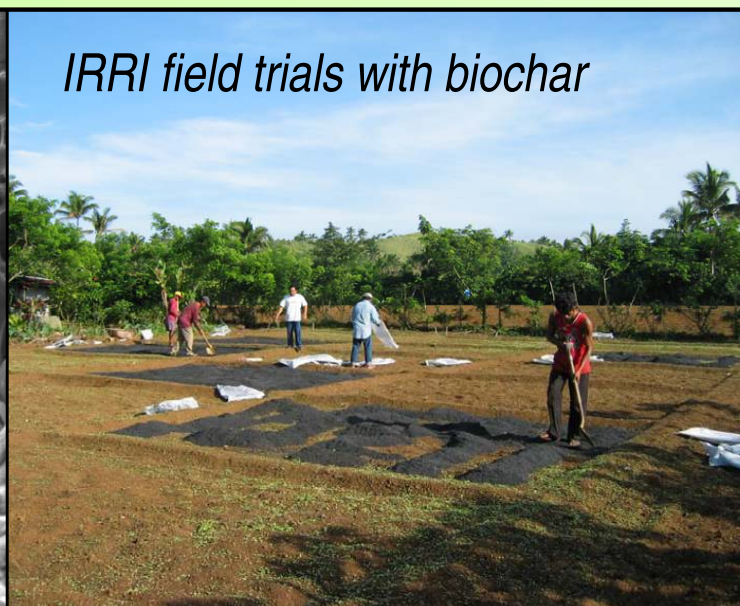
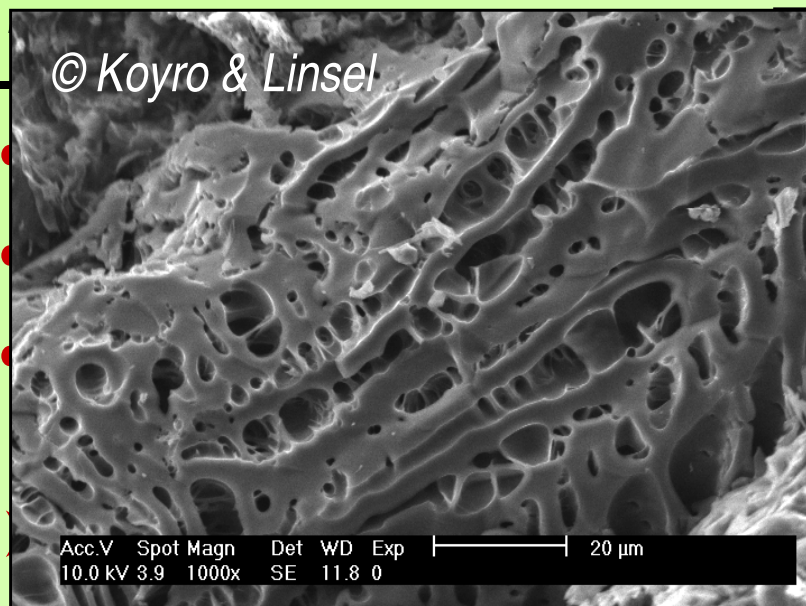
## Terra Preta mit (gealtertem) biochar: wie alles begann....

- Increased soil nutrients (NPK), CEC, pH (Glaser 2001; Steiner et al., 2003)
  - Improved WHC (Bsp. Glaser 2002), aeration or porosity (BD; Bsp. Oguntunde et al. 2005)
  - Soil microbes: higher diversity (+25%, Kim et al. 2007; O'Neill et al. 2009), larger microbial biomass and respiratory efficiency (e.g. Steiner et al. 2003, 2007)
- **Increased SOC stocks in addition to the black carbon**





# Biochar? – Basierend auf TP Wissen



## Recent biochar studies: limited number of publications (many: tropics)

- Positive effects on crop yield...
  - a) ...with moderate fertilization (N, N-P-K, or organic) or with nutrient-rich BC
  - b) ...on poor, degraded soils (sand > clay)  
(eg. Oguntunde et al. 2004; Chan et al. 2007, 2008; Steiner et al. 2008; Rondon et al. 2007, Kimetu et al. 2008; Blackwell et al. 2010, Solaiman et al. 2010.....)
- Negative effects on crop yield without fertilization; BC application too low....(?)



# Biochar ist nicht gleich Biochar!

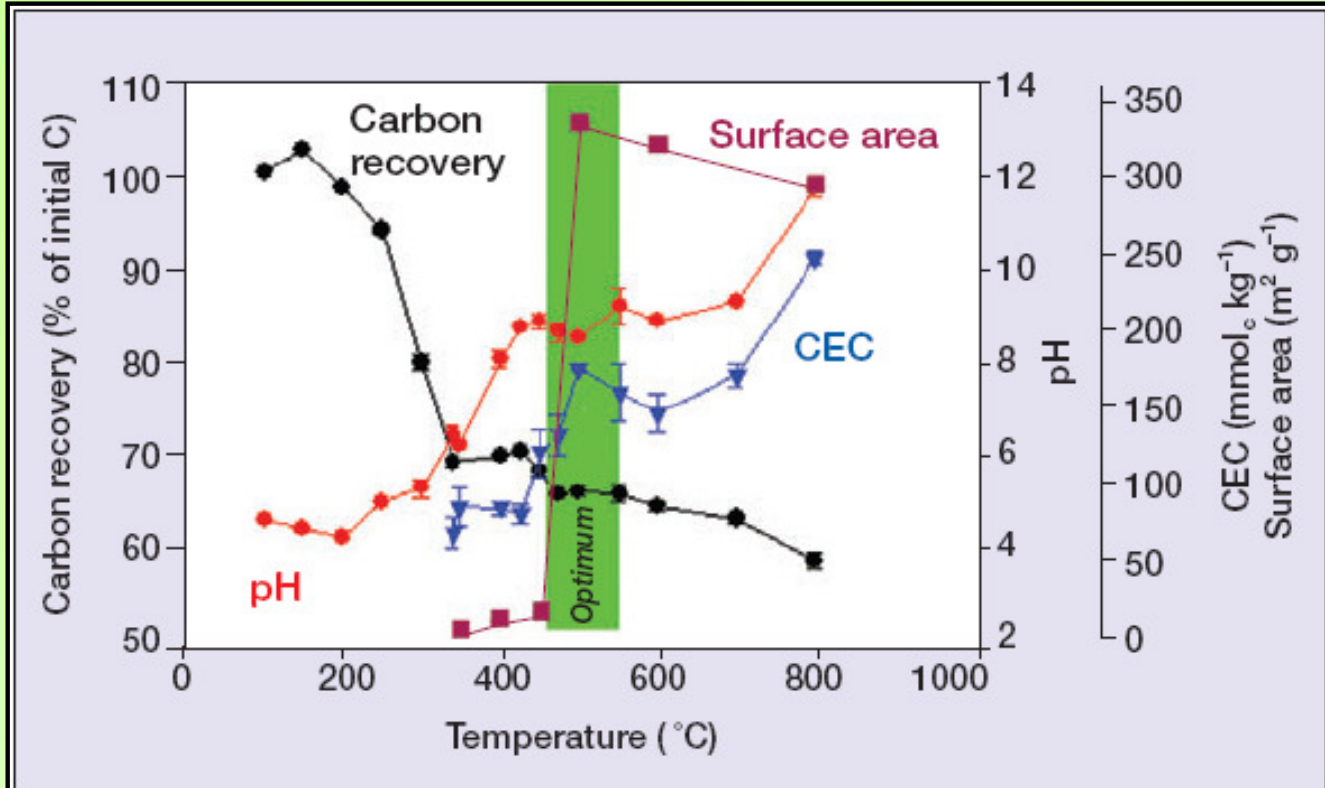
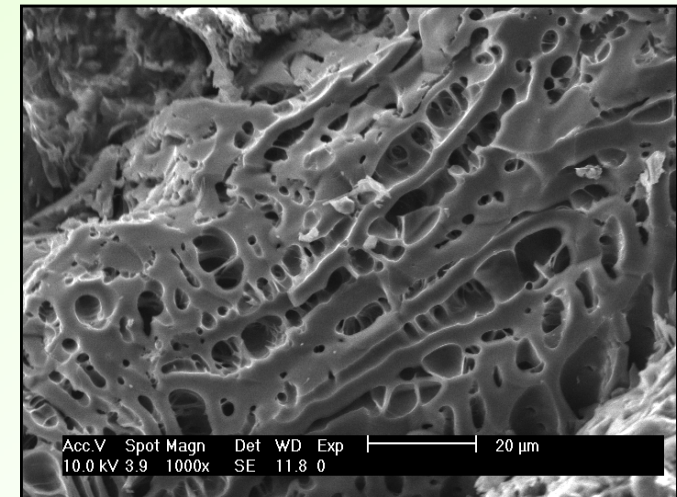


Figure 5. The properties of biochar greatly depend on the production procedure.

Figure 5 aus: Lehmann, 2007 (Front. Ecol. Environ.)

## Mit steigender Temp.:

- C -Ausbeute sinkt
- Innere Oberfl. steigt
- pH – Wert steigt
- KAK steigt



© Koyro & Linsel  
(peanut hull biochar, EPRIDA, USA)

**Alterung:** Oxidation der Biochar-Oberflächen  
→ KAK steigt (Cheng et al. 2006)





# Biochar $\neq$ HTC-Biokohle!

## Biochar $\approx$ Holzkohle (Koks)

- "dry pyrolysis"
- ~über 400°C
- Hoch-aromatischer C
- +/- stabil
- MRT ~2000 Jahre  
(Kuzyakov et al. 2009)

## "Hydrochar" $\sim$ Braunkohle

- Hydrothermale Carbonisierung
- up to ~250°C, ~25 bar
- weniger aromatische Strukturen
- Weniger stabil
- MRT 4-29 Jahre  
(Steinbeiss et al. 2009)



*Review Biochar vs Hydrochar: Libra, Ro, Kammann et al., 2011, Biofuels*




# Die Biokohle-Hoffnungen...



Biokohle – eine  
win-win-win  
Strategie...?



CO<sub>2</sub>-  
negative  
energy  
generation



Soil  
improvement,  
Yield increase

C-Sequestration  
GHG emission  
reduction





- 1. Toxizität:** Kann man alle Biokohlen unbedenklich in Böden einbringen?
- 2. Erträge:** Bewirkt Biokohle-Applikation immer eine Ertragsteigerung?
- 3. Funktionsprinzip:** Welche Mechanismen verbergen sich hinter positiven Wirkungen?
- 4. THG-Emissionen:** Kann man die THG-Emissionen reduzieren?
- 5. C-Sequestrierung:** Wie stabil ist der Biokohle-Kohlenstoff wirklich langfristig?





# 1. Toxizität: Testverfahren



**1. Toxizität:** Kann man alle Biokohlen unbedenklich in Böden einbringen?

**Vier Testverfahren (Kompostgüte; ISO kontaminierte Böden)**

- a) Kressekeimung (phytotoxische Gase)
- b) Salatkeimung (ISO-17126)
- c) Gerstetest (Keimung und Wachstum) → Erweiterung
- d) Regenwurmvermeidungstest (ISO-17512-1)

**Langfristiges Ziel:** Verknüpfung von Testverfahren mit Schadstoffspezies bzw. Belastungsart!



# 1. Toxizität: Gasförm. Phytotoxene



## Kressetest: HTC-Überraschungen!



**Langfristiges Ziel:** Verknüpfung von Testverfahren mit Schadstoffspezies bzw. Belastungsart!

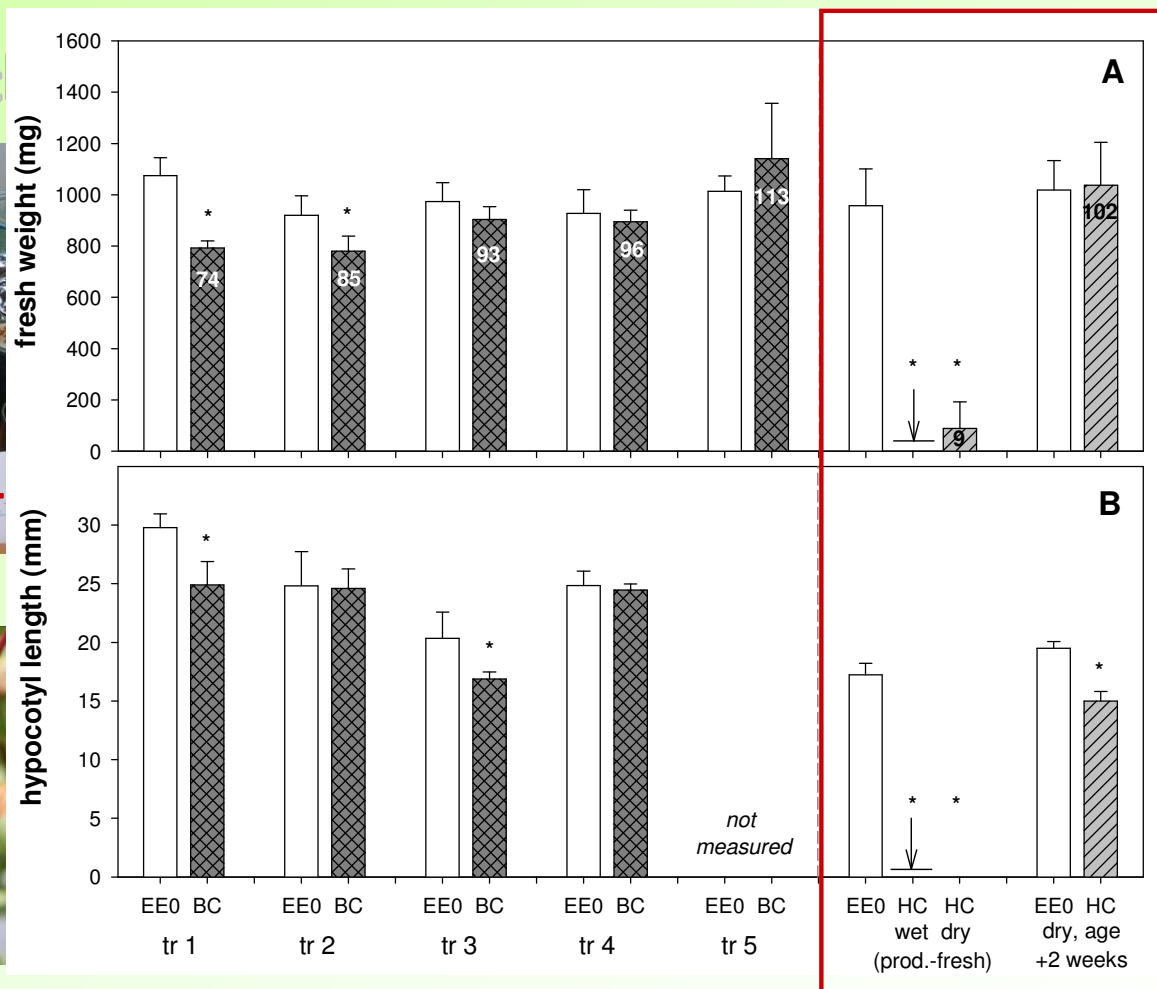




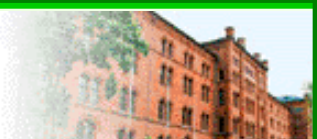
# 1. Toxizität: Gasförm. Phytotoxene



## Kressetest: HTC-Überraschung



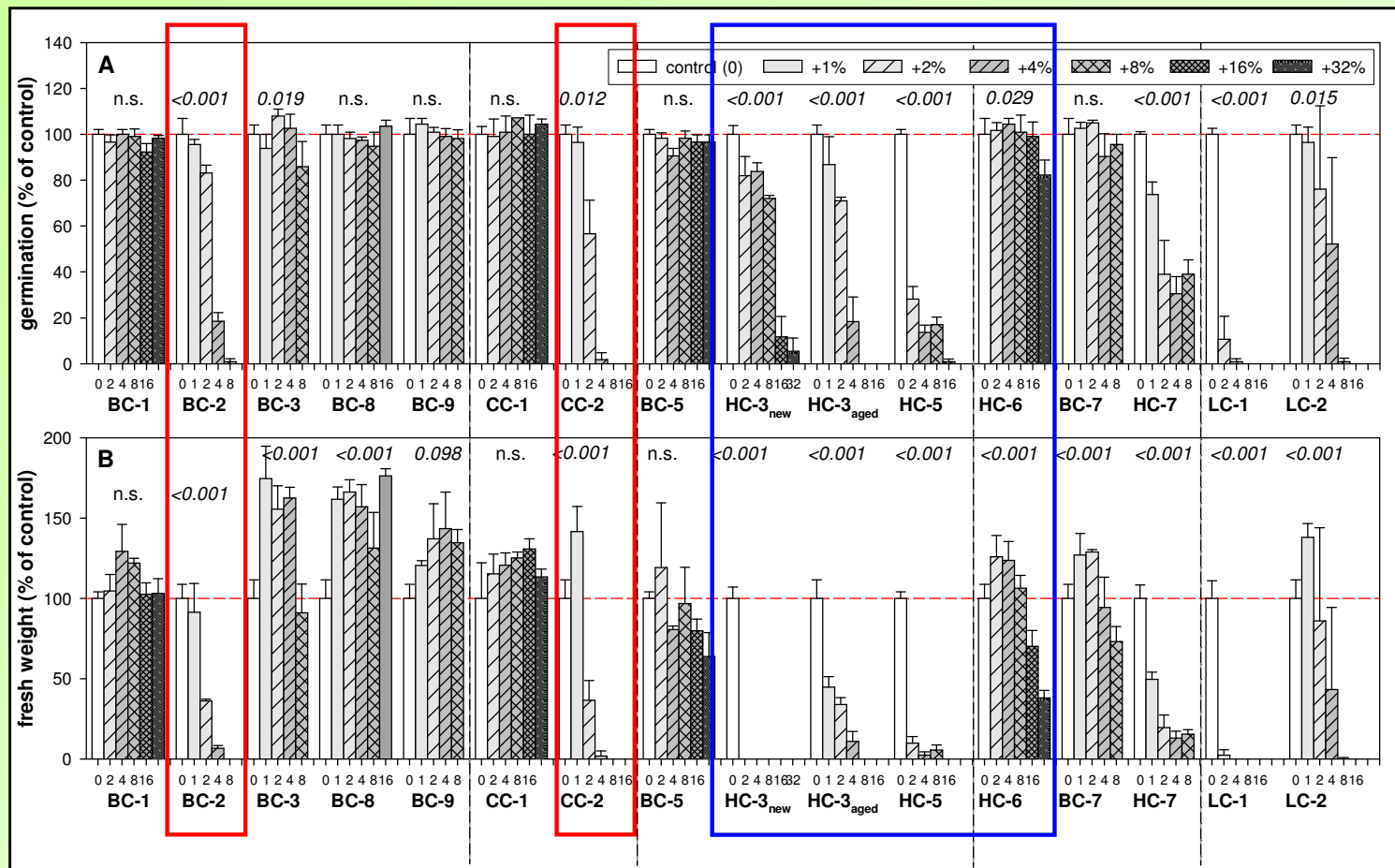
**Langfristiges Ziel:** Verknüpfung von Testverfahren mit Schadstoffspezies bzw. Belastungsart!



# 1. Toxizität: Testverfahren



## Salatkeimungstest: Sehr sensibles Testverfahren



**BC's mit PAK  
schneiden  
schlecht ab!**

**HTC's schneiden  
oft schlecht ab –  
Grund noch  
unbekannt!**

*Busch, Kammann  
et al., JEQ,  
accepted*

**Langfristiges Ziel:** Verknüpfung von Testverfahren mit  
Schadstoffspezies bzw. Belastungsart!







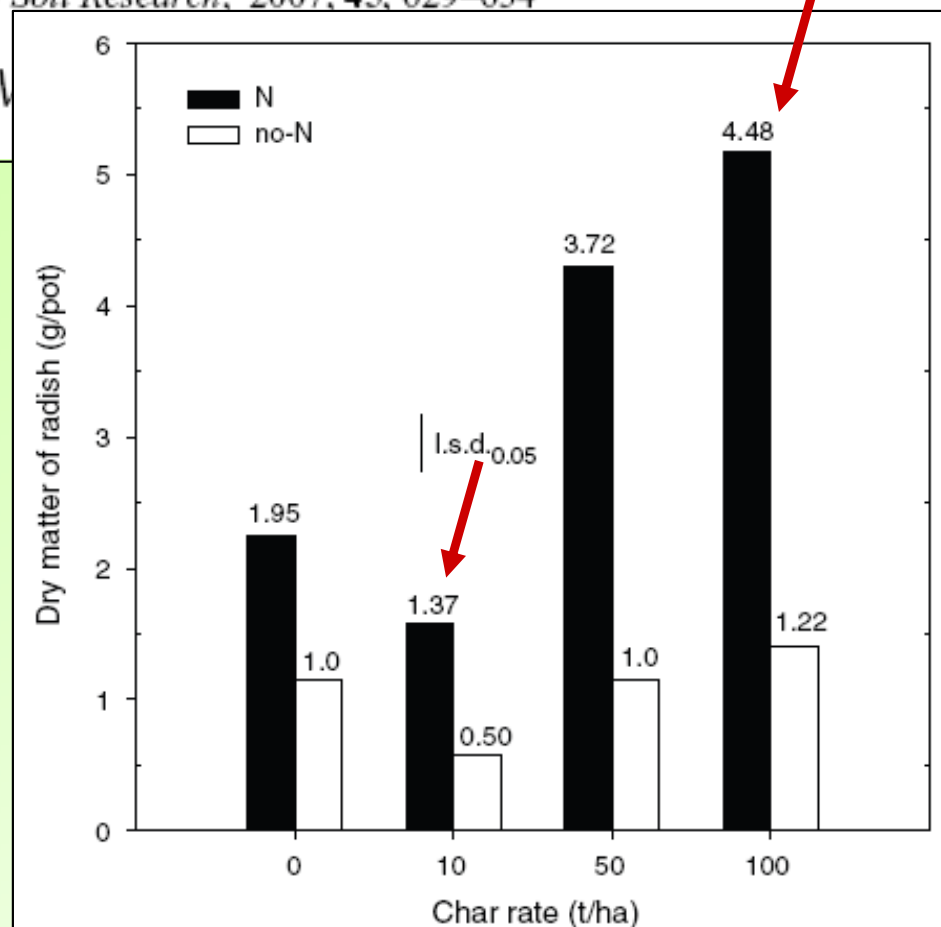
## 2. Ertrag-Steigerungen?

### Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment

*Australian Journal of Soil Research*, 2007, 45, 629–634

K. Y. Chan<sup>A,E</sup>, L. V.

and S. Joseph<sup>D</sup>

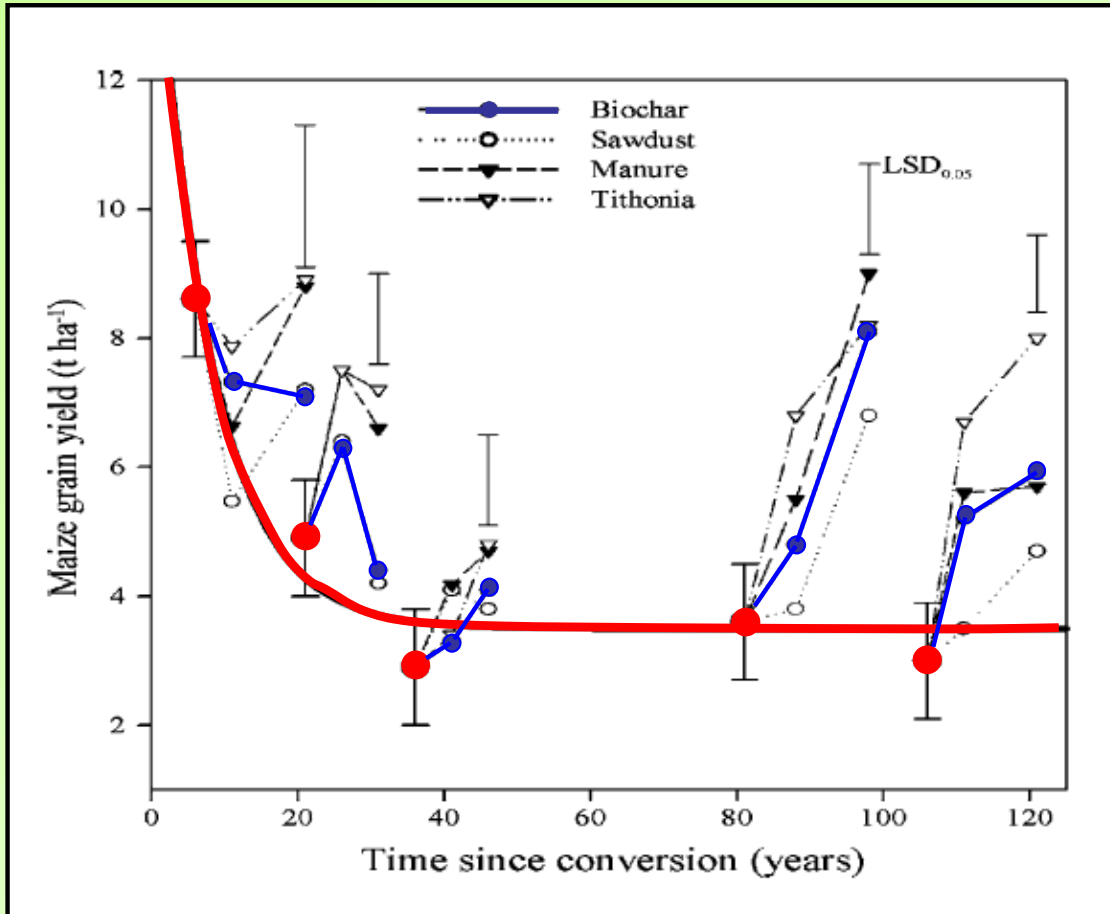


**Fig. 1.** Dry matter production of radish with and without nitrogen fertiliser as a function of rate of biochar. Numbers on top of bar refer to relative yield, i.e. DM of a treatment as a proportion of DM of the control (nil biochar and nil N).

## 2. Ertragsteigerungen....?



Maize yield (t / ha)



*Chronosequence: years after deforestation*



### Reversibility of Soil Productivity Decline with Organic Matter of Differing Quality Along a Degradation Gradient

Joseph M. Kimetu,<sup>1</sup> Johannes Lehmann,<sup>1\*</sup> Solomon O. Ngoze,<sup>2</sup> Daniel N. Mugendi,<sup>3</sup> James M. Kinyangi,<sup>1</sup> Susan Riha,<sup>2</sup> Lou Verchot,<sup>4</sup> John W. Recha,<sup>1</sup> and Alice N. Pell<sup>5</sup>

#### Biochar effects (on maize yield)

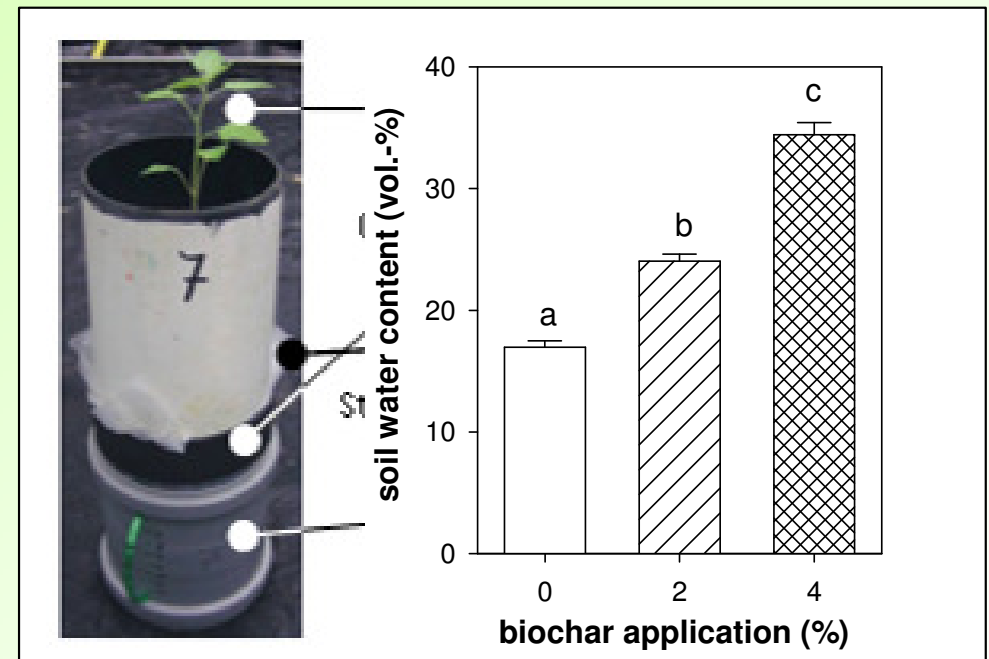
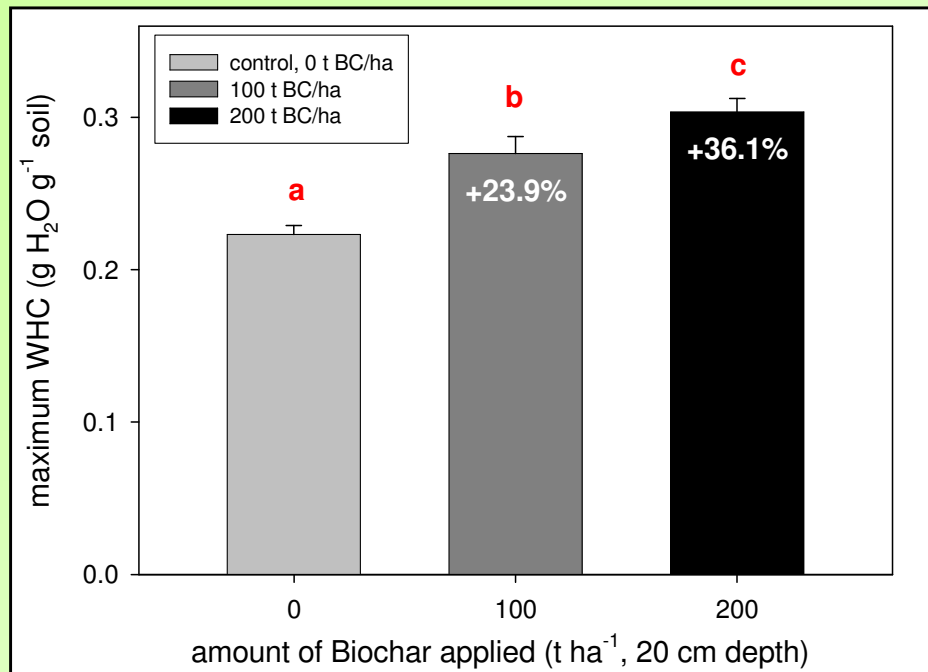
- declining/neutral in fertile soil
- strong increase in degraded soil
- highest C content remaining in soil after 2 years from BC appl.
- effects not to be explained solely by nutrients





# 3. Mechanismen positiver Wirkung

## 3. Funktionsprinzip: Welche Mechanismen verbergen sich hinter positiven Wirkungen? - Beispiel Wasserversorgung



### Studie zum Effekt der Wasserversorgung mit steigender Biochar-Zugabe

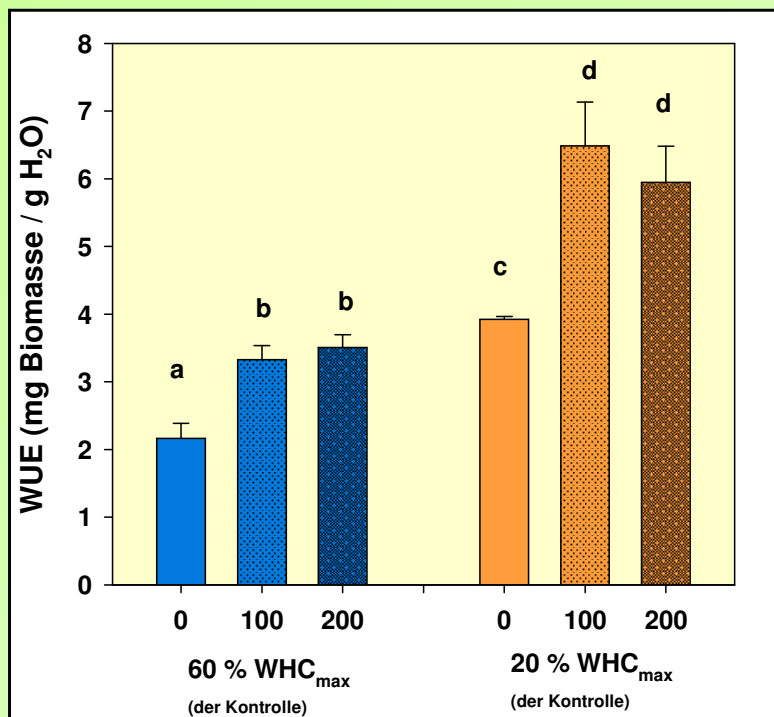
(Kammann, Linsel et al., Plant and Soil, in press)

### Studie zur Verringerung von Kupfer-Toxizitätseffekte mit Biochar in Sandboden

(Buss, Kammann et al., JEQ, accepted)

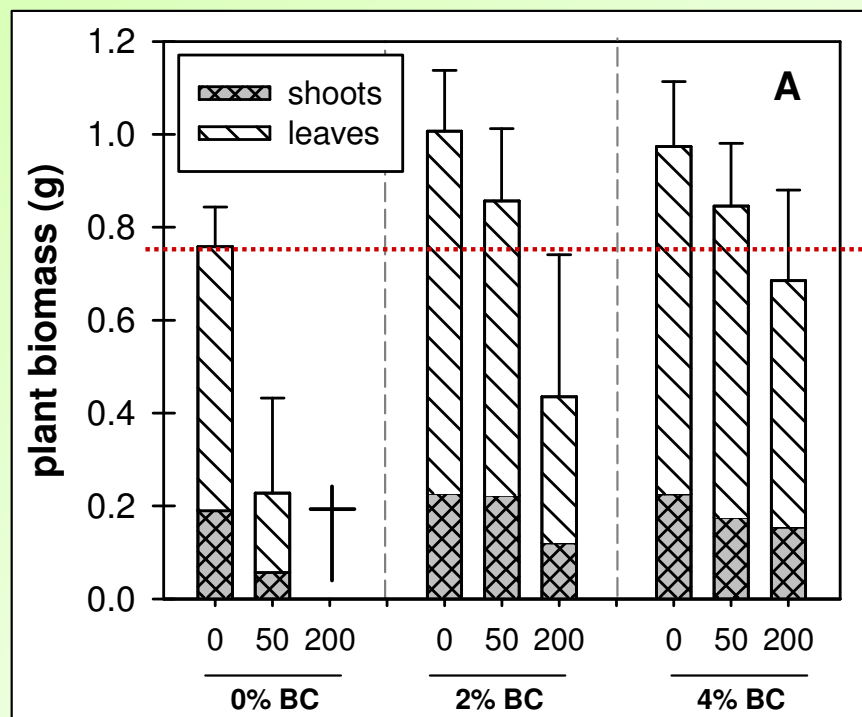


# 3. Mechanismen positiver Wirkung



Significantly higher yield & larger WUE, in particular at moderate drought

*Kammann, Linsel et al., Plant and Soil, in press*



Significant amelioration of Cu stress, improved seedling survival

*Buss, Kammann, et al., JEQ, accepted*



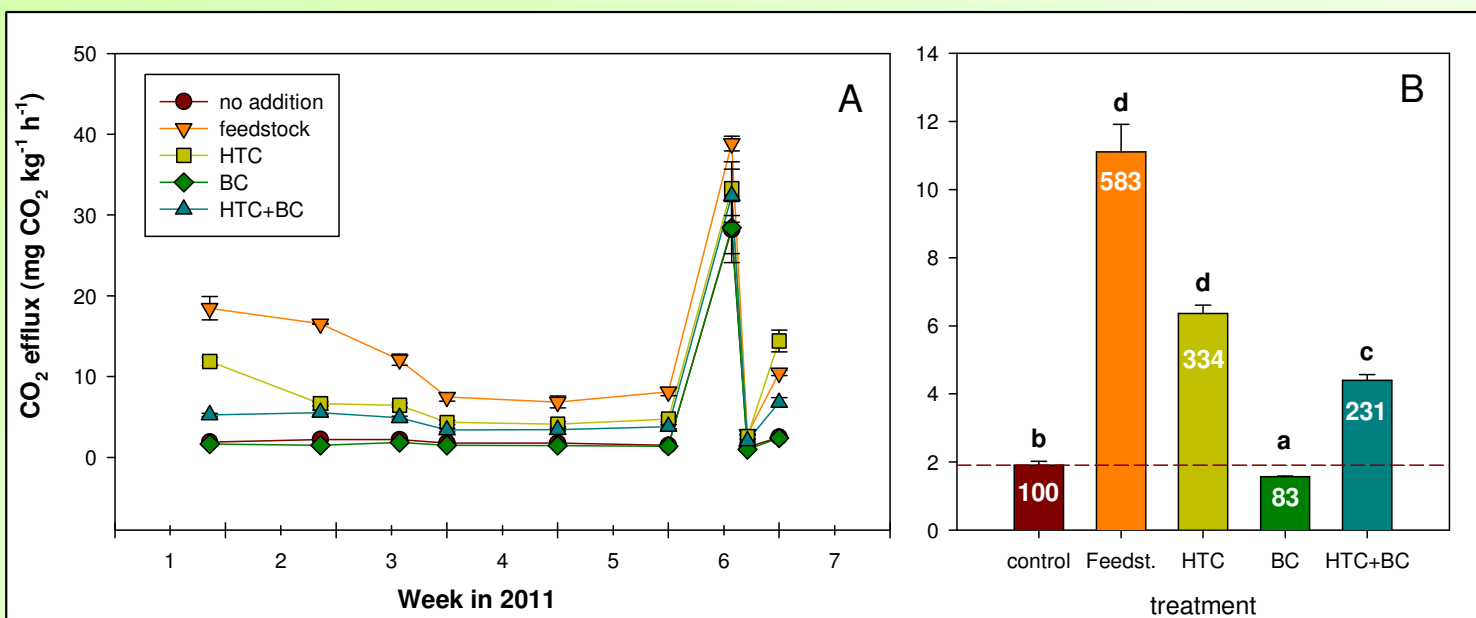
# 4. Sinken die THG-Emissionen?



+ 15% C to SOC  
of top soil,  
ground to 1 cm

1. **Control: no application**
2. **Feedstock: Edukt (*Miscanthus*)**
3. **HTC: Hydrochar**
4. **BC: Biochar**
5. **HTC+BC: ½ HTC + ½ BC**

*Miscanthus:*  
*Feedstock, HTC, BC*





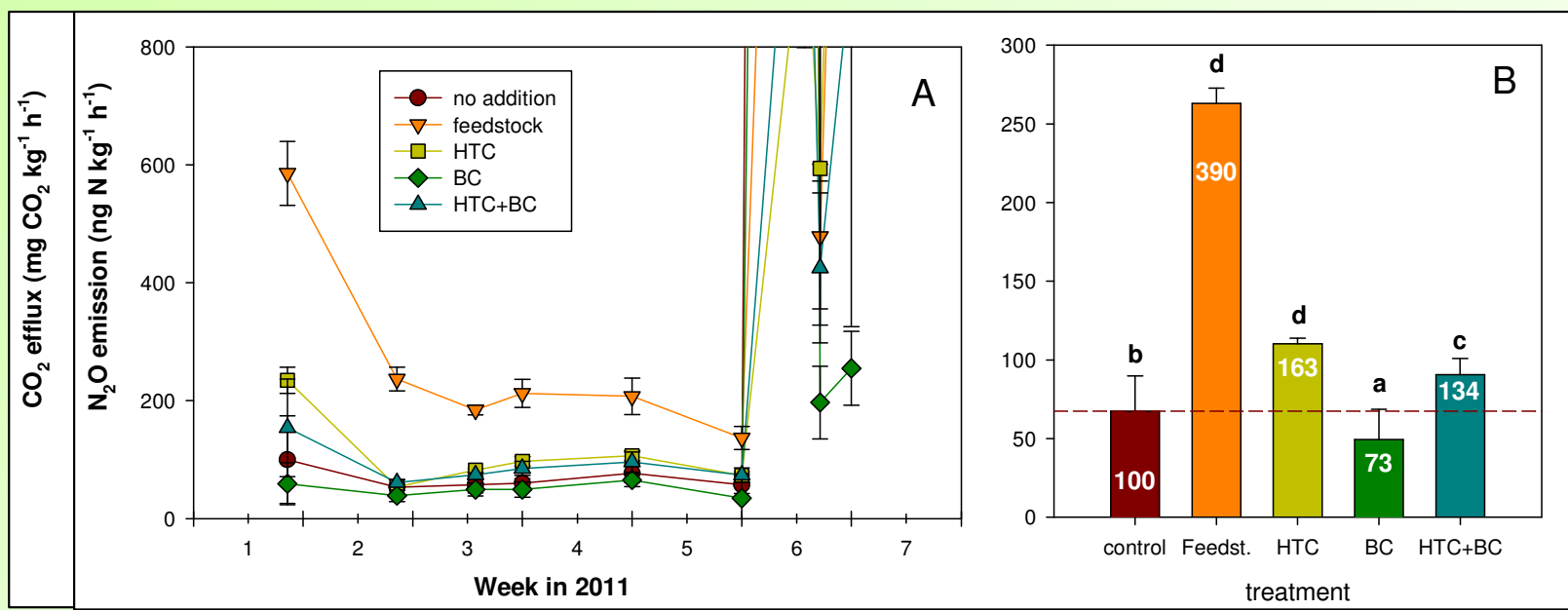
# 4. Sinken die THG-Emissionen?



+ 15% C to SOC  
of top soil,  
ground to 1 cm

*Miscanthus:*  
*Feedstock, HTC, BC*

1. **Control: no application**
2. **Feedstock: Edukt (*Miscanthus*)**
3. **HTC: Hydrochar**
4. **BC: Biochar**
5. **HTC+BC: ½ HTC + ½ BC**







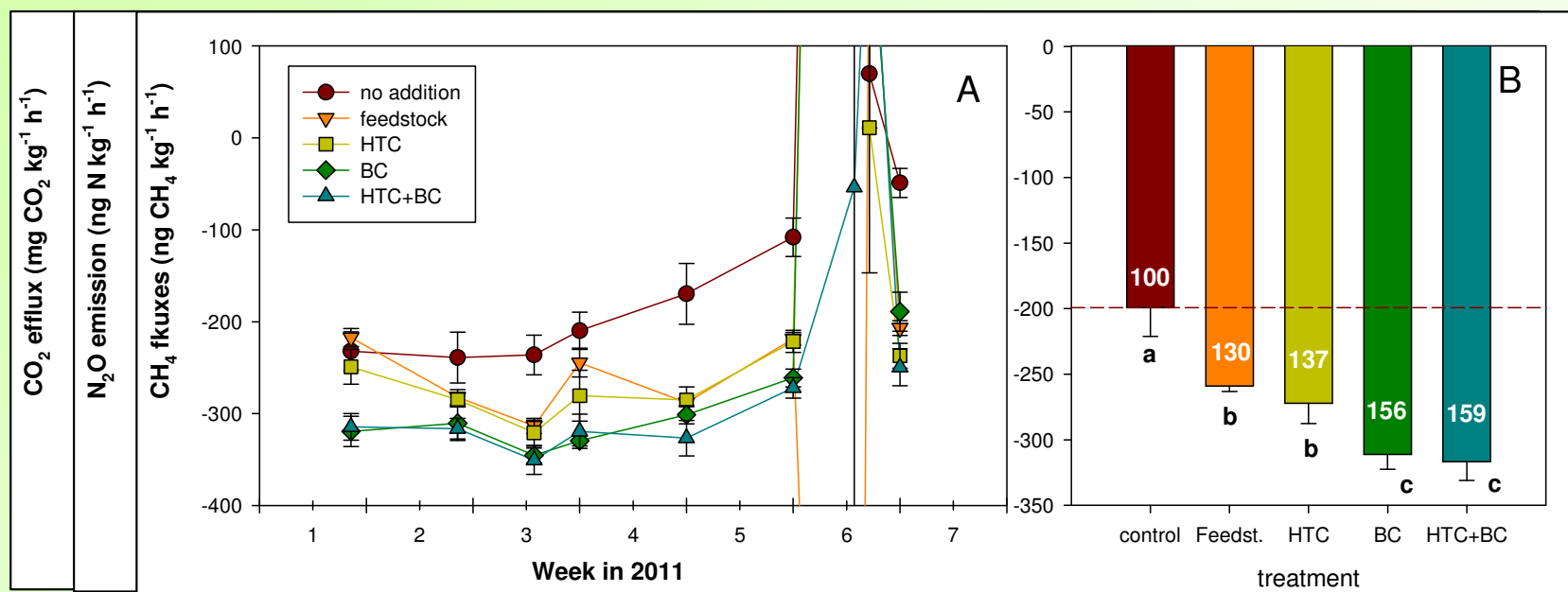
# 4. Sinken die THG-Emissionen?



+ 15% C to SOC  
of top soil,  
ground to 1 cm

*Miscanthus:*  
*Feedstock, HTC, BC*

1. **Control: no application**
2. **Feedstock: Edukt (*Miscanthus*)**
3. **HTC: Hydrochar**
4. **BC: Biochar**
5. **HTC+BC: ½ HTC + ½ BC**





# 5. C-Sequestrierung von Grund auf...

Compost

Biochar

Hydrochar





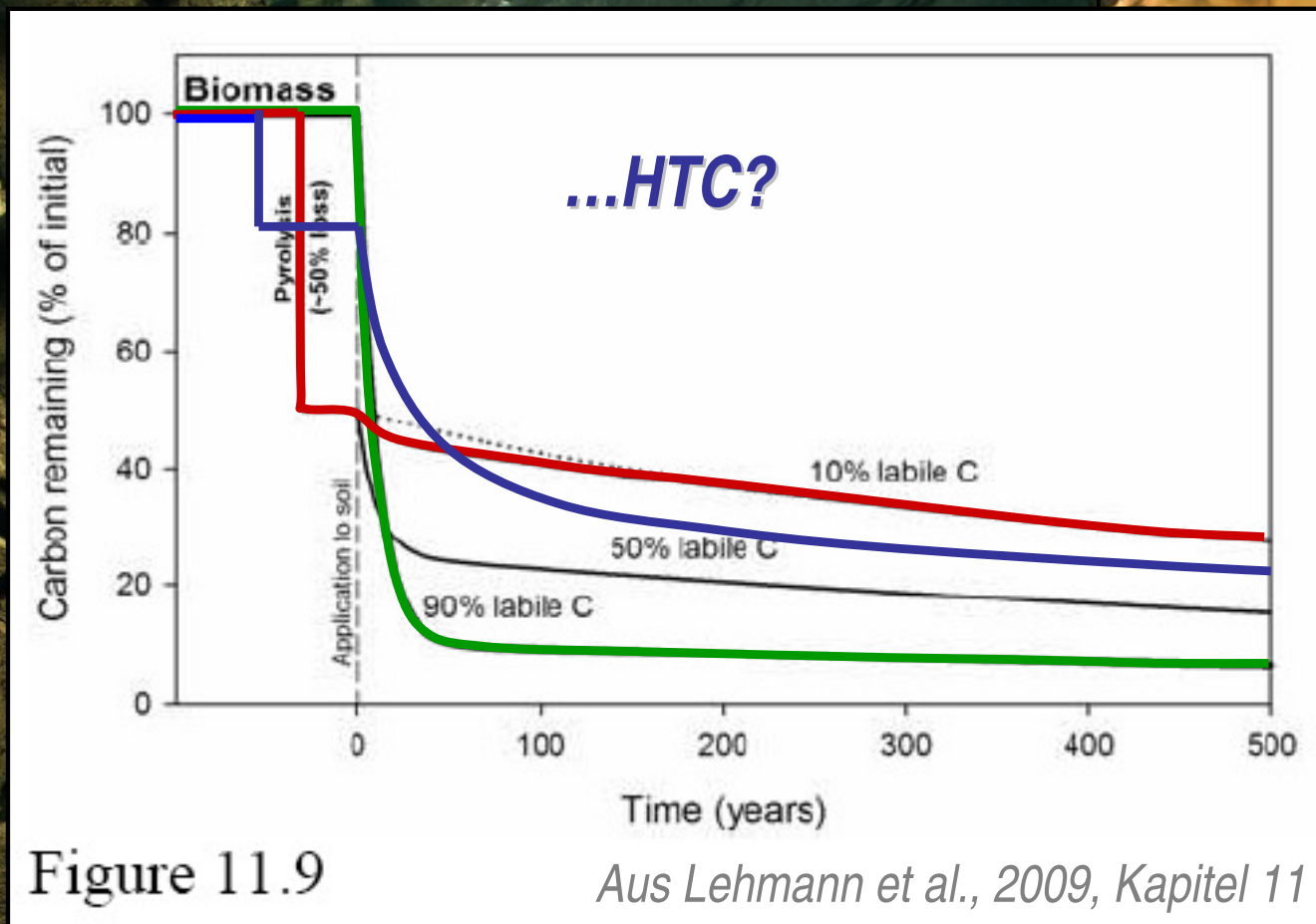
# 5. C-Sequestrierung von Grund auf...



Compost

Biochar

Hydrochar



Archaeologists in Brazil peer into a pit dug into *terra preta*. The pottery shards sticking out of the walls of the pit reflect centuries' worth of settlement—and soil amendment with biochar.





# 5. Feldstudie angelegt...!



+ 15% C of SOC  
→  
of the top soil,  
ground to 1 cm



4 l Schweinegülle, +/- char pro m<sup>2</sup>

Miscanthus:  
Edukt, HTC, BC

Done...finished!



Regelmäßige THG flux Messungen



Start 12./13.4.2011





# ...Zusammenfassung

---

**1. Toxizität:** alle Biokohlen unbedenklich?

*Nein, natürlich nicht – bitte nicht unkontrolliert verwenden!*

**2. Erträge:** immer Ertragsteigerung?

*Nein, nur wenn "Mangel" behoben wird; Nährstoffe!*

**3. Funktionsprinzip:** Mechanismen positiver Wirkungen?

*"Wasser", "Nährstoffe", "pH", .....*

**4. THG-Emissionen:** reduziert?

*Ja, fast immer (biochar); HTC-Biokohle: Vorsicht!*

**5. C-Sequestrierung:** langfristige Stabilität?

*Biochar: Nicht inert, aber stabil; HTC-Biokohle: weniger stabil*



# Ausblicke

## 1. HTC-Biokohle

*Brennstoff*

*Torfersatz-Substrat – Matrix;  
weniger zur C-Sequestrierung;  
evtl. Nährstoffrückgewinnung*



## 2. Biochar

*Bodenverbesserung v.a. für  
C-arme, sandige Böden;  
C-Sequestrierung;  
Biokohle-Komposte*

## 3. Beide Biokohlen

*N- und P-Retention: Stalleinstreu?*

*NH<sub>3</sub>-Filter (biochar; HTC?): Mastbetriebe*

*Trägermatrix für Langzeitdünger (biochar; HTC?)*

*Aufbau von Boden-C / Humus in C-verarmten Böden.....*

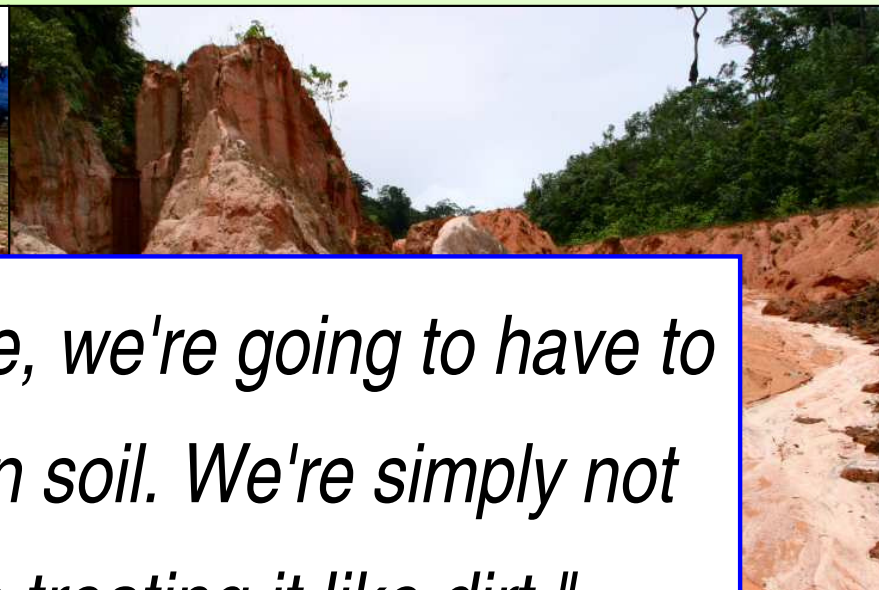


# Kein Feenstaub, aber eine Chance!



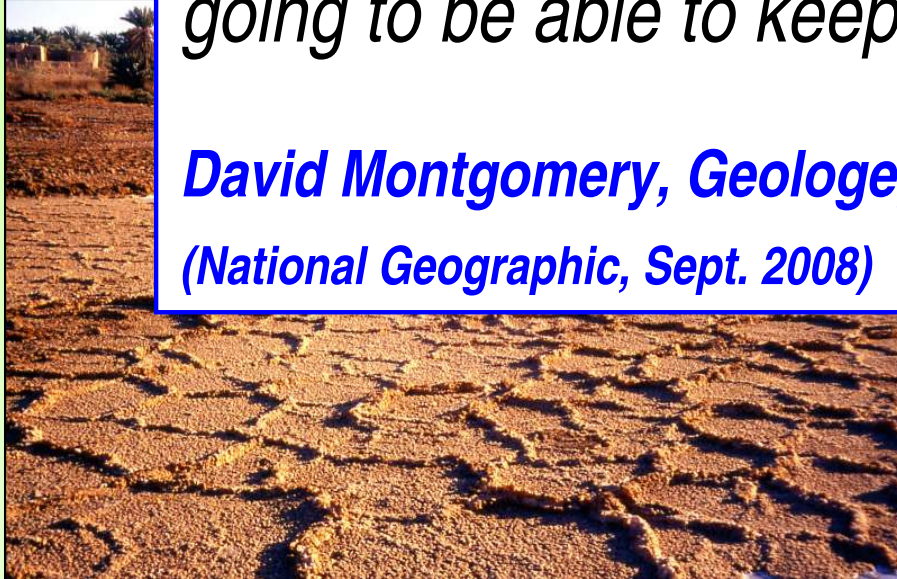


# Kein Feenstaub, aber eine Chance!



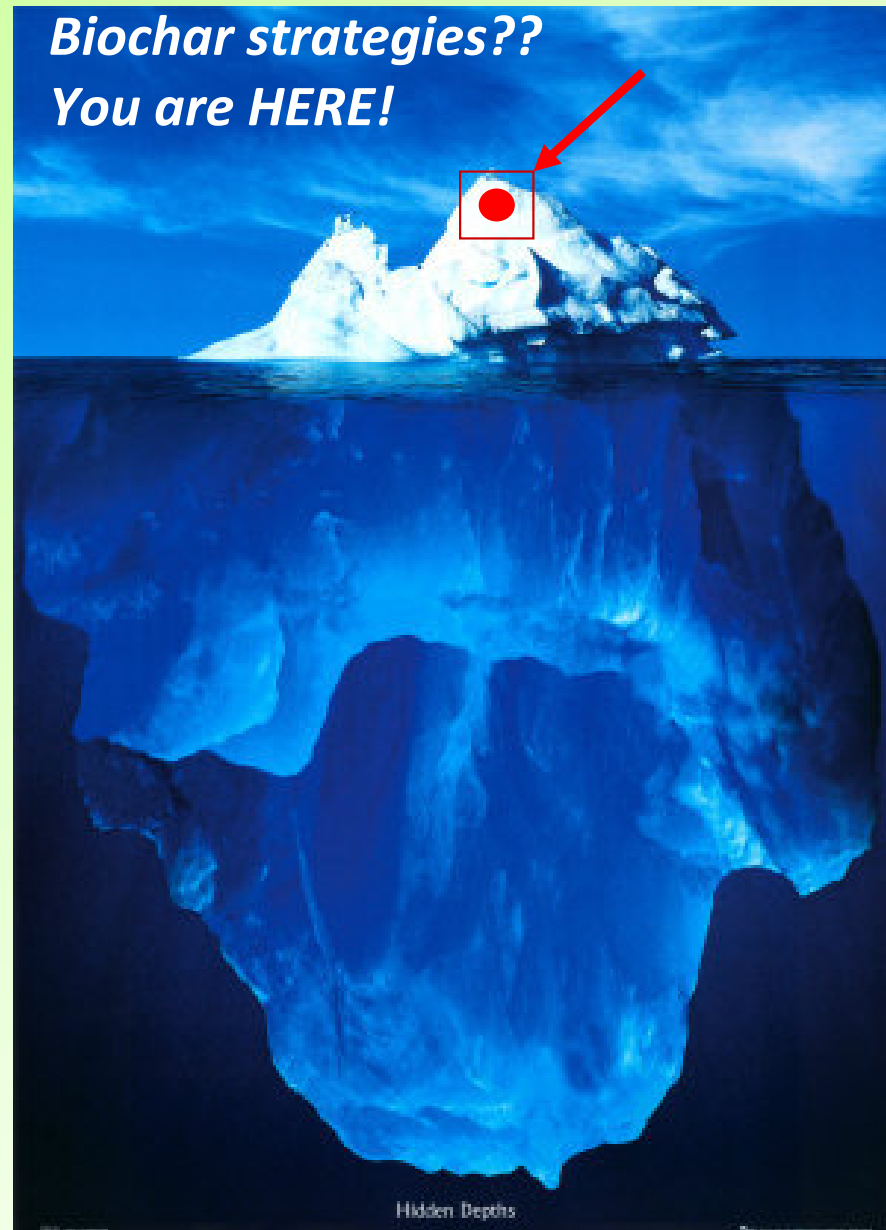
*"With eight billion people, we're going to have to start getting interested in soil. We're simply not going to be able to keep treating it like dirt."*

**David Montgomery, Geologe, University of Wisconsin**  
**(National Geographic, Sept. 2008)**

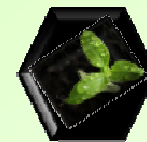




# *Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!*



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



## **HERZLICHEN DANK**

### **an alle Mitwirkenden und "Biokohle-Infizierten":**

*Daniela Busch, Sonja Schimmelpfennig, Stefan Ratering,  
Sebastian Linsel, Hans-Werner Koyro, Johannes Gößling,  
Wolfram Buss, Christoph v. Bredow, Yvette Kühnel, Nicol  
Strasilla, Angelika Bölke, Gerhard Mayer, Jürgen Franz, Jochen  
Senkbeil, Christian Eckhard, Gloria Wagner, Yvonne  
Lehmann, Simone Hepp, Cara Augustenborg,  
und natürlich Christoph Müller...*

