



Comparing the sustainability of active and passive groundwater containment systems for the treatment of PFAS plumes

Marcello Carboni

Geschäftsführer, Europa
REGENESIS

Per- und Polyfluorierte Alkylverbindungen

Breite Verwendung

- Produkte/Überzüge in Industrie und Haushalt

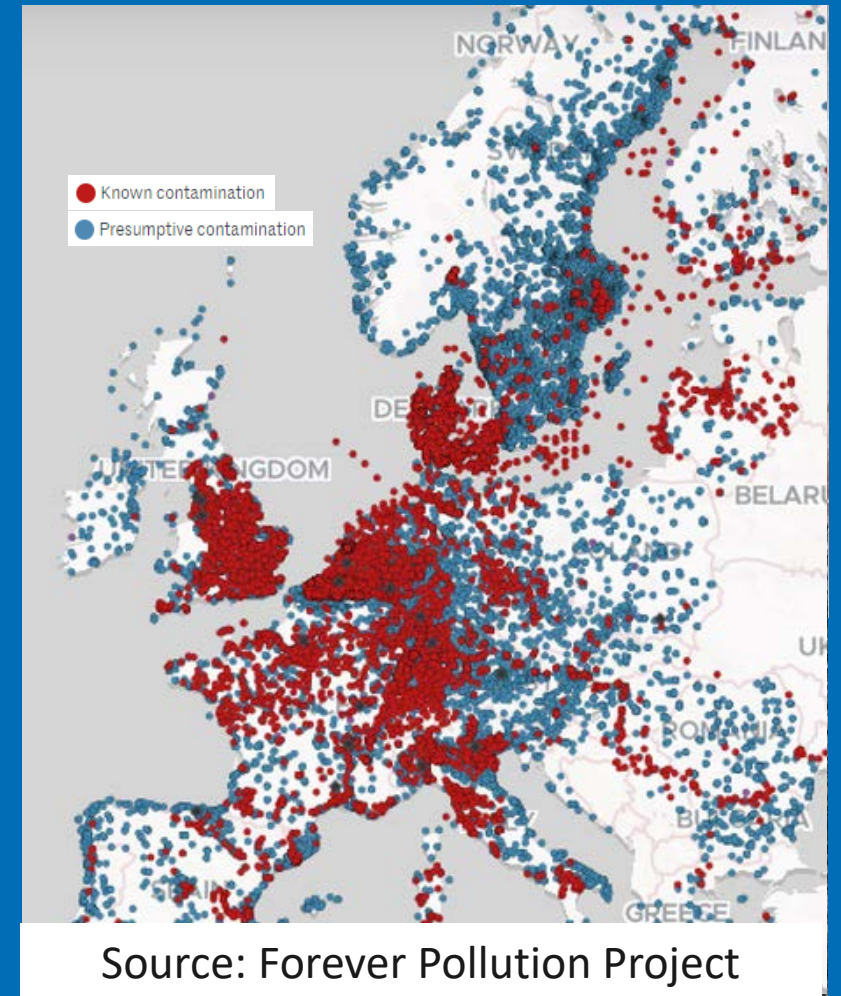
Regelmäßiges Austreten

- Wässrige filmbildende Schäume

Herausforderndes Schadstoffverhalten

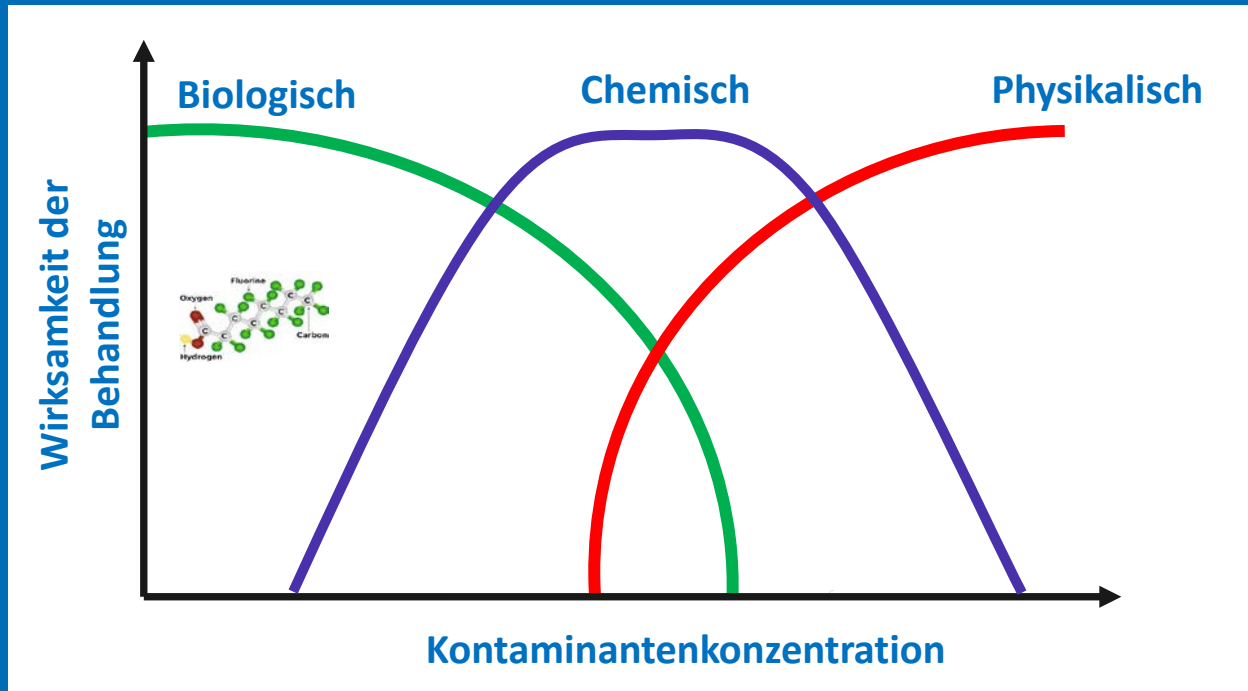
- Verbleibt jahrzehntelang in Böden
- Sehr mobil im Grundwasser
- Abbauresistent
- Toxisch bei niedrigen Konzentrationen
- Große, sehr verdünnte Fahnen
- Große betroffene Flächen

Und deshalb ... finden sich PFAS ÜBERALL

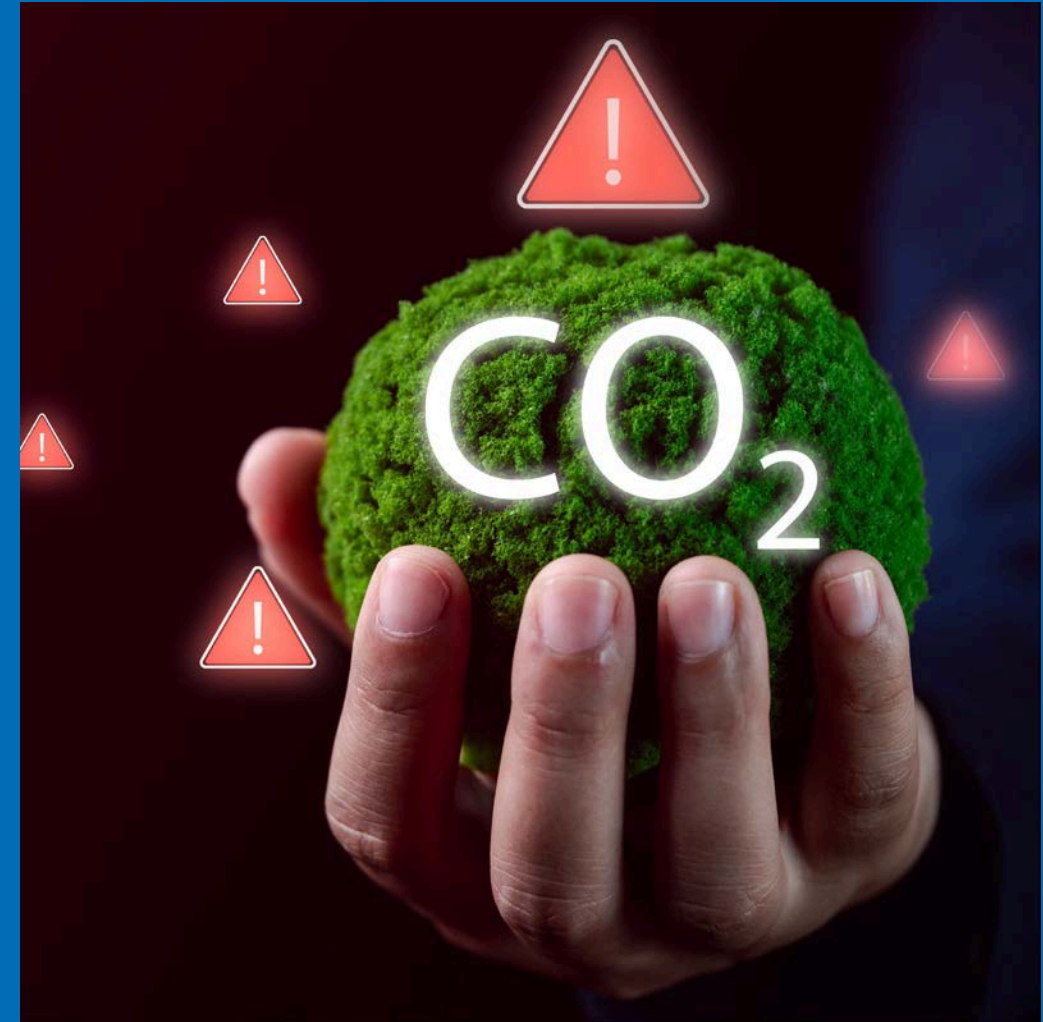


Wie können wir PFAS behandeln?

Beseitigen und Zerstören, richtig?



- Abpumpen großer Volumina, Deponie, Energie, Ausrüstung, Transport, Kosten
- Kohlenstoffbilanz

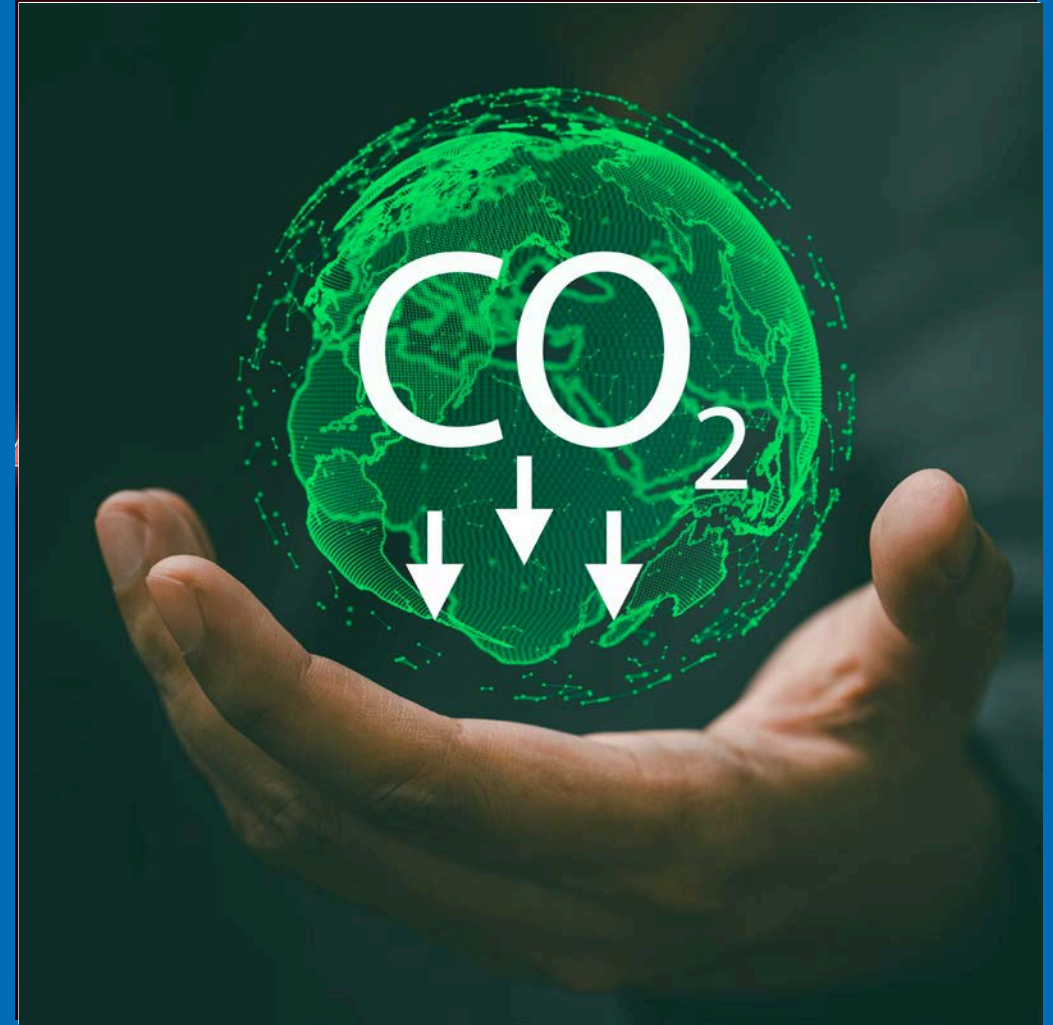


Wie sollten wir PFAS behandeln?

Mit einem nachhaltigen Sanierungskonzept



- Abpumpen großer Volumina, Deponie, Energie, Ausrüstung, Transport, Kosten
- Kohlenstoffbilanz



Stimulierter natürlicher Abbau von PFAS?!

Aber einige PFAS sind nicht biologisch abbaubar?

Richtig! (Vielleicht)

Aber stimulierter Abbau bedeutet nicht nur biologischen Abbau:

- Diffusion
- Verflüchtigung
- Sorption
- Chemischer (abiotischer) Abbau

The Interstate Technology and Regulatory Council (ITRC, 2008) defined EA as:

“Any type of intervention that might be implemented in a source-plume system to increase the magnitude of attenuation by natural processes beyond that which occurs without intervention. Enhanced attenuation is the result of applying an enhancement that sustainably manipulates a natural attenuation process, leading to an increased reduction in mass flux of contaminants.”

Erhöhen der Fähigkeit des Aquifers, PFAS zu sorbieren („Retention“) = Stimulierter Abbau der PFAS-Fahne

Stimulierter Abbau





DOI: 10.1002/rem.21731

RESEARCH NOTE

WILEY

Enhanced attenuation (EA) to manage PFAS plumes in groundwater

Charles J. Newell¹  | Hassan Javed¹ | Yue Li¹ | Nicholas W. Johnson²  | Stephen D. Richardson³ | John A. Connor¹ | David T. Adamson¹

¹GSI Environmental Inc., Houston, Texas, USA

²GSI Environmental Inc., Folsom, California, USA

³GSI Environmental Inc., Austin, Texas, USA

Correspondence

Charles J. Newell, GSI Environmental Inc., Houston, TX, USA.
Email: cjnewell@gsi-net.com

Funding information

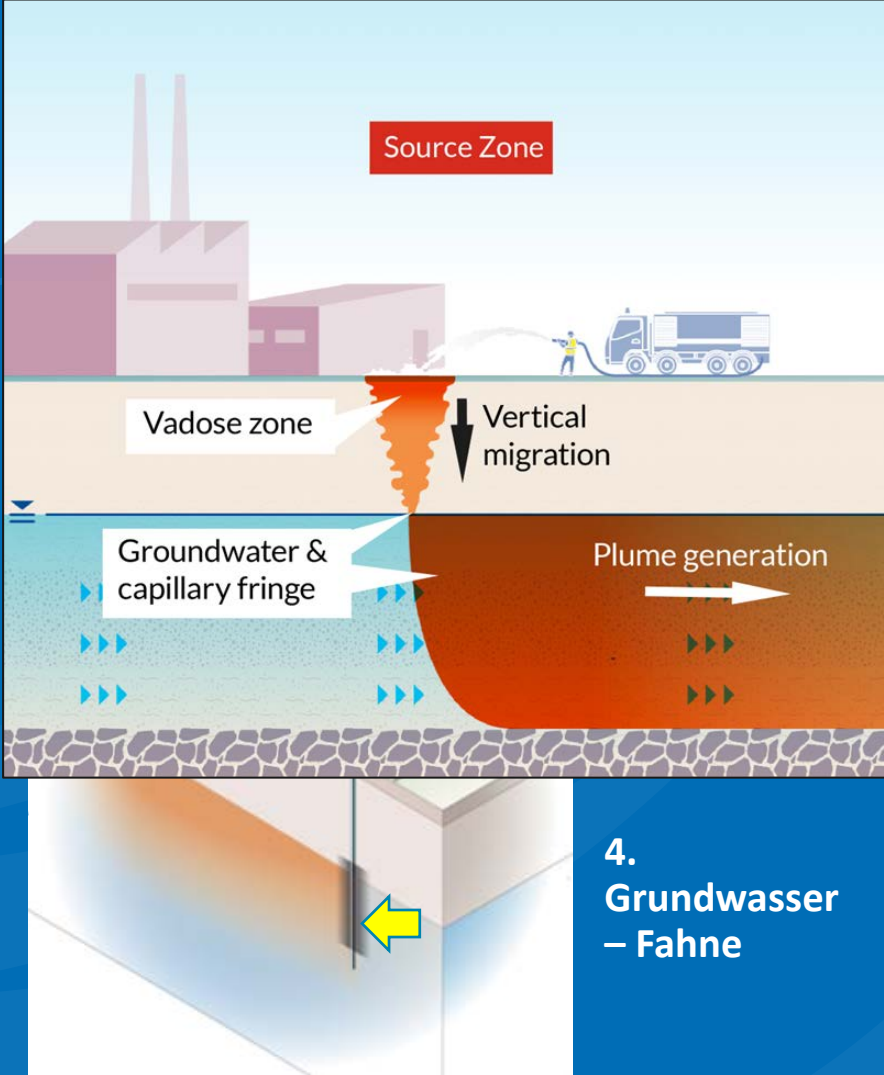
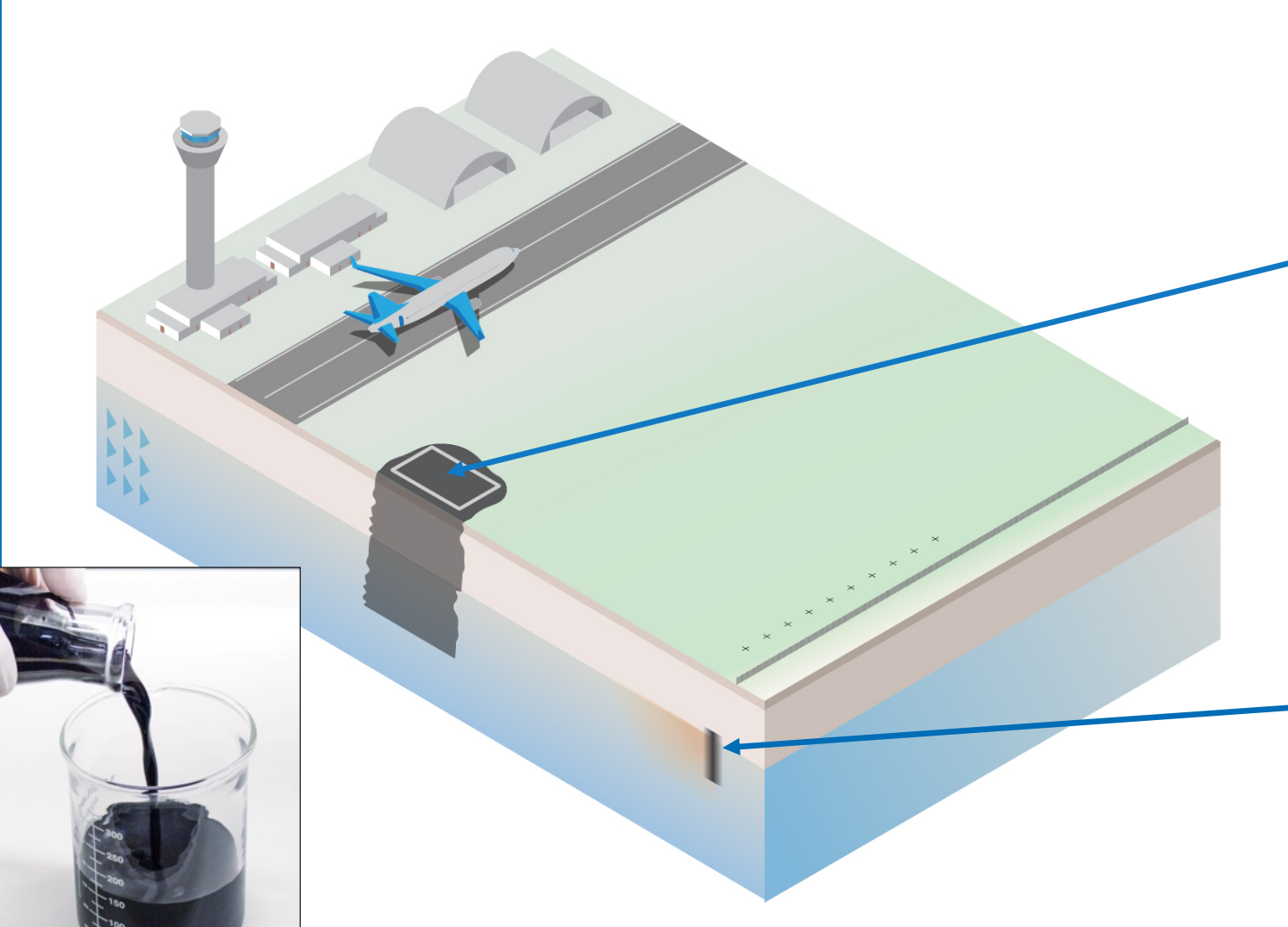
GSI Environmental

Abstract

Remediation of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in groundwater is particularly challenging because of their unique chemical and fate and transport properties. Many conventional in-situ remediation technologies, commonly applied to address other groundwater contaminants, have proven ineffective for treatment of PFAS. Given their stability, destruction of PFAS in-situ has remained elusive as an in-situ treatment option. Consequently, new approaches to manage PFAS groundwater plumes are of great interest to environmental practitioners. We propose that enhancing PFAS retention can play an important role in reducing PFAS mass flux and providing long-term protection of downgradient groundwater receptors. Enhanced retention of PFAS fits directly into the enhanced attenuation (EA) framework, an established groundwater remediation strategy that was developed in the first decade of the 2000s for other groundwater contaminants. In this paper, we propose eight EA approaches for PFAS in groundwater, including technologies that are currently being implemented at PFAS sites (e.g., injection of particulate carbon amendments), applications of conventional remediation technologies to PFAS sites (e.g., capping to retain PFAS in the vadose zone), and novel, innovative approaches (e.g., intentional food grade LNAPL emplacement to retain PFAS) for enhanced PFAS retention. These EA approaches leverage the properties of PFAS to (i) facilitate sorption to conventional and novel sorbents, (ii) concentrate PFAS at air/water interface via gas sparging, and/or (iii)

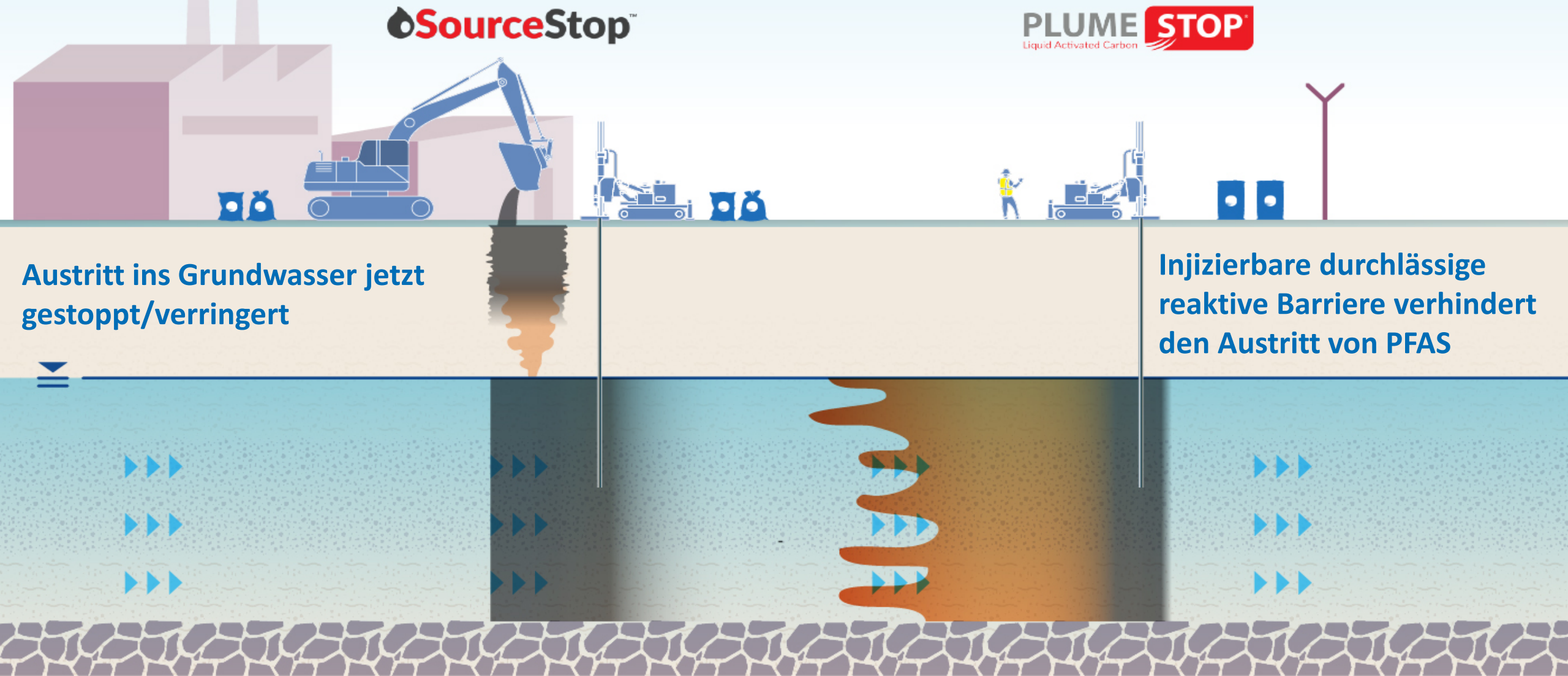
<https://onlinelibrary.wiley.com/share/QZTYKVUAJYDCKAC92B8W?target=10.1002/rem.21731>

Das PFAS-Schadensherd-/Fahnen-System



4. Grundwasser – Fahne

Schadensherd = stimulierter natürlicher Abbau Kombiniert mit Fahnenbehandlung = Rasche Risikobeseitigung



A dark, grayscale background image of a laboratory flask with a stopper. The flask is partially filled with a dark liquid, and a pipette is positioned above it, with a stream of liquid being dispensed into the flask. The flask has a scale on its side with markings at 200, 250, and 300.

Kolloidale Aktivkohle und PFAS

#KAK und PFAS

Kolloidale Aktivkohle

Was ist das?

- **Flüssige Aktivkohle**
 - Partikelgrößen: 1 – 2 μm
- Als **Kolloid** in einer Polymerlösung suspendiert
- **Weite Verteilung** unter niedrigem Druck
 - Kein Hochdruck-Fracturing notwendig
- Bietet **Stellen für extrem schnelle Sorption**
 - Wandelt die darunter liegende Geologie in einen Reinigungsfilter um
- Keine „Auswaschung“ des Aquifers
- Ist **nicht toxisch**





Umgang mit PFAS-Kontamination im Grundwasser

PlumeStop: Bewährt an über 50 PFAS-Standorten weltweit

55

Completed
Applications

154

Sites in Design
and Review Phase



Wirksamkeit und Langlebigkeit

Studie mit 17 PFAS-Standorten, die mit PlumeStop behandelt wurden

- Verfügbare Daten aus 0,3 bis 6 Jahren
- 16 Standorte liefern Daten
 - 14 Orte mit >90 % bis >99 % Verringerung
 - 1 Ort mit 82 bis >99 % Verringerung (saisonale GW-Flussrichtung)
 - 1 Ort für Technologie ungeeignet

Modellierung der Lebensdauer einer Barriereanwendung ohne Quellenbehandlung

Betrachtung des PFOA-Durchbruchs:

= 66 bis 265 Jahre bei nur einer Anwendung

Lebensdauer kann durch die Verringerung des Zustroms aus der Quelle verlängert werden

RESEARCH ARTICLE

WILEY

Longevity of colloidal activated carbon for in situ PFAS remediation at AFFF-contaminated airport sites

Grant R. Carey¹ | Seyfollah G. Hakimabadi² | Mantake Singh³ | Rick McGregor⁴ | Claire Woodfield³ | Paul J. Van Geel³ | Anh Le-Tuan Pham²

¹Porewater Solutions, Ottawa, Ontario, Canada

²Department of Civil and Environmental Engineering, University of Waterloo, Ontario, Waterloo, Canada

³Department of Civil and Environmental Engineering, Carleton University, Ontario, Ottawa, Canada

⁴In Situ Remediation Services Ltd., St. George, Ontario, Canada

Correspondence

Grant R. Carey, Porewater Solutions, 2958 Barlow Crescent, Ottawa, ON K0A 1T0, Canada.

Email: gcarey@porewater.com

Funding information

Porewater Solutions, Ontario Centers for Excellence, and Natural Sciences and Engineering Research Council

Abstract

A review of state per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) guidelines indicates that four long-chain PFAS (perfluorooctanesulfonic acid [PFOS] and perfluorooctanoic acid [PFOA] followed by perfluorohexanesulfonic acid [PFHxS] and perfluorononanoic acid [PFNA]) are the most frequently regulated PFAS compounds. Analysis of 17 field-scale studies of colloidal activated carbon (CAC) injection at PFAS sites indicates that in situ CAC injection has been generally successful for both short- and long-chain PFAS in the short-term (0.3–6 years), even in the presence of low levels of organic co-contaminants. Freundlich isotherms were determined under competitive sorption conditions using a groundwater sample from an aqueous film-forming foam (AFFF)-impacted site. The median concentrations for these PFAS of interest at 96 AFFF-impacted sites were used to estimate influent concentrations for a CAC longevity model sensitivity analysis. CAC longevity estimates were shown to be insensitive to a wide range of potential cleanup criteria based on modeled conditions. PFOS had the greatest longevity even though PFOS is present at higher concentrations than the other species because the CAC sorption affinity for PFOS is considerably higher than PFOA and PFHxS. Longevity estimates were directly proportional to the CAC fraction in soil and the Freundlich K_f , and were inversely proportional to the influent concentration and average groundwater velocity.

Wirksamkeit und Langlebigkeit



REGENESIS®

REMEDIAL APPROACHES WHAT WE OFFER PRODUCTS CASE STUDIES RESOURCES ON-SITE SERVICES

PFAS Research Articles Supporting Colloidal Activated Carbon Technologies

Resources from Peer-Reviewed Research

Approach Sorption Longevity **Onsite Examples**

This section offers an overview of key research, results and ongoing field applications in the treatment of treating PFAS in situ. Included is an evaluation of 17 PlumeStop sites with significant reductions in PFAS concentrations and validation data demonstrating >90% to >99% reduction for most sites.

- Longevity of Colloidal Activated Carbon for In Situ PFAS Remediation at AFFF-Contaminated Airports**
- In Situ Treatment of PFAS-Impacted Groundwater using Colloidal Activated Carbon**
- The In Situ Treatment of TCE and PFAS in Groundwater within a Silty Sand Aquifer**
- The Effect of Heterogeneity on the Distribution and Treatment of PFAS**

Fallstudie Internationaler Flughafen in UK

Internationaler Flughafen in UK

Überblick über den Standort

Hintergrund

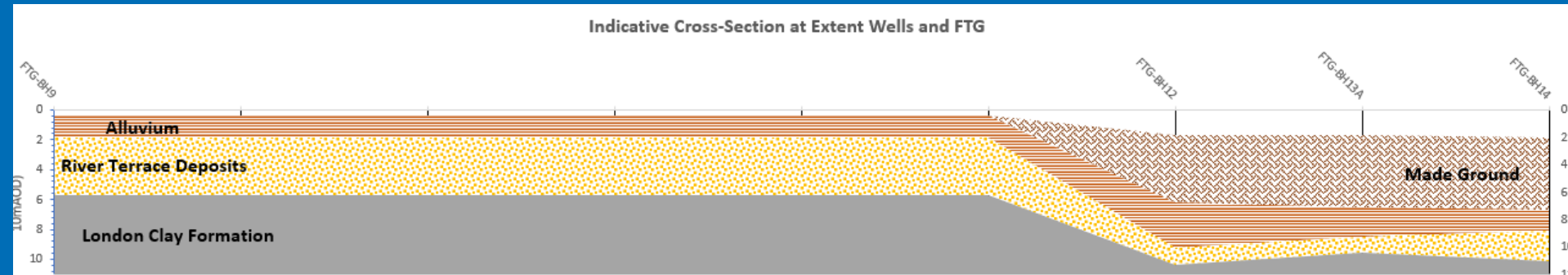
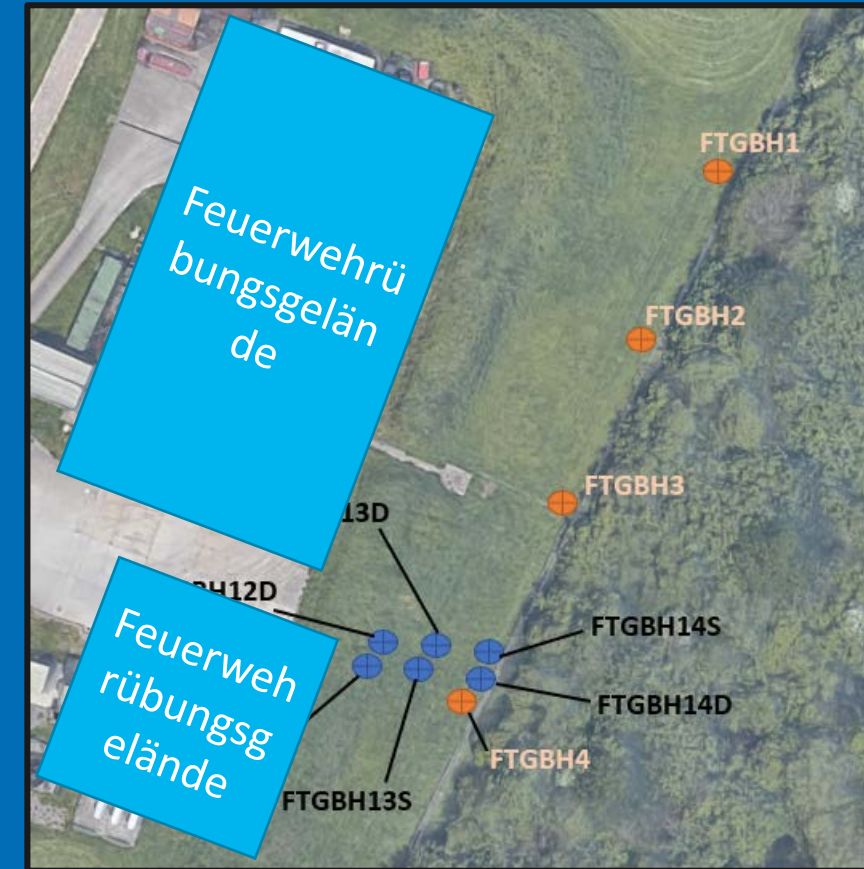
- Internationaler Flughafen in UK – Feuerwehrübungsgelände
- Bekanntes PFOS-Problem 2019 identifiziert
- Freiwilliges Sanierungsprogramm - Schutz von besonders geschützten Gebieten (SSSI) außerhalb des Standorts

Geologie

- Alluvialboden, Flussterrassenkies auf London-Ton
- Grundwasser bei ca. 2 m u. GOK

Kontamination

- PFAS insgesamt > 200 µg/l
- MKW bei 20 mg/l

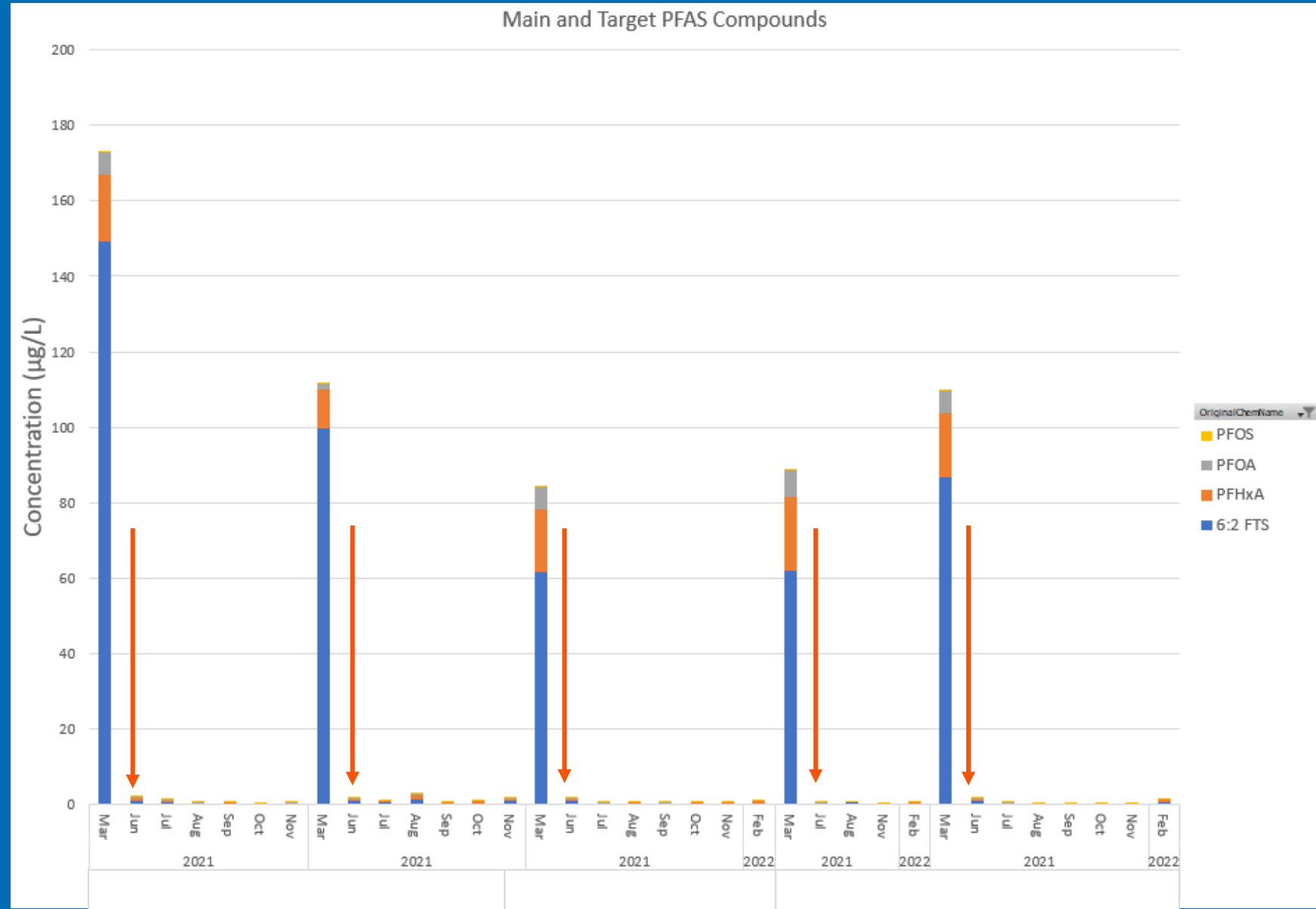
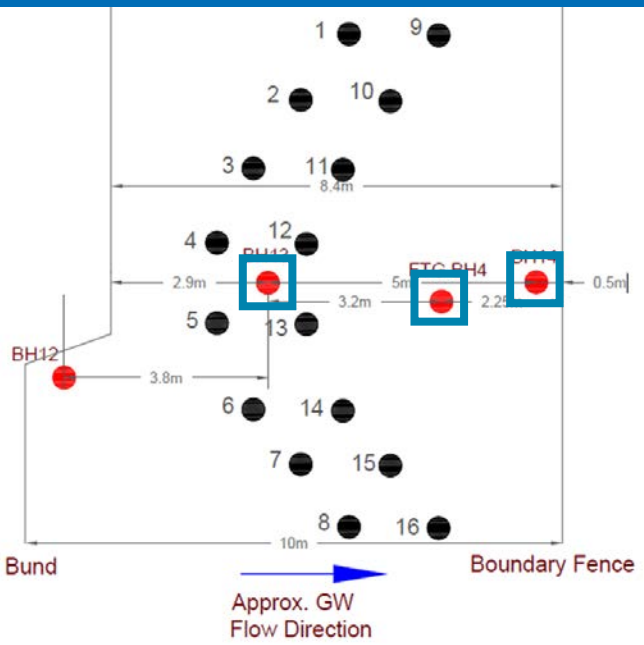


Ergebnisse

Projektziel: „Besserung“ rund
>90 % Verringerung der Ziel-
kontaminanten PFOS und PFOA

PFOA/PFOS verringert auf
< Nachweisgrenzen

96-99 % Verringerung bei SUM24
PFAS



Full-Scale Barriere

- 104 Injektionspunkte
- Barrierausdehnung 76 m
- 2x Überwachungsmessstellen
Zustromseite
- 4x in „Barrierebrunnen“
- 6x Überwachungsmessstellen
Abstromseite
- PetroFix-Barriere
- Schnellabsetzmittel



Überblick über die Studie

PFAS-kontaminierter Flughafen, UK

- PFAS-Migration nach außen sofort verhindert/verringert
- Quellenbehandlung wird folgen

Vergleich der Lebenszyklusanalyse für zwei Sanierungsansätze:

- In-situ-Sorption und Retentionsbarriere
 - Passive Barriere aus kolloidaler Aktivkohle (PlumeStop)
 - Kürzlich an diesem Standort eingerichtet
- Ex-situ Pump-and-Treat
 - Nutzung von granulierter Aktivkohle (GAK)
 - Theoretisches Best-Practice-Konzept

Ramboll

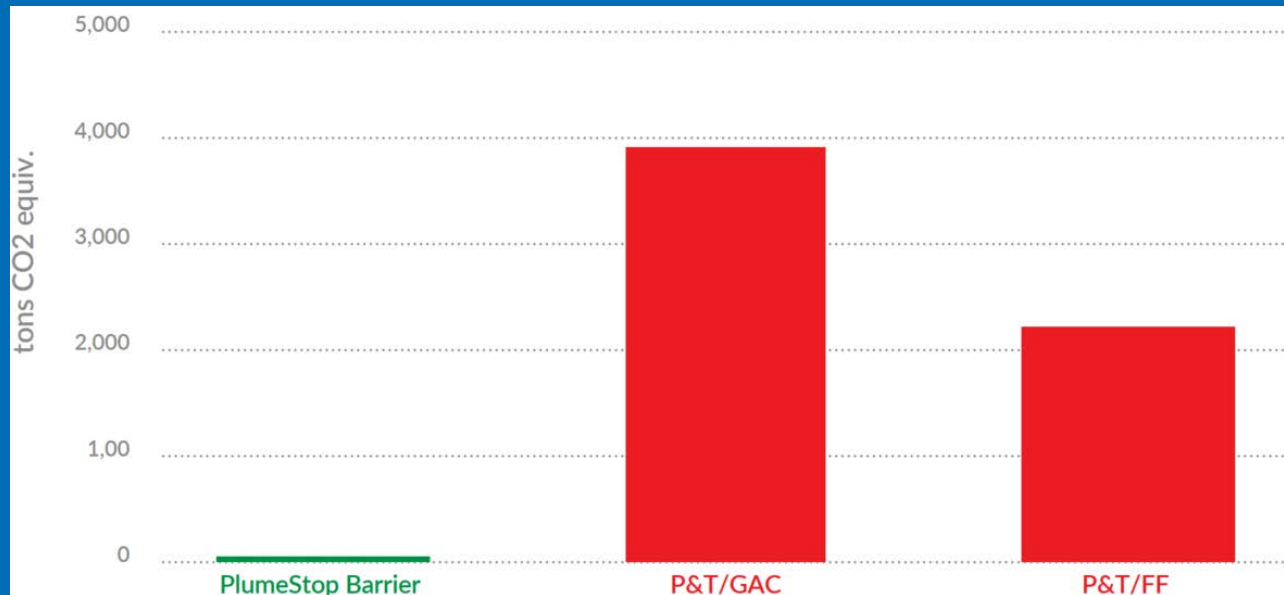
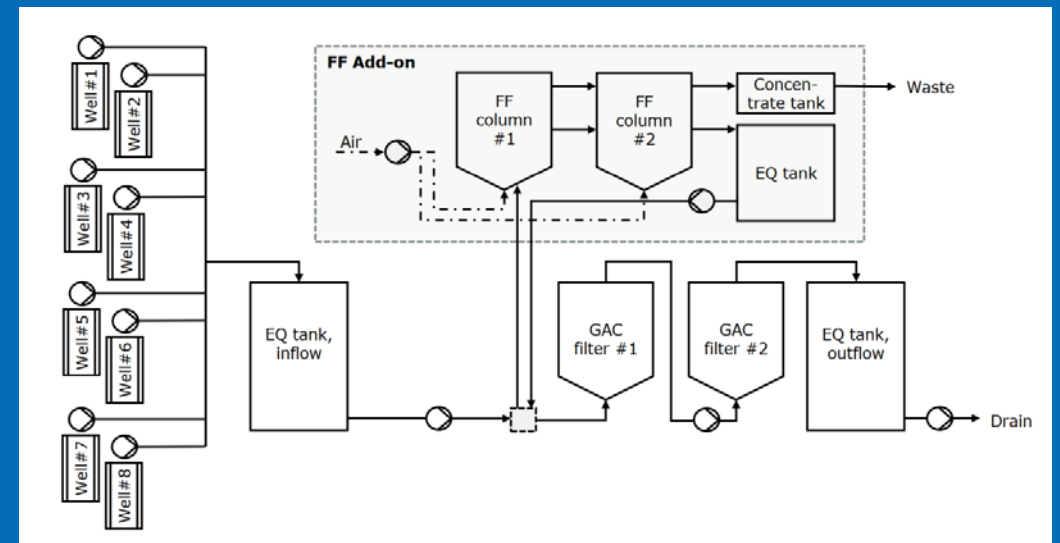
- Leiter Circular Solutions and Climate Specialist team, Finnland



Kohlenstoffbilanz

Wir haben auch die Schaumfraktionierung (FF, Foam Fractionation) modelliert:

- PFAS aufsprudeln/abschöpfen
- Austausch von KAK durch Geräte/Strom



- In-situ-Retention immer noch 97,5 % geringer
 - (98,5% geringer für P&T mit KAK)
- Änderung der Behandlung ≠ deutliche Verringerung
- Pumpen allein = Zunahme Kohlenstoffbilanz um 1-2 Größenordnungen verglichen mit In-situ-Retention
- JEDLICHE Filtration oder zerstörende Behandlungsform trägt nur dazu bei

Kosten

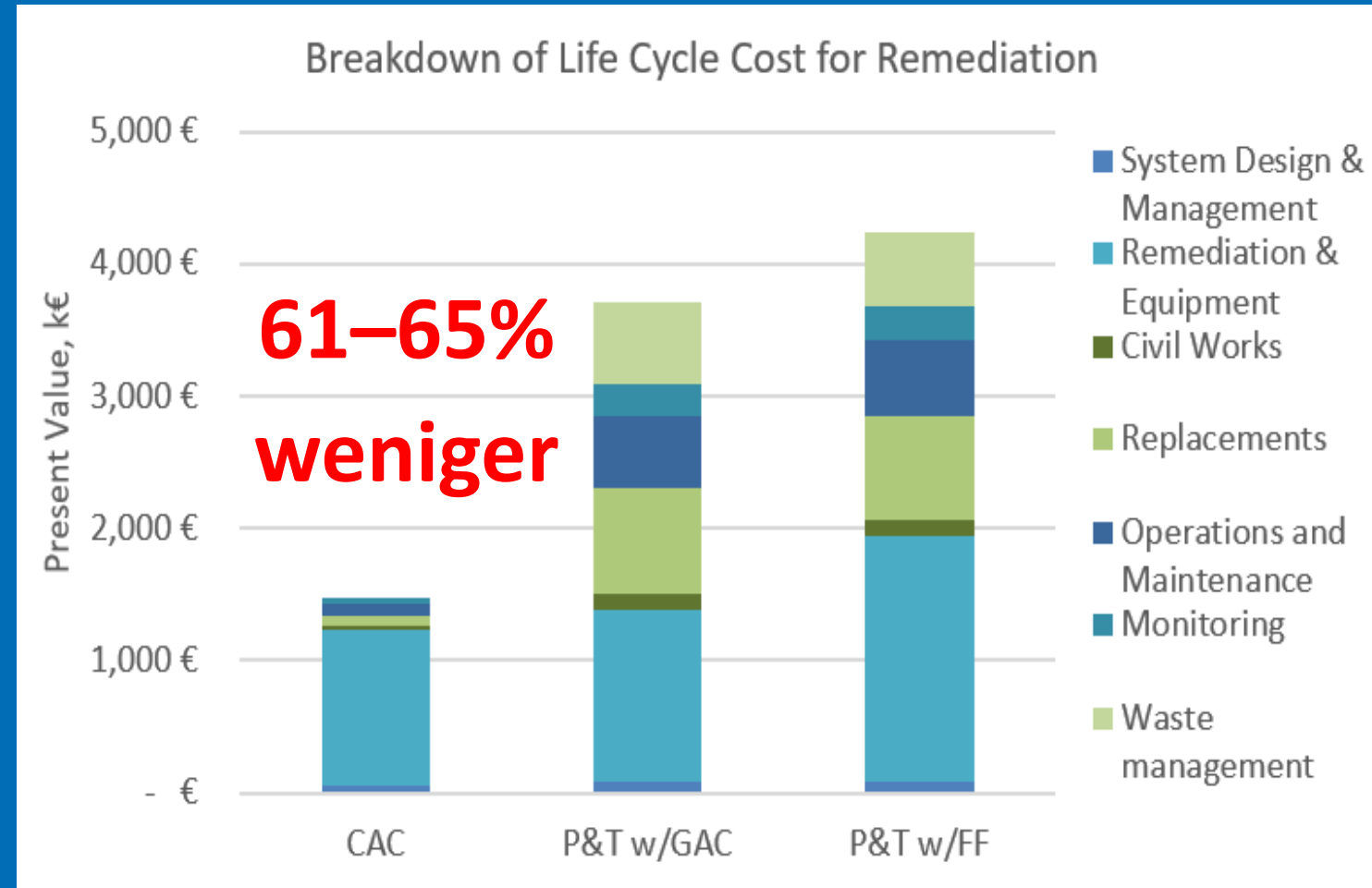
- Preisanalyse durch Ramboll
- Für eine 15-jährige Behandlung
- Kosten zu verschiedenen Zeiten
- Kapitalwert:

PlumeStop-Barriere = 1,5 Mill. €

P&T mit GAK = 3,8 Mill. €

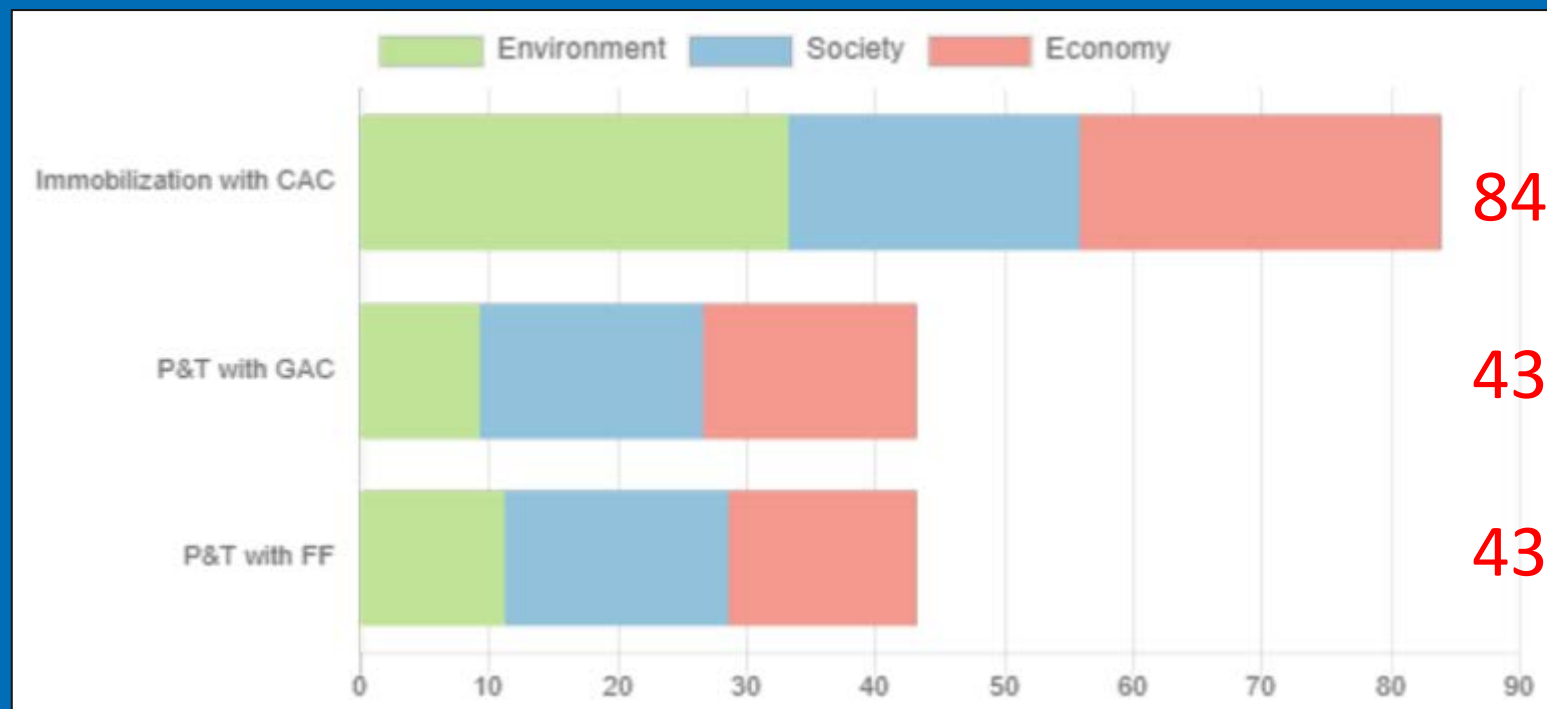
P&T mit FF = 4,4 Mill. €

- Kosten PlumeStop-Lösung 61-65% geringer als P&T (GAK oder FF)



Nachhaltigkeitsscore

- Ausgeführt von Ramboll unter Verwendung ihres SURE-Tools
- In Übereinstimmung mit:
 - ISO 18507:2017 Definition einer nachhaltigen Sanierung
 - SuRF-UK Rahmenwerk für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Boden- und Grundwassersanierungen
- Zusammenfassung anderer (qualitativer und quantitativer) Einflussfaktoren
Erzeugt einen halbquantitativen Score (aus 100)





**Basierend auf dem Vergleich mit Pump & Treat,
zeigt Sanierung mit PlumeStop:**

- ✓ 40 – 70 Mal geringere Kohlenstoffbilanz
- ✓ 60 – 65 % geringere Lebenszykluskosten
- ✓ 95 % kleinere Bilanz bei Rohstoffen, Energie und Abfall
- ✓ 100 % höherer Nachhaltigkeitsscore

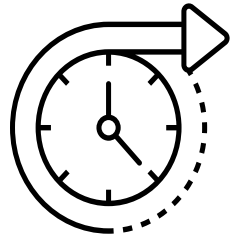
RAMBOLL

Bright ideas.
Sustainable change.

Sustainability assessment of
in situ and ex situ remediation of
PFAS contaminated groundwater.

15.5.2023

Warum dieser Ansatz?



**Schnell +
Wirksam**

**Langfristige
Behandlung**



**Geringe +
sichere Kosten**



Flexibel



Nachhaltig

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Ing. Marcello Carboni

Geschäftsführer, Europa

mcarboni@regenesisis.com

+39 335 5867213



Connect with LinkedIn