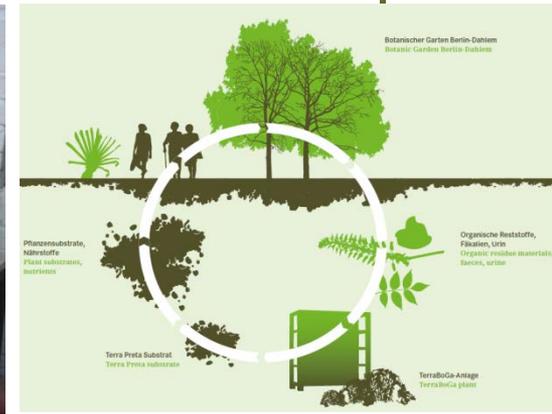
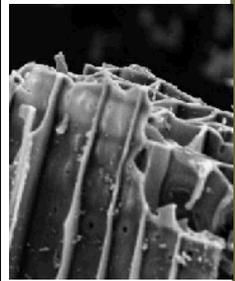


# Elutionsverhalten von Biokohlesubstraten (BKS) und Boden/BKS-Mischungen

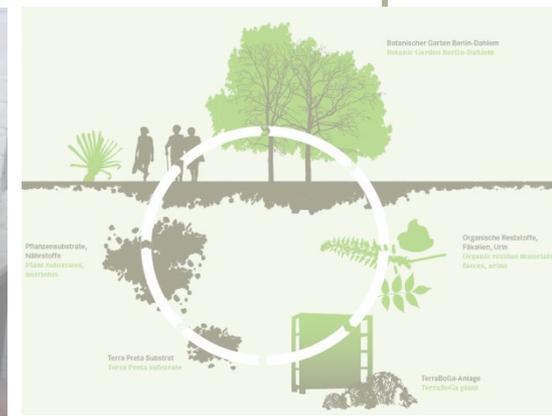
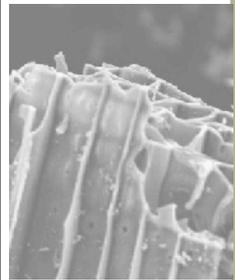
René Schatten, Robert Wagner, Christian Krüger,  
Bojtscho Rangelov und Konstantin Terytze

Freie Universität Berlin, FB Geowissenschaften, AG Geoökologie



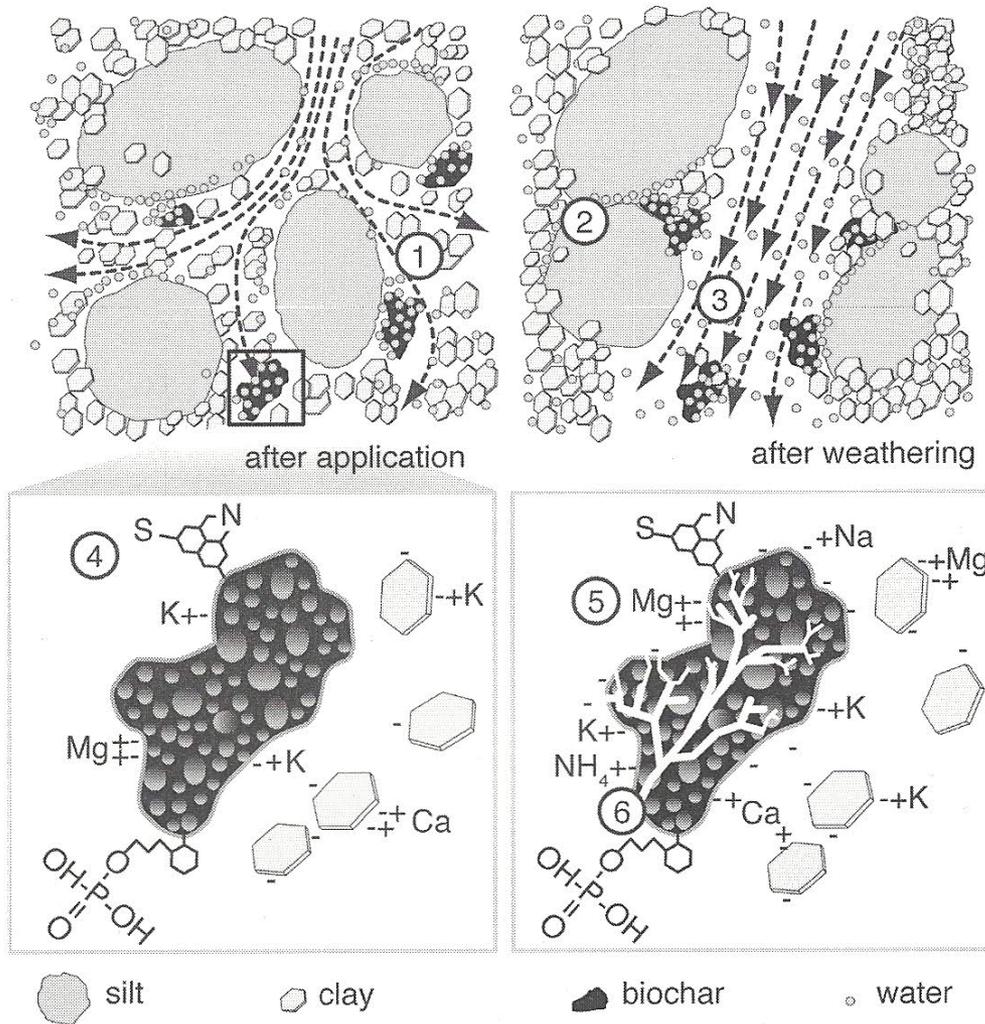
## Inhaltsverzeichnis

- 1) Einführung
- 2) Material & Methoden
- 3) Elutionsverhalten (Biokohle)substrate
- 4) Elutionsverhalten Boden/BKS-Mischungen
- 5) Wirkung der Biokohle
- 6) Neues aus der Normung
- 7) Zusammenfassung & Ausblick



- Es besteht grundsätzlich die **Gefahr einer Mobilisierung und Auswaschung von Nähr- und Schadstoffen** aus hergestellter Biokohle (BK), Biokohlesubstraten (BKS) sowie mit organischen Schadstoffen (PAK, MKW) kontaminierten Böden und Boden/BKS-Mischungen
  - ➡ Ausgewaschene Nährstoffe stehen der Pflanze nicht mehr zur Verfügung
  - ➡ Ausgewaschene Nähr-/Schadstoffe stellen ein **Gefährdungspotenzial für die Umwelt** dar (z.B. Grundwasserverunreinigungen mit Nitrat und organischen/anorg. Schadstoffen)
- Zielstellung: Untersuchung des **Freisetzungsverhaltens** und die Beurteilung der o.g. Materialien hinsichtlich ihrer **Umweltwirkung** mithilfe von Leaching-/Elutionsversuchen
- Relativ **wenige Veröffentlichungen zur Thematik** existent (v.a. Zugabe von Biokohle in Böden; kaum Daten zur Elution von Biokohlesubstrate vorhanden)
- Häufig behandelte **Forschungsfragen** (Literaturauswahl):
  - ➡ Beladung der Biokohle mit Nährstoffen; Sorption von Stickstoff ( $\text{NH}_4/\text{NH}_3$ ;  $\text{NO}_3$ ) an Biokohle (Kammann et al., 2011, 2012; Glaser und Kammann, 2013)
  - ➡ „Alterung“ der Biokohle (Oberflächenoxidation, -aktivierung) (Kammann, 2012; Lehmann, 2009)
  - ➡ Reduzierte Auswaschungen von Nitrat, Ammonium und Phosphor (Yao et al., 2012)
  - ➡ Reduzierte Auswaschungen von PAK, Calcium, Magnesium und Phosphor (Major et al., 2012)

## (Vermutete) Effekte von Biokohle auf die Nährstofffreisetzung:



(1) Upon biochar application to soil, water retention increases because porous biochar particles retain water and reduce its mobility; (2) after weathering, soil aggregation is improved as biochar binds to other soil constituents, and preferential flow of water occurs as well as the facilitated transport of biochar particles (3); (4) at a smaller scale, newly applied biochar sorbs hydrophobic organic forms of nutrients; (5) after weathering, the surface charge of biochar increases, thus improving cation exchange capacity, and soil biota is enhanced (6)

Note: This illustration is not strictly to scale, and water is not shown in the bottom panels.

Source: chapter authors

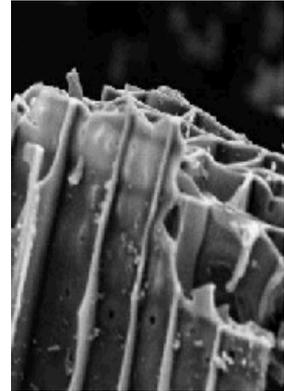
Quelle: Major, J.; C. Steiner; A. Downie und J. Lehmann (2009): Biochar Effects on Nutrient Leaching; In: Lehmann, J. und Joseph S. (Hrsg.): Biochar for Environmental Management: Science and Technology, Earthscan UK, London, S. 271-287

- Durchführung der Elutionsversuche im Rahmen zweier Forschungsprojekte:
  - **TerraBoGa** (UEP II; SenStadtUm des Landes Berlin und EFRE) → „Schließung von Kreisläufen durch Energie- und Stoffstrommanagement bei Nutzung der Terra-Preta-Technologie im Botanischen Garten im Hinblick auf Ressourceneffizienz und Klimaschutz – Modellprojekt Urban Farming“ ([www.terraboga.de](http://www.terraboga.de))
  - **LaTerra** (Nachhaltiges Landmanagement; BMBF) → „Nachhaltige Landnutzung durch regionales Energie- und Stoffstrommanagement bei Nutzung der Terra-Preta-Technologie auf militärischen Konversionsflächen und ertragsschwachen Standorten“ ([laterra-forschung.de](http://laterra-forschung.de))
- Prüfung der Umweltwirkung der (Biokohle)substrate und Böden mittels Elutionsuntersuchungen, Pflanzen- und Biotests



- 13 (Biokohle)substrate (*bislang*)
  - Wassergehalt: 15-40 %
  - pH-Wert: 6,6-7,9
  - Organische Substanz: 14-42 %
  - Nährstoffe und Schwermetalle halten die Richt- bzw. Grenzwerte der BGK\* ein

\*Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.



- 15 Boden/BKS-Mischungen (*bislang*)  
(PAK; PAK+BKS; PAK+BK; MKW;  
MKW+BKS)

- Wassergehalt: 5-20 %
- pH-Wert: 4,9-7,8
- Organische Substanz: 2-12 %
- PAK-Gehalte: 43-133 mg/kg TS
- MKW-Gehalte: 515-2.900 mg/kg TS



### Schütteltest W/F 2:1

- DIN 19527: 2012-08 (org. Stoffe)
- DIN 19529: 2009-01 (anorg. Stoffe)
- 24h-Überkopfschütteln  
(→ hoher mechanischer Abrieb)
- Zentrifugation d. Eluate bei 4000g:  
159min. Böden & 90min. Substrate

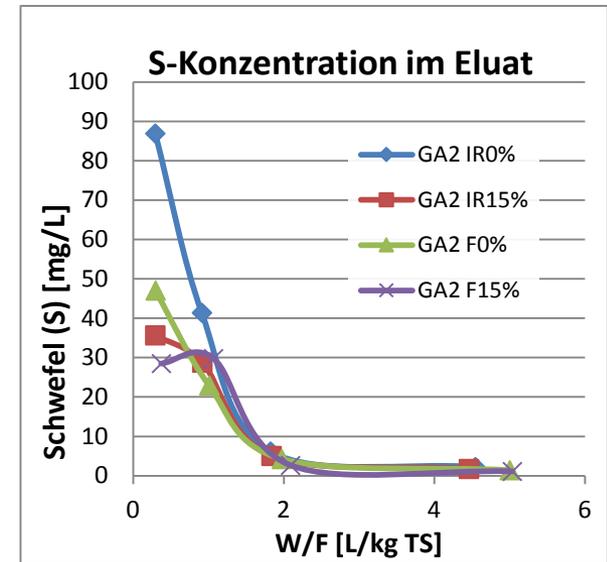
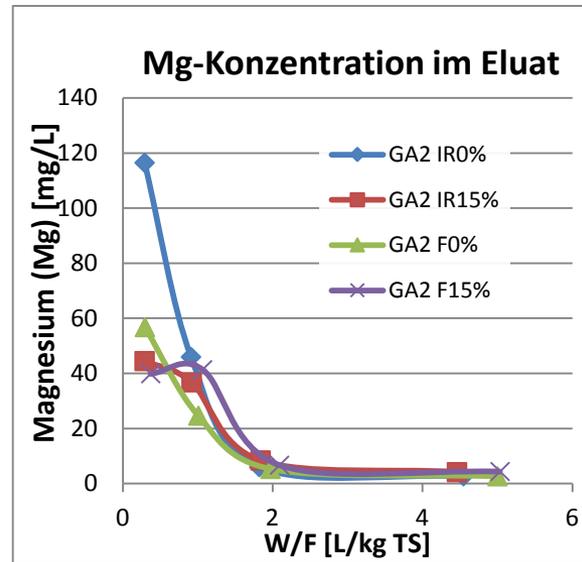
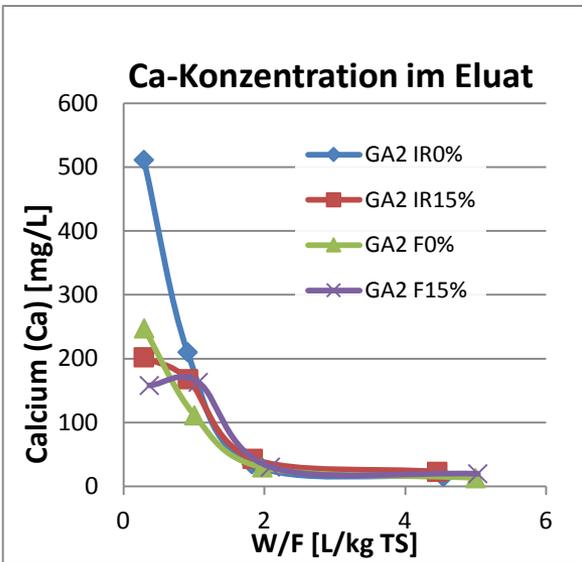
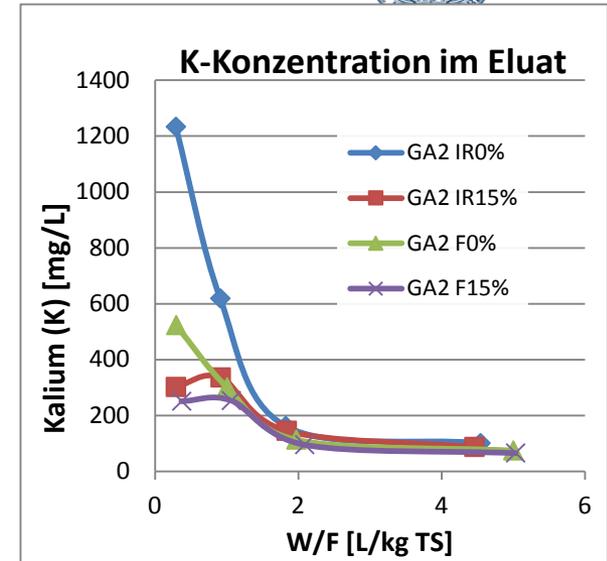
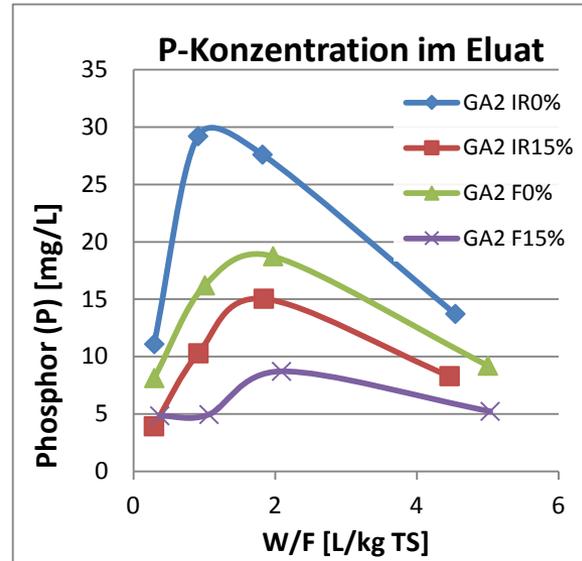
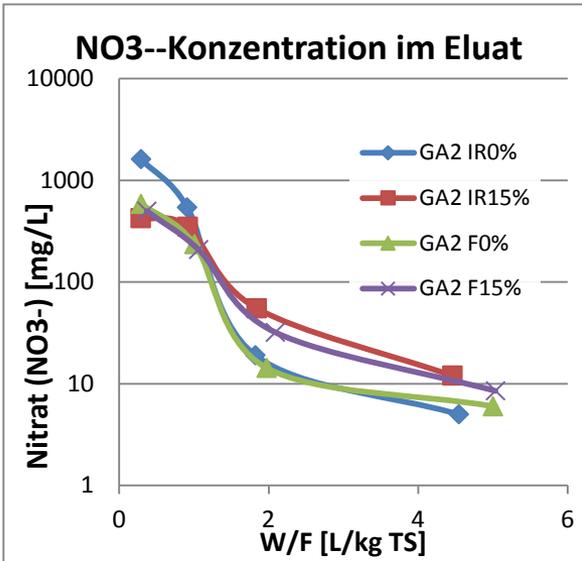
### Säulentest div. W/F (0,3:1; 1:1; 2:1; 4:1)

- DIN 19528: 2009-01 (org.+anorg. Stoffe)
- Perkolation im Aufwärtsstrom  
(→ Vermeidung präferenzielle Fließwege)
- Zentrifugation der Eluate bei 4000g: 30min.  
Böden & 15min. Substrate

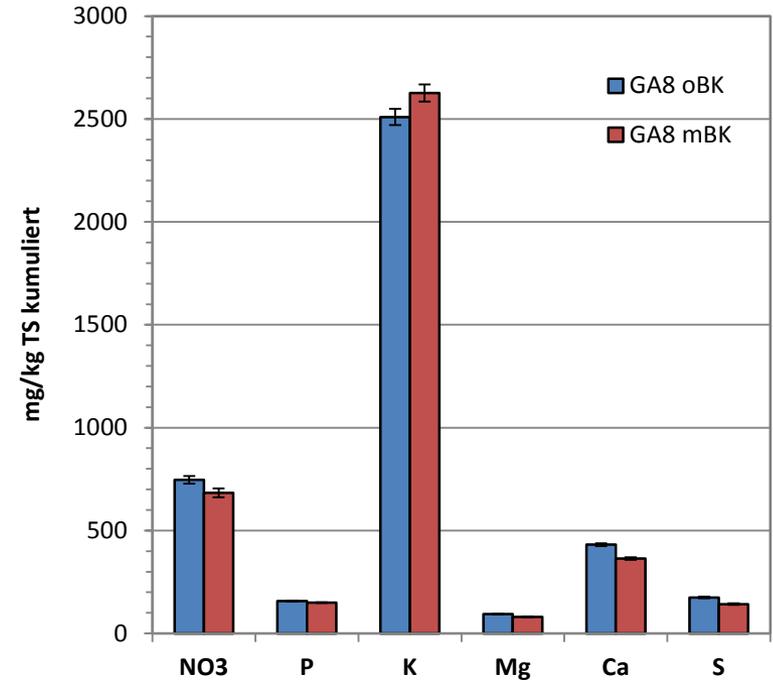
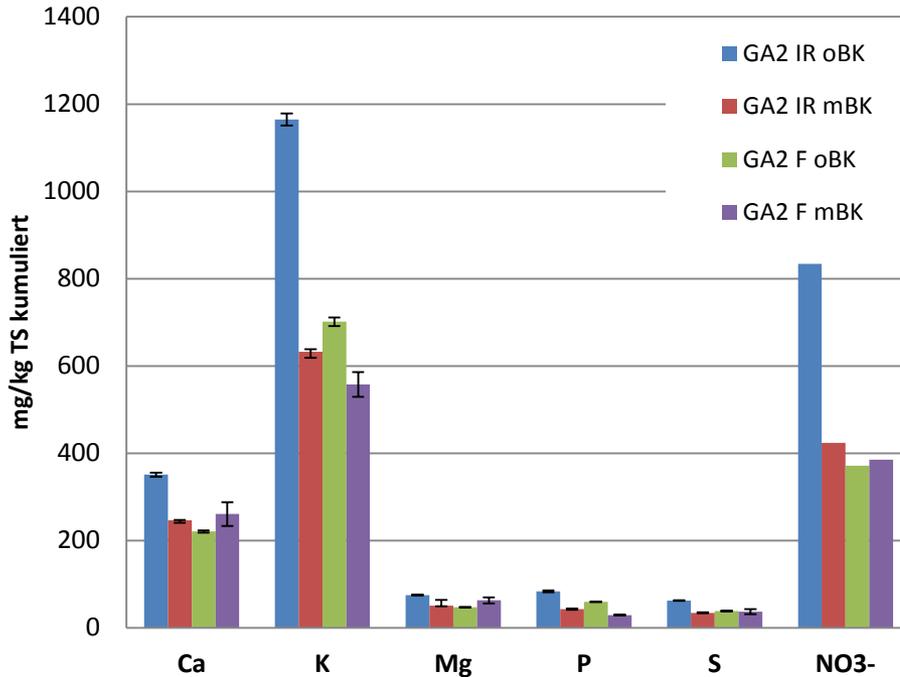
- Erhebung von Eluatvolumen, Trübung, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Farbe und Geruch sowie Nährstoffe, PAK, MKW, Schwermetalle und Kohlenstoff (TC/TIC/TOC)



### 3) Elutionsverhalten (Biokohle)kompost

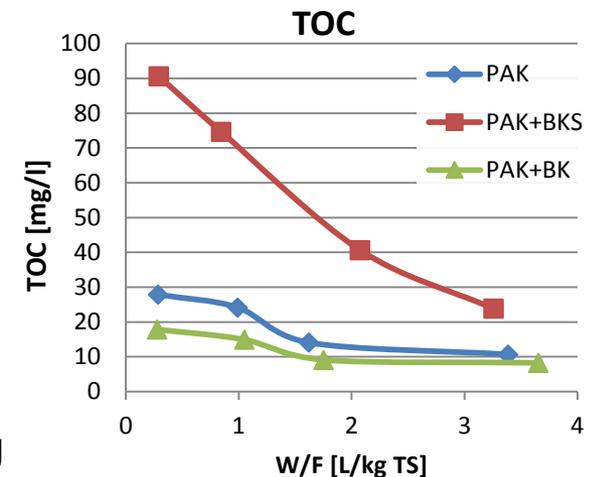
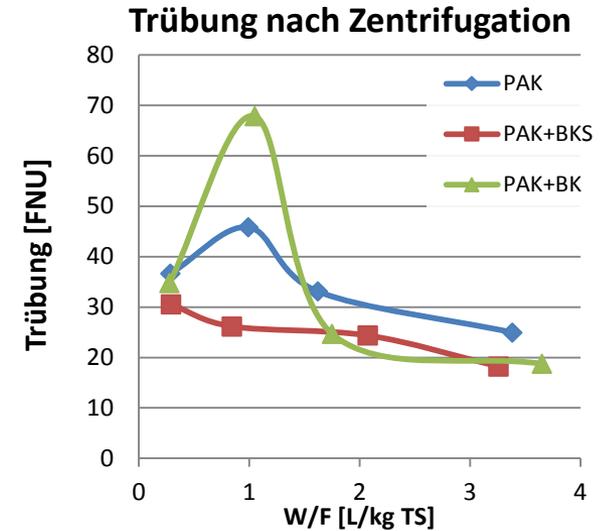
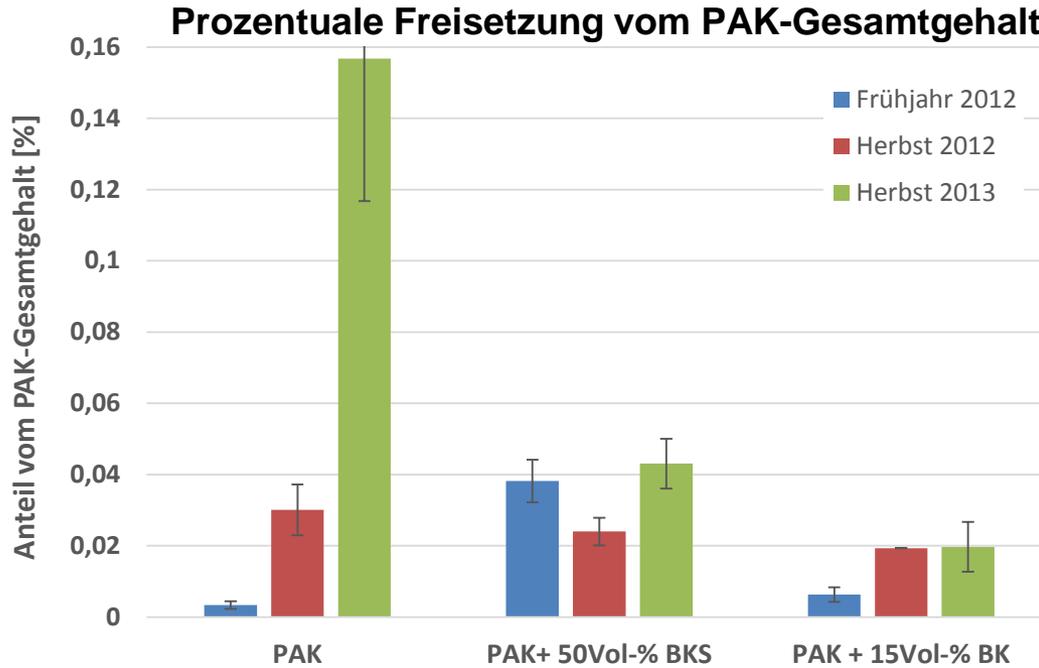


#### Kumulierte freigesetzte Nährstoffgehalte



- Co-kompostierte Biokohle führt i.d.R. zu einer reduzierten Freisetzung von NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, P, Mg, Ca, S (teilw. erhöhte Freisetzung von K, da Biokohle selbst einen hohen K-Gehalt aufweist)
- Freisetzung von o.g. Makronährstoffen und der Mikronährstoffen (Mangan, Kupfer, Molybdän) i.d.R. gut mit den wenigen Literaturangaben vergleichbar

# 4) Elutionsverhalten Boden/BKS-Mischungen



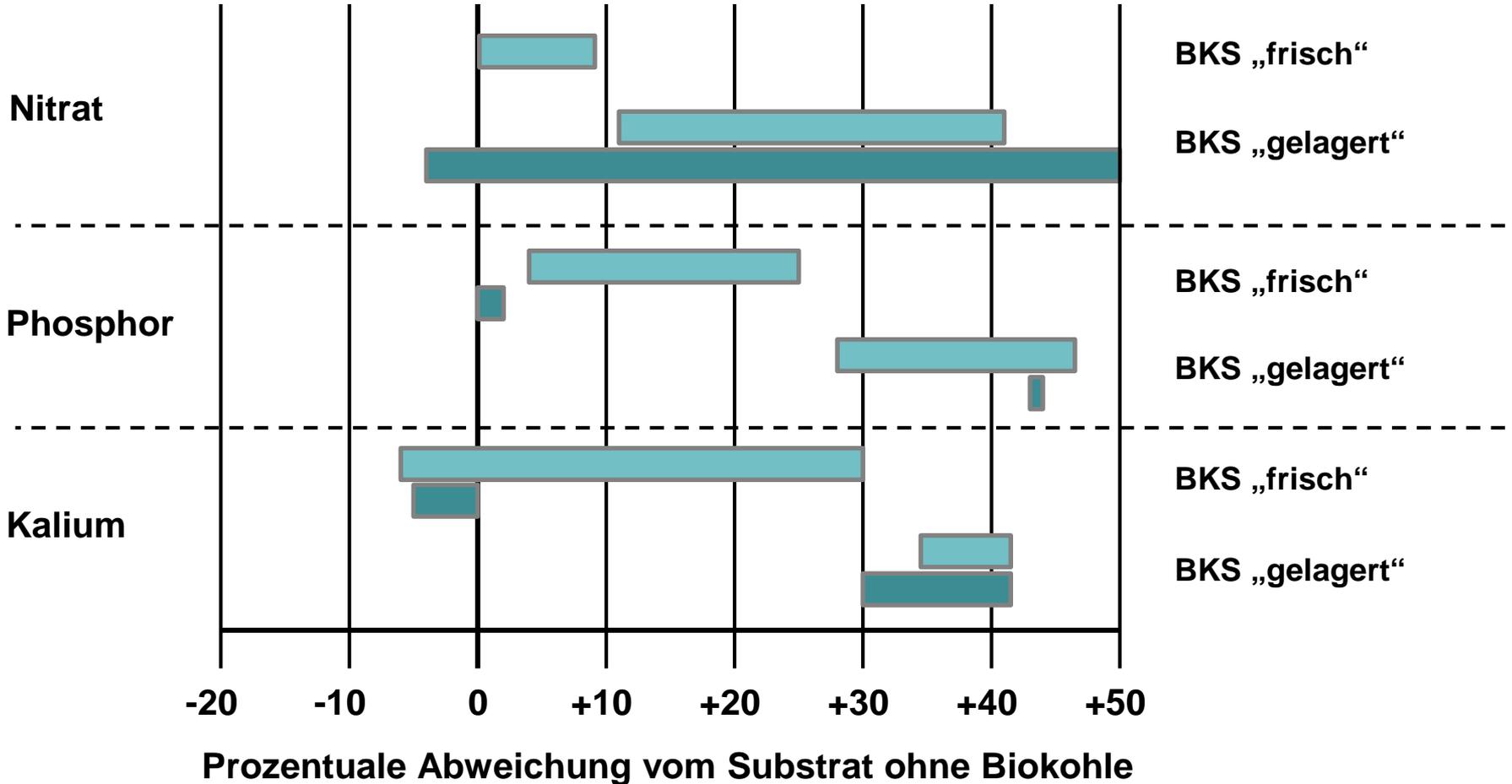
- eluierbare Anteile liegen alle unter 0,2 % (!) vom PAK-Gesamtgehalt, trotz hoher Eluat-Konzentrationen (>0,2µg/L)
- keine Verschiebung der PAK-Einzelverbindungen erkennbar
- zeitlich verzögerte Wirkung der BKS und BK erkennbar
- lösungsvermittelnde Eigenschaften des TOC/DOC sowie trübungsabhängige kolloidale Austräge erhöhen die Freisetzung

# 5) Wirkung der Biokohle

Reduzierung der Nährstofffreisetzung in % (Angabe d. Spannweiten; n=4-6)

Biokohlesubstrate (BKS) Botanischer Garten Berlin-Dahlem

Schüttelversuch  
Säulenversuch

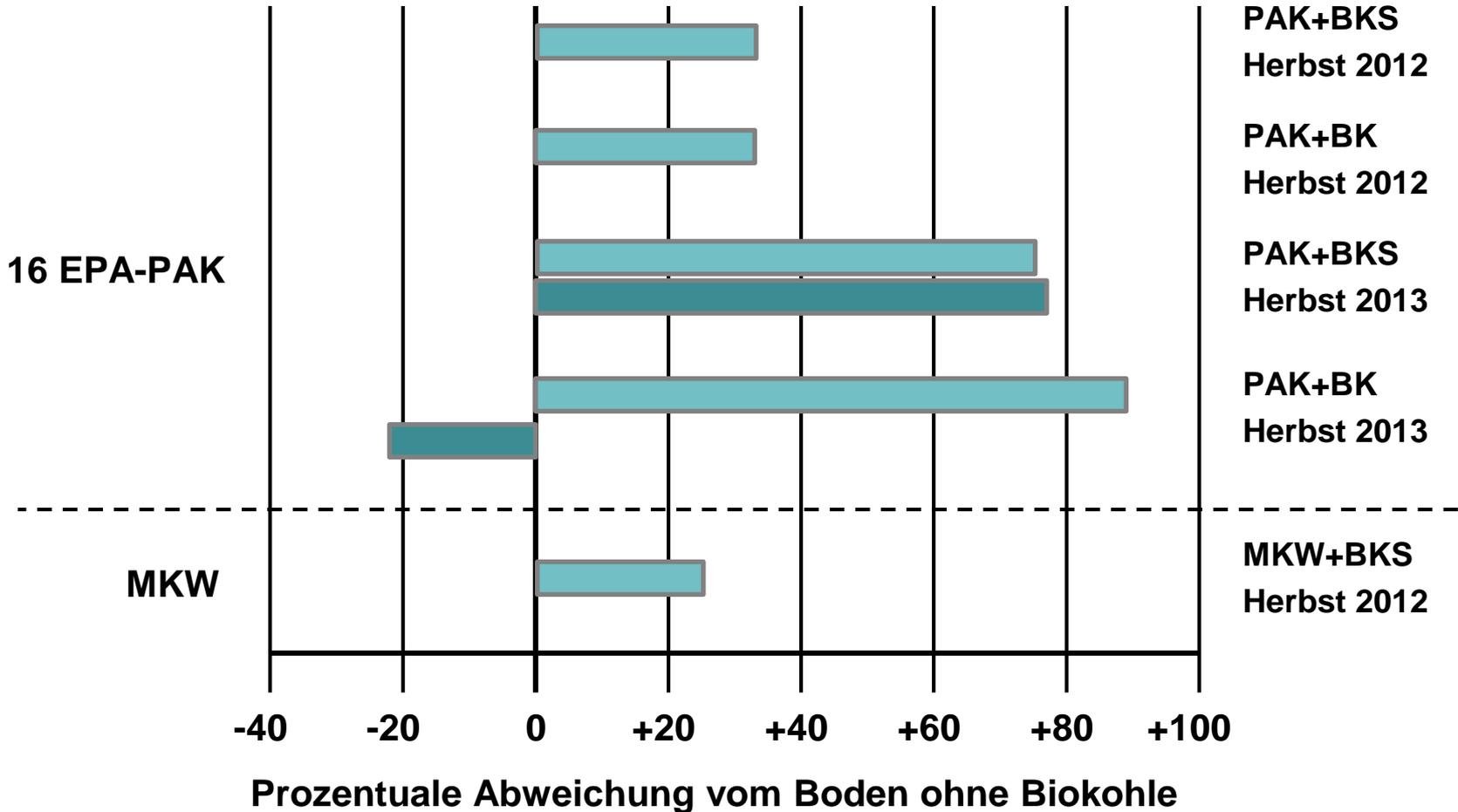


# 5) Wirkung der Biokohle

Reduzierung der Schadstofffreisetzung in % (n=3)

Boden/Biokohlesubstrat-Mischungen der Parzellenversuche

Schüttelversuch  
Säulenversuch



- Normierung der Elutionsversuche im DIN NA 119-01-02-05 UA „Elutionsverfahren“

### Schütteltest W/F 2:1

- DIN 19527: 2012-08
- DIN 19529: 2009-01
- 24h-Überkopfschütteln (hoher mechan. Abrieb)
- Zentrifugation (bei 4000g) 159min. Böden & 90min. Kompost



### Neu: Standtest W/F 2:1

- Vorlage zur E DIN 19546: 2014-02 (*E 2. Quartal 2015*)
- 4x Durchmischen á 1min (geringer mechan. Abrieb)
- Zentrifugation (bei 4000g) 159min. Böden & 90min. Kompost



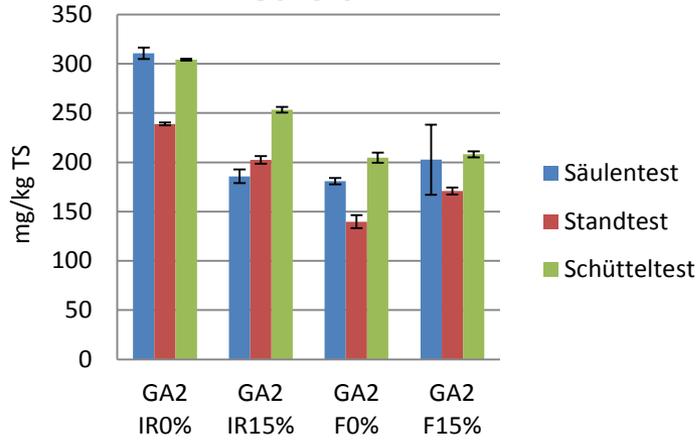
### Säulentest div. W/F (0,3:1; 1:1; 2:1; 4:1)

- DIN 19528: 2009-01
- Perkolations im Aufwärtsstrom
- Zentrifugation (bei 4000g) 30min. Böden & 15min. Kompost

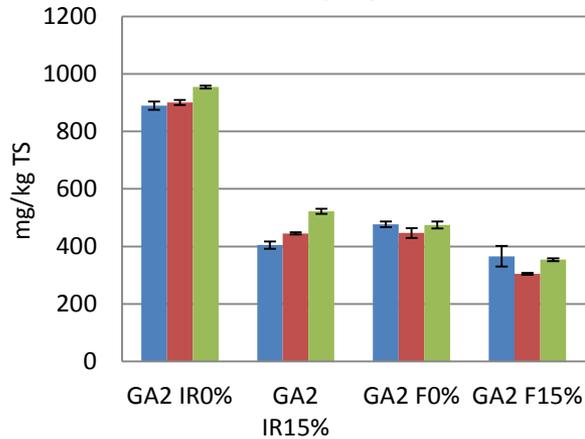


## (Biokohle)komposte Freisetzung W/F 2:1 (n=3)

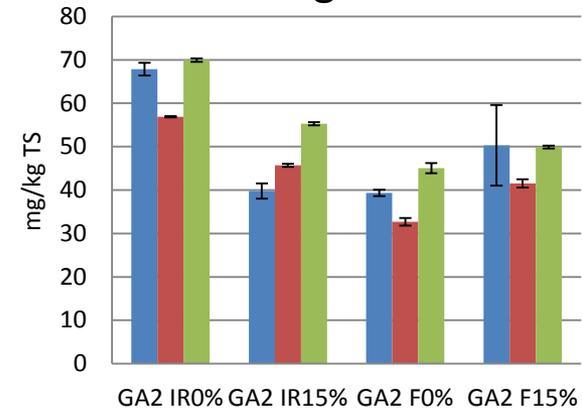
### Calcium



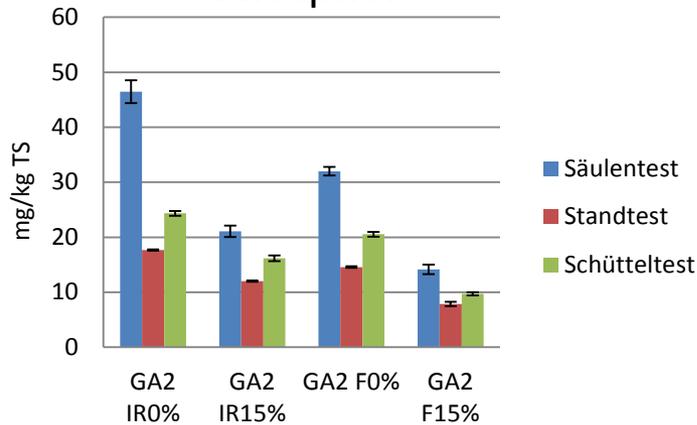
### Kalium



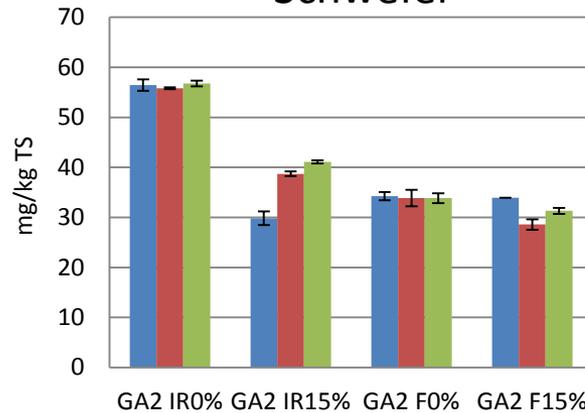
### Magnesium



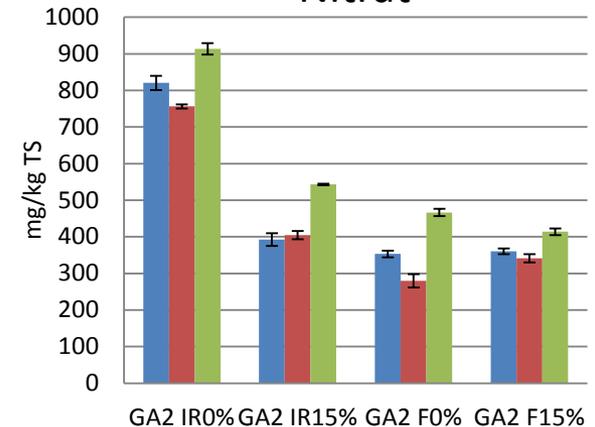
### Phosphor



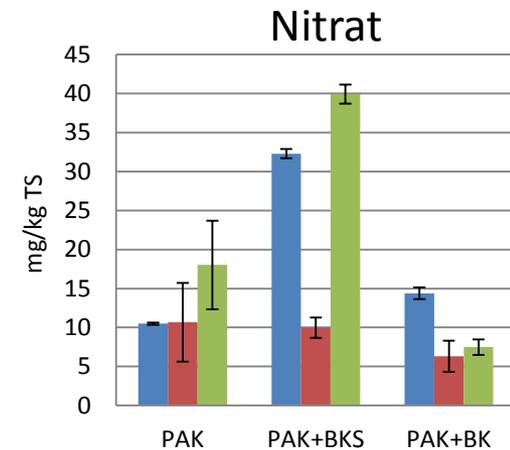
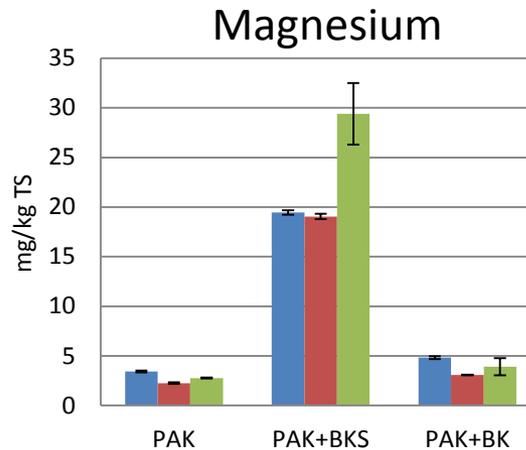
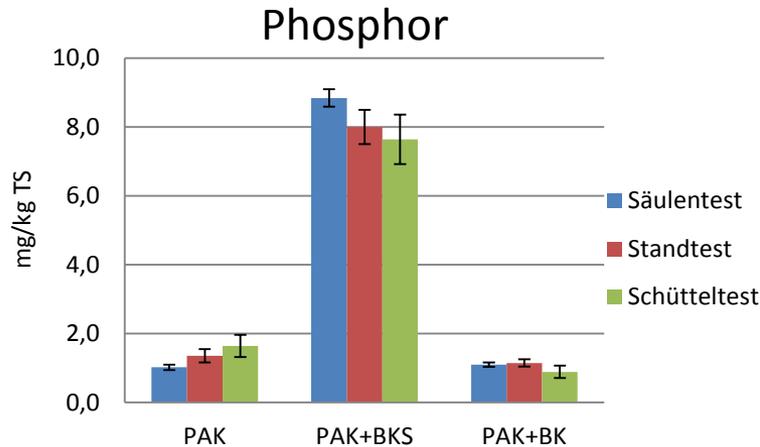
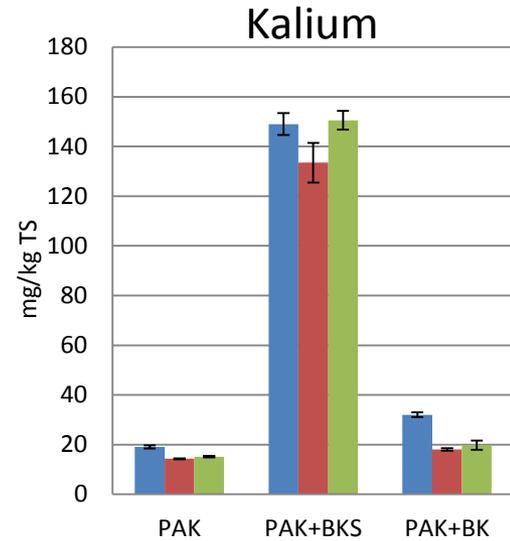
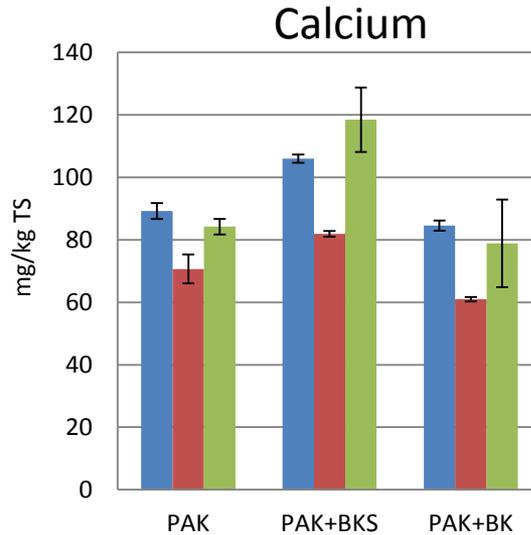
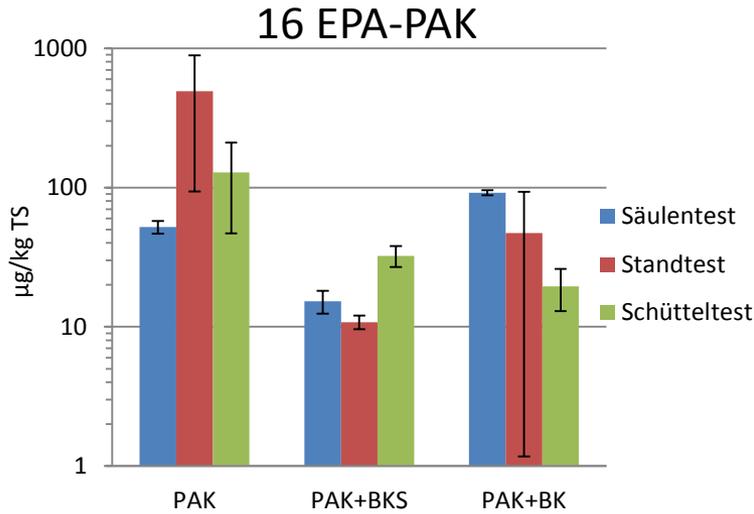
### Schwefel



### Nitrat



## PAK-Böden Freisetzung W/F 2:1 (i.d.R. n=3)



### (Biokohle)substrate: ausgewählte Eluatparameter

- |                           |                         |                        |
|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| ▪ Trübung [FNU]:          | ▪ pH-Wert [-]:          | ▪ TOC [mg/L]:          |
| ▪ Säulentest: 17,8±8,7    | ▪ Säulentest: 7,5±0,7   | ▪ Säulentest: 103±61   |
| ▪ Schütteltest: 25,6±15,0 | ▪ Schütteltest: 7,7±0,1 | ▪ Schütteltest: 110±34 |
| ▪ Standtest: 4,7±2,3      | ▪ Standtest: 7,7±0,1    | ▪ Standtest: 99±33     |
- 

### PAK/BKS-Böden: ausgewählte Eluatparameter

- |                          |                          |                         |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| ▪ Trübung [FNU]:         | ▪ pH-Wert [-]:           | ▪ TOC [mg/L]:           |
| ▪ Säulentest: 36,0±14    | ▪ Säulentest: 7,9±0,05   | ▪ Säulentest: 34,9±29   |
| ▪ Schütteltest: 10,6±3,0 | ▪ Schütteltest: 7,9±0,03 | ▪ Schütteltest: 33,5±28 |
| ▪ Standtest: 4,8±1,6     | ▪ Standtest: 7,8±0,09    | ▪ Standtest: 29,2±24    |

- **Schüttel- und Säulenverfahren eignen sich zur Untersuchung des Freisetzungsverhaltens** und der Beurteilung von Feststoffen hinsichtlich ihrer Umweltwirkung
- Sowohl bei den Biokohlesubstraten als auch bei den Boden/BKS-Mischungen zeigt sich der Einfluss der Biokohle in Form einer **Reduzierung der Nährstoff- bzw. Schadstofffreisetzung**
- Wirkung der Biokohle/des Biokohlesubstrates tritt **i.d.R erst zeitlich verzögert** ein
- Ergebnisse leisten einen Beitrag zur **nachhaltigen Betrachtung** der Umwelt- und Düngewirkung
- Notwendigkeit für weitere Elutionsuntersuchungen und ggf. **Methodenadaptionen** mit Kompost, Böden und der „neuen“ **Matrix Biokohle** ist gegeben

### **...die nächsten Schritte:**

- intensive Fortsetzung der Untersuchungen zum Leaching-Verhalten (insbesondere **Makronährstoffe; Einfluss der Lagerung**; Einfluss des pH-Wertes)
- Untersuchung von **reiner Biokohle** (insbesondere **Sorptionsprozesse** abhängig von Feedstock, Korngröße, **Beladung** etc.)
- Durchführung von **Sickerwasserprognosen nach BBodSchV** (v.a. für PAK, MKW, Nitrat)
- verstärktes Betrachten von **methodische Aspekten**, die teilweise eine Adaption der bestehenden Methoden an die „neue“ Matrix Biokohle erforderlich machen könnten.

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

## Kontakt:

Dipl.-Geogr. René Schatten  
Freie Universität Berlin  
FB Geowissenschaften  
AG Geoökologie  
rene.schatten@fu-berlin.de  
(030) 838 70492



Arbeitsgruppe Geoökologie

## und Dank an:

