

PFC-Grundwassersanierungen

Stand der Technik und Kostenvergleich

Schlagwörter

PFC, PFAS, Precursor, Störstoffe, Grundwassersanierung, Pump-and-treat, Aktivkohleadsorption, Ionenaustauscher, Flockung, Membranverfahren, Reaktivierung, Praxiserfahrung, Referenzanlagen, Pilotversuche, Verfahrens-/Kostenvergleich

Zusammenfassung

Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) oder genauer per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) sind in unserer Umwelt ubiquitär vorhanden und haben weltweit Grundwasserschäden verursacht. Diese Stoffklasse wurde ausschließlich synthetisch hergestellt. Einige PFC-Verbindungen gehören zu den PBT-Stoffen, die als persistent, bioakkumulativ und toxisch eingestuft werden.

PFC-Grundwasserschäden wurden meistens durch AFFF-Löschschäume und illegale Ablagerungen PFC-haltiger Abfälle, in einigen Fällen im Zusammenhang mit der Verwendung von PFC in der Textil-, Papier-, Foto- und Galvanischen Industrie verursacht. Von den aktuell rund 3.000 Verbindungen aus der Gruppe der PFC werden bei der Sanierungserkundung meist nur 10-20 Einzelverbindungen analytisch erfasst. Um das Schadstoffpotenzial eines kontaminierten Standorts nicht zu unterschätzen, sollte auch auf die Precursor untersucht werden, die potenziell zu Perfluoralkancarbon- und -sulfonsäuren abgebaut werden können.

Aufgrund ihrer Struktur sind PFC-Verbindungen sehr stabil und können mit In-situ-Sanierungsverfahren weder biologisch noch chemisch oder thermisch eliminiert werden. Deshalb werden PFC-Schäden im Grundwasser und Trinkwasser mit Hilfe des Pump-and-treat-Verfahrens saniert [1]. Die Reinigungsverfahren Aktivkohleadsorption, Ionenaustausch, Flockung und Membranverfahren gelten aktuell als Stand der Technik [2].

In den meisten Fällen stellt sich die Aktivkohleadsorption als effizienteste und auch als kostengünstigste Methode zur Entfernung von PFC aus Grundwasser dar (Tab. 1). Damit lassen sich Gehalte von < 10 ng/L (!) auch für kurzkettinge PFC erzielen. Dies belegen eigene Erfahrungen mit rund 25 PFC-Reinigungsanlagen (Abb. 1, Tab. 2).

Bei einer Durchflussrate von 25 m³/h liegen die spezifischen Gesamtkosten dieser Technik für den praxisrelevanten PFC-Konzentrationsbereich von 1 - 100 µg/L bei ca. 0,45 - 0,89 €/m³ gereinigtes Grundwasser (Abb. 2). PFC-beladene Aktivkohle kann nach erfolgter Reaktivierung wieder eingesetzt werden, so dass kein Abfall zur Entsorgung entsteht.

Enthält das Grundwasser nicht nur PFC, sondern auch weitere Schadstoffe sowie Fe²⁺, Mn²⁺, DOC und Wasserhärte als Störstoffe, so ist eine Vorbehandlung erforderlich, um eine wirksame und wirtschaftliche Entfernung der PFC zu gewährleisten. Die Unterirdische Enteisenung/Entmanganung (UEE) kann dabei einen wesentlichen Beitrag leisten, da dieses umweltfreundliche Verfahren technisch einfach zu realisieren ist und keine PFC-haltigen Eisen-/Manganschlämme zur Entsorgung anfallen.

Aufgrund der seit einigen Jahren vorliegenden Erfahrungen können Reinigungsanlagen für PFC-Grundwasserschäden mit einfachem Wasserchemismus ohne vorherige Tests zum fest vereinbarten Preis inklusive Betriebskosten angeboten werden. Bei komplexen PFC-Grundwassersanierungen dagegen empfiehlt es sich, Pilotversuche vor Ort durchzuführen, um die technisch und wirtschaftlich optimale Lösung zur Grundwasserreinigung zu finden.



Abb. 1: Flughafen Bayern, Mobile GW-Reinigungsanlage für PFC, Q_w = 10-30 m³/h

Tab. 2: PFC-Grundwassersanierungen der Züblin Umwelttechnik GmbH, Kenndaten

Projekte 2009-2018	ca. 25 PFC-Wasserreinigungsanlagen
Standorte	Chemische Industrie, Mineralölindustrie, Flughäfen/-plätze, Landwirtschaftliche Flächen, u.a.
Durchflussraten	ca. 1 – 360 m ³ /h
Schadensart	PFC-Monoschäden, Mischkontaminationen
PFC-Spezies	PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNoA, PFDeA, PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHps, PFOS, PFDeS, 6:2 FTS (H4PFOS), 8:2 FTS, u.a.
Störstoffe	DOC, Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , Wasserhärte, Feinpartikel
Zulaufkonzentrationen	1 – 400 µg/L PFC
Zielwerte / Ablaufkonzentrationen	PFOS + PFOA < 0,3 µg/L Quotientensumme (13 Verbindungen) < 1,0 Einzelsubstanz < 10 ng/L (!)
Adsorbentien	Aktivkohle, Ionenaustauscherharze
Aktivkohle Standzeiten/Reaktivierung	Spezielle Aktivkohlen für PFC (div. Typen) mind. 12 Monate / keine Entsorgung → Reaktivierung

Tab. 1: Vergleich praxisrelevanter Verfahren zur PFC-Grundwassersanierung

Reinigungsverfahren	Aktivkohle-adsorption	Ionenaustausch	Flockung	Membranverfahren
erzielbare Ablaufwerte: PFC < 10 ng/L	ja	nein → Nachreinigung erforderlich	nein → Nachreinigung erforderlich	ja
Nachreinigung	keine	Aktivkohle-adsorption	Aktivkohle-adsorption	Aktivkohle-adsorption
Abfall / Schlamm	kein	Regenerat, IAT-Harz	Schlamm	Retentat
Wiederverwertung	ja (Reaktiv)	nein	nein	-
Störstoffe: DOC, Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , u.a.	Vorbehandlung	Vorbehandlung	keine Vorbehandlung	Vorbehandlung
Betriebsicherheit	sehr hoch	hoch	hoch	hoch
spezifische Kosten * [€/m ³]	0,45-0,89	0,68-1,72	0,76-1,14	2,27-2,76

* Σ PFC 1-100 µg/L, ohne Vorbehandlung

Literatur

- [1] EDEL, H.-G., KORTE, D., KELLNER, C., SCHWERTE, C., REHNIG, U. (2015) PFC-Grundwassersanierungen – Technologie und Kosten aus über fünf Jahren Praxiserfahrung, KW Korrespondenz Wasserwirtschaft, 550-554
 [2] EDEL, H.-G., KLOPP, D., DRUBEL, J., KORTE, D., KELLNER, C., REHNIG, U. (2018) PFC-Grundwassersanierungen: Stand der Technik und Kostenvergleich, HdA (im Druck)

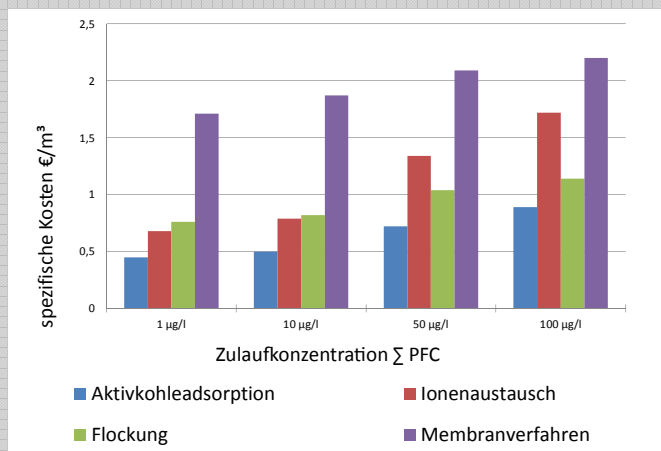


Abb. 2: Spezifische Gesamtkosten in €/m³ von PFC-Reinigungsverfahren in Abhängigkeit von der Σ PFC-Konzentration im Zulauf