

Untersuchungen zur Immobilisierung PFAS- kontaminierter Böden während der Betriebsphase von Deponien

Ergebnisse aus einem AAV-Forschungsvorhaben

26. Symposium Strategien zur Sanierung von Boden und Grundwasser 2024

Michael Gass (AAV), Thomas Held, Michael Reinhard (Arcadis)

Agenda

- 01 Einführung AAV, PFAS, Immobilisierung, F+E-Vorhaben
- 02 PFAS-Sorption, Sorptionsmittel, Versuchsböden
- 03 Sorptionsmittelmenge, Sorptionsdauer
- 04 Langzeitstabilität
- 05 Umweltverträglichkeit
- 06 Sorption im halbtechnischen Maßstab
- 07 Wirtschaftlichkeit
- 08 Prüfverfahren für die Praxis (Vorschlag)
- 09 Fazit



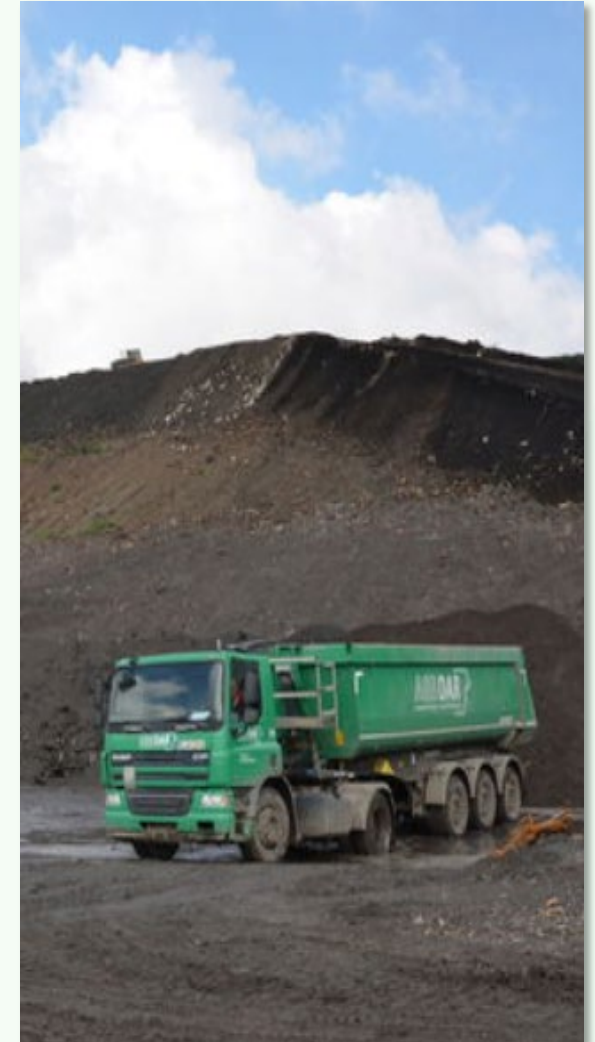
Einführung

Aufgaben des AAV

- Aufgaben (AAV-Gesetz)
 - Durchführung von Maßnahmen des Flächenrecyclings und der Altlastensanierung auf Antrag der Kommunen
 - 80 % Finanzierung
 - Komplette Projektsteuerung
- **Entwicklung und Erprobung neuer Technologien und innovativer Verfahren**
- **Beratung und Unterstützung der Mitglieder bei deren Einführung und Anwendung**

PFAS

- Der Schadensherd liegt in der Regel in der ungesättigten Bodenzone
- Die Sanierung der Böden ist derzeit beschränkt auf den Austausch (Thermik, Deponierung, Bodenwäsche)
- Deponien nehmen zunehmend weniger PFAS-belasteten Boden an
(die Annahme würde oft eine Ertüchtigung der vorhandenen Sickerwasser-Behandlungsanlage erfordern)
- Möglicher Ausweg aus dem Dilemma: Bodenconditionierung mit Sorptionsmitteln (PFAS-Immobilisierung) und nachfolgender Deponierung



Das Forschungsvorhaben

- Grundlagenermittlung, Erstellung eines Untersuchungsprogramms (Desktop-Studie)
- Abstimmung des Untersuchungsprogramms (Behörden und Industrie)
- Auswahl von Böden und Sorptionsmitteln
- Prüfung der Immobilisierung von PFAS hinsichtlich Sorptionsmittelbedarf, Inkubationsdauer, Langzeitstabilität und Umweltverträglichkeit der Sorptionsmittel
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- Vorschlag eines Prüfverfahrens für die Praxis

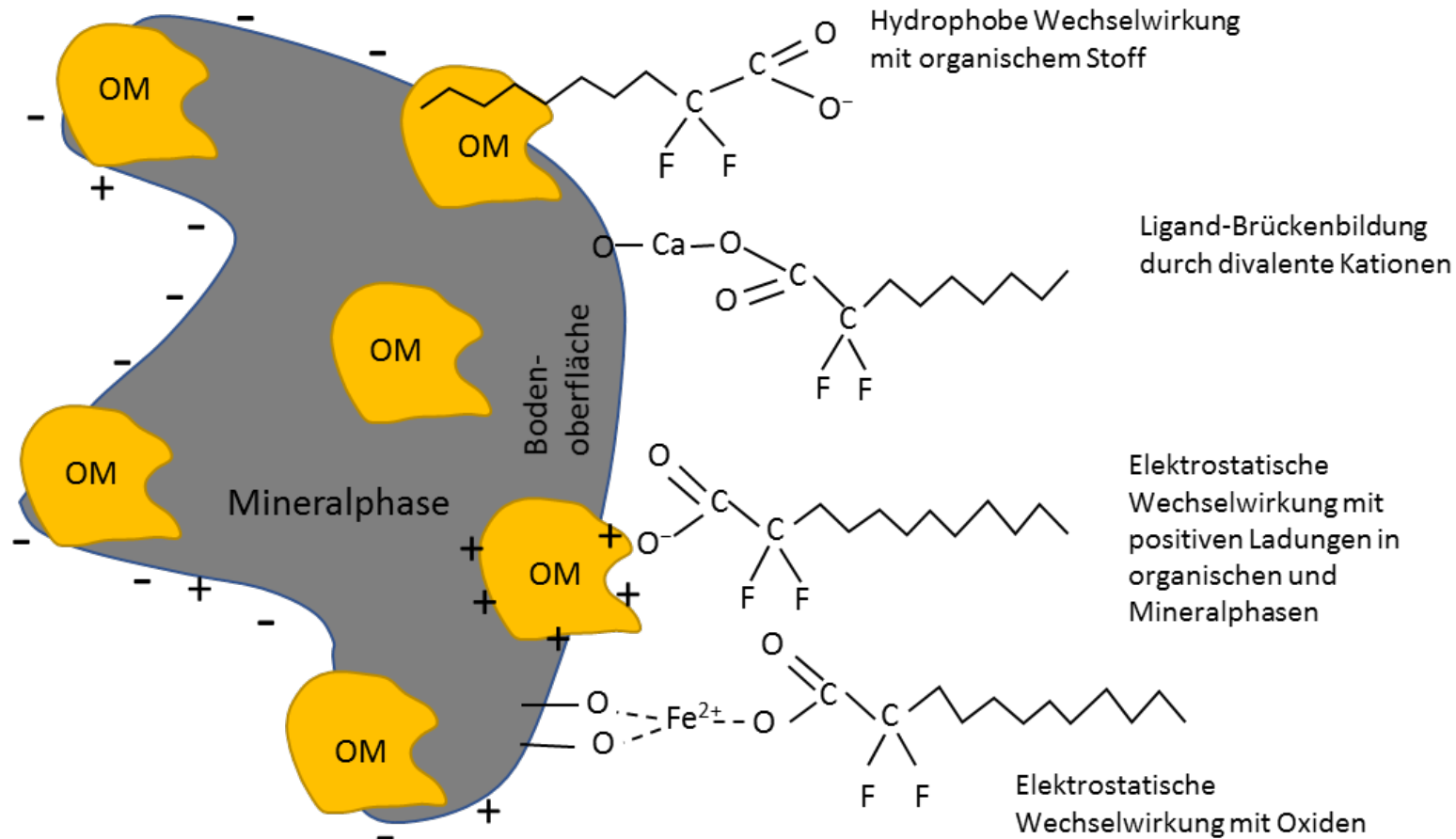


Offen im Denken

Environmental Microbiology and Biotechnology
Aquatic Microbiology University

PFAS-Sorption, Sorptionsmittel, Versuchsböden

Sorptionsmechanismen

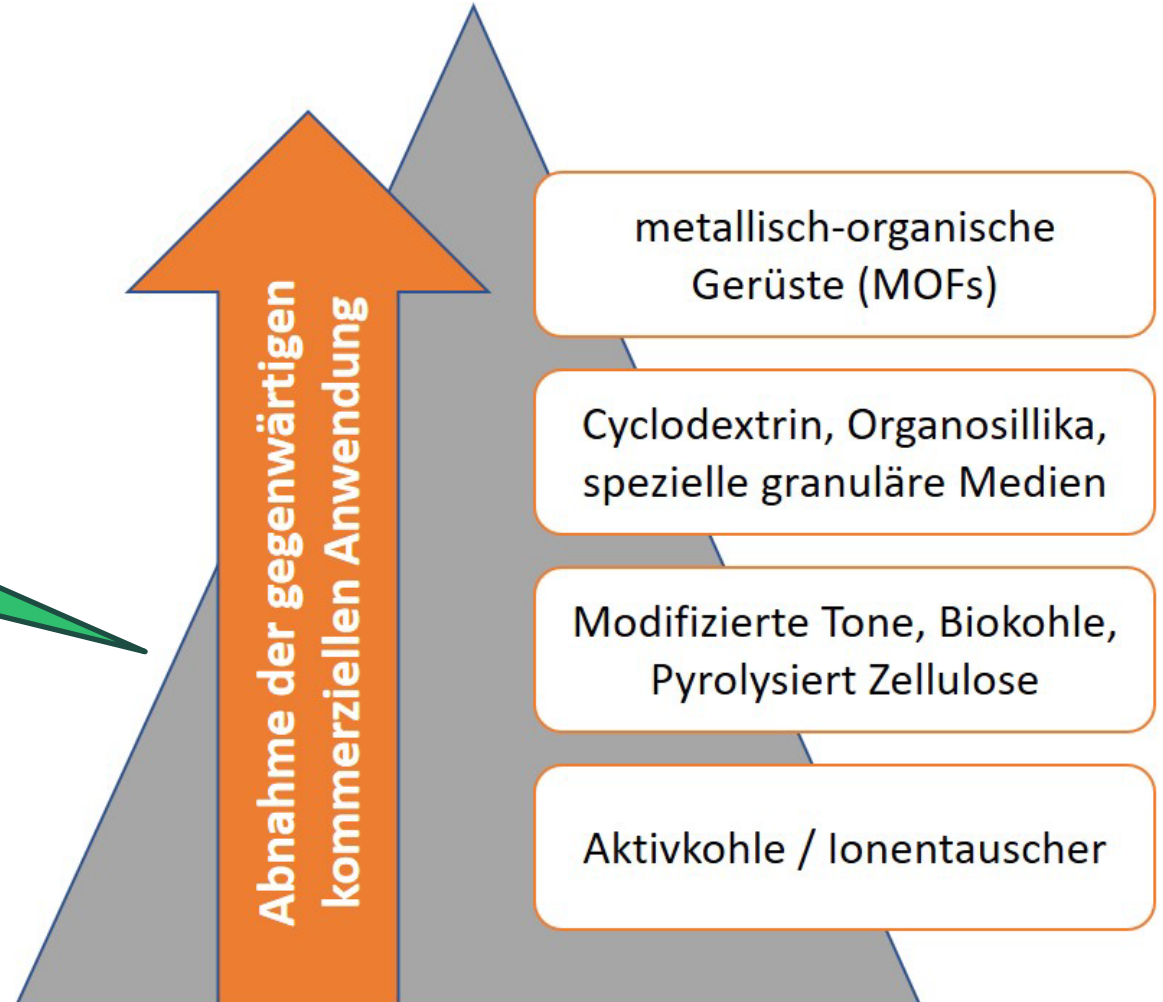


Einflussparameter

- TOC
- pH-Wert
- Ionenstärke (bivalente Kationen)

Sorptionsmittel

2 Sorptionsmittel auf Aktivkohle-Basis
2 Sorptionsmittel auf Basis modifizierter Tone



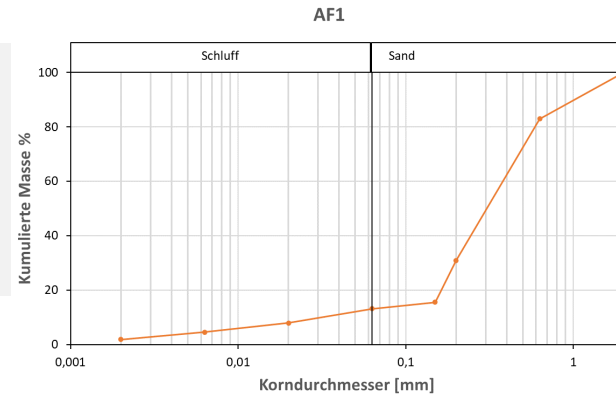
Auswahl Versuchsböden

Boden AFFF (AF1)

PFAS (13): 611.000 ng/l

TOP: 255.000 ng/l

TOC: 2,7 Gew.-%

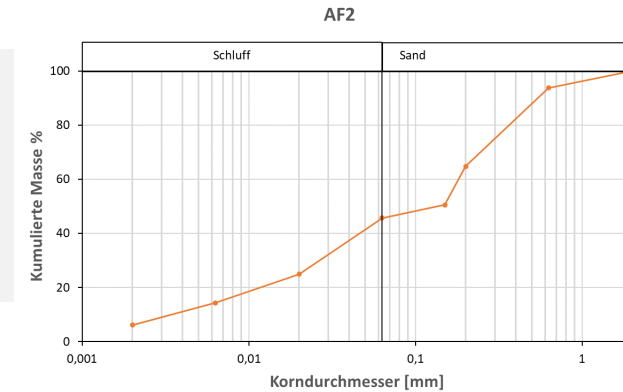


Boden AFFF (AF2)

PFAS (13): 22.000 ng/l

TOP: 3.400 ng/l

TOC: 5,0 Gew.-%

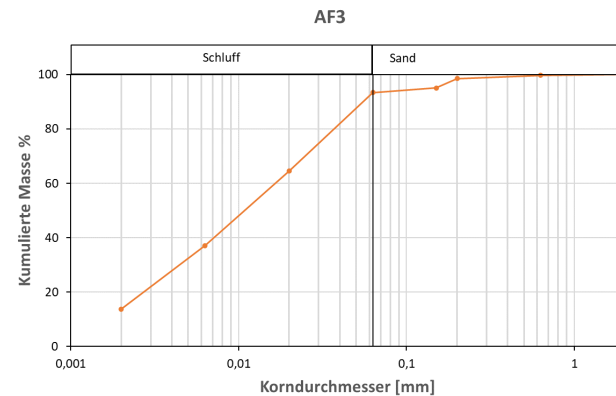


Boden AFFF (AF3)

PFAS (13): 3.000 ng/l

TOP: 2.100 ng/l

TOC: 0,9 Gew.-%

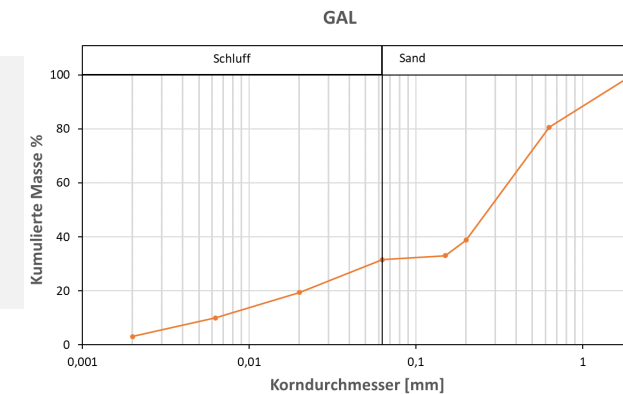


Boden Galvanik (GAL)

PFAS (13): 1.041.000 ng/l

TOP: 600 ng/l

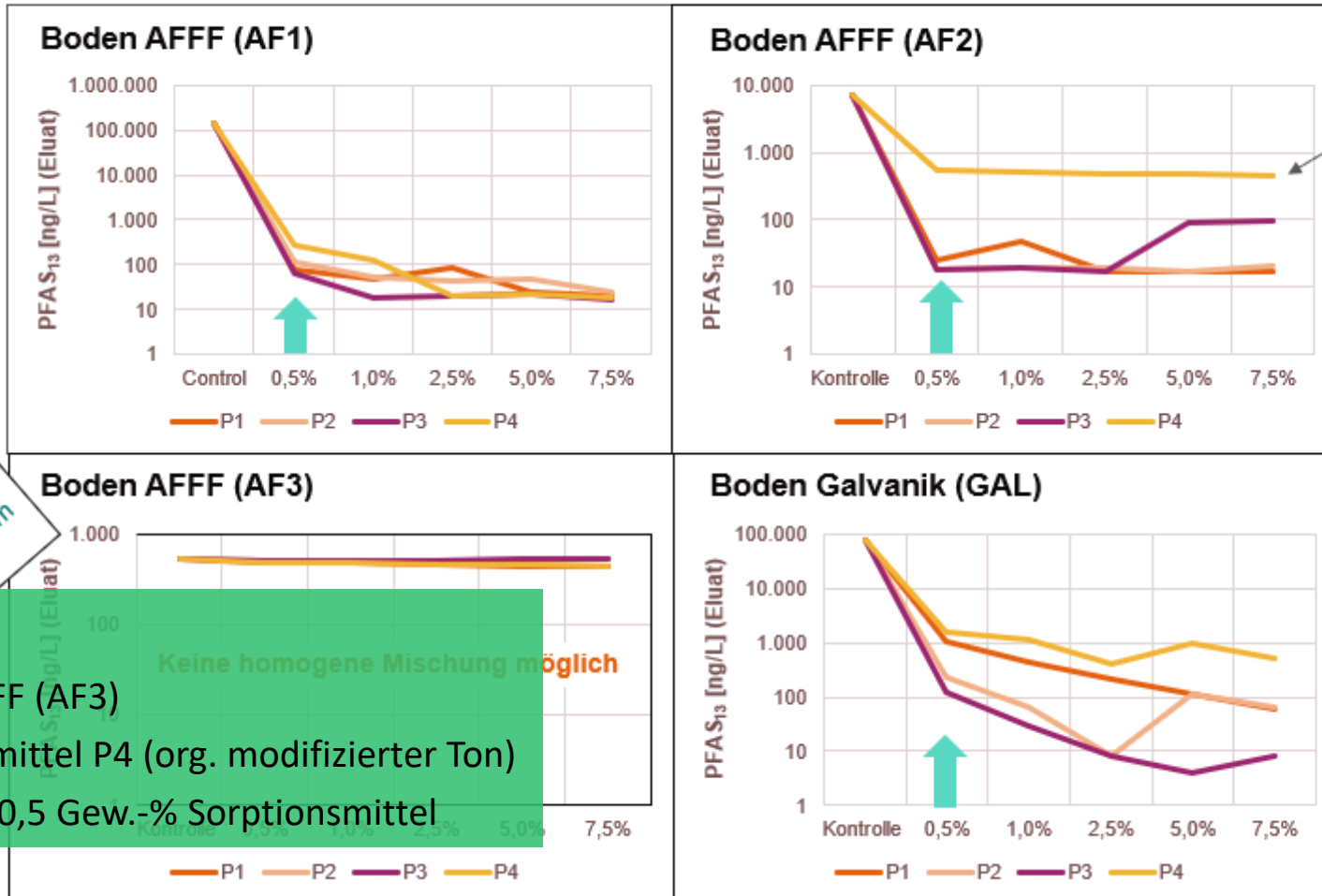
TOC: 2,0 Gew.-%



Sorptionsmittelmenge, Sorptionsdauer



Versuche zur benötigten Menge der Sorptionsmittel



Organisch modifizierter Ton: aus Versuchsprogramm ausgeschieden

Binder Boden: aus Versuchsprogramm

Weitere Versuche:

- Ohne Boden AFFF (AF3)
- Ohne Sorptionsmittel P4 (org. modifizierter Ton)
- Mit Zugabe von 0,5 Gew.-% Sorptionsmittel

Sorptionsmittel:

- P1** organisch modifizierter Ton
- P2** auf Basis Aktivkohle
- P3** auf Basis Aktivkohle
- P4** organisch modifizierter Ton

Keine homogene Mischung möglich

Dauer bis zur maximalen Immobilisierung

- Nach 7 Tage war die Sorption nahezu abgeschlossen
- Danach nur noch geringfügige Verminderung der Konzentration der eluierbaren PFAS (wenige ng/L)



Langzeitstabilität

Langzeitstabilität (Beschleunigte Alterung)

Generell anwendbare und ausgewählte Methoden

Biologische Verfahren

- Biofilme (vermindern Sorptionsstellen)
- Extrazelluläre Enzyme (radikalisch arbeitende Enzyme)
- Endprodukte des bakteriellen Metabolismus (Versäuerung)

Chemische Verfahren

- Accelerated Solvent Extraction (ASE) (80 °C, 10 MPa)
- Inkubation bei erhöhten Temperaturen
- Saure Extraktion

Physikalische Verfahren

- Frier-Tau-Zyklen (Klimasimulation)
- Zyklisches Trocknen und Feuchten

Ziel: Prüfung der Langzeit-Stabilität
über den Zeitraum bis zur endgültigen
Abdichtung der Deponie

Accelerated Solvent Extraction (ASE)

Startkonzentration (PFAS 13):

GAL: 1.041.000 ng/L

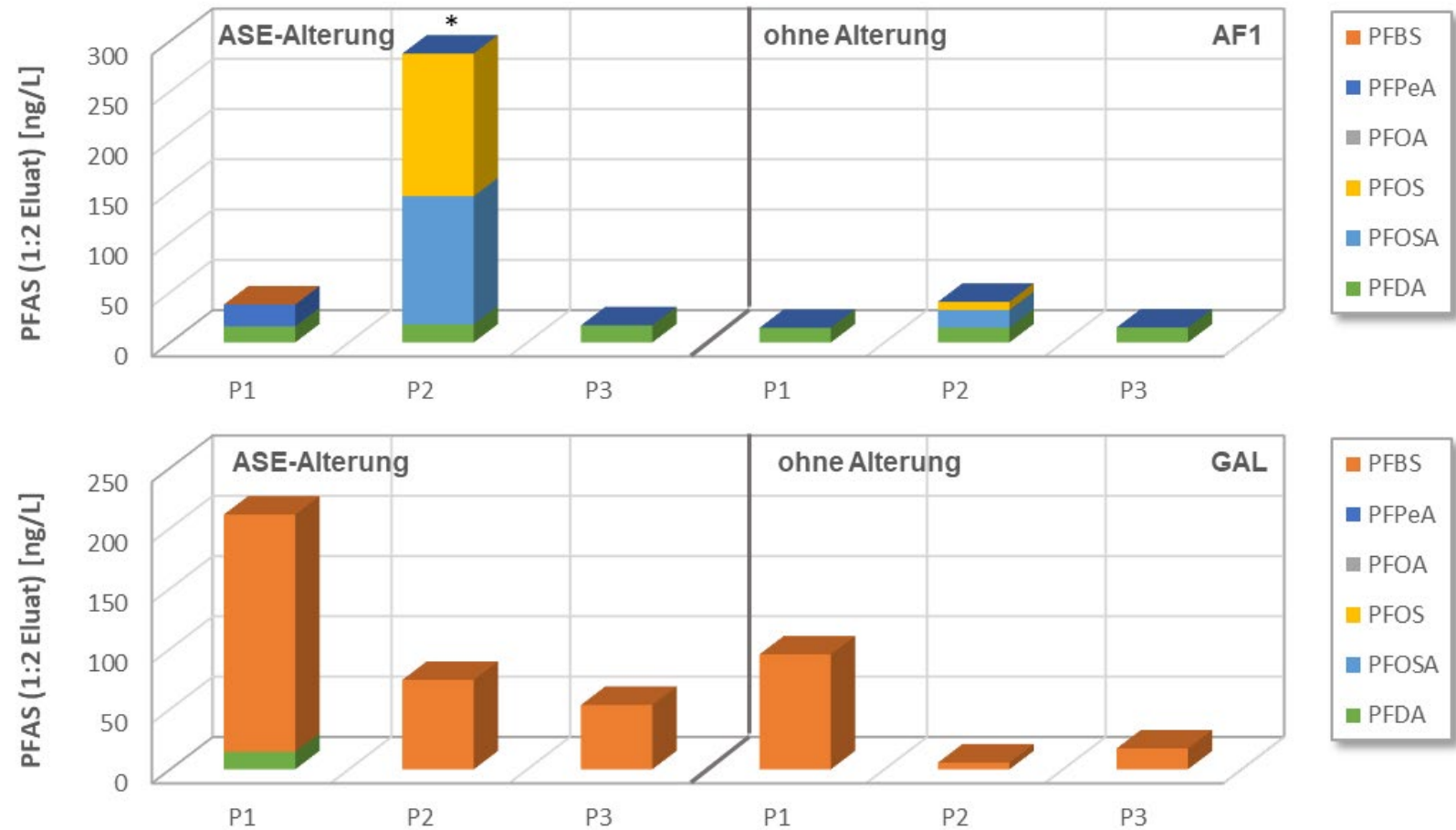
AF1 611.000 ng/L

Sorptionsmittel:

P1 organisch modifizierter Ton

P2 auf Basis Aktivkohle

P3 auf Basis Aktivkohle



Zyklisches Einfrieren und Auftauen

Startkonzentration (PFAS 13):

GAL: 1.041.000 ng/L

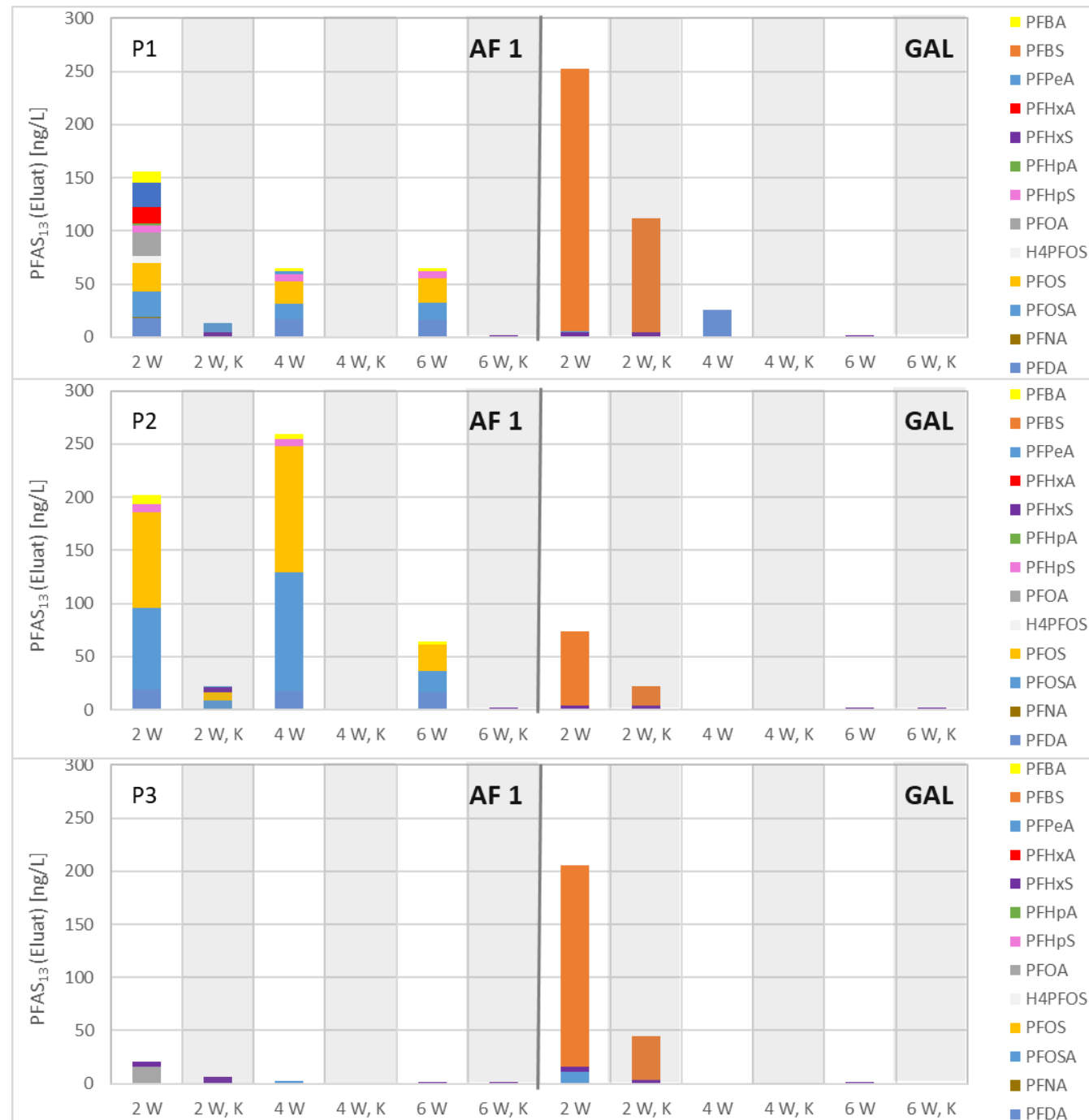
AF1 611.000 ng/L

Sorptionsmittel:

P1 organisch modifizierter Ton

P2 auf Basis Aktivkohle

P3 auf Basis Aktivkohle



Zyklisches Trocknen und Befeuchten

Startkonzentration (PFAS 13):

GAL: 1.041.000 ng/L

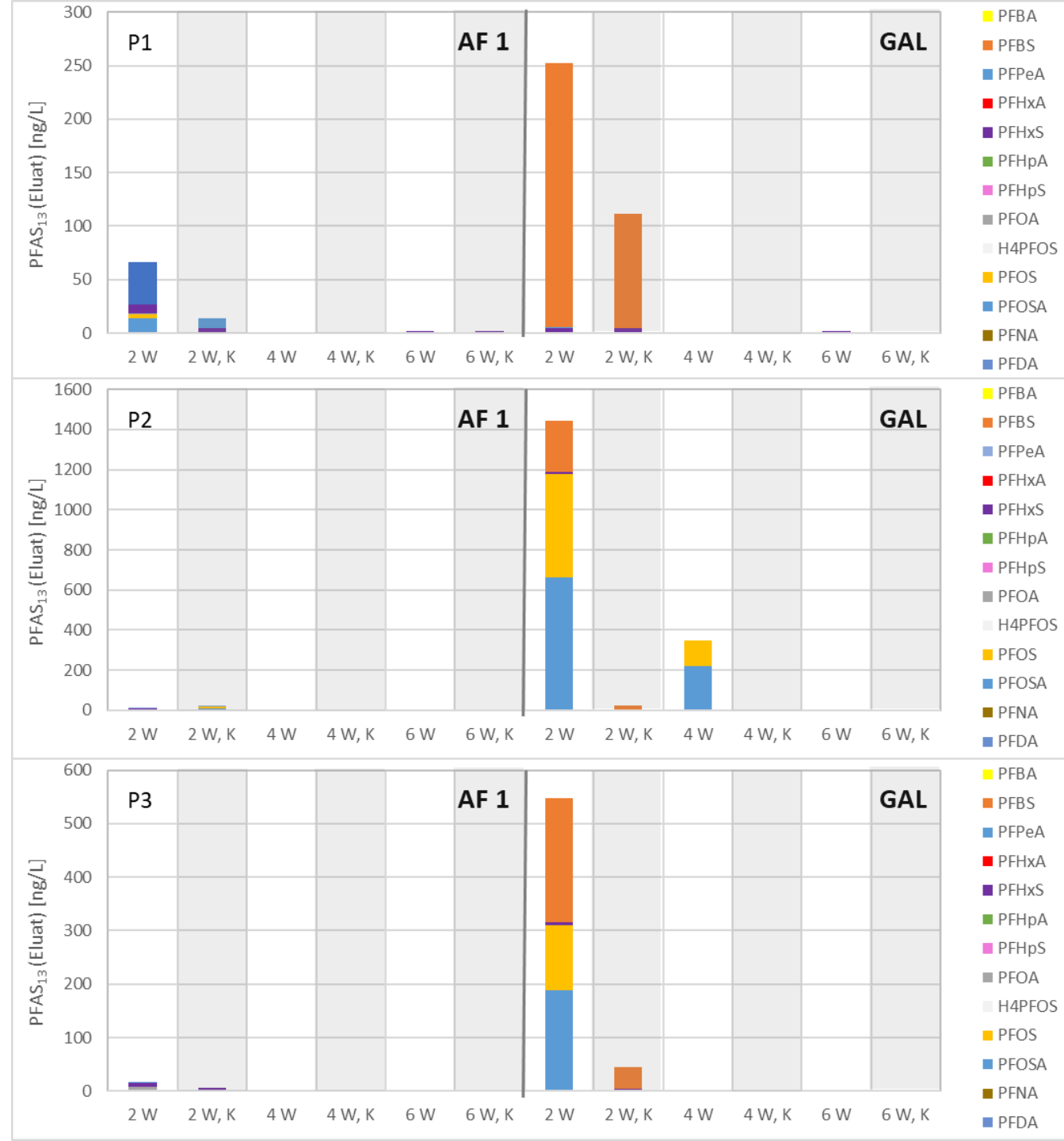
AF1 611.000 ng/L

Sorptionsmittel:

P1 organisch modifizierter Ton

P2 auf Basis Aktivkohle

P3 auf Basis Aktivkohle



Biologische Alterung

Startkonzentration (PFAS 13):

GAL: 1.041.000 ng/L

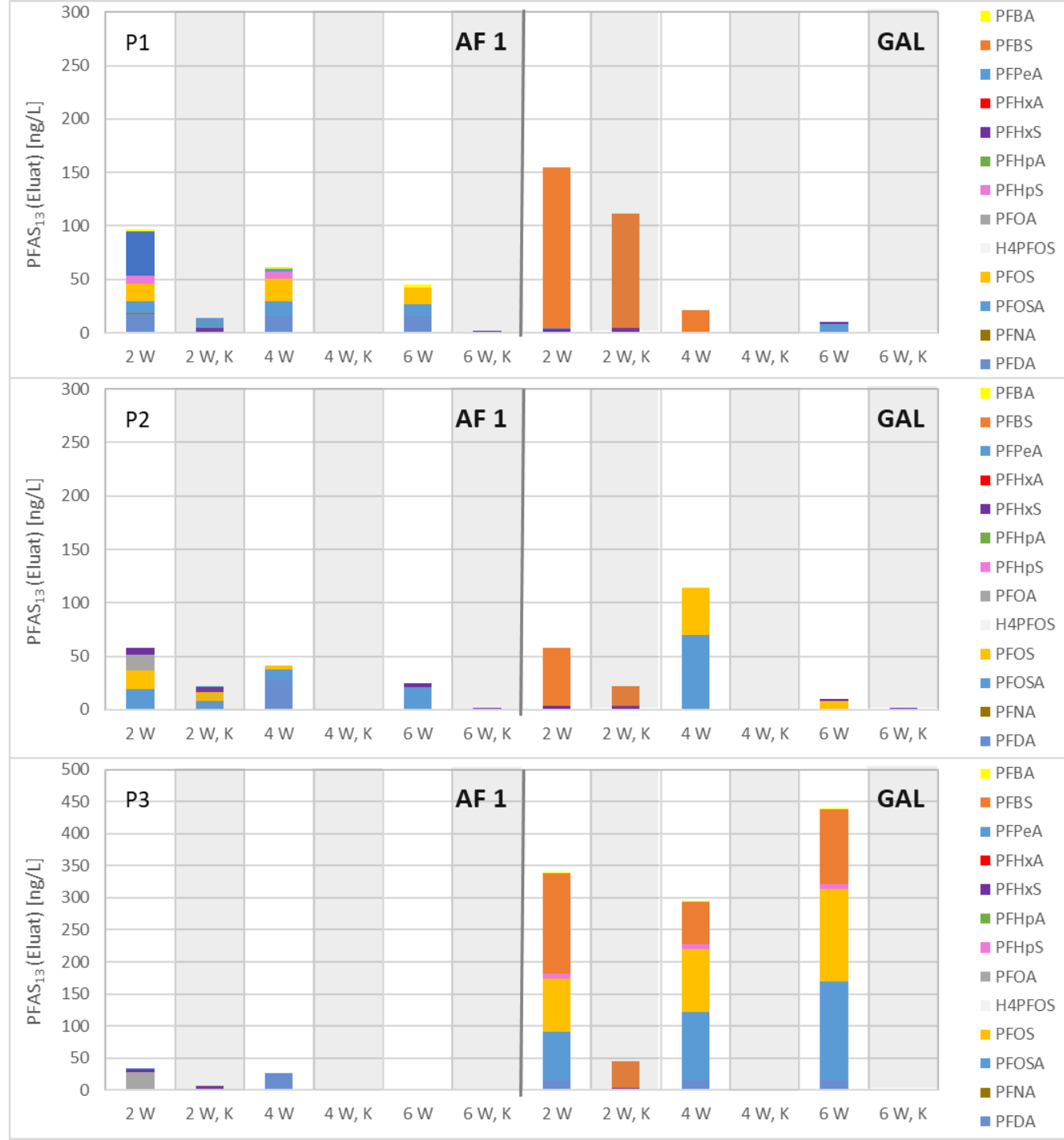
AF1 611.000 ng/L

Sorptionsmittel:

P1 organisch modifizierter Ton

P2 auf Basis Aktivkohle

P3 auf Basis Aktivkohle



Umweltverträglichkeit

Umweltverträglichkeit

- Messungen nach 6 Wochen Inkubation
- Keine Organika im Eluat (LC-MS) nachweisbar

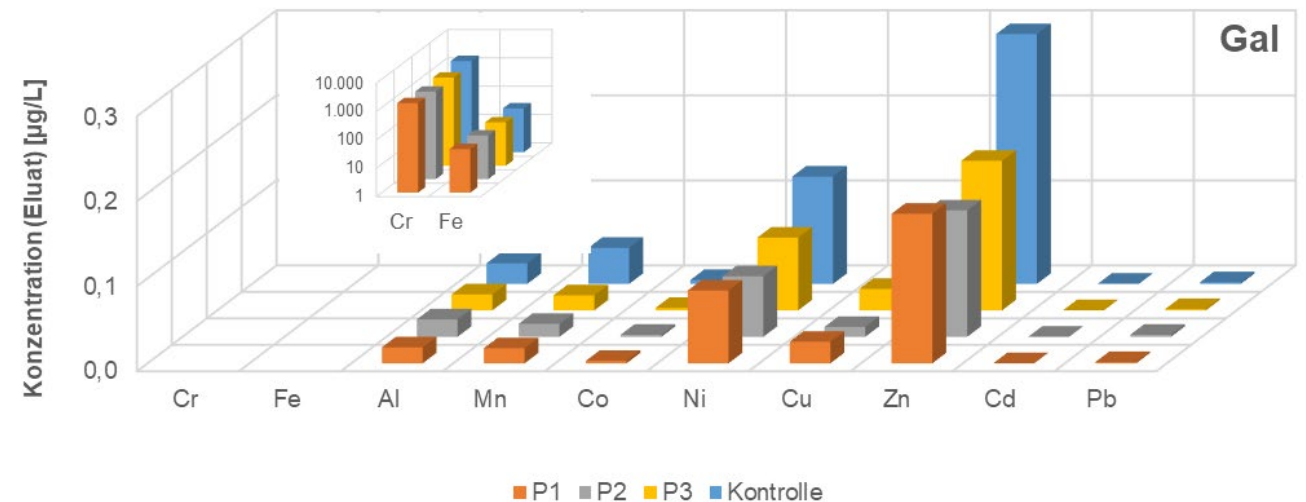
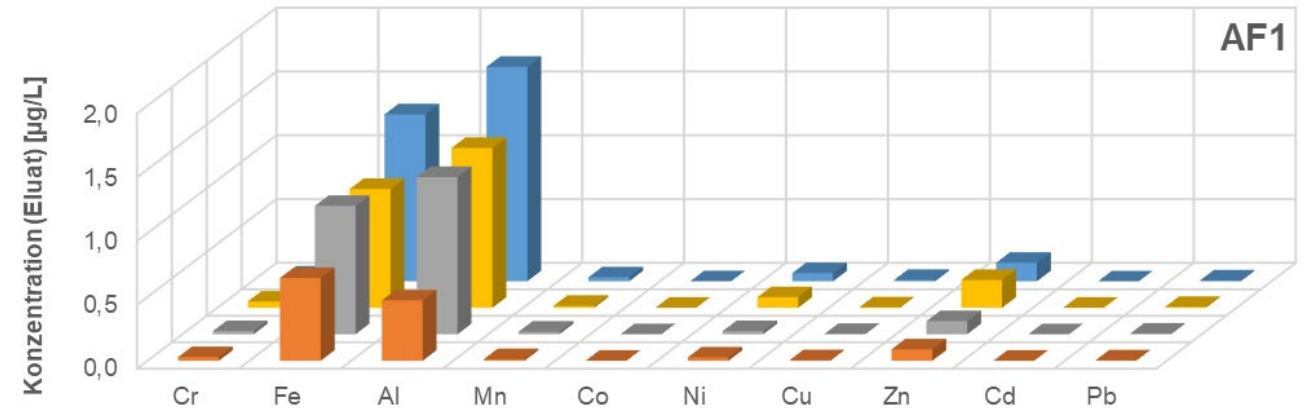
Sorptionsmittel:

blau Kontrolle

P1 organisch modifizierter Ton

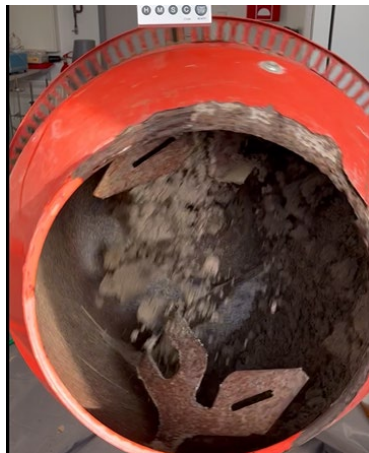
P2 auf Basis Aktivkohle

P3 auf Basis Aktivkohle



Sorption im halbtechnischen Maßstab

Versuch in halbtechnischem Maßstab

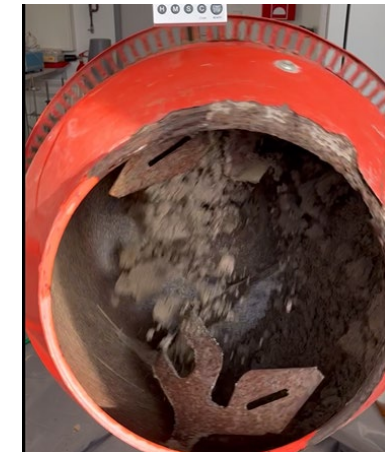


Quelle Foto: Rembind, Australia

Versuch in halbtechnischem Maßstab

Sorbent	Zeit [d]	PFBA	PFBS	PFPeA	PFHxA	PFHxS	PFHpA	PFHpS	PFOA	H4PFOS	PFOS	PFOSA	PFNA	PFDA	Σ PFAS
Beurteilungswerte		10.000	600	3.000	6.000	100	300	300	100	100	100	100	60	100	
Kontrolle	1	0	128	1.680	2.650	3.060	1.050	719	2.880	0	82.200	76.200	0	75	171.000
Kontrolle	7	0	154	1.630	2.670	2.890	915	540	2.110	0	73.300	68.200	0	55	152.000
P1	1	0	5	18	0	9	9	4	62	0	24	15	4	11	161
P1	7	0	5	8	0	12	6	5	58	0	52	46	4	11	207
P2	1	0	12	0	14	11	4	5	71	0	170	166	12	12	477
P2	7	0	5	0	0	9	3	5	48	0	103	68	4	12	256
P3	1	0	5	0	38	8	0	4	67	0	127	119	16	12	396
P3	7	0	4	0	0	8	4	4	52	0	56	43	11	11	193

Zahlen gerundet auf 3 führende Stellen; Rotdruck = Überschreitung der Beurteilungswerte



Sorptionsmittel:

P1 organisch modifizierter Ton

P2 auf Basis Aktivkohle

P3 auf Basis Aktivkohle

Reduzierung der Ausgangskonzentrationen auf ca. 1/500

Wirtschaftlichkeit

Kostenbetrachtung

- Alternative Entsorgung
 - Hochtemperaturverbrennung
 - Thermodesorption
 - Deponierung auf Deponie höherer Klasse
 - Ertüchtigung der Deponie

- Kostenstruktur Immobilisierung

- Aushub und Zwischenlagerung
- Deklarationsanalyse
- Sorptionsmittel
- Mischung, Inkubation und Nachweis der Sorption
- Transport
- Deponierung

Blade Separators



Einflussfaktoren

- Zu behandelnde Menge
- Aktuelle Deponiegebühren
- Bedarf an Sorptionsmittel in Abhängigkeit der Bodenart, -struktur und PFAS-Belastung
- Aufwand für das Einmischen in Abhängigkeit der Bodenart, -struktur
- Transportentfernung

- Unter den Versuchsrahmenbedingungen war die Immobilisierung wirtschaftlich
- Einzelfallbetrachtung unerlässlich

Prüfverfahren für die Praxis (Vorschlag)

Vorschlag Prüfverfahren

- Bestimmung Sorptionsmenge (Empfehlung Tests mit 0,1 %, 0,3 %, 0,5 %, 1 % und 2 % - Zugabe)
- Tests mit unterschiedlichen Bodenchargen (z. B. Kern-, Zwischen- und Randbereiche); Fraktion < 2 mm
- Inkubationsdauer 7 Tage nach Vortrocknung des Bodens (Ergebnisse liegen dann auf der sicheren Seite)
- Stressverfahren (Basis: getrocknete Proben und 2 Wochen Dauer)
 - Chemische Alterung
 - Physikalische Alterung durch zyklisches Einfrieren und Auftauen
 - Physikalische Alterung durch zyklisches Trocken und Wiederbefeuchten
 - Biologische Alterung

Alterungsversuche werden nach den Ergebnissen nicht immer als zwingend angesehen.

Wenn sich ein Sorptionsmittel bewährt hat und die Schadstoffzusammensetzung des zu immobilisierenden Bodens mit der des Eignungstests vergleichbar ist, könnte dann auf Alterungstests verzichtet werden.

Fazit

Fazit

- Zugaben geringer Mengen von Sorptionsmitteln verringern die PFAS- Ausgangskonzentrationen im Eluat deutlich
- Die unterschiedlichen Verfahren zur künstlichen Alterung haben sich bewährt
- Die gealterten immobilisierten Böden zeigten bei den Laborversuchen immer noch im Eluat PFAS-Konzentrationen unterhalb der Beurteilungswerte.
- Insbesondere bei höherem Anteil bindiger Bodenbestandteile ist die Machbarkeit einer großmaßstäblichen homogenen Einmischung zu prüfen
- Überschlägige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergab, dass Immobilisierung bei Deponierung wirtschaftlich sein kann (Einzelfallbetrachtung erforderlich)

Vielen Dank!

Dr. Michael Gass
m.gass@aav-nrw.de

Dr. Thomas Held
thomas.held@arcadis.com

Dr. Michael Reinhard
michael.reinhard@arcadis.com

 **ARCADIS**

 **AAV** | Verband für Flächenrecycling
und Altlastensanierung

IMPROVING QUALITY OF LIFE