

PFC - Tausendundeine Verwendungsmöglichkeiten

VOLKER ZEISBERGER*

Eine kurze Einführung

PFC sind in aller Munde. Ob diese Aussage wortwörtlich zu sehen ist, soll im Folgenden aufgezeigt werden. Zunächst einmal ist damit gemeint, dass das Thema PFC auf Fachtagungen im Boden- und Altlastenbereich breiten Raum einnimmt.

Die Abkürzung PFC steht für per- und polyfluorierte Chemikalien. Früher wurde oft die Abkürzung PFT verwendet (perfluorierte Tenside), da die damals eingesetzten Stoffe in aller Regel aus einem hydrophilen und einem hydrophoben Molekülteil bestanden. In der wissenschaftlichen Literatur hat sich die Bezeichnung PFAS (per- and polyfluoroalkyl substances) durchgesetzt.

Von Relevanz ist die Unterscheidung zwischen per- und polyfluorierten Stoffen: Bei **per**fluorierten Chemikalien sind alle Wasserstoffatome in der Kohlenstoffkette durch Fluoratome ersetzt, bei **poly**fluorierten Chemikalien lediglich die meisten Wasserstoffatome. Hinsichtlich der Persistenz der Stoffe gilt: **Per**fluorierte Chemikalien sind nicht abbaubar; **poly**fluorierte Chemikalien sind teilweise abbaubar, wobei als finales Abbauprodukt **per**fluorierte Stoffe zurückbleiben.

In der aktuellen Literatur wird davon ausgegangen, dass mehrere tausend PFC kommerziell eingesetzt werden [1, 2, 3]. Allein diese hohe Zahl ist erstaunlich. Ebenso bemerkenswert ist, dass bei PFC-Analysen (Einzelstoffanalytik) nur etwa 20 dieser Stoffe gemessen werden. Noch überraschender erscheint es, dass diese etwa 20 Stoffe heutzutage nicht mehr

eingesetzt werden. Messen wir also nur „Altlasten“ aus früheren Tagen? Wie kann man „mehrere tausend“ PFC, die heutzutage eingesetzt werden, analysieren?

Leider gibt es hierzu keine zufriedenstellende Antwort. Zwar gibt es den Summenparameter AOF (adsorbierbares organisch gebundenes Fluor), jedoch liegt dieses Analysenverfahren erst als Normentwurf vor (E-DIN 38409-59 von Nov 2020), weiterhin gibt es keine bundesweit abgestimmten Bewertungsmaßstäbe für diesen Summenparameter und schließlich liefert das Verfahren keine Informationen zu konkreten Einzelstoffen. Ein weiteres Analysenverfahren zur Bestimmung polyfluorierter Chemikalien ist der sogenannte TOP-Assay (total oxidizable precursor), ein oxidatives Aufschlussverfahren [3]. Auch hierfür liegen noch keine Bewertungsmaßstäbe vor.

Nun stellt sich die Frage, weshalb in Gewässern und Böden mit der o. g. Einzelstoffanalytik immer noch erhöhte Konzentrationen/Gehalte gemessen werden [5], obwohl diese Stoffe mittlerweile nicht mehr eingesetzt werden. Hierfür gibt es zwei Erklärungen, die sich ergänzen: Einerseits haben die Böden bzw. die Grundwasserleiter ein „langes Gedächtnis“, d. h. sie geben angelagerte Schadstoffe nur stark verzögert wieder frei. Andererseits sind die heutzutage verwendeten polyfluorierten Chemikalien teilweise abbaubar. Als persistente Abbauprodukte bleiben perfluorierte Chemikalien zurück, die dann analytisch bestimmbar sind.

PFC als „Wundermittel“ - erste Einsatzgebiete

Bei der Altlastenerkundung und -sanierung stehen die **per**fluorierten Chemikalien im Vordergrund, da es sich in aller Regel um „alte“ Schäden handelt. Bis etwa zum Jahr 2008 enthielten spezielle Löschschäume (AFFF-Schäume), wie sie insbesondere bei

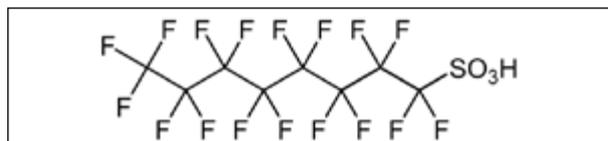


Abb. 1: Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)

Flugzeug- und Tanklagerbränden eingesetzt werden, perfluorierte Chemikalien. Am bekanntesten ist die Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) (s. Abb. 1).

Nach einem Verbot von PFOS in den USA wick man auf einen Ersatzstoff mit ähnlicher Struktur aus: H4PFOS, ein polyfluoriertes PFC. Unter den polyfluorierten PFC ist H4PFOS die einzige Verbindung, die bei der üblichen Einzelstoffanalytik bestimmt wird.

Die Verwendung in Feuerlöschschäumen hat zur Folge, dass auf Flughäfen und Löschübungsplätzen PFC oftmals in hohen Konzentrationen/Gehalten angetroffen werden.

Bei Galvaniken (Glanzverchromung, Hartverchromung, Kunststoffgalvanisierung) wurde PFOS bis zum Jahr 2015 eingesetzt, seitdem ist insbesondere das o. g. H4PFOS ein Ersatzprodukt.

Im Rahmen einer illegalen Abfallentsorgung wurden in Nordrhein-Westfalen und Nordhessen sogenannte „Bodenverbesserer“ auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht, die PFC-haltige Abfälle als illegal zugegebene Beimischung enthielten. Nach jetzigem Stand handelte es sich überwiegend um perfluorierte Chemikalien. In Baden-Württemberg sind ebenfalls landwirtschaftlich genutzte Flächen mit PFC verunreinigt, hier spielen vor allem polyfluorierte Chemikalien eine Rolle.

PFC als „Allzweckwaffe“ - Wo sie heute eingesetzt werden

In der Öffentlichkeit taucht das Schlagwort „PFC“ immer wieder auf, ohne ganz große Wellen zu schlagen. Am ehesten ist den Bürgerinnen und Bürgern die Verwendung von PFC in Outdoorbekleidung und Imprägniersprays geläufig. Weiterhin schafften es in Hessen die PFC-Belastungen auf den Flughäfen in Frankfurt und Wiesbaden-Erbenheim in die Schlagzeilen.

In der folgenden Tabelle werden PFC-Einsatzgebiete genannt, bei denen PFC derzeit noch verwendet werden. Sie ist bei Weitem nicht vollständig, wie eine Übersicht des ITRC (USA) zeigt [27]. Allen in der Tabelle aufgeführten PFC ist gemeinsam, dass es sich um polyfluorierte PFC handelt. Die Angaben sind ohne Gewähr, denn die Industrie ist extrem zurückhaltend mit der Weitergabe von Informationen an Behörden und Bürgerinnen und Bürger. Die genaue

Zusammensetzung von PFC-haltigen Produkten und die verwendeten Einzelsubstanzen sind meist nicht erkennbar; in Sicherheitsdatenblättern werden PFC nicht oder nur verklausuliert aufgeführt, z. B. als „Fluorosurfactant“, „Fluorcarbonharz“ oder „Fluor-tenside“. Hersteller können sich auf Artikel 24 der CLP-Verordnung berufen, nach dem die genaue Bezeichnung eines Stoffes auf dem Kennzeichnungsetikett bzw. dem Sicherheitsdatenblatt verschleiert werden kann, wenn Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse betroffen sind. Eine weitere Lücke besteht für die derzeit häufig eingesetzten Polymere (Fluorcarbonharze auf Basis von Polyacrylaten oder Methacrylaten mit perfluorierten Seitenketten), die in vielen Fällen von den Registrierungs- und Bewertungspflichten nach der REACH-Verordnung ausgenommen sind.

Tab. 1: Einsatzgebiete PFC-haltiger Produkte (Auswahl)

Einsatzgebiete	Eingesetzte PFC	Anmerkungen
Feuerlöschschäume (AFFF)	PFC häufig mit Betain-Struktur	Bei AFFF-Schäumen galten PFC bisher als unverzichtbarer Bestandteil [2, 3]; es gibt Bestrebungen, fluorfreie Ersatzstoffe zu etablieren
Textilimprägnierung	Fluorcarbonharze (Polymere mit fluorierten Seitenketten)	Schutzbekleidung für Feuerwerker und Chemikanten, Outdoorbekleidung, schmutzabweisende Sofabezüge, Sonnenschirme/Markisen usw. [6]. PFC-haltige Zusätze für Imprägniermittel bieten beispielsweise die Firmen Chemours und Rudolf an [7, 8]
Fettdichte Papiere (Pommes-/Popcorn-tüten, Hamburger-Verpackungen, Wurst- und Käsepapier, Backpapier, Tierfuttermittelverpackung)	Sofern PFC eingesetzt: Fluorcarbonharze (Polymere mit fluorierten Seitenketten), Polyfluoralkylphosphate (PAPs) Alternativen zu PFC: Silikonbeschichtung, Paraffin, PE-Folie	Es ist davon auszugehen, dass der Anteil PFC-haltiger Produkte deutlich gesunken ist: Backpapiere sind wahrscheinlich mittlerweile PFC-frei [9]; bei sonstigen fettdichten Papieren werden oft Ersatzstoffe verwendet [10–13]; PFC sind am ehesten in Pommes-/Popcorn-tüten [14] und Tierfuttermittelverpackungen zu erwarten

Einsatzgebiete	Eingesetzte PFC	Anmerkungen
Kaffeebecher	wahrscheinlich keine PFC verwendet	Es ist wahrscheinlich, dass PFC nur bei fettabweisenden Verpackungen und nicht bei Getränkeverpackungen eingesetzt werden [11, 15]
Farben, Lacke	Fluorcarbonharze, Fluortenside	PFC-haltige Zusätze für Farben und Lacke, z. B. für Latexfarben, bieten beispielsweise die Firmen Chemours, 3M Deutschland, Solvay und Schwegmann an [7, 16, 17, 18], siehe auch [4]. Ob die PFC-haltigen Zusätze häufig oder selten eingesetzt werden, konnte nicht ermittelt werden.
Steinbodenpflege	Fluorcarbonharze	Hersteller sind beispielsweise die Firmen Rudolf und Solvay [17, 19]
Haushaltsartikel, z. B. - Zahnseide [20] - Ski-Wachs [21]	k.A.	
Industrieanwendungen, z. B. - Imprägnierte Garne/Vliese [20] - Reinigungsmittel für Elektronik - Wärmeübertragungsflüssigkeiten [22] - Wärmeaustausch, Halbleiterkühlung [23] - Hilfschemikalie bei der Styroporherstellung - Tracer in Elektrokabel-Öl	z. B. - Fluorcarbonharze - Perfluoropolyether (PFPE) [17] - Gen-X - Perfluoromethylcyclohexan - Fluorkautschuk [24]	

Während es bei einigen Einsatzbereichen wie Wegwerfartikeln (Pommestüten usw.) auf der Hand liegt, dass PFC-freie Produkte zu verwenden sind, ist der Einsatz von Spezialchemikalien in industriellen Produkten schwieriger zu bewerten, da einige Anwendungen dem Umweltschutz dienen (z. B. fluorimprägnierte Filtermaterialien für die Abluft-/Was-serreinigung).

Ein besonders umweltkritisches Einsatzgebiet für PFC könnten Farben/Lacke sein. Hier sind allerdings viele Fragen offen. Werden PFC nur in Latexfarben regelmäßig verwendet oder auch in „normalen“ Farben? Wie hoch sind die Einsatzmengen? Ohne Informationen von Branchenkennern kann nur spekuliert werden.

Toxizität, Biomonitoring, Gewässerbelastungen

Der einführende Satz dieses Artikels lautete: „PFC sind in aller Munde“. Dies ist tatsächlich wörtlich zu nehmen. Stand der Wissenschaft ist, dass PFC in erster Linie über die Nahrung und das Trinkwasser aufgenommen werden und bereits bei sehr geringen Gehalten humantoxisch wirken. Hier ein Zitat aus einer Website des UBA [25]: „In Deutschland haben Kinder und Jugendliche zwischen 3 und 17 Jahren zu viele langlebige Chemikalien aus der Stoffgruppe der per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen, kurz PFAS, im Blut. Das zeigt die Auswertung der repräsentativen Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen, GerES V. In einem Fünftel der untersuchten Proben lag die Konzentration für Perfluoroktansäure (PFOA) über dem von der Kommission Human-Biomonitoring festgelegten HBM-I-Wert. Erst bei Unterschreitung des HBM-I-Wertes ist nach dem aktuellen Kenntnisstand eine gesundheitliche Beeinträchtigung auszuschließen.“

Dass PFC in der Umwelt überall verbreitet sind und sich anreichern können, wird auch durch folgende Pressemitteilung aus Hessen deutlich [26]: „Bislang wurden sieben Wildschweinleberproben aus verschiedenen hessischen Landkreisen untersucht. In allen untersuchten Leberproben wurden PFC nachgewiesen. Hinsichtlich dieser Befunde kann ein gesundheitliches Risiko für Verbraucherinnen und Verbraucher durch den Verzehr von Wildschweinlebern nicht ausgeschlossen werden.“

Zuletzt: In hessischen Gewässern sind PFC weit verbreitet, wie umfangreiche Untersuchungen ergaben [5]. Bei einem Teil der Proben wird, ergänzend zur Einzelstoffanalytik, der Summenparameter AOF angewendet, der in vielen Fällen auffällig erhöht ist.

Literatur

- [1] GLÜGE, J. ET AL.: An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS), Royal Society of Chemistry, 2000– DOI: 10.1039/d0em00291g.
- [2] LFP-Projekte B 4.14 und 4.15 „Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastverdächtigen Flächen und nach Lösungsmittelsätzen“ (Projektstufen 1 und 2) sowie der bundeseinheitlichen Empfehlungen zur Bewertung von PFC in Böden, Gewässern und zu entsorgenden Bodenmaterialien, <http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/projektberichte/lab0/>.
- [3] Umweltbundesamt Texte | 137/2020 „Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen“ www.umweltbundesamt.de/publikationen/sanierungsmanagement-fuer-lokale-flaechenhafte-pfas.
- [4] BUND: Praktisch, langlebig und giftig – Organische Fluorverbindungen in Alltagsprodukten, in der Umwelt und im menschlichen Körper: Bewertung und Konsequenzen für Politik und VerbraucherInnen, 2015 <https://www.bund.net/service/publikationen/detail/publication/fluorpraktisch-langlebig-und-giftig/>.
- [5] HLNUG: <https://www.hlnug.de/?id=17484>; <https://www.hlnug.de/?id=7279>; <https://www.hlnug.de/?id=14467>.
- [6] R+W Textilservice: Imprägnierung von Textilien – nicht nur wasserabweisend <https://www.rw-textilservice.de/nicht-nur-wasserabweisend-impraegnung-von-textilien/150/17391/368785> (aufgerufen am 12.5.2021).
- [7] Chemours: Capstone™ FS-81 Fluorosurfactant <https://www.chemours.de/brands-and-products/capstone/products/fluorosurfactants> (aufgerufen am 5.5.2021).
- [8] Rudolf Group: Fluorcarbon-Phobiermittel <https://www.rudolf.de/produkte/textilhilfsmittel/ausruistung/fluorcarbon-phobiermittel/> (aufgerufen am 5.5.2021).
- [9] WIKIPEDIA Stichwort „Backpapier“ <https://de.wikipedia.org/wiki/Backpapier> (aufgerufen am 5.5.2021).
- [10] ZABALETA, I. ET AL.: Occurrence of per- and polyfluorinated compounds in paper and board packing materials and migration to food simulants and foodstuffs, Food Chemistry 321 (2020) 126746.
- [11] SCHAUER, L. A. ET AL.: Fluorinated Compounds in U.S. Fast Food Packaging; Environ Sci Technol Lett. 2017; 4(3): 105–111. doi:10.1021/acs.estlett.6b00435.
- [12] Bindemann-Verpackungen: Erläuterungen zu „Pergamin- und Pergament-Ersatzpapier“ <https://www.bindemann-verpackung.de/Packpapiere/Pergamin-und-Pergament-Ersatzpapier> (aufgerufen am 5.5.2021).
- [13] Der Verpackungsprofi: Erläuterungen zu „Fettdichte Papiere“ <https://www.der-verpackungs-profi.de/fettdichte-papiere> (aufgerufen am 5.5.2021).
- [14] Daikin Chemical Europe GmbH: Unidyne Oil & Grease Barrier for paper <https://www.daikinchem.de/products-and-performance/oil-and-grease-barrier> (aufgerufen am 23.3.2021).
- [15] PRO-S-PACK Arbeitsgemeinschaft für Serviceverpackungen e.V.: Pressemitteilung vom 28.7.2020 „Medienberichte über PFAS in Kaffeebechern sind irreführend“; www.pro-s-pack.de/ (aufgerufen am 1.3.2021).
- [16] 3M Deutschland GmbH: „Fluortenside – Verringerte Spannung für erhöhte Effizienz – Netzmittel für die Farben- und Lackindustrie.“, 2016 <https://docplayer.org/32653322-3m-fluortenside-verringerte-spannung-fuer-erhoehte-effizienz-netzmittel-fuer-die-farben-und-lackindustrie.html> (aufgerufen am 4.3.2021).
- [17] Solvay: Fluorolink® PFPE <https://www.solvay.com/en/brands/pfpe-functional-fluids/fluorolink-pfpe> (aufgerufen am 1.3.2021).
- [18] Schwegmann: Broschüre „Lieferprogramm Additive für Beschichtungen“, dort unter „Gleit- und Verlauffadditive, Untergrundbenetzungsadditive“ <https://www.schwegmannnet.de/index.php/de/lackadditiv/produktgruppenlack> (aufgerufen am 4.3.2021).
- [19] Rudolf Group: Fluorcarbonimprägnierungen <https://www.rudolf.de/products/construction-chemicals/fluorcarbon-impregnating-agents/> (aufgerufen am 1.3.2021).
- [20] 3M Deutschland: Imprägnierte Garne und Gewebe https://www.3mdeutschland.de/3M/de_DE/entwicklungs-und-spezialmaterialien/anwendungen/garne-und-textilien/impraegnierte-garne-und-gewebe/ (aufgerufen am 1.3.2021).
- [21] CARSON, G.L., TUPPER, S.: Ski wax use contributes to environmental contamination by per- and polyfluoroalkyl substances; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520322736>, December 2020, 128078.
- [22] 3M Deutschland: PF-5052 Leistungs-Flüssigkeit https://www.3mdeutschland.de/3M/de_DE/p/d/b10144227/ (aufgerufen am 1.5.2021).
- [23] 3M Deutschland: Fluorinert™ FC-3283 Elektronik Flüssigkeit https://www.3mdeutschland.de/3M/de_DE/unternehmen-de/produkte/~3M-Fluorinert-FC-3283-Elektronik-Fl%C3%BCssigkeit/?N=5002385+3290667328&rt=rud (aufgerufen am 1.3.2021).
- [24] Bola: FKM – Fluorkautschuk <https://www.bola.de/technische-informationen/informationen-ueber-werkstoffe/elastomere/fkm-fluorkautschuk/> (aufgerufen am 1.3.2021).

- [25] Umweltbundesamt: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/kinder-juendliche-haben-zu-viel-pfas-im-blut> (aufgerufen am 25.2.2021).
- [26] Hessische Landesregierung: <https://www.hessen.de/presse/pressemitteilung/umweltchemikalie-pfc-in-wildschweinlebern-nachgewiesen-0> (aufgerufen am 5.5.2021).
- [27] Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC): PFAS Technical and Regulatory Guidance Document and Fact Sheets, USA, 2020, <https://pfas-1.itrc-web.org/> (aufgerufen am 18.3.2021).