



# Mechanismen beim Spurenstoffabbau im **GAK**

Sema Karakurt-Fischer

Adriano Joss, Janek Greskowiak, Kathrin Fenner, Christa McArdell, & Marc Böhler

VSA - Erfahrungsaustausch Aktivkohle, 16.6.25

# Warum lohnt sich?

1. Erklärung der beobachteten Leistung
2. Bessere Dimensionierung
3. Optimierung & Planbarkeit des Betriebs

## Bioabbau <-> Physikalische Eigenschaften

1. Wie wichtig ist der Bioabbau?
2. Wie maximiert man den Bioabbau?
3. Warum ist der Bioabbau in **Sand** und **GAK**-Filtern verschieden?

# GAK-Leistung quantitativ zu beschreiben ist schwer!



**Sorption &  
Bioabbau**

≠



**Bioabbau**

- Sorption & Bioabbau finden gleichzeitig statt
- Änderungen in den Betriebsbedingungen  
→ biologische Zusammensetzung & kompetitive Sorption
- Abiotische Kontrollen beeinflussen auch die Sorption
- Bioabbau in verschiedenen porösen Medien ist anders

## Design:

Behandelte Bettvolumen (TBV) = 37500

Filterbett: 2.5 m

Empty Bed Contact Time (EBCT) = 60 min (bei 0.2 m<sup>3</sup>/h)

Probenahmestellen:

Zulauf - 0 min , 8 min, 25 min, 42 min, Ablauf - 60 min

## Online sensoren:

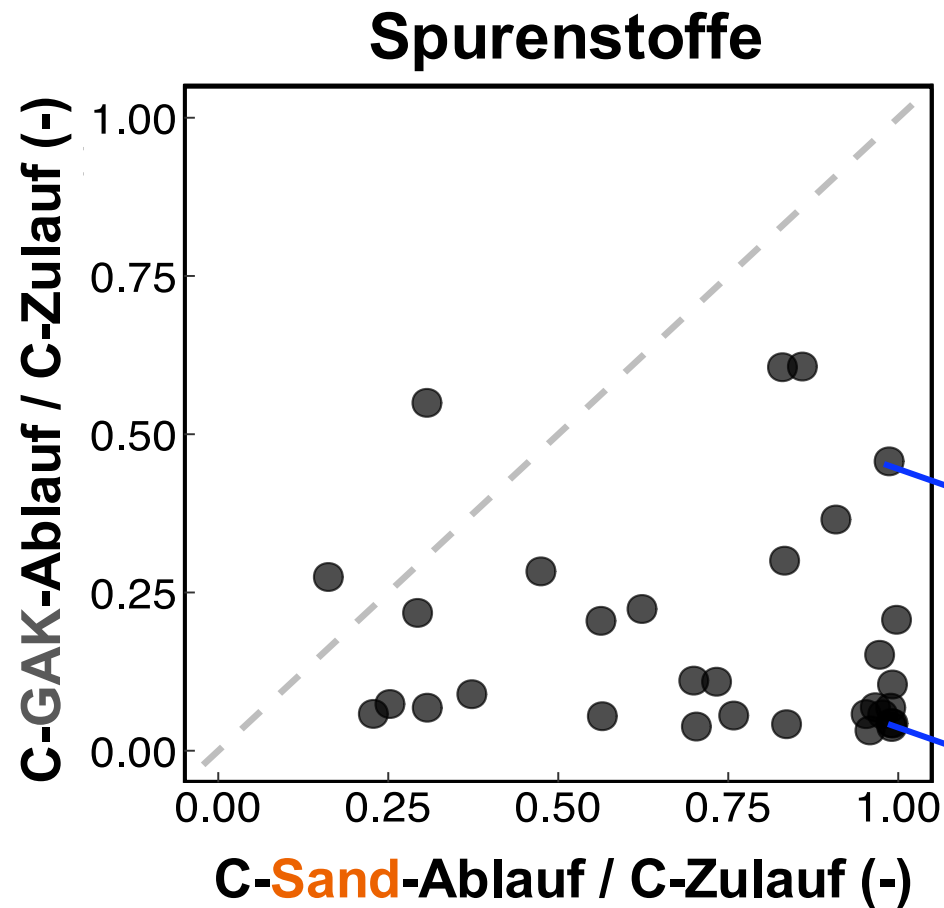
DO, SAK<sub>254</sub>, Trübung, pH, Leitfähigkeit, Temperatur,  
Wasserstand, Durchflussrate

## Labormessungen:

- DOC, SAK<sub>254</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Trübung
- Spurenstoffe & Transformationsprodukte
  - Target Screening (45 compounds: PCs & TPs)
  - Suspect Screening (~1200 Massen)



# GAK leistet mehr als Sand... Warum?



Candesartan

Diclofenac  
Hydrochlorothiazide  
Venlafaxine



Sorption &  
Bioabbau

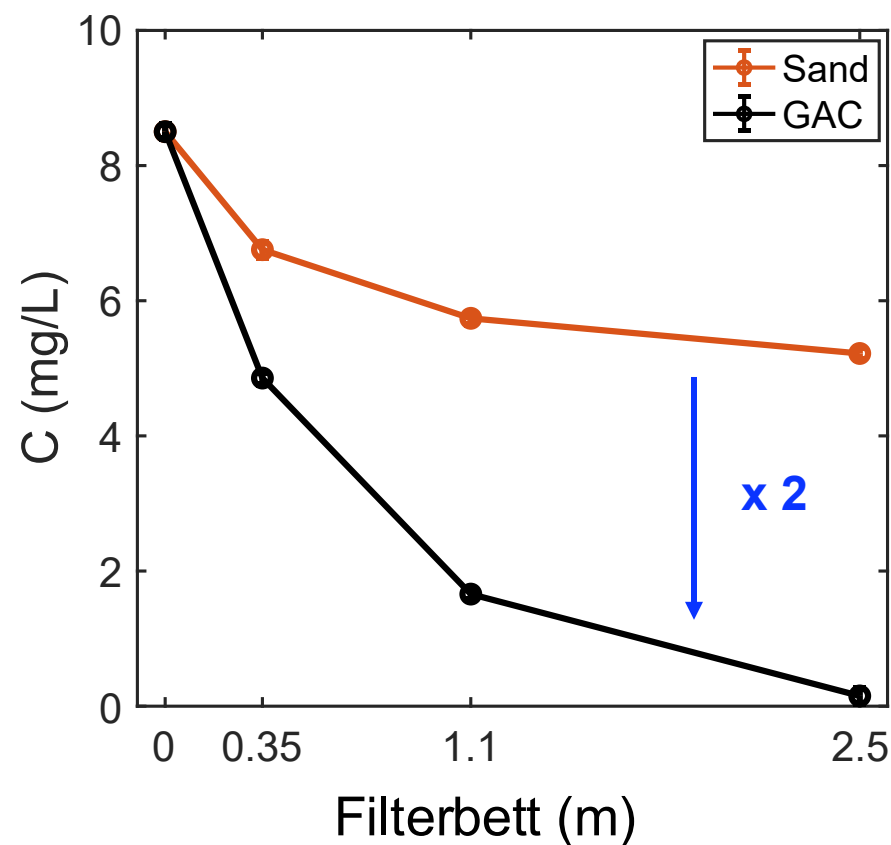
>  
?



Bioabbau

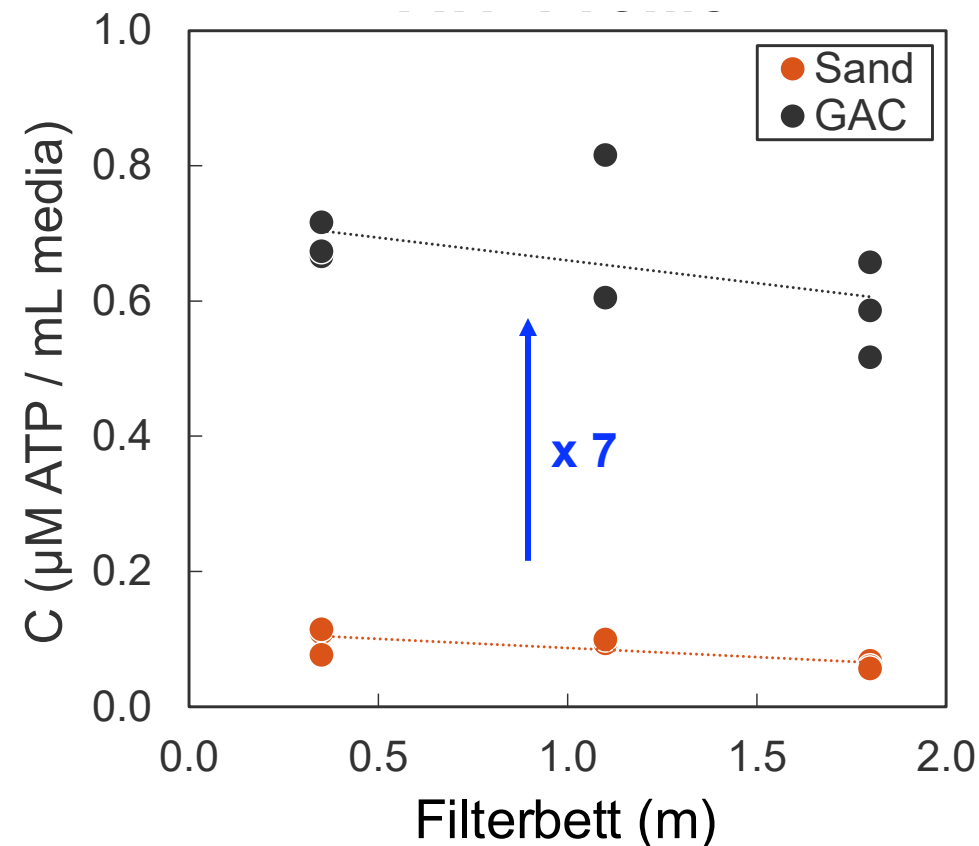
# GAK leistet mehr als Sand... Bioabbau?

## Gelösster Sauerstoff



Mehr als doppelte O<sub>2</sub>-Zehrung  
(höheres Ausmaß an Bioabbau)!

## ATP - Aktive Biomasse



Höhere biologische Aktivität!

# GAK leistet mehr als **Sand**... **Bioabbau**

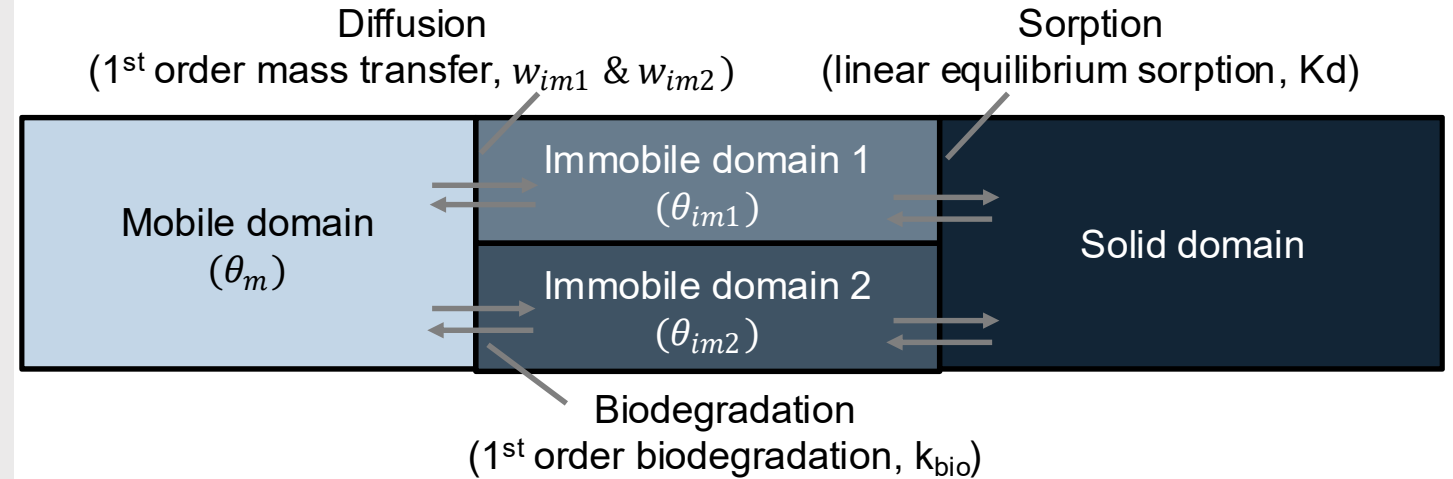
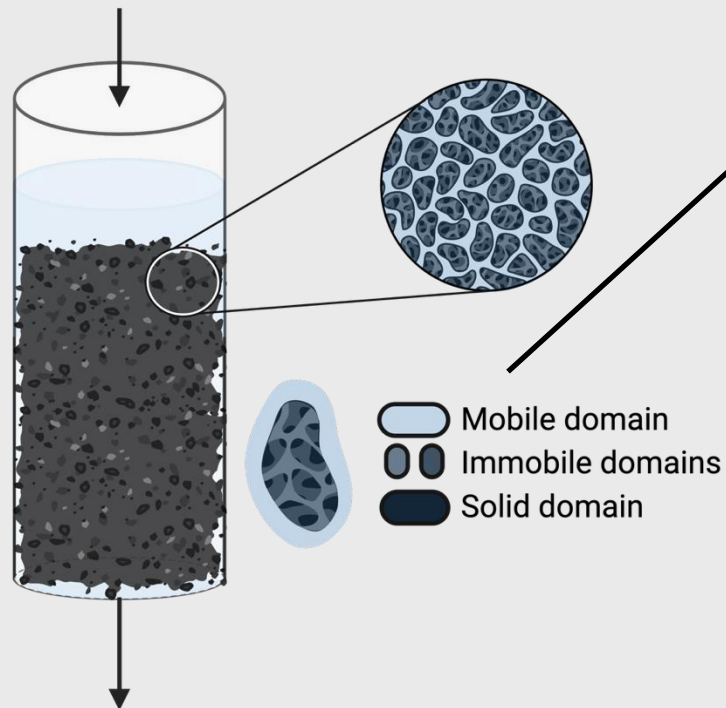


**WARUM?**

## Hypothesis 1:

**GAK** bietet aufgrund seiner Intrakorn-Porosität  
längere Kontaktzeiten (Bioverfügbarkeit) für Spurenstoffe als **Sand**  
→ höhere bzw. andere Bioabbau.

# Ist die reale Kontaktzeit in GAK länger als in Sand?



$$R_m \theta_m \frac{\partial C^m}{\partial t} = \theta_m D \frac{\partial^2 C^m}{\partial x^2} - q \frac{\partial C^m}{\partial x} - \theta_{im1} \frac{\partial C^{im1}}{\partial t} - \theta_{im2} \frac{\partial C^{im2}}{\partial t} - \theta_m k_{bio} C^m \quad (Eq. 1)$$

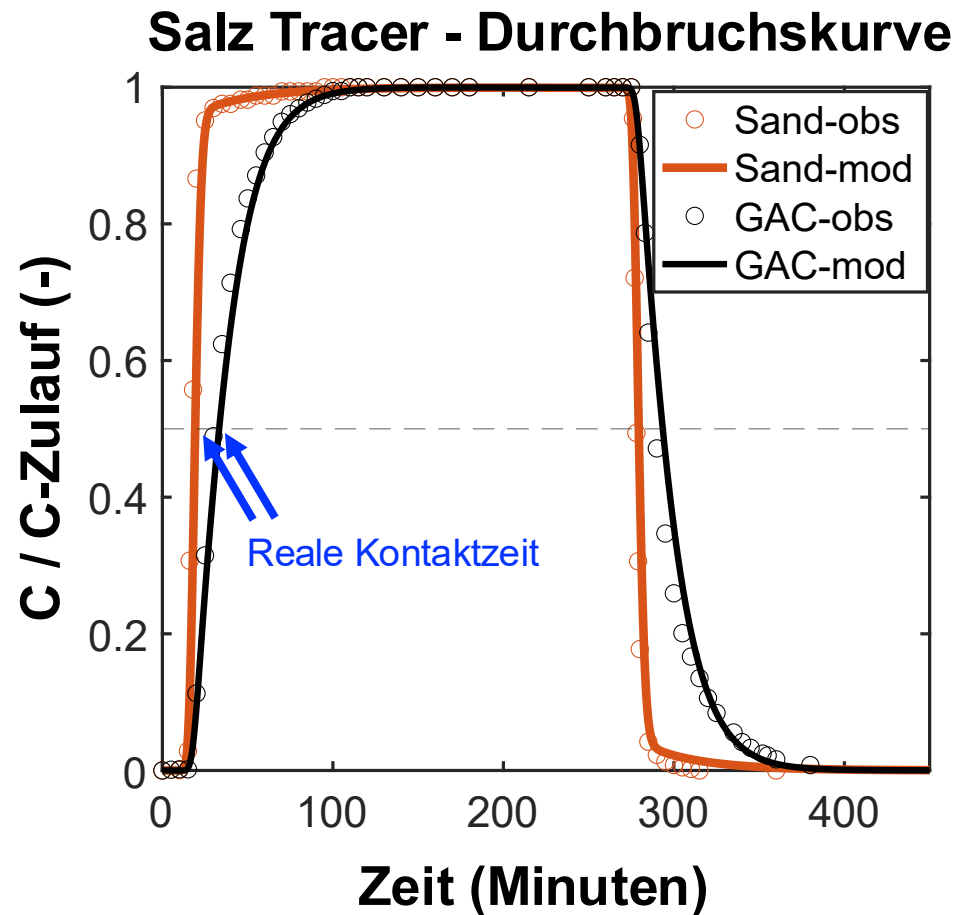
$$R_{im1} \theta_{im1} \frac{\partial C^{im1}}{\partial t} = \theta_{im1} w_{im1} (C^m - C^{im1}) - \theta_{im1} k_{bio} C^{im1} \quad (Eq. 2)$$

$$R_{im2} \theta_{im2} \frac{\partial C^{im2}}{\partial t} = \theta_{im2} w_{im2} (C^m - C^{im2}) - \theta_{im2} k_{bio} C^{im2} \quad (Eq. 3)$$

$$R_{m,im} = 1 + \frac{\rho_{GAC}}{(\theta_{m,im})} K_d \quad (Eq. 4)$$



# Fast doppelte reale Kontaktzeit in GAK als in Sand!

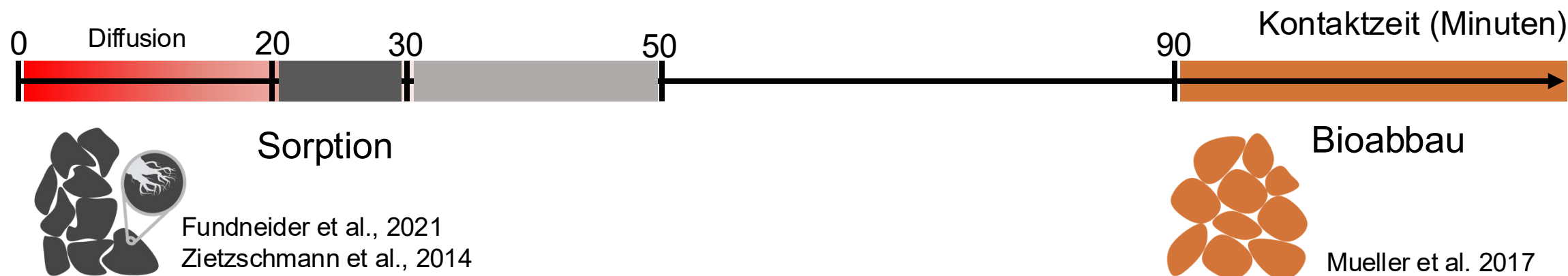


@ 1.8 m Filterbett



🔑 Längere Kontaktzeit im **GAK** durch die Diffusion in den Intrakorn-Poren (40%)!

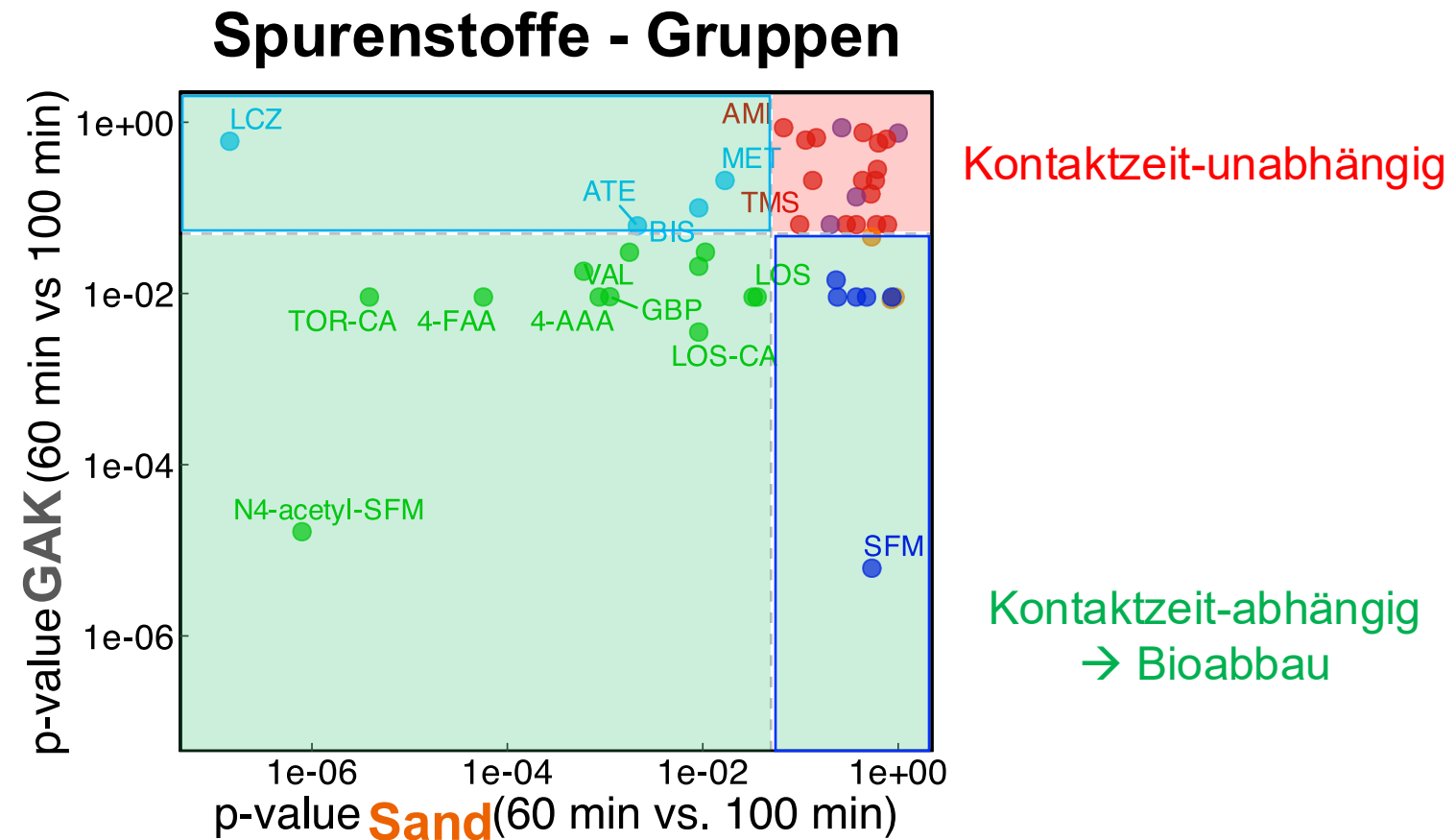
# Auswirkung der Kontaktzeit auf Sorption und Bioabbau



## Hypothesis 2:

Kontaktzeiten über 50 Minuten können als Werkzeug genutzt werden,  
um *moderat biologisch abbaubare Verbindungen mit geringer bis mäßiger Sorption*  
zu identifizieren & entfernen!

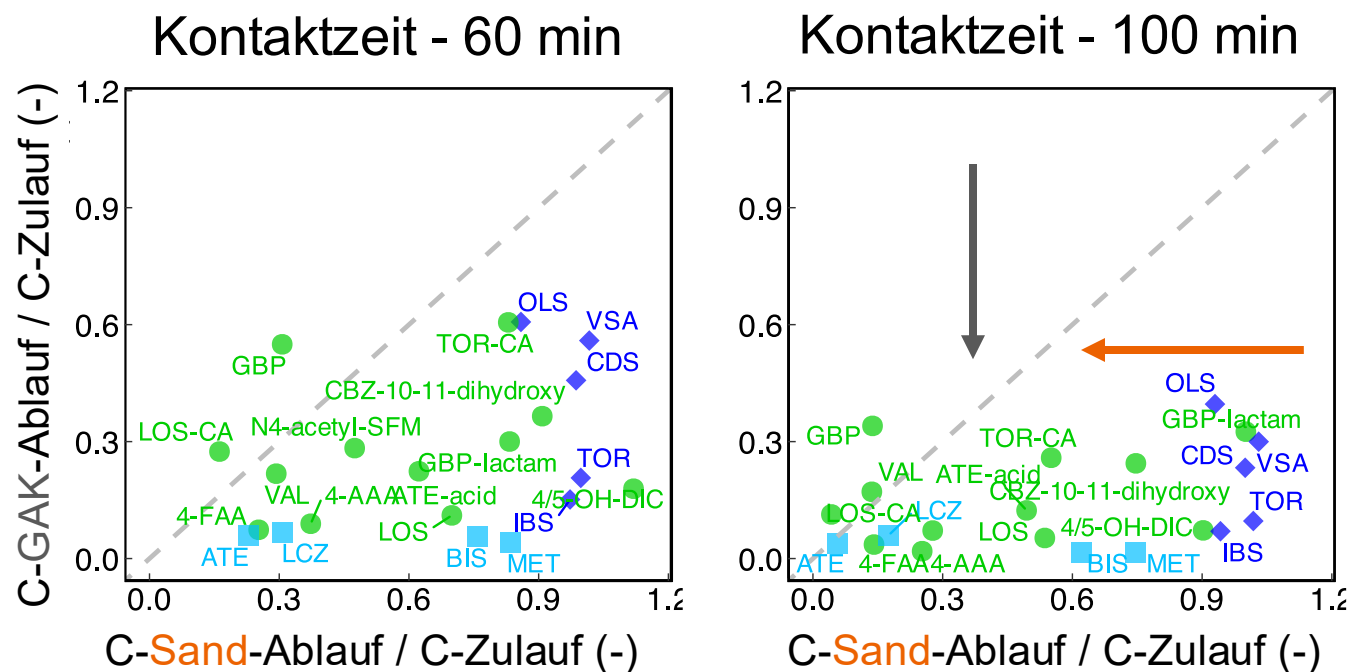
# Für welche Spurenstoffe ist Bioabbau relevant?



--- p - value significance threshold = 0.05  
(t-test & Wilcox test)

# Für welche Spurenstoffe ist Bioabbau relevant?

## Gruppe 1: Kontaktzeit-abhängig



1. Mehr als 50% der untersuchten Stoffe

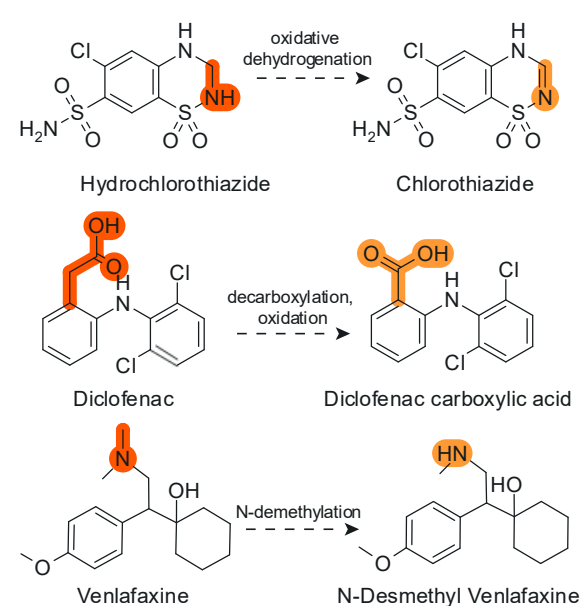
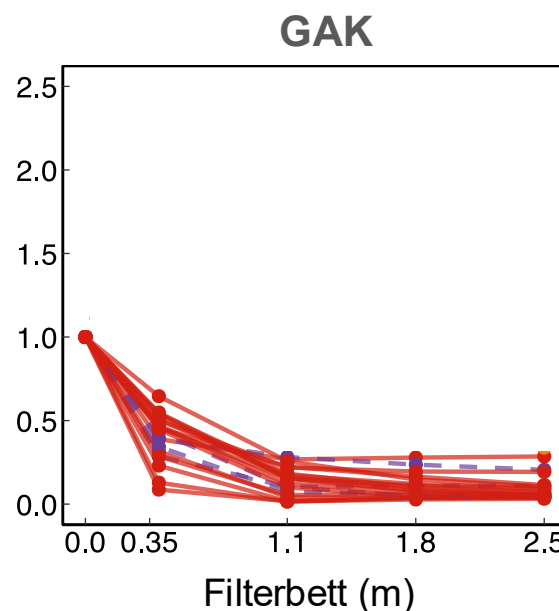
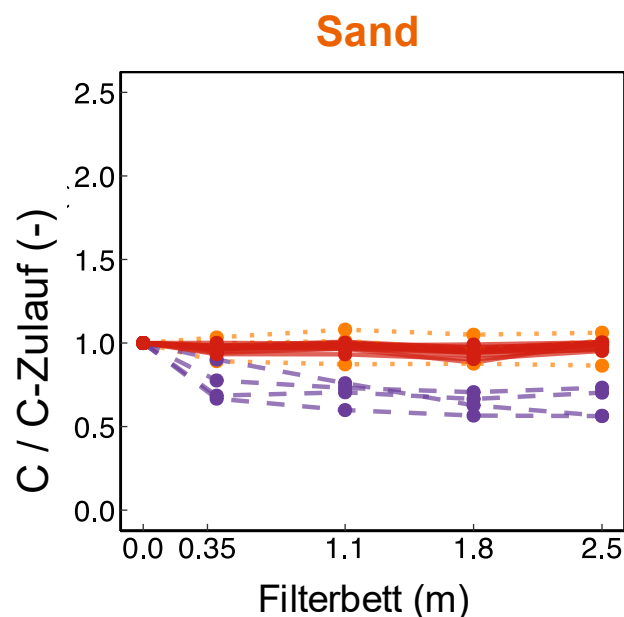
2. Moderat biologisch abbaubare Stoffe mit geringer bis mäßiger Sorption

**Spurenstoffe:** Gabapentin, Losartan, Valsartan, Atenolol, Bisoprolol, Metoprolol, Candesartan, Irbesartan, Olmesartan, Sulfamethoxazole, and Torsemide.

**Transformationsprodukte:** 4-AAA, 4-FAA, 4/5-Hydroxydiclofenac, Atenolol acid, Carbamazepine-10-11-dihydroxy, Gabapentin-lactam, Losartancarboxylicacid, N4-Acetylsulfamethoxazole, Torsemidecarboxylicacid, Licarbazepine, Valsartan acid, N-Desmethylvenlafaxine, Chlorthiazide, and Diclofenaccarboxylicacid.

# Für welche Spurenstoffe ist Bioabbau relevant?

## Gruppe 2: Kontaktzeit-unabhängig



1. Andere  
Funktionalität im  
**GAK**

2. Kein biologischer  
Abbau im **GAK** für  
den Rest der  
Spurenstoffe?

Suspect screening!

**Spurenstoffe:** 1H-Benzotriazole, Amisulpride, Carbamazepine, Citalopram, Lamogtrigine, Oxazepam, Telmisartan, Tramadol, **Diclofenac**, **Hydrochlorothiazide**, **Venlafaxine**, 4/5-Methyl-1H-benzotriazole, and Mefenamic acid.

**Transformationsprodukte:** Carbamazepine-10-11-epoxide, N-Desmethylcitalopram, N-O-Didesmethylvenlafaxine, O-Desmethylvenlafaxine, Oxypurinol, 4-Aminoantipyrine, and N-Desmethyltramadol.

# Fazit - Das Untersuchen der Mechanismen lohnt sich!

1. Bioabbau - Ein wesentlicher Mechanismus für eine Vielzahl von Spurenstoffen? **JA!**  
 > 50% der Spurenstoffe & TP (Relevant - Spurenstoffe mit geringer bis mäßiger Sorption)
2. Wie können wir den biologischen Abbau fördern? **Kontaktzeiten (Intrakorn-Porosität)**  
 Andere Umweltbedingungen / physikalische Eigenschaften →  
 höheres Biomassewachstum, Aktivität, ausgeprägtes genomisches Potenzial?
3. Ist der Bioabbau in verschiedenen porösen Medien ähnlich? **Bioabbau > Bioabbau**
  - Höhere O<sub>2</sub> Zehrung in **GAK**
  - Höhere Konzentration von aktiver Biomasse in **GAK**
  - Spezifische mikrobielle Funktionalität (Bildung von TPs nur im **GAK**)



# Danksagung



Adriano Joss  
ENG



Marc Böhler  
ENG



Kathrin Fenner  
UCHEM



Christa McArdell  
UCHEM



Janek Greskowiak  
Hydrogeology



Eberhard Morgenroth  
ENG



Max Ungert  
Nicolas Mueller  
Yongmin Hu  
ENG



Richi Fankhauser  
ENG



Marco Kipf  
ENG



Martin Breitenstein  
ENG /SWW



Sylvia Richter  
ENG



Aline Hobi  
ENG



Peppe Congiu  
ENG



Simon Mangold  
UCHEM



Elia Cepci  
UCHEM



Kim Luong  
UCHEM



Martina Kalt  
UCHEM



Frederik Hammes  
UMIK



Alessio Cavallaro  
UMIK



**MECANA**  
A Metawater Company



**Swiss National  
Science Foundation**



**SCHMIDT  
SCIENCE FELLOWS**