

# Das Schlammpotential!

## Rekultivierung humusarmer Bergbaufolgeböden mittels Verwertung mineralischer Reststoffe

Mathias Stein<sup>1, 2</sup>, Emma Harlow<sup>1, 2</sup>, Jakob Herrmann<sup>1, 2</sup>, Pauline Winkler<sup>3</sup>,  
Robert Mikutta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Just Transition Center, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 06120 Halle (Saale)

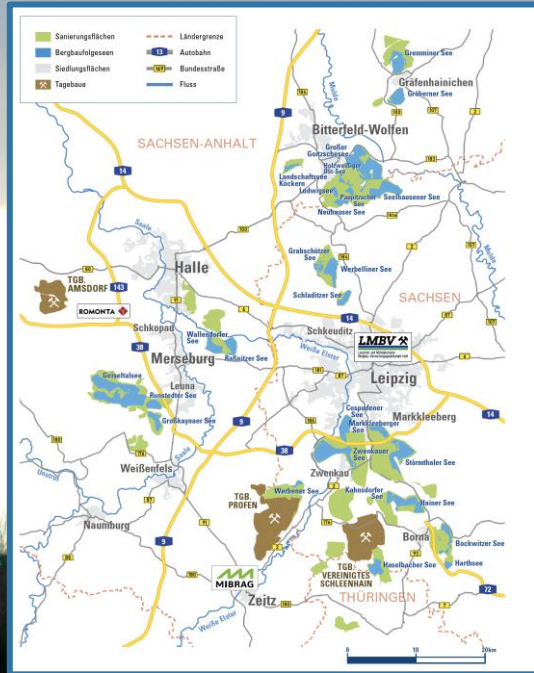
<sup>2</sup> Bodenkunde und Bodenschutz, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 06120 Halle (Saale)

<sup>3</sup> Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften (FIB) e.V., 03238 Finsterwalde

**Mathias Stein**  
**Team B1**  
**Just Transition Center**

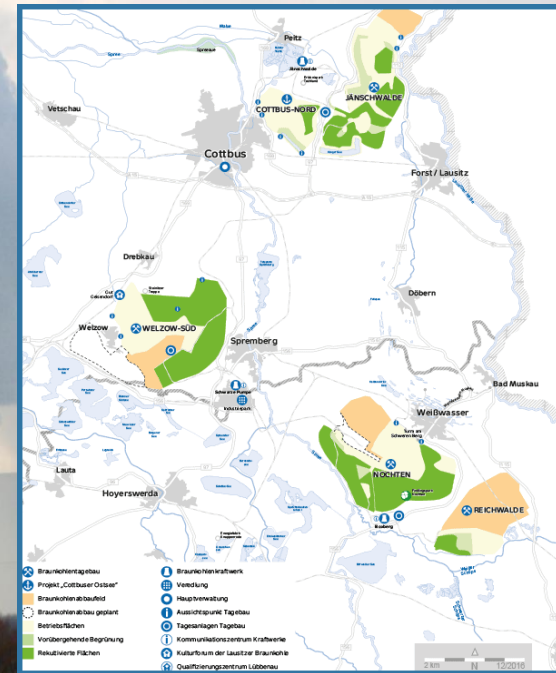


## Mitteldeutsches Revier



- Flächenanspruch: 12.220 ha

## Lausitzer Revier



- Flächenanspruch: ca. 35.000 ha
- Fördermenge 2023: 42 Mio. Tonnen

## Funktionen des Bodens:

- Lebensraumfunktion
- Kreislauffunktion   
**Wasser & Nährstoffe  
& Kohlenstoff**
- ökologische  
Regelungsfunktion,  
insbesondere **Schutz  
des Grundwassers**





**Das Beste kommt zum Schluss!**





Sandige Textur & saure Bodenreaktion

Geringe Nährstoff- und  
Wasserhaltekapazität

Hauptziel der  
Rekultivierung/Restauration:  
**Aufbau organischer Bodensubstanz  
(OBS)**

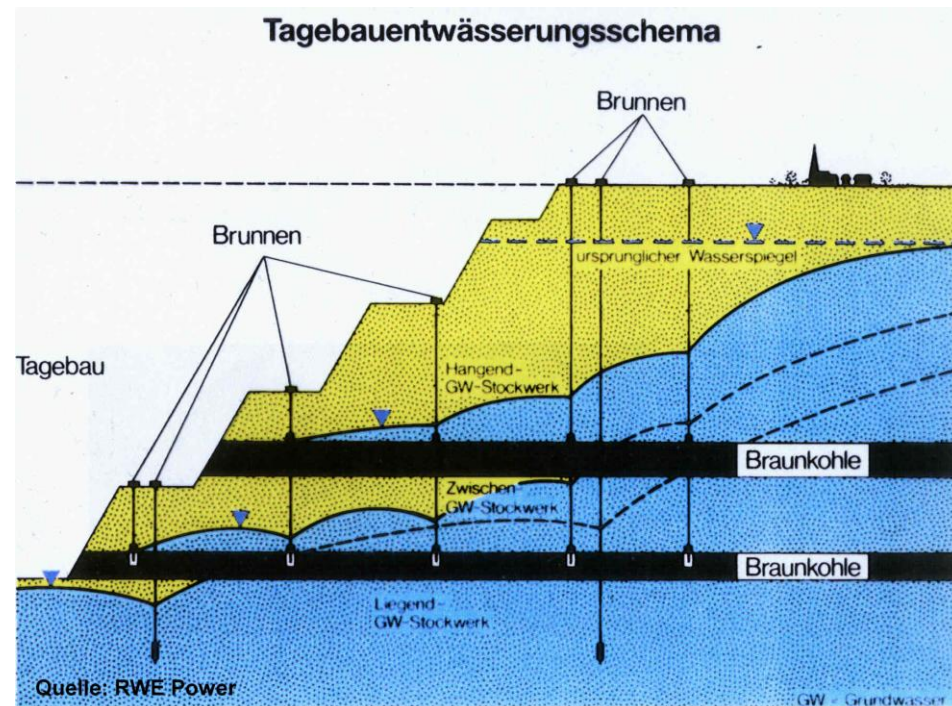
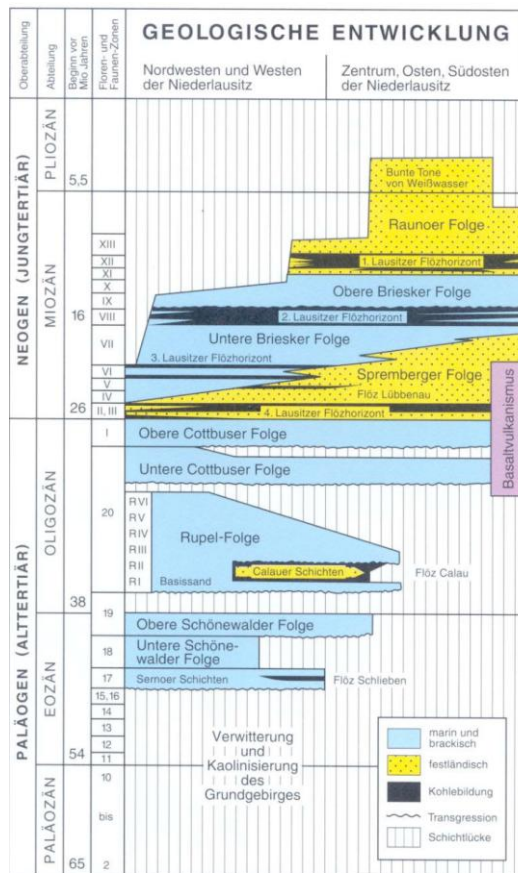
Aufbau von OBS  
auf sandigen  
Kippsubstraten =  
**sehr langsamer  
Prozess**

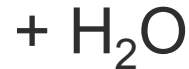


|                                        | Standort                              | Tiefe (cm) | C-Gehalt (%) |                       |
|----------------------------------------|---------------------------------------|------------|--------------|-----------------------|
| <b>Knoche (1999)</b>                   | 2-jähriger Forst auf Kippsand         | 0-30       | 0,09         | <b>0,077%<br/>p.a</b> |
|                                        | 21-jähriger Forst auf Kippsand        | 0-5        | 1,63         |                       |
|                                        |                                       | 5-30       | 0,17         |                       |
| <b>Haubold-Rosar (1998)</b>            | 40-jähriger Forst auf<br>Kippkiessand | 0-5        | 2,9          |                       |
|                                        |                                       | 5-30       | 0,2          |                       |
| <b>Gerwin et al. (2011 &amp; 2020)</b> | initialer quartärer Sand              | 0-30       | 0,16         | <b>0,006%<br/>p.a</b> |
|                                        | 11-jährige natürliche Sukzession      | 0-30       | 0,23         |                       |









Probleme: saurer pH, Hohe Eisen- und Sulfatfracht,  
Potentiell toxische Metalle! im Grundwasser







EHS – Ausfällung im Oberflächenwasser  
Eichower Fließ bei Vetschau



EHS – Halde zur Zwischenlagerung



EHS

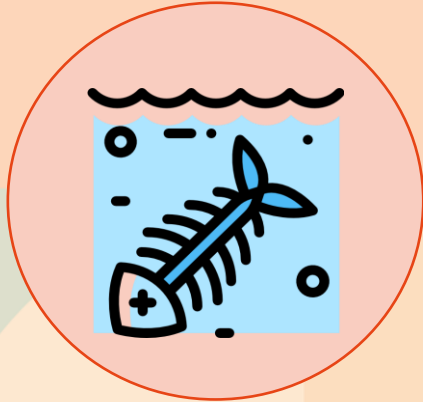


## Mengen an Eisenhydroxidschlämmen im Naturraum

2021: 28.000 t

2022: 75.000 t

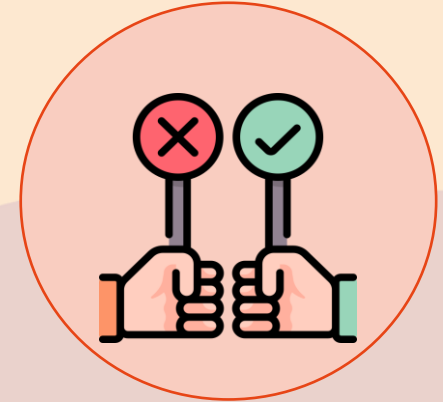
↑ **Tendenz steigend!**



ökologische



ökonomische



gesellschaftliche

... Lösungen für beide Herausforderungen  
sind nötig → Restauration von Kippsubstraten  
und das Recyceln von EHS



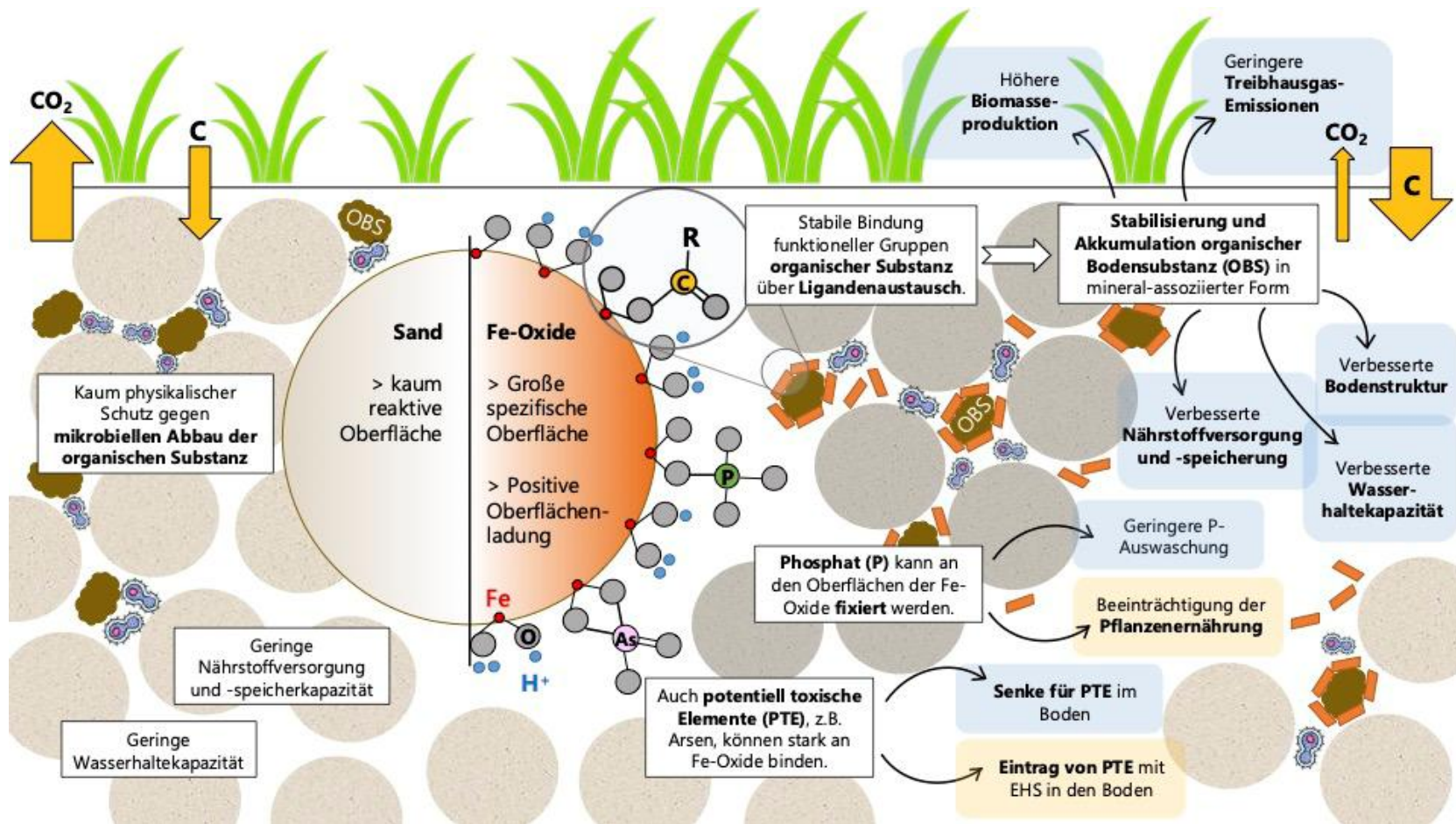


+

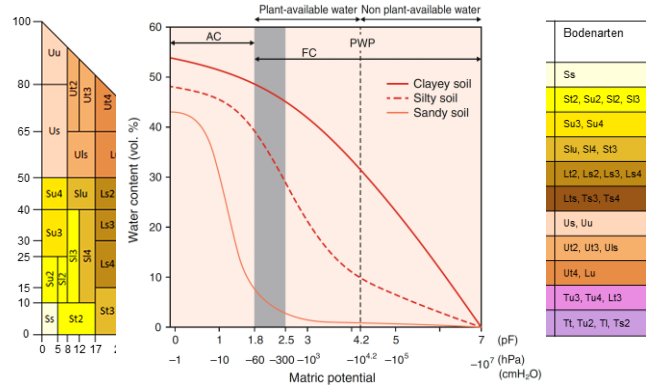


**Wir fragen uns,**

...ob die Anwendung von Eisenhydroxidschlamm die Bildung organischer Substanz in sandigen Kippenböden fördert und dadurch die Rekultivierung dieser Böden verbessert und beschleunigt.



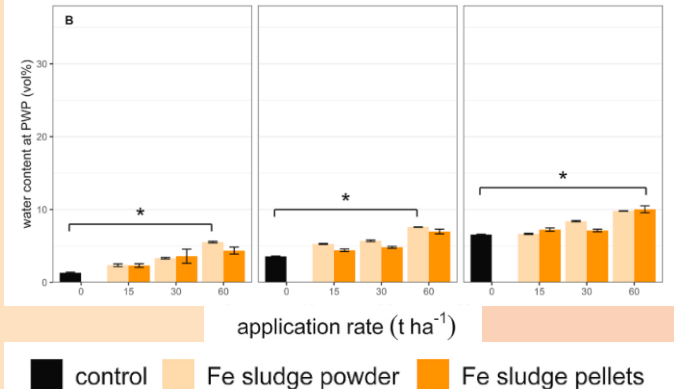
% Schluff



- Große Partikel → Große Poren
- Kleine Partikel → Kleine Poren

**Die Mischung macht's!**

Wassergehalt am PWP steigt  
signifikant mit EHS-Gehalt in  
der Substratmischung.





## Geochemische und mineralogische Charakterisierung der EHS

### Sorptionsversuche

Untersuchung des C-Bindungsverhaltens von EHS unter verschiedenen Umweltbedingungen

### Inkubationsversuch

- C-Stabilisierung durch die Bildung von MAOM
- CO<sub>2</sub>- und andere Treibhausgas-emissionen

### Lysimeterversuch

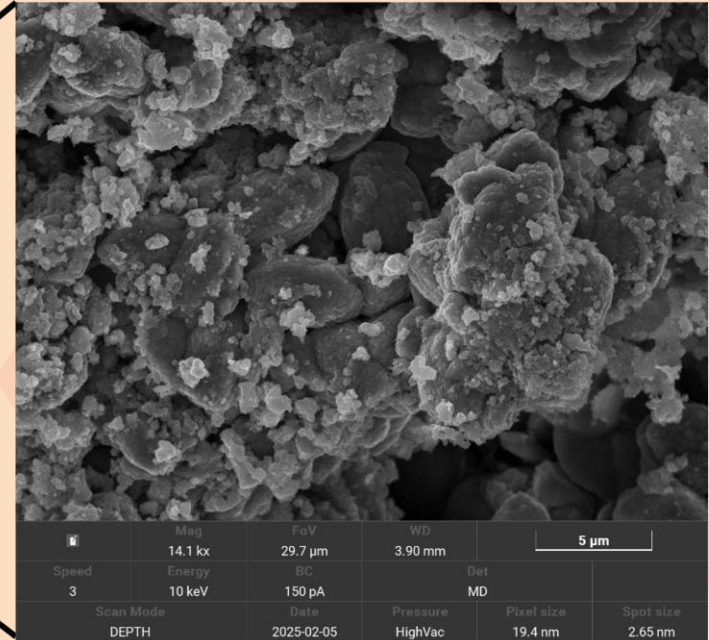
- Auswirkungen auf Wasserhaushalt & Pflanzenernährung
- Beprobung des Sickerwassers
- P, PTEs (z. Bsp.: As)

## Risiko-Nutzen-Analyse

## Charakterisierung der EHS (laufend)

### Auswahl der Analysen:

- Oxalatlösliches Eisen
- Dithionitlösliches Eisen
- TOC, TIC
- PTEs (Gesamt und verfügbar)
- Röntgenbeugeanalyse
- FTIR
- REM



**EHS-Auswahl für Folgeexperimente (abgeschlossen)**

## Lysimeterversuch unter Freilandbedingungen (Start: Mai 2025)



- Einfluss von EHS auf OC-Vorräte, KAK und WHK
- Einfluss von EHS auf die Pflanzenernährung (P, PTEs)

- Boden- und Sickerwasser-beprobung

- **Erster Luzerneschnitt im August 2025**
- Chlorophyllgehalt- und -fluoreszenzmessungen
- Gesamtaufschluss (Nähr- und Schadstoffe)



J. Herrmann<sup>1,2</sup>, E. Harlow<sup>1,3</sup>, L. Pohl<sup>4</sup>, R. Mikutta<sup>2</sup>, M. Stein<sup>1,2</sup>





**Zentrale Herausforderung in der Lausitzer Bergbaulandschaft:**

- Ausfallung großer Mengen von **Flüssigfraktionsschlamm (FAS)** in Oberflächengewässern (natürlich und Wasserbehandlungsanlagen (WBA, z.T. künstlich): ca. 60.000 t/a.
- Überwiegend aufwendige Entsorgung aufgrund fehlender etablierter Verwertungsoptionen und/oder Überschreitung von Grenzwerten für Potenziell Toxische Elemente (PTE).
- ➔ **Systematische geochemische und mineralogische Charakterisierung von FAS diverser Anfallstandorte und Bewertung hinsichtlich potentieller Nutzung als Bodenverbesserer.**

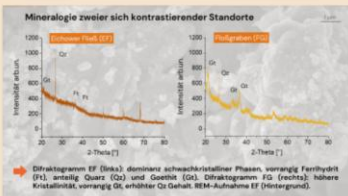


### Ausgewählte Geochemische Parameter

| Hauptbestandteil | Standard                             | Gesamtsauerstoffgehalte (%) |      |      |      | Elementar-Sauerstoffgehalte (%)         |      |      |      | BET-<br>Porenvolumen<br>(cm <sup>3</sup> /g) |      |      |
|------------------|--------------------------------------|-----------------------------|------|------|------|-----------------------------------------|------|------|------|----------------------------------------------|------|------|
|                  |                                      | g/g                         | C    | H    | N    | (mg/g, wt.-%/O <sub>2</sub> -Elementar) | g/g  | C    | H    |                                              | g/g  |      |
| SEB              | Gefüllungsgeringsteigende Wachs      | 6,80                        | 5,24 | 0,20 | 0,00 | 0,00                                    | 0,47 | 0,54 | 0,02 | 0,01                                         | 0,03 | 0,04 |
| SEB              | Flüssigkeit                          | 6,80                        | 5,24 | 0,20 | 0,00 | 0,00                                    | 0,47 | 0,54 | 0,02 | 0,01                                         | 0,03 | 0,04 |
| SEB              | Verunreinigungsgeringsteigende Wachs | 7,90                        | 5,50 | 0,07 | 0,04 | 0,07                                    | 0,04 | 0,07 | 0,04 | 0,01                                         | 0,01 | 0,01 |
| SEB              | Gefüllungsgeringsteigende Wachs      | 7,90                        | 5,50 | 0,07 | 0,04 | 0,07                                    | 0,04 | 0,07 | 0,04 | 0,01                                         | 0,01 | 0,01 |
| SEB              | Flüssigkeit                          | 7,90                        | 5,50 | 0,07 | 0,04 | 0,07                                    | 0,04 | 0,07 | 0,04 | 0,01                                         | 0,01 | 0,01 |
| SEB              | Verunreinigungsgeringsteigende Wachs | 8,40                        | 2,67 | 0,36 | 0,10 | 0,24                                    | 0,24 | 0,10 | 0,04 | 0,01                                         | 0,01 | 0,01 |
| SEB              | Flüssigkeit                          | 8,40                        | 2,67 | 0,36 | 0,10 | 0,24                                    | 0,24 | 0,10 | 0,04 | 0,01                                         | 0,01 | 0,01 |
| SEB              | Verunreinigungsgeringsteigende Wachs | 10,00                       | 2,59 | 0,36 | 0,10 | 0,07                                    | 0,07 | 0,10 | 0,04 | 0,01                                         | 0,01 | 0,01 |
| SEB              | Flüssigkeit                          | 10,00                       | 2,59 | 0,36 | 0,10 | 0,07                                    | 0,07 | 0,10 | 0,04 | 0,01                                         | 0,01 | 0,01 |
| SEB              | Gefüllungsgeringsteigende Wachs      | 10,00                       | 1,55 | 0,00 | 0,10 | 0,00                                    | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,00                                         | 0,00 | 0,00 |
| SEB              | Flüssigkeit                          | 10,00                       | 1,55 | 0,00 | 0,10 | 0,00                                    | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,00                                         | 0,00 | 0,00 |

➔ Räumliche Differenz natürlich ausfallender EHS: neutrale pH-Werte und niedrige S-Gehalte im nördlichen Untersuchungsgebiet vs. hohe S-Gehalte im Süden. Managementbedingte Variabilität: Anteil schwachkristalliner Fe-Mineralis mit erhöhter Sorptionskapazität geringere EHS-Lagerungsdauer; z.T. höhere pH-Werte in WSA aufgrund von Kalkung/Flockungsmittelzugabe. Keine klaren Trends für

$F_{\text{Fe}}/F_{\text{Fe}_0}$  = Verhältnis von Oxalat-extrahierbarem zu Dithionit-Citrat-Bikarbonat-extrahierbarem Eisen, zur Quantifizierung der Kristallinität der Eisenphase.  
 Rot vs. grün hervorgehobene Werte = negative vs. positive Bewertung, z.B. bei PTE Orientierung am Prüferort laut Bildschir/ Anlage 2 Tabelle B.  
 = ausgewählte, sich hinsichtlich EHG-Eigenschaften kontrastierende Standorte.



Diffraktogramm EF (links): dominanz schwachkristalliner Phasen, vorrangig Ferrihydrit (Ft), anteilig Quarz (Qz) und Goethit (Gt). Diffraktogramm FG (rechts): höhere Kristallinität, vorrangig Gt, erhöhter Qz-Gehalt. REM-Aufnahme EF (Hintergrund).

- **Räumliche / Managementbedingte Variabilität** der EHS-Eigenschaften im Untersuchungsgebiet → **analog** zu bekannten **EHS-Överheit** auf internationaler Ebene.
- **Nutzungseignung** im Spannungsfeld von Grenzwerten für PTE (hier: gesetzliche Vorgaben, insb. **mob. Diffusivität**) und Nährstoffeffizienz (insb. bodenwasserbeständige Eigenschaften (insb. Humusaufbau, erhöhte Wasserhaltekapazität) → **lokales Potential** im Rahmen der **Retikulation** von Bergbaulöcherflächen.
- **Ausstehende Forschung:** **Kompletierung** der EHS-Charakterisierung = **ökologische Bewertung** der Stoffdynamiken (insb. PTE Mobilität, C-Dynamik) mittels **Satelliten-, Inkubations-, und Freilandversuchsansätzen** → **mögliche Grundlage für rechtliche Neubewertung**.

- Weitere Informationen zum Forschungsvorhaben: [www.hiwi.de/hiwi](http://www.hiwi.de/hiwi)
- Weitere Informationen zu den Sozialwissenschaftlichen von (H)P: [www.hiwi.de/hiwi](http://www.hiwi.de/hiwi)

Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft  
in Tübingen vom 13.-18. September 2025



Mittwoch 17.09.,  
17:00 bis 19:00 Uhr  
Kommission VII,  
Nr. 136 - 143,  
1. Obergeschoss

◀ Herrmann et al.  
Poster Nr. 136

E. Harlow<sup>1,2</sup>, J. Herrmann<sup>1,2</sup>, R. Mikutta<sup>2</sup>, M. Stein<sup>1,2</sup>

<sup>2</sup> Bodenkunde und Bodenachyrie, Institut für Agrie- und Ernährungswissenschaften, MLU Halle-Wittenberg, Halle (Saale)



Neurofaktoren in der Leukotrien-Biosynthese:

- 1 **saure Lipidase** mit geringer Spezifität
- 2 **Arachidonsäure-Esterase** (AAE) in Leukozellen

Forschungsbefunde: Potentiale und Grenzen der Nutzung von EPL zur Verbesserung der Biofortifikation von Ökoproducten mit Fokus auf die Akkumulation & Stabilisierung von **gesunden Kohlenhydraten**

Die EPL handelt es sich um eine Mischung aus Ensen (Enzymen), die in der Leukotien-Biosynthese eine zentrale Rolle spielen. Insbesondere, werden hierarchisch **neue organische Bestandteile** in die Leukotien-Biosynthese eingebracht.

- **Gibt spezifische Olefinase (SOL)**, diese sind in der Lage, **spezifische Kohlenhydrate**, potentiell **inert** für **zusätzliche Akkumulation** von OC.

**Wie viel OC kann zusätzlich an den Olefinen von EPL gebunden werden?**

Wie **verhält es sich** **zusätzlich** **Neu** mit der **Freisetzung** und **Bindung** von **NH<sub>2</sub>** und **Schärfen**?

Welche **Implikationen** **haben** sich **daraus** für die **Einsetzung** von **EPL** als **Werkzeug** zur **Verbesserung** der **Produktion** von **OC**?

Wie viel OC kann zusätzlich an den Oberflächen von EHS gebunden werden?  
Wie verhält es sich darüber hinaus mit der Freisetzung und Bindung von Nähr- und Schadstoffen?  
Welche Implikationen leiten sich daraus für den Einsatz von EHS als Mittel zur Bodenverbesserung ab?

Wasserextrakt aus Luzerne (DOM)      Citrus Monosyringyl (Referenz)

106 mg C<sub>1</sub> L<sub>1</sub> pH 5.2 60 ml

Grubbs-System  
Schmelze  
150 °C  
3,6 h  
18, 9 %

Einsatz: 50-1000 mg Fe-Oxid

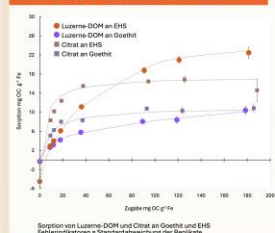
74,0 kDa  
63 %

3 Wiederholungen  
18 h schmelzen bei Raumtemperatur  
Membrantrennung (0,1 µm)

Analytik  
pH-Wert, TOC, S, N, O, UV/VIS  
P, As, Cu, Zn, Ni, Cd, Pb, Cr, PO<sub>4</sub>, PCr

**Analytik**  
pH/elekt. Leit., TOC/TN,  $\text{SiO}_2$  (UV-Vis),  
P, As, Cu, Zn (ICP-OES),  $\text{PO}_4\text{-P}$  (CFA)

Graph showing the sorption of various pesticides on Luzerne-DOM and Citrat an Goethit. The y-axis is 'Sorptions-Koeffizient  $K_d$  in l/kg' ranging from -6 to 26. The x-axis is 'Dosis in mg OC/g Fe' ranging from 0 to 200. Five data series are plotted: Luzerne-DOM an EHS (orange circles), Luzerne-DOM an Goethit (purple circles), Citrat an EHS (blue squares), Citrat an Goethit (dark blue squares), and Citrat an Goethit (red triangles). All series show an increase in  $K_d$  with increasing dose, with Luzerne-DOM an EHS showing the highest values.



Eisenhydroxidacklamme weisen ein Potenzial zur C-Stabilisierung auf. Um ihre Eignung für den Einsatz als Mittel zur Bodenverbesserung zu bewerten, müssen Chancen und Risiken in weiterführenden Experimenten geklärt werden.

**Potenziale**

- Zusätzliche Adsorption von OC trotz bereits teilw. belagter Oberflächen = Chance zur Förderung des Humusaufbaus in Kiepenböden
- Hohe P-Konzentration = mögliche Verringerung der P-Auswaschung aus EHS-bearbeiteten Böden

**Herausforderungen**

- Desorption von OC bei geringer C-Beladung
- Freisetzung potentiell toxischer Elemente (hier: Zn bei pH 5,0) = Bedarf an Risikoprüfung
- Starke P-Fixierung = mögliches Risiko für die Pflanzennutzung

- Desorption von OC bei geringer C-Beladung
- Freisetzung potentiell toxischer Elemente (hier: Zn bei pH 5,0) → Bedarf der Risikoabschätzung
- Starke P-Förderung → mögliches Risiko für die Pflanzenernährung

```

graph TD
    A[Erweiterte Sorptionsversuche] --> D[Risiko-Nutzen-Analyse]
    B[Inkubationsversuch] --> D
    C[Lysozymversuch] --> D
    A --- E[Quantifizierung des C-Bindungsverhaltens unter verschiedenen Umweltbedingungen]
    B --- F[Untersuchung von Anheftungsprozessen an Eris-Oberflächen]
    C --- G[Aussagen auf Menschlichkeit & Plasmenerhaltung]
    E --- D
    F --- D
    G --- D
  
```

Das Diagramm zeigt drei experimentelle Ansätze, die zur Risiko-Nutzen-Analyse führen:

- Erweiterte Sorptionsversuche:** Quantifizierung des C-Bindungsverhaltens unter verschiedenen Umweltbedingungen.
- Inkubationsversuch:** Untersuchung von Anheftungsprozessen an Eris-Oberflächen.
- Lysozymversuch:** Aussagen auf Menschlichkeit & Plasmenerhaltung.

Alle drei Ansätze münden in der **Risiko-Nutzen-Analyse**.

Risiko-Nutzen-Analyse

Weitere Informationen zu den stofflichen Eigenschaften von EHS finden Sie auf **Poster 136** (Hermann et al.).  
Weitere Informationen zum Forschungsergebnis erhalten Sie auf unserer Website [www.hiwi.uni-leipzig.de/hiwi/](http://www.hiwi.uni-leipzig.de/hiwi/). Dort finden Sie auch alle Tagungsbeiträge unseres Projektes.

Viel Spaß auf der DBG-Tagung 2025 und Ihnen allen eine gute Zeit!

JTE  
JUST  
TRANSITION  
CENTER

b-tu  
Brandenburgische  
Technische Universität  
Cottbus - Senftenberg

 **FIB**  
Forschungsinstitut für  
Bergbaufolgelandschaften e.V.

Vielen Dank  
für Ihre Zeit!





