



Universität für Bodenkultur Wien

Stickstoff- und Phosphor-Recycling aus Schlachthausabfällen mittels Pyrolyse und Biogaserzeugung

Gerhard Soja, Christoph Pfeifer

Jan Höllrigl, Dominik Tauber, Andrea Mayer, Anders Sörensen

Institut für Verfahrens- und Energietechnik

gerhard.soja@boku.ac.at

5th Biochar-Day

2022-09-15

www.oebika.com; www.boku.ac.at

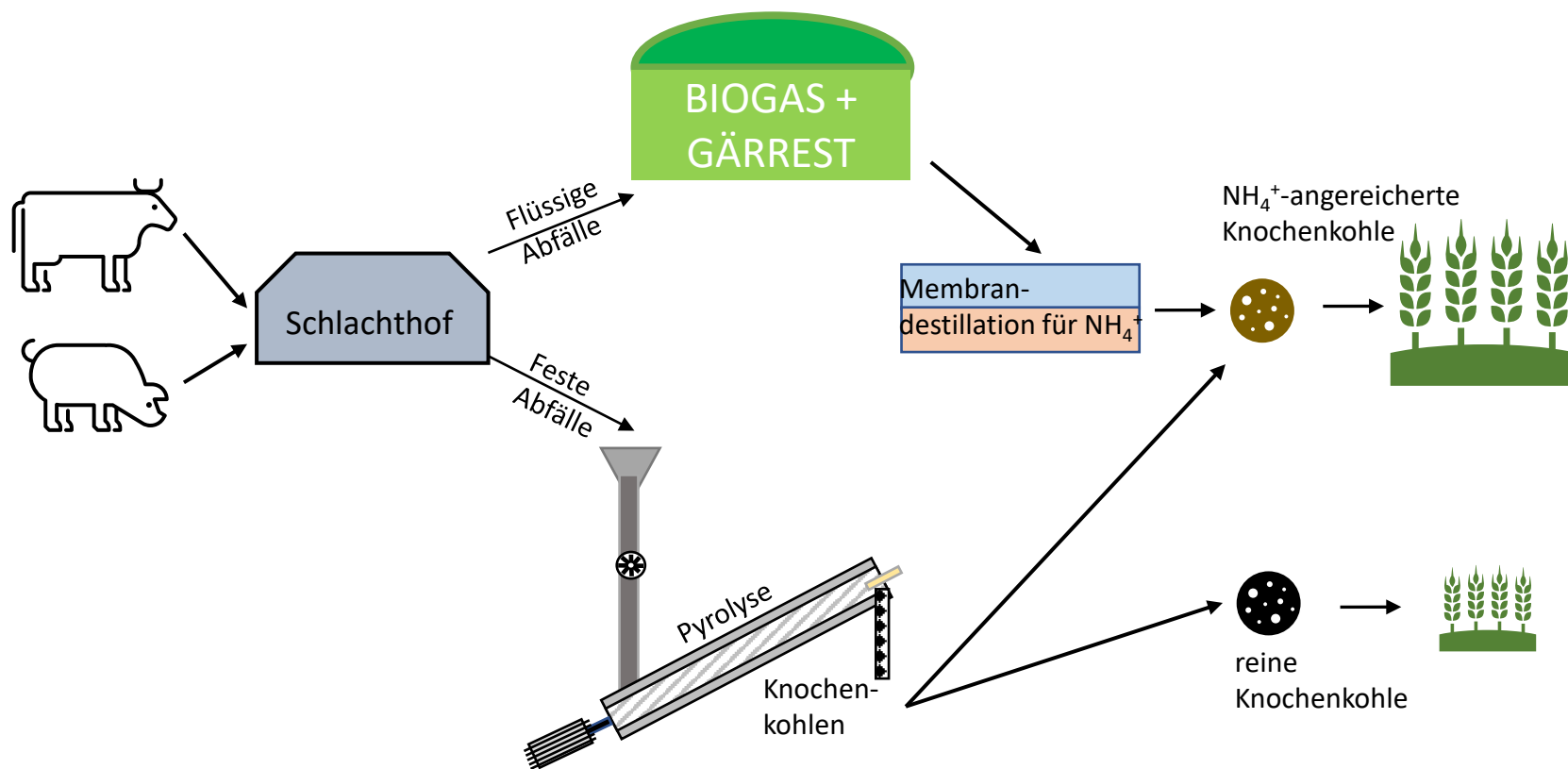


Wie nutzt man am besten die Nährstoffe in den Abfällen bei der tierischen Lebensmittel-Erzeugung?



- Wässrige Reststoffe:
 - Biogas-Erzeugung und Nutzung der Gärreste
- Feste Reststoffe:
 - Verkohlung verschiedener Eingangsmaterialien mit einem Pyrolyse-Reaktor im Labormaßstab unter verschiedenen Prozessbedingungen
 - Weitere Charakterisierung der Kohlen hinsichtlich Nährstoff-Verfügbarkeiten und –Erträge für P, Anreicherbarkeit der Kohlen mit N

Ein Schlachthof produziert nicht nur Schnitzel ...



Pyrolyse-Ausrüstung an der BOKU

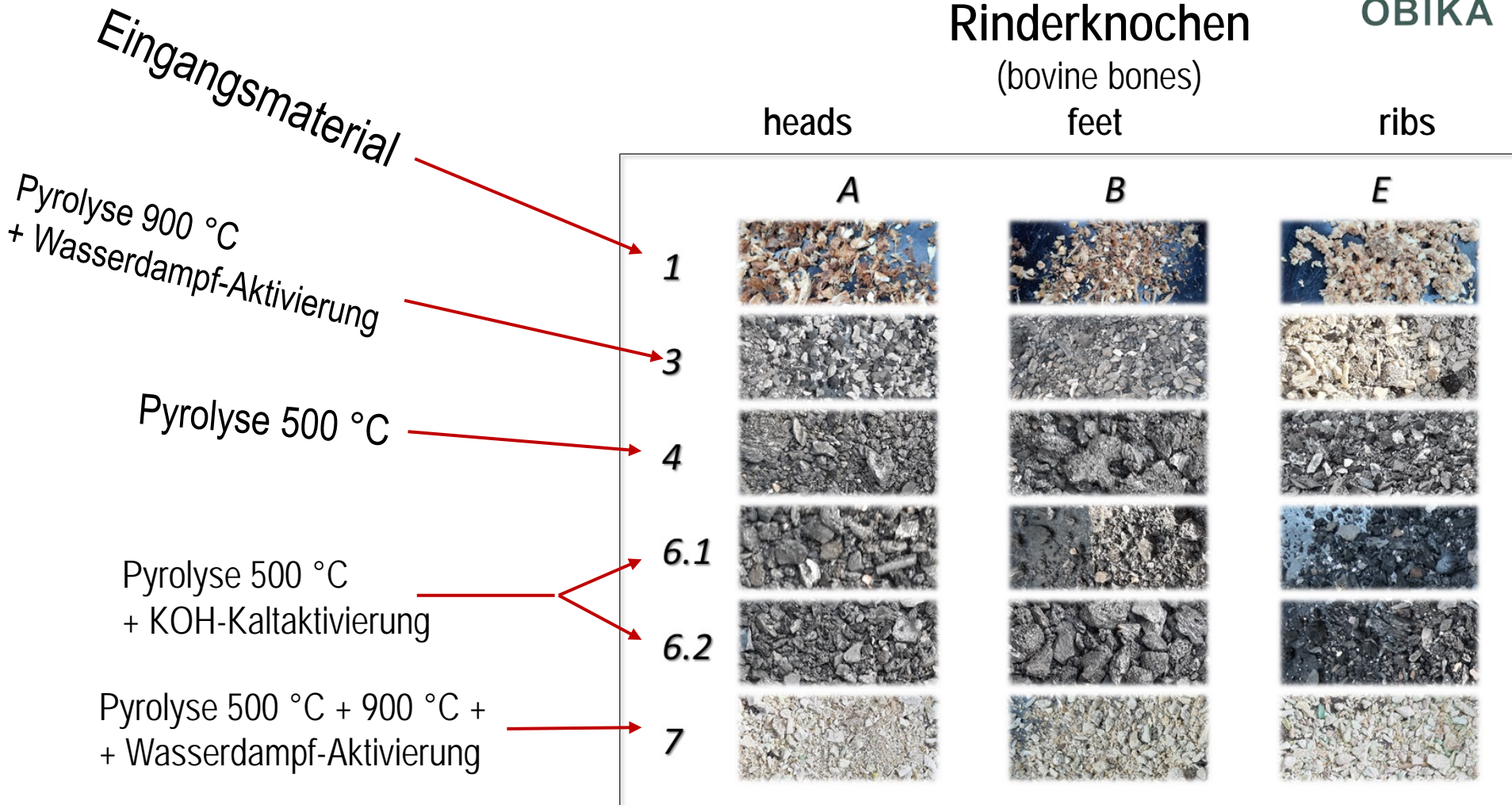


Reaktor Vorderansicht

Pyreka-Laborreaktor für Feststoff-Pyrolysen bei 300-900 °C

Pyrolyse-Varianten von Schlachtabfällen

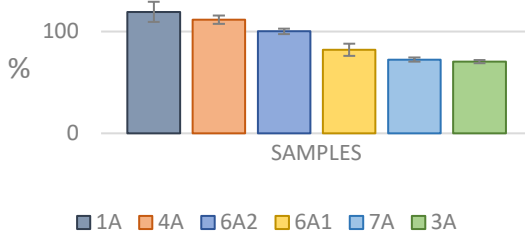
Rinderknochen
(bovine bones)



Feldkapazitäts-Bestimmungen (Wasserhaltefähigkeit, WHC)

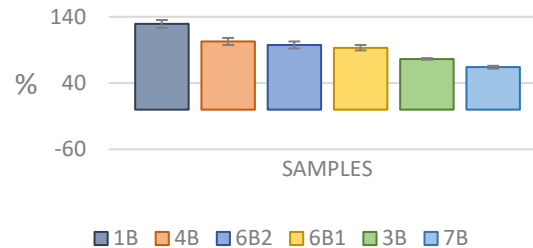
Rinderköpfe

Field capacity A-samples



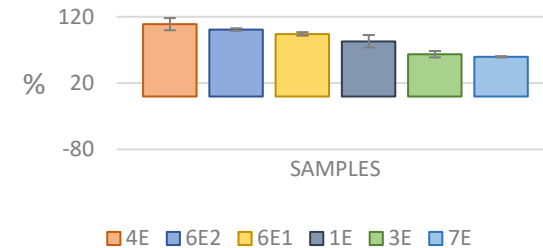
Rinderfüße

Field capacity B-samples



Rinderrippen

Field capacity E-samples



1 = Eingangsmaterial unpyrolysiert

3 = Pyrolyse 900 °C (mit Wasserdampf)

4 = Pyrolyse 500 °C

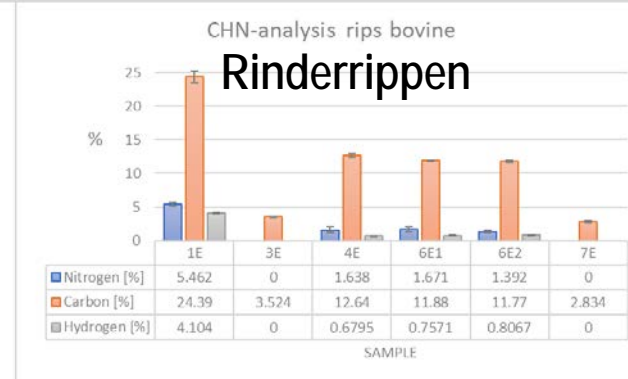
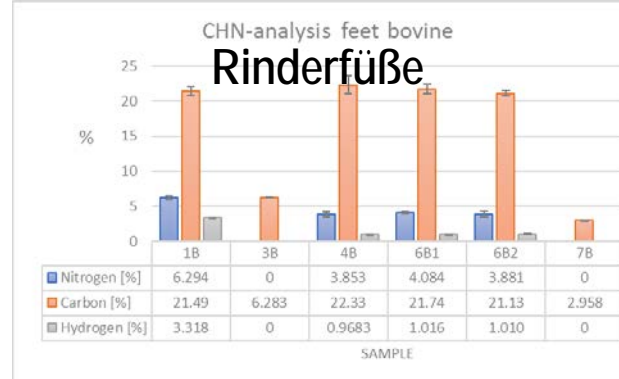
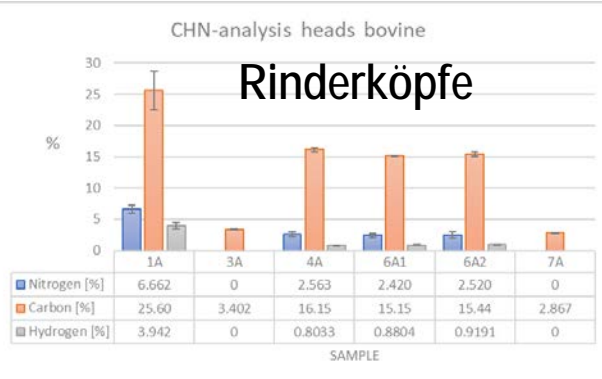
6.1 = Pyrolyse 500 °C + KOH-Kaltaktivierung (5 g BC/l 2M KOH)

6.2 = Pyrolyse 500 °C + KOH-Kaltaktivierung (100 g BC/l 2M KOH)

7 = Pyrolyse 500 °C + Pyrolyse 900 °C (mit Wasserdampf)

→ 500 °C ohne Aktivierung am günstigsten
(ca. 100 % WHC)

Element-Analysen auf C, H, N



- 1 = Eingangsmaterial unpyrolysiert
- 3 = Pyrolyse 900 °C (mit Wasserdampf)
- 4 = Pyrolyse 500 °C
- 6.1 = Pyrolyse 500 °C + KOH-Kaltaktivierung (5 g BC/l 2M KOH)
- 6.2 = Pyrolyse 500 °C + KOH-Kaltaktivierung (100 g BC/l 2M KOH)
- 7 = Pyrolyse 500 °C + Pyrolyse 900 °C (mit Wasserdampf)

- C, H und N-Verluste durch Pyrolyse
- Bei 900°C Verluste höher als bei 500 °C
- Rinderfüße stabiler gegen Verflüchtigungen als Rippen, Köpfe

CO₂-Kompensation durch Biokohle

Durchschnittlicher jährlicher CO₂-Fußabdruck pro Person in Deutschland:

11,4 t

Erforderliche Pflanzenkohle
zur Kompensation:

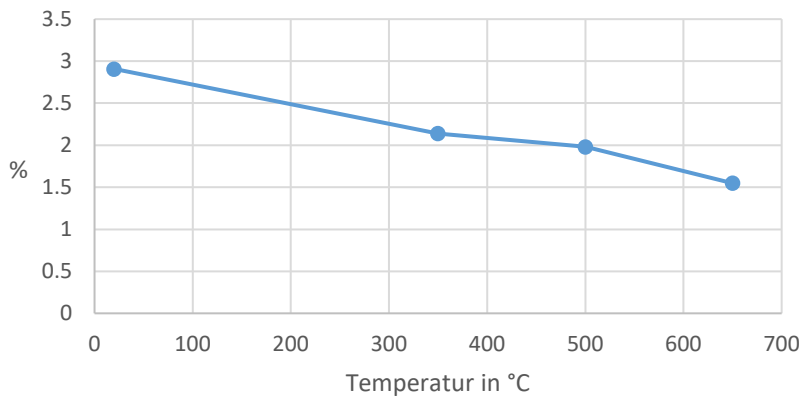
4,3 t

Erforderliche Knochenkohle (Rinderfüße)
zur Kompensation:

15,5 t

Temperaturabhängigkeit der N-Verflüchtigung

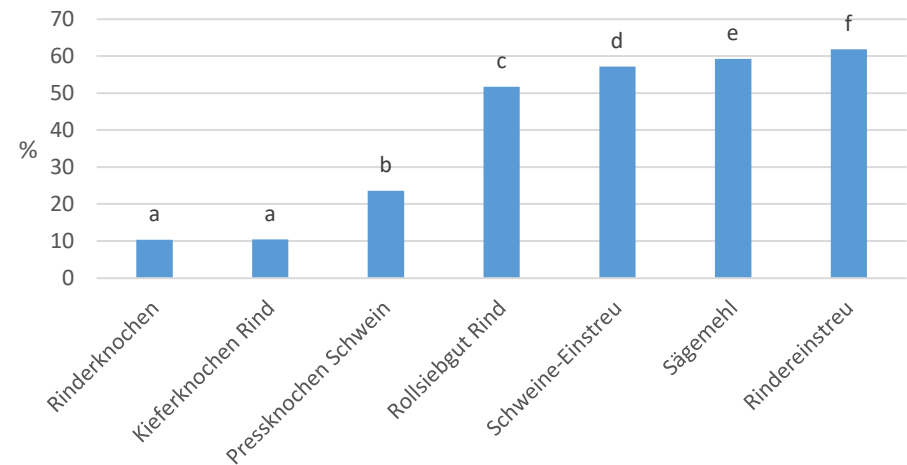
Stickstoffgehalt in %



→ N-Verluste insbesondere über 500 °C

Abhängigkeit des C-Gehaltes der Kohlen vom Anteil Einstreu

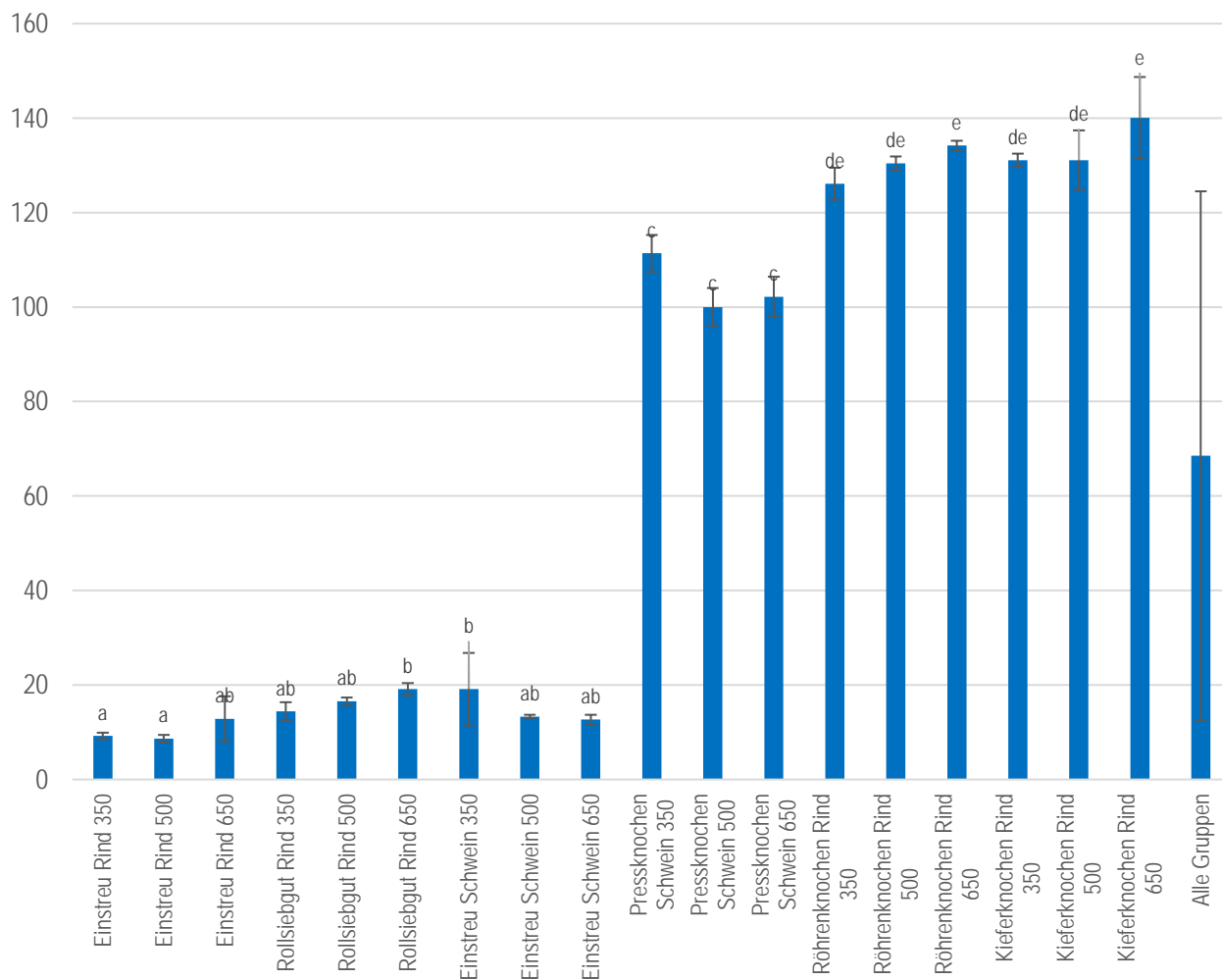
Kohlenstoffgehalt in %



→ C-Anreicherung bei pflanzlichen Komponenten im Inputmaterial

→ C-Abreicherung bei rein tierischem Material

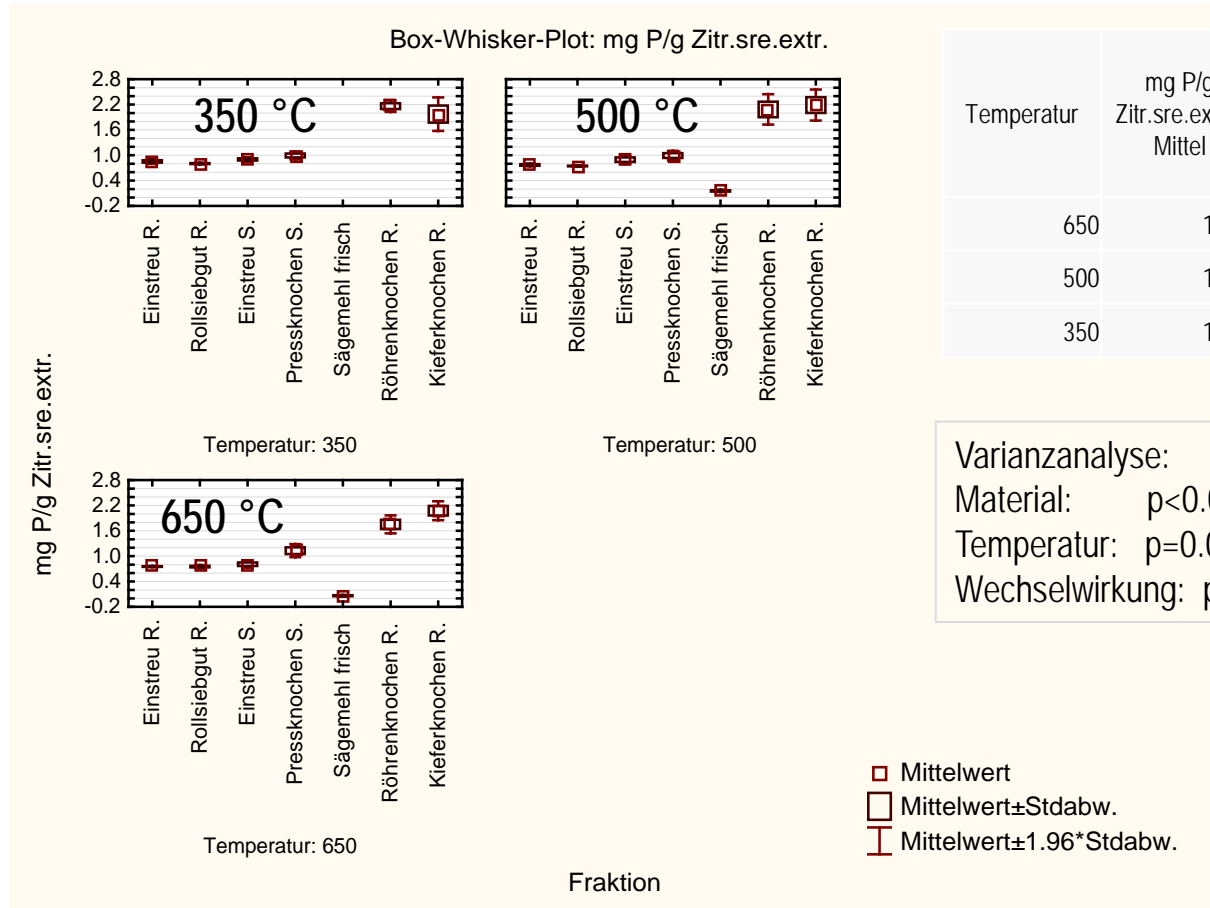
Phosphorgehalt nach Gesamtaufschluss (mg P/g)



Rinderknochen:
ca. 12-14 % P

Pressknochen
Schwein: 10-12 % P

Pyrolysierte Reststoffe: Einfluss Pyrolyse-Temperatur auf leicht verfügbaren Phosphor (in mg P / g)



Temperatur	mg P/g Zittr.sre.extr. - Mittel	1	2
650	1.098	****	
500	1.120	****	
350	1.282		****

Varianzanalyse:

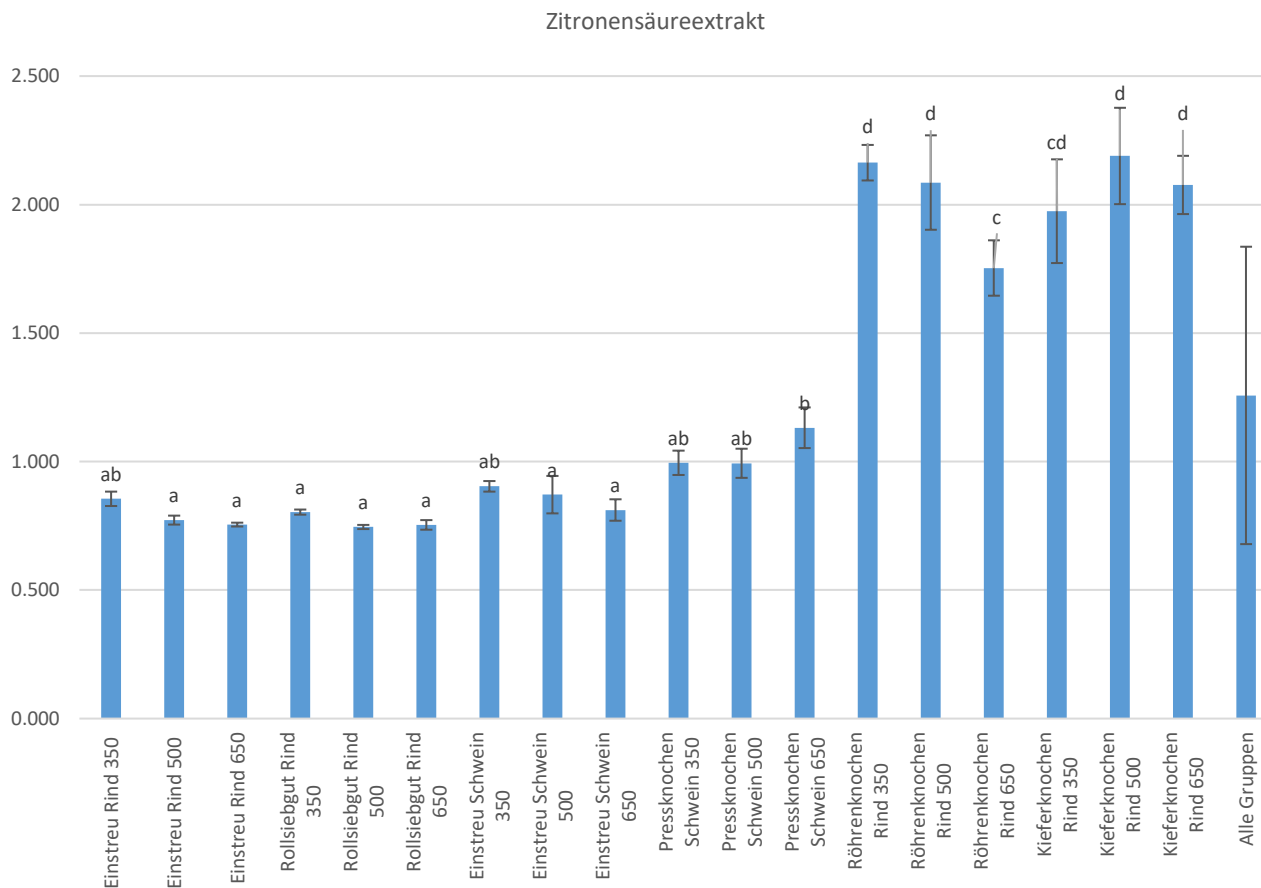
Material: $p < 0.0001$

Temperatur: $p = 0.016$

Wechselwirkung: $p = 0.0004$

→ Bei niedrigerer Pyrolyse-Temperatur höherer Anteil von leicht verfügbarem P

Phosphorgehalt Zitronensäure-extrahierbar (mg P/g)



Ca. 1-2 % des
Gesamt-P sind
leicht
pflanzenverfügbar

Wasserlöslich:
<1%

Potentieller Beitrag der pyrolysierten Materialien zur P-Düngung

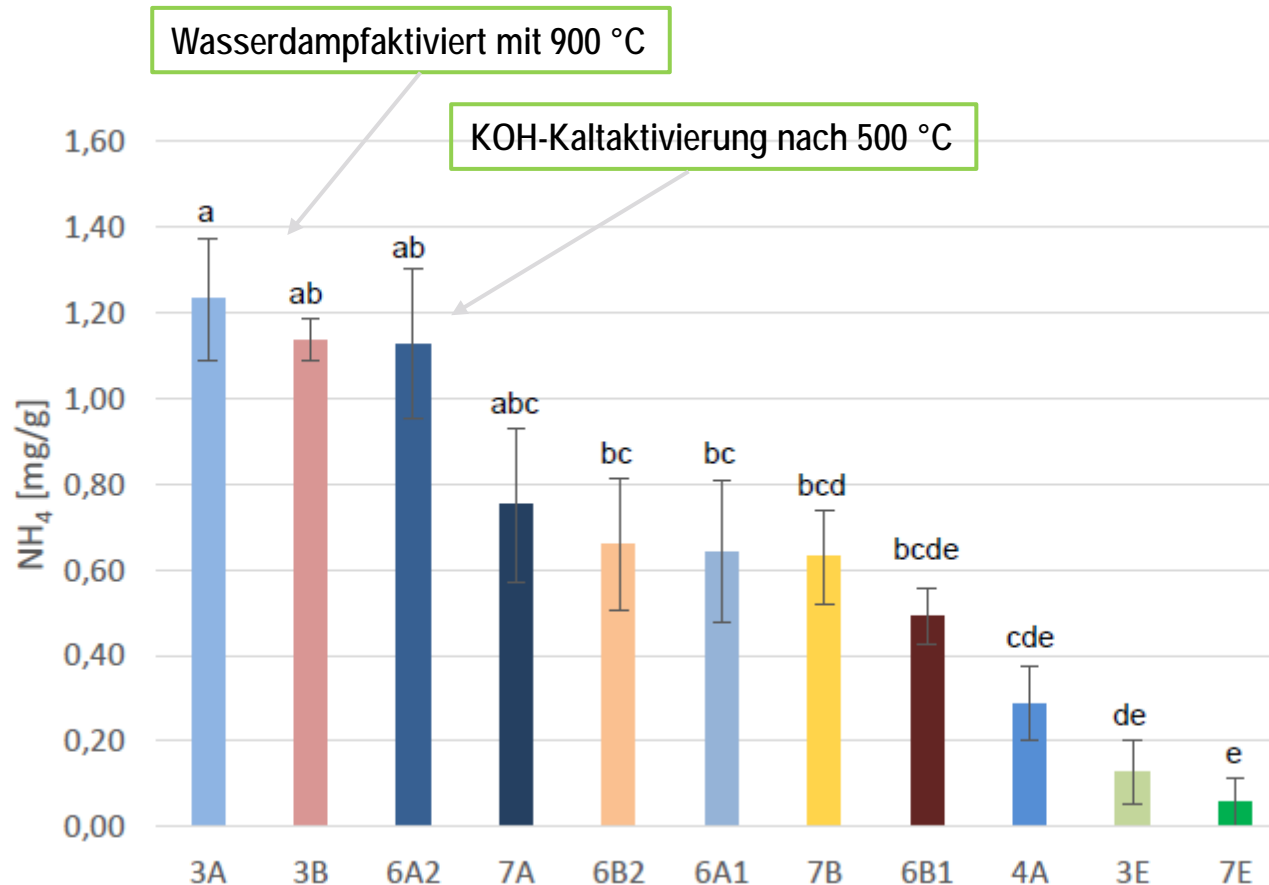
MATERIAL	PHOSPHORMENGE IN KG/HA BEI 10 T KOHLE/HA.	
	Leicht pflanzenverfügbar	Theoretischer Gesamtgehalt
EINSTREU RIND	7,94	102
ROLLSIEBGUT RIND	7,67	167
EINSTREU SCHWEIN	8,62	150
PRESSKNOCHEN SCHWEIN	10,40	1045
RINDERKNOCHEN	20,01	1304
KIEFERKNOCHEN RIND	20,80	1341

„leicht pflanzenverfügbar“ =
in 1 % Citronensäure löslich

Durchschnittlicher Düngebedarf Kulturpflanzen: 20-40 kg P/ha
→ 10 t Knochenkohle / ha deckt einen mäßigen P-Düngebedarf

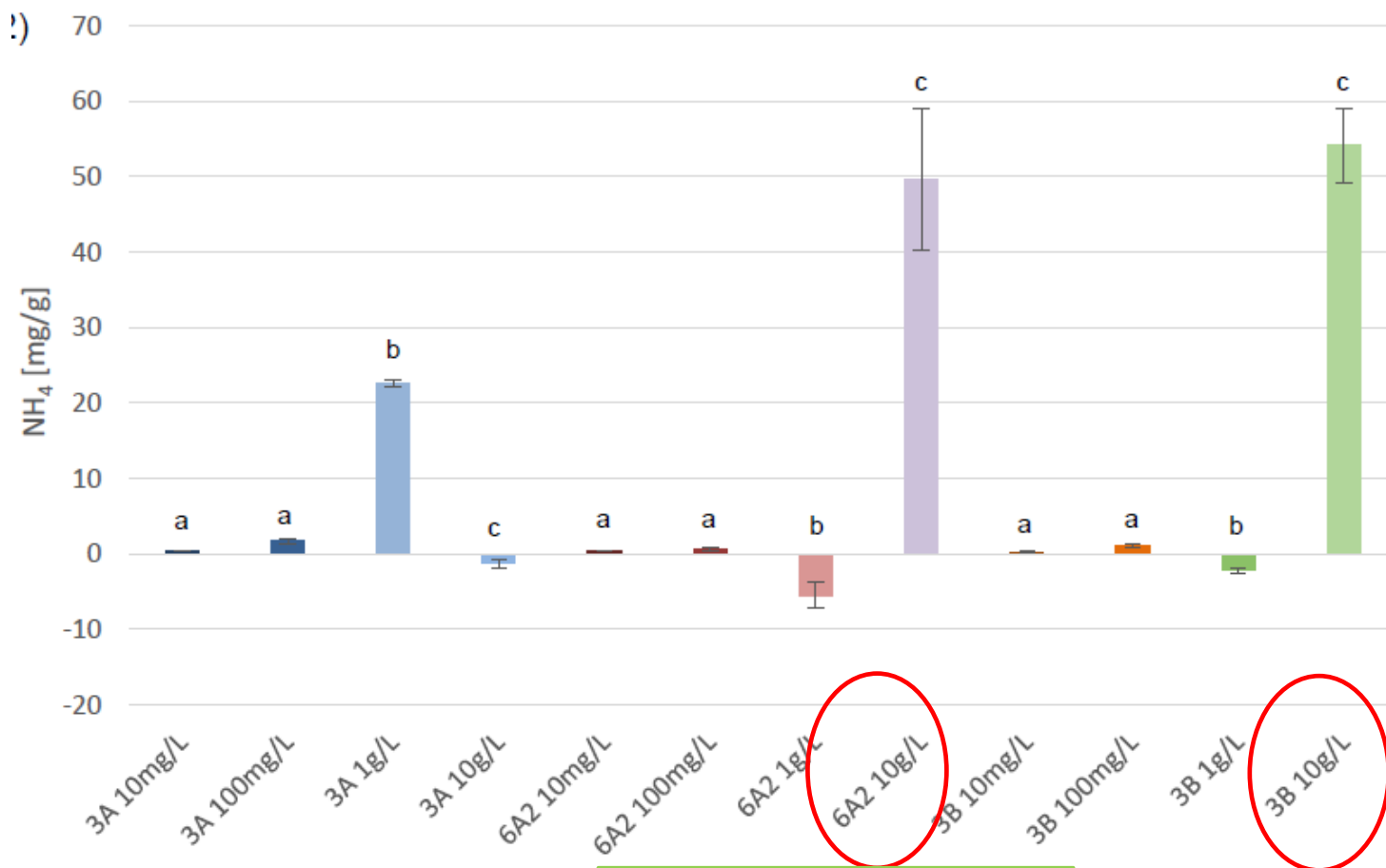
Quelle: Höllrigl, 2020

NH₄-Sorptionspotential der Knochenkohlen



Sorption nach 26 h aus einer 50 mg/L NH₄⁺-Lösung (in NH₄Cl):
sehr mäßiges Sorptionspotential

Einfluss der NH_4 -Konzentration in der Sorbat-Lösung auf NH_4 -Sorptionskapazität



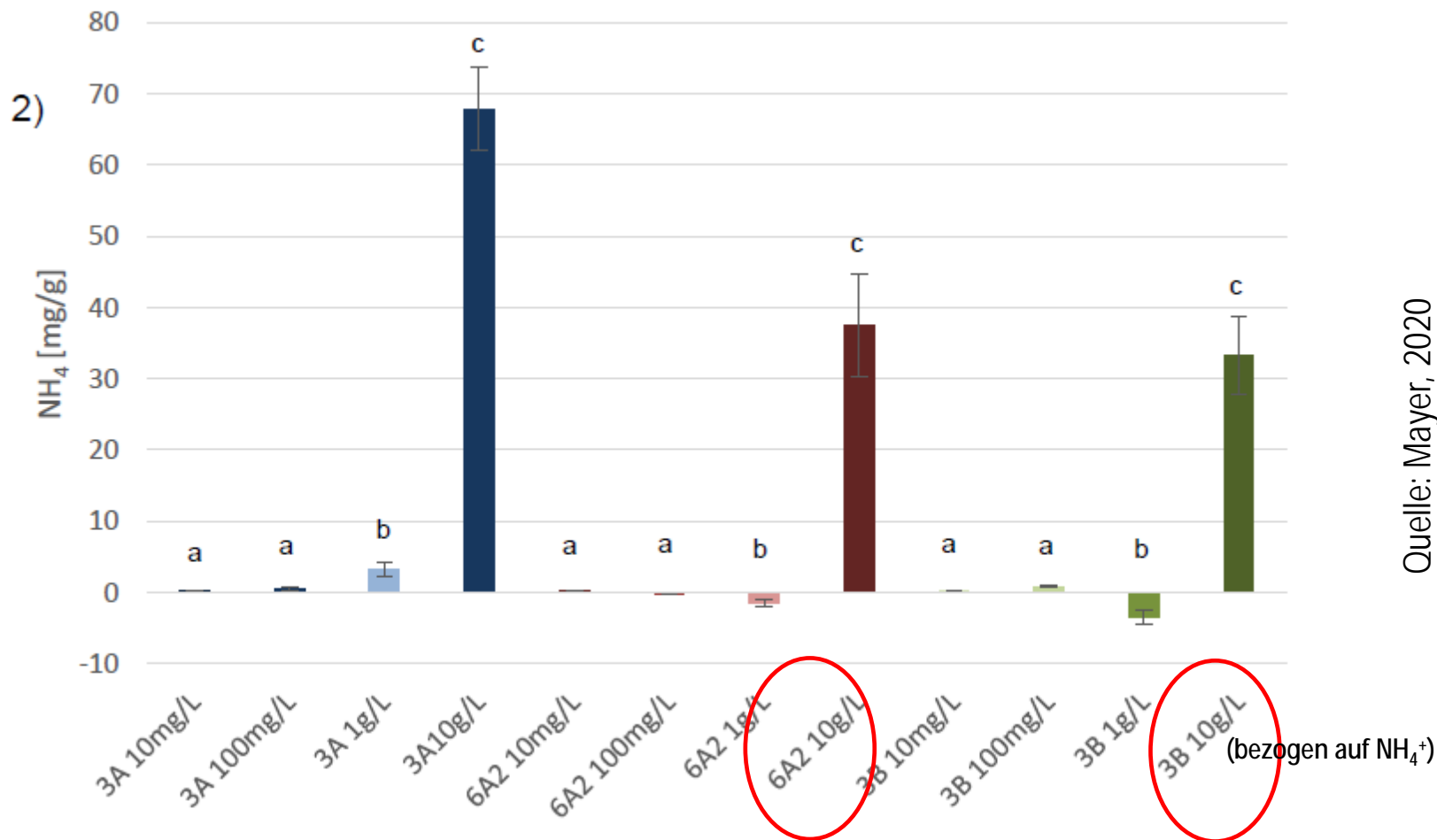
Quelle: Mayer, 2020

KOH-Kaltaktivierung nach 500 °C

Wasserdampfaktiviert mit 900 °C

→ Höhere NH_4^+ -Konzentration in der Sorptionslösung steigert Sorptionskapazität deutlich

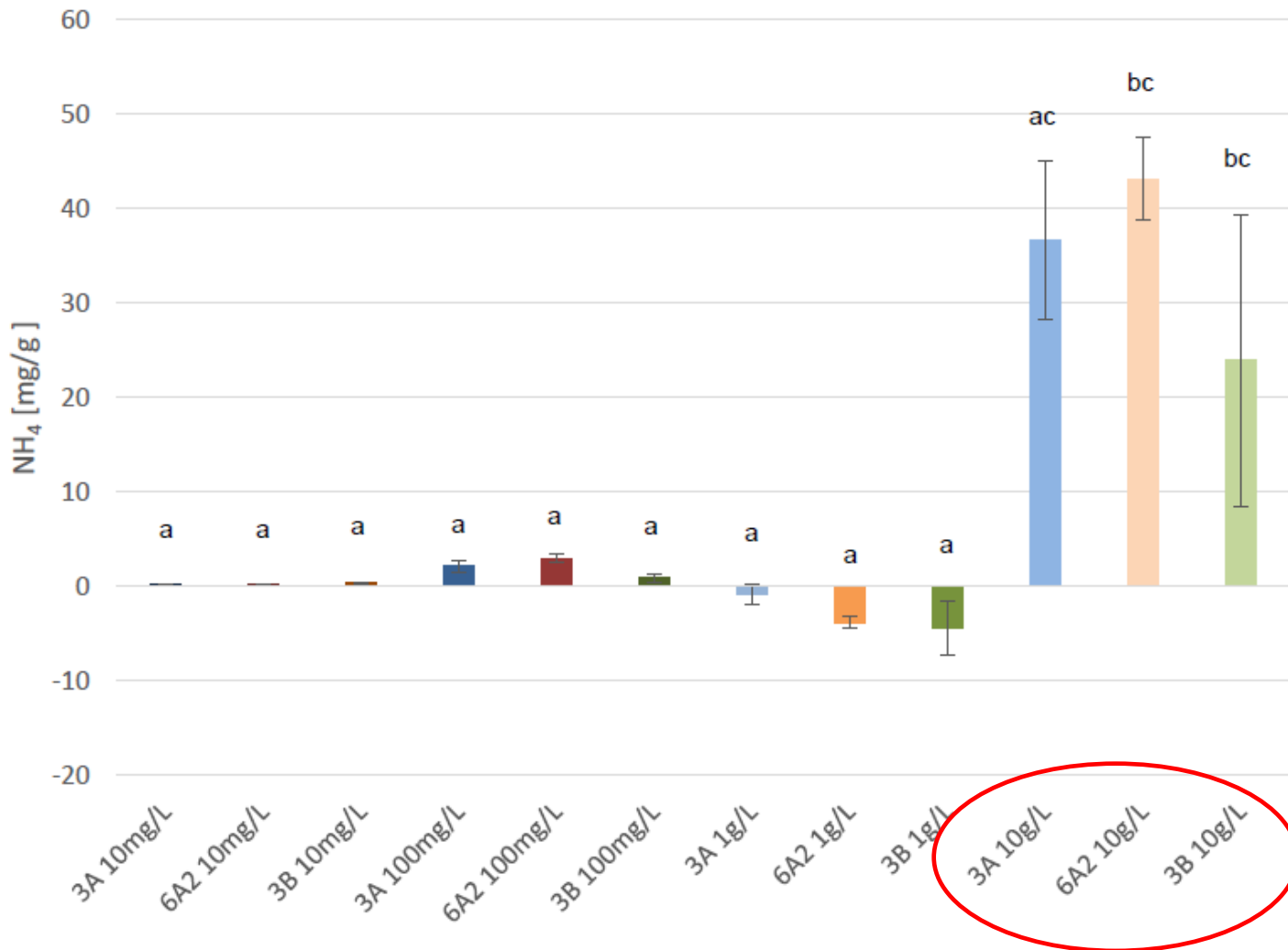
Konkurrenzversuch NH_4^- und Mg-Sorption (gleiche molare Verhältnisse)



Quelle: Mayer, 2020

→ 25-35 % geringere NH_4 -Sorption bei Ionenkonkurrenz

NH₄-Sorptions aus einer NH₄-Sulfat-Lösung



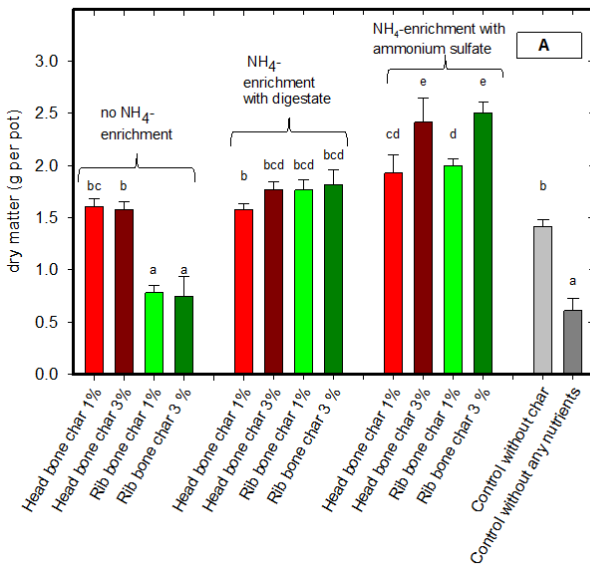
Quelle: Mayer, 2020

→ Ähnliche Sorption aus (NH₄)₂SO₄ und NH₄Cl

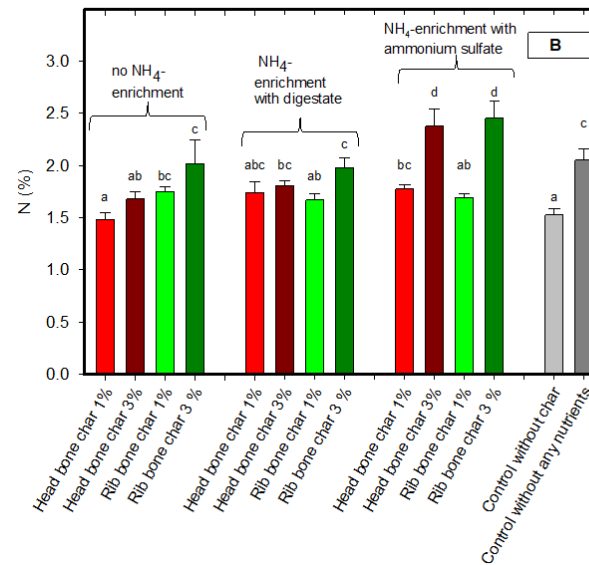


Stickstoffaufnahme aus N-angereicherten Knochenkohlen in Testpflanzen

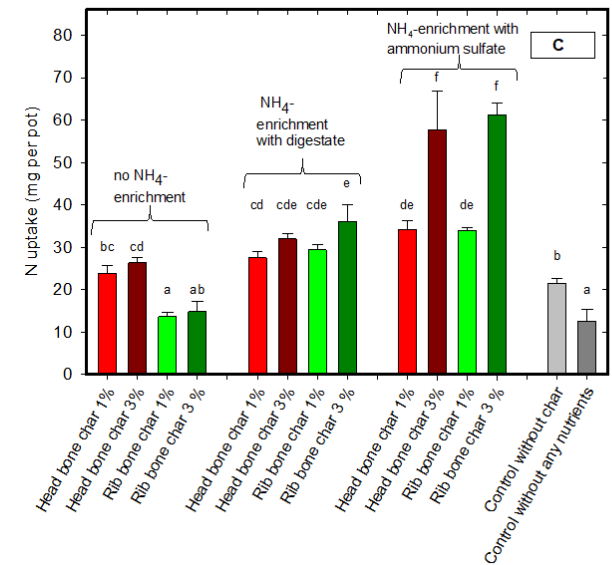
Pflanzen-Produktivität



N-Konzentration



N-Aufnahme



- Knochenkohlen benötigen N-Anreicherung
- Anreicherung mit Gärrest wirkt nicht so gut wie mit NH₄⁺-Lösung, ist aber besser als ohne Zusatz-N
- Kohlen aus Kieferknochen wirken anders als Kohlen aus Rippenknochen
 - Zusätzlicher N hebt diese Unterschiede auf

Schlussfolgerungen / Zusammenfassung

- **Pyrolyse:**
 - Alle festen Reststoffe gut pyrolysierbar, Aufbereitung öfters aufwändig
 - Hohe Temperaturen (900 °C) reduzieren Ausbeute stark, auch C-Verluste signifikant
 - **Phosphor-Rezyklierung:**
 - P-Gehalte von 10-14 % unterstreichen Eignung für Düngezwecke
 - Geringer Anteil von leicht verfügbarem P → langfristig langsam fließende P-Quelle
 - **Stickstoff-Sorptionsfähigkeit:**
 - Knochenkohle-Sorptionspotential bei 10 g NH₄/L am höchsten (40-50 mg NH₄/g)
 - Ohne Aktivierung nur minimale NH₄⁺-Sorption
 - Kaltaktivierung mit KOH (2 M) ähnlich erfolgreich wie Wasserdampf-Aktivierung, erlaubt aber höhere Ausbeute
 - **Stickstoff-Rezyklierung:**
 - Ammonium-Sorption aus Biogas-Gärrest kann an Knochenkohlen sorbiert werden und ist pflanzenverfügbar
-