

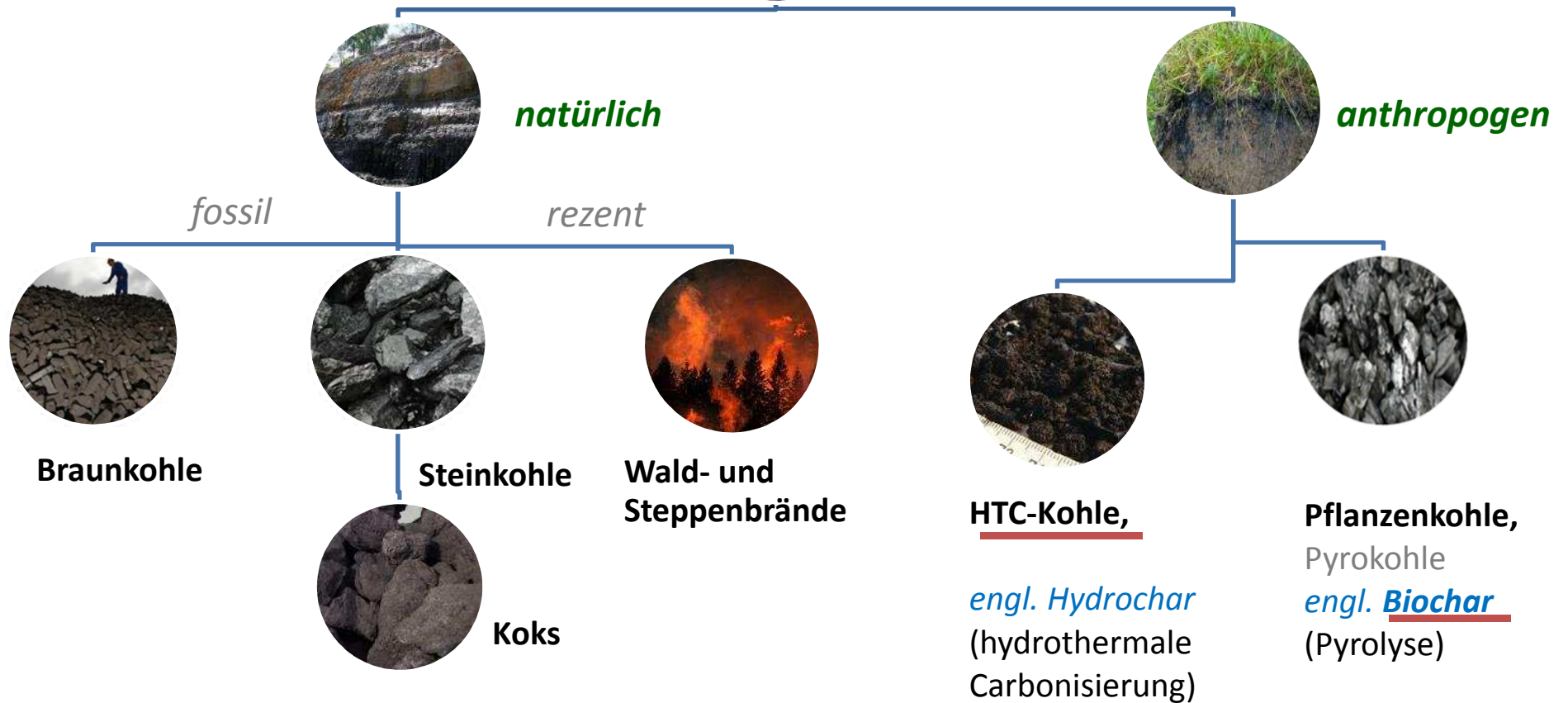


Einsatz von Biokohle in heimischen Böden: Grundlegende Untersuchungen zum möglichen Nutzen und Risiko





**(Bio)kohle,
 Biocarbonisat**





**(Bio)kohle,
 Biocarbonisat**



natürlich

fossil

rezent



Braunkohle



Steinkohle



Koks



**Wald- und
 Steppenbrände**

**VDI-Ausschuss Emissionsminderung –
 Erzeugung von Biomassecarbonisaten
 NA 134-01-104 AA (3933)
 Leitung:
 Prof. Dr. P. Quicker, RTWH Aachen
 (Dr.-Ing. Christoph Sager, VDI)**



HTC-Kohle,

engl. Hydrochar
 (hydrothermale
 Carbonisierung)



Pflanzenkohle,

Pyrokohle

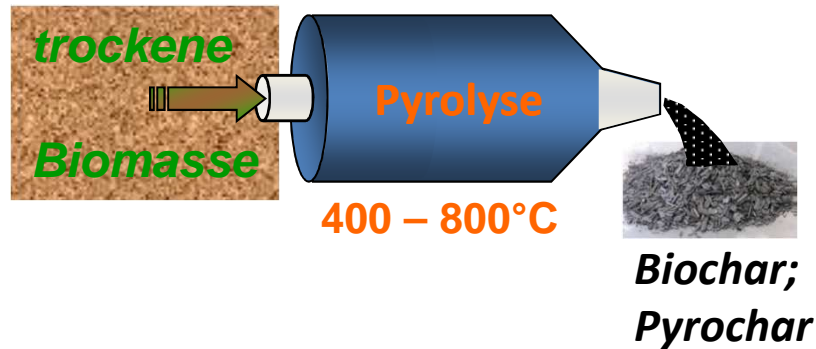
engl. Biochar

(Pyrolyse)



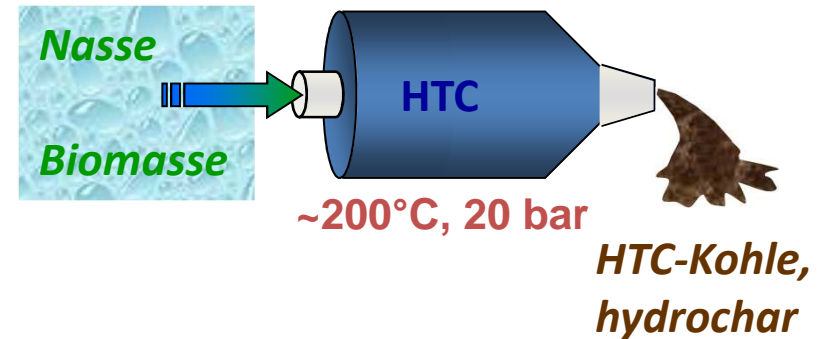
Langsame und schnelle Pyrolyse

- energetisch netto: **exotherm** -



Hydrothermale Carbonisierung

- energetisch netto: **??** -



Energie: + therm. Energie und/oder Bio-öl;
C-reich (70-90%),
„Ertrag“ geringer (20-50%)

Keine therm. Energie und/oder Bio-öl;
C-ärmer (50-60%),
„Ertrag“ höher (60 - 85%)

**Art der
Anwendung:**

**C-Speicherung
in Böden**

**THG-Emiss.-
Reduktion**

**Amelioration
Böden** (degrad.,
contamin.)

**CO₂ neutraler
Brennstoff,
Hygienisierung**

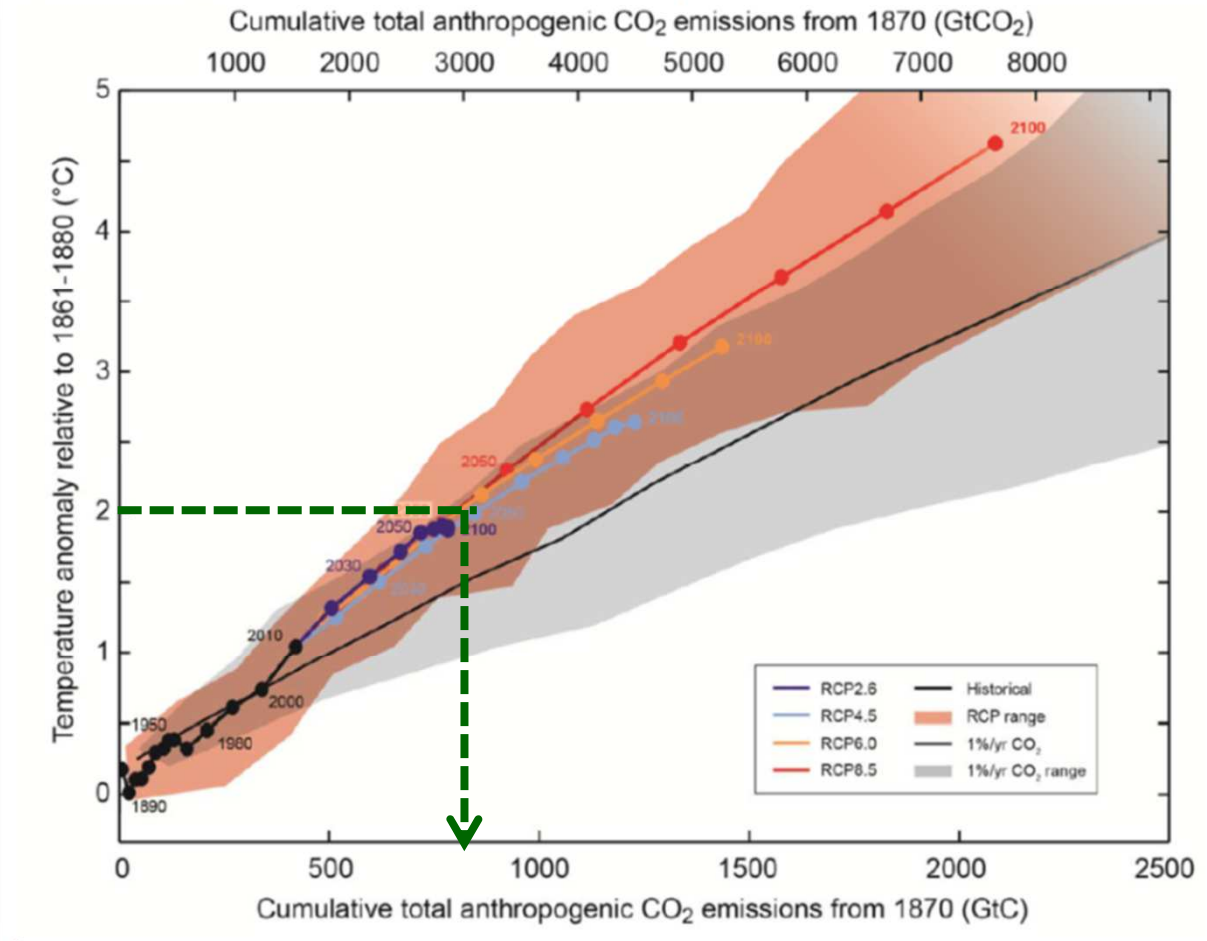
Risikoabschätzung!



...warum “Biokohle”?



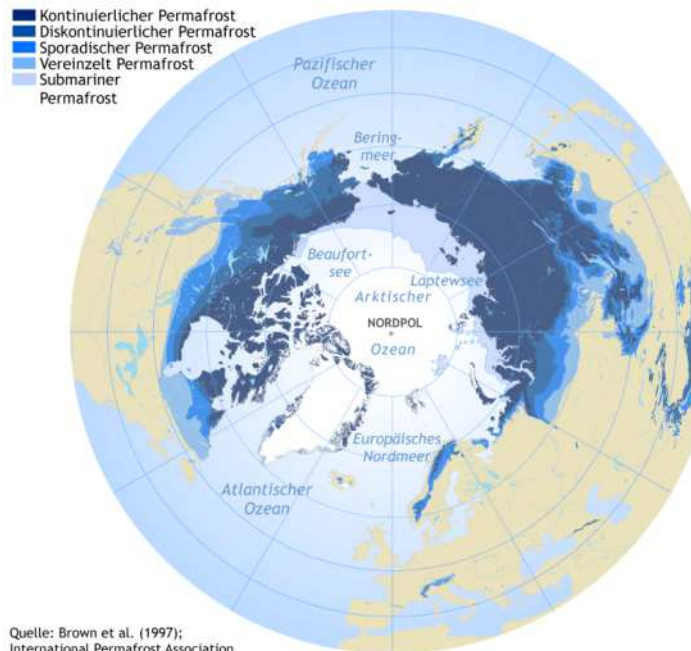
Figure SPM.10 [FIGURE SUBJECT TO FINAL COPYEDIT]



~536 von
 800 Gt C
 "haben wir
 schon"

IPCC SPM 2013

...warum plötzlich "Biokohle"?

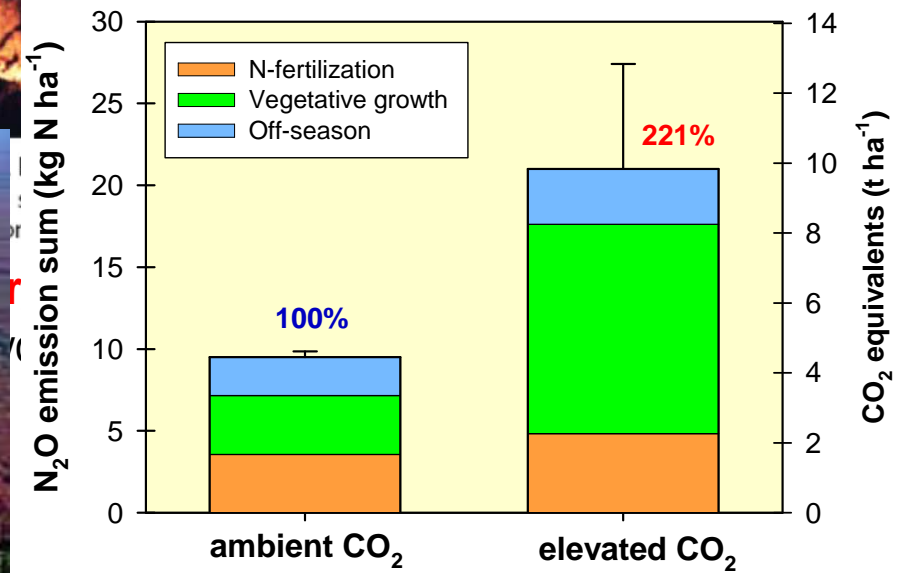
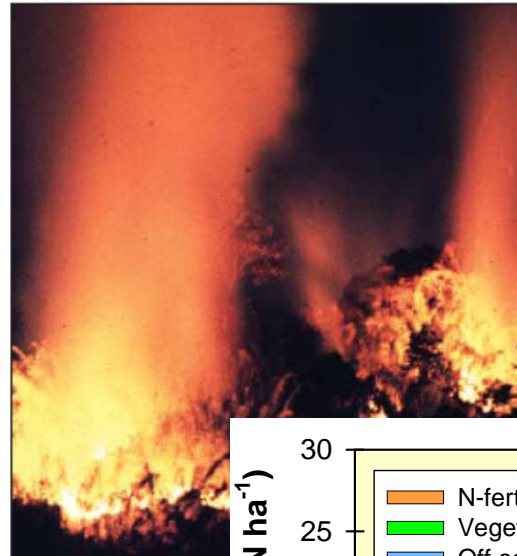
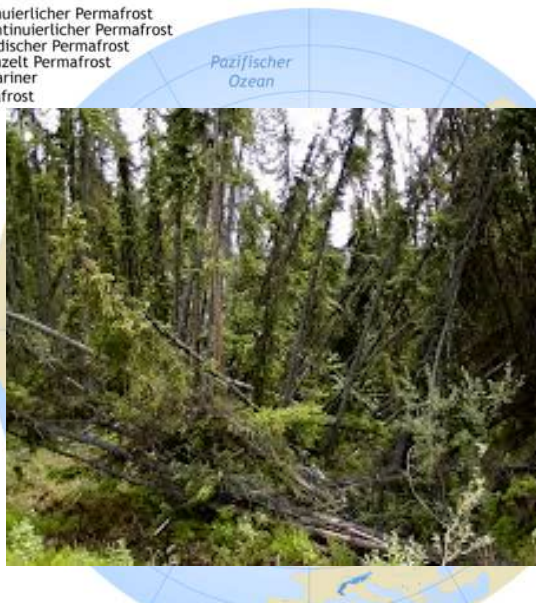


Rapid carbon loss. Because long-term net carbon uptake and loss in forests (for example, by fire, as shown here) are separated in time and space, plot-based flux studies cannot quantify regional carbon sequestration.

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

...warum plötzlich "Biokohle"....?

- Kontinuierlicher Permafrost
- Diskontinuierlicher Permafrost
- Sporadischer Permafrost
- Vereinzelt Permafrost
- Submariner Permafrost



Kammann et al. 2008, SBB al. 2008, SBB 40



Earth at Night

More information available at:

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap020811.html>

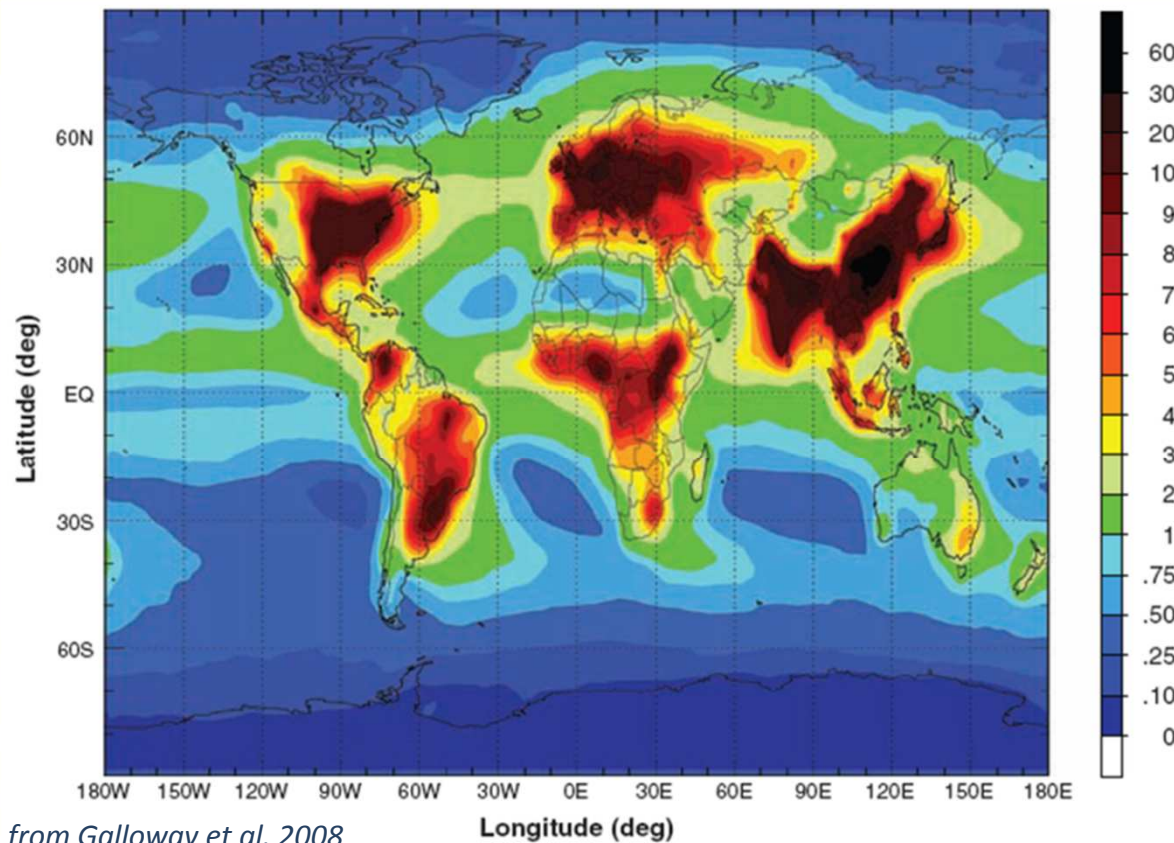
Astronomy Picture of the Day

2002 August 11

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>

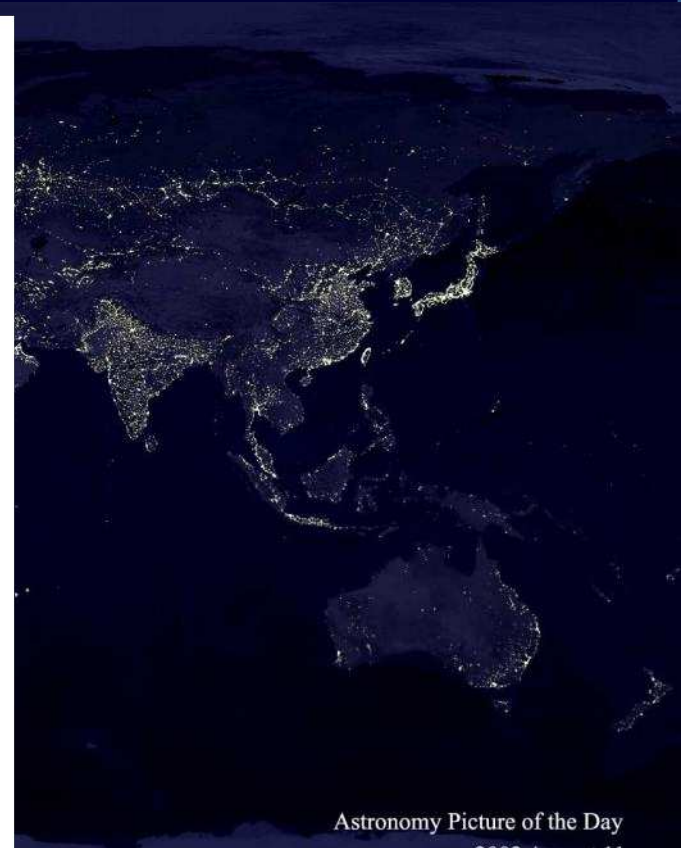
...Warum plötzlich "Biokohle"....?

7 Milliarden – und der „gedüngte Planet“



from Galloway et al. 2008

Fig. 2. Estimated N deposition from global total N (NO_y and NH_x) emissions, totaling 105 Tg N y⁻¹. The unit scale is kg N ha⁻¹ y⁻¹, modified from the original units (mg m⁻² y⁻¹) (16).



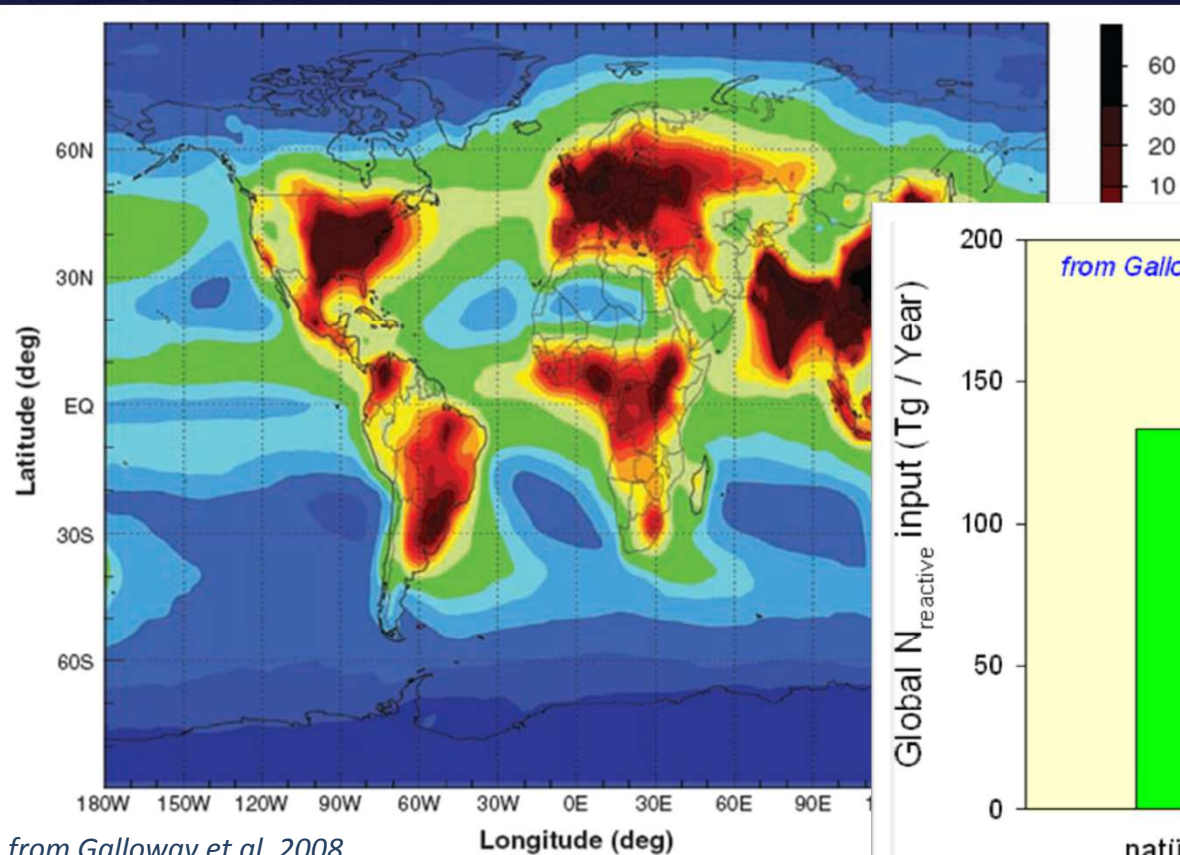
Astronomy Picture of the Day

2002 August 11

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>

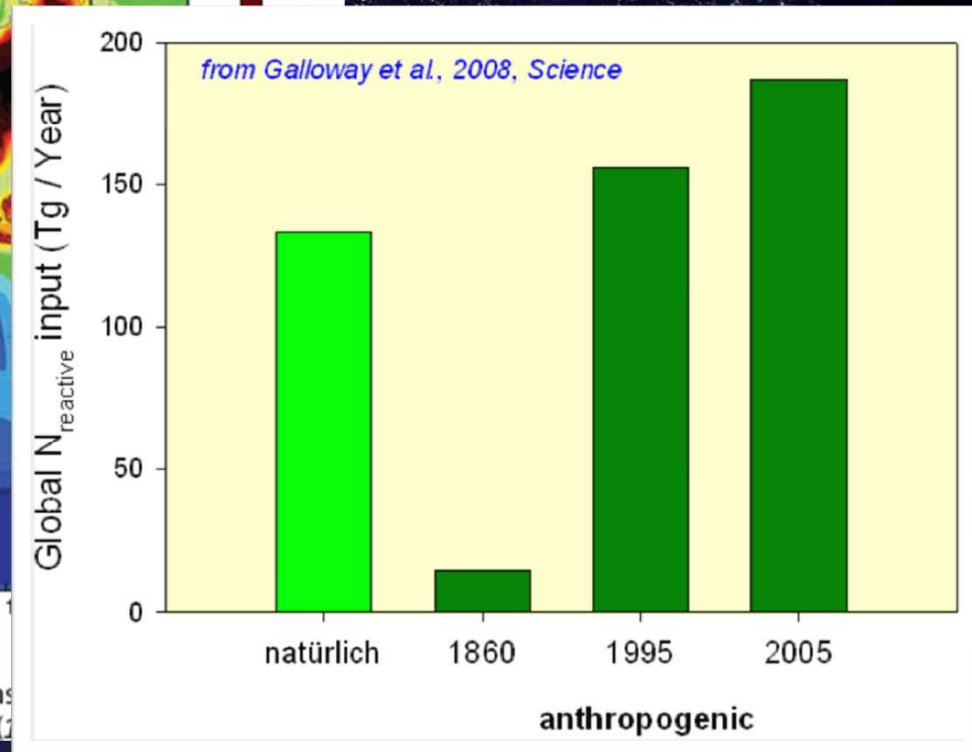
...Warum plötzlich "Biokohle"....?

7 Milliarden – und der „gedüngte Planet“



from Galloway et al. 2008

Fig. 2. Estimated N deposition from global total N (NO_y and NH_x) emissions. Unit scale is $\text{kg N ha}^{-1} \text{y}^{-1}$, modified from the original units ($\text{mg m}^{-2} \text{y}^{-1}$) (Galloway et al. 2008)



anthropogenic

...Warum plötzlich "Biokohle"....?

7 Milliarden – und der „gedüngte Planet“

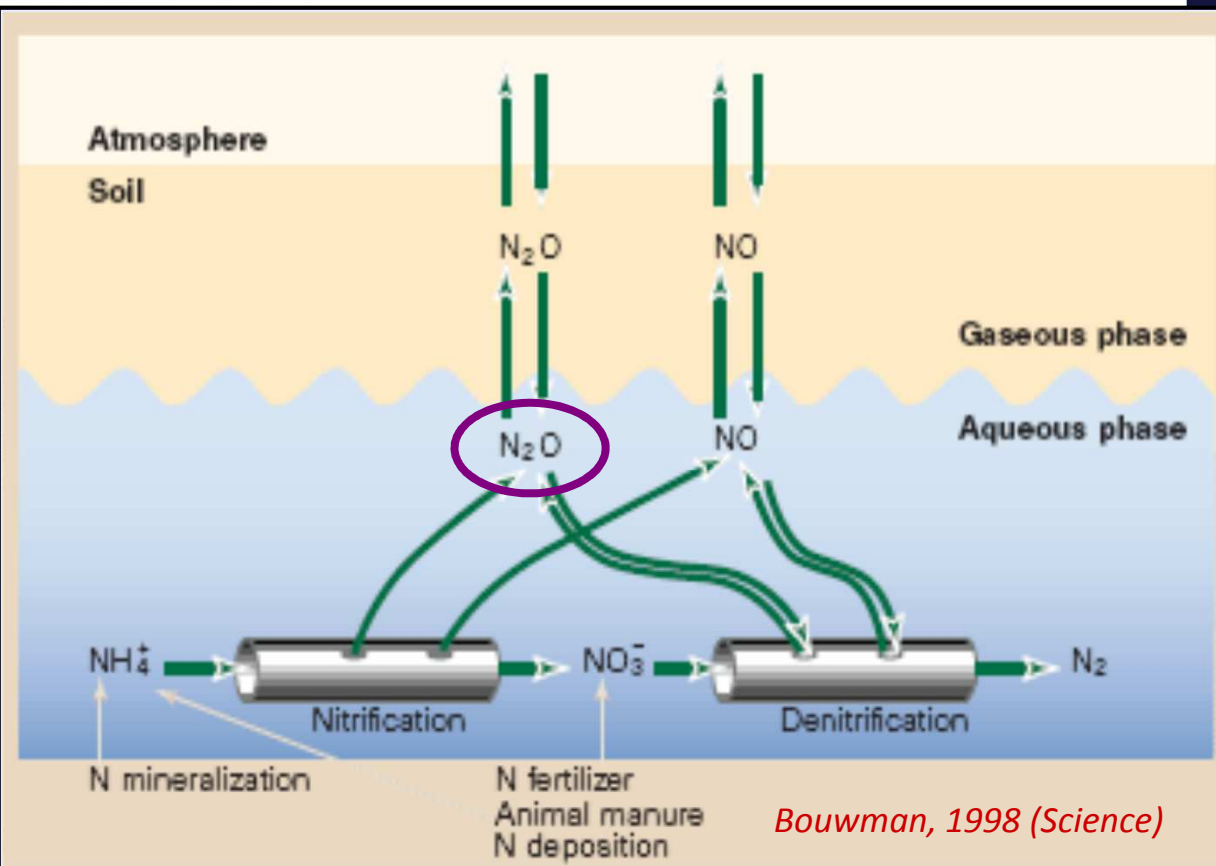
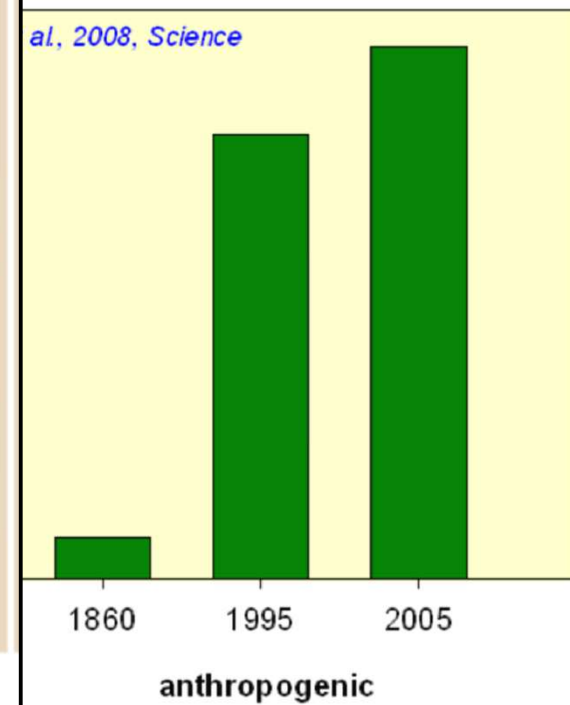


Figure 1 'Hole-in-the-pipe' model of the regulation of trace-gas production and consumption by

al., 2008, Science



...Warum plötzlich "Biokohle"....?

7 Milliarden – und der „gedüngte Planet“

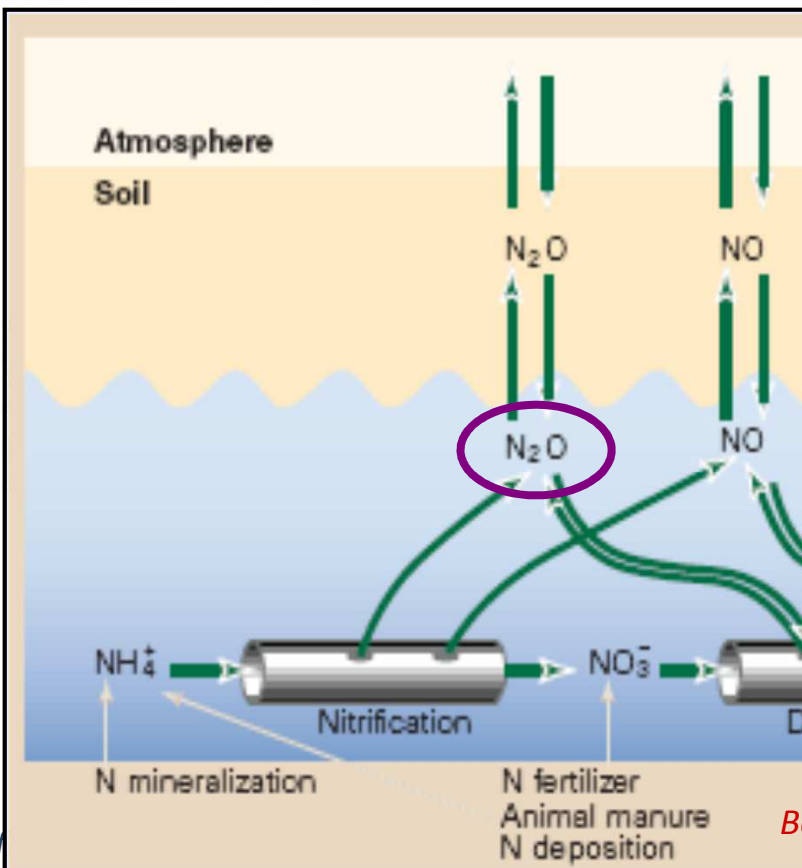
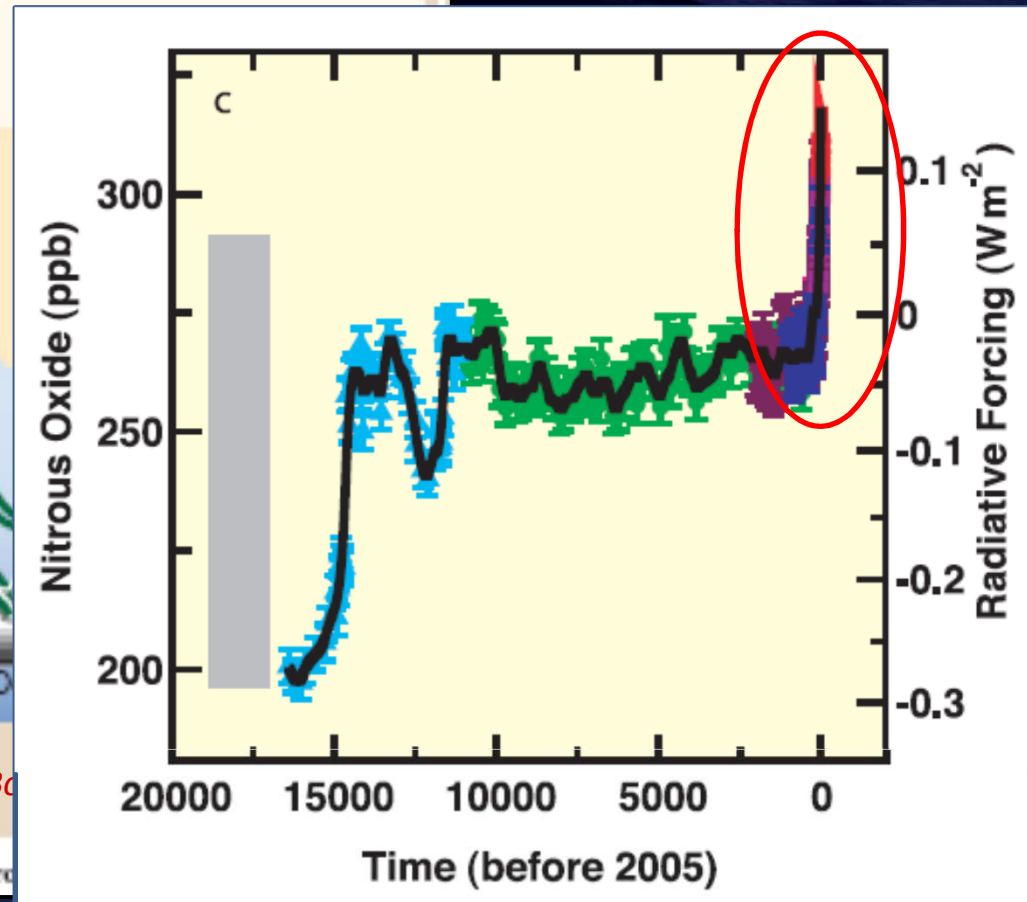
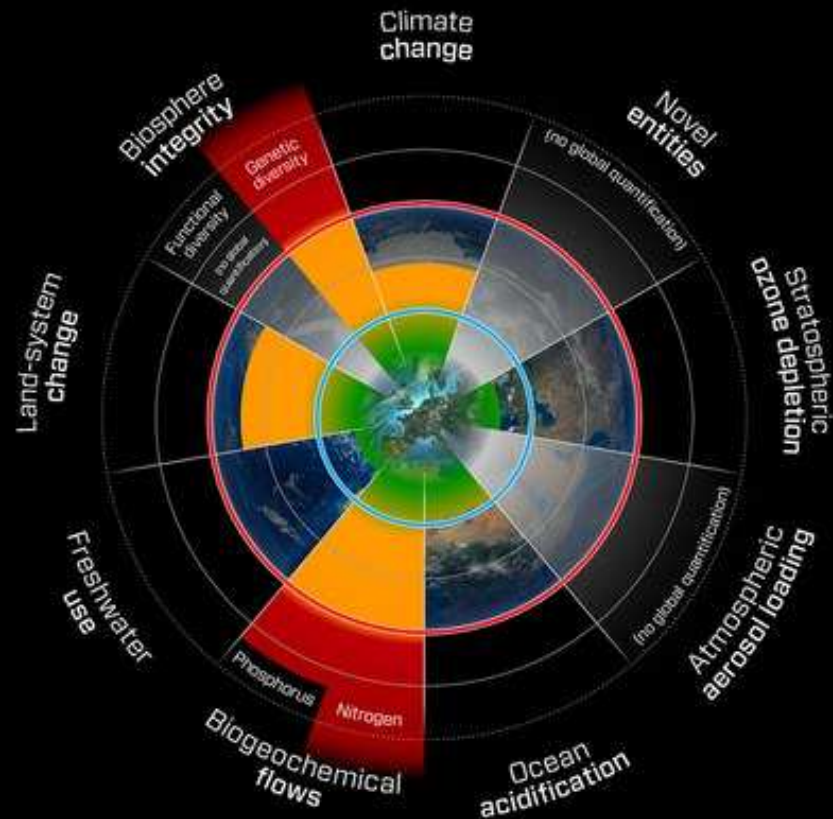


Figure 1 'Hole-in-the-pipe' model of the regulation of trace-gas pro



Planetary Boundaries

A safe operating space for humanity



- Beyond zone of uncertainty (high risk)
- In zone of uncertainty (increasing risk)
- Below boundary (safe)
- Boundary not yet quantified

Earth at Night

More information available at:

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/apod.html>

Astronomy Picture of the Day

2002 August 11

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>

https://www.pik-potsdam.de/news/press-releases/four-of-nine-planetary-boundaries-now-crossed?set_language=en
<http://www.sciencemag.org/content/347/6223/1259855.abstract>

...warum plötzlich "Biokohle" ...?

Paradigmenwechsel:
*Atmosphäre ≠ billige Müllkippe
des Energiestoffwechsels
unserer Gesellschaft*



Terra preta, Amazonas-Schwarzerde (ADE): Geschichte und Verbreitung

Francisco de Orellana (* 1511 in Trujillo, Spanien; † 1546)

- Erster Europäer der die Amazonasregion bereiste (Rio Negro)

- Name "Amazonas": er behauptete Amazonen gesehen zu haben



Ferralsol
(Oxisol)

Antroposol
(Terra Preta)

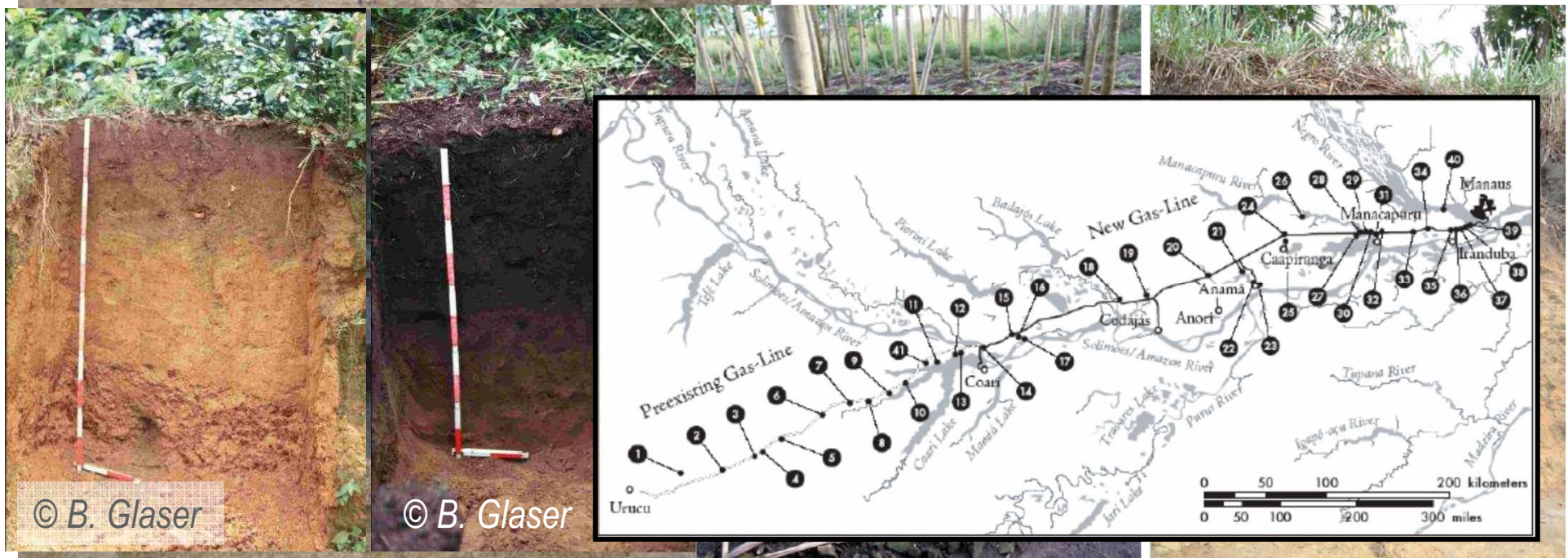
Verbreitungsgebiet ADE bzw. TP

Terra preta, Amazonas-Schwarzerde (ADE): Geschichte und Verbreitung

Francisco de Orellana (* 1511 in Trujillo, Spanien; † 1546)

- Erster Europäer der die Amazonasregion bereiste (Rio Negro)

- Name "Amazonas": er behauptete Amazonen gesehen zu haben



Ferralsol
(Oxisol)

Antroposol
(Terra Preta)

Verbreitungsgebiet ADE bzw. TP

Die drei "Biokohle-Hoffnungen":



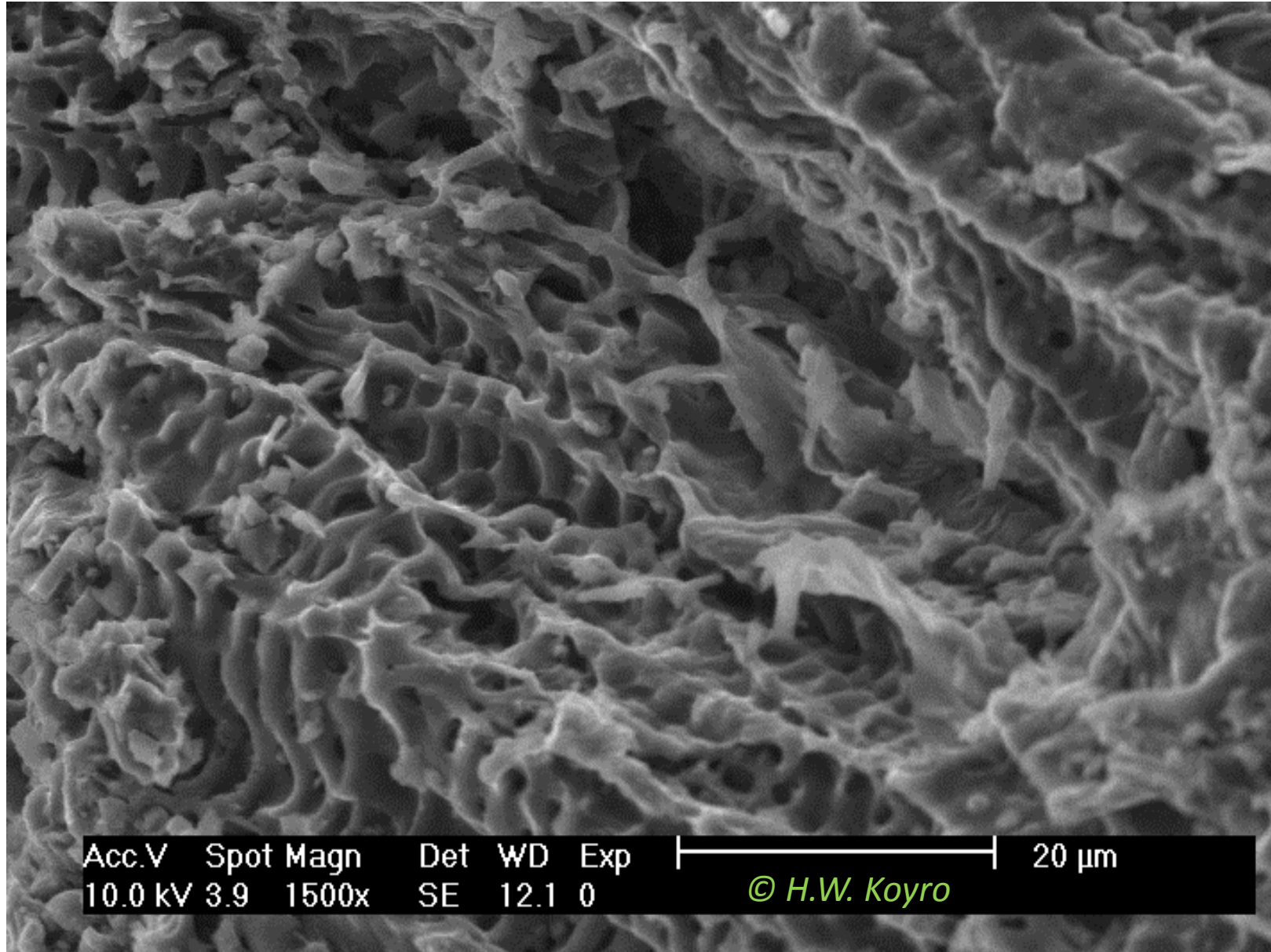
Biochar – eine win-win-win Strategie...?



CO₂-negative Energie-Erzeugung

Bodenverbesserung, Ertragssteigerung(?)

THG-Emissionsminderung, C-Sequestrierung





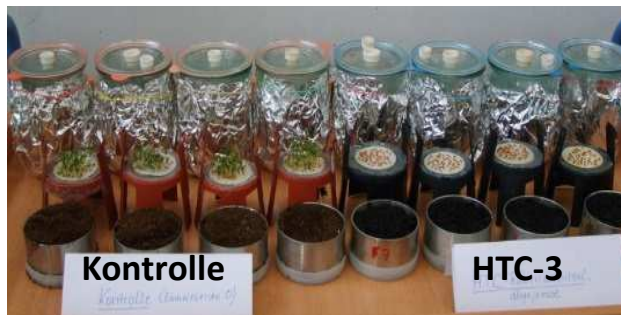
Durchgeführte Untersuchungen:

- 1. Kurzzeit-Untersuchungen:** Biotox-Tests (Kompostgüte; DIN-ISO)
- 2. Mittelfristige Untersuchungen:** Zwei Inkubationsexperimente (C-Stabilität, THG-Flüsse (N_2O , CH_4))
- 3. Langfristiger Feldversuch:** Anlage; Bodenbedingungen, Biomasse-Ertrag, Futtermittleignung, kontinuierliche THG-Flussmessungen, Aggregation, Kohle-C Verbleib
- 4. Zusatzuntersuchungen:** NH_3 -Emissionen; Pflanzversuch; Bodenmikrobiologie; N-Retention (Ausblicke)



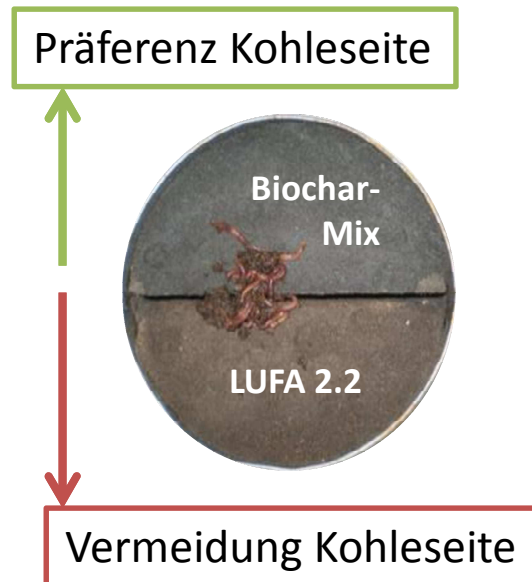
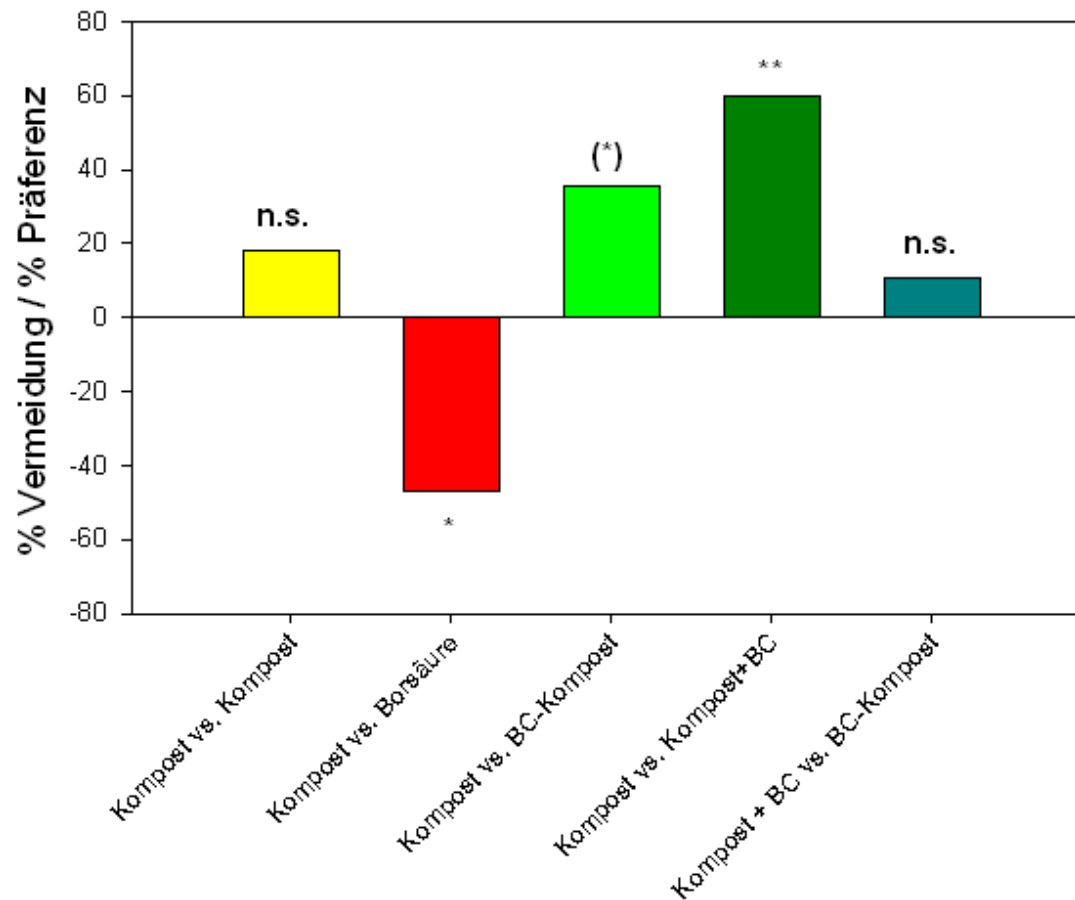
Durchgeführte Untersuchungen:

1. Kurzzeit-Tests: Biotox-Tests (Kompostgüte; DIN-ISO)





Biotox-Tests: Bsp. Regenwurmtest



Testen von
 Kompost
 vs. Biochar-Kompost



Biotox-Tests:

Char type	feedstock	barley		salad		cress		earthworms	Comment: char was... (...relatively...)
		germin.	growth	germin.	growth	germin.	growth	behavior	
BC-1	peanut hull				(+)			++	nutrient-rich
BC-2	wood (gasifier)	(+)				(+)			PAH contaminated
BC-3	wheat straw		(+)	+	++			++	low-temp. (400°C)
BC-8	greenwaste				++		(+)	(+/-)	no pollutants detected
BC-9	brewery draff		(+)		++				no pollutants detected
CC-1	beech wood	(+)			(+)				barbeque charcoal
CC-2	beech wood logs	(+/-)	(+/-)		(+/-)	not tested		(+/-)	high-temp., ash rich
BC-5	sugar beet chips	(-)						(+/-)	all products: beet root feedstock
HC-3	wet sugar beet-root pulp					(+/-)	(+/-)		
HC-4 *	wet sugar beet-root pulp	not tested		not tested				not tested	
HC-5 *	dried sugar beet-root chips					(+/-)	(+/-)		
HC-6	bark and wood mulch		(+)	(-)	(+/-)	(+/-)	(+/-)		best of all hydrochars
BC-7 *	<i>Miscanthus</i> chaff				(+/-)			++	out of the same Fst.: BC is o.k., HTC very bad
HC-7	<i>Miscanthus</i> chaff					(+/-)	(+/-)		
LC-1	Meat-and-bone meal							(+/-)	first set contaminated, second o.k. due to producer
LC-2	Meat-and-bone meal	(+/-)	(+/-)		(+/-)			(+/-)	
		<p>Color code:</p> <p>BC = Biochar: Pyrolysis</p> <p>HC = Hydrochar: HTC process</p> <p>LC = low temp. conversion char</p> <p>* <i>vapor-thermally carbonized</i></p> <p> = char o.k., no negative effects (inhibition / reduction) (+) = tendency towards improvement (p<0.1) +, ++ = significantly improved or preferred (+/-) = positive in low conc., negative in high conc; OR: negative when fresh, o.k. when aged = significantly negative effects / significant avoidance; (+/-) strength of "negative" depending on age </p>							

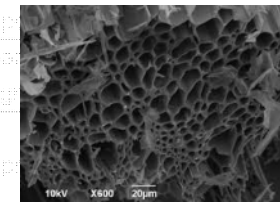


1. Kurzzeit-Tests: Biotox-Tests – FAZIT:

Biochar:

(geruchlos)

- Biochars größtenteils problemfrei bis positiv
- Modifizierte Biotox-Tests detektierten vorhandene „Probleme“
- Mögliche Probleme : PAK's (Vergaserkohlen), Schwermetalle
- Probleme waren nicht: PCBs, Dioxine usw.



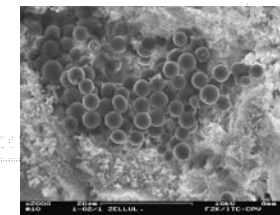
HTC-Kohle:

(spezieller Geruch)

- HTC-Kohlen meist keim- und wachstums-hemmend; ggf. mutagene Wirkung (Busch et al. 2013)



- Schadstoff(e) ? → **Biotox-Tests sinnvoll!**
- Schadstoff(e) abbaubar durch Co-Kompostierung !



- Frische HTC-Kohle: hoher labiler C-Anteil: starke N-Immobilisierung



**Feed-
stock**

**HTC
Dampf**

**Bio-
char**



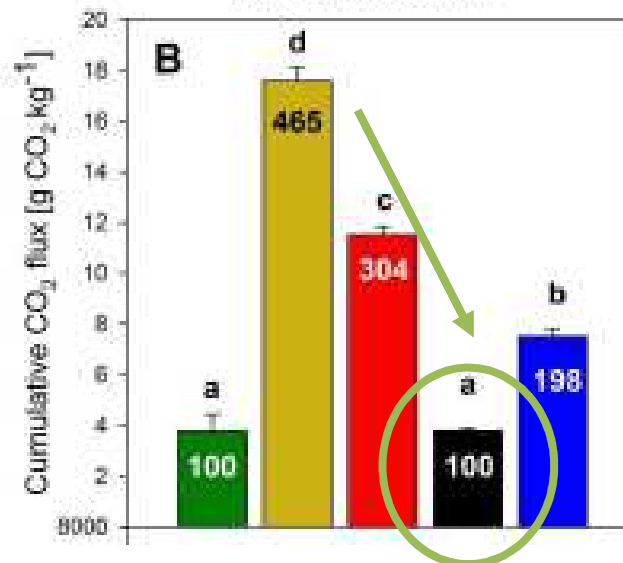
CO₂ efflux
(Kohle-C und
Boden-C Abbau)

N₂O Emiss.
(v.a. nach Gülle-
Düngung)

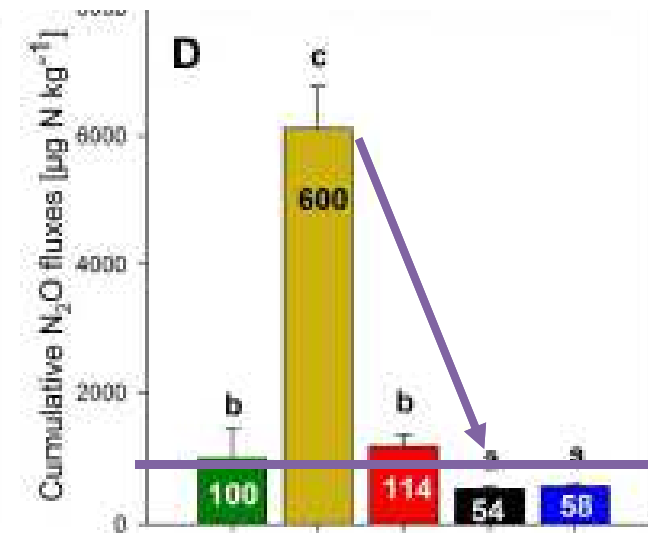


Inkubationsstudie I

CO₂ (4 Monate)



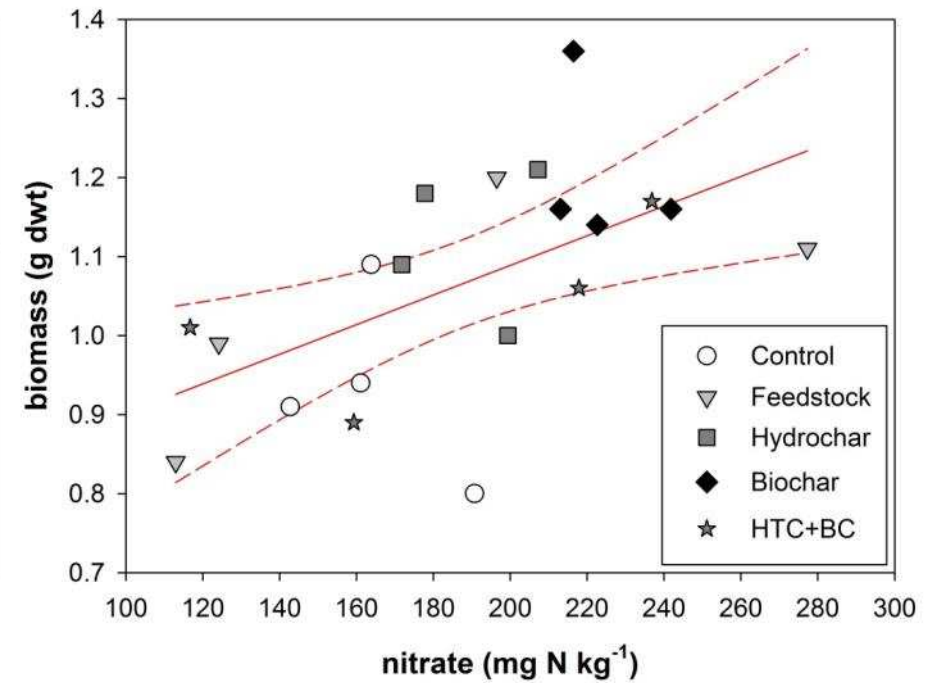
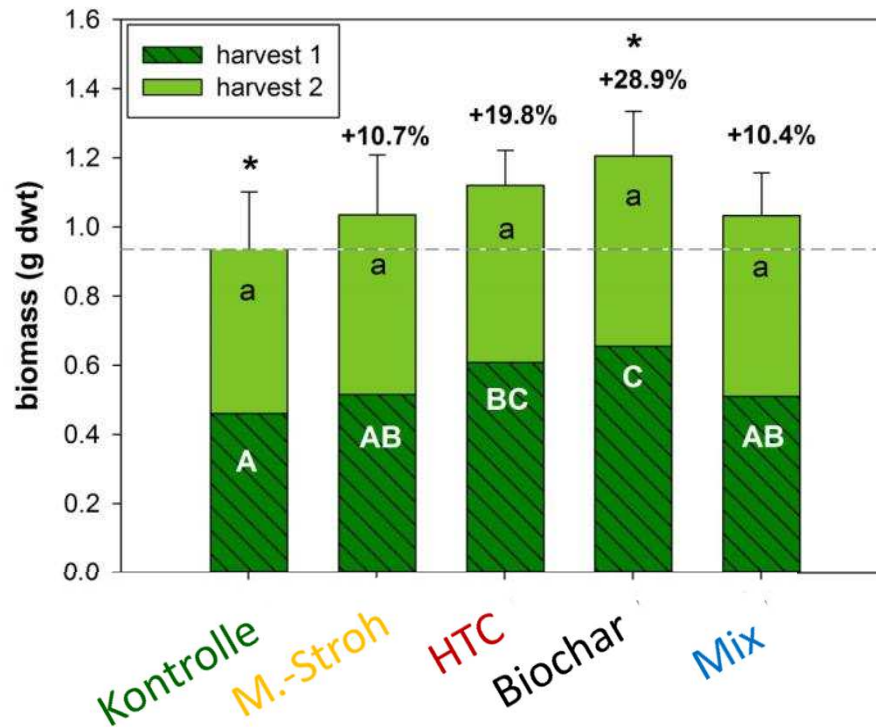
N₂O (4 Monate)



Kontrolle (Boden pur); Feedstock (Auggangsmaterial, Strohartig)
HTC-Kohle (hydrothermal carbonisiert); Biochar (pyrolysiert)
(HTC:BC Mixtur 1:1)



Inkubationsstudie I: Weidelgras-Wachstum





Inkubationsstudie II „Die Kohle klein kriegen“

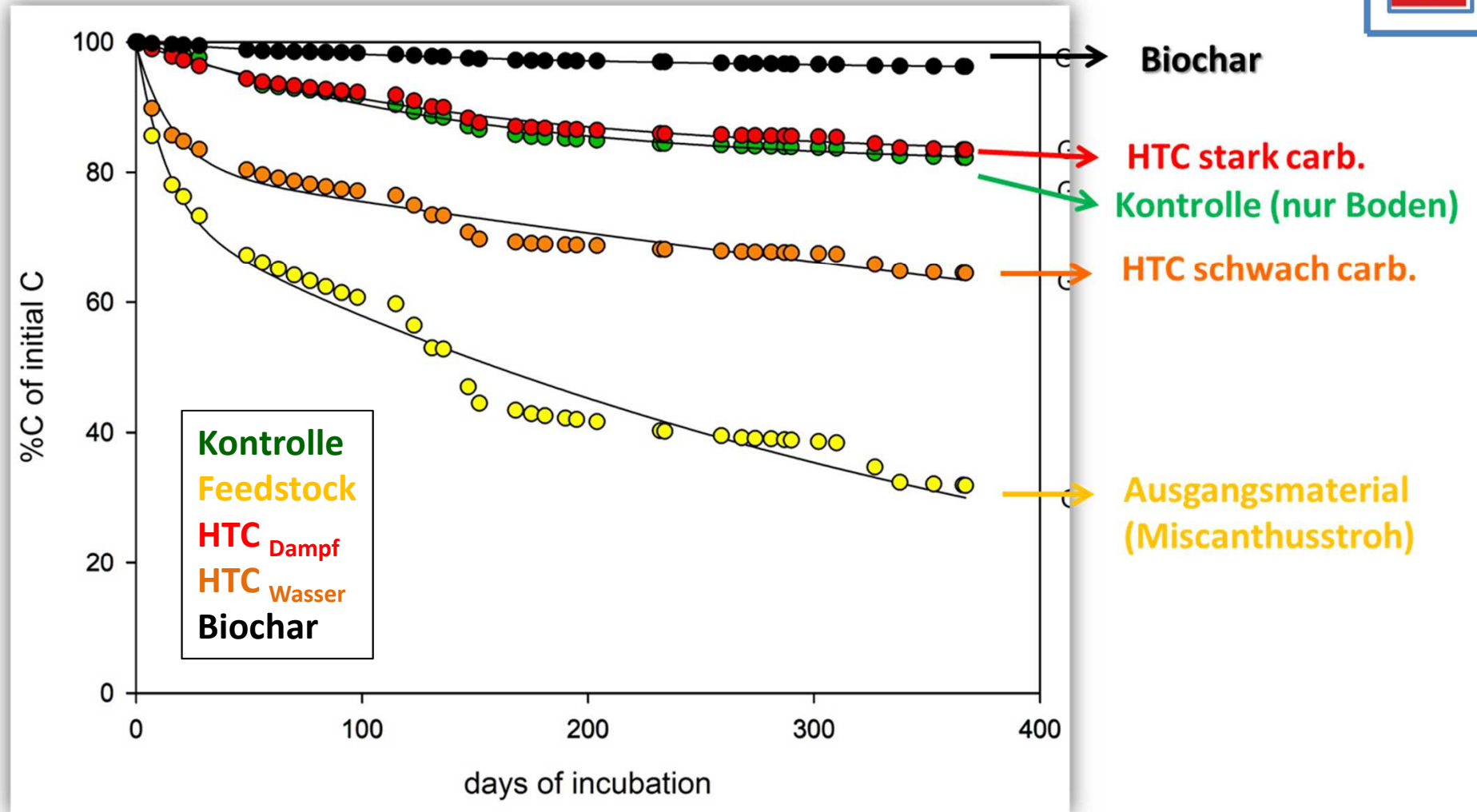
Kontrolle

M.-Stroh

HTC_{dampf}

HTC_{wasser}

Biochar





2. Mittelfristige Inkubationsstudien: Fazit

- Kohlenstoff in den Boden? - HTC-Kohle und Feedstock weniger geeignet: **M.-Stroh** < **HTC** << **Biochar**
- **Abbaubarkeit aus Materialeigenschaften gut vorhersagbar**
- Die kumulativen N₂O-Emissionen lassen sich aus den kumulativen CO₂-Emissionen vorhersagen.
- **Biochar konnte N₂O-Emissionen reduzieren** (Meta-Studie)
- Methanaufnahme in den Boden wird durch Carbonisat- und Feedstock-Zugabe gestärkt



Figure 1-1: Study site as viewed from above. The red rectangles highlight the four blocks of the biochar experiment, picture taken from google maps (<https://www.google.de/maps>; last access: 07.01.2015).





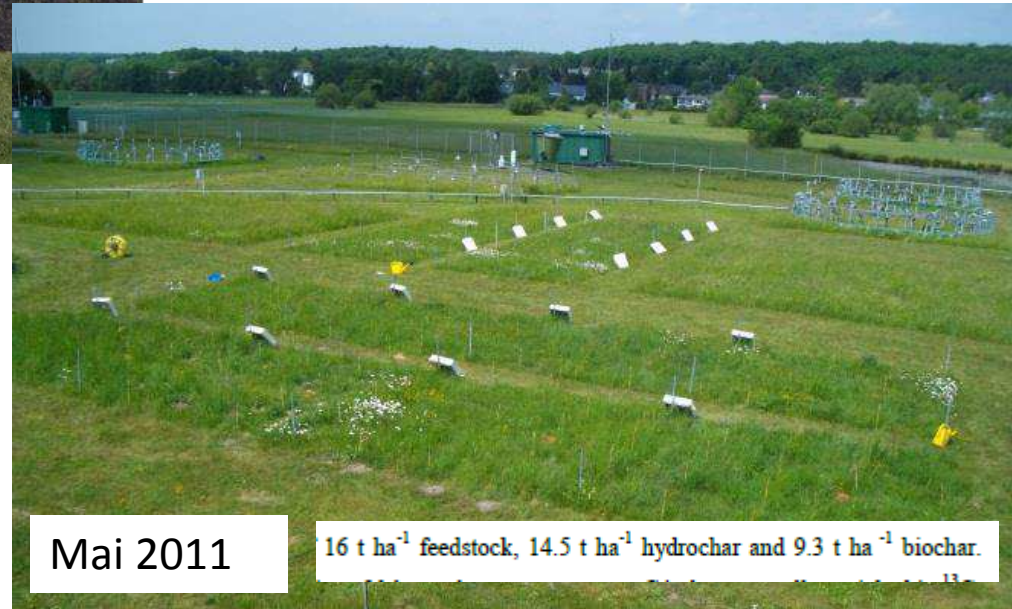
April 2011



Figur
 exper



April 2012



Mai 2011

16 t ha⁻¹ feedstock, 14.5 t ha⁻¹ hydrochar and 9.3 t ha⁻¹ biochar.

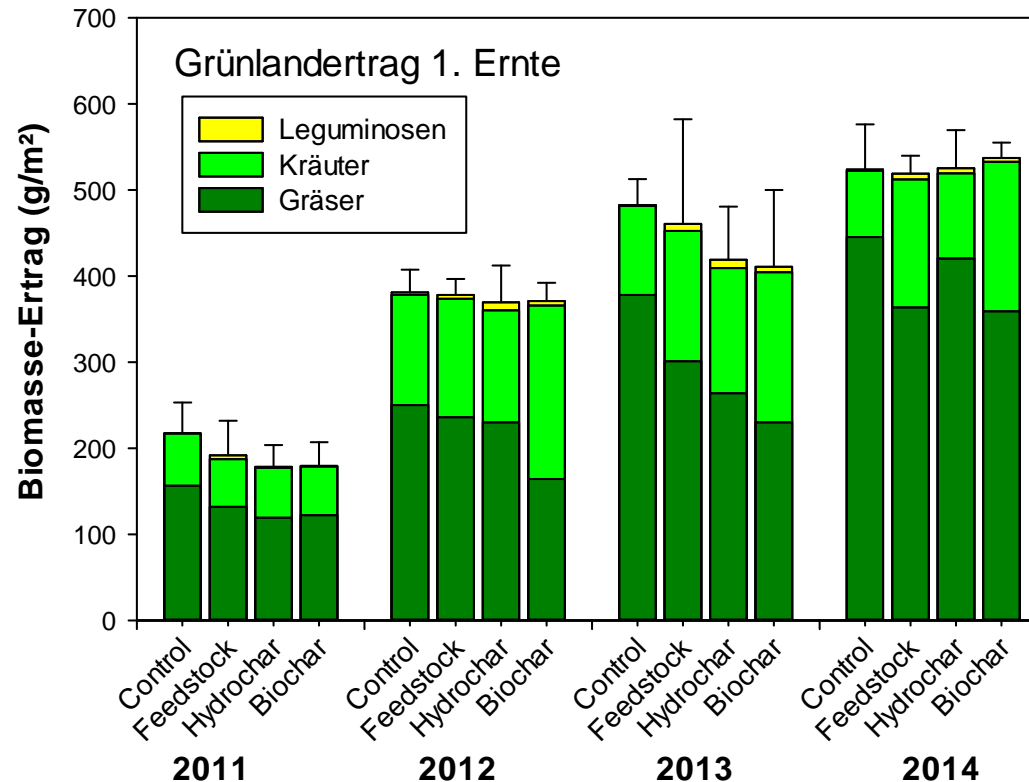




Schimmelpfennig et al. 2014
(Jahre 2011-2012)

Zwei Ernten pro Jahr:
Mai und Oktober

Zwei Gülle-Düngungen
pro Jahr (100 – 140 kg N/ha)



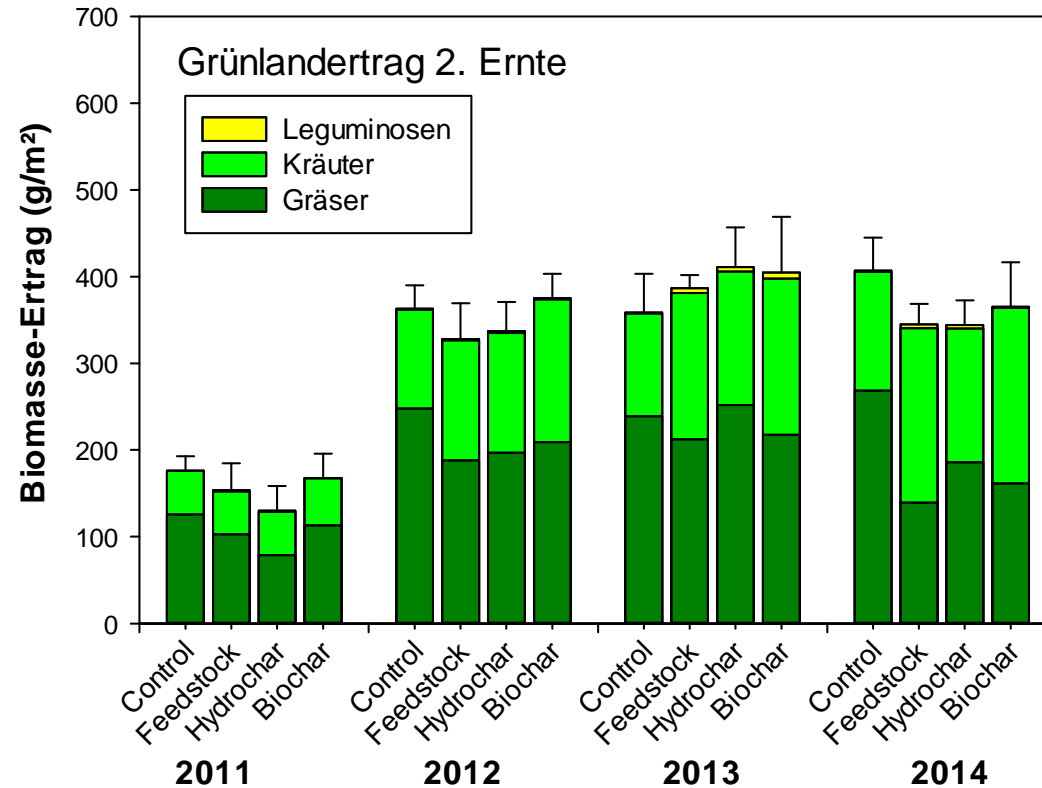
- Jahre 2011-2012: Ertragsminderung mit HTC-Kohle
- Jahre 2012-2014: Verschiebung Gräser → Kräuter mit Biochar



*Schimmelpfennig
et al. 2014
(Jahre 2011-2012)*

Zwei Ernten pro Jahr:
Mai und Oktober

Zwei Gülle-Düngungen
pro Jahr (100 – 140 kg N/ha)



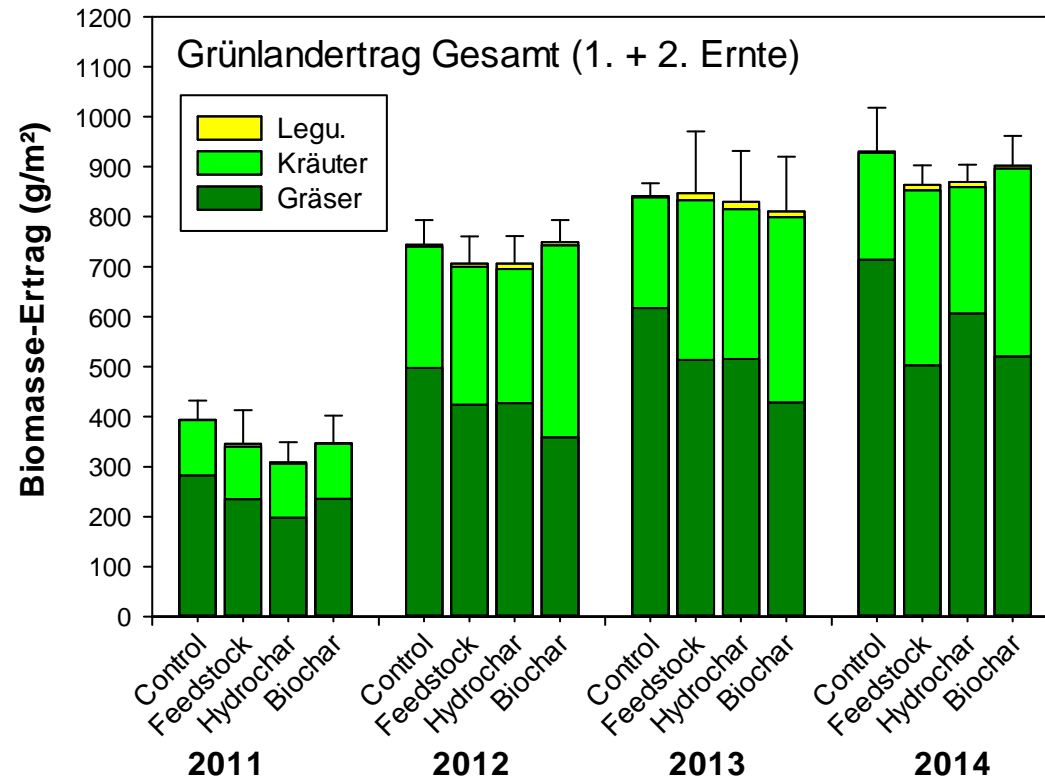
- Jahre 2011-2012: Ertragsminderung mit HTC-Kohle
- Jahre 2012-2014: Verschiebung Gräser → Kräuter mit Biochar



*Schimmelpfennig
et al. 2014
(Jahre 2011-2012)*

Zwei Ernten pro Jahr:
Mai und Oktober

Zwei Gülle-Düngungen
pro Jahr (100 – 140 kg N/ha)



- Jahre 2011-2012: Ertragsminderung mit HTC-Kohle
- Jahre 2012-2014: Verschiebung Gräser → Kräuter mit Biochar



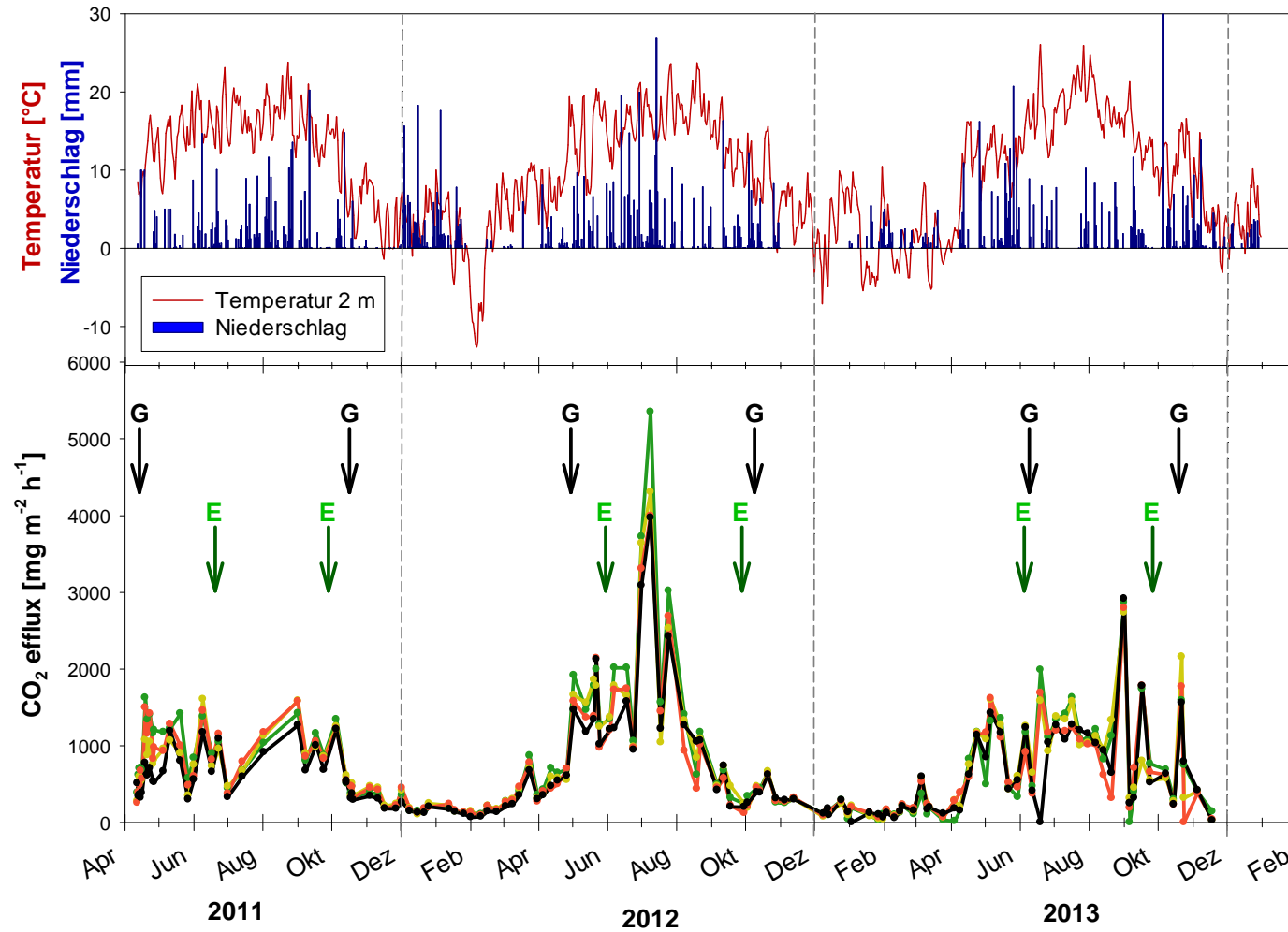
*Schimmelpfennig
et al. 2014
(Jahre 2011-2012)*

Zwei Ernten pro Jahr:
Mai und Oktober

Zwei Gülle-Düngungen
pro Jahr (100 – 140 kg N/ha)

- Jahre 2011-2012: Ertragsminderung mit HTC-Kohle
- Jahre 2012-2014: Verschiebung Gräser → Kräuter mit Biochar
- Nährstoffgehalte, Nährstoffentzüge: Keine Masse- oder Qualitätsveränderungen durch C-Additive (*Schimmelpfennig et al. 2015*)
- Signifikante Steigerung des K^+ Gehalts mit Biochar (Asche-Effekt), einige Mikronährstoffe verbessert







Mikrobielle Biomasse:

- Basalatmung gesteigert mit Biochar
- Mikrobielle Biomasse gesteigert mit Biochar
- Respiratorische Effizienz Kontrolle = Biochar; mit Feedstock schlechter

Table 4-2: Basal and substrate induced respiration rates, soil microbial biomass (SMB) and qCO_2 value [$\mu g CO_2 \mu g^{-1} SMB h^{-1}$] of the different soil mixtures (Mean \pm standard deviation). Letters depict significant differences between the treatments ($p < 0.05$). The qCO_2 value gives the respiration of every ng microbial biomass per hour during basal respiration. Note different mass unit in qCO_2 .

soil	basal respiration [$\mu g CO_2 g^{-1} h^{-1}$]	respiration during plateau period (SIR) [$\mu g CO_2 g^{-1} h^{-1}$]	SMB (SIR) [$\mu g g_{soil}^{-1}$]	qCO_2 during basal respiration [$ng CO_2 \mu g^{-1} SMB h^{-1}$]
control	6.70 ± 1.30^d	85.93 ± 16.78^{bc}	1770.64 ± 345.75^b	2.53 ± 0.89^b
feedstock	9.03 ± 1.46^b	69.00 ± 24.8^c	1425.06 ± 510.79^b	4.7 ± 0.23^a
HTC	8.09 ± 1.65^c	93.72 ± 38.15^b	1931.05 ± 785.91^b	3.14 ± 0.18^{ab}
biochar	10.25 ± 1.80^a	136.26 ± 45.32^a	2807.34 ± 933.61^a	2.49 ± 0.85^b



Blau = große
Wasserstabile
Aggregate = „gut“

Abnahme durch
Frost – Tau

Schnellerer
Wiederaufbau mit
allen C-Additiven

POM

09. Juni 2015



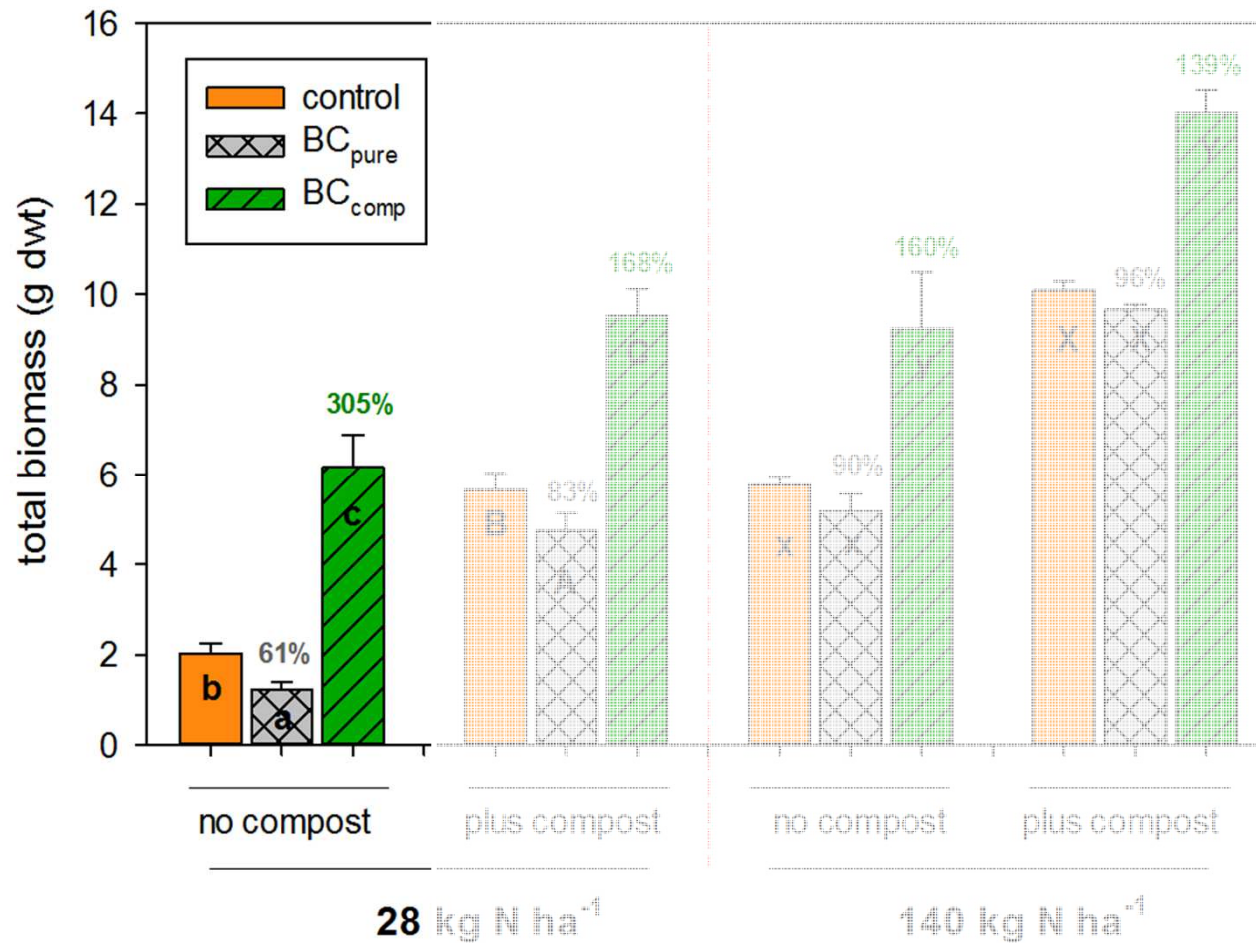


Schlussfolgerungen:

- **Biotox-Tests:** HTC-Kohlen u. U. problematisch, Biochars nicht; saubere Herstellung möglich (EBC)
- **Inkubationen:** Reduktion N₂O-Emissionen möglich, im Feld hier (noch) nicht nachweisbar
- **Feldversuch:** Erträge unverändert, Artenverschiebungen, Nährstoffkonzentrationen und –entzüge unverändert gut (*Schimmelpfennig et al. 2015*)
- **Generell:** Nur Biochar zur C-Sequestrierung geeignet; keine Risiken, die nicht beherrschbar wären; aber: keine sofortigen ökonomischen Anreize garantiert
- **Aussichtsreich:** Nitratretention durch (kompostiertes) Biochar



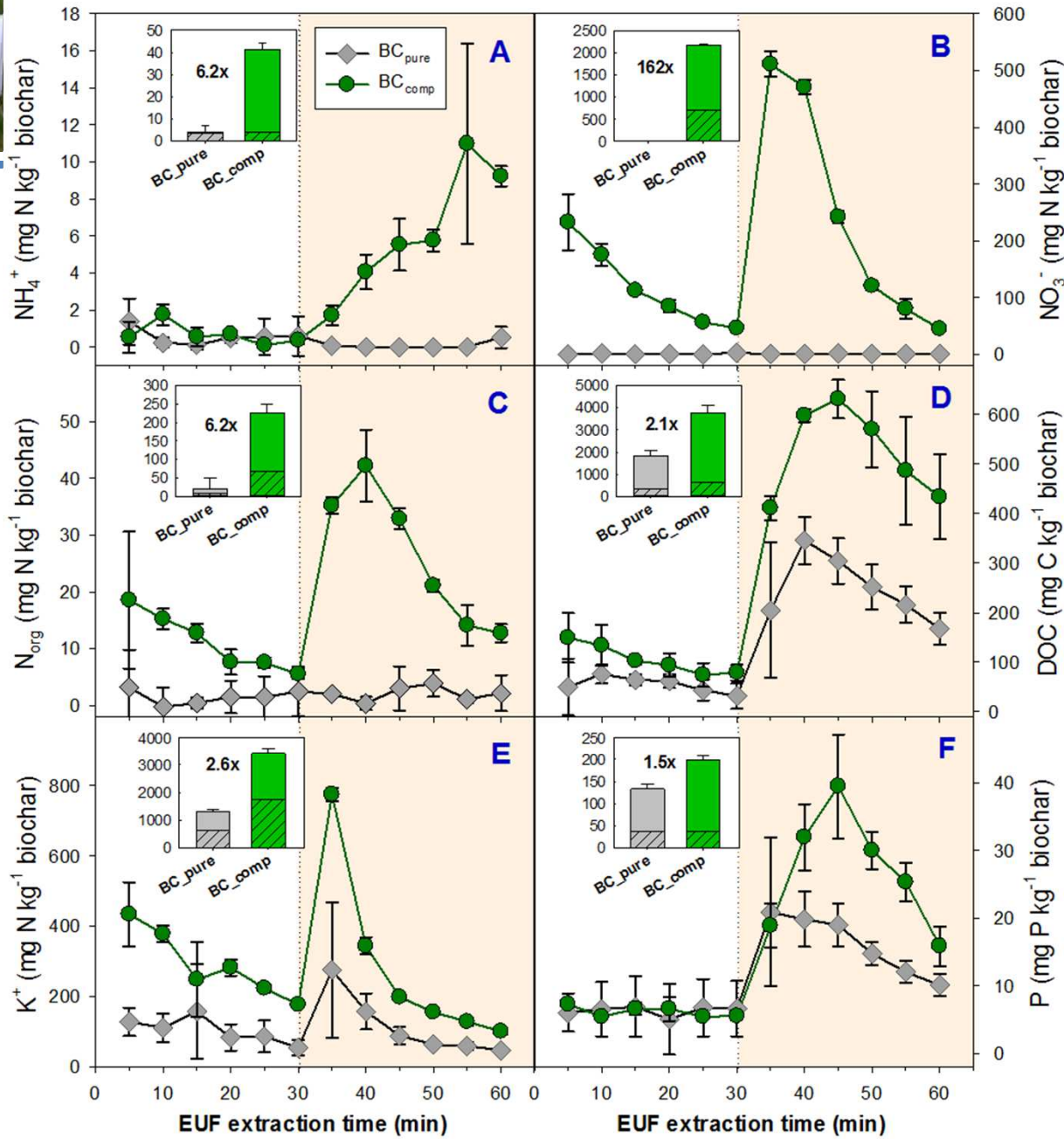
Ausblicke:



Artikel kürzlich
erschienen (9.6.2015):

<http://www.nature.com/srep/2015/150609/srep11080/full/srep11080.html>

(Kammann et al., 2015,
Scientific Reports)



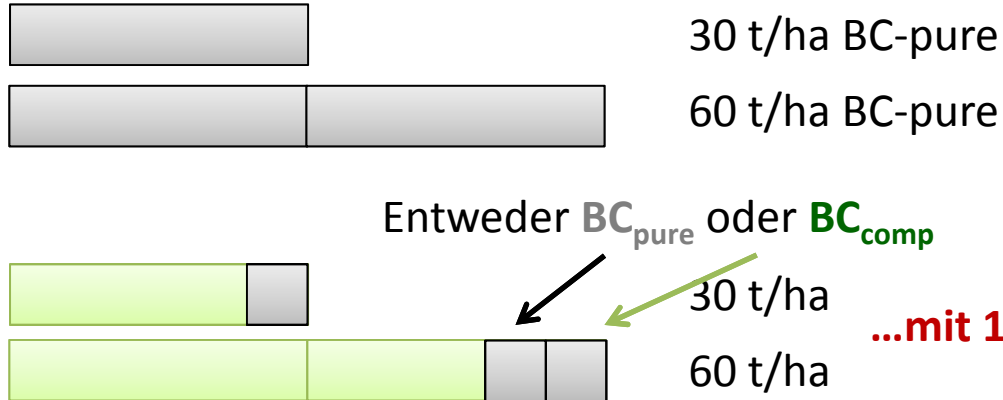


- Volldünger 40 kg/ha (1.2 g/Cont.)
- KristalonTM, YARA, Oslo
- N-P-K-Mg (19-6-20-3)

- Riesling Klon 198-30 Gm,
- Unterlage SO 4, Klon 47 Gm
- 3-jährige Pflanzen, 10-12 Augen
- Sandig-arter Ober- u. Unterboden

Biochar im Weinbau

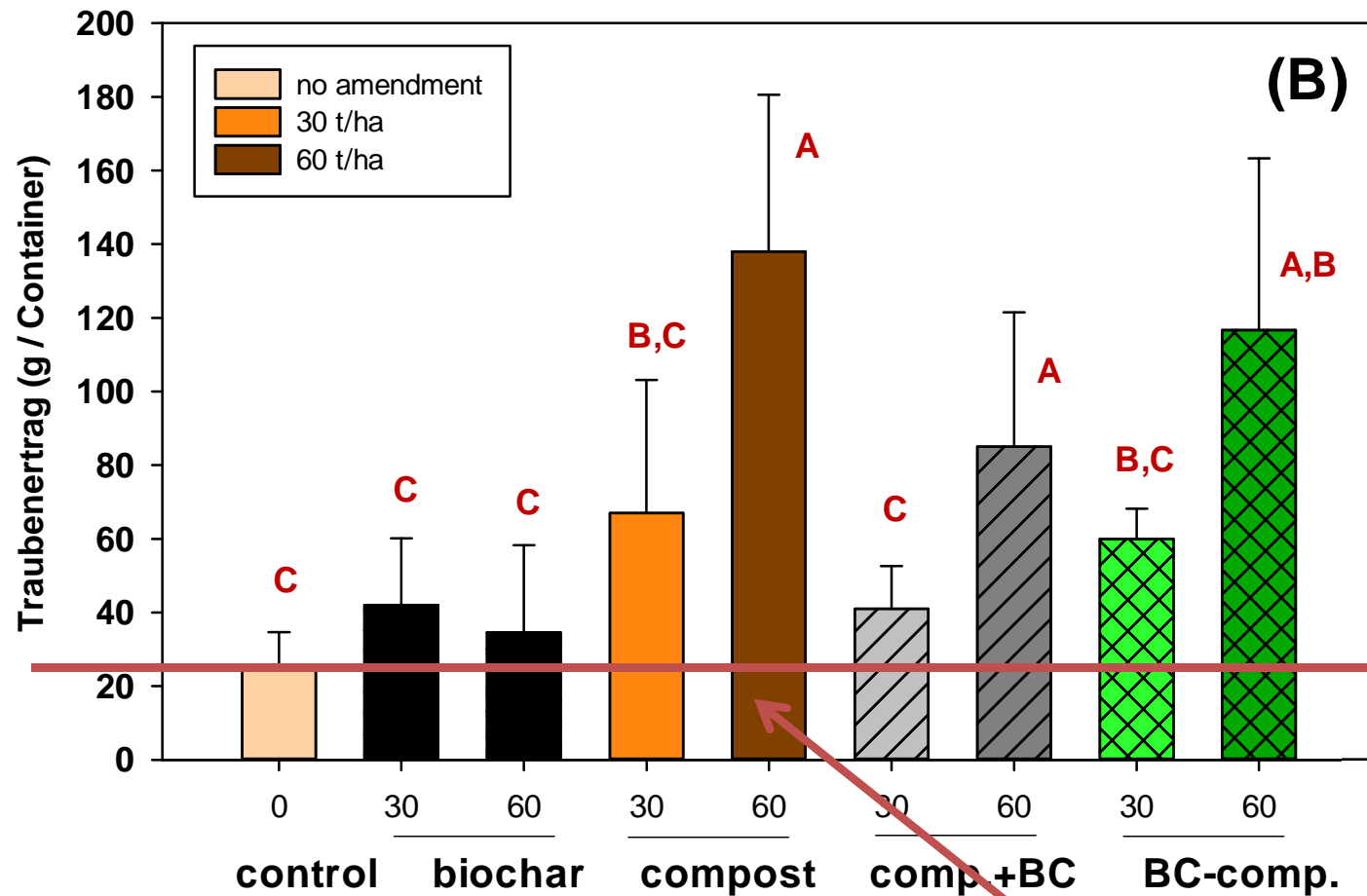




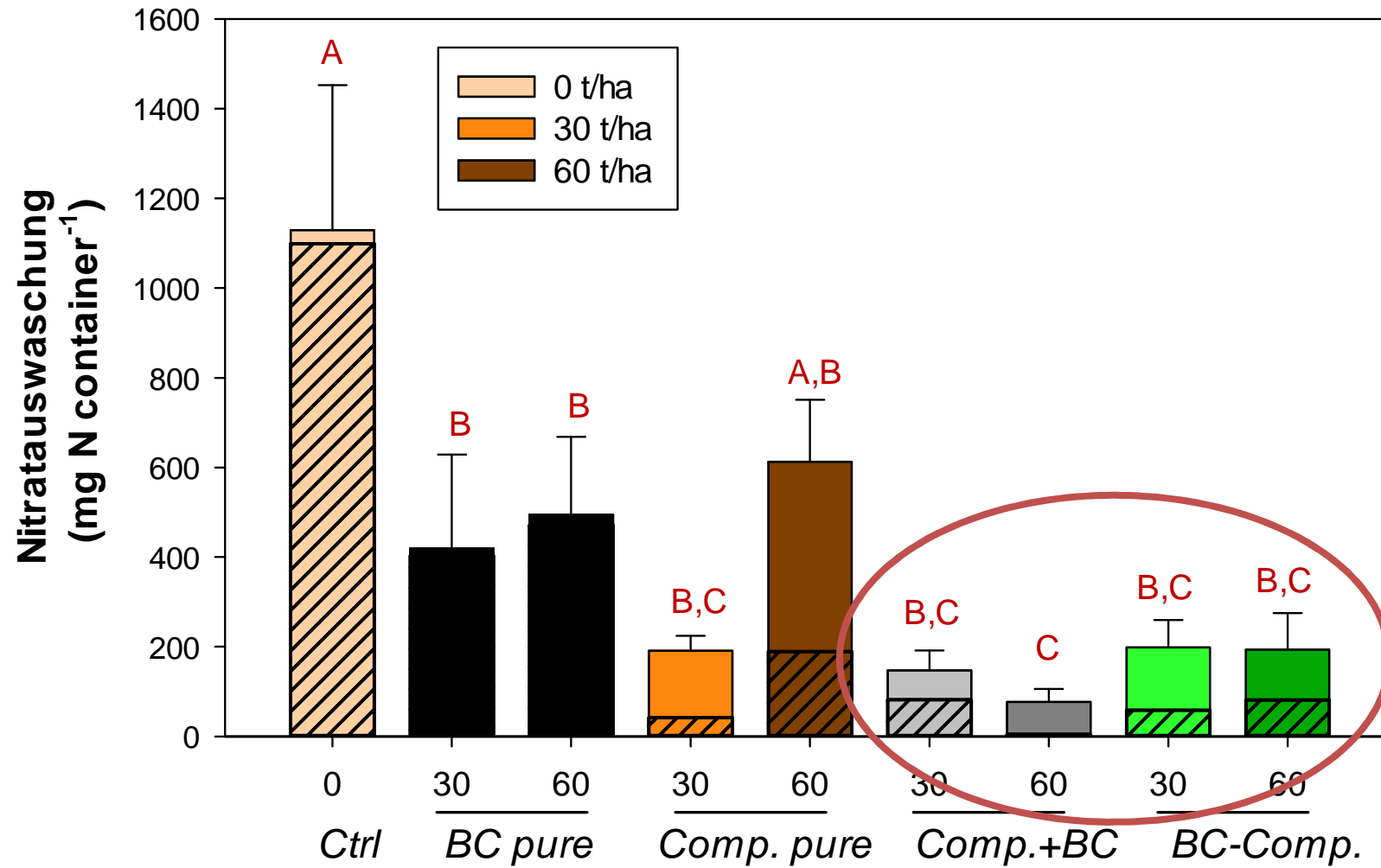
- Riesling Klon 198-30 Gm,
- Unterlage SO 4, Klon 47 Gm
- 3-jährige Pflanzen, 10-12 Augen
- Sandig-armer Ober- u. Unterboden

...mit 11% BC darin





Mostgewichte: Zwischen Spätlese und Auslese (Ausnahme: 60 t/ha Kompost)



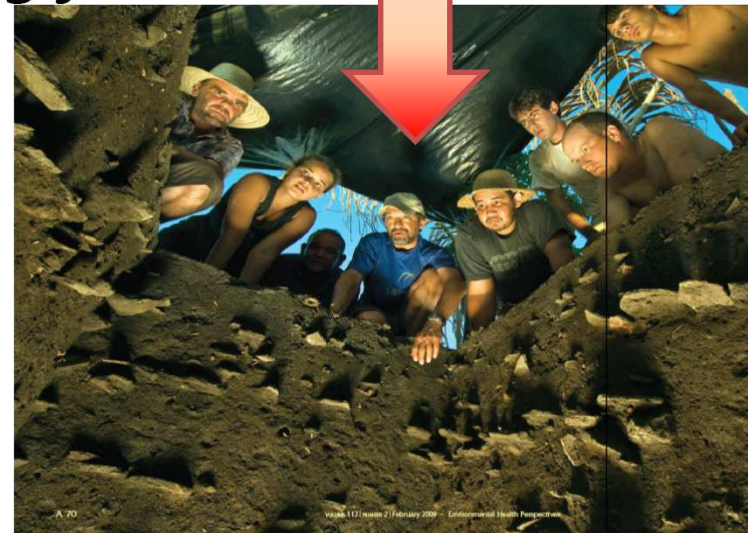


Ausblicke:





Biochar – das Werkzeug formen!





**VIELEN
DANK**

And many thanks go to....:

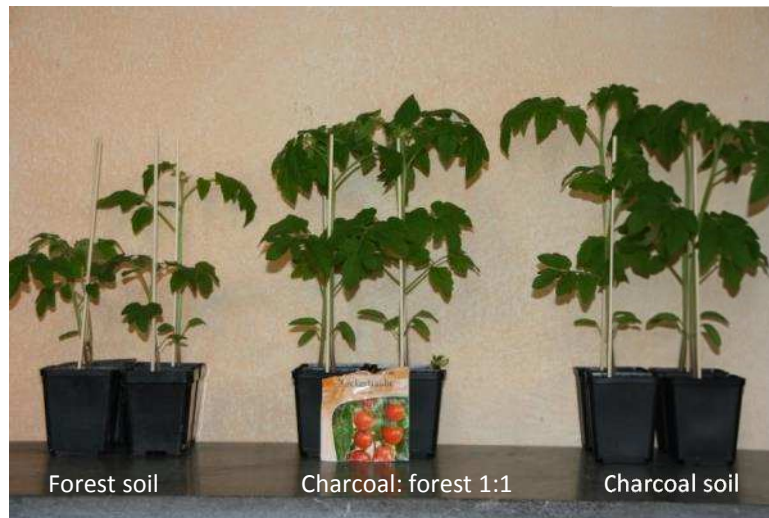
HLUG - FZK

Nicol Strasilla, Natascha Brecht, Andreas Haller, Gerhard Mayer, Roger Cresswell, Mario Tolksdorf and many others!

Additional funding sources

DFG, DAAD, Uni Gießen, HS Weisenheim, EU COST Action

Char



**....FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT!**

...FRAGEN?