https://doi.org/10.33968/2025.62

1.Leipziger Geotechnik-Symposium
R. Thiele, A. Knut (Hrg.)
13.11.2025 - 14.11.2025, Leipzig

Schadstoffe binden und Wasser versickern statt Abdichten, Behandeln und Einleiten - neue Wege im Umgang mit Schadstoffbelasteten Böden

C. Schmüdderich[1], S. Niewerth[1], H. Hangen[1], S. Nagel[1]

[1] HUESKER Synthetic GmbH, Fabrikstraße 13-15, 48712 Gescher, schmuedderich@huesker.de

KURZFASSUNG

Grundwasser ist ein äußerst wichtiges und zugleich knappes Gemeinschaftsgut, weshalb an seinen Schutz hohe Anforderungen gestellt werden. Um den Eintrag von Schadstoffen in den Untergrund zu verhindern, wird der Boden heute meist mit Beton, Asphalt oder geosynthetischen Dichtungen abgedichtet. Dadurch wird der Fließweg des Trägermediums Wasser verändert. Mithilfe der ebenfalls einzurichtenden Rohrleitungsinfrastruktur wird das Wasser zur Kläranlage geleitet, wo die Schadstoffe herausgefiltert werden. Infolgedessen steht der Boden unter der abgedichteten Fläche weder als Speicherraum für Niederschlagswasser noch als Lebensraum für Vegetation zur Verfügung. Der Einsatz innovativer geosynthetischer Schadstofffilter, sogenannter permeabler, reaktiver, geosynthetischer Schadstoffbarrieren (PR-GBR), stellt einen neuen Ansatz im Grundwasserschutz dar. Während kontaminiertes Sickerwasser durch den Filter sickern kann, werden Schadstoffe sorbiert. Das Wasser kann so ungehindert seinem natürlichen Fließweg folgen. Auf diese Weise bleibt der Untergrund geschützt und behält seine natürlichen Funktionen. PR-GBR bestehen aus einer Träger- und einer Decklage aus Gewebe oder Vliesstoffen sowie einer Aktivschicht aus Sorbenten, welche je nach vorliegendem Schadstoff angepasst werden können. In diesem Beitrag werden unterschiedliche Anwendungsgebiete von PR-GBR aufgezeigt: die Entsiegelung von Logistikflächen für schwach bis mäßig kontaminierte Güter, der Einsatz entlang von Straßen in Wasserschutzgebieten als dezentrale Straßenabflussbehandlung, die Möglichkeit technische Bauwerken mit kontaminierten Böden herzustellen, sowie die Abdeckung von kontaminierten Sedimenten zum Schutz von Oberflächengewässern. Durch die gezielte Infiltration – im Gegensatz zur Abdichtung oder Einkapselung – werden mobile Schadstoffe, wie Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS), zur Schadstoffbarriere transportiert und dort dauerhaft gebunden, während die Bodenqualität kontinuierlich verbessert wird. Für alle in diesem Beitrag genannten Anwendungsbeispiele liegen qualifizierte Wirksamkeitsnachweise vor.

Schlagworte: Permeable, reaktive Schadstoffbarriere; Kontaminierte Böden; Grundwasserschutz; Dezentrale Wasserbehandlung; Tektoseal Active

1 EINLEITUNG

An vielen Orten entstehen durch anthropogene Prozesse Stoffe, die sich negativ auf die Umwelt und/oder die menschliche Gesundheit auswirken. Diese Stoffe bewegen sich mit Trägermedien (Wasser, Gas) oder auf Trägersubstanzen (Partikel, Staub). Flüchtige Stoffe werden mit der Luft transportiert, gelöste Stoffe breiten sich mit dem Wasser aus, und gebundene Stoffe bewegen sich mit den Partikeln, an denen sie haften. Sie können durch Einatmen, Flüssigkeitsaufnahme oder über unsere Nahrung in den Körper gelangen. Die medizinische Forschung zeigt zunehmend die Auswirkungen der Aufnahme dieser Stoffe in unseren Organismus. Ein aktuelles Beispiel ist die persistente Schadstoffgruppe der PFAS. Daher hat das Unterbrechen der Wirkungspfade von Schadstoffen in der Umwelttechnik seit Langem eine hohe Priorität. Um den Eintrag anthropogener Schadstoffe in den Untergrund zu verhindern, werden Flächen, auf denen sich potenziell umweltrelevante Stoffe ansammeln, häufig großflächig abgedichtet. Das kontaminierte Trägermedium Wasser wird aus dem natürlichen Kreislauf entnommen, um die Stoffe ex-situ zu entfernen. Neben der Abdichtung sind dazu Abwasser- oder Grabeninfrastrukturen, Rückhaltebecken und Wasseraufbereitungsanlagen erforderlich. Es werden somit bauliche Anlagen benötigt, um das Trägermedium zu erfassen, zu transportieren und zu behandeln.

Der Einsatz permeabler, reaktiver Schadstoffbarrieren (PR-GBR) schützt den Untergrund, indem er gezielt nur die umweltrelevanten Schadstoffe zurückhält, nicht aber das Trägermedium selbst. Dies ermöglicht einen innovativen Grundwasserschutz, ohne das Wasser aus dem natürlichen Kreislauf zu entnehmen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass der Boden unterhalb der PR-GBR weiterhin genutzt werden kann, u.a. um die Grundwasserneubildung zu ermöglichen oder als Retentionsraum bei Starkregenereignissen. In diesem Beitrag wird der Einsatz von PR-GBR für vier verschiedene Anwendungsgebiete erläutert.

Schadstoffe binden und Wasser versickern statt Abdichten, Behandeln und Einleiten - neue Wege im Umgang mit Schadstoffbelasteten Böden ©2025 by C. Schmüdderich, et al. is licensed under CC BY 4.0

2 ERLÄUTERUNG DES PRODUKTS

Permeable, reaktive, geosynthetische Schadstoffbarrieren (PR-GBR) sind eine neue Produktgruppe geosynthetischer Komposite. Sie bestehen aus mindestens zwei Geotextilschichten und einer dazwischen eingelagerten Aktivschicht mit Sorbenten. Die offizielle Bezeichnung für diese Produktgruppe ist noch nicht genormt; weswegen auch Bezeichnungen wie geosynthetischer Schadstofffilter oder Sorptionsmatte verwendet werden.

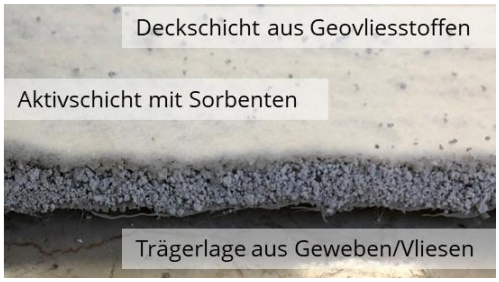

Abbildung 29 Detailansicht einer permeablen, reaktiven, geosynthetischen Schadstoffbarriere (PR-GBR)

2.1 Geotextile Komponenten

Die geotextilen Komponenten in Form von Geweben und/oder Vliesstoffen werden mechanisch, z. B. durch Vernadelung oder Vernähen, verbunden. PR-GBR besitzen eine hohe Durchlässigkeit ($k_f \approx 1 \cdot 10^{-5}$ m/s), sodass Wasser oder Gas ungehindert passieren können und der natürliche Wasserfluss erhalten bleibt. Die geotextilen Komponenten dienen als Träger- und Deckmaterial für die Aktivschicht mit Sorbenten, erfüllen aber auch weitere anwendungsspezifische Funktionen (gemäß ISO 10318-1:2015), nämlich:

Trennen: Verhindern der Vermischung benachbarter ungleicher Böden und/oder Schüttmaterialien durch den Einsatz eines Geokunststoffes.

Filtern: Verhindern des unkontrollierten Durchtritts von Boden oder Partikeln unter hydrodynamischen Kräften, bei gleichzeitigem Durchfluss von Flüssigkeiten durch ein geosynthetisches Material.

Bewehren: Verbessern des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens eines Bodens oder Baumaterials durch den Einsatz eines geosynthetischen Baustoffs.

Um Schadstoffe über Jahrzehnte sicher binden zu können, müssen PR-GBR aus hoch beständigen Komponenten gefertigt werden. Dies betrifft sowohl die Wirksamkeit der Aktivschicht inkl. der Sorbenten sowie die Dauerhaftigkeit der geosynthetischen Komponenten.

2.2 Aktivschicht mit Sorbenten

Sorbenten entfernen und binden Schadstoffe aus flüssigen oder gasförmigen Trägermedien. Da nicht jeder Sorbent für alle Schadstoffe geeignet ist, muss je nach Anwendung der passende Sorbent ausgewählt werden. Schadstoffe lassen sich grob in wasserlösliche und nicht wasserlösliche Stoffe unterteilen. Ein Beispiel für nicht wasserlösliche, also unpolare Stoffe, sind Kohlenwasserstoffe aus Schmier- oder Treibstoffen. Für deren Entfernung werden Wirkstoffe eingesetzt, die unpolare Substanzen aufnehmen und gegenüber Öl beständig sind. Spezielle Polymere binden Kohlenwasserstoffe in ihrer Struktur und trennen sie vom Abfluss; sie können ein Vielfaches ihres Eigengewichts an Öl aufnehmen.

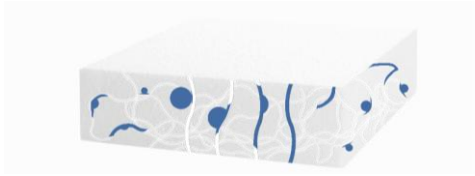

Abbildung 2 Schaubild für die Absorption von Öl mit Hilfe von Polymer-Absorbern

Wasserlösliche Schadstoffe lassen sich in organische und anorganische Stoffe unterteilen. Organische Schadstoffe sind Kohlenstoffverbindungen mit Ketten- oder Aromatstrukturen, wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB) oder per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS). Zur Entfernung dieser Stoffe wird häufig Aktivkohle eingesetzt. Durch ihre mesoporöse Struktur besitzt sie eine sehr große Oberfläche: ca. 10 g Aktivkohle aus Kokosnussschalen entsprechen der Fläche eines Fußballfelds. Die Schadstoffe haften über Van-der-Waals-Kräften an dieser Oberfläche; je größer sie ist, desto mehr Schadstoffe können gebunden werden.

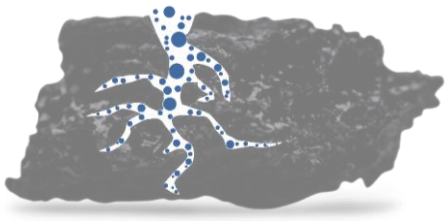

Abbildung 3 Schaubild für die Aufnahme organischer (polarer) Schadstoffe mit Aktivkohle

Anorganische Schadstoffe sind salzartige, molekulare Verbindungen. Dazu zählen Metalle und Halbmetalle wie Kupfer, Zink oder Blei. Bei einigen können schon geringe Konzentrationen Umwelt und Gesundheit schädigen, da sie sich im Körper anreichern. Zur Entfernung dieser Schadstoffe, häufig als „Schwermetalle“ bezeichnet, eignen sich Sorbenten mit Adsorptions-, Fällungs- oder Ionenaustauschfunktionen. Während die Adsorption analog zur Aktivkohle funktioniert, wird bei der Fällung der pH-Wert so angepasst, dass Metalle ausfallen und entfernt werden können. Beim Ionenaustausch wird eine umweltunschädliche Substanz aus dem Sorbenten gelöst und gegen eine umweltschädliche Substanz getauscht, wodurch eine stabile Bindung zwischen Sorbent und Schadstoff entsteht.

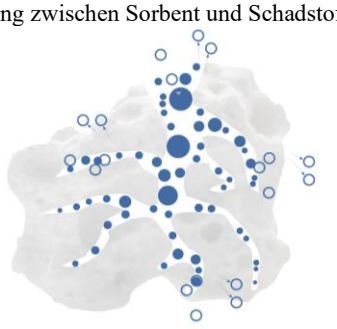

Abbildung 4 Schaubild für die Aufnahme anorganischer Schadstoffe mittels Ionenaustausch

2.3 Wichtige Leistungsfaktoren

Die Leistungsfähigkeit einer Schadstoffbarriere wird durch mehrere zentrale Faktoren bestimmt. **Affinität** beschreibt die Neigung des Aktivstoffs, sich mit bestimmten Schadstoffen zu verbinden. Das bedeutet, dass eine höhere Affinität zu einer effektiveren Sorption führt. Die **Kinetik** bezeichnet die Geschwindigkeit, mit der dieser Bindungsprozess abläuft, also wie schnell der Schadstoff vom Aktivstoff aufgenommen wird. Eine hohe Kinetik gewährleistet, dass bereits kurze Kontaktzeiten ausreichen, um eine wirksame Schadstoffbindung zu erzielen. Diese beiden Faktoren – **Affinität** und **Kinetik** – sind maßgeblich für die grundsätzliche Eignung eines Aktivstoffs zur Sorption eines bestimmten Schadstoffs.

Die **Kapazität** beschreibt die maximale Menge an Schadstoffen, die der Aktivstoff aufnehmen kann, bevor seine Wirkung nachlässt. Hierbei ist zu bedenken, dass die maximale Kapazität bzw. maximale Beladung mit der Konzentration des Schadstoffs steigt. Dies lässt sich durch Adsorptionsisotherme beschreiben. **Irreversibilität** gibt an, wie stark Schadstoffe am Aktivstoff gebunden bleiben, ohne wieder freigesetzt zu werden (Desorption). **Kapazität** und **Irreversibilität** sind entscheidend für die Bestimmung der Nutzungsdauer einer Schadstoffbarriere.

3 NACHWEIS DER WIRKSAMKEIT FÜR VERSCHIEDENE ANWENDUNGEN

3.1 Entsiegelte Logistikflächen

In Deutschland müssen Lagerflächen für wiederverwendete Eisenbahnbaumaterialien, u.a. Gleisschotter und Holzschwellen, als undurchlässige Oberflächen ausgeführt werden, häufig als „WHG-Fläche“ bezeichnet. Dies erfordert Investitionen in Abdichtung, Kanalanschluss und führt zu Abwassergebühren sowie dem Bedarf an Ausgleichsflächen. Als Alternative wurde daher untersucht, ob eine PR-GBR technisch und wirtschaftlich sinnvoll einsetzbar ist. Abb. 5 zeigt eine Logistikfläche mit PR-GBR unter ausgebauten Holzschwellen; sie besteht aus kiesgefüllten Mulden, die zusätzliches Rückhaltevolumen für den Hochwasserschutz schaffen.

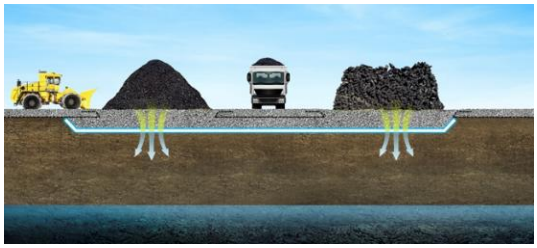

Abbildung 5 Querschnitt eines wasserdurchlässigen Logistikbereichs mit Schadstoffbarriere

Um Art und Menge der aus den Eisenbahnbaumaterialien austretenden Schadstoffen sowie die Reinigungswirkung der PR-GBR zu bestimmen, wurden diese über einen Zeitraum von 4 Jahren in Labor- und Feldversuchen im Sickerwasser eines mit einer aktivkohlehaltigen PR-GBR geschützten Logistikfläche untersucht. Als relevante Schadstoffe wurden PAK, Herbizide, anorganische Stoffe, NSO-Heterozyklen und wasserlösliche Teerölbestandteile identifiziert. Wie in Tab. 1 dargestellt, konnten die Grenzwerte der Grundwasserschutzverordnung (GrwV) mit einer geeigneten Aktivkohle eingehalten werden. Nähere Details werden u.a. von Niewerth et al. (2023) diskutiert.

Tabelle 3 Schadstoffkonzentration mit und ohne PR-GBR in Feld- und Laborversuchen

Schadstoffe	Konzentration ohne PR-GBR µg/l	Konzentration mit PR-GBR µg/l	Grenzwerte µg/l
PAK	1,56	0,09 (Feld)	0,2
Herbizide	0,38	< 0,03 (Labor)	0,1
AMPA	0,34	< 0,03 (Labor)	1,0
NSO-Heterozyklen	2,89	0,43 (Feld)	–

3.2 Dezentrale Straßenabflussbehandlung

Beim Bau von Straßen in Wasserschutzgebieten muss verhindert werden, dass Schadstoffe aus dem Straßenabfluss oder den Baumaterialien der Straße ins Grundwasser gelangen. Um dies zu verhindern, werden in Deutschland geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD) verwendet. Das aufgestaute Wasser wird dann über Gräben oder Rohrsysteme aus dem Schutzgebiet geleitet und kann außerhalb der Schutzzone in abgedichteten Becken oder bepflanzten Retentionsfiltern behandelt werden. Bei der dezentralen Behandlung wird die PR-GBR im Straßenrandbereich eingesetzt. Sie filtert gelöste und partikelgebundene Schadstoffe, bevor das Wasser in den Untergrund versickert (Abb. 6).

Abbildung 6 Schaubild für einen wasserdurchlässigen Versickerungsgrabens mit PR-GBR

In einem Forschungsprojekt der Fachhochschule Münster, der Stadt Münster und HUESKER Synthetic GmbH wurde die Wirksamkeit der PR-GBR zur Behandlung von Straßenabfluss nachgewiesen. Eine PR-GBR mit lipophilem Absorptionskern erwies sich im Labor und im Feld als besonders effektiv. Untersucht wurden abfiltrierbare Stoffe (AFS), PAK und Metalle aus dem Straßenverkehr. Die über einen inzwischen mehr als 3,5 Jahre währenden Untersuchungen auf einer stark befahrenen Straße in Münster zeigten, dass Wasser, das eine etwa 10 cm dicke, bewachsene Kiesschicht und die darunterliegende PR-GBR durchlief, im Mittel 96,1 % (Median 96,6 %) geringere AFS-Werte aufwies (Abb. 7). Neben der Feststoffrückhaltung wurden auch die Konzentrationen von Schwermetallen und PAKs deutlich reduziert: Zink 74,0 %, Kupfer 81,1 %, Blei 99,4 %, PAK 97,8 %.

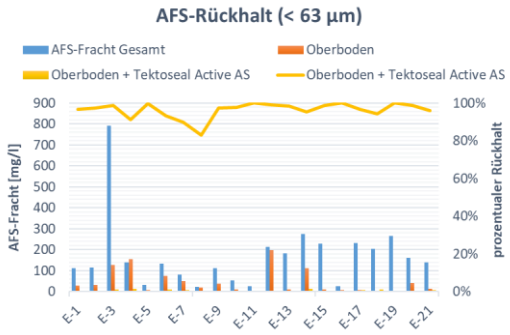

Abbildung 7 Ergebnisse aus Feldversuchen mit PR-GBR im Filtergraben

Zu beachten ist, dass die Lebensdauer einer PR-GBR nicht nur durch die Schadstoffaufnahme, sondern auch durch eine mögliche Kolmation des Filters begrenzt werden kann. Dieser Aspekt wurde im Rahmen des oben beschrieben Projektes ebenfalls untersucht. Säulenversuche mit einer AFS-Belastung von 25 g/Jahr zeigten, dass die PR-GBR mit 10 cm Kiesschicht nach 13,5 Jahren gemäß DWA-A 138 noch als durchlässig gilt ($k_f \geq 10^{-6}$ m/s). Da die reale AFS-Belastung in Feldversuchen jedoch nur etwa 16 % des Literaturwerts betrug, konnte eine Lebensdauer von rund 84 Jahren abgeschätzt werden, bis die PR-GBR als gering durchlässig eingestuft würde ($k_f \leq 10^{-6}$ m/s). Für die Praxis wird empfohlen, die Durchlässigkeit der PR-GBR z.B. bei Sanierungsarbeiten an der Asphaltdeckschicht punktuell zu prüfen und bei ausreichender Durchlässigkeit weiter zu nutzen oder zu ersetzen Die Ergebnisse der Studie zur Durchlässigkeit sind in Abb. 8 dargestellt.

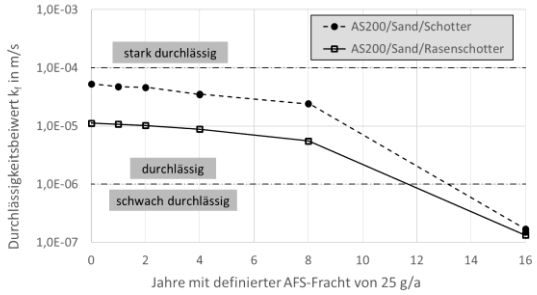

Abbildung 8 Durchlässigkeit der PR-GBR mit Oberbodenüberdeckung bei konstanter AFS-Belastung

Das Forschungsprojekt wurde im Rahmen des Leitmarktwettbewerbs EnergieUmweltwirtschaft.NRW aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) 2014–2020 von 01.06.2019 bis 31.10.2022 gefördert.

3.3 Technische Bauwerke mit kontaminiertem Boden

Technische Bauwerke wie Lärmschutzwände, Dämme oder Industrieflächen werden zunehmend aus Böden mit umweltrelevanten Inhaltstoffen bzw. Ersatzbaustoffen errichtet, um Bodenknappheit und langen Transportwegen natürlicher Erdstoffe entgegenzuwirken. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die alternativen Schüttmaterialien keine Belastung für Boden und Grundwasser darstellen. Bei geringen Schadstoffkonzentrationen (unterhalb der sog. Prüfwerte) ist ein offener Einbau ohne Sicherungsmaßnahmen möglich. Bei höheren Konzentrationen ist eine Kapselung mit Kunststoffdichtungsbahn oder geosynthetischen Tondichtungsbahnen erforderlich. Durch neue Technologien, wie der PR-GBR, ist jedoch auch bei höheren Eluatwerten (z.B. Klassen 3 bzw. F3 gem. Ersatzbaustoffverordnung (EBV, 2023) oder VK 3 oder mehr gem. Bundeseinheitlichem Leitfaden für die PFAS-Bewertung (BMUV, 2022)) ein offener Einbau möglich, da der Filter die Schadstoffe aus dem Sickerwasser entfernt und so den Untergrund schützt.

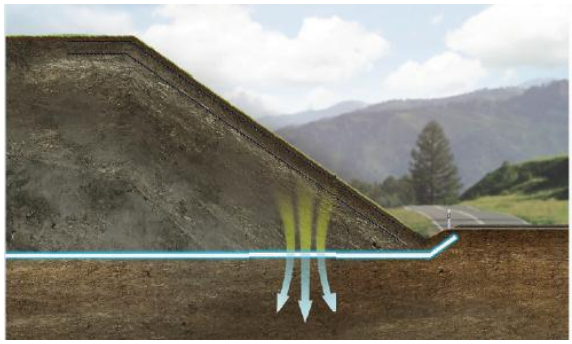

Abbildung 9 Schaubild für den Wasserfluss durch ein technisches Bauwerk mit kontaminiertem Boden bei Verwendung einer PR-GBR

Die Leistungsfähigkeit der neu entwickelten PR-GBR zur Entfernung von PFAS wurde in Labor- und Feldversuchen untersucht, um den offenen Einbau PFAS-belasteter Böden in technischen Bauwerken zu ermöglichen. Der Leitfaden zur PFAS-Bewertung des BMUV (2022) legt vorläufige Grenzwerte im 2:1-Flüssig/Fest-Eluat fest (Tab. 2). Diese bestimmen die jeweilige Verwertungsklasse (VK), aus der sich die erforderliche Sicherungsmaßnahme ableitet. Die Einteilung in drei Klassen basiert auf der Annahme, dass die Schadstoffkonzentration im technischen Bauwerk mit der Zeit in den Untergrund gelangt. Ziel der unter dem Bauwerk eingebauten PR-GBR ist es, das Sickerwasser zu filtern, bevor es in den unbelasteten Untergrund versickert. Direkt unter der PR-GBR muss die PFAS-Konzentration einer VK < 1 entsprechen, wie auch in Abb. 10 dargestellt.

Tabelle 2 Vorläufige Grenzwerte für PFAS in Abhängigkeit der Verwertungsklasse (BMUV, 2022)

	VK 1 Uneingeschränkter offener Einbau	**VK 2** Eingeschränkter offener Einbau in Gebieten mit erhöhten PFAS-Gehalten (* siehe Erläuterungen)	**VK 3** Eingeschränkter Einbau in technischen Bauwerken mit definierten Sicherungsmaßnahmen
Perfluorbutansäure, **PFBA**	≤ 10,0	≤ 20,0	≤ 50
Perfluorhexansäure, **PFHxA**	≤ 6,0	≤ 12,0	≤ 30
Perfluoroktansäure, **PFOA**	≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 1
Perfluornonansäure, **PFNA**	≤ 0,06	≤ 0,12	≤ 0,6
Perfluorbutansulfonsäure, **PFBS**	≤ 6,0	≤ 12,0	≤ 30
Perfluorhexansulfonsäure, **PFHxS**	≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 1
Perfluoroktansulfonsäure, **PFOS**	≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 1

Neben dem Grundwasserschutz liegt ein weiterer Vorteil dieses Ansatzes in der schrittweisen Dekontamination des Bodens. Die Versickerung von Regenwasser in das technische Bauwerk wird gezielt genutzt, um PFAS-Verbindungen zu lösen. Das Sickerwasser reichert sich mit den umweltschädlichen Bestandteilen an und transportiert sie zur PR-GBR. Um einen Schadstoffeintragung in den Untergrund auszuschließen, muss die wirksame Entfernung der Schadstoffe sowie eine langfristige Bindung der PFAS in der PR-GBR nachgewiesen und sichergestellt werden.

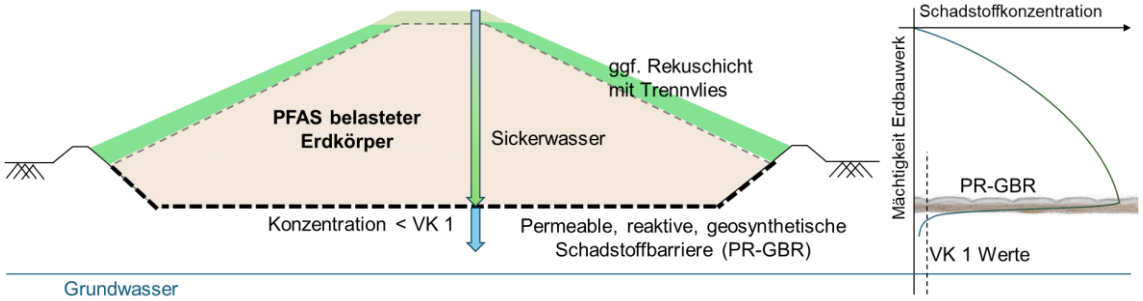

Abbildung 300 Schema eines technischen Bauwerks mit PR-GBR an der Basis und Verlauf der Sickerwasserkonzentration über die Höhe des technischen Bauwerks

Konzentration ohne PR-GBR

Perfluorierte Verbindungen (PFC)		
H4-Perfluordecansulfonsäure (8:2 FTS)	µg/l	<0,010
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	0,14
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	µg/l	0,025
Perfluordecansulfonsäure (PFDS)	µg/l	<0,010
Perfluordekansäure (PFDA)	µg/l	<0,010
Perfluordodecansäure (PFDoA)	µg/l	<0,010
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	0,22
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	µg/l	0,045
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	0,34
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	µg/l	2,2
Perfluornonansäure (PFNA)	µg/l	0,033
Perfluoroctansäure (PFOA)	µg/l	0,22
Perfluoroctansulfonamid (PFOSA)	µg/l	0,041
Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	µg/l	1,6
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	0,37
Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS)	µg/l	0,055
Perfluortetradecansäure (PFTeA)	µg/l	<0,010
Perfluortridecansäure (PFTrDA)	µg/l	<0,010
Perfluorundecansäure (PFUnA)	µg/l	<0,010
1H,1H,2H,2H-Perfluorhexansulfonsäure (4:2FTS)	µg/l	<0,010
1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfonsäure (6:2FTS)	µg/l	0,050
2H,2H-Perfluordecansäure (H2PFDA)	µg/l	<0,010
2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansäure (H4PFUnA)	µg/l	<0,010
3,7-Dimethylperfluoroctansäure (3,7-DMPFOA)	µg/l	<0,010
7H-Dodecanfluorheptansäure (HPFHpA)	µg/l	<0,010
Summe PFC	µg/l	5,3 *)

Konzentration mit PR-GBR

Perfluorierte Verbindungen (PFC)		
H4-Perfluordecansulfonsäure (8:2 FTS)	µg/l	<0,010
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	<0,010
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	µg/l	<0,010
Perfluordecansulfonsäure (PFDS)	µg/l	<0,010
Perfluordekansäure (PFDA)	µg/l	<0,010
Perfluordodecansäure (PFDoA)	µg/l	<0,010
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	<0,010
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	µg/l	<0,010
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	<0,010
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	µg/l	<0,010
Perfluornonansäure (PFNA)	µg/l	<0,010
Perfluoroctansäure (PFOA)	µg/l	<0,010
Perfluoroctansulfonamid (PFOSA)	µg/l	<0,010
Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	µg/l	<0,010
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	<0,010
Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS)	µg/l	<0,010
Perfluortetradecansäure (PFTeA)	µg/l	<0,010
Perfluortridecansäure (PFTrDA)	µg/l	<0,010
Perfluorundecansäure (PFUnA)	µg/l	<0,010
1H,1H,2H,2H-Perfluorhexansulfonsäure (4:2FTS)	µg/l	<0,010
1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfonsäure (6:2FTS)	µg/l	<0,010
2H,2H-Perfluordecansäure (H2PFDA)	µg/l	<0,010
2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansäure (H4PFUnA)	µg/l	<0,010
3,7-Dimethylperfluoroctansäure (3,7-DMPFOA)	µg/l	<0,010
7H-Dodecanfluorheptansäure (HPFHpA)	µg/l	<0,010
Summe PFC	µg/l	n.b.

Abbildung 311 Feldversuche und PFAS-Konzentrationen ohne und mit PR-GBR (Tektoseal® Active PFAS)

Um dies nachzuweisen, wurde die Wirksamkeit der PR-GBR im Rahmen umfangreicher Versuche mit PFAS-belastetem Boden von einem ehemaligen US-Luftwaffen-stützpunkt in Deutschland durchgeführt. Eine Reihe von Tests wurde in enger Zusammenarbeit der HUESKER Synthetic GmbH und CDM Smith durchgeführt. Wesentlicher Teil des Untersuchungsprogramms waren großmaßstäbliche Lysimeterversuche. In verschiedenen 1 m³ - HDPE-Behältern (Abb. 11) wurden drei unterschiedliche Regenereignisse simuliert. Deren Einfluss auf die PFAS-Mobilisierung wurde untersucht und die Wirksamkeit der PR-GBR getestet. Zudem wurden alle Regenszenarien in einem Behälter ohne PR-GBR getestet.

Im Versuchsaufbau wurde die PR-GBR auf dem Boden eines nach oben offenen Behälters ausgelegt. Darauf wurde ein kontaminierter schluffiger Sand mit einer Schichtdicke von 0,70 m aufgebracht. Das Sickerwasser der jeweiligen Niederschlagssimulationen wurde zu verschiedenen Zeitpunkten gesammelt und analysiert. Die Niederschlagsmengen entsprachen den Definitionen für mäßige, starke und extrem starke Regenereignisse gemäß Deutschem Wetterdienst (DWD):

- R1: mäßiger Regen mit 10 L/m² in 60 Minuten
- R2: starker Regen mit 30 L/m² in 60 Minuten
- R3: extrem starker Regen mit 50 L/m² in 60 Minuten

Zum Abschluss der Untersuchung konnte nachgewiesen werden, dass unabhängig vom simulierten Regenereignis nach der Filtration durch die PR-GBR keine PFAS im Sickerwasser waren. Weitere Leistungsnachweise für die Behandlung von PFAS-kontaminierten Böden wurden u.a. von Niewerth et al. (2025) diskutiert.

3.4 Sedimentabdeckung (Oberflächenschutz von Gewässern)

Wasserstraßen und Häfen dienen seit Beginn der Industrialisierung als Transportwege, insbesondere für Massengüter, Roh-, Brenn- und Reststoffe. Bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts bestanden dabei national wie international keine nennenswerten Anforderungen an den Gewässerschutz. Daher finden sich gerade in schiffbaren Flüssen und Häfen häufig kontaminierte Sedimente. Der Eintrag von Schadstoffen aus den Sedimenten in das Oberflächengewässer führt zu einer Verschlechterung der Wasserqualität und zur Anreicherung von Schadstoffen in benthischen Organismen (am Boden eines Gewässers lebend, z.B. Muscheln, Würmer, Algen) oder pelagischen Organismen (im freien Wasser lebend, z.B. Fische, Plankton, Quallen). Um die in aktuellen Richtlinien geforderten Wasserqualitätsstandards zu erreichen, kann eine Sanierung solcher Standorte erforderlich sein.

Durch Sedimentabdeckungen (engl.: Sediment capping) wird der Expositionspfad vom kontaminierten Meeres- oder Flussboden zum Oberflächenwasser, und damit zu den Rezeptoren (Pflanzen → Fische → Mensch), mithilfe einer PR-GBR unterbrochen. Eine PR-GBR hat die Fähigkeit,

Schadstoffe aus dem Sickerwasser zu entfernen, während die Geotextilien zusätzlich als Trenn- und Filterelemente fungieren. Dadurch wird die Vermischung von Abdeckmaterial und mit Schadstoffen belasteten Sedimenten unterbunden. Ebenso sorgen die Geotextilien dafür, dass die Aktivschicht mit Sorbenten zwischen den beiden Geotextillagen lagestabil in Position verbleibt und keine Umverteilung des Sorbenten oder Erosion infolge von Turbulenzen, z. B. hervorgerufen durch Wellenschlag, Schiffsbewegungen oder Strömungen auftritt. Für die Dimensionierung einer PR-GBR ist ein gutes Verständnis der Affinität, Kinetik und Kapazität der Sorbenten von entscheidender Bedeutung. Abhängig vom jährlichen Grundwasserabfluss, der Permeationsrate sowie der Schadstoffkonzentration kann die Lebensdauer der Abdeckung aber zuverlässig berechnet werden.

Eines der ersten Projekte außerhalb der USA, wo diese Bauweise bereits seit mehreren Jahren praktiziert wird, wurde im Jahr 2020 vom Auftragnehmer Ventia Plt. in Sydney umgesetzt. In einer Bucht eines ehemaligen Industriegebiets, etwa 10 km vom kulturellen Zentrum Sydneys entfernt, wurden hohe PAK-Konzentrationen festgestellt. Um eine Weiterverteilung der Schadstoffe zu verhindern, wurde eine In-situ-Stabilisierung unter einer aktiven Abdeckung angewendet. Zunächst wurde die oberste Schicht der kontaminierten Sedimente mit Zementleim und anderen Zusatzstoffen stabilisiert. Auf dieser Ebene erfolgte anschließend die Verlegung einer PR-GBR mit einer Füllung aus 3,4 kg/m² Aktivkohle (Tektoseal Active AC). Darüber wurden dann 30 cm unbelasteter Sedimente aufgebracht, die das neue Flussbett der Bucht bilden. Die Installation der etwa 5.000 m² großen Fläche wurde innerhalb von fünf Wochen abgeschlossen. Abb. 12 gibt einen Einblick in die Verlegung der PR-GBR.

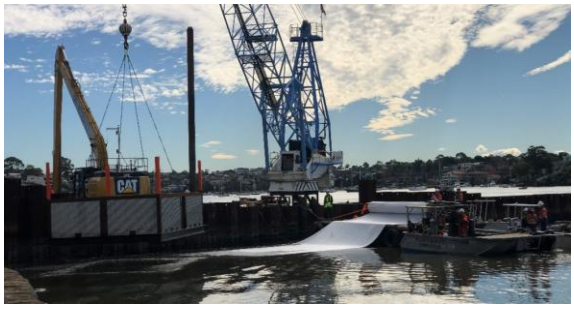

Abbildung 322 Verlegung einer permeablen, reaktiven Schadstoffbarriere als Sedimentabdeckung

4 ZUSAMMENFASSUNG

Der Einsatz permeabler, reaktiver, geosynthetischer Schadstoffbarrieren (PR-GBR) eröffnet neue Möglichkeiten für den Gewässerschutz in einer Vielzahl von Anwendungen. Aus umfangreichen Studien lassen sich wichtige Erkenntnisse ableiten, um ihren gezielten Einsatz in Projekten zu ermöglichen. Das gesammelte Wissen über die Anwendung von PR-GBR bei einer Vielzahl von Schadstoffkombinationen in unterschiedlichen Böden erlaubt es, präzise Vorhersagen darüber zu treffen, ob diese moderne Lösung für ein bestimmtes Projekt technisch machbar und wirtschaftlich ist.

Um den praktischen Einsatz von PR-GBR zu erleichtern, wurden nicht nur Produkte entwickelt und Labor-Expertise aufgebaut, sondern auch Berechnungs- und Nachweismethoden geschaffen, mit denen u.a. die Nutzungsdauer bis zur Sättigung der PR-GBR prognostiziert werden kann. Auf Grundlage dieser Berechnungen können Produkte so ausgelegt werden, dass die Funktion über die gewünschte Nutzungsdauer hinweg sicher beibehalten wird. Zudem wird die Datenbasis mit jedem Labor- und Feldversuch breiter und die Berechnungsmethoden präziser.

Die vorgestellten Anwendungsbeispiele zeigen, dass Flächenversiegelung heutzutage nicht mehr die einzige Möglichkeit ist, um Grundwasserschutz zu realisieren. Durch die alleinige Kapselung von Schadstoffen in abgedichteten Bereichen bleiben die darin enthaltenen Probleme für künftige Generationen bestehen. Die Adsorption von Schadstoffen ermöglicht hingegen, diese sowohl aus der Auffüllung als auch aus dem Grundwasser zu entfernen. Neue Ansätze wie PR-GBR erfüllen nicht nur den Wunsch nach Umweltschutz, sondern tragen auch zur Ressourcenschonung bei. Abdichtungssysteme und Entwässerungsinfrastrukturen aus Beton oder Asphalt wird eine gleichwertige Alternative entgegengestellt. Ebenso wichtig ist, dass das Wasser im natürlichen Kreislauf verbleibt und der Boden unterhalb einer PR-GBR seine natürlichen Funktionen als Hochwasserschutz und Nährstoffspeicher behält.

Bereits heute reicht das gesammelte Wissen über die Affinität zu verschiedenen Schadstoffen, die Kinetik und die Kapazität der Wirkstoffe aus, um Projekte zielgerichtet zu planen und wirtschaftlich umzusetzen. Angestrebt wird, die Nutzung von PR-GBFs in den kommenden Jahren auf weitere Anwendungsbereiche auszuweiten und den Umweltschutz damit nachhaltig voranzutreiben.

LITERATUR

BMUV (2022): Leitfaden zur PFAS-Bewertung; Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.

DAW-A 138 (2019): Deutscher Ausschuss für Wasserwirtschaft. Arbeitsblatt A 138: Anforderungen an die Verwertung von Recycling-Baustoffen im Erdbau. Bonn: Deutscher Ausschuss für Wasserwirtschaft.

EBV (2023): Verordnung über die Verwendung von Ersatzbaustoffen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Bundesgesetzblatt I Nr. 227.

Niewerth, S.; Guzmán Santamaría, H. A.; Bernhard, J. (2023): Entsiegelung von Logistikstellen mit geotextilem Schadstofffilter, VDEI – Der Eisenbahningenieur, April, S. 6-10.

Niewerth, S.; Neve, D.; Schmüdderich, C. (2025): Innovativer Flächenfilter für die Sicherung PFAS-belasteter Böden in der Deponie oder im Feld, 35. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar.