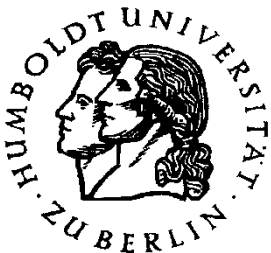


Biokohle

Ende der Bioraffineriekaskade
oder
Teil eines Wertschöpfungszyklus?

Prof. Dr. Reiner Brunsch



Kohlenstoffsequestrierung durch Menschen – seit Jahrtausenden

● Terra Preta

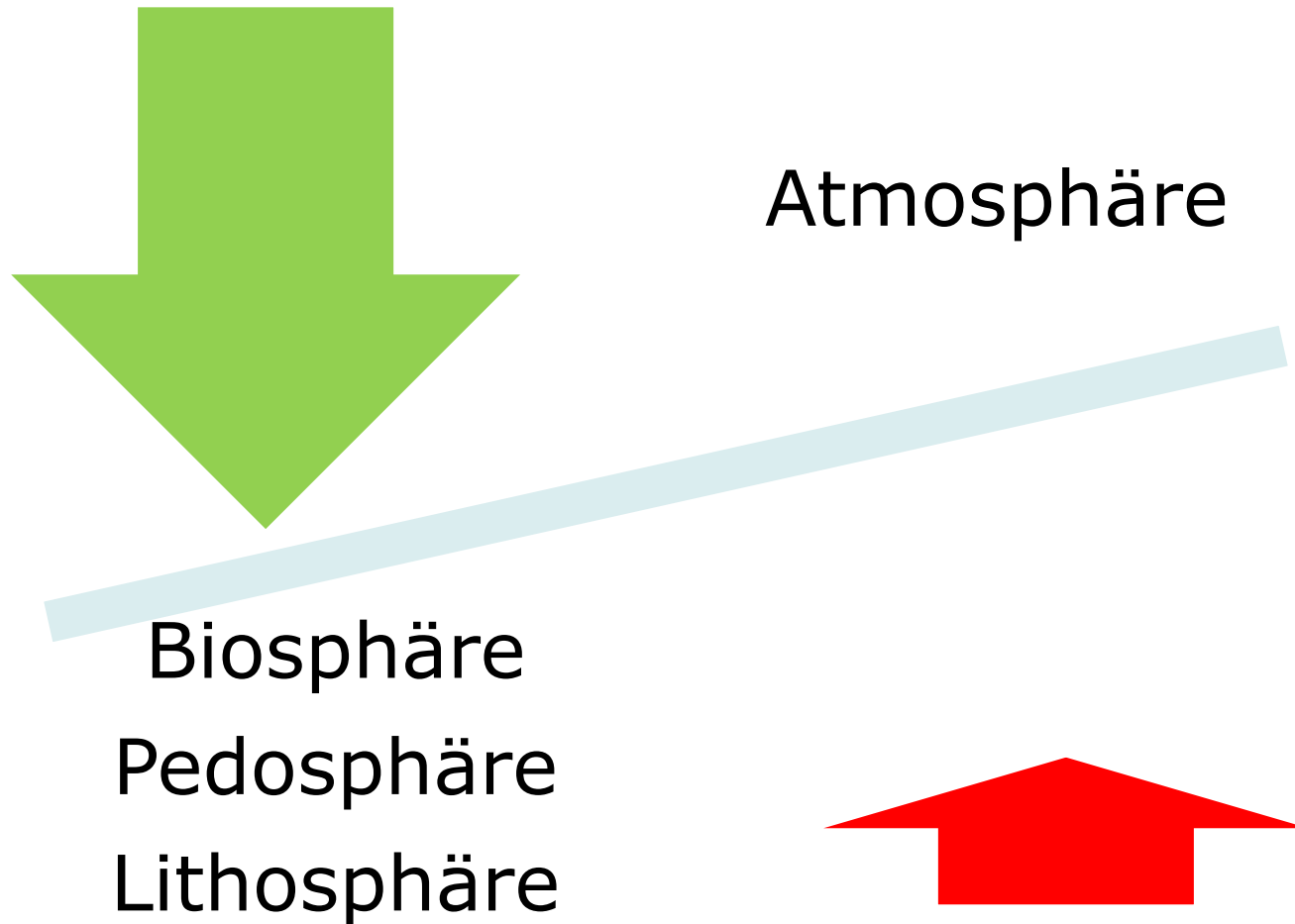


● Technische Karbonisierung



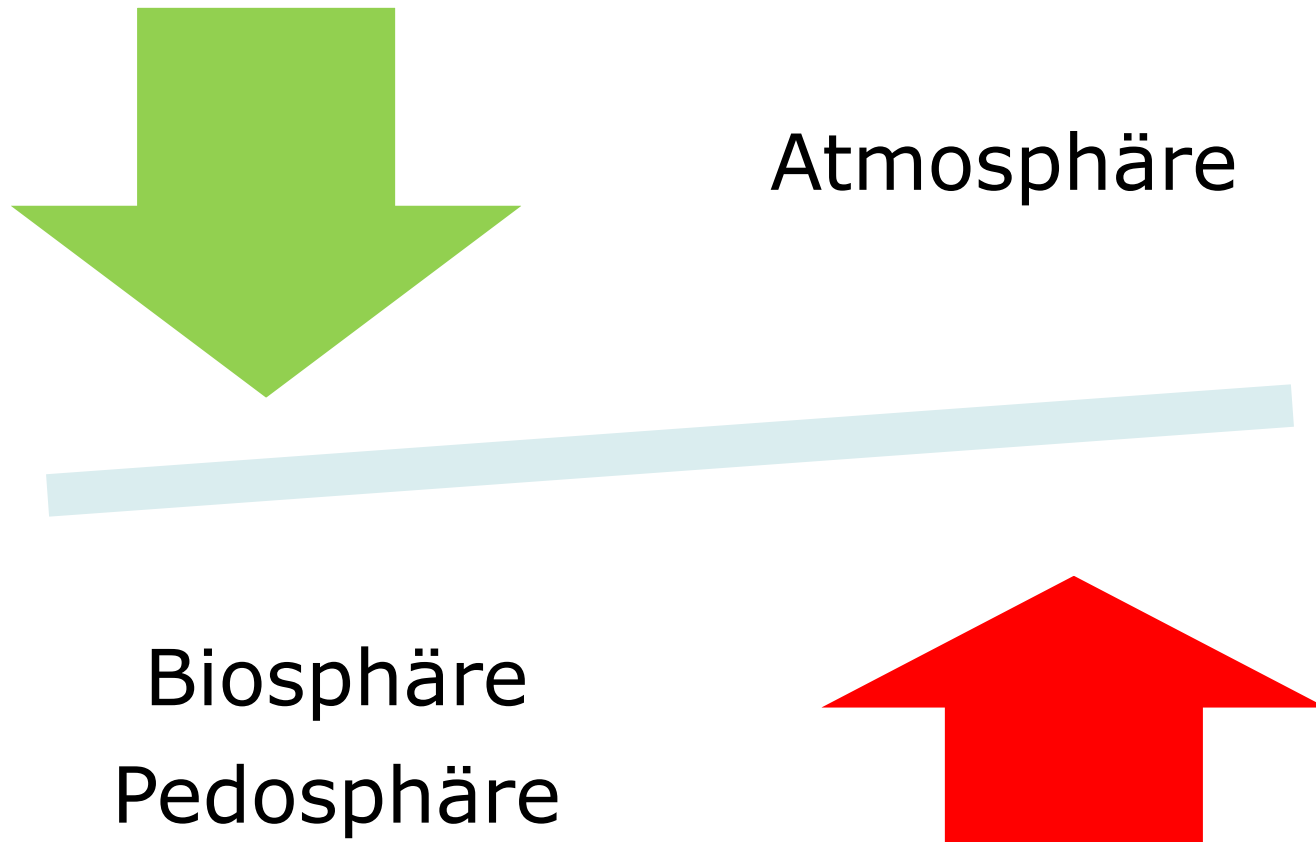
Kohlenstofffluss in Ur-Zeiten

Jahrmillionen ohne Menschen



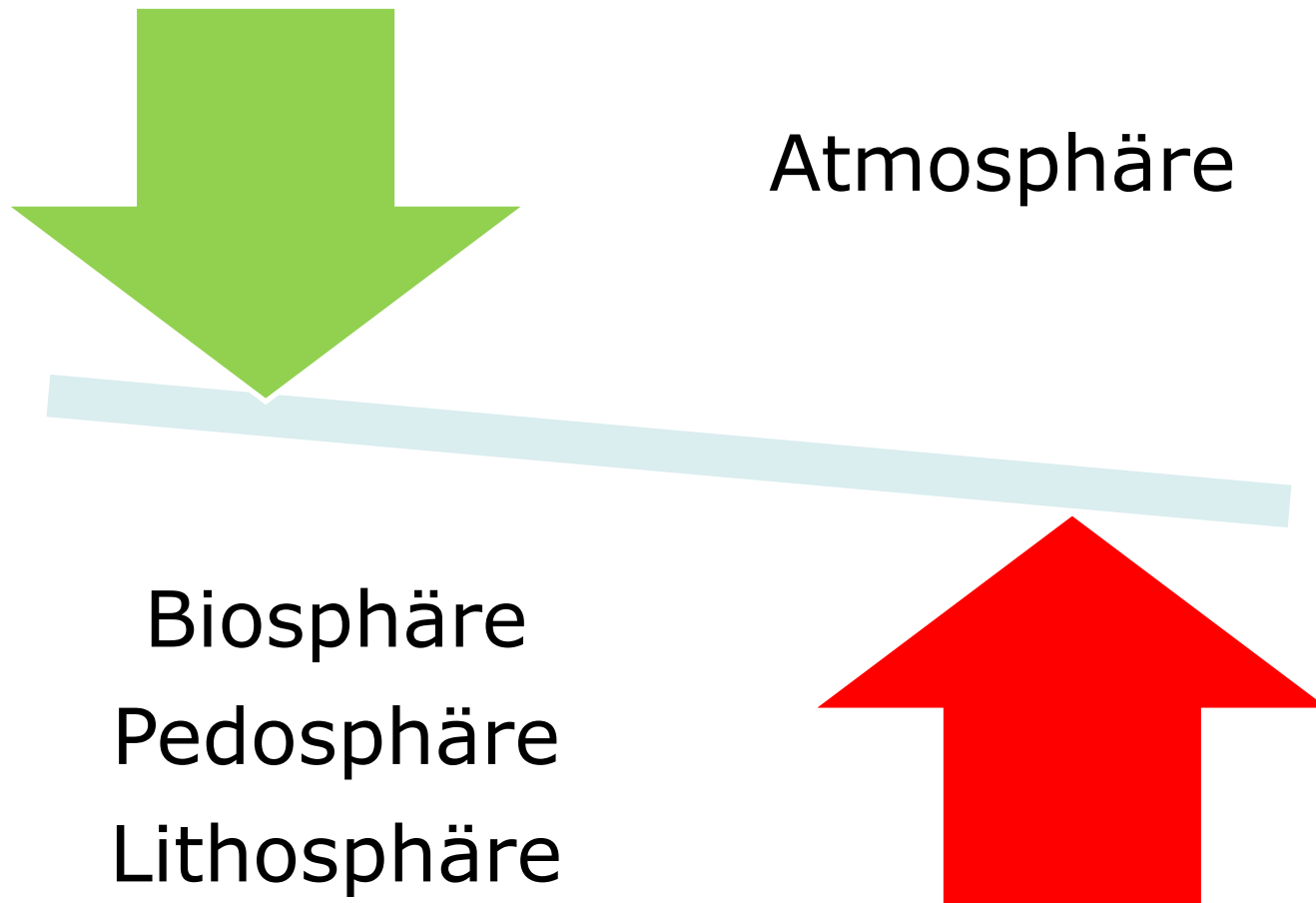
Kohlenstofffluss in der Vergangenheit

Jahrtausende mit Menschen



Kohlenstofffluss in der Gegenwart

200 Jahre Industrialisierung



Kohlenstoff in Zahlen

- Globale Kohlenstoffmenge 75 Millionen Gt C
- **Atmosphäre** (393 ppmv CO₂, 2012) ca. 800 Gt C
entspricht **0,001% des globalen C**,
empfindliche Reaktion auf veränderte Flussraten
- **Hydrosphäre** 38.000 Gt C
entspricht **0,05% des globalen C**
- **Lithosphäre 99,8% des globalen C**
- **Biosphäre** terrestrisch 800 Gt C, marine 3 Gt C
zusammen **0,001% des globalen C**

- **Kohlenstoff ist relativ seltenes Element im Universum 0,008%**
- **Kohlenstoff im menschlichen Körper 10,7%** 3.nach H u.O

Kurzfristiger organischer C-Kreislauf

- Photosynthese, Zellatmung, Gärung
 - Nettoprimärproduktion der Landpflanzen 60 Gt C/a
 - Nettoprimärproduktion mariner Systeme 10 Gt C/a
- außerdem C-Freisetzung durch Tiere und Destruenten 55 bis 60 Gt C/a

daneben

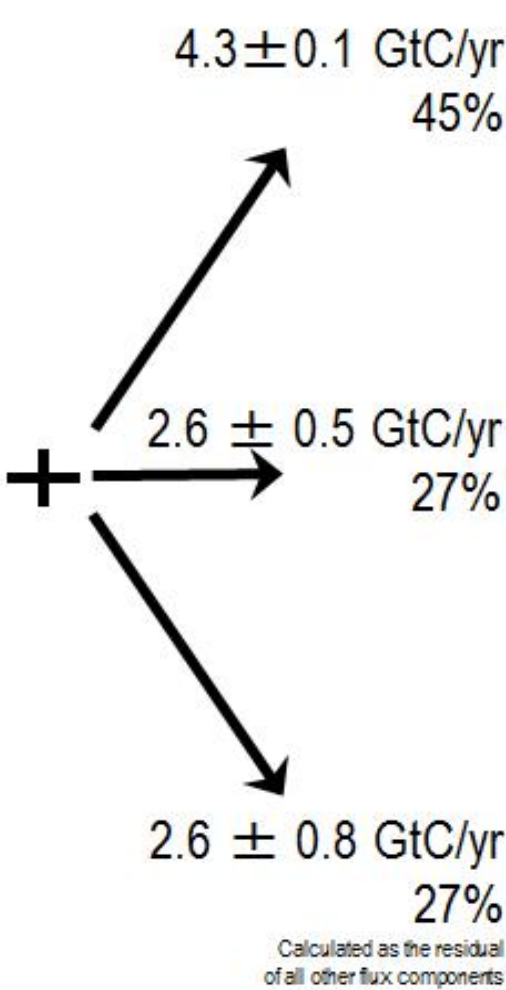
- Verbrennung und veränderte Bodennutzung führte 2012 zu 9,4 Gt C-Freisetzung

Fate of Anthropogenic CO₂ Emissions (2003-2012 average)

8.6 ± 0.4 GtC/yr 92%



0.8 ± 0.5 GtC/yr 8%

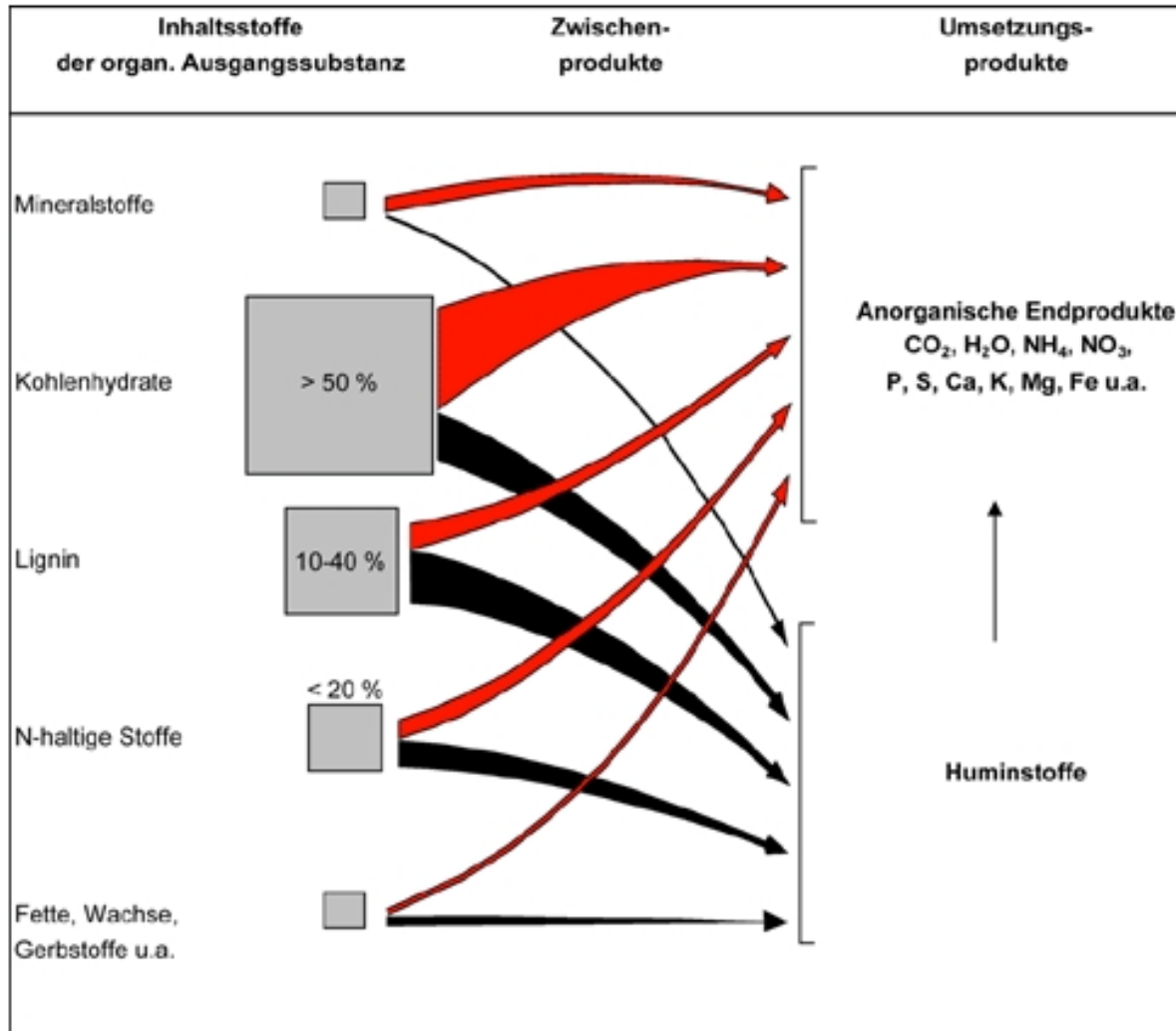


Source: [Le Quéré et al 2013](#); [CDIAC Data](#); [Global Carbon Project 2013](#)

Volkswirtschaftliche Sonderrolle von Land- und Forstwirtschaft

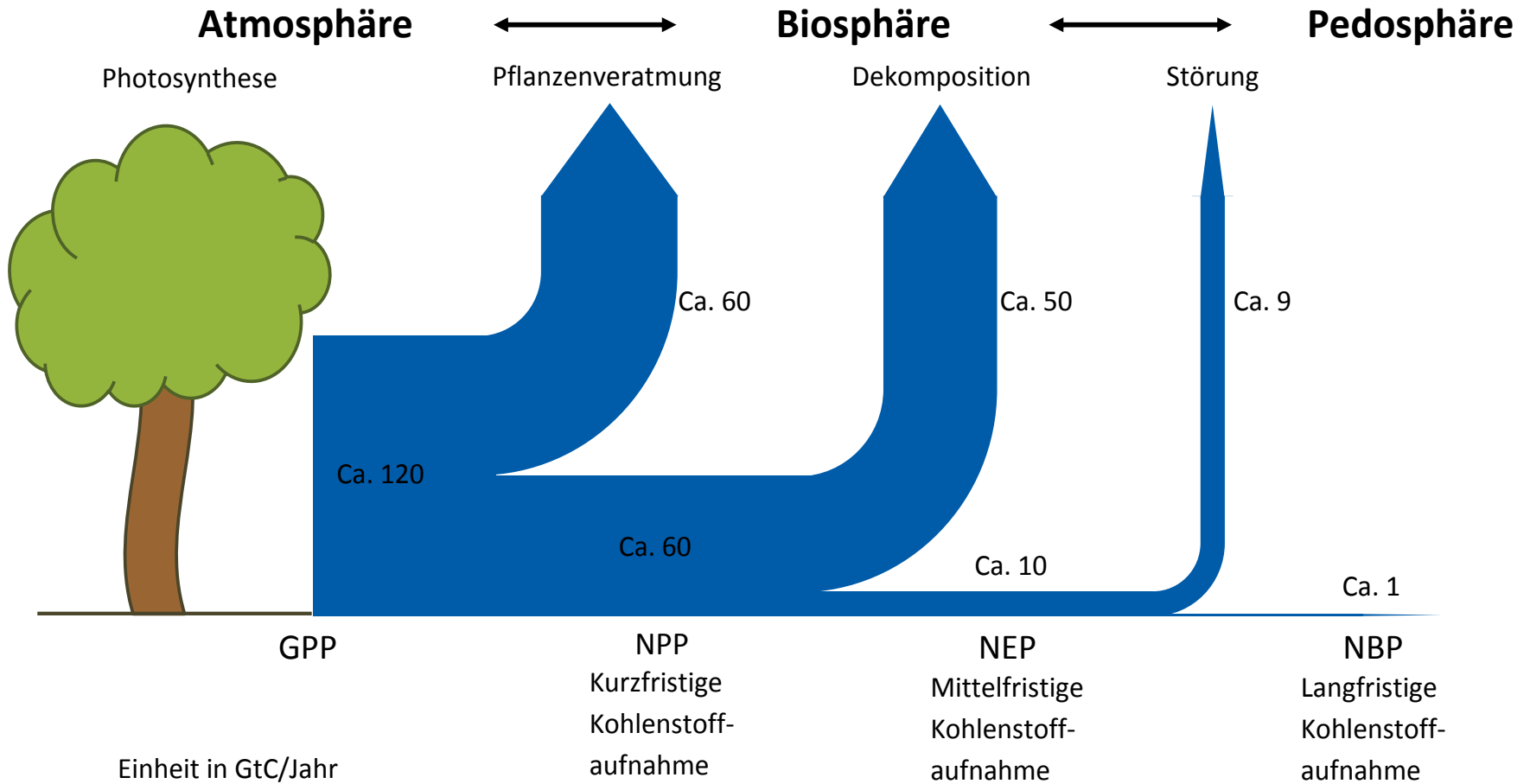
- Potenzial für negative CO₂-Bilanz
- Ertragssteigerung erhöht C-Bindung
- Ertragssteigerung verursacht u.U. höhere CO₂-Emissionen
- C-Dynamik im Boden wird durch Bewirtschaftung bestimmt
- „biologisch“ und „technisch“ angelegte Speicher
- Lebenszyklus der Produkte aus Biomassen

Zusammenspiel von Humifizierung und Mineralisierung



Humifizierung (schwarz) und Mineralisierung (rot)

Terrestrischer Kohlenstoffkreislauf



Sustainable resource management

Mitigation of CO₂ emissions



Production

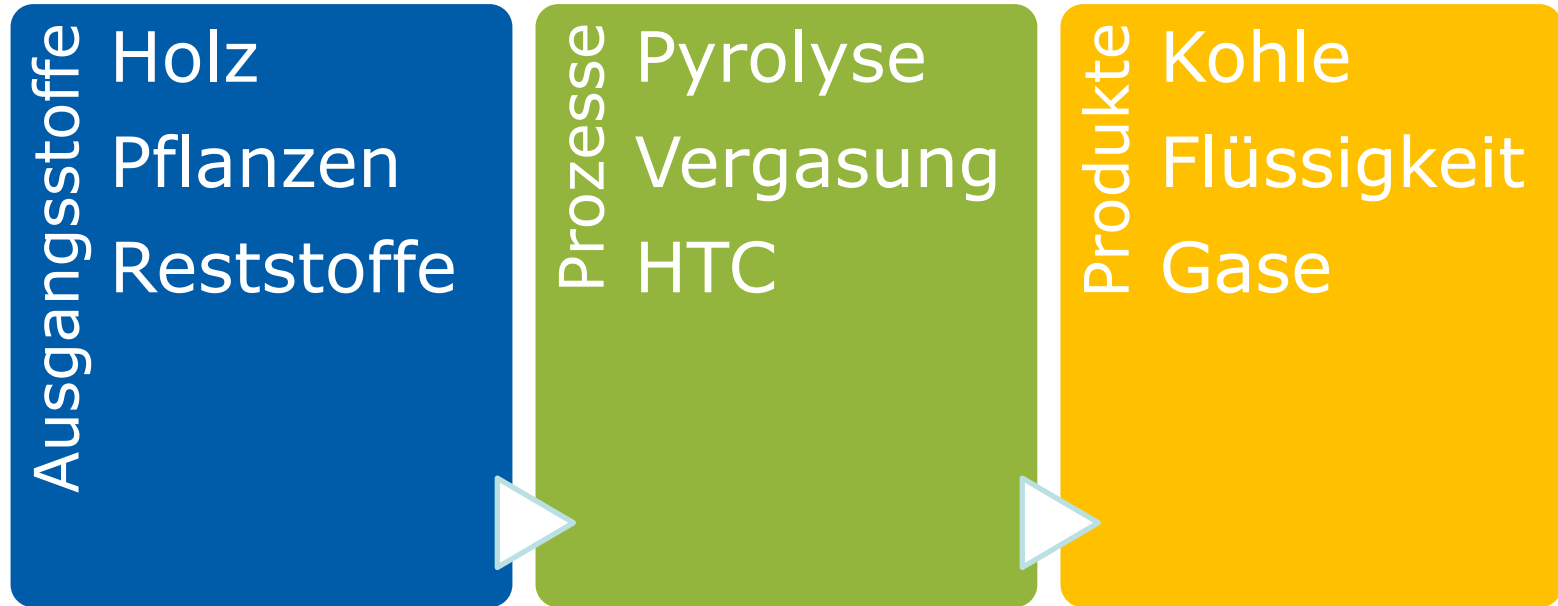
Harvest, Processing

Conversion

Thermal conversion



Karbonisierung



Ausgangstoffcharakteristik (aus Libra et al. 2011)

Table 2. Feedstock properties relevant to thermal conversion processes.

Feedstock		Woods [†]	Grasses [‡]	Manures	Sewage sludges			Municipal solid waste	
					Primary	Activated	Digested	Total ^{##}	Organic [§]
Elemental analysis (% daf)	Carbon	50–55	46–51	52–60 [†]	53.3 [‡]	-	54.4 [‡]	27–55	47–52
	Hydrogen	5–6	6–7	6–8 [†]	7.2 [‡]	-	7.7 [‡]	3–9	0.63
	Oxygen	39–44	41–46	26–36 [†]	32.0 [‡]	-	29. [‡]	22–44	40–42
	Nitrogen	0.1–0.2	0.4–1.0	3–6 [†]	5.3 [‡]	-	5.6 [‡]	0.4–1.8	0.16–0.25
	Sulfur	0–0.1	<0.02–0.08	0.7–1.2 [†]	2.1 [‡]	-	3.2 [‡]	0.04–0.18	0.002–0.003
Volatile fraction (% db)		70–90	75–83	57–70 [†]	60–80 ^{††}	59–88 ^{††}	30–60 ^{††}	47–71	
Ash (% db)		0.1–8	1.4–6.7	19–31 [†]	25 [‡]	-	37.5 [‡]	12–50	0.02–0.2
Moisture content (% fresh weight)		5–20 (dried wood for fuel) 35–60 (green wood)	NR	21–99.7 ^{††}	90–95 ^{††}	97–99 ^{††}	88 ^{††}	15–40	45–70
Particle size (mm)		NA	NA	NA	<5 (82%, wt. <0.1 mm) ^{§§}	<1 (66%, wt. <0.1 mm) ^{§§}	<1 (61%, wt. <0.1 mm) ^{§§}	Average ^{**} : 180–200 Range ^{**} : 0.2–600	Average ^{**} : 180–200 Range ^{**} : 0.2–600
Energy content (MJ/kg _{db})		19–22	18.3–20.6	13–20 [†]	23–29 ^{††}	19–23 ^{††}	9–14 ^{††}	2–14	8.9–11.5

[†]Data from soft and hard woods (22 samples) [41].

[‡]Biocrop grasses including energy grass pellets, poplar pannonia and tree of heaven [42].

[§]Values estimated based on % composition values provided by [303] and elemental composition, moisture content and energy content values provided by [43].

[†]Data from [45,46].

^{††}Exemplary values [47].

^{†††}Moisture contents after thickening [48].

^{##}Data from [304].

^{§§}Exemplary values for weight percent of solids with particle size less than 0.1 mm [49].

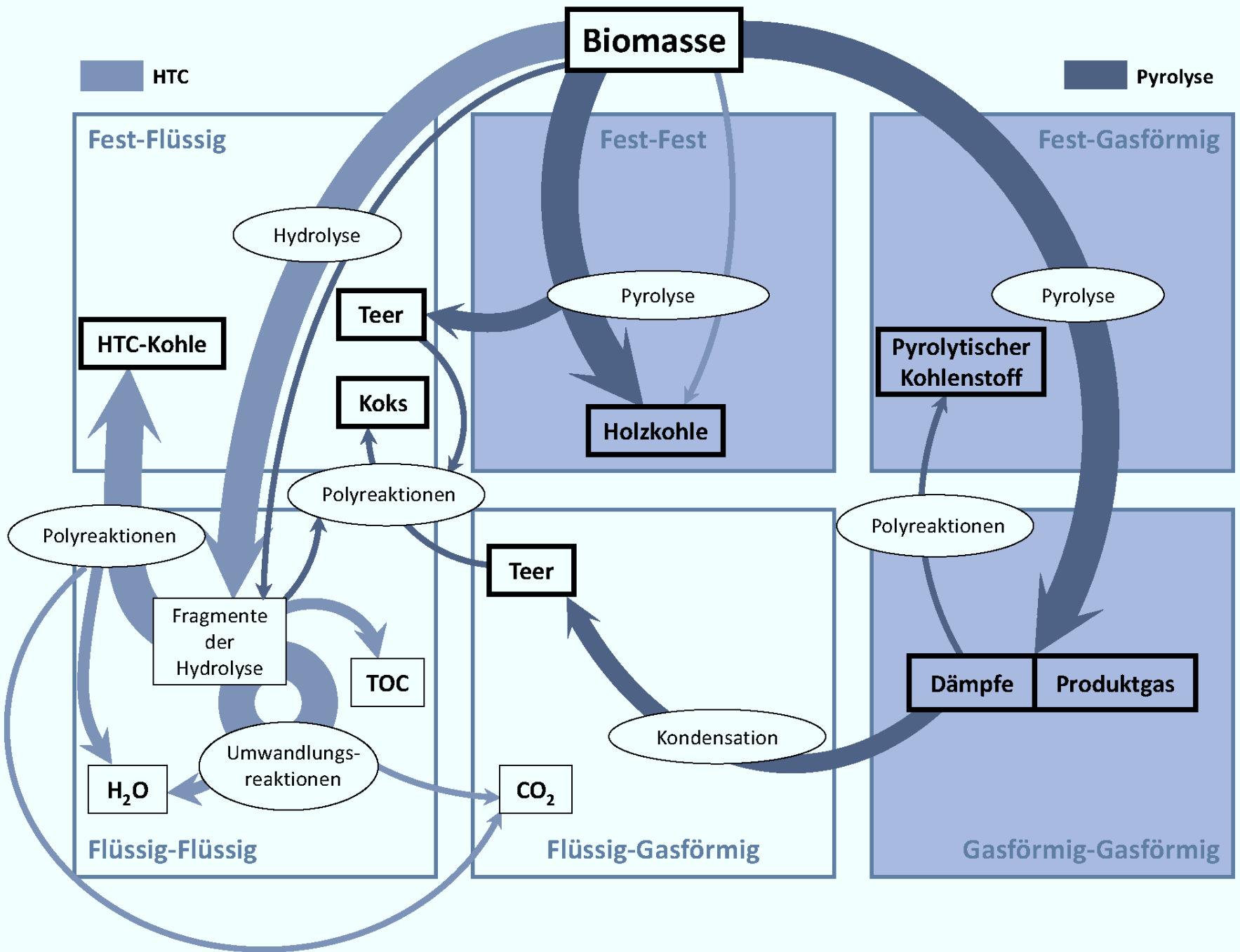
^{**}Neglecting bulky items.

^{##}Data from [43,44].

daf: Dry ash-free weight; db: Dry weight; NA: Not applicable; NR: Not reported.

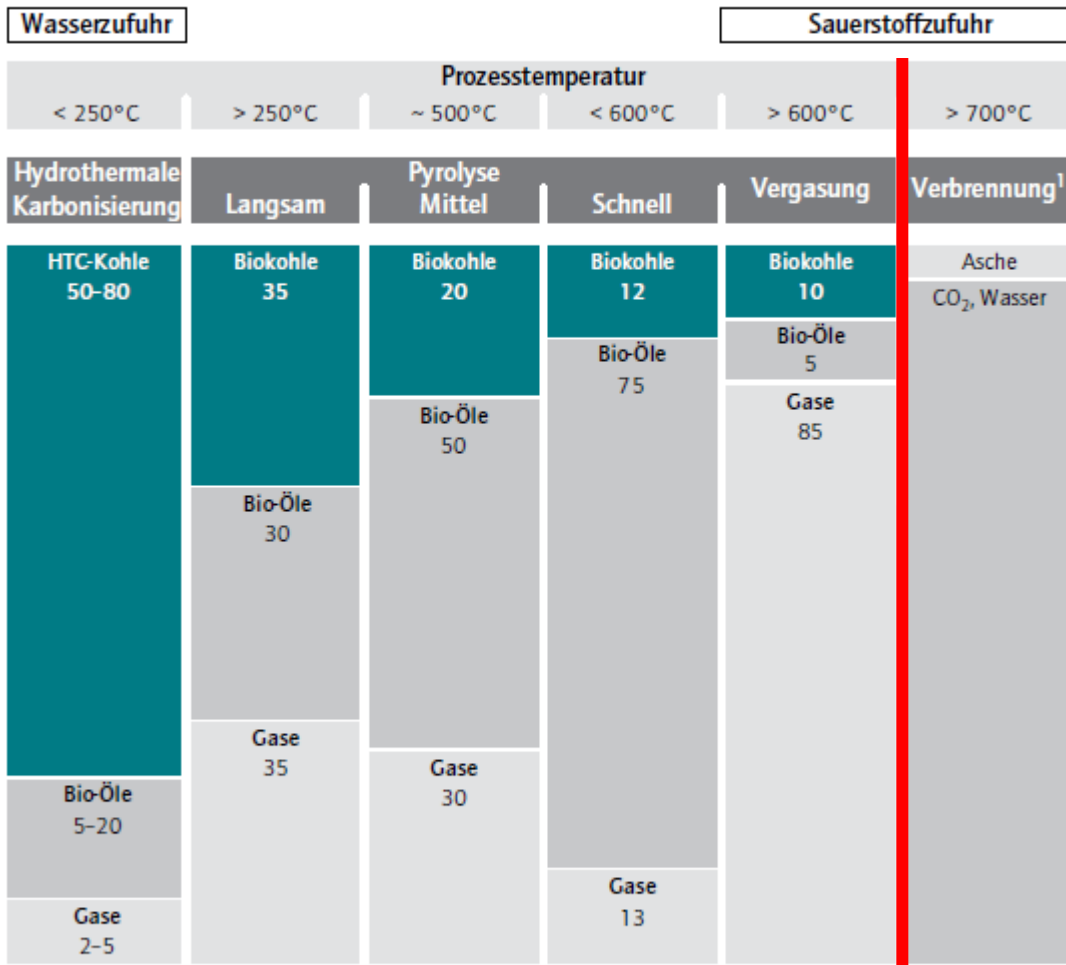
Effekte der Karbonisierung

- Wasserabscheidung aus Zellen
- Aufspaltung organischer Verbindungen
- Erhöhung der Energiedichte
- Hygienisierung



Thermochemische Konversionsverfahren zur Herstellung von Biokohle

Massenanteile in Prozent



Teichmann (2014)

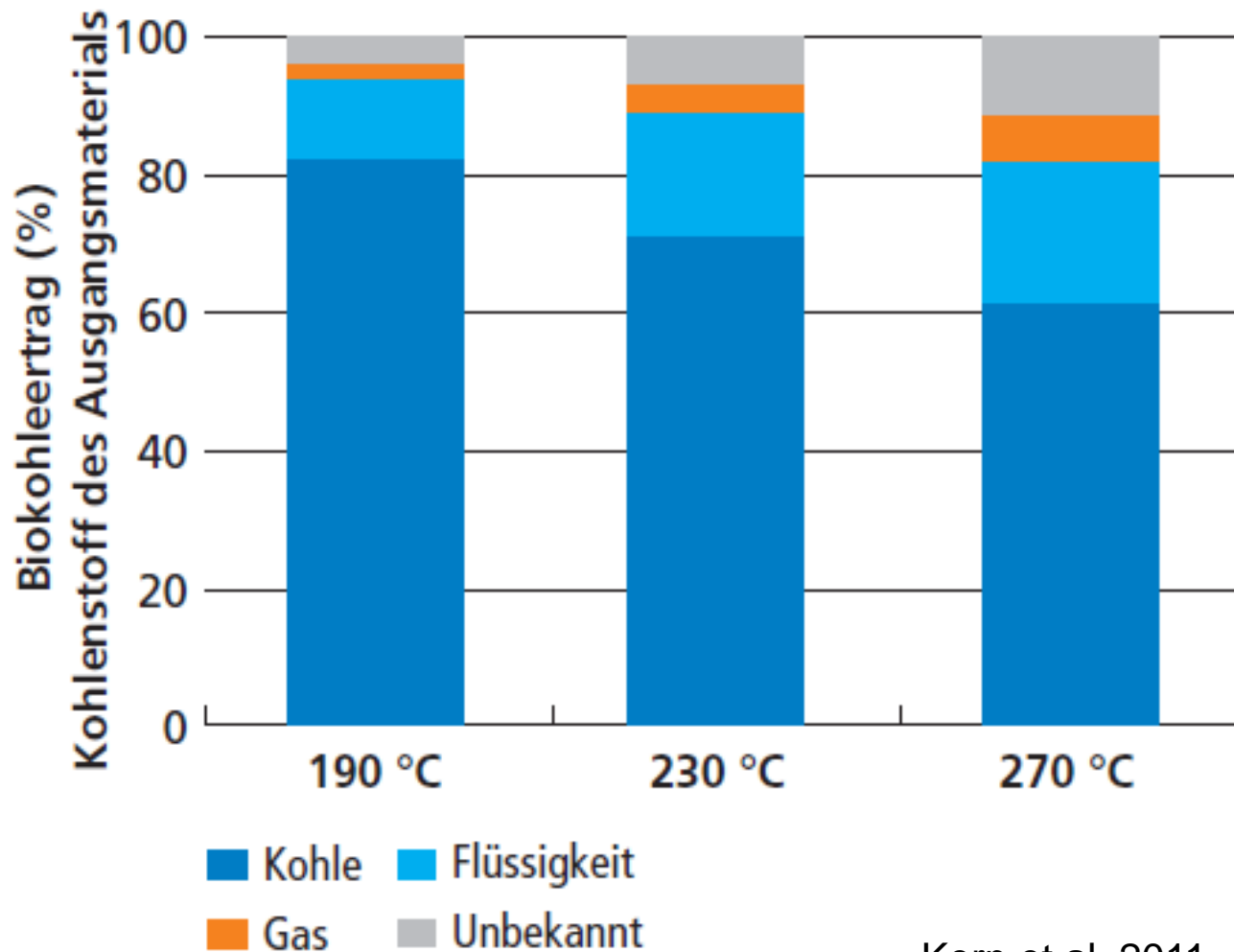
¹ Bei der Verbrennung entsteht keine Biokohle. Sie ist nur zum Vergleich dargestellt.

Quellen: Quicker, P. et al. (2012), a. a. O.; Libra, J. A. et al. (2011), a. a. O.; Darstellung des DIW Berlin.

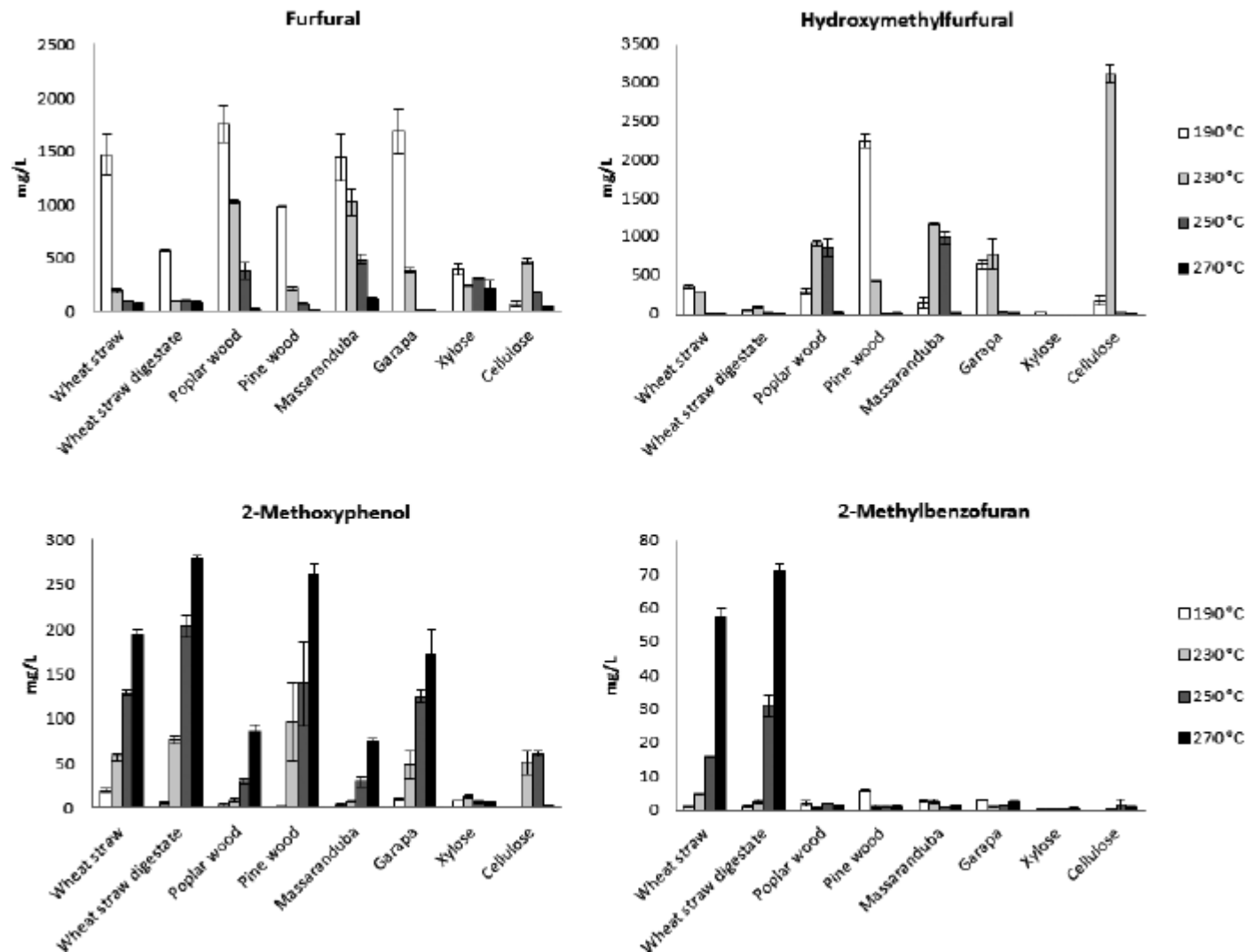
© DIW Berlin 2014

Prozessführung und Produktbeschaffenheit

Abb. 4: Kohlenstoffertrag in der HTC-Kohle aus Gärresten in Abhängigkeit der Reaktionstemperatur



Problematische (Neben)Produkte ?

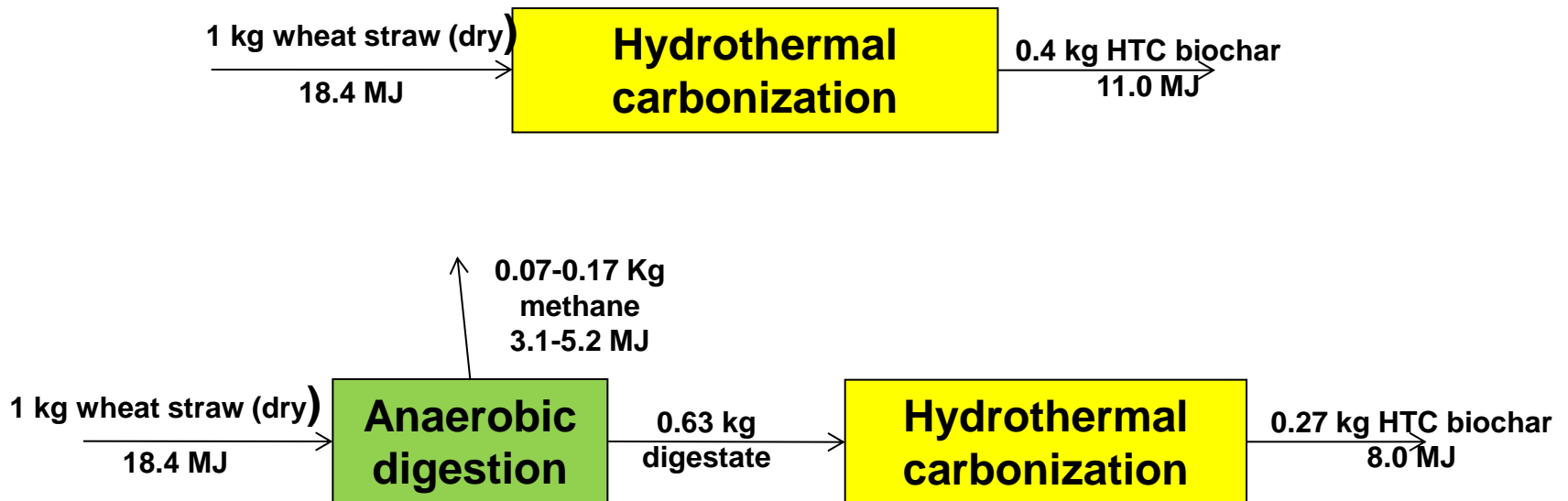


Becker et al. (2014)

Figure 4. Concentrations of selected compounds in the water phases obtained after hydrothermal carbonization of various feedstocks for 6 h at different temperatures (HPLC-DAD, means and standard deviations, $n = 3$).

Gekoppelte Prozesse

● Biogas und HTC



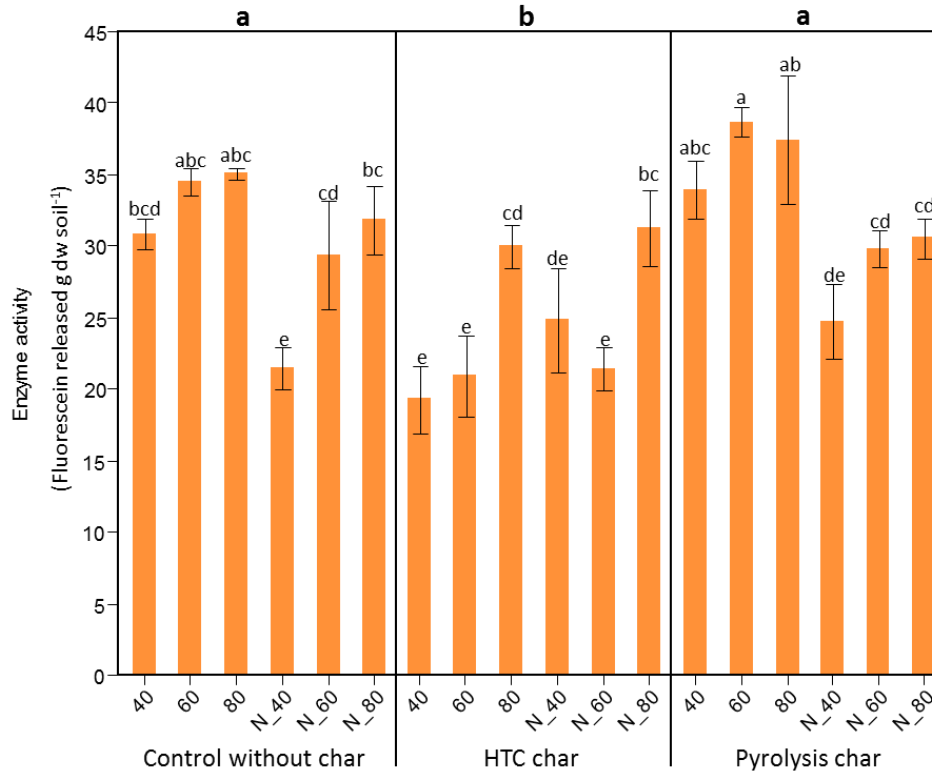
Nutzungsmöglichkeiten von Produkten der Karbonisierung

- Energieträger/Brennstoff
- Grundstoffe für chemische Industrie
- Katalysator/Trägermedium
- Bodenhilfsstoff, Kultursubstrat, Torfersatz
- Kohlenstoffspeicher
- Produktion von Nanomaterialien (u.a. für medizinische Zwecke)
- Komponente in Batterien und Brennstoffzellen
- Bestandteil elektrochemischer Kondensatoren
- Ausgangsstoff für die Herstellung von Kohlefasern, Plaste
- Kosmetik (Seife, Hautcreme, therapeutischer Badezusatz)
- Farbstoffe (Lebensmittelfarbstoff, Industriefarben)
- Textilien (Gewebezusatz und Wärmeisolation für Funktionswäsche)
- Pflanzenschutz
- Pelletierung von Saatgut
- Bindemittel für Trockentoiletten
- Isolationsmaterial und Wandbeschichtung

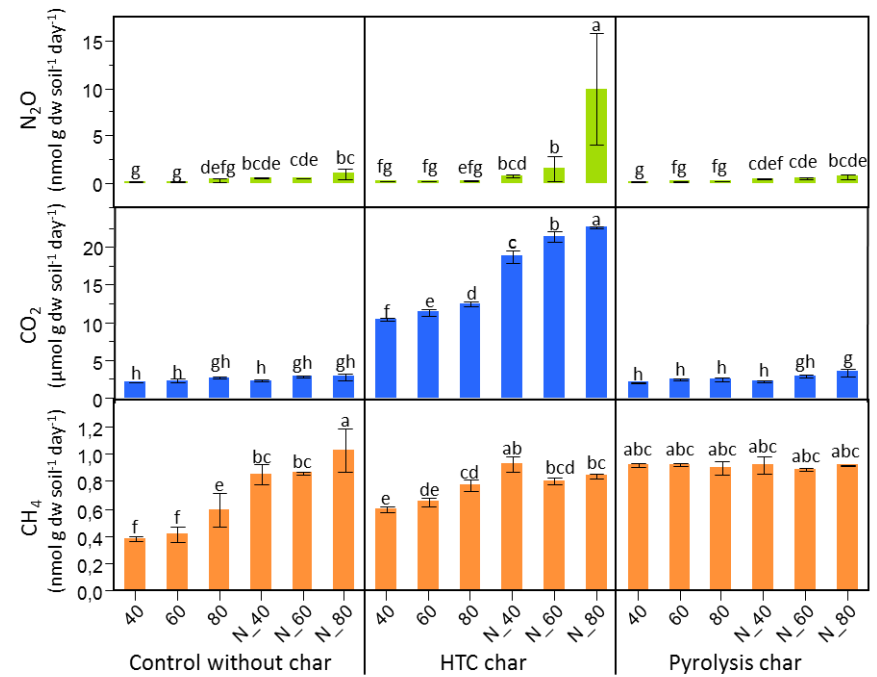
Wirkung von Kohlen im Boden

- Effekte von physikalischen Eigenschaften (Bodenstruktur und -wasserhaushalt, etc.)
- chemische Eigenschaften (Kohlenstoff- und Nährstoffhaushalt, pH-Wert, Sorptionskapazitäten)
- mikrobielle Aktivitäten und Bodenorganismen
- Schadstoffgehalte sowie deren Umsetzung und Retention in Böden
- Vitalität, Gesundheit und Wachstum von Pflanzen
- Ertragspotenzial

Beeinflussung der Mikro-Biota



Enzymaktivität



Treibhausgasemissionen

Andert et al. (in prep.)

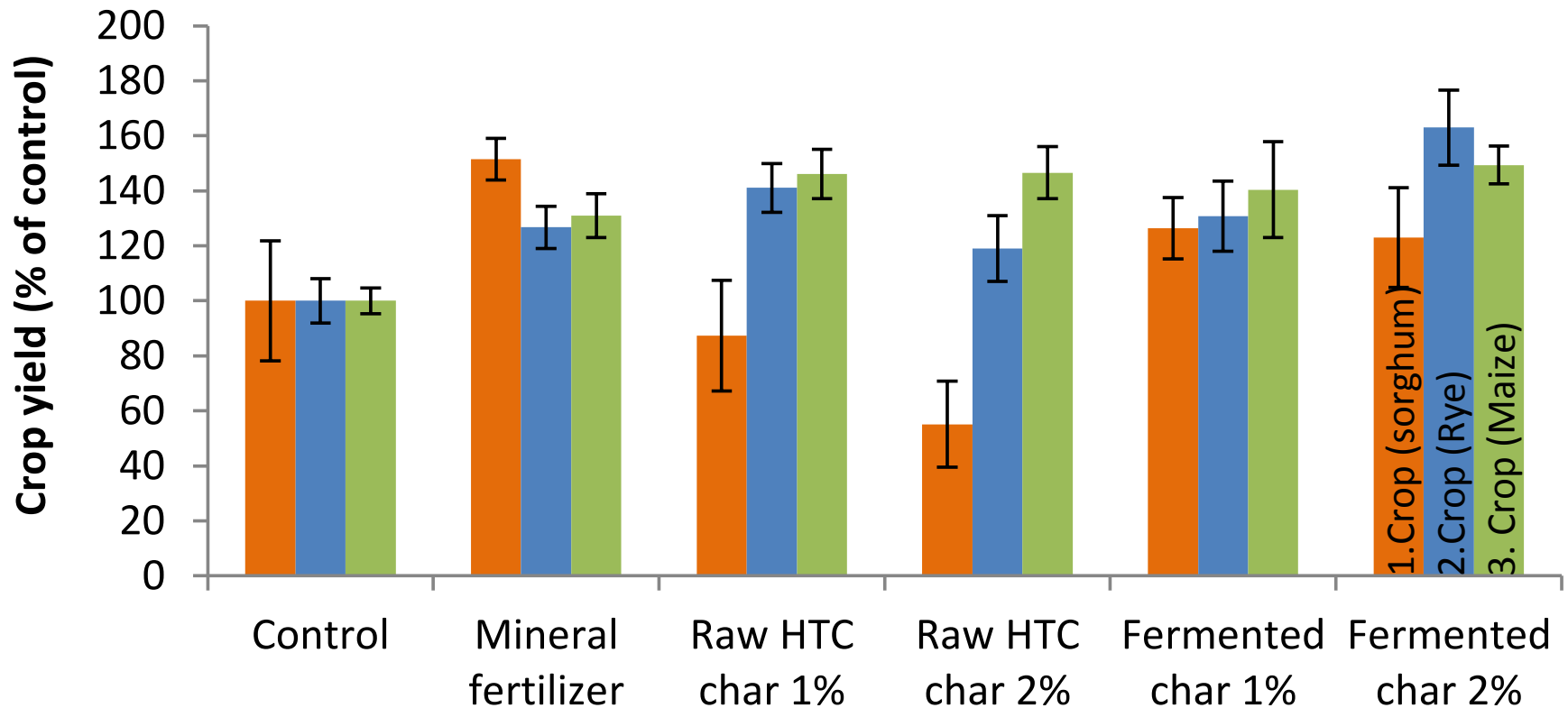
Feldversuche



08.06.2014



Ertragsbildung bei Einsatz von HTC-Kohlen

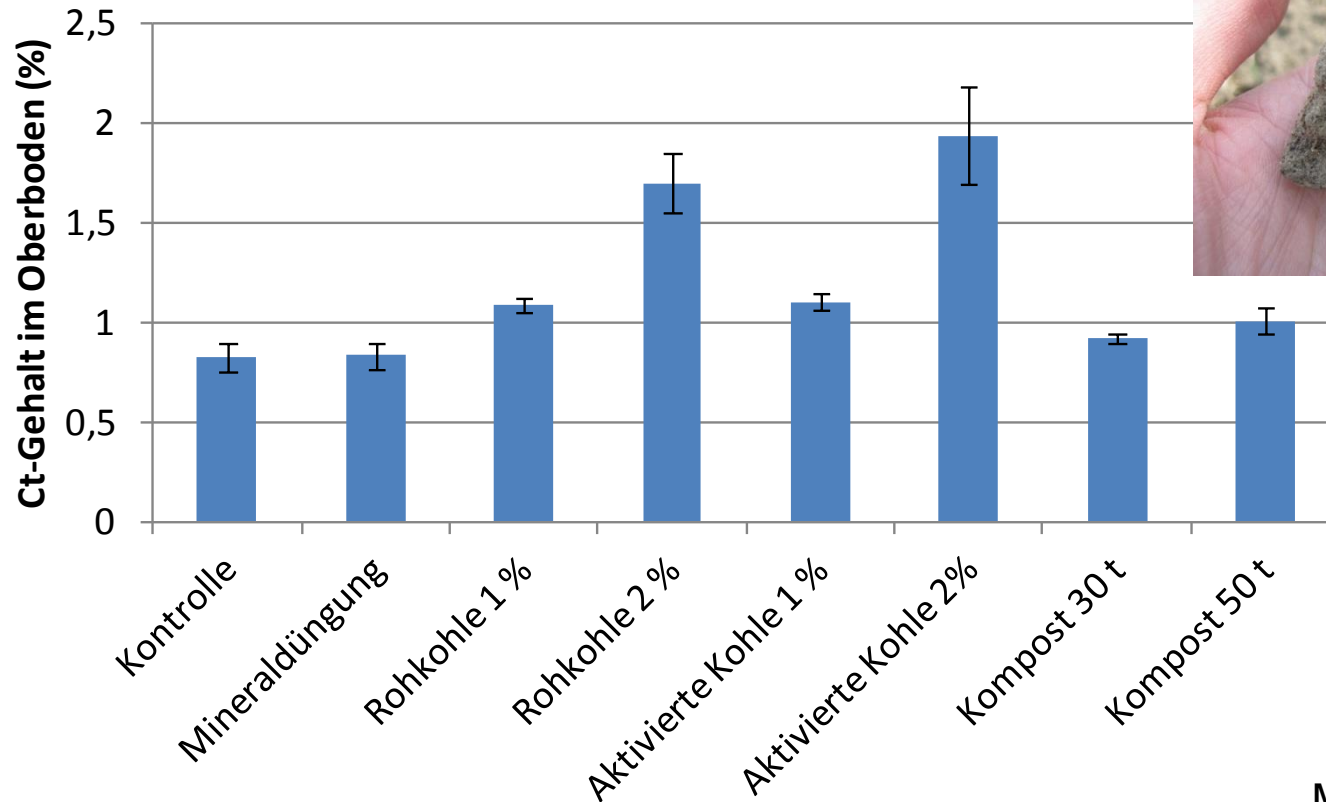


Biochar effect on crop yield compared to fertilizer only:

- > 1. Crop: mean 65 % (Fermented char: 82 %)
- > 2. Crop: mean 109 % (F-Char: 116 %)
- > 3. Crop: mean 111 % (F-Char: 111 %)

Kohlenstoffspeicher

Ct-Gehalt 1,5 Jahren nach BC-Applikation



Mumme et al. (2013)

⇒ C-Anreicherung nach BC-Applikation möglich

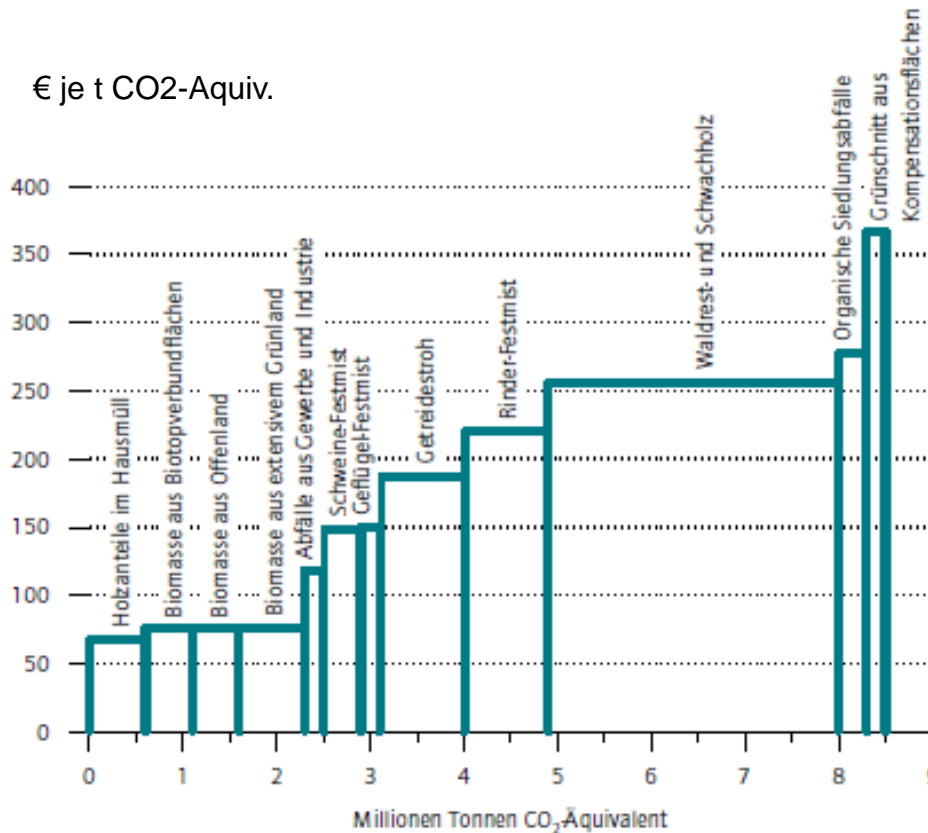
Ökonomische Bewertungen

- Stoffströme, Potenzialanalysen
- Märkte
- Kosten-Nutzen-Betrachtungen
- finanzielle Anreize (Agrarförderung, Emissionshandel)
- Treibhausgasvermeidungskosten

Treibhausgasvermeidungskosten

- Bisher fast ausschließlich Daten zu Pyrolysekohlen
- Starke Abhängigkeit vom Wassergehalt bei Pyrolyse (Trocknungskosten)
- Wegfall der Trocknung spricht für HTC
- Unsicherheiten bei Stabilitätsbewertungen
- Kosten bei Pyrolyse (Teichmann, 2014)
 - Waldrest- und Schwachholz 256 €/t CO₂-Äquivalent
 - Biomasse aus Offenland 76 €/t CO₂-Äquivalent
 - Biomasse aus extensivem Grünland 76 €/t CO₂-Äquivalent
 - Klärschlamm 4024 €/t CO₂-Äquivalent
 - Geflügel-Festmist 151 €/t CO₂-Äquivalent
 - Aber auch Szenarien mit negativem Vermeidungspotenzial

Grenzvermeidungskostenkurve möglicher (Pyrolyse)Biokohle-Optionen in D 2030



Gut 2,3 Millionen Tonnen CO₂ können zu Kosten von unter 100 Euro je Tonne CO₂-Äquivalent vermieden werden.

1 Es sind nur Optionen mit Vermeidungskosten unter 400 Euro je Tonne CO₂-Äquivalent dargestellt. Nicht abgebildet sind somit Biokohlen aus Klärschlamm sowie aus Gärresten von Energiepflanzen (Mais). Außerdem sind Optionen mit negativer Emissionsvermeidung nicht berücksichtigt (Industrierestholz, Pappeln und Weiden, Gülle, Ernterückstände).

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

Teichmann (2014)

© DIW Berlin 2014



Verantwortung

● Freisetzen und Festlegen von C



Biokohle - Ende der Bioraffineriekaskade oder Teil eines Wertschöpfungszyklus?

- Sowohl als auch!
- Viele offene Fragen
- Beachtliche Potenziale
- Teils unbekannte Risiken
- Notwendiger Wertewandel für nachhaltiges Handeln

Dank an Mitarbeiter und Forschungspartner

Judy Libra, Jan Mumme, Jürgen Kern,
Andreas Meyer-Aurich, Toufiqur Reza, Janet Andert

...



Danke für Ihre Aufmerksamkeit