

06.20

Lizenziert für Herrn Jürgen Buhl.
Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt.

29. Jahrgang
Dezember 2020
Seiten 221 – 264

altlasten spektrum

Herausgegeben vom
Ingenieurtechnischen Verband für Altlastenmanagement
und Flächenrecycling e.V. (ITVA)

www.ALTLASTENdigital.de



Organ des ITVA

Precursor!

Th. Held

Kolloidale Aktivkohle für die In-situ-Sanierung ...

A. Georgi, J. Bosch, J. Bruns, K. Mackenzie,
N. Saeidi, F.-D. Kopinke

Lindert die Immobilisierung ... das Entsorgungsdilemma?

J. Buhl, M. Cornelsen

Ausbreitung von PFAS durch den Einsatz von AFFF-Schaumlöschmitteln

H. Bethke, J. Budde

Flächenhafte PFAS- Verunreinigungen in Mittelbaden

Ch. Krakau, K. Stolzenberg-Hepp,
G. Striegel, R.-K. Teichmann, D. Noyes,
A. Schmid, M. Reinhard, Ch. Schenkel



ESV ERICH
SCHMIDT
VERLAG



© EnvyTech

Lindert die Immobilisierung PFAS-belasteter Böden das Entsorgungsdilemma?

Jürgen Buhl, Martin Cornelsen

1 Einführung

Die PFAS-Stoffgruppe wird seit einigen Jahren mit zunehmender Intensität sowohl in der behördlichen Landschaft als auch in der Praxis diskutiert. Obgleich wichtige wissenschaftliche Grundlagen und auch diverse Sanierungserfahrungen erarbeitet und diskutiert wurden, sind noch viele Wissenslücken zu schließen. Ferner stellen sich die Anforderungen an die Sanierungspraxis mittlerweile als sehr anspruchsvoll dar. Unter anderem deswegen, weil ein eindeutiger Trend zur Einbeziehung der kurzkettigen PFAS-Substanzen bei den Betrachtungen zur Sanierungserfordernis und Zielwertdiskussion zu erkennen ist. So sieht beispielhaft die noch für das Jahr 2020 zu erwartende EU-Trinkwasserrichtlinie nicht eine Bewertung von PFAS-Einzelsubstanzen vor, sondern von PFAS-Summenwerten, in welche zukünftig die kurzkettigen und somit sehr mobilen PFAS eingehen werden.

Da Deponieraum für PFAS-verunreinigte Böden nicht annähernd im erforderlichen Umfang zur Verfügung steht, stellt sich vielerorts die Frage, wie mit PFAS-belastetem Boden umgegangen werden soll. Es sind somit technische Lösungen gefragt, die als Handlungsoptionen für den Umgang mit PFAS-belasteten Böden herangezogen werden können. In diesem Aufsatz soll die Methode der On-Site-Immobilisierung als eine Option vorgestellt und diskutiert werden.

In dem im November 2019 erschienenen Abschlussbericht des im Rahmen des Umweltforschungsplans der Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit erarbeiteten Grundlagen [14] wird der Immobilisierung von PFAS im Boden bereits eine hohe Machbarkeit und ebenso eine hohe Marktreife zugesprochen und somit eine Brücke für die Anwendung dieser Methode errichtet.

Die im Oktober 2020 veröffentlichte Chemikalienstrategie [3] der europäischen Kommission diskutiert langfristige Visionen, die zu einer schadstofffreien Umwelt führen sollen. In diesen Visionen für die Chemikalienpolitik der EU wird die Stoffgruppe PFAS an verschiedenen Stellen explizit erwähnt und die Identifizierung und Entwicklung innovativer Methoden für die Sanie-

rung von PFAS-Kontaminationen ausdrücklich als geplante Maßnahmen der Kommission angesprochen.

2 Sanierungsoptionen

Eine Entfernung der PFAS aus der Umwelt wird erreicht über den Weg der Verbrennung des Erdreichs und somit der PFAS bei Temperaturen von 1100°C und höher. Dieser Entsorgungsweg für den Erdaushub geht allerdings mit hohen finanziellen Aufwendungen einher und erfordert meist auch lange Transportwege, da solche Verbrennungsanlagen nicht gleichmäßig in Deutschland verteilt liegen. [16]

Alternative Verfahren entfernen nicht oder nicht unmittelbar die PFAS aus der Umwelt. Andere thermisch arbeitende Verfahren entfernen zum einen ex situ die PFAS bei etwa 800°C und zerstören die PFAS im Abgasstrom bei höheren Temperaturen. [15] Die Auswirkungen auf das Erdreich sind aufgrund der niedrigeren Temperaturen, bei denen die PFAS desorbiert werden, geringer. Zum anderen strebt man thermisch nach Wegen, on site in Mieten oder in situ PFAS zu mobilisieren und sie im Nachgang bei der Abluftbehandlung zu zerstören. Ein hohes Preisniveau deutet sich auch für diesen Weg an.

In einigen Fällen ergeben sich Möglichkeiten zur Deponierung des Erdreichs, was jedoch Anforderungen an maximal tolerierbare PFAS-Konzentrationen und an die in Frage kommenden Deponien stellt. Außerdem ist auch diese Lösung oft mit langen Transportwegen und den korrespondierenden Emissionen verbunden. Die Ausarbeitung von Professor Egloffstein (et al.) setzte sich im Oktober 2019 intensiv mit dem Thema der Entsorgungsmöglichkeiten PFC-belasteten Erdreichs auseinander. [5]

Das Verfahren der Bodenwäsche kann eher am unteren Ende der Skala bei den möglichen Sanierungskosten angesiedelt werden, sofern eine ausreichend große Menge an Erdreich zur Behandlung vorliegt. Allerdings limitiert der Feinkornanteil im Erdreich, das behandelt werden soll, die Anwendbarkeit des Verfahrens. PFAS reichern sich bei dem Verfahren im Waschwasser an und werden dort meist mittels adsorptiv wirkender Techniken entfernt. Die *Abbildung 1* illustriert

Lindert die Immobilisierung PFAS-belasteter Böden das Entsorgungsdilemma?

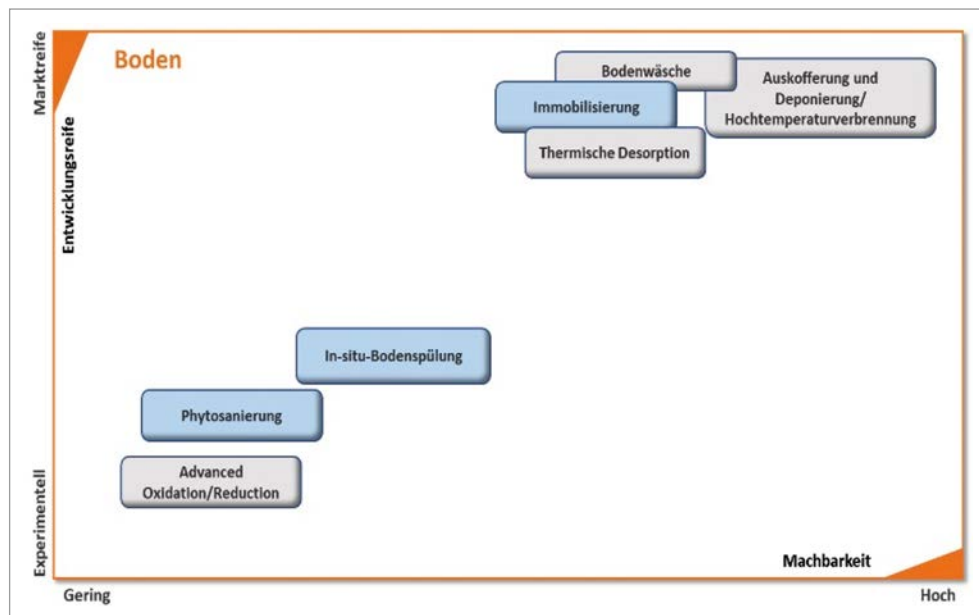


Abbildung 1: Reifegrad und Machbarkeit von Techniken zur Sanierung von Erdreich mit PFAS-Belastung (Quelle: UBA 2020) [15]

die Palette der einsetzbaren Techniken und bewertet sowohl die Machbarkeit als auch deren Marktreife.

3 Adsorbens zur Immobilisierung

Eine Forschungseinrichtung in Australien hat vor wenigen Jahren ein Werkzeug entwickelt, das solch einen alternativen Ansatz zur Behandlung eines PFAS-belasteten Erdreichs möglich macht. Entwickelt wurde ein pulverförmiges Material (Adsorbens), das im Wesentlichen aus gemahlener Aktivkohle, Kaolin und amorphem Aluminiumhydroxid besteht. Hauptbestandteil des Produkts ist die Aktivkohle, weshalb die Dichte dieses Materials bei etwa 0,5 kg/l liegt. Die Komponenten des Adsorbens (Produktname: RemBind®) erreichen durch das Zusammenwirken unterschiedlicher Kräfte (van der Waal, kovalent, elektrostatisch) die Bindung und somit die Immobilisierung der PFAS. [17]

Die feingemahlene Aktivkohle adsorbiert einen Teil der Schadstoffe. Das amorphe Aluminiumhydroxid weist sowohl eine große innere Oberfläche als auch eine Ladung auf und kann PFC einlagern und/oder durch Unterschiede in der elektrischen Ladung binden. Diese Bindungsprozesse der natürlichen Ingredienzen des Adsorbens illustriert die *Abbildung 2*.

Die Behandlung der PFC-Belastung im Aushubmaterial besteht darin, dass diese pulverförmige Mischung aus Aktivkohle, Kaolin und amorphem Aluminiumhydroxid (RemBind®) mit dem kontaminierten Erdreich vermischt wird. Zugabemengen zwischen einem und vier Gewichtsprozent eignen sich dabei für die Mehrheit der Anwendungsfälle. Aufgrund der geringen Mengen des Adsorbens, die zum Erdreich zugegeben werden müssen, ist ein intensives Mischen von Erdreich und RemBind® für die Immobilisierung und den technischen Erfolg von entscheidender Bedeutung.

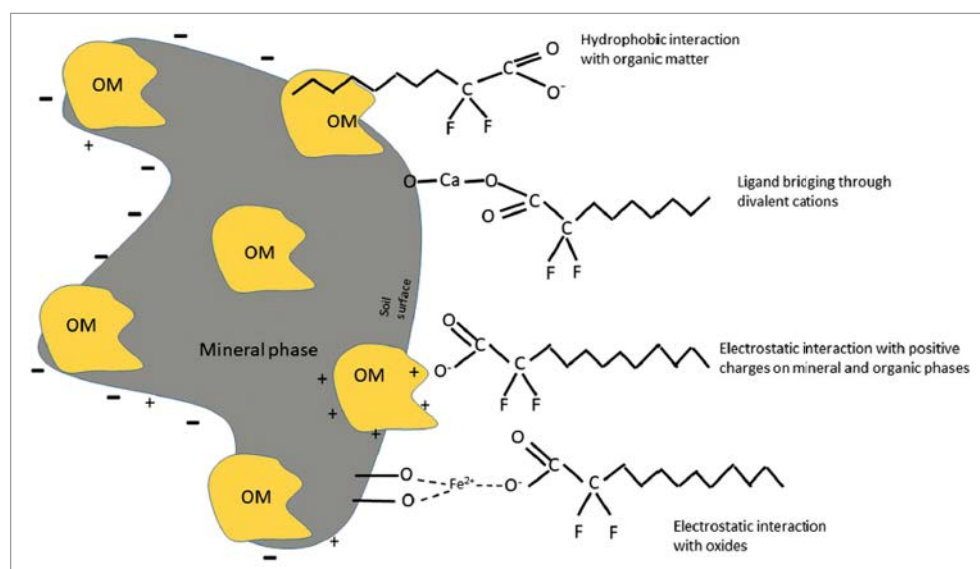


Abbildung 2: Konzeptuelles Schema zu Bindungskräften zwischen PFC und Böden oder Sedimenten (aus: Li et al. 2018) [10]



Abbildung 3: Siebtrommelanlage zur Behandlung von kontaminiertem Erdreich in einem Immobilisierungsprojekt in Schweden (Bild: EnvyTech) [9]

Für die Applikation des Mischprozesses können gängige Verfahren wie eine Siebtrommelanlage oder andere Mischverfahren verwendet werden. Das Erdreich ist dabei erdfeucht; trockenes Erdreich bedarf der Zugabe von Feuchtigkeit. Der Immobilisierungsprozess erfordert bis zur vollständigen Wirksamkeit eine Reaktionszeit von etwa vierundzwanzig Stunden. Daran kann sich dann eine Beprobung und Analyse des behandelten Erdreichs anschließen. Als Folge des Behandlungsprozesses zeigen die Analysen eine stark verminderte Löslichkeit der PFAS im Eluat dieser Proben. Diese Technik der Behandlung des belasteten Erdreichs kann vorab zur Evaluierung im Labor simuliert werden. Dabei werden unterschiedliche Dosieraten an Adsorbens mit dem Erdreich versetzt und die behandelten Proben im Labor analysiert. Diese Simulation dient sowohl der Ermittlung der optimalen Dosierate an RemBind® als auch des erreichbaren Grads der Immobilisierung.

4 Ergebnisse der Immobilisierung

Airservices Australia hatte im Jahr 2016 drei Materialien, welchen eine Immobilisierung von PFAS in belastetem Erdreich zugeschrieben werden konnte, getestet. [1] Eines dieser Materialien war RemBind®. Eine vergleichende Betrachtung von deutlich mehr Materialien, denen solch eine Immobilisierung von PFAS zugeschrieben werden kann, wurde in Schweden an den Universitäten in Uppsala und Stockholm vollzogen [12]. Unter anderem wurden Zeolithe, Bentonit und Pulveraktivkohle im Hinblick auf die Wirksamkeit betrachtet. RemBind® konnte dabei die stärkste Wirkung belegen. Untermauert wird dieses Ergebnis von einer vergleichenden Betrachtung [18] dreier Materialien über einen Zeitraum von achtzehn Monaten.

Zu den Tests von Airservices Australia wurde im Februar 2016 ein Bericht verfasst, der einen positiven Tenor hinsichtlich der Testergebnisse vermittelte („extremely positive“). Ergänzend liefen weitere Tests in Labor und Feld mit RemBind®. Tests mit dem Adsorbens, das auch bei den vorgenannten Tests enthalten war, wurden im gleichen Bericht als höchst erfolgreich klassifiziert („highly successful“), denn bis zu 99 % der PFAS im Erdreich wurden durch Applikation von RemBind® gebunden.

Den vorbereitenden Tests folgte dann die Anwendung von RemBind® bei einer Menge von 700 m³ PFAS-belasteten Erdreichs, welches aber, als Teil des dafür entwickelten Behandlungskonzepts, nach erfolgter Immobilisierung auf eine Deponie verbracht wurde.

Zwei Anwendungen erfolgten auch mit Bodenmaterial aus dem Raum Rastatt und Baden-Baden. In Baden-Baden wurde im Rahmen einer geplanten Erweiterung einer Kiesgrube Erdreich untersucht, das im Zuge dieser Erweiterung abgeschoben werden müsste. Hauptparameter im Eluat des Erdreichs waren PFOS und PFOA. In der höchstbelasteten Bodenprobe wurden 1,38 µg/l PFOS und 1,1 µg/l PFOA gemessen. Im Labor wurde dann der Immobilisierungsprozess simuliert und unterschiedliche Mengen des Adsorbens zugegeben. [13] Behandeltes Erdreich wurde nach der vierundzwanzigstündigen Wartezeit beprobt und die Proben untersuchte ein externes Labor. Bereits bei einer Dosierate von 0,5 Gew-% (Gewichtsprozent) verringerten sich die Löslichkeiten im Eluat (2:1) auf Werte von je 0,03 µg/l für PFOS und PFOA. Eine Verdopplung der Zugaberate auf ein Gewichtsprozent drückte die Konzentration an PFOS unter die Bestimmungsgrenze (< 0,01 µg/l) und die von PFOA auf 0,02 µg/l (siehe Abbildung 4). Aus dieser Behandlung resultiert ein poten-

Lindert die Immobilisierung PFAS-belasteter Böden das Entsorgungsdilemma?

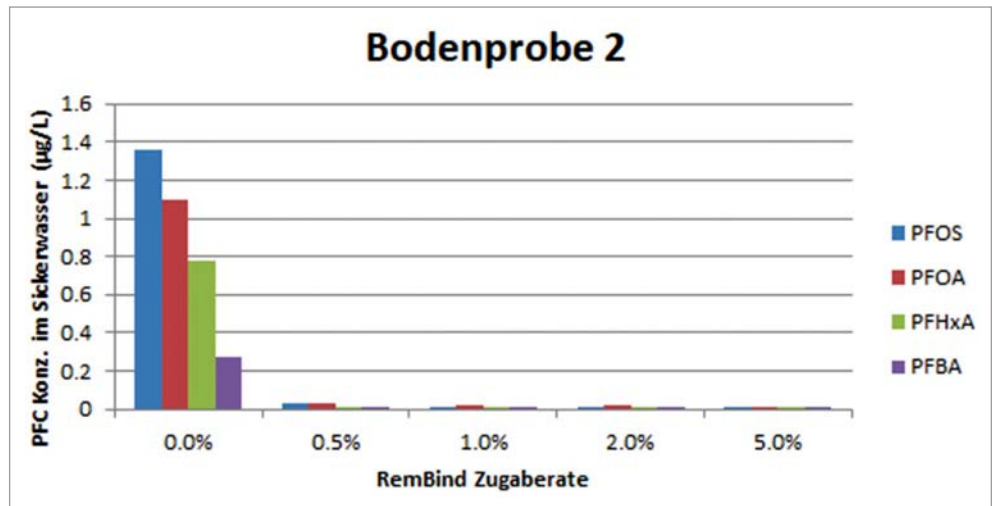


Abbildung 4: Verringerung der PFAS-Konzentrationen im Eluat in Abhängigkeit der Zugaberate an RemBind®. [13]

ziell vereinfachter Entsorgungsweg für PFAS-belastetes Erdreich, das im Zuge der Erweiterung der Kiesgrube anfallen kann.

Ähnliches wurde mit Erdreich von einem Feld bei Hügelsheim praktiziert. Aus den obersten dreißig Zentimetern des Ackers wurde – an drei Stellen entnommen – im Dezember 2018 eine Mischprobe generiert. In dieser Bodenprobe (Feinsand) konnte im Eluat (2:1) eine PFAS-Konzentration von 39,0 µg/l gemessen werden, worin PFOS (33%) und PFDeA (28%) Hauptkomponenten waren. Nach Zugabe von 3,5 Gew.-% RemBind® im Technikum wurde das behandelte Material in einem unabhängigen Labor auf PFAS im Eluat (2:1) untersucht. Die Konzentrationen der einzelnen PFAS-Komponenten lagen im behandelten Erdreich alle unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenzen von 0,1 µg/l. Dies entspricht einer Reduzierung der Belastung im Eluat um 99,7% bezogen auf die Gesamtkonzentration aller PFAS. [4]

Weitere Untersuchungen im Labor und Feld mit Proben aus Hessen und Bayern bestätigen die bislang erzielten Befunde. In Schweden wurden im letzten Jahr mehr als 3000 Tonnen Erdreich mit RemBind® behandelt. [9] Ein Eluatwert von 233 µg/l PFAS bestand dort maßgeblich aus PFOS. Nach Zugabe von RemBind® in einer Rate von 3 Gew.-% ließen sich nur noch 8,5 µg/l PFAS im Eluat messen, was einer Reduzierung von 96,3% entspricht. Eine weitere Erhöhung der Dosierung auf 5 Gew.-% verringerte den Eluatwert auf 4,6 µg/l, was eine Reduzierung um 98% bedeutet. Die erzielten Er-

gebnisse stellt die *Tabelle 1* zusammen. Nach erfolgter Behandlung konnte das Erdreich auf eine Deponie verbracht werden. Dieser Schritt war a priori Ziel der Behandlung.

5 Stabilität der Bindung

Bei einer Immobilisierung ist die Frage der Langzeitstabilität und Dauerhaftigkeit der Maßnahme von Bedeutung. RemBind® wurde erst vor wenigen Jahren entwickelt, was folglich die Palette langjähriger Anwendungserfahrungen schmälert. Gleichwohl wurden zahlreiche Anstrengungen unternommen, die Dauerhaftigkeit dieser Bindung zu simulieren. Außerdem gibt es Untersuchungen, welche über einen längeren Zeitraum die Ergebnisse der Immobilisierung begleiten und kontrollieren.

Beim Hobart Airport (Australien) konnte Erdreich, das vor Ort mit RemBind® behandelt worden war, mehr als drei Jahre später nochmals beprobt werden. Dies erfolgte in Kooperation von Airservices Australia und der Universität von Queensland (Veröffentlichung in Vorbereitung). Der Vergleich der Ergebnisse der Untersuchungen – direkt nach Anwendung und 3,5 Jahre später – erfolgte bei den Parametern PFOS, PFHxS, PFHxA und PFBS.

Im Falle einer Zugabe von etwa 5 Gew.-% RemBind® hatte sich die Konzentration an PFOS von 106 µg/l in der unbehandelten Probe auf etwa 1,3 µg/l in der behandelten Probe verringert (99% Reduzierung). Die Befunde, die nach 3,5 Jahren an gleicher Stelle bei den Nachuntersuchungen erzielt worden waren, zeigten einen identischen Befund (siehe *Abbildung 5*).

Hinsichtlich der Belastung mit PFHxS lag die Verringerung bei etwa 98% (9 µg/l auf 0,19 µg/l) durch die Behandlung und dieser Wert verringerte sich auf etwa 96% in der Nachbeprobung (3,5 Jahre später). Ähnliche Befunde wie für die Vergleiche beim PFOS belegten die Nachuntersuchungen bei PFHxA und PFBS. Es gab nahezu keine Unterschiede. [18]

Ähnliche Befunde zeigten in einem anderen Vorhaben vergleichende Untersuchungen in Florida (USA) nach

Tabelle 1: PFAS-Werte bei einer Immobilisierung in Schweden (EnvyTech, 2019) [9]

Probe	PFAS µg/kg	Rem Bind Gew.-%	pH	PFAS- Eluat µg/kg	PFOS µg/kg	PFHxS µg/kg	Redu- zierung %
L/S 2	0,905	0	7,5	233,0	230,0	2,8	0
L/S 2	0,905	3	7,8	8,5	8,4	0,077	96,3
L/S 2	0,905	5	7,5	4,6	4,6	0,045	98,0

Lindert die Immobilisierung PFAS-belasteter Böden das Entsorgungsdilemma?

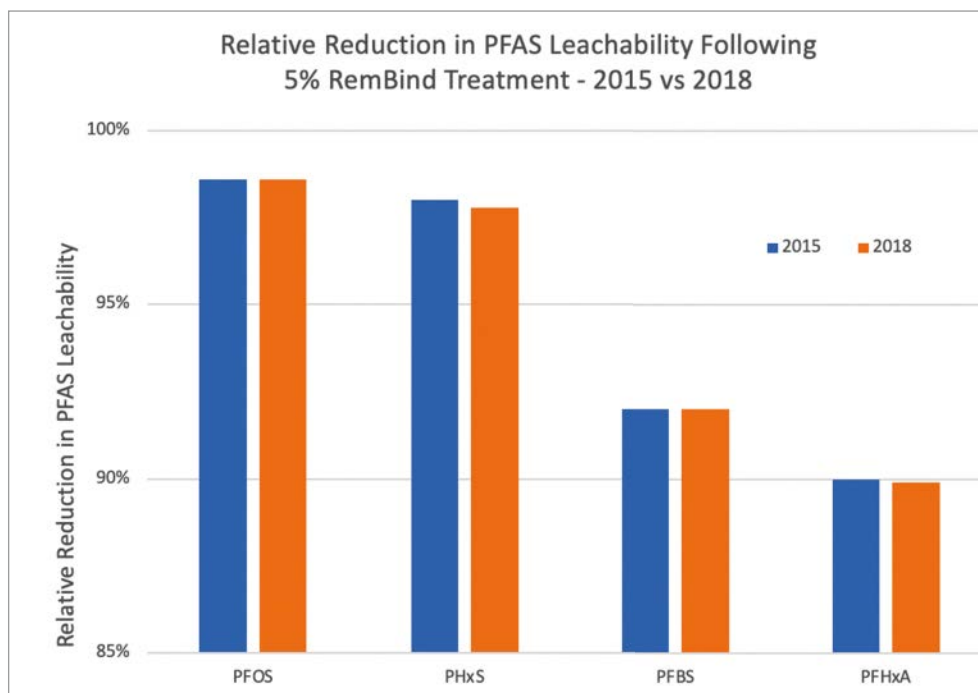


Abbildung 5: PFAS-Konzentrationen bei Untersuchungen von immobilisiertem Erdreich nach etwa 3,5 Jahren Abstand in Hobart/AUS (Quelle: Zilttek) [18]

einer Dauer von achtzehn Monaten (Vorhaben läuft weiter und ist auf vier Jahre terminiert). Dort wurden unterschiedliche Materialien, die zur Bindung von PFAS eingesetzt werden können, bei einem Erdreich vergleichend bewertet. Dabei wurden die PFAS-Konzentrationen im Eluat des immobilisierten Erdreichs zu bestimmten Zeitpunkten betrachtet. Nur das mit RemBind® immobilisierte Erdreich weist PFAS-Konzentra-

tionen auf, die unterhalb der Bestimmungsgrenze blieben. [18]

hend steigen die PFAS-Werte im Eluat bis zum pH 8 an und schwanken dann auf dem höheren Konzentrationsniveau. [18] Nach Applikation von RemBind® zeigt der gleiche Versuch, dass über einen breiten Bereich von pH-Werten (pH 2 bis pH 9,5) die PFOS-Konzentrationen im Eluat unterhalb der Bestimmungsgrenze (< 0,01 µg/l) bleiben. Bei noch höheren pH-Werten (10,5 und 12) kann

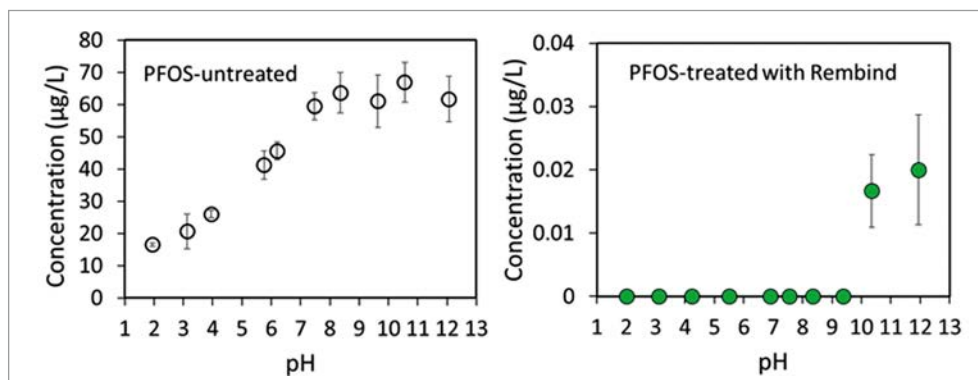


Abbildung 6: PFOS-Konzentrationen im Eluat unbehandelten (links) und behandelten Erdreichs (rechts) unter Einfluss des pH-Wertes [18]

tionen auf, die unterhalb der Bestimmungsgrenze blieben. [18]

Die Langzeitstabilität wird ergänzend auch im Labor simuliert. Als Methode wird US-EPA LEAF genutzt. Teil der Untersuchungen war die Gewinnung von Daten bei unbehandeltem Erdreich. Hierbei zeigte sich, dass die Löslichkeit von PFOS in dem pH-Bereich von 2 bis 12 nicht identisch ist. Ausgehend vom gleichen, unbehandelten Erdreich variiert die Löslichkeit bei den unterschiedlichen pH-Werten zwischen etwa 18 (pH 2) und etwa 68 µg/l (pH 11). Vom niedrigsten pH ausge-

hend steigen die PFAS-Werte im Eluat bis zum pH 8 an und schwanken dann auf dem höheren Konzentrationsniveau. [18] Nach Zugabe von RemBind® zu einem PFC-belasteten Erdreich ließen sich über die simulierte Dauer in dieser Laborstudie keine PFAS im Eluat bestimmen.

Lindert die Immobilisierung PFAS-belasteter Böden das Entsorgungsdilemma?

6 Aufnahme von PFAS

Die Universität von Queensland hat zusammen mit zwei weiteren Einrichtungen [2] einen zusätzlichen Aspekt bei der Behandlung von PFAS-belastetem Erdreich betrachtet. In der Untersuchung ging es darum, ob sich mit der Behandlung von Erdreich mittels Rem-Bind® etwas an der Verfügbarkeit der PFAS ändert, entweder für – in dem Fall – Weizenras, das darauf wächst, oder für Regenwürmer, die sich in dem Erdreich aufhalten.

Betrachtet wurden in der Studie Veränderungen der Gehalte an PFHxA, PFOA, PFHxS und PFOS im Weizenras (wheat grass) und in Regenwürmern (earth worm). Ergebnisse der Untersuchungen belegen eine deutliche Reduzierung der PFAS-Gehalte im Gras, das auf Erdreich wächst, welches mit RemBind® behandelt worden war, um die PFAS zu immobilisieren. Bei *Abbildung 7* stellt das Bild auf der linken Seite die Konzentrationen der ausgewählten PFAS in der Pflanze gegenüber, die auf dem unbehandelten und auf dem behandelten Boden wächst. Die vier linken Säulen im Bild von *Abbildung 7* zeigen die Situation bei unbehandeltem Erdreich für vier ausgewählte PFAS-Komponenten,

ner Entsorgung besondere Herausforderungen. Viele der in Anwendung befindlichen Sanierungsmethoden verringern den bereits knappen Deponieraum, benötigen Energie und/oder erzeugen CO₂-Emissionen. Die Zugabe von geringen Mengen des Adsorbens Rem-Bind® zu einem mit PFAS kontaminierten Erdreich bewirkt, dass sich die Löslichkeit der PFC (PFAS) stark verringert. In Abhängigkeit der gewählten Dosierate liegen gemessene PFAS-Werte im Eluat mitunter nahe der Bestimmungsgrenzen. Begleitende Untersuchungen über längere Zeiträume sowie Simulationen im Labor implizieren eine starke und verlässliche Bindung der PFAS.

Verringerte PFAS-Konzentrationen erlauben eine vielseitigere Handhabung des Erdreichs. Landschaftsbauwerke können on site bei der Verwendung des behandelten Erdreichs eventuell eine Rolle spielen, wodurch Transporte mit den dabei entstehenden Emissionen entfallen. Gegebenenfalls können Applikationen sogar in situ erfolgen. Zudem deuten bisherige Untersuchungen von behandeltem Erdreich auch auf eine stark verminderte Verfügbarkeit der immobilisierten PFAS für Pflanzen und Bodenlebewesen.

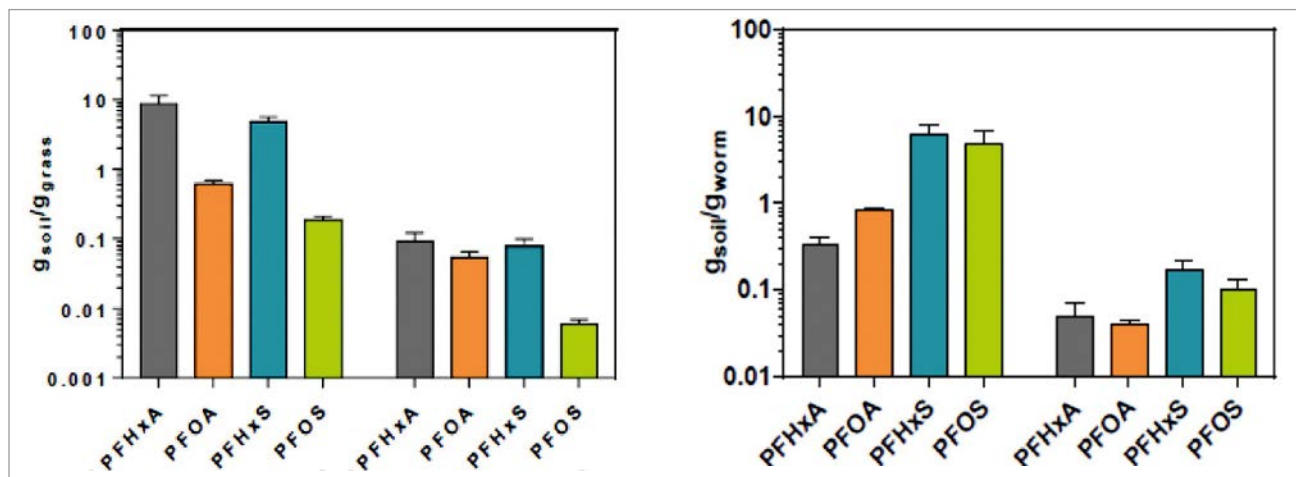


Abbildung 7: Unterschiede in der Aufnahme ausgewählter PFAS durch Weizenras (wheat grass) im linken Bild und durch Regenwürmer (rechtes Bild) jeweils vor und nach Behandlung des PFAS-belasteten Erdreichs [2]

während die vier anderen Säulen die Werte nach Behandlung des Erdreichs darstellen. Die Verringerung bei der Aufnahme von PFOS in die Pflanze beträgt mehr als 90%.

Ähnlich verhält es sich bei Regenwürmern, die sich im Erdreich aufhalten. Wobei die vergleichenden Untersuchungen von Regenwürmern im unbehandelten und im behandelten Erdreich sogar einen stärkeren Rückgang der PFAS-Konzentration von bis zu 99% belegen. *Abbildung 7* zeigt die vergleichenden Befunde der beiden Säulengruppen dazu in dem rechten Bild.

7 Zusammenfassung

Belastungen mit PFAS, die in Erdreich vorliegen, generieren sowohl bei einer Sanierung als auch bei ei-

Markanter Bestandteil eines kommunalen Flächenressourcenmanagements ist es, industrielle Brachflächen wieder zu nutzen. Dieser Weg bedingt, dass Lösungen für kontaminiertes Erdreich, das dort anfällt, verfügbar sind. Deswegen ist es bedeutsam, dass man für PFAS-belastetes Erdreich Lösungen bereitet und anbietet.

Ein Streben nach Lösungen kann und sollte einschließen, dass man die Genehmigung einer Immobilisierungsmaßnahme evaluiert. Trotz der positiven Befunde aus Simulationen und Felduntersuchungen zur Langzeitstabilität der Immobilisierung, kann das auch mit der Intention geschehen, sie als temporäre Maßnahme zu propagieren (Landschaftsbauwerk) und mit der Anwendung eines solchen Verfahrens Zeit zu

Lindert die Immobilisierung PFAS-belasteter Böden das Entsorgungsdilemma?

gewinnen, bis eine endgültige Lösung – sofern sie erforderlich bleibt – erarbeitet und umgesetzt werden kann.

Literatur

- [1] AIRSERVICES AUSTRALIA (2016): Contamination at Commonwealth, state, and territory sites in Australia where fire-fighting foams containing Sulfonate (PFOS) and Perfluorooctanoic Acid (PFOA) were used. – Senate Inquiry, Submission 113, Part B.
- [2] BRÄUNIG, J., BADUEL, C. & MUELLER, J.: (2017) Influence of a Commercial Adsorbent on the Leaching Behaviour and Bio-availability of Selected Perfluoroalkyl Acids (PFAAs) from Soil impacted by AFFFs. – 37th International Symposium, Vancouver, Canada.
- [3] Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit – Für eine schadstofffreie Umwelt. Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Europäische Kommission. 14.10.2020. Brüssel
- [4] CORNELSEN (2019) – Firmenbroschüre RemBind
- [5] EGLOFFSTEIN, et al. (2019): Erdaushub verunreinigt durch per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC). Umgang, Beurteilungsgrundlagen, Sicherung, Sanierung, Verwertung, Beseitigung. – atlasten spektrum, 28 (2019), 5, 176–184.
- [6] https://www.mlive.com/news/2017/04/wurtsmith_pfas_pfc_april_45_me.html - Befunde zu Lake Huron im Zusammenhang mit Wurtsmith AFB
- [7] [/https://sgdnord.rlp.de/fileadmin/sgdnord/Wasser/Gewaesserschutz/Gewaesserguete/FH_Spangdahlem/Ergebnisse_Fischuntersuchung_Spangdahlem.pdf](https://sgdnord.rlp.de/fileadmin/sgdnord/Wasser/Gewaesserschutz/Gewaesserguete/FH_Spangdahlem/Ergebnisse_Fischuntersuchung_Spangdahlem.pdf)
- [8] GUPTA, A. et al. (2019): PFAS FTA Source Zone In Situ Stabilisation – Long Term Field Scale Leachability Evaluation. – Poster Battelle.
- [9] HINRICHSEN, H. (2019): Stabilisation of PFAS contaminated soil. – Poster bei AquaConSoil, Antwerpen.
- [10] LI, Y. et al. (2018): A critical analysis of published data to discern the role of soil and sediment properties in determining sorption of per and polyfluoroalkyl substances (PFASs). – Science of the Total Environment, 628–629 (2018), pp. 110–112
- [11] MUELLER, R. & YINGLING, V. (2018): Remediation Technologies and Methods for Per- and Polyfluorinated Substances (PFAS) – ITRC Fact Sheet, Washington.
- [12] SÖRENGARD, M. et al. (2019): Stabilization and Solidification Remediation of Soil Contaminated with Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFASs). – Journal of Hazardous Materials 367, 639–646, Elsevier.
- [13] STEWART, R. et al. (2018): Using the Adsorbent RemBind to reduce the Leachability of PFAS from Soils in the Baden-Baden Region of Germany. – Poster bei Fachgespräch Sanierungsmanagement für lokale PFC-Kontaminationen, Berlin
- [14] STEWART, R. & MCFARLAND, R. (2016): Leachability Characteristics of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in 14 Soils from Airport Sites across Australia. – ECOFORUM; Fremantle.
- [15] UBA Texte (2020): Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen – Abschlussbericht. Umweltbundesamt, Texte 137/2020. November 2019. Dessau-Roßlau.
- [16] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/entsorgung/thermische-behandlung#thermische-behandlung-von-gefährlichen-abfällen>

[17] ZILTEK – Firmenbroschüre (Zusammensetzung RemBind und technische Daten)

[18] ZILTEK (2020) – Präsentation STEWART mit vorab überlassenen Ergebnissen, die von Universitäten aus Australien zur Veröffentlichung eingereicht wurden

[19] Lath, S. et al. (2018): Sorptive remediation of perfluorooctanoic acid (PFOA) using mixed mineral and graphene/carbon-based materials. – Environ. Chem., A-1, published online, CSIRO

Autorenschaft

Dipl.-Geol. Jürgen Buhl

Dipl.-Ing. M.Sc. Martin Cornelsen

Cornelsen Umwelttechnologie GmbH

Graf-Beust-Allee 33, 45141 Essen

Tel.: 0201 / 5 20 37-0

E-Mail: office@cornelsen.group

English Summary

Contamination with PFAS in soil generates challenges both during remediation and disposal. The addition of RemBind® to such a soil reduces the solubility of PFAS to a great extent. Accompanying investigations over longer periods of time as well as simulations in the laboratory imply a strong and reliable binding of the PFAS.

Reduced PFAS concentrations in the eluate allow a more multifunctional use of the soil. Landscaping structures may play a role in the use of the treated soil on site, eliminating the need for transportation and emissions. In addition, previous studies of treated soil also indicate a strongly reduced availability of the immobilized PFAS for plants and earth worms.