

Pflanzenkohle:

Dauerhaft Kohlenstoff in den Boden bringen?

Dr. Mirjam Helfrich

Thünen-Institut für Agrarklimaschutz



Fotos: Marco Gronwald



Foto: TI-AK

Pflanzenkohle Definition

„Poröses, kohlenstoffhaltiges Material, das durch Pyrolyse aus **klar definierten, pflanzlichen Biomassen** hergestellt und so angewendet wird, dass der enthaltene Kohlenstoff (C) **langfristig und klimarelevant als C-Senke** gespeichert bleibt oder in industriellen Fertigungsprozessen **fossilen Kohlenstoff ersetzt**.“

(European Biochar Certificate, 2012)

- ⇒ Pflanzenkohle als Klimaschutzinstrument
- ⇒ Bei der Applikation in den Boden sollte ihre Funktion über den reinen Klimaschutzaspekt hinausgehen



Fotos: M. Gronwald

Pflanzenkohle als langfristige Kohlenstoffsенke



Foto: Roland Prietz

Mögliche Auswirkungen auf Bodenfunktionen und Erträge

(Bodenfruchtbarkeit, Wasser,
Nitratauswaschung)



Foto: Roman-Synkevych

Methodik & Rahmenbedingungen

(Zulassung, Kosten)



Foto: Marco Gronwald

Pflanzenkohle als langfristige Kohlenstoffsенke



Foto: Roland Prietz

Mögliche Auswirkungen auf Bodenfunktionen und Erträge

(Bodenfruchtbarkeit, Wasser,
Nitratauswaschung)



Foto: Roman-Synkevych

Methodik & Rahmenbedingungen

(Zulassung, Kosten)

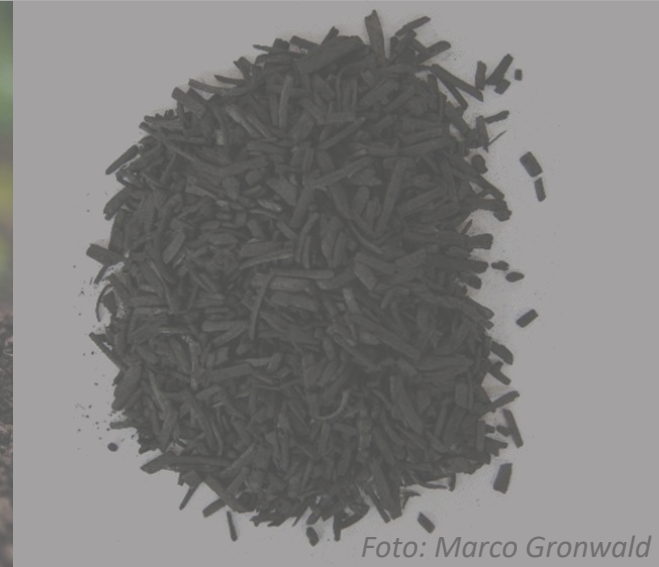


Foto: Marco Gronwald

Pflanzenkohle als Kohlenstoffsenke

■ Das C Senkenpotenzial wird beeinflusst durch

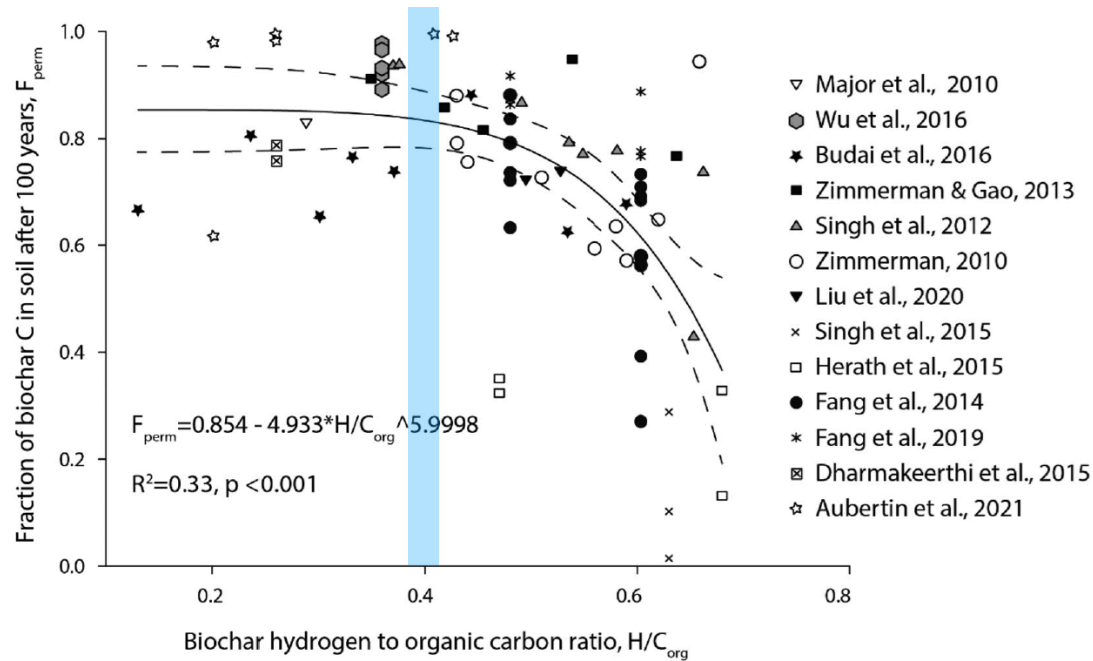
- die Prozessbedingungen
Bei einem H/C_{org}-Verhältnis um 0,4 sind nach 100 Jahren sind ca. 75-95% der PK im Boden vorhanden

- das Ausgangsbiomasse

C-Konzentration (%) in Pflanzenkohlen

Feedstock source	
Wood based	70.5 ± 0.39a
Crop wastes	61.4 ± 0.41c
Other grasses	63.6 ± 0.72b
Manures/ Biosolids	41.6 ± 0.68d

- die klimatischen Bedingungen



Strohpotenzial und C-Sequestrierungspotenzial für Stroh-PK in deutschen Ackerböden *(Seitz et al., Helfrich et al.)*

- Wieviel Stroh wird aktuell abgefahren und wieviel kann potenziell zusätzlich von deutschen Ackerböden geerntet werden?
- Wie würden sich die Kohlenstoffvorräte verändern, wenn ein Teil oder sämtliches technisch erntebares Stroh abgefahren wird?
- Wieviel PK könnte aus dem Stroh produziert werden?
- Könnte die Applikation der PK auf den Äckern auftretende Kohlenstoffverluste kompensieren?



Strohpotenzial und C-Sequestrierungspotenzial für Stroh-PK in deutschen Ackerböden *(Seitz et al., Helfrich et al.)*

Standortspezifische Boden- und Managementdaten aus der ersten Bodenzustandserhebung Landwirtschaft¹

- Mineralische Oberböden (0-30 cm) mit dauerhafter Ackernutzung
- Insgesamt 1115 Ackerstandorte

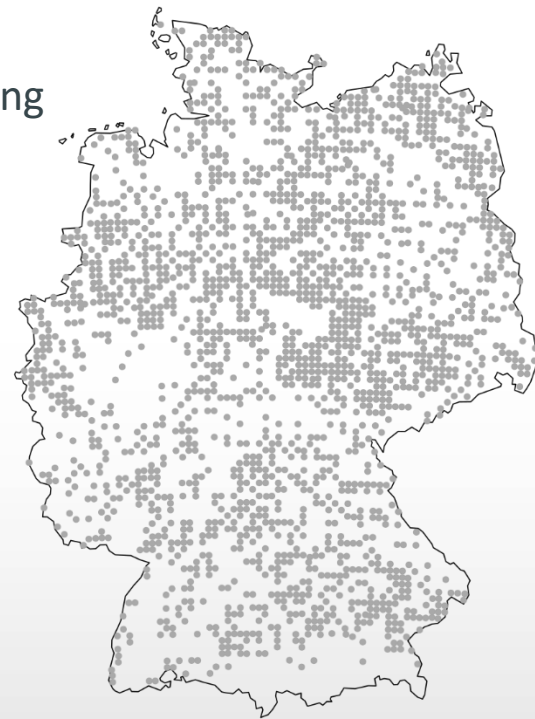
Bodendaten

- Org. Bodenkohlenstoff [Mg C ha^{-1}]
- Tongehalt [%]

Meteorologische Daten (DWD)

Managementdaten

- Fruchtfolgen (Haupt- & Zwischenfrüchte; Erträge; Strohernte)
- Düngung (mineralisch & organisch)
- Ø 12 Jahre Daten vor Probenahme (zwischen 2000 & 2019)



Strohpotenzial und C-Sequestrierungspotenzial für Stroh-PK in deutschen Ackerböden *(Seitz et al., Helfrich et al.)*

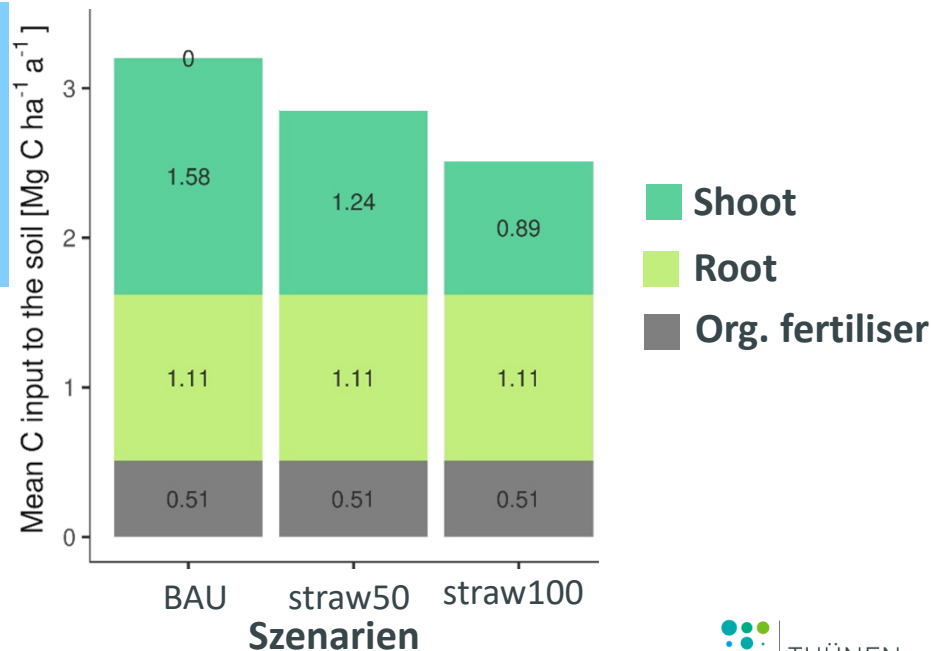
Modellierung und Annahmen

- Szenarien mit unterschiedlich hoher Strohabfuhr & PK-Applikation
- RothC + allometrische Funktionen

Szenarien: Strohabfuhr

- 1) Business as usual (**BAU**)
- 2) Erhöhung der Strohernte auf 50% des techn. erntebaren Stroh (**straw50**)
- 3) Abfuhr allen techn. erntebaren Stroh (**straw100**)

- Strohernte BAU: 9 Mio. Mg Stroh (TM)
- Strohernte straw100: 26,3 Mio. Mg Stroh (TM)



Strohpotenzial und C-Sequestrierungspotenzial für Stroh-PK in deutschen Ackerböden (Seitz et al., Helfrich et al.)

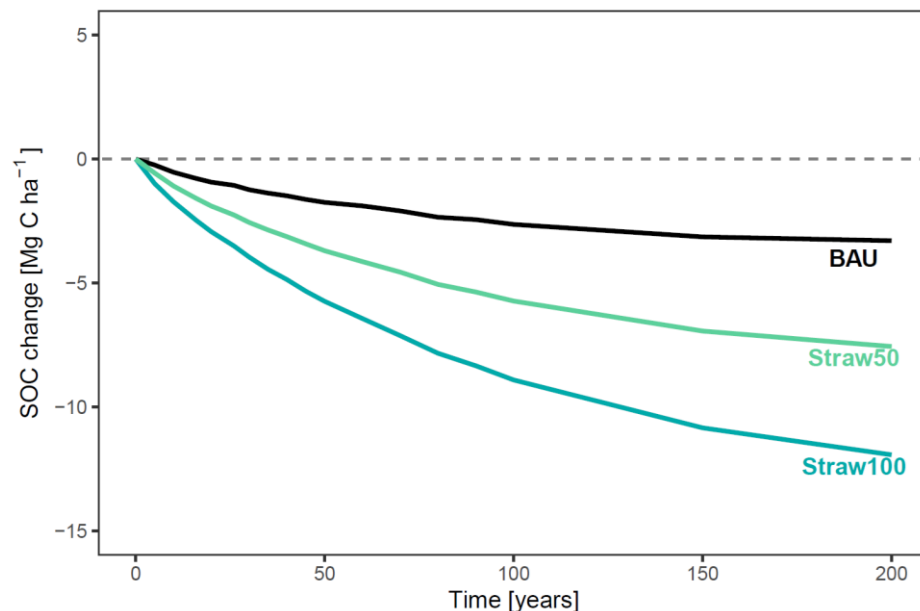
Modellierung und Annahmen

- Szenarien mit unterschiedlich hoher Strohabfuhr & PK-Applikation
- RothC + allometrische Funktionen

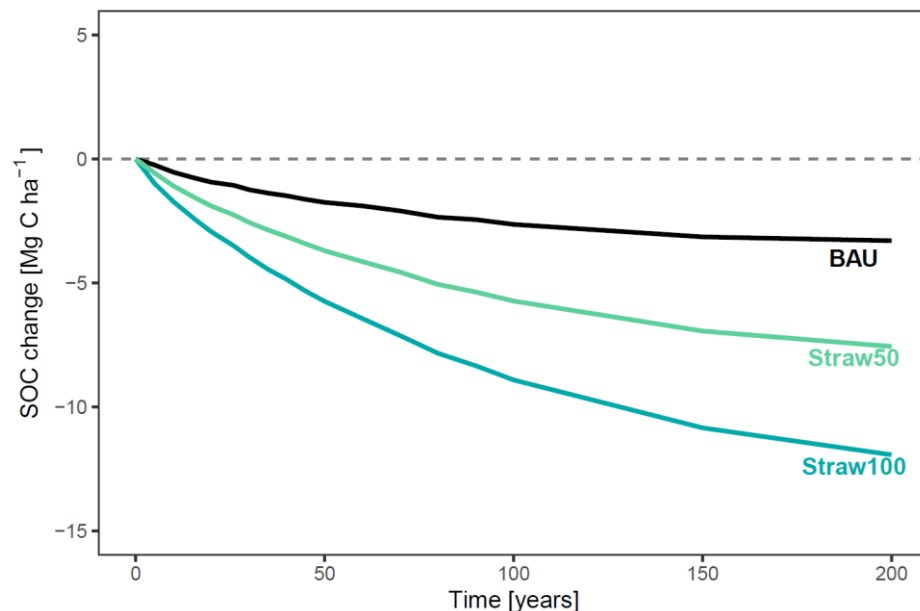
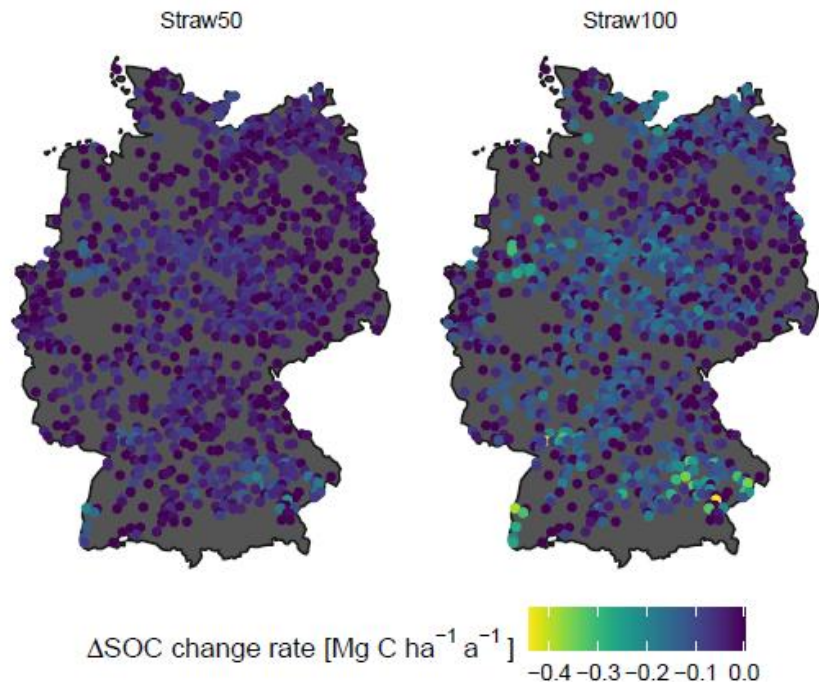
Szenarien: Strohabfuhr

- 1) Business as usual (**BAU**)
- 2) Erhöhung der Strohernte auf 50% des techn. erntebaren Stroh (**straw50**)
- 3) Abfuhr allen techn. erntebaren Stroh (**straw100**)

- Strohernte BAU: 9 Mio. Mg Stroh (TM)
- Strohernte straw100: 26,3 Mio. Mg Stroh (TM)

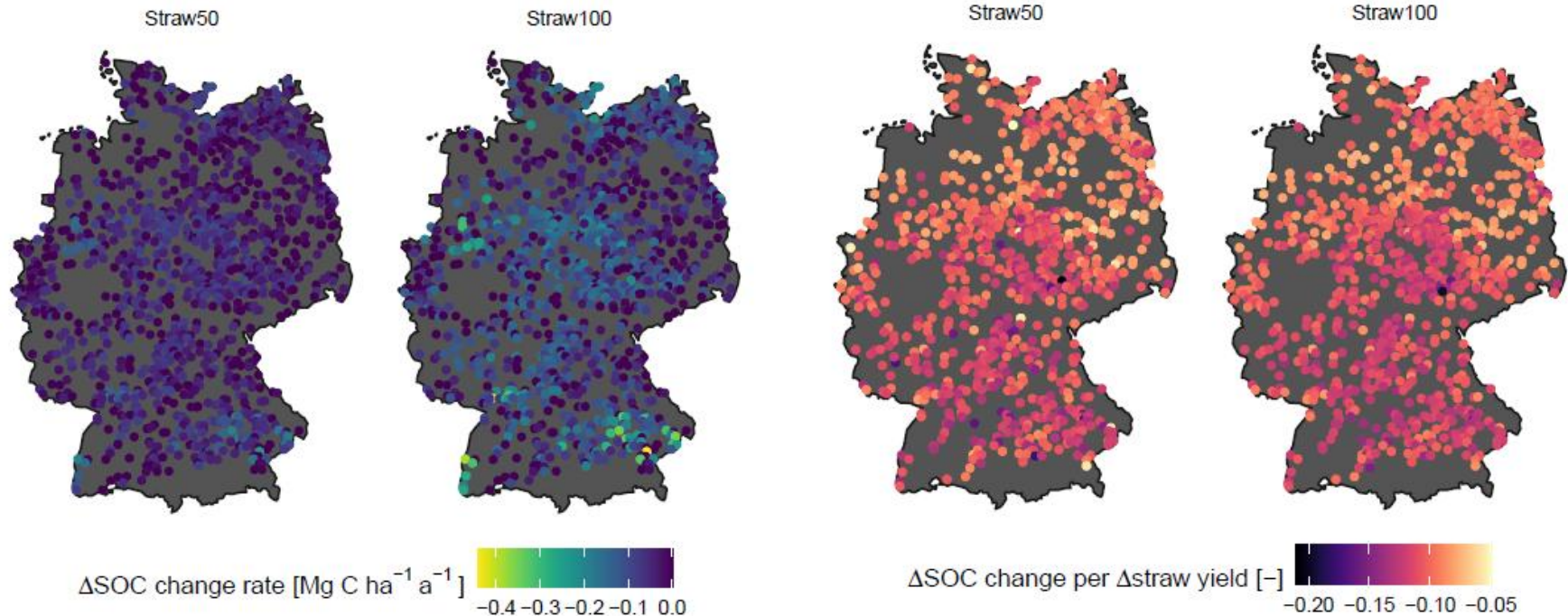


Strohpotenzial und C-Sequestrierungspotenzial für Stroh-PK in deutschen Ackerböden (Seitz et al., Helfrich et al.)



Absolute Verluste am höchsten dort, wo die Strohabfuhr am stärksten steigt

Strohpotenzial und C-Sequestrierungspotenzial für Stroh-PK in deutschen Ackerböden (Seitz et al., Helfrich et al.)



Absolute Verluste am höchsten dort, wo die Strohabfuhr am stärksten steigt

Relative Verluste höher in Böden mit höheren Tongehalten

Strohpotenzial und C-Sequestrierungspotenzial für Stroh-PK in deutschen Ackerböden *(Seitz et al., Helfrich et al.)*

Modellierung und Annahmen

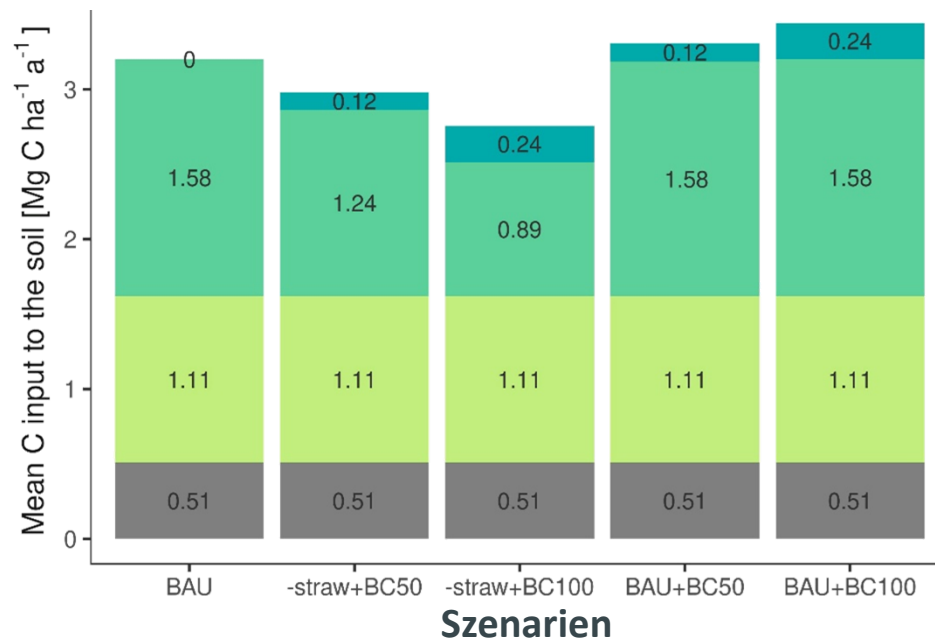
- Szenarien mit unterschiedlich hoher Strohabfuhr & PK-Applikation
- RothC + allometrische Funktionen

■ Biochar ■ Shoot
■ Root ■ Org. fertiliser

Szenarien: Strohabfuhr + PK

- 1) Business as usual (BAU)
 - 2) -straw50+BC
 - 3) -straw100+BC
 - 4) BAU+BC50
 - 5) BAU+BC100
- PK Menge identisch zu 2) & 3), aber externe Quelle*

- Langsame Pyrolyse 550°C¹
- C-Ertrag PK pro Tonne Stroh²⁻⁴: **352 kg C**



Strohpotenzial und C-Sequestrierungspotenzial für Stroh-PK in deutschen Ackerböden *(Seitz et al., Helfrich et al.)*

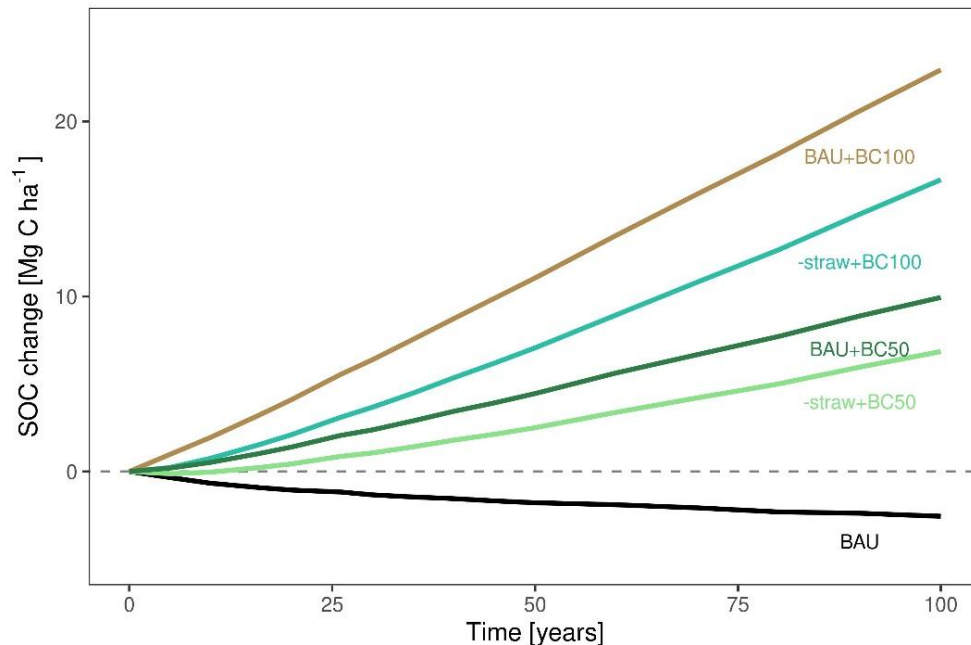
Modellierung und Annahmen

- Szenarien mit unterschiedlich hoher Strohabfuhr & PK-Applikation
- RothC + allometrische Funktionen

Szenarien: Strohabfuhr + PK

- 1) Business as usual (BAU)
 - 2) -straw50+BC
 - 3) -straw100+BC
 - 4) BAU+BC50
 - 5) BAU+BC100
- PK Menge identisch zu 2) & 3), aber externe Quelle*

- Langsame Pyrolyse 550°C¹
- C-Ertrag PK pro Tonne Stroh²⁻⁴: **352 kg C**



Einordnung in den nationalen Kontext

Veränderungen im Mittel über 20 Jahre

Maßnahme	Relative Änderung* der aktuellen C-Vorräte (‰ pro Jahr)	Relative Änderung* der nationalen C Vorräte (Mio. Mg CO ₂ pro Jahr)
straw100	-1.8	-4.2
-straw100+BC	2.8	6.5
Zwischenfrüchte ¹	1.6	3.8

*im Vergleich zum Referenzszenario (BAU)

- Die Applikation von PK aus abgefahrenem Stroh kann C-Verluste mehr als ausgleichen.
- Wirksamkeit 1,7x höher als ambitionierter Zwischenfruchtanbau.

ABER: PK ≠ Humus!

5,8%

3.4%



Nationale Treibhausgasemissionen
aus dem Landwirtschaftssektor:
112 Mio. Mg CO₂-Äq (2023)²

Pflanzenkohle als langfristige Kohlenstoffsенke



Foto: Roland Prietz

Mögliche Auswirkungen auf Bodenfunktionen und Erträge

(Bodenfruchtbarkeit, Wasser,
Nitratauswaschung)



Foto: Roman-Synkevych

Methodik & Rahmenbedingungen

(Zulassung, Kosten)

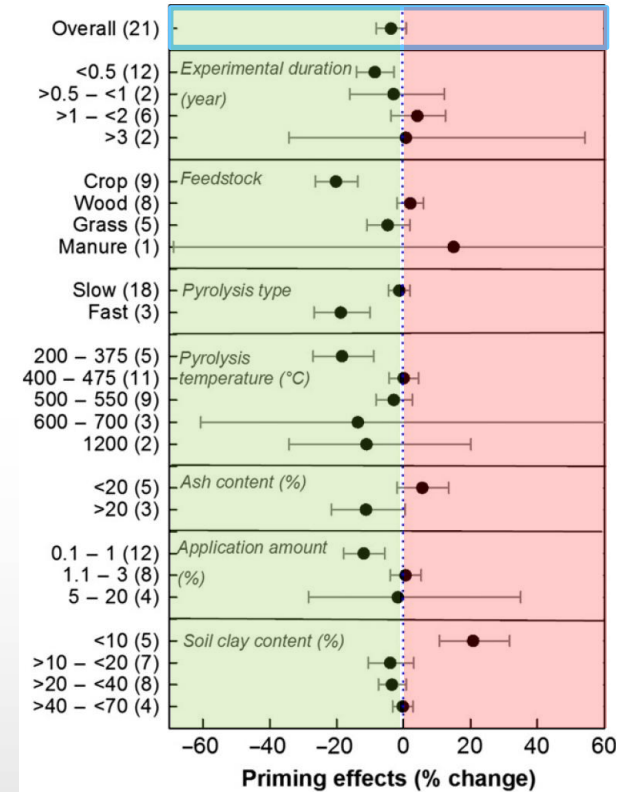


Foto: Marco Gronwald

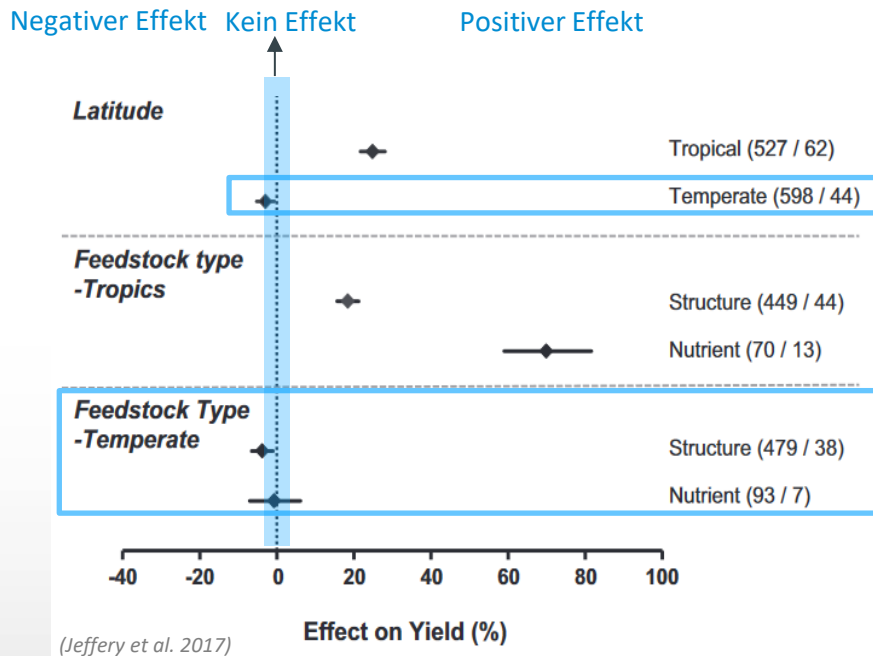
Pflanzenkohle Effekt auf den Bodenkohlenstoff

Priming von nativem Bodenkohlenstoff

- Werte einzelner Kategorien behaftet mit großen Unsicherheiten
- **Gesamteffekt** -3.8% (-8,1-0,8%),
nicht signifikant



Ertragseffekte

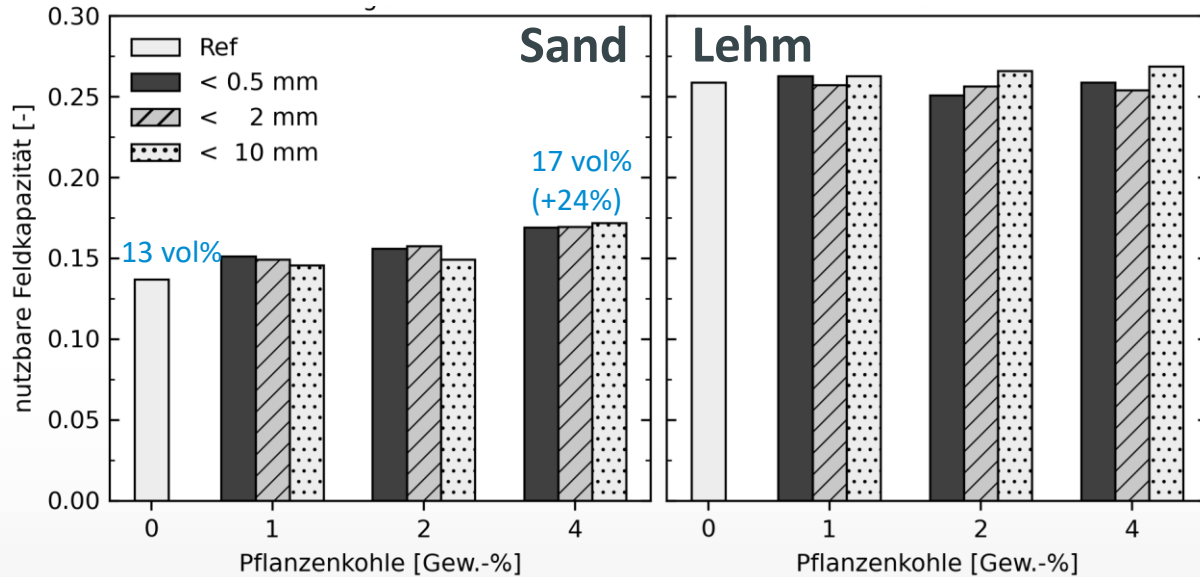


- Im Gegensatz zu den Tropen und Subtropen gibt es **keine eindeutigen Ertragseffekte in der temperaten Zone**
- Böden in temperaten Klimaten sind i.d.R. auch ohne Pflanzenkohle fruchtbar.

- Potenzial im temperaten Bereich möglicherweise auf **Grenzertragsstandorten**

- saure, sandige, nährstoffarme Böden: verbesserter Wasser- & Nährstoffhaushalt
- schwere, verdichtete Böden: verbesserte Durchlüftung, Durchwurzelbarkeit und Infiltrationskapazität

Bodenphysikalische Effekte: nutzbare Feldkapazität



Gesättigte hydraul. LF in gepackten Bodensäulen für den Sand- und den Lehmboden ohne PK (Ref) und mit 1, 2 und 4 Gew.% PK.

- nFK +3,3 Vol% entspricht ~10 mm mehr Wasserspeicherung
- ABER: sehr hohe Applikation
→ 4% = 176 Mg ha⁻¹;
- < 1 Gew% (~45 t ha⁻¹) kaum Effekte (s.auch Baïamonte et al. 2021; Edeh et al. 2020)

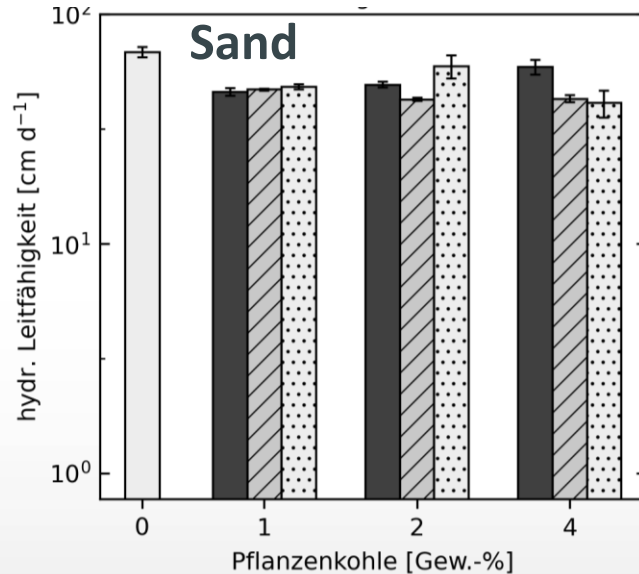
Effekte im Lehmboden: Luftkapazität und hydr. Leitfähigkeit

■ Verringerte Ksat → geringere

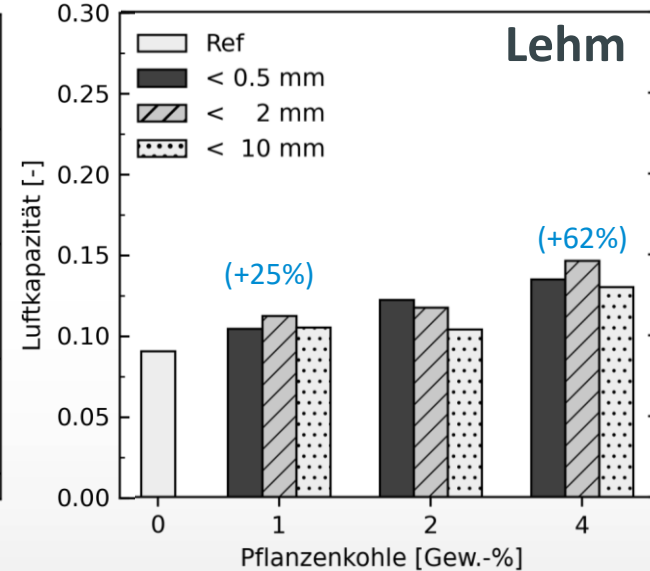
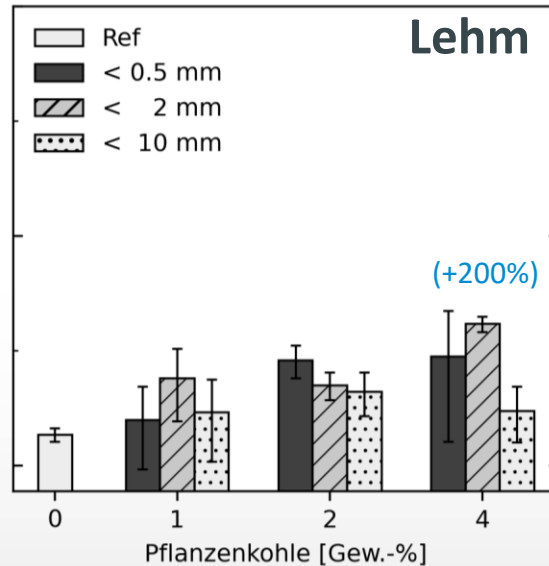
■ Gesteigerte → verbesserte

■ Geringere Lagerungsdichte verbessert die Luftkapazität

Infiltrationsrate



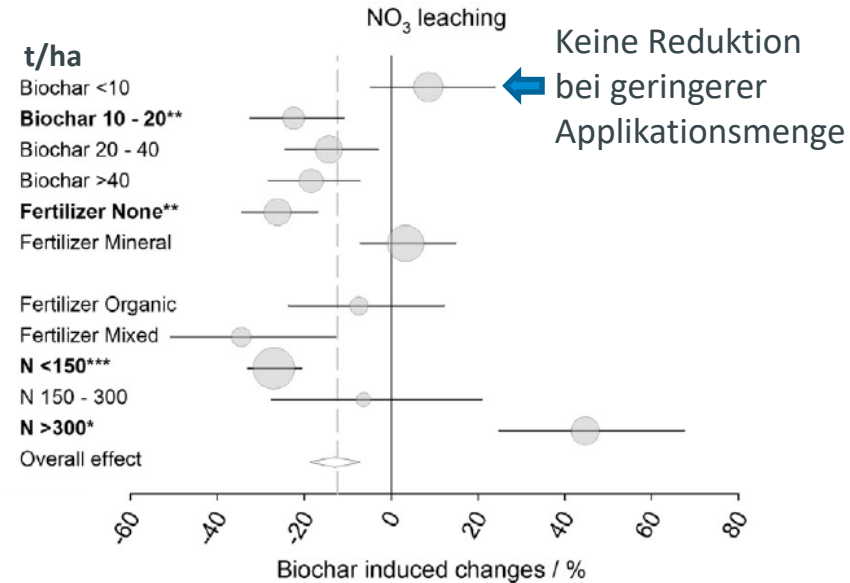
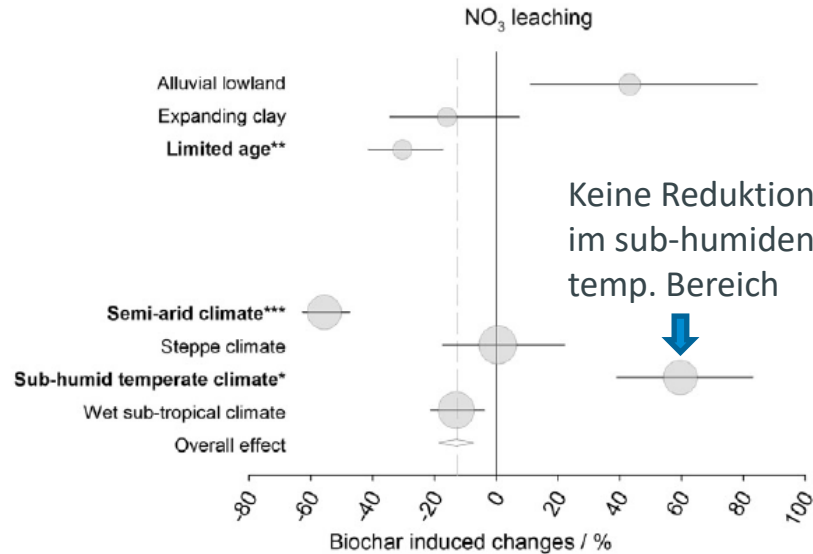
Infiltration im schweren Boden



Gesättigte hydraul. LF für den Sand (links) und Lehm (Mitte), sowie Luftkapazität für den Lehm (rechts) in gepackten Bodensäulen für den Lehmboden ohne PK (Ref) und mit 1, 2 und 4 Gew.% PK.

Auswirkung auf die Nitratauswaschung

Gesamteffekt: - 13 % NO_3 Auswaschung



Pflanzenkohle als langfristige Kohlenstoffsенke

Mögliche Auswirkungen auf Bodenfunktionen

(Bodenfruchtbarkeit,
Wasser, Nitratauswaschung)

Rahmenbedingungen

(Zulassung, Kosten)



Rechtliche Rahmenbedingungen in Deutschland und der EU

- **Düngemittelverordnung (DüMV; BMLEH); Düngegesetz (DünG, Bundestag)**
 - Aus unbehandeltem Holz pyrolisierte Kohlen mit einem C-Gehalt $\geq 80\%$ (TM)
 - Schadstoffgrenzwerte müssen eingehalten werden
- **EU Düngemittelverordnung (Europ. Parlament; Europ. Rat 2019)**
 - PK als EU-Düngeprodukt muss den Anforderungen der Verordnung entsprechen und ein Konformitätsbewertungsverfahren durchlaufen haben (CE-Kennzeichnung)
 - Ausgangsstoffe: „durch Pyrolyse oder Vergasung gewonnene Materialien“

(u.a. pflanzliche Abfälle aus der Nahrungsmittelindustrie, Bioabfall aus getrennter Sammlung, Reststoffe aus der Herstellung von Bioethanol und Biodiesel und faserige pflanzliche Abfälle aus der Herstellung von Frischzellstoff oder der Papierherstellung aus Frischzellstoff)

Pflanzenkohleproduktion

Entwicklung der Pflanzenkohleproduktion in Europa nach European Biochar Industry (EBI, 2024)

Jahr	Anlagen	Produktionskapazität (t/Jahr)	Tatsächliche Produktion (t/Jahr)
2022	~120	~50.000	~35.000
2023	171	75.000	49.000
2024	>200*	~115.000*	~70.000*

**geschätzt*

- Deutschland stellt etwa 25 – 30 % der europäischen Produktionskapazität
- Insgesamt zwar noch wenig, aber starkes Wachstum (~100% in 2 Jahren)
- Aktueller Marktpreis um 400-1000 € / Tonne

Fazit

- **Pflanzenkohle ist aufgrund ihrer Stabilität eine ernstzunehmende Option für langfristige CO₂-Entnahmen** – unabhängig von ihrer Wirkung im Boden.
- **Positive Effekte von Pflanzenkohle auf Wasser- und Nährstoffhaushalt sind möglich, aber stark standort- und anwendungsabhängig und unter temperaten Bedingungen keineswegs garantiert.**
- **Der Einsatz von Pflanzenkohle auf Ackerflächen ist nur dann sinnvoll, wenn Synergieeffekte zu erwarten sind** – andernfalls bleibt sie vor allem eine Klimaschutzmaßnahme.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

mirjam.helfrich@thuenen.de

www.thuenen.de/ak

Thünen Institut für Agrarklimaschutz

