



Katharina Mauß
Carbon Removal in Baustoffen –
Rahmenbedingungen, Status quo
der Projekte & Workshop

Wien, 27.04.2026

GREENCHAR: Biokohle aus Klärschlamm als Grüne Technologie für die Kreislaufwirtschaft





Projektübersicht

FF: Erhöhung der Wasserrückhaltekapazität, Pflanzenverfügbare Nährstoffe, Untersuchungen der Umweltauswirkungen der verbesserten Substrate (Auswaschung von Stoffen, mikrobielle Vielfalt, Pflanzenstress, ...)

1. Sammlung und Charakterisierung von Klärschlamm

- Optimierung des Pyrolyseprozesses zur thermochemischen Behandlung
- Herstellung von Klärschlamm-Kohle (Biochar)
- Physikalisch-chemische Charakterisierung des Materials zur Bewertung der Eignung als Zuschlagsstoff für extensive Gründachsubstrate
- Ermittlung potenzieller Klärschlammerzeuger in den Grenzregionen von SK-AT

2. Modell-Gründächer

- Installation von Versuchsdächern in AT und SK
- Betrieb und Monitoring der Versuchsdächer

3. Kommunikation und Verbreitung der gesammelten Daten in der Öffentlichkeit

- Wissensaustausch und interdisziplinäre Strategieentwicklung
- Öffentlichkeitsarbeit und Dissemination der Projekterkenntnisse
- 12 Werbe- und Fachveranstaltungen mit 100 Teilnehmern
- Nutzung des einzigartigen mobilen Ausstellungsraums MUGLI mit begrüntem Dach unter Verwendung von Greenchar



Dachbegrünung: Substratverwendung

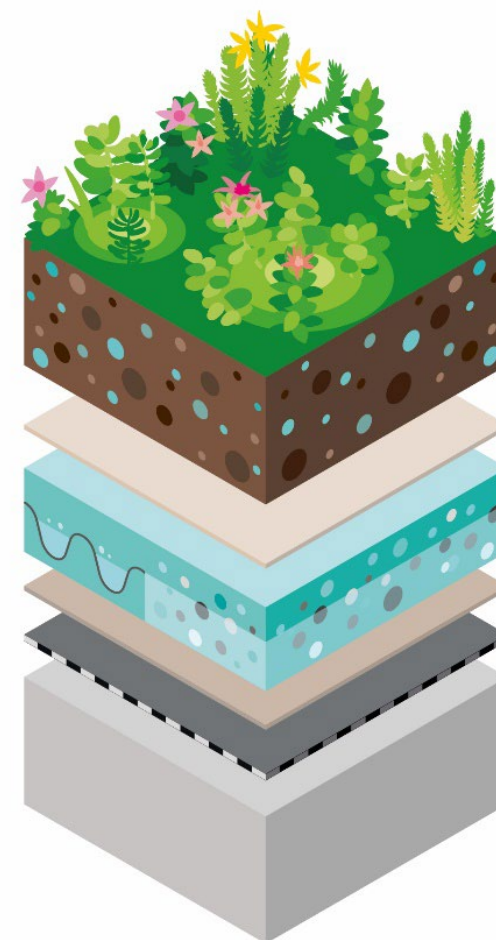
- Wasserspeicherung und -durchlässigkeit
- Nährstoffspeicherung und -austausch
- Porenvolumen zur Luftversorgung
- Strukturstabilität
- Geringes Gewicht

..auf Basis mineralischer Stoffe und **organischer Zuschlagstoffe.**

Mit hohem Recyclinganteil



VERBAND FÜR
BAUWERKSBEGRÜNUNG



Aufbau

Vegetation

Substrat

Filterschicht

Drainage- und
Speicherebene

Schutzlage

Dachabdichtung
(wurzelfest)

tragende
Unterkonstruktion

(Quelle: GRÜNSTATTGRAU und Dachgrün)



Potenziale von Biokohle/Klärschlammkohle in Dachsubstraten

Optimierung der Substratfunktion und zum Klimaschutz

• **Verbessertes Wassermanagement:** Durch **ihre hochporöse Struktur** erhöht die Kohle die **Wasserspeicherkapazität** des Substrats maßgeblich. Dies führt zu einer **verzögerten Abgabe von Niederschlagswasser**, was die Kanalisation entlastet.

• **Nährstoffeffizienz:** Biokohle besitzt das Potenzial, die **Verfügbarkeit von Nährstoffen für die Pflanzen** zu verbessern

• **Dauerhafte Kohlenstoffsенke:** Der Einsatz ermöglicht eine langfristige Kohlenstoffspeicherung im Gründachsystem (**Carbon Sink-Potenzial**).

• **Beitrag zur Klimastrategie:** Die Verwendung unterstützt kommunale **Net-Zero-Ziele** und lässt sich in "**Climate-Adaptation**"-Strategien integrieren.

• **Förderung der Biodiversität:** Gründächer mit optimierten Substraten bieten wertvolle **Lebensräume** für Pflanzen und Insekten





Ressourcenschonung und kontrollierte Kreislaufwirtschaft

Warum Klärschlammkohle auf dem Dach statt auf dem Feld?

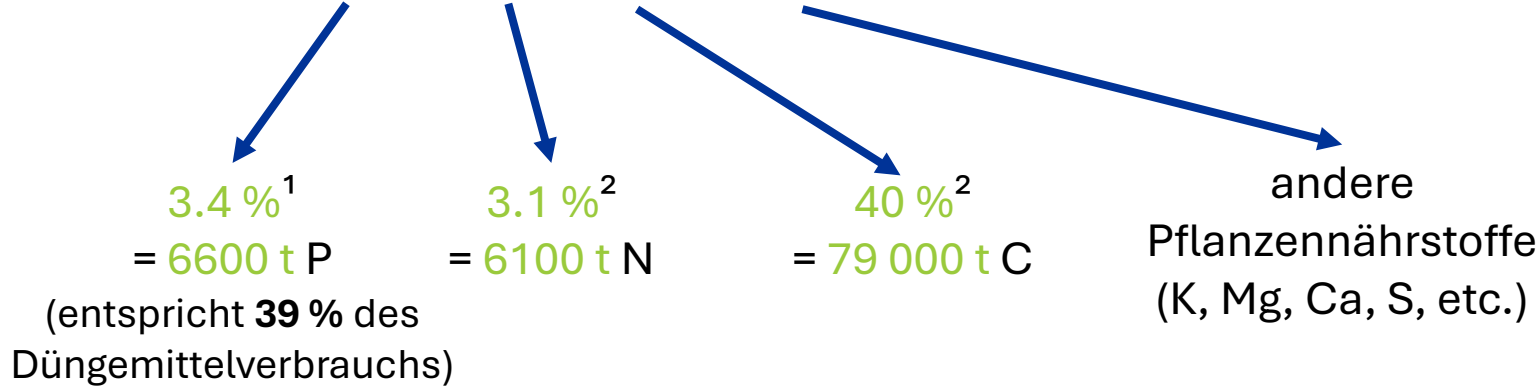
- **Substitution von Rohstoffen:** Klärschlammkohle dient als **Ersatz für primäre Rohstoffe wie Torf oder Zuschlagsstoffe**
- **Stoffliche Verwertung:** Anstatt einer thermischen Endbehandlung (Verbrennung) wird der **Klärschlamm stofflich sinnvoll genutzt** und im **Kreislauf** gehalten.
- **Kontrollierte Einbausituation:**
 - Verwendung in **räumlich begrenzten Substratsystemen auf Dächern** statt in landwirtschaftlich genutzten Böden.
 - Geringer Austausch mit natürlichen Böden durch den kontrollierten Aufbau.
- **Recycling von Nährstoffen:** Ermöglicht das **Recycling von Phosphor bei gleichzeitiger Bindung von Kohlenstoff.**
- **Nachhaltige Stadtentwicklung:** Schließung von Stoffkreisläufen bei gleichzeitiger Steigerung der Klimaresilienz urbaner Räume.





Klärschlamm

- **EU-28:** 9 – 10 Mio. t (d.m.) p.a.
- **Österreich:** 197 000 t (d.m.) p.a.



• Potenzielle Risiken der Ausbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft:

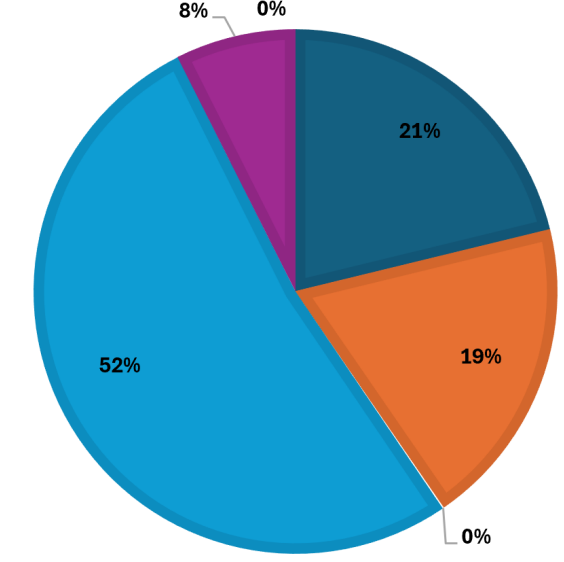
- Persistente Schadstoffe (z. B. **Schwermetalle**, **PFAS**, **PAKs**, **Mikroplastik**) können sich in Böden anreichern und so in die Nahrungskette gelangen
- Gesundheits- und Hygienerisiken durch **Krankheitserreger** und **Antibiotikaresistenzen**.
- Unsicherheiten aufgrund **unzureichend regulierter neuartiger Substanzen**.

¹lebensministerium.at

²Amann et al. (2021)

Klärschlamm Verwertung in Österreich

- Re-use in agriculture and other soil uses
- Re-use other
- Landfilling
- Incineration
- Dispose another way
- Managed without further information reported



<https://water.europa.eu/freshwater/countries/uwwt/austria>

Nur ca. 20 % des in Kläranlagen eingeleiteten P und 3 % des N wird auf landwirtschaftlichen Flächen recycelt (Amann 2022)



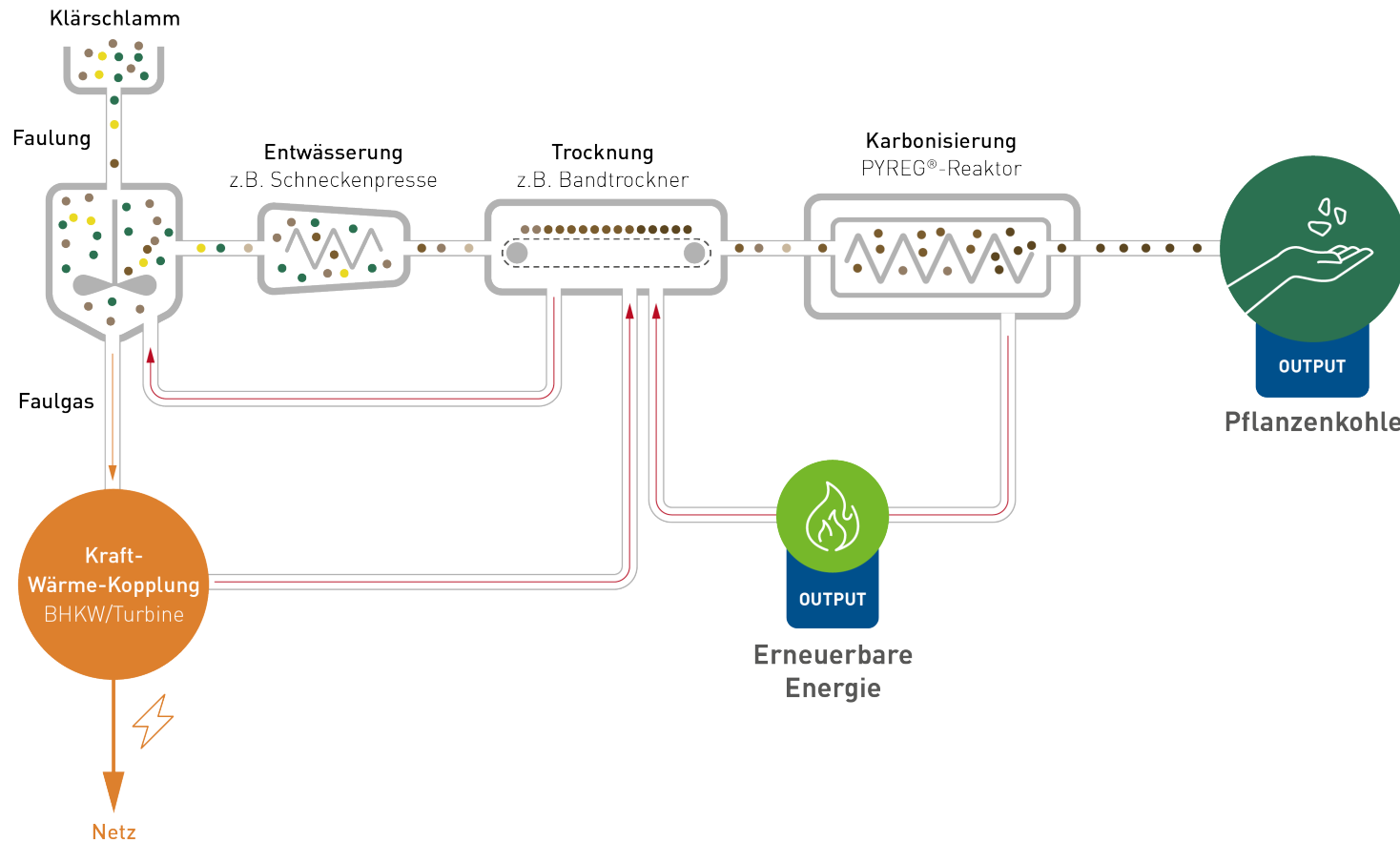
Phosphor (P): Ein Kritischer Rohstoff

- Die langfristige, globale **Ernährungssicherheit** hängt von einer ausreichenden Verfügbarkeit von Phosphor für Düngemittel ab
- **Geologische Phosphorvorkommen** sind begrenzt und sind **geopolitisch sehr ungleich verteilt**
 - Prognosen über ihre Erschöpfung reichen von wenigen Jahrzehnten bis zu mehreren hundert Jahren, doch ihre langfristige Begrenztheit ist unumstritten
 - Die Europäische Kommission stuft Phosphor als **kritischen Rohstoff** ein
- Das Recycling von Phosphor und eine erhöhte Nährstoffnutzungseffizienz werden zunehmend von Bedeutung, um den Phosphorbedarf zur Ernährung der Weltbevölkerung zu decken
- Etwa 90 % der weltweiten Phosphatgesteinsproduktion wird in der Düngemittelindustrie eingesetzt
- Etwa 1,2 Millionen Tonnen Phosphor pro Jahr werden für die Düngung verwendet

Pyrolyse von Klärschlamm



Integrierte Trocknung und Karbonisierung:



- Krankheitserreger werden eliminiert.
- Organischer Kohlenstoff wird in sehr stabile Verbindungen umgewandelt
 - **Kohlenstoffspeicherung**
 - **CO₂-Zertifizierung**
- Organische Schadstoffe können zerstört werden:
 - **PAKs** (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe)
 - **PFAS** (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen)
- Immobilisierung von Schwermetallen

Verwendete Klärschlamm-Quellen

• EBS Wien (Simmering):

- Zentrale Kläranlage Wiens
- Hauptsächlich häusliche Abwässer
- ~ 680 000 m³/d Abwasserbehandlung
- ~ 70 000 t (d.m.) Klärschlamm pro Jahr
- Mögliche Kontaminanten: Schwermetalle (Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Ar, Co, Mo), PFAS, PAK, etc.

• Baden:

- Häusliche Abwässer und Milchindustrie
- ~ 15 000 m³/d Abwasserbehandlung
- ~ 420 t (d.m.) Klärschlamm pro Jahr
- Erfüllt derzeit die "Kompostverordnung, BGBl. 292/2001" → Klärschlamm wird derzeit für Rollrasen verwendet



Schneckenreaktor (PYREKA):

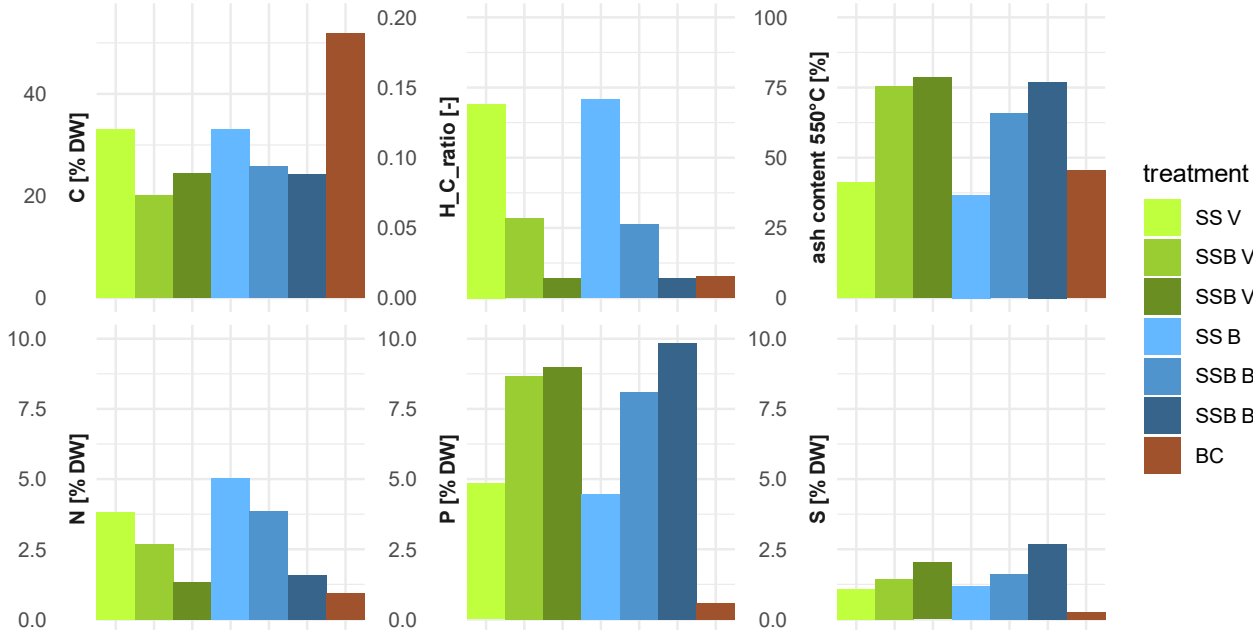


- 2 kg/h Eingangsmaterial
- Kontrollierte Prozesstemperatur mit elektrischem Heizelement
 - 400 °C
 - 700 °C
- Konstante Verweilzeit: 20 min



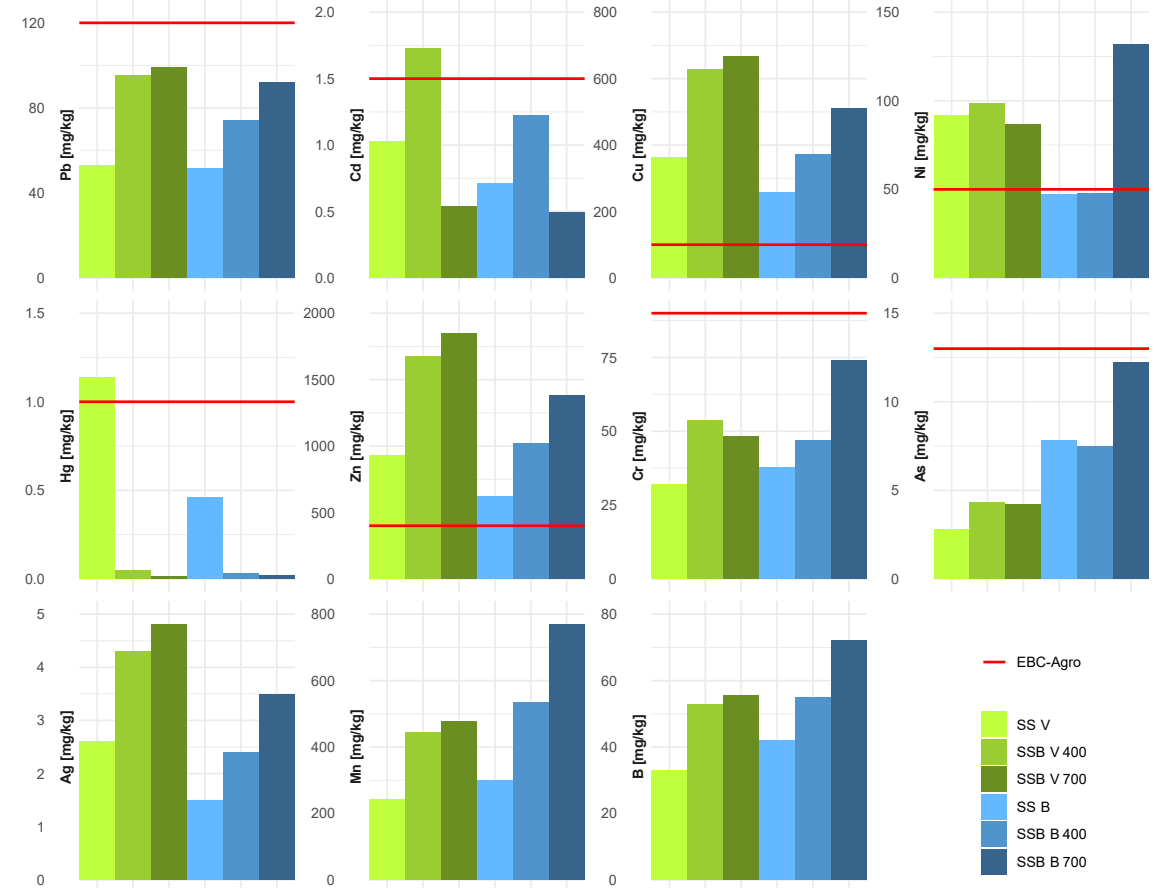
Eigenschaften der produzierten Klärschlamm-Kohle

Standardanalytik



- **N** Gehalt sinkt mit zunehmender Pyrolyse-Temperatur
- **P** Gehalt ändert sich nicht maßgeblich zwischen den Temperaturen
- Im Vergleich zu Pflanzenkohle (Fa. Sonnenerde) deutlich höhere Gehalte an **N**, **P** und **S** aber niedrigere **C** Gehalte

Schwermetalle

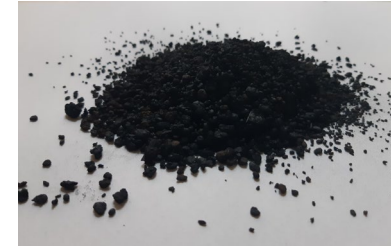


- EBC-Agro-Grenzwerte der Klärschlammkohle werden überschritten für **Cu**, **Ni**, **Zn**, (**Cd**)



Modell-Gründach

- Hergestellte Klärschlamm-Kohle wurde einem kommerziellen Gründachsubstrat (Claylith, ÖNORM L 1131 zertifiziert) beigemischt
- Aussaat von Italienischem Raygras (*Lolium multiflorum*)
- Sammlung und Analyse des Sickerwassers
- Drei Pflanzenernten und Analysen (Schwermetalle und Pflanzennährstoffe)



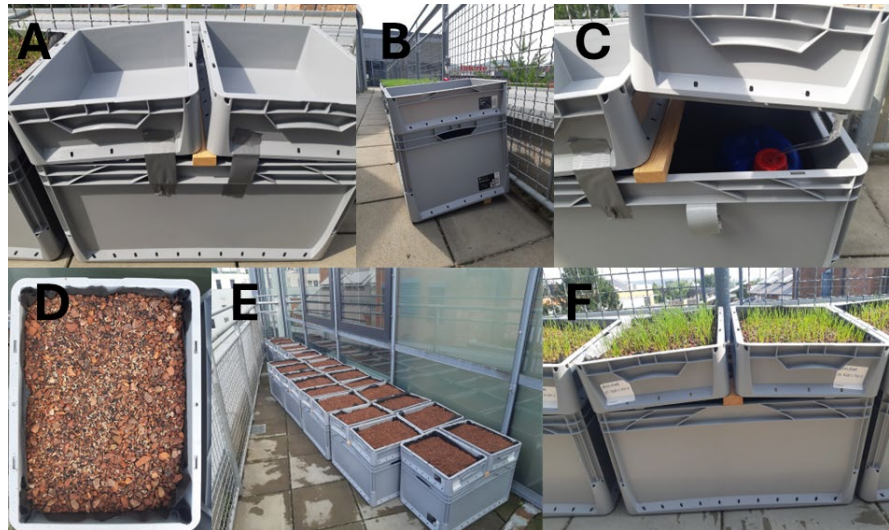
90 % (v/v) Claylith organisch
(inkl. 7% Kompost)

10 % (v/v) Klärschlamm-Kohle

Versuchsgruppen:

- Control (nur Claylith)
- SSB_V400 (Wien bei 400°C)
- SSB_V700 (Wien bei 700°C)
- SSB_B400 (Baden bei 400°C)
- SSB_B700 (Baden bei 700°C)
- BC (Pflanzenkohle)

Installation im Juni



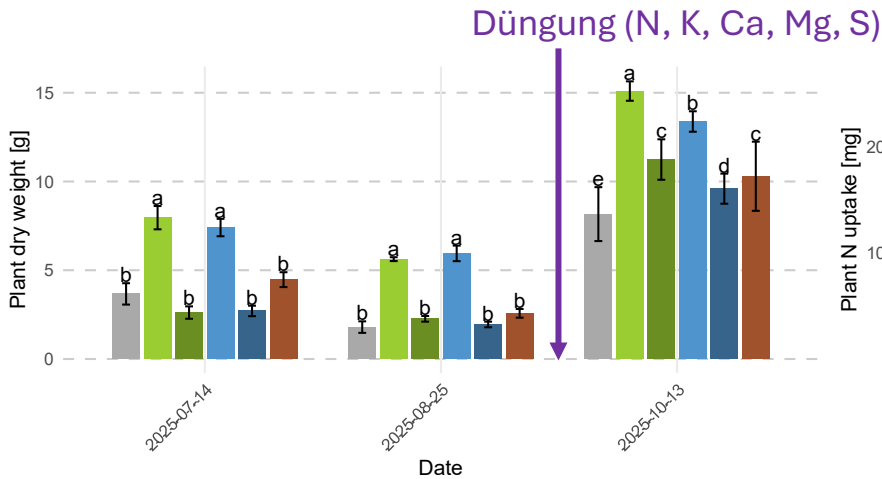
Letzte Ernte im Oktober



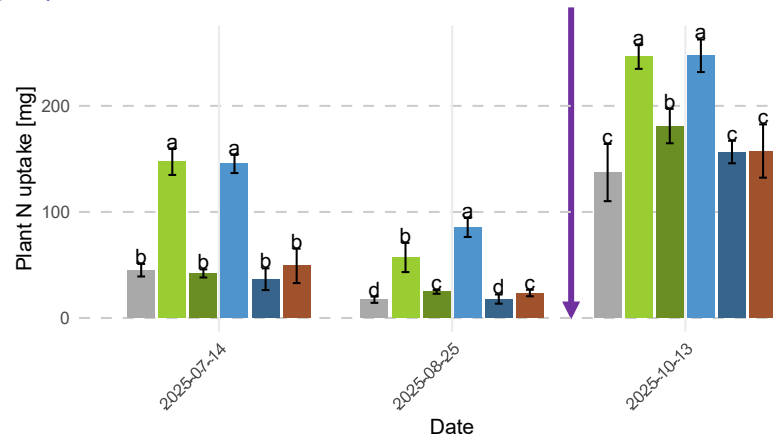


Modell-Gründach – Nährstoffe in den Pflanzen

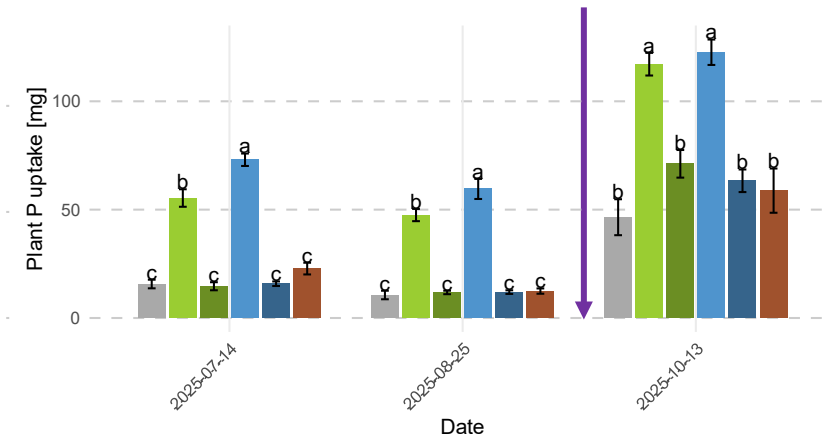
Pflanzen-Biomasse



N-Aufnahme



P-Aufnahme



- Höhere Pflanzenbiomasse sowie eine erhöhte N- und P-Aufnahme für die **400°C**-Varianten
- Eine Düngung (ohne Phosphor) im Spätsommer nach dem zweiten Schnitt steigerte das Pflanzenwachstum in allen Versuchsgruppen. Dennoch zeigten die **400 °C**-Behandlungen insgesamt das beste Wachstum.
- Zwischen den Klärschlamm-Quellen (Wien vs. Baden) wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

Treatment

control	SSB_V700	SSB_B700
SSB_V400	SSB_B400	BC

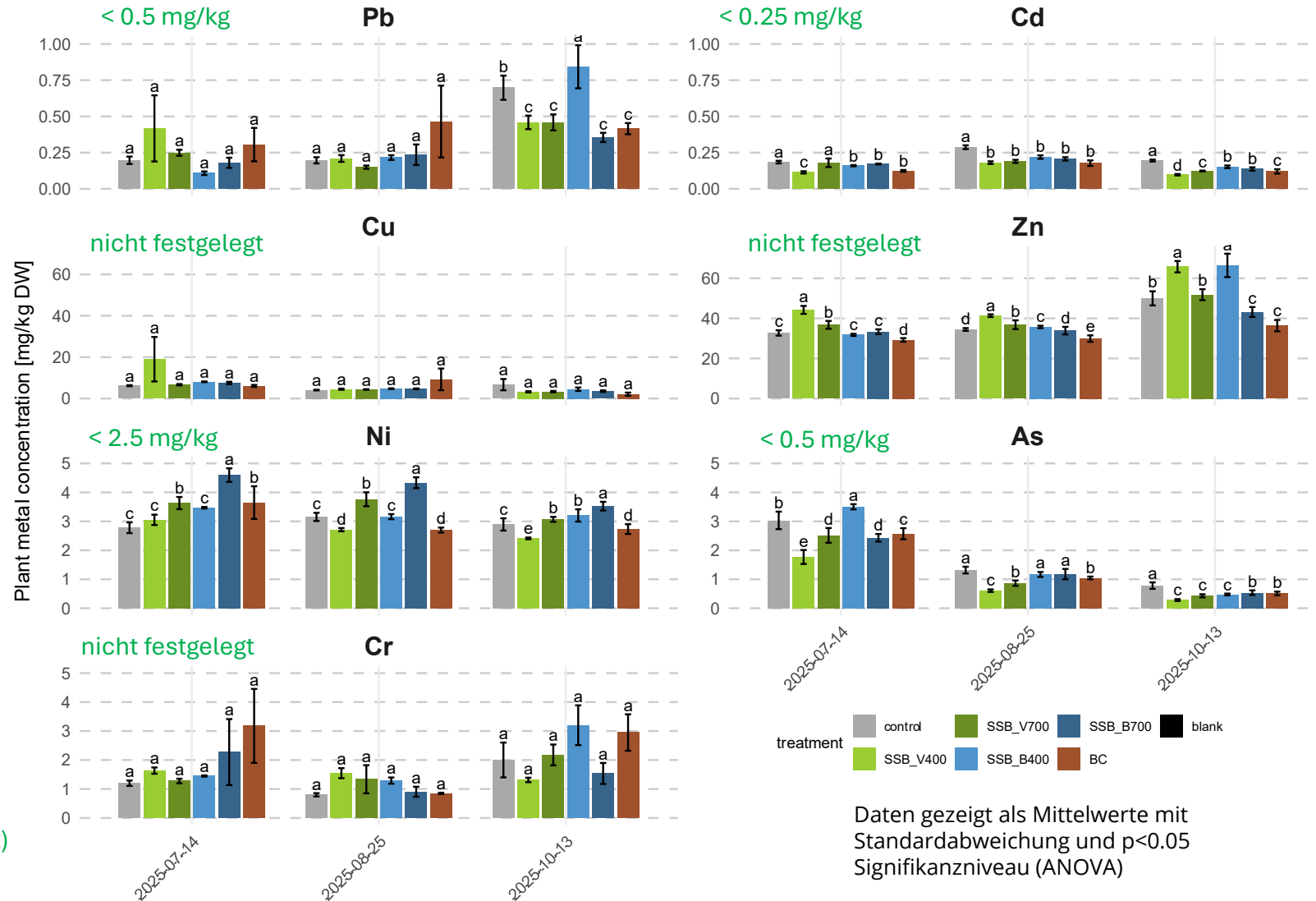
Daten gezeigt als Mittelwerte mit Standardabweichung und p<0.05 Signifikanzniveau (ANOVA)



Modell-Gründach – Schwermetalle in den Pflanzen

- Vergleiche mit Grenzwerten für Gemüse geben Anhaltspunkte für die Schwermetallmengen (auch wenn Anbau für Nahrungsmittel nicht vorgesehen ist).
- Teilweise über den Grenzwerten, allerdings im Vergleich zur Kontrolle nur geringfügig.
- **Zu beachten:** *Lolium mutiflorum* ist eine Bioindikatorpflanze die Schwermetalle überproportional zu anderen Pflanzen aufnimmt.

Grenzwerte für Gemüse
(umgerechnet auf Trockengewicht)
[(EC) 1881/2006; (EU) 2024/1987]

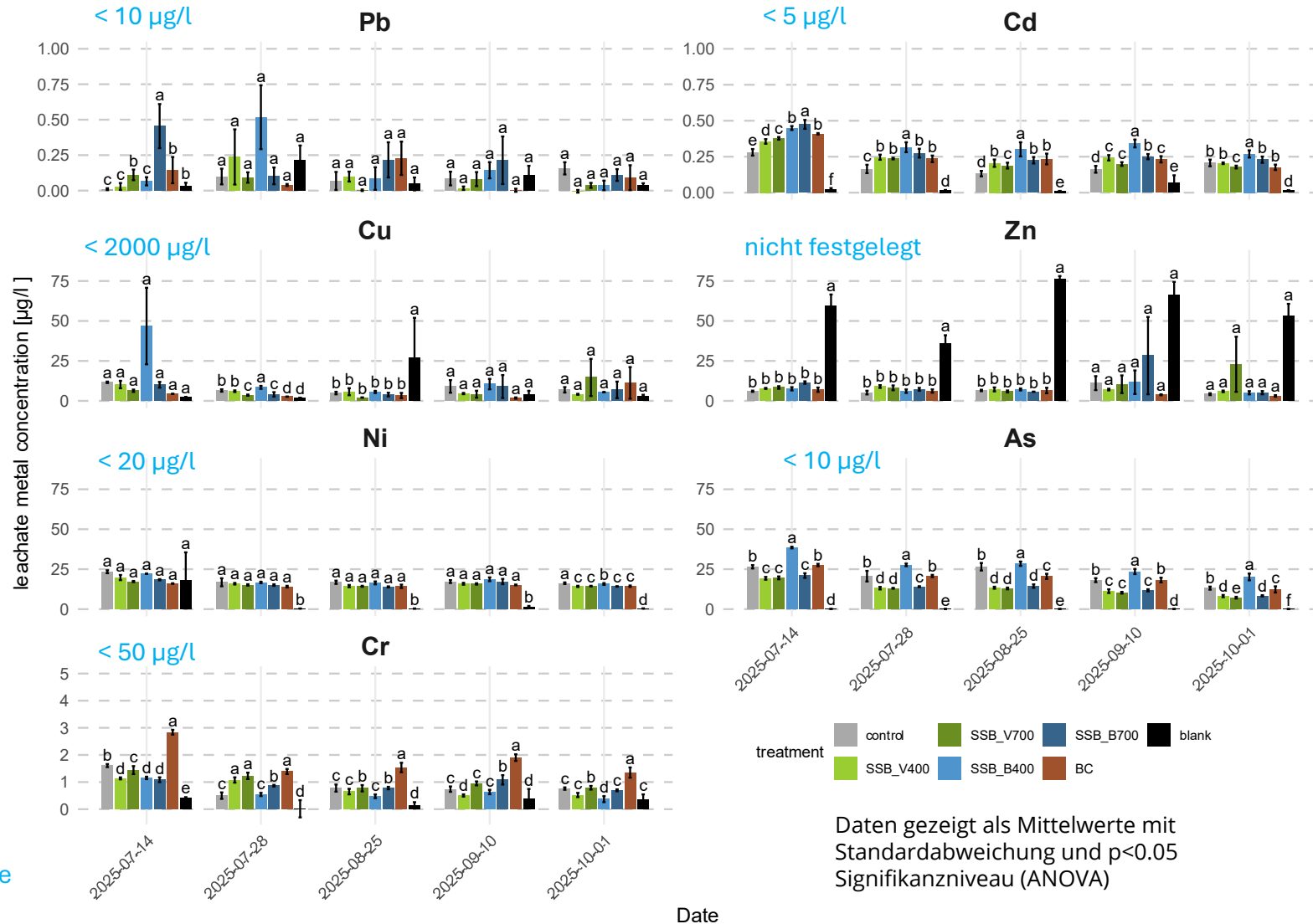




Modell-Gründach – Schwermetalle im Sickerwasser

- Mit Ausnahme von **Nickel** und **Arsen** liegen die Schwermetallkonzentrationen deutlich unter den Trinkwassergrenzwerten
- Cadmium** ist erhöht im Vergleich zur Kontrolle (insbesondere bei Klärschlamm-Kohle aus Baden), liegt jedoch weiterhin klar unter dem Grenzwert
- Geringe Mengen an **Blei** aus dem Klärschlamm (v.a. bei 400°C) scheinen aus dem Klärschlamm mobilisiert zu werden (aber geringe Signifikanz)
- Zn** war in den Blindproben erhöht
 - **atmosphärische Deposition**
 - **Filterwirkung der Substrate**

Trinkwassergrenzwerte
[EU Drinking Water Directive
2020/2184]



Daten gezeigt als Mittelwerte mit Standardabweichung und $p < 0.05$ Signifikanzniveau (ANOVA)



Schlussfolgerung

- Unsere Ergebnisse liefern positive Resultate zur **Eignung von Klärschlamm-Kohle für Dachbegrünungssubstrate**.
- Bei **niedrigeren Pyrolysetemperaturen** ist die **Verfügbarkeit** von Phosphor (P) und Stickstoff (N) für Pflanzen **höher**.
- Bei **400°C** Pyrolyse-Temperatur waren die PAK-Werte unterhalb der EBC-Agro Grenzwerte, jedoch führte die Pyrolyse bei **700 °C** zur **Neubildung einiger PAKs**.
- Die gemessenen **PFAS** konnten bei beiden Pyrolysetemperaturen **unter die Nachweisgrenze** gebracht werden
- Basierend auf unseren Ergebnissen liefern **niedrigere Pyrolyse-Temperaturen bessere Resultate**



Ausblick / rechtliche Herausforderungen:

- **EU-Düngerproduktverordnung EU 2019/1009:** Klärschlammkohle ist bei CMC 14 (Pyrolyseprodukte) noch explizit ausgeschlossen
- Manche Mitgliedsstaaten (z.B. DE, AT) fühlen sich daran streng gebunden
- Andere Mitgliedsstaaten (FIN, SE, DK, CZ) haben nationale Regelungen, welche die landwirtschaftliche Anwendung bei Einhaltung von Schadstoffgrenzwerten erlauben
- Aktuell ist eine Neubewertung und Überarbeitung im Gange
- AT: aktuell Erarbeitung einer **ÖNORM S 2212** als Vorarbeit für zukünftige großzügigere Rahmenbedingungen
- **Rechtliche Situation ab 2033:**
Mono-Verbrennung von Klärschlamm begünstigt, aber Realisierbarkeit steht in Diskussion



Kontakt BOKU:

Partnerorganisation: Universität für Bodenkultur Wien
Kontaktperson: Ferdinand Hartmann
E-Mail Adresse: ferdinand.hartmann@boku.ac.at

Kontakt GRÜNSTATTGRAU:

Partnerorganisation: GRÜNSTATTGRAU
Kontaktperson: Katharina Mauss
E-Mail Adresse: katharina.mauss@gruenstattgrau.at