



Allgemein Das vorliegende Merkblatt dient als Hilfestellung zur Klärung der Fragen, ob ein belasteter Standort auf Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) untersucht werden muss, was bei PFAS-Untersuchungen zu beachten ist, sowie wie mit PFAS-belasteten Materialien hinsichtlich deren Entsorgung umgegangen werden soll. Das Merkblatt basiert auf folgenden Grundlagen:

- [Organische Spurenstoffe – Emerging Pollutants. Untersuchung von Deponiesickerwasser \(2023\)](#), Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL)
- [Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen \(PFAS\) in Schweizer Böden \(2022\)](#), Thalmann *et al.*, Altlastenspektrum
- [Leitfaden zur PFAS-Bewertung \(2022\)](#), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
- [PFAS-Expertenbericht \(2021\)](#), Arcadis Schweiz AG (im Auftrag des BAFU)
- [PFC Handbuch \(2015\)](#), Deutsches Länderfinanzierungsprogramm «Wasser, Boden und Abfall» und Anhänge [A](#), [B](#), [C](#), [D](#), [E](#)

Zu beachten: Das Merkblatt bildet den momentanen PFAS-Wissensstand ab (Juli 2023). Sobald neue PFAS-Erkenntnisse auf Bundesebene vorliegen, wird das Merkblatt entsprechend angepasst.

Substanzklasse Die Substanzklasse PFAS beinhaltet Perfluorierte Alkylsubstanzen (vollfluoriert = nur C–F Bindungen vorhanden) und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (teilfluoriert = C–H Bindungen kommen vor). Gemäss US EPA existieren mehr als 10'000 Verbindungen, darunter viele Vorläufersubstanzen, welche zu perfluorierten Verbindungen abgebaut werden können. PFAS werden/wurden aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften (fett- und wasserabweisend, hohe thermische, chemische und biologische Stabilität, Bildung von benetzenden Filmen) sehr vielfältig eingesetzt.

PFAS

PFAS-Verwendung Die PFAS-Produktion begann in den 1950er Jahren. Ab den frühen 1960er Jahren wurden PFAS bei industriellen und gewerblichen Produktionen verwendet. Mit Beginn der 1970er Jahre erfolgte der verbreitete Einsatz. Bei der Verwendung von PFAS ist immer von technischen Gemischen auszugehen, deren Zusammensetzung je nach Verwendungszweck, Einsatzgebiet, Produktionsverfahren, Hersteller und Herstellungszeitraum variieren kann. Bei nachfolgenden Einsatzgebieten/Branchen/Standorten werden PFAS als relevant angesehen und müssen gegebenenfalls in die Untersuchung integriert werden. Ablagerungsstandorte und Betriebs-/Unfallstandorte werden gesondert gelistet. *Informationen zu möglichen Eintragsstellen vgl. Kapitel 6.2 PFAS-Expertenbericht (Arcadis Schweiz AG, 2021).*

Kriterien Ablagerungsstandorte

Ablagerung vor 1950 → <u>keine</u> PFAS zu untersuchen	bis 1950
Ablagerung 1950 bis 1970 → hier sind PFAS zu untersuchen, sofern: <ul style="list-style-type: none">• aufgrund der historischen Abklärungen Hinweise auf die Ablagerung von Abfällen bestehen, welche PFAS enthalten können (z.B. Brandschutt / Brandabfälle, Papierschlämme, Betriebs- und Industrieabfälle insbesondere von untenstehenden Branchen [rote und orange Liste])• auf dem Standort Brandübungen stattgefunden haben	1950 bis 1970
Ablagerung nach 1970 → PFAS <u>immer</u> zu untersuchen	ab 1970 bis heute

Betriebs- und Unfallstandorte

In den folgenden Einsatzgebieten / Branchen wurden PFAS häufig und in relevanten Mengen eingesetzt. Hier sind PFAS immer zu untersuchen.

Branche	Einsatz / Anwendung	Zeitraum	Infos
Feuerwachen (Pflicht- / Freiwilligen- / Berufs- / Werk- / Betriebsfeuerwehren)	Einsatz Löschschäume	1960 bis heute	Produktauswahl siehe Anh. 1
Brandübungsplätze	Einsatz Löschschäume	1960 bis heute	Produktauswahl siehe Anh. 1
Herstellung Feuerlöcher / Feuerlöschschäume Feuerlösch-Zerlegbetriebe	Einsatz Löschschäume z.B. bei Befüllung, Testen	1960 bis heute	Produktauswahl siehe Anh. 1
Brandereignisse mit Löscheinsatz	Einsatz Löschschäume	1960 bis heute	Produktauswahl siehe Anh. 1
Automatische Löschschaumeinrichtungen	Einsatz Löschschäume (z.B. bei Lagerung und Umschläge für brand- und/oder explosionsgefährliche Güter oder Flüssigkeiten), Fehlfunktionen	1960 bis heute	Produktauswahl siehe Anh. 1
Metallbearbeitung Herstellung Galvanikbäder Galvanische Betriebe Oberflächenveredelung	Entschäumungsmittel / Netzmittel, Nebelinhibitor (Hartverchromung, Glanzverchromung, Kunststoffgalvanisierung, Zinkverchromung, Verkupferung, Vernickelung, Vergoldung, Verzinnen, Vermessingen, Galvanisieren mit Palladium/Rhodium, Galvanisieren von Polymeren)	1960 bis heute	Produktauswahl siehe Anh. 2
Textilindustrie	Veredlung von Oberflächen / Imprägnieren von Textilien: Herstellung Membranen, Funktionsbekleidung, Schutzbekleidung, Schuhe, Teppiche, Textilien für Automobil- / Luftfahrtindustrie. Textilien für Polster- / Outdoor-Möbel, Tapeten, Sonnen- / Regenschutztextilien, Ledermöbel und -textilien, Technische Textilien und Dichtungen für Bauindustrie (z.B. Vliese), Zelte, usw.	1960 bis heute	
Wäscherei / Chemische Reinigung	Imprägnier- und Oleophobierarbeiten (maschinelles Aufsprühen, Imprägnieren in Bädern)	1960 bis heute	
Herstellung chemische Erzeugnisse / Industrielle Anwendung (1. Teil)	Herstellung / Anwendung Produkte von oben genannten Branchen (rote Liste), Skiwachs, Oberflächenveredelungs- / Imprägnierungsmittel, Antihafbeschichtungen (z.B. für Kochgeschirr)	1960 bis heute	

Betriebs- und Unfallstandorte

In den folgenden Einsatzgebieten / Branchen wurden PFAS weniger häufig oder in nur geringen Mengen eingesetzt. Hier sind PFAS zu untersuchen, sofern aufgrund der historischen Abklärungen ein Verdacht auf den Einsatz PFAS-haltiger Produkte besteht.

Branche	Einsatz / Anwendung	Zeitraum
Halbleiterindustrie Leiterplattenherstellung	Herstellung elektronische Platinen, optische Erzeugnisse mit Fotolithografie (Zusatz in Lösungen und Lacken)	1990 bis heute
Fotoindustrie, Herstellung Druckerzeugnisse	Herstellung Filme, Fotopapier, Fotoplatten, Entwicklungsflüssigkeiten	1980 bis heute
Papier- und Kartongewerbe	Papier- / Kartonherstellung, oberflächenveredelte Spezialpapiere / Lebensmittelverpackungen, wasser- / fett- / schmutzabweisende Lebensmittelkontaktpapiere, Backpapiere, Tapeten	1960 bis heute
Lack- und Farbenherstellung	Farben mit PFAS-Additiven (spezielle Wandfarben, Tinten, Druckfarben)	1960 bis heute
Herstellung / Einsatz Hochleistungs- Hydraulikflüssigkeiten	Luftfahrt (Fabrikationsstandorte, Wartungs- / Reparaturstandorte)	1970 bis heute
Herstellung Reinigungs- / Kosmetikprodukte	Haushaltspflegemittel, Schönheitspflegemittel, Duftstoffe	1970 bis heute
Herstellung chemische Erzeugnisse / Industrielle Anwendung (2. Teil)	Herstellung / Anwendung Produkte von oben genannten Branchen (orange Liste), Pflanzenschutzmittel, Fluorpolymere, Tenside für Erdölförderung, Additive für Lithiumbatterien, Flammschutz für PC-Harze, Dicht- / Schmiermittel, Emulgatoren, Auto-Wachs / -Polituren (z.B. bei Autowaschanlagen), Treibmittel für Dämmstoffe, Kältemittel	1960 bis heute

Analytik Für die Untersuchung der verschiedenen Medien im Altlasten- und Abfallbereich sind jeweils mindestens die untenstehenden **9 PFAS-Substanzen** ins Analytik-Programm aufzunehmen. Bei **konkretem Verdacht auf weitere relevante PFAS-Substanzen** sind diese ebenfalls zu untersuchen und in den Summen-Grenzwerten zu berücksichtigen. Für die Berechnung von toxizitätsgewichteten Summen-Konzentrationen (TEQ) sind gegebenenfalls entsprechende Toxizitätsäquivalenzfaktoren (TEF) herzuleiten (→ [BAFU-Dokument](#) für «Stoffe, die nicht in Anhang 1 oder 3 der Altlasten-Verordnung [AltIV] enthalten sind»).

PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFBS, PFHxS, PFOS

Informationen zu den Abkürzungen der Einzelverbindungen sowie Rechenbeispiel für die toxizitätsgewichtete PFAS-Summe mittels RPFs (Relative Potenzfaktoren, auch als Toxizitätsäquivalenzfaktoren bezeichnet) siehe [«Memorandum on the implementation of the EFSA sum TWI of PFASs»](#) vom RIVM.

Standortabgrenzung Die Standortabgrenzung ist in einer ersten Phase basierend auf der **historischen Untersuchung** (Verdachtsflächen) vorzunehmen. Falls **Feststoffproben** bereits vorliegen, ergibt sich die Standortabgrenzung (Perimeter) aus der Vereinigungsmenge von:

- **Boden:** PFAS $\geq 5 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Summenwert, nicht toxizitätsgewichtet)
- **Untergrund:** PFAS $\geq 0.1 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Summenwert, nicht toxizitätsgewichtet, Bestimmungsgrenze je Einzelverbindung: $0.1 \mu\text{g}/\text{kg}$, siehe unverschmutztes Material [U-Wert] in Abfall-Tabelle unten)

Untersuchung Wenn nach Prüfung der obigen Kriterien eine PFAS-Untersuchung notwendig ist, sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

1. Das **Schutzgut Grundwasser** ist im unmittelbaren Abstrom des Standortes auf PFAS zu untersuchen. Für PFAS-Einzelverbindungen ist eine **Bestimmungsgrenze von 1 ng/l** anzuwenden. Werden erhöhte PFAS-Konzentrationen im Abstrom gemessen und liegen bisher keine Resultate aus dem Zustrom vor, ist zu prüfen, ob für die Abgrenzung von allfälligen Grundbelastungen die Beprobung einer Zustrommessstelle notwendig ist. Bei neuen Bohrungen ist ebenfalls der Bohrkern auf PFAS zu untersuchen.
2. Hinsichtlich **Schutzgut oberirdisches Gewässer** sind die Anforderungen gemäss Vollzugshilfemodul «Belastete Standorte und Oberflächengewässer» (BAFU, 2020) zu berücksichtigen. Für PFAS-Einzelverbindungen ist eine **Bestimmungsgrenze von 1 ng/l** anzuwenden.
3. Hinsichtlich **Schutzgut Boden** ist die Beprobung des Bodens gemäss «Handbuch Probenahme und Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden» (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft [BUWAL], 2003) zu planen und durchzuführen. Es ist eine **Bestimmungsgrenze von 0.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$** je Einzelverbindung einzuhalten.

Die genannten Punkte gelten für eine Erstuntersuchung von untersuchungsbedürftigen, überwachungsbedürftigen und sanierungsbedürftigen Standorten und sind bei den laufenden und zukünftigen altlastenrechtlichen Massnahmen gemäss AltIV zu berücksichtigen. Die TOP-Assay-Analytik, mit welcher das Potential an Vorläufersubstanzen quantifiziert werden kann, ist allenfalls bei weitergehenden altlastenrechtlichen Untersuchungen anzuwenden.

Konzentrationswerte AltIV **Anh. 1 Abs. 1 AltIV:** «Sind für Stoffe, die Gewässer verunreinigen können und mit denen ein Standort belastet ist, keine Konzentrationswerte (K-Werte) festgelegt, so legt die Behörde solche mit Zustimmung des BAFU im Einzelfall nach den Vorschriften der Gewässerschutzgesetzgebung fest.»

Die Kantone müssen für die Anwendung des toxizitätsgewichteten Summen-K-Wertes die **Zustimmung des BAFU für jeden Standort** separat einholen. Das BAFU hat bisher **standortspezifisch** folgendem PFAS-Summen-K-Wert zugestimmt:

Toxizitätsgewichtete Summe PFAS = 50 ng TEQ/l TEQ = Toxizitätsäquivalent

Anh. 3 AltIV: «Sind für Stoffe, die Böden verunreinigen können und mit denen ein Standort belastet ist, keine Konzentrationswerte (K-Werte) festgelegt, so legt die Behörde solche mit Zustimmung des BAFU im Einzelfall nach den Vorschriften der Umweltschutzgesetzgebung fest.»

Die Kantone müssen für die Anwendung des **toxizitätsgewichteten Summen-K-Wertes gemäss Anh. 3 Ziff. 2** (Haus- / Familiengärten, Kinderspielplätze, Anlagen auf denen Kinder regelmässig spielen) die **Zustimmung des BAFU für jeden Standort** separat einholen. Das BAFU hat bisher **standortspezifisch** nachfolgendem PFAS-Summen-K-Wert zugestimmt. Abhängig von neu vorliegenden PFAS-Erkenntnissen auf Bundesebene kann der hier aufgeführte Summen-K-Wert angepasst werden.

Toxizitätsgewichtete Summe PFAS = 30 µg TEQ/kg TEQ = Toxizitätsäquivalent
--

Abfallgrenzwerte VVEA PFAS sind in der Abfallverordnung (VVEA) nicht geregelt. In Fällen mit fehlenden Grenzwerten kommen Anh. 3 Ziff. 3 und Anh. 5 Ziff. 6.2 VVEA zur Anwendung. Auf Anfrage und mit Zustimmung des BAFU legt das AWEL **im Einzelfall PFAS-Abfallgrenzwerte** gemäss VVEA fest. Die im folgenden Abschnitt aufgeführten AWEL-Abfallgrenzwerte PFAS zur Beurteilung des Aushub- und Ausbruchmaterials können momentan nur **standortspezifisch** mit Zustimmung des BAFU im konkreten Einzelfall angewendet werden.

Verschärfte Abfallgrenzwerte AWEL Die bisherigen Erfahrungen bei der Behandlung von PFAS-haltigem Aushub- und Ausbruchmaterial in einer Bodenwaschanlage zeigen, dass bei den üblich vorhandenen PFAS-Konzentrationen in den mineralischen Fraktionen Sand und Kies ein Endgehalt von 1.25 µg/kg in der Regel eingehalten werden kann. In Anbetracht dessen, dass die Zürcher **Deponiesickerwässer bereits (stark) mit PFAS belastet** sind sowie basierend auf der Annahme, dass für verschiedene PFAS von **gesundheitlichen Beeinträchtigungen** ausgegangen werden muss, erachtet das AWEL eine Verschärfung der bisher vom BAFU genehmigten Abfallgrenzwerte als angebracht.

Die Abfallgrenzwerte sind **Summenwerte** und **nicht Toxizitätsgewichtet**. Kenntnisse bezüglich PFAS werden sich auf der Grundlage neuer wissenschaftlicher Ergebnisse, weiterer Messungen der PFAS-Belastung in der Schweiz, der Erfahrungen aus der Praxis und möglicher neuer Rechtsvorschriften weiterentwickeln. Daher sind die verschärften AWEL-Grenzwerte als Arbeitswerte zu verstehen. **Das AWEL sieht folgende verschärfte Abfallgrenzwerte vor:**

U-Wert Grenzwert für unverschmutztes Aushubmaterial nach Anh. 3 Ziff. 1 VVEA (Bestimmungsgrenze je Einzelverbindung: 0.1 µg/kg)	< 0.1 µg/kg
T-Wert Grenzwert für schwach (oder tolerierbar) verschmutztes Aushubmaterial nach Anh. 3 Ziff. 2 VVEA Bis auf Weiteres ist eine Verwertung von PFAS-haltigen Abfällen nach Art. 19 Abs. 2 VVEA wie folgt möglich: a) als Rohstoff für die Herstellung von <u>hydraulisch gebundenen</u> Baustoffen b) als Baustoff auf Deponien der Typen B-E d) bei Tiefbauarbeiten am Ort, an dem das Material anfällt, sofern eine allenfalls notwendige Behandlung des Materials am oder direkt neben dem Ort erfolgt; vorbehalten bleibt Art. 3 der AltIV (kein weiterer altlastenrechtlicher Handlungsbedarf → <u>Gefährdungsabschätzung</u> nötig)	1.25 µg/kg
B-Wert Grenzwert für Material zur Ablagerung auf Deponien des Typs B nach Anh. 5 Ziff. 2.3 VVEA, Ablagerung nur nach vorgängiger Behandlung	2.5 µg/kg
E-Wert Grenzwert für Material zur Ablagerung auf Deponien des Typs E nach Anh. 5 Ziff. 5.2 VVEA, Ablagerung nur nach vorgängiger Behandlung	5.0 µg/kg

PFAS-belastete Aushub- und Rückbaumaterialien

Bei zu entsorgendem PFAS-belastetem Material, welches auf einer Deponie abgelagert werden soll, können zusätzlich zum Feststoffgehalt **Eluat-Messungen** angeordnet werden. Die Klassierung erfolgt nach den Feststoffgehalten, die Eluat-Werte dienen lediglich dazu, Erkenntnisse über die Eluierbarkeit der abzulagernden PFAS und der damit verbundenen Umweltgefährdung zu gewinnen. Die Bauherrschaft reicht dem AWEL mit dem **Entsorgungskonzept** die **detaillierten Behandlungs- und Entsorgungswege** mit den jeweiligen Abnahmebestätigungen zur Genehmigung ein. Das AWEL, **Sektion Abfallwirtschaft, prüft die Entsorgungswege standortspezifisch.**

Behandlungspflicht und Verwertung

PFAS-haltige Abfälle sind möglichst vollständig zu behandeln. Eine Behandlung in einer Bodenwaschanlage ist nach derzeitigem Kenntnisstand ökologisch und technisch machbar, sodass die verschmutzten Bauabfälle in Abhängigkeit von ihrem PFAS-Verschmutzungsgrad und ihrem Feinkornanteil zu behandeln sind. Das heisst: ab **Überschreitung des T-Wertes (> 1.25 µg/kg)** muss unabhängig von der kantonalen Behandlungsregel **100% des PFAS-belasteten Materials behandelt** werden. Resultierende PFAS-Belastungen > 5 µg/kg sind zu zerstören oder einer thermischen Abfallanlage zuzuführen. Die Eignung von Zementwerken (gemäss Art. 19 Abs. 2 Bst. c VVEA) für die Behandlung von PFAS-belastetem Material wird derzeit in einem Pilotversuch abgeklärt. Eine Verwertung als Rohmehlersatz ist noch nicht zulässig.

Anhang 1 – Schaumlöschmittel

Produkt*	Name	Fluorhaltig
AFFF	Aqueous Film Forming Foam - <i>Wasserfilmbildender Schaum</i>	Ja
AFFF / AR	Aqueous Film Forming Foam / Alcohol Resistant - <i>Wasserfilmbildender Schaum, alkoholbeständig</i>	Ja
FP	Fluoro Protein Foam - <i>Proteinschaum mit Fluortensiden</i>	Ja
FP / AR	Fluoro Protein Foam / Alcohol Resistant - <i>Proteinschaum mit Fluortensiden, alkoholbeständig</i>	Ja
FFFP	Film Forming Fluoroprotein Foam - <i>Wasserfilmbildender Proteinschaum mit Fluortensiden</i>	Ja
FFFP / AR	Film Forming Fluoroprotein Foam / Alcohol Resistant - <i>Wasserfilmbildender Proteinschaum mit Fluortensiden, alkoholbeständig</i>	Ja
Class A	Schaum- / Netzmittel für Brandklasse A	Nein
MBS	Mehrbereichsschaummittel	Nein
P	Proteinschaum	Nein
FFF	Fluorine Free Foam - <i>Fluorfreier Schaum</i>	Nein
FFF / AR	Fluorine Free Foam / Alcohol Resistant - <i>Fluorfreier Schaum, alkoholbeständig</i>	Nein

*Liste nicht vollständig

Anhang 2 – Galvanik Produkte

Produkt*	Lieferant	Tenside	Ref.
Fumex 90	Erne Surface AG	PFOS	[2]
MacuPlex L500	MacDermid Enthone	PFOS	[2]
Cr 320 Tenside	Riag Oberflächentechnik	6:2-FTS	[2]
Fumetrol 21	Atotech	6:2-FTS	[1]
Fumetrol® 21 LF 2	Atotech	6:2-FTS	[1], [2]
CR Netzmittel	Atotech	6:2-FTS	[1]
SLOTOCHROM CR 1271	Schloetter	6:2-FTS	[1]
CL-AKChromprotector BA	CL-Technology	?	[1]
CHROM NETZMITTEL-LF	CL-Technology	?	[1]
Non Mist-L	Uyemura	?	[1]
Cancel ST-45	Plating Resources, Inc.	?	[1]
FS-600 High foam	Plating Resources, Inc.	Fluorierte Stoffe	[1]
FS-750 Low foam	Plating Resources, Inc.	Fluorierte Stoffe	[1]
ANKOR® Hydraulics MS	Enthone Inc.	6:2-FTS	[1]
ANKOR® PF 1	Enthone Inc. / Erne Surface AG	6:2-FTS	[1], [2]
ANKOR® Dyne 30 DC	Enthone Inc.	6:2-FTS	[1]
ANKOR® Dyne 30 MS	Enthone Inc.	6:2-FTS	[1]
UDIQUÉ® Wetting Agent PF 2	Enthone Inc.	6:2-FTS	[1]
PROQUEL OF	Kiesow Dr. Brinkmann	6:2-FTS	[1], [2]
F53 Chromic Fog Inhibitor	Hangzhou Dayangchem Co. Ltd.	Fluoriertes sulfonate	[1]
F53B Chromic Fog Inhibitor	Hangzhou Dayangchem Co. Ltd.	Fluoriertes sulfonate	[1]
Helio Chrome Wetting Agent FF	Walter Kasper	6:2-FTS	[1]

*Liste nicht vollständig

- [1] Umweltbundesamt (UBA), August 2016, «Verwendung von PFOS in der Galvanik – Kennzeichen eines geschlossenen Kreislaufs, Verwendung von Ersatzstoffen»
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/verwendung_von_pfos_in_der_galvanik_final.pdf
- [2] Hauser+Walz GmbH, Mai 2020, «Verwendung von Fluortensiden in der Galvanikbranche»
https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/chemikalien/externe-studien-berichte/verwendung-von-fluortensiden-in-der-galvanikbranche.pdf.download.pdf/Fluortenside_in_der_Galvanik.pdf