

# Poly- und perfluorierte Chemikalien (PFC)

## Fachliche Empfehlungen zum Umgang mit lokalen und flächenhaften Kontaminationen

### 1. Einleitung

Unter der Bezeichnung poly- und perfluorierte Chemikalien, kurz PFC<sup>1</sup>, werden organische Verbindungen mit vollständig (per-) oder teilweise (poly-) fluorierten aliphatischen Kohlenstoffketten mit einer funktionellen Gruppe zusammengefasst.

PFC kommen natürlich in der Umwelt nicht vor, sondern sind ausschließlich anthropogenen Ursprungs. Bekannt sind derzeit mehrere tausend Einzelverbindungen. /1/

Die polyfluorierten Vertreter der Stoffgruppe können mikrobiell zu perfluorierten Verbindungen biotransformiert werden. Sie werden daher oft als Vorläufer (Precursor) bezeichnet. Bei allen Untersuchungen zur Bewertung der Verunreinigungen von Boden und Grundwasser ist unbedingt auch das Vorhandensein solcher Vorläufer-Substanzen, aus denen sich oft mit erheblicher Zeitverzögerung perfluorierte Verbindungen bilden können, zu prüfen.

Perfluorierte Verbindungen werden unterteilt in Perfluorcarbonsäuren und Perfluorsulfonsäuren. Beide Stoffklassen sind im Boden außerordentlich stabil, d. h. sie werden mikrobiell, chemisch oder thermisch praktisch nicht abgebaut. In Abhängigkeit von der Kettenlänge (Anzahl der perfluorierten Kohlenstoffatome<sup>2</sup>) unterscheiden sie sich in Mobilität, chemischen Eigenschaften sowie human- und ökotoxischer Wirkung. Während kurzkettenige PFC wegen ihrer geringen Adsorptionsneigung kaum im Boden zurückgehalten werden und damit Grundwasser vergleichsweise schnell verunreinigen, werden langkettigen Vertreter nur relativ langsam aus Böden ausgewaschen. Nicht selten treten messbare Grundwasserbelastungen erst Jahre oder Jahrzehnte nach einer Belastung des Bodens auf.

Für weiterführende und vertiefende Informationen zu Herstellung und Anwendung von PFC einschließlich der hierfür geltenden rechtlichen Bestimmungen sowie zu Stoffeigenschaften und Analytik werden insbesondere folgende Quellen empfohlen:

---

<sup>1</sup> In dieser Empfehlung wird die in Deutschland etablierte Bezeichnung PFC verwendet. International ist überwiegend die gleichbedeutende englische Bezeichnung PFAS (perfluorinated alkylated substances) üblich.

<sup>2</sup> Als langkettig gelten (Definition der OECD unter <http://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/aboutpfass/figure1-classification-of-per-and-polyfluoroalkyl-substances%20-PFASs.pdf>) alle Perfluorcarbonsäuren mit sieben und mehr perfluorierten Kohlenstoffatomen (beginnend mit Perfluorooctansäure) und alle Perfluorsulfonsäuren mit sechs und mehr perfluorierten Kohlenstoffatomen (beginnend mit Perfluorhexansulfonsäure). /3/

Umweltbundesamt (UBA): Texte 137/2020 „Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen“, Anhang A, 2020. /1/

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/sanierungsmanagement-fuer-lokale-flaechenhafte-pfas>

Länderfinanzierungsprogramm Boden, Wasser, Abfall (LFP): „Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen / Arbeitshilfe zur flächendeckenden Erfassung, standortbezogenen historischen Erkundung und zur Orientierenden Untersuchung (Projektstufe 1)“, Projekt-Nr. B 4.14, 2015 /2/

<http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/projektberichte/labo/>

Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr: „PFC-Leitfaden für Liegenschaften des Bundes“, 3. Auflage, 2018

[https://www.bfr-bogws.de/downloads/A-8.2\\_PFC-Leitfaden\\_Liegenschaften\\_des\\_Bundes.pdf](https://www.bfr-bogws.de/downloads/A-8.2_PFC-Leitfaden_Liegenschaften_des_Bundes.pdf)

Einen allgemeinverständlichen Überblick zum Thema gibt die Broschüre des UBA „PFAS – Ge- kommen um zu bleiben“, 2020

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/schwerpunkt-1-2020-pfas-gekommen-um-zu-bleiben>

## 2. Untersuchungsstrategie

### 2.1 Wo treten PFC-Kontaminationen typischerweise auf?

Grundsätzlich wird zwischen lokalen<sup>3</sup> und flächenhaften<sup>4</sup> Kontaminationen unterschieden.

Für die **Altlastenbearbeitung** sind vorrangig lokale Verunreinigungen in Altablagerungen und Deponien sowie an Altstandorten insbesondere folgender Branchen von Bedeutung:

- Galvanische Betriebe
- Textilindustrie
- Halbleiterindustrie/Leiterplattenherstellung
- Foto- und Filmindustrie
- Papierindustrie
- Lack- und Farbenherstellung
- Herstellung von luftfahrtspezifischen Hydraulikflüssigkeiten, Reinigungs- und Kosmetikartikeln
- Chemische Industrie
- Militärische Anlagen und Flughäfen

---

<sup>3</sup> Darunter werden Kontaminationen innerhalb räumlich vergleichsweise begrenzter „Punktquellen“ wie Betriebsstandorte, Deponien oder kleinere Flächen, auf denen wegen eines Brandes oder einer Löschübung PFC-haltige Löschschäume zum Einsatz kamen, verstanden.

<sup>4</sup> Diese entstehen i. d. R. aus „diffusen Quellen“ wie großflächigen Aufbringungen PFC-haltiger Materialien in den Boden, die durch Auswaschung, Abschwemmung oder Emission in die Luft über Grund- und Oberflächenwasser, Niederschlag u. ä. weit verbreitet werden können.

In den seit 1990 durchgeführten Untersuchungen industrieller Altstandorte der DDR hatten PFC keine Relevanz. Einen sicheren Beleg dafür, dass solche Stoffe in der DDR nicht hergestellt oder eingesetzt wurden, gibt es jedoch nicht. Es wird empfohlen, zumindest industrielle Altstandorte der DDR-Fluorchemie mit Bevorratung größerer Mengen an hochbrennbaren und explosionsgefährdeten Chemikalien in Sachsen hinsichtlich der PFC zu berücksichtigen /2/. Dort und bei nach 1990 stillgelegten Betrieben PFC-relevanter Branchen kann sich in Einzelfällen die Notwendigkeit von Nacherhebungen auch auf bereits erkundeten Arealen ergeben, wenn ein begründeter Verdacht auf Umgang mit PFC besteht, dem im Rahmen der bisherigen Untersuchungen nicht nachgegangen worden ist. Sind solche Altlasten bereits saniert, ist zu prüfen, ob das durchgeführte Sanierungsverfahren auch hinsichtlich möglicher PFC-Belastungen wirksam war.

Teilweise großflächige **schädliche Bodenveränderungen** sind insbesondere nach dem Einsatz PFC-haltiger Löschmittel bei Mittel- und Großbränden (Definition nach DIN 14010-2005-10), dem Ausbringen PFC-belasteter Materialien (bspw. Klärschlamm, Kompost, Bioabfälle) auf landwirtschaftlichen Flächen oder durch Eintrag von Schadstoffen aus der Luft im Umkreis von Produktionsstätten (bspw. aus Schornsteinen oder Abluftanlagen) zu besorgen.

Bundesweit stehen bislang bekannte PFC-Schadensfälle in Boden und Grundwasser überwiegend im Zusammenhang mit der Verwendung fluorhaltiger Schaumlöschmittel bei der Brandbekämpfung, dem Einsatz PFC-haltiger Hilfsstoffe in Galvanik- und Textilveredelungsanlagen oder dem Aufbringen verunreinigter Materialien in der Landwirtschaft. /3/  
Eine vertiefende Zusammenstellung der wichtigsten Eintragswege von PFC in die Umwelt enthält Anhang I des Leitfadens zur PFAS-Bewertung /3/.

## 2.2 Was ist zu untersuchen? Welche Methoden sind anzuwenden?

Als wichtigstes Expositionsszenario ist regelmäßig der **Wirkungspfad Boden-Grundwasser** zu untersuchen. Es wird empfohlen, zunächst Elutions- oder Perkolationsversuche mit einem Wasser-/Feststoff-Verhältnis von 2:1 nach DIN 19529 bzw. DIN 19528 an repräsentativen Proben aus der ungesättigten Bodenzone (Ort der Probenahme) vorzunehmen. Wird im Ergebnis im Eluat bzw. Perkolat mindestens einer der unter Kap. 2.3 erläuterten Prüfwertvorschläge überschritten, sind die Konzentrationen der Stoffe im Sickerwasser am Ort der Beurteilung abzuschätzen (Sickerwasserprognose mit Materialuntersuchungen und Transportprognose). Zur Beurteilung des Schadstoffpotenzials können – soweit analytisch möglich – zusätzlich Ergebnisse von Feststoffanalysen des Bodens zweckmäßig sein. Bei der Transportprognose ist neben den konkreten Standortbedingungen (bspw. Geologie und Mächtigkeit der Sickerstrecke) auch der geringere Rückhalt kurzkettiger PFC in der ungesättigten Bodenzone im Vergleich zu langkettigen Verbindungen zu beachten. Zudem ist das Gefährdungspotenzial von Vorläuferverbindungen und deren Abbaukinetik in der Sickerstrecke zu berücksichtigen. /3/

In Abhängigkeit vom konkreten Einzelfall können weitere Wirkungspfade von Bedeutung sein. Dazu zählen insbesondere die Pfade Boden-Nutzpflanze-Mensch, Pfade Boden-Nutzpflanze(-Nutztier)-Mensch, Boden-Grundwasser-Oberflächengewässer-Fisch-Mensch und Boden-Mensch (Direktpfad).

Als wenig wahrscheinlich wird nach derzeitigem Kenntnisstand der Pfad Boden-Bodenluft-Innenraumluft-Mensch eingeschätzt.

In Wasser sind PFC nach DIN 38407-42 /4/ zu analysieren. Die Bestimmungsgrenzen in Bodeneluataten liegen zwischen 1 und 10 ng/l für Einzelverbindungen.

In Vorbereitung der Grundsatzkonzeption Wasserversorgung 2030 werden in Sachsen ab 2020 regelmäßig fast 20 trinkwasserrelevante Grundwassermessstellen auf PFC untersucht.

Feststoffgehalte im Boden sind nach DIN 38414-14 /5/ zu ermitteln. Die Bestimmungsgrenzen liegen i. d. R. bei 1 bis 10 µg/kg, in Ausnahmefällen bei bis zu 0,1 µg/kg pro Einzelsubstanz. Nach diesen Normen analysierbar<sup>5</sup> und für die bodenschutzrechtliche Beurteilung vorrangig von Belang /6/ sind die in der Anlage aufgeführten 13 Einzelstoffe.

### 2.3 Wie sind die Untersuchungsergebnisse zu bewerten?

Für sieben Einzelsubstanzen gelten derzeit im Sickerwasser die nach /6/ abgeleiteten Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) als Prüfwertvorschläge für den Ort der Beurteilung. Diese sind in der am 1. August 2023 in Kraft tretenden novellierten BBodSchV als Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser enthalten. Für weitere sechs PFC sind in /6/ Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) genannt. Eine Zusammenstellung enthält die Anlage.

Für sonstige, bisher nicht bewertete PFC sollte wie bei den GOW hilfsweise zunächst der Wert 0,1 µg/l je Einzelsubstanz zur Bewertung herangezogen werden. Unterschreitet die gemessene Eluatkonzentration am Ort der Probennahme oder die prognostizierte Konzentration am Ort der Beurteilung den Prüfwertvorschlag, ist der Gefahrenverdacht in Bezug auf die erfassten Stoffe ausgeräumt. Anderenfalls sind weitere Sachverhaltsermittlungen erforderlich.

Die Beurteilung anderer möglicher Wirkungspfade von PFC aus Böden auf den Menschen kann im Einzelfall über einen Bezug auf toxikologisch begründete, duldbare Aufnahmemengen (TDI-Werte) erfolgen. TDI-Werte für PFOS und PFOA werden derzeit national wie international im Hinblick auf eine Absenkung beraten (US-EPA EFSA, , BfR /8/, /9/, /10/, /11/, /12/), auch vor dem Hintergrund, dass PFC in deutlichem Umfang in (Nahrungs-)Pflanzen übergehen /13/ und aktuelle Ergebnisse des UBA zu PFC aus Blutuntersuchungen einer Humanbiomonitoring-Studie bei Kindern und Jugendlichen Anlass zur Besorgnis geben /14/.

Der (bundesweite) Sachstand zu Bewertung wird jeweils in den Bewertungshilfen von Sachsen /7/ dokumentiert.

Für weiterführende und vertiefende Informationen zu Erfassung, Untersuchung und Bewertung werden insbesondere folgende Quellen empfohlen:

- Umweltbundesamt (UBA): Texte 137/2020 „Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen“, 2020. /1/  
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/sanierungsmanagement-fuer-lokale-flaechenhafte-pfas>
- Länderfinanzierungsprogramm Boden, Wasser, Abfall (LFP): „Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen / Arbeitshilfe zur flächendeckenden Erfassung, standortbezogenen historischen Erkundung und

---

<sup>5</sup> Sowohl für die Analytik in Wasserproben nach DIN 38407-42 als auch in Schlamm, Kompost und Boden nach DIN 38414-1 ist die Anwendbarkeit des jeweiligen Verfahrens auf weitere Substanzen nicht ausgeschlossen, ist jedoch im Einzelfall zu prüfen. /3/

zur Orientierenden Untersuchung (Projektstufe 1)“, Projekt-Nr. B 4.14, 2015 /2/  
<http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/projektberichte/labo/>

- Länderfinanzierungsprogramm Boden, Wasser, Abfall (LFP): „Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen / Durchführung und Ergebnisse zu exemplarischen flächendeckenden und systematischen Erfassungen und standortbezogenen Erhebungen (Projektstufe 2)“, Projekt-Nr. B 4.15, 2017  
<http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/projektberichte/labo/>

### 3. Maßnahmen

#### 3.1 Sanierung und Überwachung

Aufgrund der Vielzahl möglicher Verbindungen, die an PFC-Verunreinigungen des Bodens oder des Grundwassers beteiligt sein können, und deren sehr unterschiedlichen Stoffeigenschaften kann über geeignete Sanierungsverfahren nur einzelfallspezifisch entschieden werden. Zu beachten ist, dass die unter 2.3 erläuterten Bewertungsmaßstäbe wie GFS oder GOW grundsätzlich keine Sanierungszielwerte sind. Sanierungsziele sind immer einzelfallbezogen unter dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit abzuleiten und zu begründen. Insbesondere bei großflächigen Belastungen sind häufig Nutzungseinschränkungen (zeitweilig, aber auch längerfristig) der praktikabelste Weg, Gesundheitsgefährdungen vorzubeugen.

Die Auswirkungen der Sanierung insbesondere auf das Grundwasser und ggf. betroffene Oberflächengewässer sind bereits während der Maßnahmen zu überwachen. In der Regel wird nach Sanierungsabschluss ein Langzeitmonitoring der Entwicklung der PFC-Konzentrationen erforderlich sein.

Als aktuelle und umfassende Entscheidungshilfe zum Sanierungsmanagement mit vergleichender Beschreibung der einzelnen Verfahren und konkreten Projektbeispielen wird folgender Abschlussbericht empfohlen:

Umweltbundesamt (UBA): Texte 137/2020 „Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen“, 2020. /1/

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/sanierungsmanagement-fuer-lokale-flaechenhafte-pfas>

#### 3.2 Verwertung/Entsorgung PFC-haltigen Bodenmaterials

Eine bundesweite Recherche zu den derzeitigen Verwertungs-, Lagerungs- und Beseitigungsmöglichkeiten PFC-belasteter Böden ist veröffentlicht worden in: altlasten spektrum 5/2019, Seite 176 ff.: Egloffstein, Burkhardt, Schuhmacher „Erdaushub verunreinigt durch per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC)“. Demnach bestehen in einigen Bundesländern bereits konkrete Regelungen und Erlasse im Hinblick auf die Verwertung von PFC-haltigem Bodenmaterial bzw. dessen Entsorgung. In Sachsen liegen keine diesbezüglichen Regelungen vor; daher sind Einzelfallentscheidungen zu treffen.

Bundesweite Empfehlungen zum Umgang mit PFC-haltigem Bodenmaterial enthält /3/.

## Literatur

- /1/ UMWELTBUNDESAMT (UBA): Texte 137/2020 „Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen“, 2020
- /2/ LÄNDERFINANZIERUNGSPROGRAMM BODEN, WASSER, ABFALL (LFP): „Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen / Arbeitshilfe zur flächendeckenden Erfassung, standortbezogenen historischen Erkundung und zur Orientierenden Untersuchung (Projektstufe 1)“, Projekt-Nr. B 4.14, 2015
- /3/ BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ: "Leitfaden zur PFAS-Bewertung - Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials", Stand 21. Februar 2022  
[https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Bodenschutz/pfas\\_leitfaden\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Bodenschutz/pfas_leitfaden_bf.pdf)
- /4/ DIN 38407-42 (F 42): „Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Wasser – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) nach Fest-Flüssig-Extraktion“, 2011
- /5/ DIN 38414-14 (S 14): „Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS)“, 2011
- /6/ BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA): „Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser/ Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC)“, LAWA-LABO-Kleingruppe des Ständigen Ausschusses „Grundwasser und Wasserversorgung“ der LAWA, 2017
- /7/ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG): „Bewertungshilfen bei der Gefahrenverdachtsermittlung in der Altlastenbehandlung“, 2019
- /8/ US EPA: “Health Effects Support Document for Perfluorooctane Sulfonate (PFOS); [https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfos\\_hesd\\_final\\_508.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfos_hesd_final_508.pdf); 2016a
- /9/ US EPA: “Health Effects Support Document for Perfluorooctanoic Acid (PFOA)”; [https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfoa\\_hesd\\_final-plain.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfoa_hesd_final-plain.pdf), 2016b
- /10/ EFSA CONTAM Panel on Contaminants in the Food Chain: “Risk to human health related to the presence of perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid in food” EFSA Journal 2018;16(12):5194, doi: 10.2903/j.efsa.2018.5194; <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/5194>, 2018
- /11/ EFSA CONTAM Panel on Contaminants in the Food Chain: “Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food” EFSA Journal 2020;18(9):6223, 391 pp.; <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2020.6223>, 2020
- /12/ BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung): „Neue gesundheitsbezogene Richtwerte für die Industriechemikalien PFOS und PFOA“; DOI 10.17590/20190821-105231; <https://www.bfr.bund.de/cm/343/neue-gesundheitsbezogene-richtwerte-fuer-die-industriechemikalien-pfos-und-pfoa.pdf>; 2019
- /13/ Xinschun Jiao; Qingyang Shi, Jay Gan: Uptake, accumulation and metabolism of PFASs in plants and health perspectives: A critical review; Aug. 2020
- /14/ Duffek, A.; Conrad, A.; Kolossa-Gehring, M.; Lange, R.; Rucic, E.; Schulte, C.; Wellmütz, J. : „Per- and polyfluoroalkyl substances in blood plasma – Results of the German Environmental Survey for

children and adolescents 2014–2017 (GerES V); <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113549>;  
International Journal of Hygiene and Environmental Health, Vol. 228; Juli 2020

## In der bodenschutzrechtlichen Beurteilung prioritär zu berücksichtigende PFC

Name	Abkürzung	Summenformel	CAS.-Nr.	GFS in µg/l bzw. ab 1. August 2023 Prüfwert nach BBodSchV	GOW in µg/l
Perfluorbutansäure	PFBA	$C_4HO_2F_7$	375-22-4	10,0	
Perfluorpentansäure	PFPeA	$C_5HO_2F_9$	2706-90-3		3,0
Perfluorhexansäure	PFHxA	$C_6HO_2F_{11}$	307-24-4	6,0	
Perfluorheptansäure	PFHpA	$C_7HO_2F_{13}$	375-85-9		0,3
Perfluoroctansäure	PFOA	$C_8HO_2F_{15}$	335-67-1	0,1	
Perfluornonansäure	PFNA	$C_9HO_2F_{17}$	375-95-1	0,06	
Perfluordecansäure	PFDA	$C_{10}HO_2F_{19}$	335-76-2		0,1
Perfluorbutansulfonsäure	PFBS	$C_4HO_3F_9S$	375-73-5	6,0	
Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	$C_6HO_3F_{13}S$	355-46-4	0,1	
Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS	$C_7HO_3F_{15}S$	357-92-8		0,3
Perfluoroktansulfonsäure	PFOS	$C_8HO_3F_{17}S$	1763-23-1	0,1	
6:2-Fluortelomersulfonsäure	H4PFOS	$C_8H_5O_3F_{13}S$	27619-97-2		0,1
Perfluoroktansulfonamid	PFOSA	$C_8H_2F_{17}NO_2S$	754-91-6		0,1