



Bundesamt für Infrastruktur,
Umweltschutz und Dienstleistungen
der Bundeswehr



Bundesanstalt für
Immobilienaufgaben



PFAS-Leitfaden für Liegenschaften des Bundes

Anhang A-8.2 der Baufachlichen Richtlinien Boden- und Grundwasserschutz

5. Auflage März 2024

PFAS-Leitfaden für Liegenschaften des Bundes

Anhang A-8.2 der Beruflichen Richtlinien Boden- und Grundwasserschutz

5. Auflage März 2024

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis.....	1
1 Vorbemerkung/Veranlassung.....	3
2 Einleitung.....	5
3 Grundlagen	6
3.1 Eigenschaften	6
3.2 Umweltrelevanz und Toxizität.....	8
3.3 Haupteintragswege in die Umwelt.....	9
3.4 Beurteilungsgrundlagen	10
4 Wirkungspfade.....	18
4.1 Wirkungspfad Boden-Grundwasser	18
4.2 Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze.....	19
4.3 Wirkungspfad Boden-Mensch	19
5 Phase I – Erfassung und Erstbewertung KVF.....	20
5.1 Feuerwehr/Brandbekämpfung.....	21
5.2 Galvanikanlagen	25
5.3 Wäschereien	25
5.4 Entwässerungsanlagen	26

6 Phase II – Untersuchungen und Gefährdungsabschätzung.....	27
6.1 Untersuchungsstrategie	28
6.2 Probengewinnung	29
6.3 Probenaufbereitung und Analytik	31
6.4 Phase IIa – Orientierende Untersuchung	36
6.5 Phase IIb – Detailuntersuchung.....	38
6.6 Abschließende Gefährdungsabschätzung	39
7 Phase III - Sanierung.....	40
8 Umgang mit PFAS-haltigem Boden- und Pflanzenmaterial.....	43
9 Literatur.....	47
Anlagen	51
Anlage A-1: Auswertung zur Einführung des BMUV-Leitfadens in den Ländern mit Auflistung relevanter länderspezifischer Angaben (Stand 30.11.2023)	51
Anlage A-2: Wesentliche weitere Bewertungsmaßstäbe.....	60

Abkürzungsverzeichnis

6:2 di-PAP	6:2 Fluortelomerphosphatdiester	EFSA	European Food Safety Authority - europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
6:2 FTS (H4PFOS)	6:2 Fluortelomersulfonsäure (1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfonsäure)	EOF	Extrahierbares organisch gebundenes Fluor
AbwV	Abwasserverordnung	FTOH	Fluortelomeralkohole
AFFF	Aqueous Film Forming Foams = A3F - Wasserfilmbildende Schaumlöschmittel	FTS	Fluortelomersulfonsäure
AFFF-AR	Aqueous Film Forming Foams Alcohol-Resistant – Alkoholresistente wasserfilmbildende Schaumlöschmittel	FÜB	Feuerlöschübungsbecken
ALARA	as low as reasonably achievable - so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar	GFS	Geringfügigkeitsschwelle
AOF	Adsorbierbares organisch gebundenes Fluor	GOW	Gesundheitlicher Orientierungswert
BAIUDBw	Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz	HBM	Human-Biomonitoring
BAIUDBw KompZ	Kompetenzzentrum des Bundesamtes für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr	HPLC-MS/MS	Hochleistungs- und massenspektrometrische Detektion
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz	KF	Kontaminierte Fläche
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung	KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
BFR BoGwS	Baufachliche Richtlinie Boden- und Grundwasserschutz	KVF	Kontaminationsverdächtige Fläche
BImA	Bundesanstalt für Immobilienaufgaben	LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
BMVg	Bundesministerium der Verteidigung	LAK	Liegenschaftsbezogene Abwasserentsorgungskonzepte
Bw	Bundeswehr	LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft
DP	Direct-Push	LFA	Leichtflüssigkeitsabscheider
		NLBL	Niedersächsisches Landesamt für Bau und Liegenschaften
		OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development - Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
		OGewV	Oberflächengewässerverordnung
		OW	Orientierungswert

PAP	Polyfluorierte Alkylphosphate	PFTrDS	Perfluortridecansulfonsäure
PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen	PFUnDA	Perfluorundecansäure
PFBA	Perfluorbutansäure	PFUnDS	Perfluorundecansulfonsäure
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure	PNEC	effect concentration - vorhergesagte Konzentration, bei der keine Wirkung auftritt
PFC	Per- und polyfluorierte Chemikalien	POP	persistant organic pollutant - persistenter organischer Schadstoff
PFDA	Perfluordekansäure	QS	Quotientensumme
PFDoDA	Perfluordodecansäure	REACH-Verordnung	Europäische Chemikalienverordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe
PFDoDS	Perfluordodecansulfonsäure	RRB	Regenrückhaltebecken
PFDS	Perfluordecansulfonsäure	SLB	Start-/Landebahnen
PFHpA	Perfluorheptansäure	TOP	total oxidizable precursor - gesamte oxidierbare PFAS-Vorläuferverbindungen
PFHpS	Perfluorheptansulfonsäure, Perfluorheptansulfonsäure	TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
PFHxA	Perfluorhexansäure	TrinkwV	Trinkwasserverordnung
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure	TWI	tolerable weekly intake - duldbare wöchentliche Aufnahmemenge
PFNA	Perfluornonansäure	TWLW	Trinkwasser-Leitwerte
PFNS	Perfluornonansulfonsäure	UBA	Umweltbundesamt
PFOA	Perfluorooctansäure, Perfluorooctansäure	UMK	Umweltministerkonferenz
PFOS	Perfluorooctansulfonsäure	W/F-Verhältnis	Wasser/Feststoff-Verhältnis bei Eluat
PFOSA	Perfluorooctansulfonamid	WHG	Wasserhaushaltsgesetz
PFPeA	Perfluorpentansäure		
PFPeS	Perfluorpentansulfonsäure		
PFSA	Perfluorierte Sulfonsäuren		
PFT	Perfluorierte Tenside		
PFTrDA	Perfluortridecansäure		

1 Vorbemerkung/Veranlassung

In der 37. Sitzung des Arbeitskreises Boden- und Grundwasserschutz im Juni 2023 wurde beschlossen, in allen Dokumenten vom Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) und von der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA) zukünftig die international gebräuchliche Bezeichnung „PFAS“ (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen, engl.: per- and polyfluoroalkyl substances) anstelle von „PFC“ (per- und polyfluorierte Chemikalien) zu verwenden. Dies betrifft damit auch den vorliegenden Leitfaden.

Zahlreiche, zum Teil sehr große PFAS-Schadensfälle in Deutschland haben zu einer verstärkten öffentlichen Wahrnehmung dieser Stoffgruppe geführt. Auch auf den Bundesliegenschaften der BImA, einschließlich der von der Bundeswehr (Bw) genutzten Flächen – im Folgenden Bundesliegenschaften genannt – ist die Gruppe der PFAS bei der Bearbeitung von Boden- und Gewässerkontaminationen im Rahmen der Kontaminationsbearbeitung von Bw und BImA in den Fokus gerückt.

Das Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr (BAIUDBw) hatte die lange Zeit gänzlich fehlenden Bewertungsgrundlagen für diese Schadstoffgruppe und die damit einhergehenden Herausforderungen zum Anlass genommen, einen Leitfaden zu entwickeln. Den für die Kontaminationsbearbeitung in der Bundeswehr zuständigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern wurde damit eine erste Hilfestellung gegeben und die Vorgehensweise bei der Bearbeitung von PFAS-Schadensfällen vereinheitlicht.

Die 1. Auflage des bisher so genannten PFC-Leitfadens wurde vom Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen (BAIUDBw) im Mai 2015 herausgegeben. Im September 2016 erschien nach redaktioneller Überarbeitung die 2. Auflage.

Mit der 3. Auflage wurde ein vom BAIUDBw und der BImA als Grundstückseigentümerin der Bundesliegenschaften gemeinsam erarbeiteter Leitfaden veröffentlicht.

Die 4. Auflage wurde vor allem notwendig, um aktuelle Veröffentlichungen und Beurteilungsgrundlagen zu berücksichtigen, Vorgaben bei den Untersuchungen zu konkretisieren und Erfahrungen aus der Bearbeitung von Liegenschaften aufzugreifen. Gegenüber der 3. Auflage vom Juni 2018 erfolgte eine umfangreiche Umstrukturierung der Inhalte.

Mit dem Anlass, die Bezeichnung von PFC zu PFAS zu ändern, erfolgte Ende 2023 auch eine inhaltliche Überarbeitung, so dass der Leitfaden als 5. Auflage aufgelegt wird. Berücksichtigt wurde dabei die nunmehr vorliegende Endfassung des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) herausgegebenen „Leitfadens zur PFAS-Bewertung“ vom 21.02.2022 (im Folgenden als „BMUV-Leitfaden“ bezeichnet zur Unterscheidung vom ähnlich lautenden hier vorliegenden „PFAS-Leitfaden für Liegenschaften des Bundes“). Die Endfassung des BMUV-Leitfadens unterscheidet sich teilweise von der Entwurfsfassung vom 27.04.2021, die in der 4. Auflage des Leitfadens für Bundesliegenschaften herangezogen wurde. Die 5. Auflage greift auf, dass es bei der Einführung des BMUV-Leitfadens in den Bundesländern einige länderspezifische Abweichungen von der bundesweiten Vollzugshilfe gibt. Zudem sind durch die ersten bundeseinheitlichen Bewertungsgrundlagen die in einigen Ländern schon bestehenden und bisher im Leitfaden für Liegenschaften des Bundes detailliert aufgeführten Beurteilungswerte teilweise obsolet geworden. Eine weitere wichtige Aktualisierung betrifft die Implementierung von Prüfwerten für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser in der am 01.08.2023 in Kraft getretenen neuen Fassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 2021).

Diese Auflage sowie künftige Fortschreibungen dienen der einheitlichen Bearbeitung von PFAS-Kontaminationen auf Bundesliegenschaften. Für Liegenschaften der Gaststreitkräfte gilt der PFAS-Leitfaden nur, soweit die Anwendbarkeit mit den Gaststreitkräften ausdrücklich vereinbart wurde.

Als Anhang 8.2 der Baufachlichen Richtlinien Boden- und Grundwasserschutz (BFR BoGwS) werden Aktualisierungen dieses Leitfadens (ggf. auch kapitelweise), beginnend mit der 4. Auflage, ausschließlich online über die Leitstelle des Bundes zur Verfügung gestellt (<https://www.leitstelle-des-bundes.de> bzw. <https://www.bfr-bogws.de>).

2 Einleitung

PFAS sind künstliche chemische Verbindungen, die mittlerweile ubiquitär vorhanden sind. Neben PFAS sind bzw. waren auch die Bezeichnungen PFC und zuvor PFT (perfluorierte Tenside) gebräuchlich. Dabei ist zu berücksichtigen, dass trotz teils synonyme Verwendung der Bezeichnungen nicht grundsätzlich die gleiche Schadstoffgruppe gemeint ist.

Nach derzeitigem Kenntnisstand gilt für alle PFAS, dass sie in perfluorierter Form biotisch und abiotisch nicht oder nur sehr schlecht abbaubar sind und sich somit in den Umweltmedien anreichern können. Vom Menschen z.B. über das Trinkwasser oder belastete Lebensmittel aufgenommene PFAS-Verbindungen stellen aufgrund ihrer gesundheitsschädigenden Wirkung somit eine Gefahr dar.

Neben zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten sind bzw. waren PFAS in bestimmten Schaumlöschmitteln enthalten. Daher können insbesondere auf militärisch genutzten bzw. vorgeutzten Liegenschaften mit eigenen Feuerwehren (z.B. Flugplätze und Übungsplätze) sowie auf Liegenschaften, auf denen externe Feuerwehren üben, geübt haben und/oder es zu Löscheinsätzen kam, PFAS-Kontaminationen des Untergrunds nicht ausgeschlossen werden.

Weitere Eintragsquellen speziell auf aktuell oder ehemals militärisch von der Bw bzw. den Gaststreitkräften genutzten Liegenschaften sind ebenfalls nicht gänzlich auszuschließen. Zu nennen sind z.B. Wäschereien oder galvanische Anlagen. PFAS-Bodenkontaminationen ohne direkten räumlichen Bezug zu einer typischen Eintragsquelle können zudem infolge

von liegenschaftsinternen Bodenumlagerungen z.B. im Zuge von Baumaßnahmen verursacht worden sein.

Unabhängig davon, ob Liegenschaften aktiv von der Bw oder den Gaststreitkräften genutzt werden oder die Nutzung bereits aufgegeben wurde, werden sie im Folgenden als militärisch genutzte Liegenschaften bezeichnet.

Der Leitfaden liefert eine Einführung in die Stoffgruppe der PFAS und enthält Vorgaben für eine einheitliche Untersuchungsstrategie von PFAS-spezifischen kontaminationsverdächtigen Flächen bzw. kontaminierten Flächen auf Bundesliegenschaften. Unter Beachtung übergeordneter und länderspezifischer Handlungsanweisungen und Bewertungsmaßstäbe wurde ein strukturierter, auf allen Liegenschaften praktikabler und einheitlicher Untersuchungsansatz abgeleitet.

Im Hinblick auf aktuelle Veröffentlichungen, die bei der 4. und 5. Auflage zu berücksichtigen waren, sind insbesondere die UBA-Veröffentlichung zum Sanierungsmanagement („Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen – Abschlussbericht“, UBA 2020b) und der von einer Bund/Länder-Arbeitsgruppe erstellte „Leitfaden zur PFAS-Bewertung – Empfehlung für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials“ (BMUV, 2022) zu nennen.

Der vorliegende Leitfaden ist als Anhang A-8.2 Bestandteil der Baufachlichen Richtlinien Boden- und Grundwasserschutz (BFR BoGWS) und stellt den Wissensstand von März 2024 dar.

3 Grundlagen

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen sind synthetische Stoffe, die nicht natürlich vorkommen. Seit den späten 1940er/frühen 1950er Jahren (Richter et al., 2018) hat sich die Fluorchemie in einer Vielzahl von Anwendungsgebieten etabliert. Seit den 1970er Jahren werden Fluorverbindungen auch verbreitet in Schaumlöschmitteln eingesetzt. Inzwischen umfasst die Stoffgruppe PFAS mehrere tausend Einzelsubstanzen.

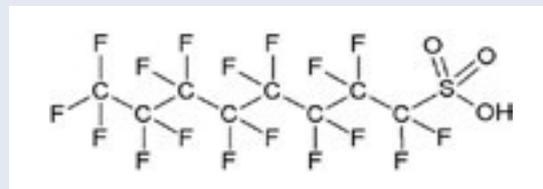
3.1 Eigenschaften

PFAS-Verbindungen bestehen aus einer unpolaren, also hydrophoben bzw. wasserabstoßenden Kohlenstoffkette und einer polaren, also hydrophilen bzw. wasseranziehenden funktionellen Gruppe. Bei einer vollständigen Substitution der Wasserstoffatome durch Fluoratome spricht man von perfluorierten Verbindungen. Bei einem nur

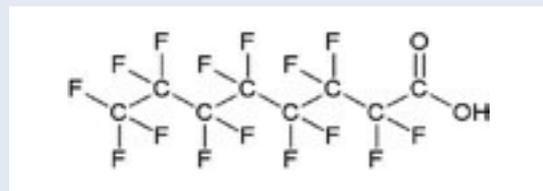
teilweisen Ersatz der Wasserstoffatome durch Fluoratome handelt es sich um polyfluorierte PFAS-Verbindungen.

Die PFAS werden im Wesentlichen in drei Untergruppen gegliedert (siehe Abbildung 1):

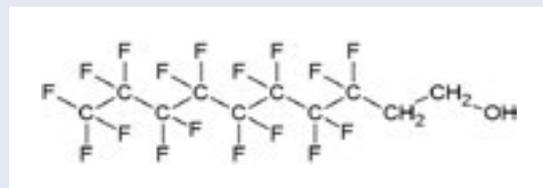
- 1 **Perfluorierte Sulfonsäuren (PFSA)** mit einer Sulfonsäure als funktioneller Gruppe. PFAS mit einer Sulfonsäure sind durch die Endung „S“ gekennzeichnet, bekanntester Vertreter ist Perfluoroctansulfonsäure (PFOS).
- 2 **Perfluorierte Carbonsäuren (PFCA)** mit einer Carbonsäure als funktioneller Gruppe. PFAS mit einer Carbonsäure sind durch die Endung „A“ gekennzeichnet, bekanntester Vertreter ist Perfluoroctansäure (PFOA).
- 3 **Fluortelomeralkohole (FTOH)** mit einer Alkylgruppe aus fluorierten und nicht fluorierten Kohlenstoffatomen, bekanntester Vertreter ist 8:2 FTOH.



Beispiel: Strukturformel von PFOS



Beispiel: Strukturformel von PFOA



Beispiel: Strukturformel von 8:2-Fluortelomeralkohol 8:2 FTOH

Abbildung 1: Untergruppen per- und polyfluorierter Verbindungen und Beispiele für Strukturformeln

Neben den drei in Abbildung 1 aufgeführten Untergruppen gibt es, insbesondere bei den polyfluorierten Verbindungen, weitere PFAS-Untergruppen (vgl. UBA, 2020b). Dies sind unter anderem die polyfluorierten Sulfonsäuren bzw. Fluortelomersulfonsäuren (z.B. 6:2 FTS bzw. H4PFOS), polyfluorierte Verbindungen wie die Polyfluoralkylbetaine (z.B. Capstone A) und polyfluorierte Alkylphosphate (PAP z.B. 6:2 di-PAP). Polyfluorierte Sulfonsäuren und Polyfluoralkylbetaine werden als PFOS-Ersatzstoffe in Schaumlöschmitteln verwendet. Polyfluorierte Alkylphosphate sind primär im Zusammenhang mit Einträgen aus der Papierindustrie bekannt.

Die Unterscheidung der PFAS-Gruppen erfolgt anhand der nicht fluorierten funktionellen Gruppe. Bei perfluorierten Sulfonsäuren (PFSA) und perfluorierten Carbonsäuren (PFCA) ist diese als Säure ausgebildet. Bei den Fluortelomeralkoholen (FTOH) handelt es sich um polyfluorierte Verbindungen mit einem Alkohol als funktionelle Gruppe.

Die Fluortelomeralkohole bilden mit einer Vielzahl weiterer polyfluorierter Verbindungen die Gruppe der sogenannten Precursor (Vorläuferverbindungen). Bei den Precursor handelt es sich um solche PFAS-Verbindungen, die unter bestimmten Rahmenbedingungen zu perfluorierten Verbindungen transformiert werden können. Die so entstehenden perfluorierten Verbindungen bilden

dann stabile Endprodukte des Umwandlungsprozesses.

Aufgrund unterschiedlicher chemischer Eigenschaften wird zwischen kurzkettigen und langkettigen PFAS-Verbindungen unterschieden (vgl. Tabelle 1). Die kurzkettigen PFAS-Verbindungen gelten als besonders hydrophil und weniger adsorptiv im Vergleich zu langkettigen PFAS-Verbindungen. Langkettige PFAS-Verbindungen werden dagegen etwas besser am Feststoff gebunden und sind i.d.R. immobilere als kurzkettige Verbindungen. Weiterhin gelten Perfluorcarbonsäuren gegenüber Perfluorsulfonsäuren als relativ mobiler (bei gleicher Anzahl an Kohlenstoffatomen).

Bis auf die Gruppe der Fluortelomeralkohole weisen PFAS einen eher geringen Dampfdruck auf und sind somit als gering flüchtig einzustufen (LANUV NRW, 2011; LABO, 2015). In Ausnahmefällen, z.B. bei der Produktion von PFOA, liegt die Substanz in nicht-dissoziierter Form vor. In dieser Form weist die an sich gering flüchtige Substanz eine erhöhte Flüchtigkeit auf (UBA, 2020b, Anhang A).

Tabelle 1: Differenzierung zwischen PFSA und PFCA bei kurz- und langkettigen Verbindungen (Quelle: OECD 2023)

PFSA/PFCA	Verbindung	Anzahl an vollfluorierten C-Atomen	Beispiel
PFSA	langkettig	≥ 6	Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)
	kurzkettig	< 6	Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)
PFCA	langkettig	≥ 7	Perfluorooctansäure (PFOA)
	kurzkettig	< 7	Perfluorbutansäure (PFBA)

Der spezielle Aufbau und die fluorierte Kohlenstoffkette bedingen die wasser-, öl-, fett- und schmutzabweisenden Eigenschaften der PFAS. Durch die geringe Oberflächenspannung der PFAS können diese viele Oberflächen sehr gut benetzen. Gleichzeitig sind Vertreter der PFAS hitzebeständig und chemisch stabil. Gerade diese Eigenschaften machen sie zu gerne und vielfältig eingesetzten Substanzen. Vielfältige Anwendungsgebiete sind in der Metall-, Papier-, Glas- und Erdölindustrie zu finden. PFAS-Verbindungen sind in Alltagsgegenständen wie Einweg-Kaffeetassen, Pizzakartons, Outdoor-Bekleidung und Teflonpfannen enthalten (Eurofluor, 2015). Bei der Brandbekämpfung werden PFAS aufgrund ihrer Eigenschaften in Schaumlöschmitteln eingesetzt. Ein Eintrag von PFAS in die Umwelt kann bei der Herstellung, der Verwendung und der Entsorgung solcher Produkte erfolgen (siehe hierzu Kapitel 3.3).

Eine sehr umfangreiche Beschreibung der Stoffeigenschaften von PFAS findet sich in Anhang A des Abschlussberichts des UBA zum „Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen“ (Texte 137/2020).

3.2 Umweltrelevanz und Toxizität

Die in Kapitel 3.1 erläuterten Eigenschaften machen PFAS zu besonders kritischen Umweltschadstoffen. Insbesondere die perfluorierten Verbindungen sind biotisch durch Mikroorganismen und abiotisch durch chemische Umwandlungsprozesse nahezu nicht abbaubar bzw. mineralisierbar. Dadurch kommt es zu Anreicherungen dieser Verbindungen in Böden, Wasser, Mensch und Tier, also in der Umwelt.

PFAS-Verbindungen können ab einer Temperatur von ca. 600°C in die Gasphase übergehen, eine vollständige Mineralisation findet erst ab einem Temperaturniveau > 1.100°C statt (Schultz et al., 2003).

Seit dem 27.12.2006 gilt auf Grundlage der EU-Richtlinie 2006/122/EG ein EU-weites Stoffverbot für Perfluorooctansulfonsäure (PFOS), das jedoch Ausnahmen zulässt. In nationales Recht wurde es in Deutschland in der Chemikalienverbotsverordnung und der Gefahrstoffverordnung umgesetzt (siehe dazu: BGBl Nr. 52 25/10/2007 Nr. 2382).

Gemäß der Verordnung der europäischen Kommission von Juni 2017 (2017/1000) unterliegen auch die Herstellung, das Inverkehrbringen, die Verwendung und der Import von Perfluorooctansäure (PFOA), ihrer Salze und Vorläuferbindungen (Precursor) nach REACH ab 2020 entsprechenden Beschränkungen (EU, 2017). Demnach darf PFOA nach dem 04. Juli 2020 EU-weit weder hergestellt noch in Verkehr gebracht werden.

Für PFOS (EU-Verordnung 2019/1021 (EU, 2019)) als auch für PFOA (EU-Verordnung 2017/1000 (EU, 2017)) wurden Ausnahmeregelungen in Form von (Konzentrations-) Beschränkungen erlassen.

PFOA (seit 2010) und PFOS (seit 2017) sind bereits seit einigen Jahren gemäß Stockholm-Konvention (POP, 2017) als langlebige organische Schadstoffe (persistent organic pollutant, POP) eingestuft. 2022 wurde PFHxS in die Stockholm-Konvention als weiteres POP aufgenommen.

Aktuelle Entwicklungen in der Chemikalienpolitik bzgl. PFAS werden auf den Internetseiten des BMUV aufgeführt (<https://www.bmu.de/faq/per-und-polyfluorierte-chemikalien-pfas>).

Trotz ihrer vielfachen Anwendung in verschiedensten Produkten ist ein Großteil der PFAS-Einzelstoffe und ihre jeweiligen Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt bis heute noch vergleichsweise wenig erforscht. Seit einigen Jahren wird daher weltweit versucht, die Wissenslücken bezüglich PFAS durch Studien und Forschungsvorhaben zu schließen.

Im Ergebnis verschiedenster Studien liegen Hinweise auf folgende gesundheitliche Auswirkungen von PFAS auf die menschliche Gesundheit vor (UBA, 2020b; WHO IARC, 2023):

- Verminderte Immunantwort auf Impfungen
- Erhöhter Cholesterinspiegel
- Erhöhter Harnsäurespiegel
- Reduzierte Nierenfunktion
- Beeinflussung der Schilddrüsenhormone und Sexualhormone
- Verringerung der Fruchtbarkeit bei Frauen
- Späteres Alter für den Beginn der Menstruation bei Mädchen, frühere Menopause
- Geringeres Geburtsgewicht von Säuglingen
- PFOS gilt als potentiell kanzerogen
- PFOA gilt als kanzerogen

3.3 Haupteintragswege in die Umwelt

Der Eintrag von PFAS in gelöster Form z.B. in Löschschäumen sowie über „Auswaschungen“ aus PFAS-haltigen Produkten stellt den Haupteintragsweg der PFAS in die Umwelt dar. Dabei ist der Einsatz von PFAS in Löschschäumen die Hauptursache für PFAS-Kontaminationen auf Bundesliegenschaften.

Darüber hinaus können PFAS auch in erheblichen Mengen über das Abwasser in Klärschlämme verfrachtet werden. Findet PFAS-haltiger Klärschlamm dann Anwendung als Dünger, können großflächig landwirtschaftliche Flächen durch PFAS kontaminiert werden.

Zwei bundesweit bekannte großflächigere Schäden resultieren aus dem Aufbringen von vermeintlichen Bodenverbessern auf landwirtschaftliche Nutzflächen. Es stellte sich heraus, dass das Material PFAS-kontaminierte Industrieabfälle bzw. Papierschlämme enthielt (Brilon-Scharfenberg, Rastatt/Baden-Baden).

Eine atmosphärische Deposition von PFAS ist trotz der eher geringen Flüchtigkeit der meisten Substanzen grundsätzlich nicht auszuschließen (UBA, 2020a). Einträge über atmosphärische Deposition z.B. im Umfeld von PFOA produzierendem Gewerbe können zu großflächigen PFAS-Kontaminationen führen (Beispiel Gendorf). Auch neigen PFAS dazu, sich an Partikel wie z.B. Stäube/Feinstäube zu binden, wodurch es zu einem Nachweis von PFAS z.B. in Waldböden auch in großer Entfernung von Industrieanlagen kommen kann. Bei Oberbodenuntersuchungen sollte die atmosphärische Deposition bei der Bewertung berücksichtigt werden.

3.4 Beurteilungsgrundlagen

Während einzelne Bundesländer zuvor schon eigene fachliche Hinweise und Bewertungsmaßstäbe in unterschiedlicher Form herausgegeben hatten (Leitfäden, Erlasse, Online-Veröffentlichungen), gab es lange keine bundesweiten Vorgaben zur PFAS-Bewertung. Inzwischen liegt zum einen die Endfassung vom 21.02.2022 des vom BMUV herausgegebenen Leitfadens zur PFAS-Bewertung vor (BMUV, 2022). Zum anderen enthält die am 01.08.2023 in Kraft getretene neue Fassung der BBodSchV nun Prüfwerte für sieben PFAS-Einstoffe für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser.

Den BMUV-Leitfaden haben alle Länder bis auf Bayern grundsätzlich als Vollzugshilfe eingeführt (Bayern hat Inhalte des BMUV-Leitfadens in den schon bestehenden eigenen Leitfäden implementiert). Einige Länder machen wenige, aber relevante Konkretisierungen oder Abweichungen vom BMUV-Leitfaden, die bei der Bearbeitung zu beachten sind. Anlage A-1 enthält eine Auswertung zur Einführung des BMUV-Leitfadens in den Ländern mit Auflistung relevanter länderspezifischer Angaben, die bei der Kontaminationsbearbeitung zu beachten sind.

Anlage A-2 enthält im Wesentlichen Beurteilungswerte, die nicht im Textteil aufgeführt sind bzw. länderspezifische Ergänzungen oder Abweichungen darstellen. Der Umfang landesspezifischer Werte konnte durch die Einführung bundeseinheitlicher Werte mit dem BMUV-Leitfaden im Vergleich zu den vorherigen Auflagen des vorliegenden Leitfadens deutlich reduziert werden. Alle Werte aus Text und Anlagen stellen eine momentane Bestandsaufnahme dar. Die Aufstellung hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit und muss hinsichtlich ihrer Aktualität und Anwendbarkeit stets überprüft werden.

Grundwasser

Von der LAWA-LABO-Kleingruppe PFC wurden 13 PFAS-Verbindungen als prioritär eingestuft, die gleichzeitig das Mindestuntersuchungsprogramm bilden (s. Kap. 6.3). Davon konnten für sieben PFAS-Einstoffe Geringfügigkeitsschwellenwerte für das Grundwasser abgeleitet werden (LAWA, 2017b).

Die Geringfügigkeitsschwelle (GFS) ist u.a. definiert als die Konzentration eines anthropogen eingetragenen Stoffs, bis zu der eine räumlich begrenzte Änderung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers als geringfügig einzustufen ist (LAWA, 2017a). Die Festlegung von GFS-Werten beruht grundsätzlich auf humantoxikologischen (Qualitätsanforderungen für das Trinkwasser) und ökotoxikologischen Bewertungen. Es wird jeweils der niedrigere Wert als GFS-Wert übernommen.

Bei der Ableitung der GFS-Werte für PFAS zeigte sich, dass das Schutzgut Trinkwasser (humantoxikologische Ableitung) - zumeist deutlich - empfindlicher zu beurteilen ist als das Schutzgut der aquatischen Lebensgemeinschaften (ökotoxikologische Ableitung) (LAWA, 2017b).

Für die sechs anderen prioritären PFAS-Einzelverbindungen können bisher nur gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) angegeben werden. Ein GOW wird festgelegt, wenn die Datenbasis für die Bewertung eines Stoffs oder einer Stoffsumme noch zu gering ist. Er ist wissenschaftlich unverbindlicher als ein Trinkwasser-Leitwert. Je geringer die Kenntnisse zu den toxischen Wirkungen eines Stoffs sind, desto niedriger fällt der GOW aus (UBA, 2011).

Die von der LABO-LAWA-Kleingruppe erarbeiteten GFS-Werte und die GOW wurden im BMUV-Leitfaden aufgenommen.

Beurteilungswerte für die abgeleiteten prioritären sowie weiterer PFAS sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Tabelle gibt zudem an, welche Einzelverbindungen in der am 24.06.2023 in Kraft getretenen neuen Trinkwasserverordnung (TrinkwV) aufgelistet sind (s.a. Exkurs Bewertungsmaßstäbe Trinkwasser).

Tabelle 2: PFAS-Parameter und Beurteilungswerte

	Stoffname	Abkürzung	GFS [µg/L]	GOW [µg/L]	TrinkwV* (2023)	
13 prioritäre Parameter	Perfluorbutansäure ^{a)}	PFBA	10		+	
	Perfluorpentansäure	PFPeA		3,0	+	
	Perfluorhexansäure ^{a)}	PFHxA	6		+	
	Perfluorheptansäure	PFHpA		0,3	+	
	Perfluoroctansäure ^{a)}	PFOA	0,1		++	
	Perfluornonansäure ^{a)}	PFNA	0,06		++	
	Perfluordecansäure	PFDA		0,1	+	
	Perfluorbutansulfonsäure ^{a)}	PFBS	6		+	
	Perfluorhexansulfonsäure ^{a)}	PFHxS	0,1		++	
	Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS		0,3	+	
	Perfluoroctansulfonsäure ^{a)}	PFOS	0,1		++	
	1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfonsäure	6:2 FTS (H4PFOS)			0,1	
	Perfluoroctansulfonamid	PFOSA			0,1	

	Stoffname	Abkürzung	GFS [µg/L]	GOW [µg/L]	TrinkwV* (2023)
Weitere PFAS-Parameter	Perfluorundecansäure ^{c)}	PFUnA			+
	Perfluordodecansäure ^{c)}	PFDoA			+
	Perfluortridecansäure ^{c)}	PFTrA			+
	Perfluortetradecansäure ^{c)}	PFTeA			
	Perfluorpentansulfonsäure	PFPeS		1,0 ^{d)}	+
	Perfluornonansulfonsäure	PFNS			+
	Perfluordecansulfonsäure ^{c)}	PFDS			+
	Perfluorundecansulfonsäure	PFUnS			+
	Perfluordodecansulfonsäure	PFDoS			+
	Perfluortridecansulfonsäure	PFTrS			+
	2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansäure ^{c)}	H4PFUnA			
	7H-Perfluorheptansäure ^{c)}	HPFHpA			
	2H,2H-Perfluordecansäure ^{c)}	8:2 FTA (H2PFDA)			
	1H,1H,2H,2H-Polyfluorhexansulfonsäure ^{c)}	4:2 FTSA (H4PFHxS)			
	1H,1H,2H,2H-Polyfluordecansulfonsäure ^{c)}	8:2 FTSA (H4PFDS)			
	weitere, anlassbezogen untersuchte PFAS mit R1-(CF2)n-R2, n>3 ¹			0,1 ^{b)}	

* zur Berechnung Summe PFAS-20 (+) bzw. PFAS-4 (++) gem. TrinkwV 2023; (Summe PFAS-20 gemäß EU-Trinkwasserrichtlinie (EU, 2020))

a) Eingang Quotientensumme

b) Ableitung hilfsweise gem. ALARA-Prinzip ² nach BMUV 2022

c) Anlassbezogene Untersuchung nach LAWA-LABO-Kleingruppe PFC (2017)

d) aus Liste „listegowstoffeohnesm-20230317-homepage.pdf“ auf www.umweltbundesamt.de (Abruf am 04.09.2023)

¹ R1 und R2 kennzeichnen den nicht fluorierten Teil der Verbindung, n ist die Anzahl vollfluorierter Kohlenstoffverbindungen

² As Low As Reasonably Achievable – so niedrig vernünftigerweise erreichbar; Prinzip aus dem Strahlenschutz übertragen auf schädliche Einflüsse der PFAS

Bei der Bewertung der Grundwasserbeschaffenheit gilt, dass aufgrund der humantoxikologischen Ableitung der GFS-Werte für die sieben PFAS-Einzelverbindungen bei ihrer Überschreitung eine schädliche Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit vorliegt. Wird eine Überschreitung des GOW festgestellt, deutet dies auf eine nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit hin (BMUV, 2022).

Neben der Einzelstoffbeurteilung unter Zuhilfenahme der GFS-Werte kann gemäß BMUV-Leitfaden zusätzlich die Summenbetrachtung als Quotientensumme³ (QS) als Bewertungsindex im Grundwasser herangezogen werden. Die QS gilt als ein Mittel der Risikobewertung bei Mehrstoffbelastungen entsprechend der TRGS 402. Bei der Berechnung der QS werden die Konzentrationen der Einzelstoffe, für die ein GFS-Wert vorliegt, auf diesen relativiert und die einzelnen Quotienten addiert.

Gemäß BMUV-Leitfaden ist die Anwendung der QS optional, sie bleibt den Ländern überlassen. Diesen länderspezifischen Spielraum konkretisiert bisher nur Baden-Württemberg in seinem Erlass zur Einführung des Leitfadens (UM BW, 2022): Dort ist die Anwendung der QS zur Bewertung von PFAS, für die es GFS-Werte gibt, im Grundwasser obligatorisch (s.a. Anl. 1). In Bayern, das als einziges Land den BMUV-Leitfaden nicht eingeführt hat, soll die QS lediglich als zusätzliche Hilfe für den Einzelfall dienen (LFU BY, 2018). Bei der Bearbeitung sind ggf. aktuelle länderspezifische Vorgaben zu beachten.

Die Berechnung der QS als Beurteilungsgrundlage der Grundwasserbeschaffenheit ist grundsätzlich höchstens dann sinnvoll, wenn mehrere PFAS Verbindungen (Mehrstoffbelastung) im Grundwasser nachgewiesen wurden (anderenfalls reicht der GFS-Wert-Abgleich) und keine GFS-Wert-Überschreitungen festgestellt werden (da sonst zwangsläufig $QS > 1$).

Überschreitet die QS den Wert von 1, ist gemäß BMUV-Leitfaden eine schädliche Grundwasseränderung zu vermuten. Inwiefern sich aus einer Überschreitung weiterer Handlungsbedarf ergibt, ist anhand der einzelfallspezifischen Bedingungen zu beurteilen.

³ Bei der Quotientensumme handelt es sich um eine Summe, bei der die jeweiligen Konzentrationen der Einzelsubstanzen mit Gewichtung auf Grundlage der GFS-Werte addiert sind,

$$\text{es gilt } QS = \sum_{i=1}^n \frac{c_{PFAS_i}}{GFS_i} \text{ mit } c_{PFAS_i} = \text{Konzentration des PFAS-Einzelstoffs } i, GFS_i = \text{GFS-Wert des PFAS-Einzelstoffs } i$$

GOW werden nicht berücksichtigt; nur zur Anwendung im Grundwasserbereich;

$QS > 1$ GW-Verunreinigung ist zu vermuten (BMUV 2022); bei $c_{PFAS} > GFS$ -Wert $QS > 1$

Exkurs Bewertungsmaßstäbe Trinkwasser

Mit der Neufassung der EU-Trinkwasserrichtlinie – Richtlinie (EU) 2020/2184 (EU, 2020) wurden in nationales Recht umzusetzende Bewertungsgrößen für PFAS im Trinkwasser vorgegeben. Für die Gesamtheit an PFAS beträgt der sogenannte Parameterwert 0,5 µg/L. Für die Summe an 20 bestimmten PFAS-Einzelverbindungen (perfluorierte PFCA und PFSA mit jeweils 4 bis 13 Kohlenstoffatomen in der Kette) wurde ein Parameterwert von 0,1 µg/l vorgegeben. Einer oder beide Parameterwerte für PFAS sind von den EU-Mitgliedstaaten zu verwenden. Mit der neuen TrinkwV vom 20.06.2023 wurde die EU-Trinkwasserrichtlinie in deutsches Recht überführt. Neben dem Summenwert für die o.g. 20 PFAS-Einzelstoffe („Summe PFAS-20“) von 0,1 µg/L wurde verschärfend zur EU-Trinkwasserrichtlinie ein Grenzwert für die Summe von vier Einzelverbindungen („Summe PFAS-4“) von 0,02 µg/L (20 Nanogramm/L) festgelegt. Dieser umfasst PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS. Die Grenzwerte gelten ab dem 12.01. 2026 bzw. 12.01.2028.

Die für die Beurteilung von Trinkwasser geltenden Grenzwerte wurden zur Einordnung gegenüber der Beurteilung von Grundwasser informativ aufgenommen (Parameterumfänge s.a. Tab. 2). Inwiefern diese strengeren Werte zukünftig im nachsorgenden Boden- und Grundwasserschutz bewertungsrelevant werden, bleibt abzuwarten.

Boden

Für die Beurteilung von PFAS-Konzentrationen im Boden gibt es nunmehr mit der am 01.08.2023 in Kraft getretenen Neufassung der BBodSchV Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser. Die für sieben Einzelstoffe vorliegenden GFS-Werte wurden als Prüfwerte für das Sickerwasser am Ort der Beurteilung übernommen (s. Tab. 3). Dabei sind die aus dem 2:1-Eluat (vgl. Kapitel 6.3) ermittelten PFAS-Konzentrationen zugrunde zu legen. Die Prüfwerte finden dann als Prüfkriterien für den Ort der Probenahme Anwendung. Die Werte am Ort der Probenahme sind mittels Sickerwasserprognose an den Ort der Beurteilung zu übertragen.

Bei einer prognostizierten Überschreitung des Prüfwerts am Ort der Beurteilung liegt ein Verdacht auf eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast nach BBodSchG vor und es sind weitere Sachverhaltsermittlungen durchzuführen (BMUV, 2022). Bei der Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser ist die QS nicht anzuwenden, da sie einen Vorsorgewert bei der Risikobewertung der Trinkwasserbeschaffenheit darstellt (BMUV, 2022).

Bei einer prognostizierten Unterschreitung des Prüfwerts am Ort der Beurteilung ist ein Gefahrenverdacht, zumindest für den jeweiligen Einzelstoff, ausgeräumt (BMUV, 2022).

Tabelle 3: Prüfwerte der BBodSchV (2021) für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser

Stoff	Prüfwert [µg/L]
Perfluorbutansäure (PFBA)	10
Perfluorhexansäure (PFHxA)	6
Perfluoroctansäure (PFOA)	0,1
Perfluorononansäure (PFNA)	0,06
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	6
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	0,1
Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	0,1

Oberflächengewässer

Der BMUV-Leitfaden enthält in Kap. 5.1.2 umfangreiche Informationen zur Beurteilung von Oberflächengewässern und den Anforderungen an Einleitungen, auf die an dieser Stelle im Wesentlichen verwiesen wird.

Für die Beurteilung des ökologischen und chemischen Zustands von Oberflächengewässern (Wasserkörper gem. Wasserhaushaltsgesetz (WHG)) sind die Vorgaben der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) von 2016 relevant. Darin sind Umweltqualitätsnormen (UQN) formuliert. Im Hinblick auf PFAS gibt es für die Einzelsubstanz PFOS entsprechende Werte. Dabei beträgt die Biota-UQN für PFOS und ihre Derivate für Oberflächengewässer 9,1 µg/kg, der in Fischen (Biota) nicht überschritten werden. Dieser Wert wurde für das Schutzgut menschliche Gesundheit über den Fischkonsum abgeleitet. Daraus ergibt sich ein korrespondierender Wert für das Wasser von 0,65 ng/l als Jahresdurchschnittswert (JD-UQN). Die zulässige Höchstkonzentration (ZHK-UQN) beträgt 36 µg/l, basierend auf einem Algentest. Prinzipiell ist die Einhaltung der UQN über ein Biota-Monitoring nachzuweisen. Wenn die Erhebung von Biota-Daten nicht möglich ist, kann alternativ die JD-UQN im Wasser herangezogen werden. Gleichzeitig ist die ZHK-UQN einzuhalten. Bei einer Überschreitung von UQN in einem Oberflächengewässerkörper (an der für diesen repräsentativen Messstelle) müssen geeignete Maßnahmen festgesetzt werden, um ihre Einhaltung bis zum 22. Dezember 2027 zu erreichen (BMUV, 2022).

Abwasser

Der BMUV-Leitfaden enthält in Kap. 5.1.3 umfangreiche Informationen zu emissionsbezogenen und immissionsbezogenen Anforderungen an Abwassereinleitungen, auf die an dieser Stelle im Wesentlichen verwiesen wird.

Grundsätzlich gilt, dass gemäß § 57 Abs.1 Nr. 1 WHG die Menge und Schädlichkeit des in Gewässer eingeleiteten Abwassers nach dem Stand der Technik zu minimieren sind. Überwachungswerte bzw. Emissionsgrenzwerte als Stand der Technik für PFAS gibt es allerdings bisher nicht in der Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV).

Soweit im Hinblick auf länderspezifische Regelungen auf den Internetseiten der Länder zu eruieren (Stand: 30.11.2023), macht nur Nordrhein-Westfalen eigene zusätzliche Vorgaben: Es werden Orientierungswerte für Konzentrationen und Frachten angegeben, bei deren Überschreitung eine Ursachenermittlung erfolgt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden (Werte s. Anlage A-2.3).

§ 57 Abs. 1 Nr. 2 WHG fordert wiederum, dass für die Erteilung einer Erlaubnis zur Einleitung von Abwasser in ein Gewässer, die Einleitung mit den Anforderungen an die Gewässereigenschaften und sonstigen rechtlichen Anforderungen vereinbar ist. Dies erfordert eine Prognose und Beurteilung der Auswirkungen auf das Gewässer durch die Abwassereinleitung. Dabei ist unter anderem eine gegebenenfalls vorhandene Vorbelastung des Gewässers mit PFAS zu berücksichtigen.

Zudem gelten prinzipiell die Anforderungen an Oberflächengewässerkörper gem. Kap. 5.1.2 für PFOS nach Durchmischung mit dem Abwasser (Einhaltung UQN).

Um die zusätzliche Belastung für das Oberflächengewässer abzuschätzen, empfiehlt der BMUV-Leitfaden eine rechnerische Ermittlung der durch eine punktuelle Einleitung verursachten Immissionskonzentration im Gewässer. Dafür gilt die nachfolgende Gleichung, zu der im BMUV-Leitfaden Berechnungsbeispiele angegeben sind:

$$C_{im} = \frac{MNQ \times C_{HG} + A_{Abw} \times C_{Abw}}{MNQ + A_{Abw}}$$

mit:

- C_{im} = Immissionskonzentration
- MNQ = Mittlerer Niedrigwasserabfluss oberhalb der Einleitungsstelle (Volumen/Zeit)
- C_{HG} = Hintergrundkonzentration (Masse/Volumen)
- A_{Abw} = Abwasserfluss (Volumen/Zeit)
- C_{Abw} = Stoffkonzentration im Abwasser (Masse/Volumen)

4 Wirkungspfade

Bei Verdacht auf PFAS-Kontaminationen ist i.d.R. der Wirkungspfad Boden-Grundwasser von zentralem Interesse. Die Wirkungspfade Boden-Nutzpflanze und Boden-Mensch spielen im Rahmen der Bearbeitung von Liegenschaften des Bundes häufig nur eine untergeordnete Rolle.

4.1 Wirkungspfad Boden-Grundwasser

PFAS können sich im Laufe der Zeit aus kontaminierten Böden über das Sickerwasser in tiefere Bodenschichten und ins Grundwasser verlagern und aufgrund ihrer Persistenz und geringen Retardation zu ausgedehnten Verunreinigungen führen. Da die Sorption von PFAS an Feststoffe je nach Einzelsubstanz stark unterschiedlich ist (siehe Kapitel 3.1; kurzkettige PFAS sind mobiler und adsorbieren weniger stark an Bodenpartikel als langkettige), können sich im Grundwasser andere PFAS-Verteilungsmuster als im Boden zeigen.

Insbesondere bei jüngeren Schadensfällen ist zu berücksichtigen, dass polyfluorierte Verbindungen (Precursor), die als Einzelstoffe häufig (noch) nicht nachweisbar sind, in perfluorierte Verbindungen transformiert werden können. Es können vermeintlich niedrige Gehalte im Boden, bezogen auf die 13 prioritären Einzelsubstanzen (Tabelle 2), zu relevanten Verunreinigungen des Grundwassers führen.

Exkurs Sekundärverunreinigungen

Wird mit PFAS verunreinigtes Grundwasser zu Bewässerungszwecken (z.B. in der Landwirtschaft) genutzt, werden bis dahin PFAS unbelastete Flächen mit PFAS beaufschlagt. Dies kann zu sogenannten sekundären Bodenverunreinigungen führen (UBA, 2020b).

4.2 Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze

Das Aufnahmevermögen und -verhalten von in Deutschland heimischen Grünlandpflanzen bezüglich PFAS weist große Unterschiede auf und ist von vielen Faktoren (Stoffeigenschaften der PFAS-Einzelsubstanzen, Vorhandensein von Precursor, Art der Pflanze, Alter der Pflanze, Bodenart und Bodeneigenschaften allgemein, Niederschlag, Jahreszeit etc.) abhängig. Zudem unterscheidet sich die potentielle Anreicherung von PFAS in den einzelnen Pflanzenteilen (Wurzeln, Blätter, Früchte etc.) zum Teil erheblich. Ein geringer Transfer von PFAS erfolgt in die generativen Pflanzenteile von Körnermais, Wintergerste, Winterroggen, Körnererbsen und Erdbeeren sowie in Spargelstangen. Ein deutlich stärkerer Transfer von PFAS in das Erntegut ist bei Weizen, Triticale und Soja zu beobachten, sowie bei Kulturen, bei denen die vegetativen Pflanzenteile, also Blätter, Triebe und Wurzeln genutzt werden wie zum Beispiel Silomais, Ackerfutter oder Gras. Bisherige Forschungsergebnisse zum Transferverhalten von PFAS aus Böden in Pflanzen bestätigen dies (z.B. UBA, 2022). UBA (2022) kommt zum Ergebnis, dass die Entwicklung eines einheitlich anwendbaren und in jeder Situation zuverlässigen Bewertungskonzepts für den PFAS-Transfer in Nutzpflanzen in naher Zukunft nur schwer realisierbar ist. Das UBA forscht an der Ableitung von Bodenwerten für Vertreter der Stoffgruppe PFAS für den Wirkungspfad Boden-Pflanze (UBA, 2023).

Die Ermittlung und Beurteilung einer Kontamination des Bodens anhand der PFAS-Kontamination aufwachsender Pflanzen ist (derzeit) nicht möglich. Einzelfälle aus der Praxis zeigen, dass Bodenuntersuchungen PFAS-Gehalte unterhalb der Bestimmungsgrenze aufweisen können und bei den zugehörigen Pflanzenproben dagegen PFAS detektiert wurden. Ebenso zieht umgekehrt ein Nachweis von PFAS im Boden nicht zwangsläufig einen Nachweis von PFAS in der aufwachsenden Pflanze nach sich.

Prüf- oder Maßnahmenwerte für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze gemäß BBodSchV für PFAS gibt es bisher nicht. Die Untersuchung des Pfades Boden-Nutzpflanze erfolgt nutzungsorientiert entsprechend der BBodSchV anhand von Bodenproben. Aus Vorsorgegründen sollten die Nutzungen Ackerbau, Nutzgarten und Grünland auf PFAS-Verdachtsflächen bis zum Vorliegen einer Gefährdungsbeurteilung ausgeschlossen werden.

Bewährt hat sich ein Vor-Ernte-Monitoring. Zum Umgang mit auf Flächen anfallendem, potentiell mit PFAS kontaminiertem Pflanzenmaterial siehe Kapitel 8.

4.3 Wirkungspfad Boden-Mensch

Generell erfolgt die Bewertung von Schadstoffgehalten im Boden im Hinblick auf den Direktpfad Boden-Mensch, also einer möglichen oralen oder dermalen sowie einer inhalativen Aufnahme (z.B. durch Einatmen PFAS-belasteter Stäube), vor allem anhand der Prüfwerte der BBodSchV. Entsprechende Werte für PFAS gibt es dort bisher nicht. Gemäß der Systematik zur Ableitung der Prüfwerte müssten die PFAS-Gehalte im Boden allerdings sehr hoch sein. Der Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) ist daher i.d.R. weniger relevant (BMUV, 2022). Das UBA forscht an der Ableitung von Bodenwerten für Vertreter der Stoffgruppe PFAS für den Wirkungspfad Boden-Mensch (UBA, 2023).

Der Wirkungspfad Boden-Mensch als Direktpfad über die Gasphase ist aufgrund der eher geringen Flüchtigkeit der PFAS (vgl. Kapitel 3.1) von geringer Relevanz.

Inwieweit der Wirkungspfad Boden-Mensch dennoch relevant sein kann, ist einzelfallbezogen je nach Nutzung und Expositionsdauer zu beurteilen.

5 Phase I – Erfassung und Erstbewertung KVF

Bei der Erfassung und Erstbewertung (Phase I) von kontaminationsverdächtigen Flächen (KVF) ist der Aspekt der feuerwehrtypischen Nutzungen sowie weiterer möglicher Einsatzbereiche von PFAS – soweit nicht schon geschehen – zu ergänzen und damit nachzuerfassen.

Zur Nacherfassung gehört die Lokalisierung und Beschreibung der nachfolgend beschriebenen PFAS-typischen Nutzungen bzw. Tätigkeiten. In Zusammenhang mit den Standortbedingungen ist eine Erstbewertung des Kontaminationsverdachts vorzunehmen und eine Kontaminationshypothese aufzustellen. Die Anforderungen an die Dokumentation sind Anlage 1.2 BFR BoGwS zu entnehmen.

Potentiell von PFAS-Verunreinigungen betroffen sind vor allem Liegenschaften, auf denen Feuerwehren stationiert sind oder waren, bzw. auf denen PFAS-haltige Löschschäume eingesetzt wurden. Als Primärquellen für PFAS-Kontaminationen auf Liegenschaften des Bundes sind feuerwehrspezifische Anwendungen nach derzeitigem Kenntnisstand in mindestens der Hälfte der Fälle ursächlich. Werden neben eindeutig feuerwehrspezifischen Nutzungen (Feuerwachen, Löschübungsbereiche, Brandschäden etc.) auch infrastrukturelle Einrichtungen mit potentiellem Löschschaumkontakt (Entwässerung, Waschplätze etc.) berücksichtigt, sind auf diese Nutzungen und Einrichtungen ca. 90 % der PFAS-Einträge auf Bundesliegenschaften zurückzuführen.

Bei der Erstbewertung eines Kontaminationsverdachts aufgrund von PFAS-haltigen Schaumlöschmitteln sind daher neben den üblichen Informationsquellen wie Luftbildauswertungen, Zeitzeugenbefragungen etc. insbesondere möglichst auch Einkaufslisten und Einsatzprotokolle der Feuerwehr auszuwerten.

Sonstige PFAS-Einträge z.B. aus Galvanikbetrieben, Wäschereien oder über Klärschlammaufbringungen sind auf Bundesliegenschaften zwar selten, treten aber dennoch auf und sind bei der Nacherfassung zu berücksichtigen.

Neben Flächen, auf denen nachweislich mit PFAS-haltigen Stoffen umgegangen wurde, sind solche Flächen in Phase I zu erfassen, auf denen potentiell PFAS-haltiges Bodenmaterial z.B. nach Baumaßnahmen liegenschaftsintern umgelagert bzw. aufgebracht wurde.

Nachfolgend (Kapitel 5.1 bis 5.4) wird insbesondere auf diejenigen Verdachtsflächen eingegangen, die für die Untersuchung von Liegenschaften des Bundes von besonderer Relevanz sind. Darüberhinausgehende Erläuterungen zu einer größeren Anzahl an PFAS-Verdachtsflächen können der „Arbeitshilfe zur flächendeckenden Erfassung, standortbezogenen historischen Erkundung und zur Orientierenden Untersuchung“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO, 2015) entnommen werden.

5.1 Feuerwehr/ Brandbekämpfung

Der Umgang mit fluorhaltigen Löschschäumen oder Löschmittel-Konzentraten, sei es im Rahmen von Übungen oder zur Brandbekämpfung, kann zu PFAS-Kontaminationen im Boden führen. Das Kontaminationsbild ergibt sich dabei i.d.R. individuell je nach spezifischem Einsatztyp. Bei einmaligen Löscheinsätzen z.B. bei Flugzeug-Havarien oder (kleinen) Bränden ergeben sich häufig eher kleinräumige Verunreinigungen des Bodens. Oft ist mit hohen Gehalten auf flächennutzungsspezifisch gut abgrenzbaren Bereichen wie z.B. Übungsbereichen mit regelmäßiger Löschschaumanwendung zu rechnen. Großflächige Einträge mit gegenüber langjährig genutzten Übungsbereichen eher moderaten PFAS-Konzentrationen können beispielsweise aus den Beschäumungen von Start- und Landebahnen resultieren.

Bei der Bearbeitung ist zu berücksichtigen, dass sich die Zusammensetzung von Löschmittel-Konzentraten über die Jahre stark verändert hat (s.u. **Exkurs Schaumlöschmittel**). Jüngere Schadensfälle zeichnen sich beispielsweise durch das Auftreten polyfluorierter Verbindungen wie H4PFOS aus (Ersatzstoff von PFOS). Der Eintragszeitpunkt oder die Nutzungszeiträume können daher wichtige Hinweise auf die Schadstoffzusammensetzung geben.

Nachfolgend sind unterschiedliche feuerwehrspezifische Einsatzbereiche und jeweils resultierende typische Kontaminationsbilder erläutert. Die Ausführung hat dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Feuerwache - Reinigung von Feuerwehr-Kfz und Material, zentrale Lagerung PFAS-haltiger Stoffe

An den Feuerwachen werden i.d.R. Löschmittel-Konzentrate gelagert sowie Feuerlöschfahrzeuge mit Löschmittel-Konzentrat ausgestattet und abgestellt. Außerdem erfolgen hier Reinigungs-, Überprüfungs- und ggf. Wartungsarbeiten am eingesetzten technischen Gerät (Pumpen, Schläuche, Kleidung etc.).

Mögliche Kontaminationsursachen im Bereich von Feuerwachen sind in erster Linie Handhabungs- und Umfüllverluste, Leckagen sowie die Gerätereinigung.

Potentielle Eintragsorte im unmittelbaren Umfeld von Feuerwachen sind besonders die angrenzenden unbefestigten Freiflächen (meist Grasflächen). Bei der Bearbeitung sind insbesondere Geländetiefpunkte, in denen sich die z.B. bei Reinigungsarbeiten anfallendes, potentiell PFAS-haltiges Wasser bevorzugt sammeln und versickern konnte, zu beachten (→ Ortsbegehung).

Der potentielle Eintrag in den Untergrund auf den versiegelten Flächen ist von der Art (Verbundpflaster, Asphalt etc.) und dem Zustand der Oberflächenbefestigung und den damit verbundenen unterschiedlichen Durchsickerungsgraden abhängig.

Neben Oberflächeneinträgen ist der Eintrag über die Kanalisation/Entwässerung des Feuerwachen-geländes zu beurteilen (vgl. Kapitel 5.4).

Bei den beschriebenen Einträgen im Bereich von Feuerwachen handelt es sich zumeist um kleinräumig-diffuse Einträge aus dauerhafter Beaufschlagung.

Exkurs Schaumlöschmittel

Schaumlöschmittel können als Hauptkomponente PFOS enthalten, das für das Löschen von Bränden der Brandklasse B (Brände von flüssigen oder flüssig werdenden Stoffen) benötigt wird. Weit verbreitete Vertreter der fluorhaltigen Schaumlöschmittel sind die seit den 1970er Jahren existierenden Aqueous Film Forming Foams (AFFF, auch A3F genannt).

Die Besonderheit der AFFF liegt in der Ausbildung dampfdichter, wässriger Flüssigkeitsfilme zwischen aufgesprühter Schaumschicht und brennender Oberfläche durch die Reduktion der Oberflächenspannung. Der Flüssigkeitsfilm unterdrückt die Emulsion von Brennstoff in den Schaum. Dadurch steigert sich die Löschwirkung und es wird die Rückzündung der brennbaren Flüssigkeit verhindert. AFFF haben hervorragende Löscheigenschaften (StMUV, 2018) und wurden daher in der Vergangenheit als primäres Schaumlöschmittel auf Bundeswehrliegenschaften eingesetzt.

Infolge der Regulierung von PFOS und PFOA (inkl. deren Salze, Derivate und Vorläuferstufen, vgl. Kapitel 3.2) drängen vielzählige polyfluorierte Ersatzstoffe auf den Markt. Beispiele sind „Capstone A“ und „Capstone B“ (DuPont) sowie „DX 3001A“ und „DX 3001B“ (Dynax).

Schaumlöschmittel – Löschmittel– Löschschaum

Schaumlöschmittel sind eine spezielle Art von Löschmitteln, bei denen die Löschwirkung durch Schaum erzielt wird. Andere Beispiele für Löschmittel sind Wasser oder Pulver.

Löschmittel-Konzentrate oder **Schaummittel-Konzentrate** sind die als Roh-Flüssigkeit in geeigneten Behältnissen gelagerten Substanzen, die zur Anmischung von Schaumlöschmittel genutzt werden.

Löschschaum ist das verschäumte, aus einem Schaumrohr ausgebrachte Luft-Wasser-Konzentrat-Gemisch, das die Löschwirkung entfaltet. Nicht alle Löschmittel-Konzentrate und damit nicht alle Löschsäume sind zwangsläufig fluorhaltig (z.B. Mehrbereichlöschschaum). Im vorliegenden Leitfaden sind jedoch wann immer Schaumlöschmittel, Löschsäume oder Löschmittel-Konzentrate thematisiert sind, die fluorhaltigen Varianten gemeint.

Feuerlöschübungsbecken

Feuerlöschübungsbecken (FÜB) dürfen (mit wenigen Ausnahmen) aktuell nicht mehr genutzt werden, sind jedoch noch vorhanden bzw. teilweise zurückgebaut oder verfüllt.

Nutzungsbedingt sind PFAS-Einträge im Bereich von FÜB mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erwarten. Betroffen können dabei sowohl der Untergrund des eigentlichen Feuerlöschübungsbeckens als auch die weitere Umgebung des Beckens sein, da die Wurfweite je nach vorhandenen Fahrzeugen 40-80 m betragen können. Darüber hinaus ist von einer PFAS-Kontamination der Bausubstanz des Feuerlöschübungsbeckens auszugehen und dies bei Baumaßnahmen zu berücksichtigen. Des Weiteren sind die vorhandenen Entwässerungsanlagen inkl. des Abscheidersystems bei der Untersuchung von FÜB unbedingt zu berücksichtigen.

Bei FÜB handelt es sich um eher punktuelle, nutzungsspezifisch abgrenzbare Kontaminationen aus wiederkehrenden Einträgen. Je nach Alter des FÜB wurden Löschsäume unterschiedlicher Generation eingesetzt. Bei FÜB zeigt sich zumeist ein radiales Kontaminationsbild mit vom Zentrum (Brenngrube o.ä.) nach außen abnehmenden PFAS-Konzentrationen. Infolge von Winddrift ist nicht von einem ideal-ringförmigen Kontaminationsbild auszugehen. Oftmals wurde auch die Hauptwindrichtung bei den Übungen berücksichtigt, weshalb hierzu Hinweise aus Befragungen hilfreich sind.

Sonstige Brandübungsflächen und -anlagen bzw. Flächen für Funktionstests

Nicht nur an Feuerlöschübungsbecken, auch in Brandübungshäusern und anderen zu Übungszwecken ausgewiesenen Flächen wurde das Löschen von Bränden geübt. Darüber hinaus können nicht nur in explizit zu Brandübungszwecken ausgewiesenen Bereichen, sondern auch auf anderen, beliebigen freien Flächen einer Liegenschaft Löschübungen und/oder Funktionstests durchgeführt

worden sein. Hinweise auf derartige Flächen ergeben sich zumeist aus Zeitzeugenbefragungen und/oder Luftbildauswertungen (Fallbeispiel ehem. Javelin Barracks in Elmpt).

Auch sind die Nutzungsdauer und -häufigkeit oftmals nicht bekannt und meist nicht so gut dokumentiert wie bei definierten Einrichtungen wie Feuerlöschübungsbecken. Hinweise dazu können manchmal Einsatzbücher geben.

In Einzelfällen wurden Flächen des Bundes auch örtlichen Feuerwehren für Übungszwecke zur Verfügung gestellt, deshalb ist ggf. eine Abfrage bei den örtlichen Feuerwehren durchzuführen.

Bei Einträgen an speziell zu Übungszwecken ausgewiesenen Bereichen handelt es sich zumeist um eher punktuelle Kontaminationen, die oft über einen längeren Zeitraum eingetragen wurden. Bei unspezifisch genutzten Freiflächen kann häufig kein konkreter Haupteintragsort ausgemacht werden.

Dezentrale Lagerung von Löschmittel-Konzentrat (z.B. an Sheltern)

Zusätzlich zur zentralen Lagerung im Bereich der Feuerwache werden auf größeren Liegenschaften, insbesondere Flugplätzen, Löschmittel-Konzentrate dezentral in kleineren Gebinden gelagert. Diese befinden sich i.d.R. in der Nähe des Flugfeldes und gewährleisten bei größeren Bränden eine zügige Wiederbefüllung der Löschfahrzeuge.

Infolge von Havarien kann es hier zu punktuellen, kleinräumigen Kontaminationen kommen bzw. gekommen sein.

Löschfahrzeuge mit Löschmittel-Konzentrat / Herstellung Einsatzbereitschaft am Einsatzort

Die eingesetzten Feuerlösch-Kfz besitzen i.d.R. zwei Löschmittelbehälter, von denen einer Wasser und der zweite Löschmittel-Konzentrat aufnimmt. Der zur Brandbekämpfung benötigte Löschschaum wird erst durch Freischaltung des Löschmittel-Konzentrates hergestellt.

Beim bzw. nach einem Einsatz kann es durch Handhabungsverluste am Löschfahrzeug oder bei Reinigungsarbeiten zu einem Eintrag von PFAS-haltigem Material in den – eventuell unbefestigten – Untergrund und ggf. in das angeschlossene Entwässerungssystem gekommen sein.

Orte, an denen die Fahrzeuge einsatzbereit gemacht werden bzw. nach einem Einsatz gereinigt werden, stellen einen potentiellen relevanten Eintragsort dar. Heute werden die Fahrzeuge i.d.R. (wenn möglich) am Ort des Einsatzes, also am Ort des Schaumeintrags, gereinigt. Häufig erfolgte die Fahrzeugreinigung auch am Vorplatz der Feuerwache oder an einem beliebigen für den Reinigungszweck festgelegten Ort innerhalb der Liegenschaft.

Start-/Landebahnen (SLB)

Der verantwortliche Flugzeugführer konnte in Notlagen die Auslegung eines Schaumteppichs auf der Landebahn fordern. Diese Schaumteppiche hatten üblicherweise eine Mächtigkeit von bis zu einem Meter. Nach Beendigung des Einsatzes wurden die betreffenden Bereiche der Landebahn mittels Wasser vom Schaum befreit. Das Auslegen von Schaumteppichen wird heute aus mehreren Gründen i.d.R. nicht mehr praktiziert.

Durch das Auslegen von Schaumteppichen sind PFAS-Kontaminationen im Bereich der freien Flächen entlang der Start-/Landebahnen möglich.

Das Kontaminationsbild stellt sich zumeist als lineare Kontaminationen rechts und links entlang der Start-/Landebahn dar, wobei die PFAS-Konzentrationen mit zunehmender Entfernung von der SLB tendenziell abnehmen.

Brandschadensereignisse mit Löschschaumeinsatz

Bei verschiedensten Brandereignissen kamen und kommen Löschsäume zum Einsatz. AFFF-Löschsäume wurden für jede Art von Bränden verwendet, bei denen der Einsatz von Löschschaum geboten war.

Sofern auf einem Standort Brandschadensereignisse bekannt sind, ist deren Lage möglichst exakt zu dokumentieren und der Einsatz von Löschsäumen zu recherchieren. Falls Löschsäume eingesetzt wurden, ist zur Bestimmung des Schadstoffpotentials der Verbrauch von Löschmittel-Konzentrat zu ermitteln – sofern möglich. Bei der Recherche von Brandschadensereignissen sind insbesondere Zeitzeugen und die jeweiligen Standortfeuerwehren zu befragen. Darüber hinaus wurden auch zivile Feuerwehren aus der Umgebung zur Brandbekämpfung herangezogen. Daher sind neben Unterlagen der Standortfeuerwehr auch Einsatzberichte ziviler Feuerwehren aus der jeweiligen Umgebung bei der Erfassung zu berücksichtigen.

Zu Nachforschungszwecken stehen die Archive der Standort- bzw. Bundeswehr-Feuerwehren und der zivilen Feuerwehren zur Verfügung.

Im Verantwortungsbereich der Bundeswehr sind seit 2016 die Einsatzberichte, bei denen Schaummittel verwendet wurden, über einen Zeitraum von 30 Jahren zu archivieren.

5.2 Galvanikanlagen

PFAS-haltige Substanzen wurden und werden (Ausnahmeregelung für den Einsatz von PFOS im Bereich des „nicht dekorativen Hartverchromens im geschlossenen Kreislaufsystem“ EU 2019/1021) bei verschiedenen galvanischen Prozessen u.a. zur Sprühnebelreduzierung eingesetzt. Da auch auf Liegenschaften des Bundes galvanische Verfahren angewendet werden und wurden, sind Galvanikanlagen einschließlich der dort durchgeführten galvanischen Verfahren in der Phase I zu erfassen und zu bewerten. Für die Recherche zu PFAS-haltigen Substanzen und Zusätzen kann ggf. auf Einkaufslisten o.Ä. zurückgegriffen werden.

5.3 Wäschereien

PFAS werden aufgrund ihrer fett-, schmutz- und wasserabweisenden Wirkung auch in der Fertigung und Imprägnierung von Funktionstextilien verwendet, z.B. für die Schutzbekleidung bei Militär und Feuerwehr. Durch den Waschvorgang können PFAS ins Abwasser gelangen.

Bereiche ehemaliger und aktiver Wäschereien und Reinigungen sind in Phase I zu erfassen. Haupteintragsquellen/-orte von PFAS sind hier Leckagen in der Kanalisation oder Havarien.

5.4 Entwässerungsanlagen

Eine zentrale Rolle bei der Verbreitung von PFAS innerhalb der Liegenschaft ausgehend vom jeweiligen Eintragsort kommt dem Entwässerungssystem zu. Über defekte Kanalabschnitte oder über Versickerungsgruben/-schächte besteht ein großes Verlagerungspotential von PFAS in den Untergrund und ins Grundwasser. Ebenso können PFAS über die Niederschlagsentwässerungsanlagen wie Regenrückhaltebecken (RRB) auch über Liegenschaftsgrenzen hinaus verbreitet werden.

Oberflächenentwässerung/Niederschlagsentwässerung

Über die Oberflächenentwässerung wird das Niederschlagswasser von versiegelten Verkehrsflächen und Dachflächen abgeleitet. Hierbei kann es zur Ableitung in Entwässerungsgräben, direkt in Regenrückhaltebecken oder die öffentliche Regenwasserkanalisation kommen.

Niederschlagsentwässerungsanlagen in offener Bauweise ohne Untergrundabdichtung, in die PFAS-haltige Wässer eingeleitet oder weitergeleitet worden sind, z.B. an Feuerlöschübungsbecken, müssen lokalisiert und untersucht werden. Abhängig von den Ergebnissen der Bestandsaufnahme und Inspektion sind Abwasseranlagen in offener Bauweise mit Untergrundabdichtung oder in geschlossener Bauweise bei nachgewiesenen Undichtigkeiten mit in die Betrachtung einzubeziehen.

Für zahlreiche Liegenschaften des Bundes existieren liegenschaftsbezogene Abwasserentsorgungskonzepte (LAK) nach den Baufachlichen Richtlinien Abwasser des BMWSB und BMVg. Für eine Beurteilung der Entwässerungsanlagen hinsichtlich des Kontaminationsverdachtes auf PFAS sind die LAK und sonstige Bestandsunterlagen zu berücksichtigen.

Regenrückhaltebecken

Eine PFAS-Kontamination des zulaufenden Niederschlagswassers kann in den Rückhaltebecken bzw. dem jeweiligen Untergrund zu Kontaminationen führen. Bei Regenrückhaltebecken ist des Weiteren zu berücksichtigen, dass diese nicht grundsätzlich mit Untergrundabdichtungen gebaut sind und darüber hinaus auch als Versickerungsanlagen konzipiert sein können.

Schmutzwasserkanalisation

Die Schmutzwasserentwässerung ist insbesondere dort relevant, wo Abwässer aus betrieblichen Einrichtungen wie Galvanikanlagen, Wäschereien u. ä. anfallen, da diese potentiell PFAS-haltig sind. Bei Kanaldefekten können über die Schmutzwasserkanalisation PFAS in den Untergrund gelangen.

Abscheidersysteme

Vorhandene Abscheidersysteme sind beispielsweise als Leichtflüssigkeitsabscheider (LFA) und/oder als Koaleszenzabscheider konzipiert und damit auf die Rückhaltung von aliphatischen Kohlenwasserstoffen ausgelegt. PFAS konnten und können hiervon nicht zurückgehalten werden.

Das an FÜB angefallene Löschschaum-Brandmittel-Gemisch wurde beispielsweise über Sandfilter und Abscheider geführt und das Abwasser in Vorfluter oder über Versickerungsanlagen abgeschlagen. Dadurch gelangten erhebliche Mengen PFAS über den Ablauf in die Oberflächengewässer bzw. in den Untergrund.

Die Reinigungsstufen und deren nachgelagerte Bereiche sind somit potentielle PFAS-Eintragsorte. Auch lange nach Stilllegung solcher Anlagen können aus Ablagerungen PFAS verfrachtet werden.

6 Phase II – Untersuchungen und Gefährdungsabschätzung

Die Untersuchung von Flächen, auf denen ein Eintrag von PFAS zu vermuten ist bzw. nachweislich stattgefunden hat, unterscheidet sich prinzipiell nicht von der Untersuchung von Flächen mit dem Verdacht auf Kontaminationen mit anderen Schadstoffen gemäß den Programmen zur Kontaminationsbearbeitung der Bw und BImA. Die in der Phase II vorgesehenen Untersuchungen (orientierende Untersuchung, Detailuntersuchung) sind gemäß der Bereichsdienstvorschrift C-2035/3 und der BFR BoGwS durchzuführen, wobei die nachfolgend beschriebenen Besonderheiten hinsichtlich PFAS aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften und der vielfältigen Einsatzbereiche zu berücksichtigen sind.

Dabei sollte zu Beginn jeder Phase II das „Entwickeln einer Untersuchungsstrategie auf der Grundlage der in Phase I zusammengestellten Informationen und Kontaminationshypothesen sowie Planung der durchzuführenden Untersuchungen“ (BFR BoGwS) stehen. Dies kann als Defizitanalyse der aus der Phase I vorliegenden Grundlagen erfolgen, zumal in der Zeit zwischen Abschluss der Phase I und Beginn einer Phase II bereits weitere zu berücksichtigende Erkenntnisse vorliegen können. Dies gilt ebenso zwischen den Phasen IIa und IIb. Eine kritische Überprüfung der Datengrundlage zwischen den einzelnen Phasen ist daher zwingend durchzuführen.

Da die Bearbeitung von PFAS-Schadensfällen neue Herausforderungen (z.B. Gefahr von Verschleppungen bei der Probenahme, hohe Relevanz schon bei geringen Konzentrationen, ubiquitäre Hintergrundbelastung etc.) an die Beteiligten stellt, sind im Rahmen von Ausschreibungen Qualitätsanforderungen im Umgang mit PFAS zu formulieren.

6.1 Untersuchungsstrategie

Grundsätzlich gilt, dass der Wirkungspfad Boden-Grundwasser bei der Bearbeitung von PFAS-Verdachtsflächen im Fokus steht. Zu beachten ist, dass aufgrund der Schadstoffeigenschaften großflächige Verunreinigungen im Grundwasser entstehen können. Ausgehend von verschiedenen KF kann sich eine zusammenhängende Grund-

wasserverunreinigung bilden. In solchen Fällen ist ein integraler Untersuchungsansatz zu erwägen, z.B. kann zunächst für eine Gruppe (Cluster) von KVF/KF eine zusammenfassende Abstrombetrachtung an Stelle individueller Untersuchungen für jede einzelne KVF/KF sinnvoll sein.

Tabelle 4: Aufschlussverfahren zur Gewinnung von Boden- bzw. Sedimentproben

	Einzelprobe	Mischprobe	Mittlere Erkundungstiefe (*)	Verschleppungspotential	Technischer Aufwand	Zeitlicher Aufwand	Empfohlene Untersuchungsphase
Baggerschurf	+	+	bis 1,25m (unverbaut) ⁴	mittel	niedrig	niedrig	IIa und IIb
Rammkernsondierung	+	+	10,0-15,0 m	hoch	niedrig	hoch	IIa
Linerbohrung	+	o	>10 m	niedrig	sehr hoch	sehr hoch	IIb
Handschurf	+	+	0,5 m	mittel	sehr niedrig	sehr niedrig	IIa und IIb
Bohrstock	-	+	1,0 m	hoch	sehr niedrig	niedrig	IIa

Baggerschurf	Sicherstellung Gewinnung ausreichender Mengen Probenmaterial, rel. geringer Zeitbedarf
Rammkernsondierung	relativ große Tiefe bei geringem Aufwand
Linerbohrung	hoher Aufwand, geringstes Verschleppungspotential, Ausbau zur Grundwassermessstelle möglich
Handschurf	Gewinnung von Sedimentproben aus Rinnen, Gewässern, Regenrückhaltebecken u.ä.
Bohrstock	schnelle Gewinnung von Mischproben schlecht zugänglicher Flächen

- + Ja bzw. geeignet
- Nein bzw. ungeeignet
- o bedingt geeignet
- (* untergrundabhängig)

⁴ DIN 4124 „Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten" ist zu beachten

6.2 Probengewinnung

Bisher liegen kaum PFAS-spezifische bundeseinheitliche Vorgaben und Regelungen zur Probengewinnung vor. Grundsätzlich gelten auch bei der Beprobung auf PFAS-Verdachtsflächen die Vorgaben aus Anhang 2 der BFR BoGwS bzw. gem. BBodSchV. Konkretisierende bzw. PFAS-spezifische Anforderungen an die Probenahme und Probenvorbehandlung, die zum Teil von den allgemeinen Anforderungen abweichen können, sind nachfolgend und in Kapitel 6.4 und Kapitel 6.5 erläutert.

In Abhängigkeit von der Untersuchungsphase kann der Einsatz unterschiedlicher Probenahmetechniken sinnvoll sein. Es stehen zur Gewinnung von Boden- bzw. Sedimentproben verschiedene Aufschlussverfahren zur Verfügung (Tabelle 3).

Bei der Gewinnung von Proben zur PFAS-Analytik sind darüber hinaus folgende allgemeine Hinweise zu berücksichtigen:

Probenahme Boden

Gewinnung ausreichender Mengen an Probenmaterial, da PFAS i.d.R. aus dem Eluat analysiert werden, ein gewisser Anteil an Doppelbestimmungen durchzuführen ist und ggf. parallel eine Feststoffanalytik durchgeführt werden soll.

Probenahme Grundwasser

Das im Rahmen einer Grundwasserbeprobung anfallende Vorlaufwasser/Förderwasser ist in Abhängigkeit von den erwarteten Schadstofffrachten nach Abstimmung mit der zuständigen Behörde

ggf. vor der Ableitung über geeignete Aktivkohle zu reinigen. Das Abschlagen von im Rahmen der Grundwasserprobengewinnung gefördertem und über Aktivkohle weitgehend gereinigtem Wasser ist mit den jeweils zuständigen Behörden bzw. Entwässerungsbetrieben im Einzelfall zu klären.

Bei der Gewinnung von Boden- und Wasserproben ist ein Verschleppen von Schadstoffen von einer Probe zur anderen zu vermeiden bzw. möglichst zu reduzieren. Dies gilt insbesondere bei PFAS, da hier sehr geringe Stoffkonzentrationen im Nanogramm-Bereich betrachtet werden.

Für die Probegewinnung im Allgemeinen bedeutet dies:

- Beprobungsreihenfolge von niedrig zu hoch belastet
- Parallelbeprobung bei Mehrfachmessstellen
- Einsatz geeigneter Probenahmegeräte/-gefäße (unbeschichtete Geräte und Probenahmegefäße bzw. solche, an denen möglichst keine/wenig PFAS anhaften (vgl. Tabelle 5))
- Einsatz geeigneter Aufschlussverfahren (insb. ab Phase IIb)

Für den Probenehmer gilt:

- Tragen geeigneter PFAS-freier Garderobe (z.B. PFAS-freie Outdoor-Jacken und Schuhe, kein Einsatz von PFAS-haltigen Imprägniermitteln)

Eine Übersicht zulässiger und nicht zulässiger Gegenstände bei der PFAS-Probenahme hat das UBA (2020b, Anlage A, S. 20) veröffentlicht (vgl. Tabelle 5). Diese im Einzelfall sehr rigide wirkende Übersicht dient im Wesentlichen der Sensibilisierung für die Thematik Verschleppung von PFAS.

Tabelle 5: Übersicht Vorgaben bei der PFAS-Probenahme (UBA, 2020b, Anhang A, S. 20)

Nicht zulässige Gegenstände	Zulässige Gegenstände
Ausrüstung, Feldarbeiten	
Teflon®-haltige Materialien (Rohre, Schöpfer, Klebebänder, Sanitärkleber)	Materialien aus Polyethylen (HDPE) oder Silikon (auch fluordfrei, geeignet für AOF-Analytik)
Lagerung der Proben in LDPE-Behältern	Azetat-Liner (Direct-Push-Verfahren), Silikon-Verrohrungen
Wasserfeste Notizblöcke	Lose Papierblätter
Klembretter aus Plastik, Ordner, feste Spiralblöcke	Holzfasern- oder Aluminium-Klembretter
Eddings® und Filzstifte	Kugelschreiber
Post-It-Haftzettel	Lose Papierblätter
Chemische (blaue) Kühlakkus	„Reguläres“ Eis
Bekleidung und persönliche Schutzausrüstung	
Bekleidung oder wasserabweisende, wasserfeste oder mit Fleckenschutz behandelte Gore-Tex™-haltige Bekleidung	Mehrfach gewaschene Bekleidung aus synthetischen und natürlichen Fasern (bevorzugt Baumwolle)
Mit Weichspüler behandelte Kleidung	Kleidung ohne Einsatz von Weichspüler
Gore-Tex™-Schuhe oder Jacken	Schuhe mit Polyurethan und Polyvinylchlorid (PVC)
Tyvek®-Overalls	Baumwollkleidung
Kosmetika, Feuchtigkeitscremes, Handcremes oder ähnliche Produkte am Morgen der Probenahme bei der Körperpflege/beim Duschen	Sonnencremes und Insektensprays, in denen nachweislich keine PFAS enthalten sind.
Probenahmebehälter	
Behälter aus LDPE oder Glas	Behälter aus HDPE oder Polypropylen
Verschlusskappen mit Teflon®	Unbeschichtete Polypropylen-Verschlusskappen
Regenfälle	
Wasserfeste oder wasserabweisende Regenbekleidung	Regenbekleidung aus PU und gewachsenen Materialien. PFAS-freier Pavillon, der nur vor oder nach der Probenahme berührt oder umgesetzt wird
Dekontamination der Ausrüstung	
Decon 90	Alconox® und/oder Liquinox®
Wasser aus einem Brunnen im Untersuchungsbereich	Trinkwasser vom örtlichen Versorger
Lebensmittel	
Sämtliche Lebensmittel und Getränke (Ausnahmen sind in der rechten Spalte aufgeführt)	Wasser in Flaschen und isotonische Getränke dürfen nur in den Aufenthaltsbereich mitgenommen und auch nur dort konsumiert werden

6.3 Probenaufbereitung und Analytik

Die Analytik hat nach einheitlichen Standards entsprechend nationaler und internationaler Normen zu erfolgen. Aktuelle Informationen liefert die Methodensammlung des Fachbeirats Bodenuntersuchungen. PFAS in Wässern werden entsprechend nach DIN 38407-42 „Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Wasser – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) nach Fest-Flüssig-Extraktion“ bestimmt. DIN 38407-42 von 2011 führt 10 PFAS-Einzelverbindungen auf, deren Bestimmung mit dem Verfahren erprobt wurde. Üblicherweise wird praktiziert, auch weitere, nicht explizit in der Norm angegebene PFAS-Einzelstoffe nach diesem etablierten Verfahren zu analysieren. Eine Veröffentlichung der LAGA von 2021 gibt nunmehr an, dass die Norm mit einer leichten Modifizierung nach derzeitigem Stand für die Untersuchung von bis zu 51 Einzelverbindungen geeignet ist (LAGA, 2021). Die Bestimmungsgrenzen oder unteren Anwendungsgrenzen für die einzelnen Substanzen betragen zurzeit bei der Untersuchung von Wasser bzw. wässrigen Lösungen 0,01 bis 0,001 µg/L.

Für die Bestimmung der eluierbaren PFAS-Konzentration in Bodenproben, Pflanzenmaterial, Schlamm und Kompost sind diese aus dem nach DIN 19529 erstellten 2:1-Eluat zu untersuchen. Als übliche untere Bestimmungsgrenze ist 0,01 µg/L je Einzelstoff ausreichend und eine tiefere Bestimmungsgrenze nur in begründeten Ausnahmefällen anzustreben.

Die Bestimmung der im Feststoff (Böden, Pflanzen etc.) enthaltenen PFAS-Konzentration erfolgt nach DIN 38414-14 „Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS)“.

Wie bei der o.g. Norm für die Bestimmung von PFAS in Wasserproben gilt für die DIN 38414-14 von 2011, dass sie gemäß LAGA (2021) nicht nur für die in der Norm angegeben 10, sondern für bis zu 51 PFAS-Einzelverbindungen geeignet ist. Die untere Anwendungsgrenze beträgt hier 10 µg/kg Trockenmasse. Mittlerweile werden je nach PFAS-Einzelsubstanz deutliche niedrigere Bestimmungsgrenzen (bis zu 0,1 mg/kg) erreicht.

Bei der Untersuchung von Feststoffen ist die im Vergleich zur Wasseranalytik i.d.R. relativ höhere Bestimmungsgrenze zu beachten. Auch bei Gehalten im Feststoff unterhalb der Bestimmungsgrenze können beurteilungsrelevante Konzentrationen im Eluat vorliegen.

Die Auswahl des Analyseverfahrens ist immer unter Berücksichtigung des zu betrachtenden Wirkungspfades auszuwählen. Bei der Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser sind Eluatanalysen durchzuführen. Eine Analytik der PFAS-Konzentration im Feststoff ist hier lediglich zur Abschätzung des vorhandenen Potentials sinnvoll.

Im Mindestuntersuchungsprogramm sind derzeit 13 verschiedene PFAS-Verbindungen gelistet (LAWA-LABO (2017), BMUV (2022), siehe Tabellen 2 und 6). Anlassbezogen kann es erforderlich werden, zusätzliche PFAS zu analysieren (Tabelle 7). Ob Anlass dazu besteht, ergibt sich maßgeblich aus der Historie der (mutmaßlich) eingebrachten PFAS auf der jeweiligen Fläche. Gibt die Erfassung und Erstbewertung (Phase I) zum Beispiel Hinweise auf den Einsatz spezieller Schaummittel bzw. Löschmittel-Konzentrate der Firma DuPont (früher Forafac), kann eine zusätzliche Analytik, z.B. auf Capstone Produkt A oder Capstone Produkt B, sinnvoll sein (in Rheinland-Pfalz ist die Untersuchung auf Capstone A und B obligatorisch).

Der Analyseumfang gemäß Tabelle 6 ist vor allem im Rahmen der Orientierenden Untersuchung (Phase IIa) für eine erste Einschätzung der Kontaminationssituation hinreichend. Aus den bisherigen Untersuchungen auf Bundesliegenschaften mit einem erweiterten Analytikumfang über die 13 prioritären Stoffe hinaus ist kein Fall bekannt, bei dem nicht mindestens eine dieser 13 Substanzen die Hauptkontaminante war.

Für die Detailuntersuchung (Phase IIb) und Gefährdungsabschätzung kann ein angepasstes, umfangreicheres Untersuchungsprogramm notwendig werden, welches zur Ergänzung z.B. ausgewählte Precursor-Verbindungen mit enthält.

Der BMUV-Leitfaden von 2022 weist darauf hin, dass die Analytik von Einzelverbindungen in bestimmten Fällen zu einer Unterschätzung des Risikopotentials führt. Dies trifft in erster Linie auf Verunreinigungen mit neueren PFAS-Produkten zu, bei denen inzwischen verbotene Einzelsubstanzen substituiert wurden. Im BMUV-Leitfaden wird empfohlen, nahe der Schadstoffquelle auch Summenparameter (s.u.) zu erfassen.

Das Erfordernis zur Untersuchung von Summenparametern ist auf Basis der jeweiligen Kontaminationshypothese abzuwägen. Zu beachten ist zudem, dass die Ergebnisse der Summenparameter teilweise schwierig in der Beurteilung sind. Von einer umfangreichen Analytik auf diese Parameter ist daher abzusehen.

Tabelle 6: Mindestuntersuchungsprogramm zur Analytik ausgewählter PFAS nach den Verfahren DIN 38407-42 (Wasser) und DIN 38414-14 (Feststoff) gemäß LAWA-LABO-Kleingruppe PFC und BMUV-Leitfaden

Stoffname	Abkürzung	Summenformel	CAS-Nr.
Perfluorbutansäure	PFBA	C4F7HO2	375-22-4
Perfluorpentansäure	PFPeA	C5F9HO2	2706-90-3
Perfluorhexansäure	PFHxA	C6F11HO2	307-24-4
Perfluorheptansäure	PFHpA	C7F13HO2	375-85-9
Perfluoroctansäure	PFOA	C8F15HO2	335-67-1
Perfluornonansäure	PFNA	C9F17HO2	375-95-1
Perfluordecansäure	PFDA	C10F19HO2	335-76-2
Perfluorbutansulfonsäure	PFBS	C4F9HO3S	375-73-5
Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	C6F13HO3S	355-46-4
Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS	C7F15HO3S	375-92-8
Perfluoroctansulfonsäure	PFOS	C8F17HO3S	1763-23-1
1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfonsäure	6:2 FTS (H4PFOS)	C8F13H5O3S	27619-97-2
Perfluoroctansulfonamid	PFOSA	C8F17SO2NH2	754-91-6

Tabelle 7: Anlassbezogen zu untersuchende PFAS

Stoffname	Abkürzung	Summenformel	CAS-Nr.
Perfluorundecansäure	PFOUnDA	C ₁₁ F ₂₁ H ₂ O ₂	2058-94-8
Perfluordodekansäure	PFODoDA	C ₁₂ F ₂₃ H ₂ O ₂	307-55-1
Perfluortridekansäure	PFOTrDA	C ₁₃ F ₂₅ H ₂ O ₂	72629-94-8
Perfluortetradecansäure	PFOTeDA	C ₁₄ F ₂₇ H ₂ O ₂	376-06-7
Perfluorpentansulfonsäure	PFOPeS	C ₅ F ₁₁ H ₃ O ₃ S	630402-22-1
Perfluornonansulfonsäure	PFOFS	C ₉ F ₁₉ H ₃ O ₃ S	98789-57-2
Perfluordecansulfonsäure	PFOFS	C ₁₀ F ₂₁ H ₃ O ₃ S	335-77-3
Perfluorundecansulfonsäure	PFOUnDS	C ₁₁ F ₂₃ H ₃ O ₃ S	749786-16-1
Perfluordodecansulfonsäure	PFODoDS	C ₁₂ F ₂₅ H ₃ O ₃ S	79780-39-5
Perfluortridecansulfonsäure	PFOTrDS	C ₁₃ F ₂₇ H ₃ O ₃ S	791563-89-8
2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansäure	H4PFOUnA	C ₁₁ H ₅ O ₂ F ₁₇	34598-33-9
7H-Perfluorheptansäure	HPFOHpA	C ₇ H ₂ O ₂ F ₁₂	1546-95-8
2H,2H-Perfluordecansäure	8:2 FTA (H2PFOFA)	C ₁₀ H ₃ O ₂ F ₁₇	27854-31-5
1H,1H,2H,2H-Polyfluorhexansulfonsäure	4:2 FTSA (H4PFOHxS)	F(CF ₂) ₄ CH ₂ CH ₂ SO ₃ H	757124-72-4
1H,1H,2H,2H-Polyfluordecansulfonsäure	8:2 FTSA (H4PFOFS)	F(CF ₂) ₁₀ CH ₂ CH ₂ SO ₃ H	39108-34-4
Capstone A	--	C ₁₃ F ₁₃ H ₁₇ N ₂ O ₃ S	80475-32-7
Capstone B	--	C ₁₅ F ₁₃ H ₁₉ N ₂ O ₄ S	34455-29-3

Bewertungsrelevant ist insbesondere der Wirkungspfad Boden-Grundwasser. Dementsprechend ist die Mobilität der eingetragenen Stoffe von Bedeutung und durch Eluatuntersuchungen zu bestimmen.

Dafür ist auf Bundesliegenschaften das Schüttelverfahren nach DIN 19529 (oder der Säulenversuch nach DIN 19528) mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2:1 anzuwenden. Dies gibt auch der BMUV-Leitfaden vor. Es gibt keine länderspezifisch abweichenden Vorgaben zum Wasser/Feststoff-Verhältnis mehr. Bis 2020 gab es die bayerische Vorgabe zur Verwendung des 10:1-Eluats (LfU BY, 2017).

In LfU BY (2020) und der aktuellen Version der bayrischen PFAS-Leitlinien (LfU BY, 2022) wird für Bodenproben zur Beurteilung des Sickerwassers nun ebenfalls ein Eluat im W/F-Verhältnis von 2:1 vorgegeben.

Zu beachten ist, dass der BMUV-Leitfaden in seinen Empfehlungen bei einigen Punkten explizit von den o.g. Elutions-Normen abweicht. DIN 19529 und DIN 19528 sehen u.a. vor, die Probe unverändert, also feldfrisch, zu untersuchen: Eine Trocknung darf nur bei Bedarf zur Herstellung der Rieselfähigkeit erfolgen. Neuere Vergleichsuntersuchungen zeigen, dass der Feuchtegrad der Probe bzw. die Art der Trocknung einen relevanten Einfluss auf die Analysenergebnisse bei PFAS haben können, wobei es bei den Mustern und Mechanismen noch erhebliche Unklarheiten gibt. Der BMUV-Leitfaden empfiehlt bei der Probenvorbereitung einen standardmäßigen Trocknungsschritt (max. 40 °C) zur besseren Vergleichbarkeit der Analysenergebnisse. Des Weiteren empfiehlt der BMUV-Leitfaden, entgegen der o.g. DIN auf einen Filtrationsschritt zu verzichten, da „insbesondere für Precursor Filtrationsverluste nachgewiesen wurden“. Mit den Neufassungen von 2023 wurde dieser Punkt in den beiden Elutions-Normen inzwischen umgesetzt: Bei organischen Parametern (wie PFAS) ist eine Filtration nach der Zentrifugierung nun nicht mehr grundsätzlich vorgesehen bzw. ist unzulässig.

Die Bundesländer gehen bei ihrer Einführung des BMUV-Leitfadens als Vollzugshilfe überwiegend nicht auf die empfohlenen Abweichungen von den DIN-Normen ein (Stand: 30.11.2023). Als einziges Bundesland empfiehlt Baden-Württemberg, sich entgegen der Empfehlung des BMUV-Leitfadens an die Vorgaben der DIN zu halten (s.a. Anlage A-1).

Die vom BMUV empfohlene Abweichung von den DIN-Normen setzt die entsprechende Kenntnis und das Bewusstsein bei allen an der Kontaminationsbearbeitung Beteiligten (i.W. Auftraggeber, Gutachter, Untersuchungsstellen) voraus.

Im Sinne einer praxistauglichen und einheitlichen Vorgehensweise wird daher für Liegenschaften des Bundes empfohlen, sich prinzipiell an die Vorgaben der einschlägigen Normen zu halten. Davon abgewichen werden sollte nur in begründeten Einzelfällen nach Abstimmung mit den Beteiligten inklusive ggf. der zuständigen Behörde.

Darüber hinaus gelten die Vorgaben zur PFAS-Bestimmung der DIN 38407-42 (Wasser) bzw. DIN 38414-14 (Schlamm, Kompost und Boden).

Im Analysenbericht ist die Messunsicherheit der durchgeführten PFAS-Analytik anzugeben. Falls durch das Labor ein über die 13 Einzelstoffe (Tabelle 5) hinausgehender Parameterumfang analysiert wurde, sind die zusätzlichen Einzelstoffe im Prüfbericht gesondert zu kennzeichnen und dürfen bei der Summenbildung nicht berücksichtigt werden. Entsprechend der Vorgabe der BFR BoGwS sind als qualitätssichernde Maßnahme, insbesondere im Zuge der Phase IIa, Doppelbestimmungen durchzuführen und die Ergebnisse zu bewerten.

Bei erhöhter Anzahl von Analysen, was i.d.R. im Zuge der Untersuchungen der Phase IIb der Fall ist, sind Blindproben (nachweislich PFAS-freie Proben) in das Untersuchungsprogramm zu integrieren. Dies ist erforderlich, um Hinweise auf mögliche Querkontaminationen zu erhalten.

Da die Einzelstoffanalytik absehbar nicht die Gesamtheit der existierenden PFAS-Verbindungen nachweisen kann, wurden bzw. werden neben der Einzelstoffanalytik nachfolgend dargestellte Verfahren zur Abschätzung des Gesamt-PFAS-Gehalts bzw. den Gesamtgehalt organisch gebundenen Fluors in Feststoff und Wasser über Summenparameter entwickelt.

→ **AOF**: Adsorbierbares organisch gebundenes Fluor für wässrige Proben, Bestimmung des Fluoridgehaltes, Bestimmungsgrenze aktuell um 2 µg/L AOF; Analytik analog zum AOX

(adsorbierbare organisch gebundene Halogene), Bestimmung nach DIN 38409-59:2022-10.

- **EOF:** Extrahierbares organisch gebundenes Fluor für Bodenproben und Pflanzenmaterialien, Bestimmung des Fluoridgehaltes, Bestimmungsgrenze 10 µg/kg; Analytik analog der AOF-Bestimmung; Normung erfolgt auf europäischer Ebene.
- **TOP-Assay:** Oxidierbare Vorläuferverbindungen (TOP – total oxidizable precursor) für Bodeneluate und wässrige Proben; definierte Oxidation der unbekanntenen Vorläuferverbindungen zu perfluorierten Verbindungen (Carbonsäuren), die über eine Einzelstoffanalytik erfassbar sind; Bestimmung der Gehalte der Einzelstoffe in der oxidierten und in der unbehandelten Probe; die Höhe der Differenz liefert Rückschlüsse auf den Anteil an Vorläuferverbindungen in der Probe. TOP-Assay gem. Normentwurf DIN 3608:2023-08; Einzelstoffanalytik s.o.

Die Ergebnisse von AOF und EOF erfassen die Fluorid-Konzentration und sind somit nicht unmittelbar mit den Konzentrationen aus der Einzelstoffanalytik vergleichbar. Zum Vergleich mit der Einzelstoffanalytik ist zusätzlich der jeweilige Fluoridgehalt je nachgewiesener Einzelsubstanz zu berechnen.

Die Ergebnisse der Analytik von Summenparametern bzw. damit der orientierenden Einschätzung der Gesamtmenge an PFAS in der Probe sind ggf. schwierig zu bewerten. Sofern Unsicherheiten über die projektspezifische Relevanz der möglichen zusätzlichen Einbeziehung von Summenparametern bestehen, stehen das zentrale Kontaminationsmanagement der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA ZEPM 4), die Koordinationsstelle der Kontaminationsbearbeitung der Bw im BAIUDBw, Referat GS II 5 ebenso wie die Leitstelle des Bundes für Boden- und Grundwasserschutz im Niedersächsischen Landesamt für Bau und Liegenschaften (NLBL) beratend zur Verfügung.

6.4 Phase IIa – Orientierende Untersuchung

Im Rahmen einer orientierenden Untersuchung geht es im ersten Schritt im Wesentlichen um den Nachweis bzw. den Ausschluss von PFAS im betrachteten Kompartiment (i.d.R. im Boden). Eine Abgrenzung einer PFAS-Kontamination ist in dieser Untersuchungsphase nicht das vorrangige Ziel. Diese Abgrenzung folgt, bei Bestätigung des Kontaminationsverdachts, in der nachgeschalteten „Detailuntersuchung“ Phase IIb. Aufgrund der sich unterscheidenden Zielsetzung der beiden Untersuchungsphasen können die Untersuchungsstrategien u.a. im Hinblick auf Aufschlussart und Umfang voneinander abweichen, so dass eine differenzierte Betrachtung notwendig ist.

Im Rahmen der Phase IIa muss keine endgültige Abgrenzung der Kontamination erfolgen. Daher kann eine z.B. mit dem Einsatz von Rammkernsondierungen einhergehende höhere Ergebnisunsicherheit akzeptiert werden.

In Abhängigkeit der Kontaminationshypothese bzw. des Eintragungsszenarios haben bisherige Untersuchungen die Erkenntnis gebracht, dass zwei grundsätzliche Kontaminationsbilder auftreten: 1. punktuelle Kontaminationen und 2. flächige, diffuse Kontaminationen. Diese Differenzierung wird auch vom UBA (2020b) im Rahmen eines Sanierungsmanagements empfohlen.

Für Untersuchungen im Rahmen der Phase IIa werden für unterschiedliche Eintragungsszenarien basierend auf aktuellen Erkenntnissen und unter Beachtung der Vorgaben der BBodSchV nachfolgend erläuterte Vorgehensweisen für den **Wirkungspfad Boden-Grundwasser** empfohlen.

Eintragungsszenario - eher punktueller, nutzungsbezogener Eintrag (z.B. Feuerlöschübungsbecken, Feuerwache, Übungsflächen, Brände/Havarien u.Ä.):

Bodenbeprobung im Bereich des vermuteten maximalen Eintrags.

Feuerlöschübungsbecken (je nach technischer Ausgestaltung):

- in unmittelbar zur Brenngrube angrenzender unversiegelter Fläche
- Entwässerung (z.B. Sickergruben)
- Untersuchung radial um den primären Einsatzort des Löschmittels
- Berücksichtigung von Winddrift

Feuerwachen/Waschplätze/Shelter (Orte mit regelmäßigem Löschmitteleinsatz):

- Probenahme in unversiegelten Flächen direkt angrenzend an die versiegelten Flächen
- Untersuchung zumindest in Geländesenken

Eintragungsszenario - eher diffuser, flächiger Eintrag (z.B. Start-/Landebahn bei unbekanntem Einsatz von Schaumteppichen, unversiegelte Flächen an Abstellflächen, vermutete nicht explizit ausgewiesene Übungsflächen, ggf. Bewässerung mit kontaminiertem Grundwasser u. ä.)

- Einzelproben über die Fläche; Ansatzpunkte Raster, i.d.R. mindestens bis 1,0 m Tiefe
- Empfohlenes Aufschlussverfahren Schurf; Anmerkung: Bei aktiv genutzten Liegenschaften ist es aus Sicherheitsgründen ggf. nicht möglich, Schürfe mit einhergehenden Bodeneingriffen durchzuführen (→ Alternative Sondierverfahren)

oder

- Mischprobe je KVF, je nach Flächengröße der KVF in Teilflächen unterteilen; Einstiche bis 1,0 m Tiefe

Für beide Szenarien gilt:**Boden**

- Schichteinheiten bei Beprobung bis 1,0 m:
Probenahmeintervalle in Abhängigkeit vom Aufbau des Untergrunds und der Schichtmächtigkeiten, z.B. 0-0,1 (Oberboden), 0,1-0,3 u. 0,3-1,0 m;
- darunter Beprobung schichtweise, höchstens jedoch meterweise
- bei Hinweisen auf Einträge über die Kanalisation Proben aus dem Bereich der Kanalsohle

Sedimente aus technischen Anlagen (Versickerungsbecken, RRB etc.) und Oberflächengewässern

- Entnahme mittels Handschurf (Spaten)
- Konsistenzabhängig bzw. wassergehaltsabhängig; wenn möglich tiefenorientiert bis 0,3 m
- Überstehendes Wasser vermeiden bzw. Probe vor Ort entwässern

Sielhaut (aus Entwässerungssystemen, Versickerungsanlagen u.ä.)

(Eine sogenannte Sielhaut ist ein Biofilm oder Schlamm, der in Kanalisationssystemen nach einiger Zeit entsteht und in denen sich Schadstoffe anreichern können. I.d.R. ist die Schadstoffkonzentration in der Sielhaut umso höher, je näher die Einleitungsstelle liegt.)

- Untersuchung der Sielhaut als integraler Ansatz – Entwässerungssystem als Repräsentant des Einzugsgebietes, ob PFAS-Einträge stattgefunden haben

Grundwasser

- Bei vorhandenen Grundwassermessstellen und Hinweisen auf PFAS-Eintrag im Anstrom Grundwasserbeprobung (Mehrfachbeprobung, mind. zwei Beprobungskampagnen)
- In Abhängigkeit von den Vorkenntnissen ggf. bereits Messstellenbau im Rahmen der Phase IIa (s.a. Kap. 6.5)

Ausnahme integraler Ansatz, d.h.:

- Grundwasserüberwachung für einen gesamten Standort, also für mehrere KVF zusammengefasst. So kann überprüft werden, ob bzw. inwieweit eine Grundwasserverunreinigung auf dem Standort stattfindet bzw. stattgefunden hat.

Wässer/Oberflächengewässer/Standwasser

(z.B. in Entwässerungsanlagen oder FÜB)

- Schöpfprobe (Mehrfachbeprobung, mind. zwei Beprobungskampagnen)

Für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze sind die Vorgaben der BBodSchV anzuwenden.

6.5 Phase IIb – Detailuntersuchung

Ergibt sich aus der Phase IIa ein Gefahrenverdacht, erfolgt zur abschließenden Gefährdungsabschätzung die Phase IIb. Je nach Zeitspanne zwischen Phase IIa und IIb ist, wie auch zwischen den Phasen I und IIa gefordert, eine Defizitanalyse hinsichtlich der Aussagereichweite und Aktualität der Daten der jeweiligen Phase durchzuführen.

Da sich in der Phase IIb der Fokus bei PFAS-Kontaminationen i.d.R. auf den Wirkungspfad Boden-Grundwasser richtet, ist eine Prüfung, ob eine Zusammenfassung/Clusterung von KF für die weitere Bearbeitung sinnvoll ist, nachdrücklich zu empfehlen. Dies betrifft insbesondere nahe beieinander liegende Flächen mit diffusen Einträgen oder Flächen, die über ein zusammenhängendes Entwässerungssystem verfügen. Inwieweit eine Clusterung zielführend ist, ist individuell für jeden Standort zu prüfen, wobei das Zusammenfassen von Flächen insbesondere bei Grundwasseruntersuchung der Einzelflächenbearbeitung vorzuziehen ist.

Die grundsätzliche Vorgehensweise bei Untersuchungen im Rahmen der Phase IIb orientiert sich, wie die Phase IIa, an den jeweiligen Eintragsszenarien und an möglicherweise aus der Phase IIa ableitbaren Kontaminationsmustern.

Für die Detailuntersuchung und die abschließende Gefährdungsabschätzung ist eine vertikale und horizontale Abgrenzung der Bodenkontaminationen bis ins Detail nicht in jedem Fall geboten. Je nach Daten- bzw. Ergebnisgrundlage nach der Phase IIa ergeben sich unterschiedliche Szenarien, die zu verschiedenen Untersuchungsansätzen der Phase IIb führen können. Es steht immer die Klärung der Abschätzung des Gefährdungspotentials für das Grundwasser im Fokus.

Grundsätzlich sollte bei einem Bau von Grundwassermessstellen in PFAS-Eintragsbereichen eine durchgehende Bodenbeprobung mindestens in der ungesättigten Bodenzone durchgeführt werden. Dies dient dazu, Hinweise auf das Schadstofftransportverhalten zu erhalten und das Risiko für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser besser abschätzen zu können. In jedem Fall ist für die Durchführung einer verbal-argumentativen Sickerwasserprognose, in Anbetracht der unterschiedlichen Mobilität der PFAS-Einzelstoffe, eine genaue Beschreibung des Bohrgutes notwendig.

Bei der Errichtung von Grundwassermessstellen ist grundsätzlich gemäß den einschlägigen fachlichen Vorgaben zu verfahren. Derzeit gibt es keine Hinweise darauf, dass bei der Untersuchung von PFAS im Grundwasser vom Üblichen abweichende Anforderungen an den Ausbau (z.B. Lage der Filterstrecke, Durchmesser der Messstelle, Ausbaumaterial) zu stellen sind.

Ist mit einer großflächigen Beeinträchtigung der Grundwasserqualität zu rechnen, kann eine Untersuchung der gesättigten Bodenzone mittels Direct-Push-Verfahren (DP) vorgeschaltet werden, um die Lage und den Ausbau von Grundwassermessstellen gezielt festlegen und mit optimaler Positionierung die Anzahl von Grundwassermessstellen reduzieren zu können. Damit können der Bohraufwand und die Masse des zu entsorgenden, potentiell PFAS-kontaminierten Bohrgutes so gering wie möglich gehalten werden.

6.6 Abschließende Gefährdungsabschätzung

Grundlage für die behördliche Bewertung und die gegebenenfalls erforderliche Einleitung der Phase III ist eine abschließende Gefährdungsabschätzung. Für eine solche abschließende Gefährdungsabschätzung müssen gem. BFR BoGwS (Anlage 2.1.1 Phase IIb (Detailuntersuchung)) die „Schutzgüter, Schadstoffquellen und Wirkungspfade (Transferpfade, Stoffausbreitungspfade) quantitativ beschrieben werden. Hierfür sind i.d.R. genauere Kenntnisse des Untergrundaufbaus, der hydrogeologischen Standortverhältnisse, der horizontalen und vertikalen Schadstoffverteilung sowie deren zeitlichen Veränderungen, der möglichen Emissionspfade sowie der toxikologischen Relevanz der Schadstoffe notwendig.“

Das bedeutet, dass für eine abschließende Gefährdungsabschätzung die Erkundungsmaßnahmen soweit abgeschlossen sein müssen, dass basierend auf den Ergebnissen eine Gefahrenbeurteilung möglich ist. Des Weiteren müssen die Verunreinigungen soweit abgegrenzt sein, dass eine ggf. notwendige Sanierungsuntersuchung darauf aufbauend erfolgen kann.

Sofern noch relevante Kenntnisdefizite bestehen, sind ergänzende Untersuchungen in Form „einer Verdichtung der Untersuchungspunkte“ im Rahmen der Phase IIb oder auch bis dahin nicht berücksichtigte Medien im Rahmen einer ergänzenden Phase IIa zu erkunden und zu beurteilen. Dabei können die Untersuchungsphasen in Abhängigkeit der Ergebnisse ggf. auch mehrstufig gestaltet sein.

7 Phase III - Sanierung

Sofern in der Gefährdungsabschätzung schädliche Bodenveränderungen oder schädliche Grundwasserunreinigungen ermittelt wurden und die zuständige Behörde in ihrer Ermessensentscheidung feststellt, dass Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich sind, ist die Phase III einzuleiten.

Zu beachten ist, dass alle Maßnahmen der Phase III entweder mit den zuständigen Kompetenzzentren des Bundesamtes für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr (BAIUSBw KompZ BauMgmt), mit BAIUSBw GS II 5 oder mit dem Zentralen Kontaminationsmanagement der BImA in der Abteilung ZEPM 4, der regionalen Fachplanung der BImA sowie der Leitstelle des Bundes im NLBL abzustimmen sind.

Insbesondere bei Verunreinigungen mit PFAS ist es aufgrund der noch bestehenden generellen Kenntnisdefizite z.B. zur Relevanz und Bestimmung von Precursor wichtig, dass das Sanierungsziel in Abstimmung mit der zuständigen Behörde entsprechend des Sanierungsverlaufs und des Kenntniszuwachses angepasst werden kann (vertragliche Regelung).

Bereits zu Beginn der Phase III ist ein vorläufiges Sanierungsziel festzulegen. Eine Sanierungsuntersuchung mit einer Variantenstudie möglicher Sanierungsverfahren ist die Grundlage für die Prüfung der zuständigen Behörde, welche Sanierungsmaßnahme verhältnismäßig ist. In diesem Zusammenhang ist das Sanierungsziel ggf. iterativ anzupassen.

Aufgrund der noch bestehenden Kenntnisdefizite beim Umgang mit PFAS-Verunreinigungen ist die in § 4 Abs. 3 BBodSchG festgelegte Gleichrangigkeit von Dekontaminations- und Sicherungsmaßnahmen zu betonen.

Bisher stehen zur Sanierung von PFAS-Kontaminationen nur wenige geeignete Verfahren zur Verfügung. Für das Grundwasser werden Pump-And-Treat Maßnahmen erfolgreich durchgeführt. Für die Quellenbeseitigung im Boden ist prinzipiell ein Bodenaustausch als in der Praxis umgesetztes Verfahren möglich. Zur temporären Sicherung können Bodenkontaminationen abgedeckt werden. Daneben gibt es eine Vielzahl unterschiedlichster Verfahrensideen, die in ihrer Entwicklungsstufe vom theoretisch Machbaren bis hin zur Umsetzung im Feldmaßstab reichen. Vom UBA (2020b, Anhang C) wurde eine umfangreiche Auflistung einer Vielzahl von Verfahren vorgelegt. Bei der Nutzung dieser umfangreichen Liste sei darauf hingewiesen, dass die meisten der dort aufgeführten „Verfahren noch im Entwurfs- oder Entwicklungsstadium sind“ (UBA, 2020b, Anhang C, S. 6). Die Auflistung kann daher nicht ohne ausführliche Vorprüfung als Auswahlliste möglicher umsetzbarer Verfahren dienen.

Bei der Auswahl eines Sanierungsverfahrens ist frühzeitig die potentielle Genehmigungsfähigkeit mit den zuständigen Behörden abzustimmen. Dies gilt insbesondere bei innovativen Verfahren wie beispielsweise dem Einbringen von Substrat in den Boden zur Immobilisierung von PFAS.

Für die Verfahrensprüfung sei darauf hingewiesen, dass bei großräumigen Kontaminationen nach aktuellem Stand meist Verfahren zur Sicherung der Kontamination eingesetzt werden. Für große Kontaminationsflächen sind ökonomisch und ökologisch sinnvoll umsetzbare Dekontaminationsmaßnahmen aktuell (noch) nicht verfügbar. Für kleinräumige, punktuelle Kontaminationen steht ein Bodenaushub mit anschließender Hochtemperaturverbrennung als einzig verfügbares Verfahren zur Dekontamination zur Verfügung.

Boden

Bei Eingriffen in den Boden innerhalb eines von der Behörde für verbindlich erklärten Sanierungsplangebietes ist §13 Abs. 5 BBodSchG zu berücksichtigen. Dabei kann kontaminierter Boden abweichend vom Abfallrecht unter bestimmten Bedingungen am Standort umgelagert und in technischen Bauwerken gesichert wieder eingebaut werden. Im Vordergrund steht dann die Gefahrenabwehrmaßnahme. Dabei handelt es sich bei jedem Vorhaben um einen Einzelfall, der mit den zuständigen Behörden abzuklären und von diesen zu genehmigen ist.

Nachfolgend sind etablierte Methoden und im Fokus der fachlichen Diskussion stehende Methoden stichwortartig kurz zusammengefasst. Für eine umfangreiche Beschreibung und Bewertung auch anderer Verfahren sei auf den Anhang C, UBA 2020b verwiesen.

Oberflächen-Sicherung/Abdeckung

Diese Methode ist anpassbar und generell genehmigungsfähig. Sie bietet sich zudem als temporäre Lösung als Sofortmaßnahme an, um einen weiteren Austrag von PFAS ins Grundwasser zu verhindern.

Bodenaustausch

Der Bodenaustausch ist für kleinräumige, punktuelle Kontaminationen geeignet. Mit dem anfallenden Bodenaushub kann wie folgt umgegangen werden:

- Deponierung – Achtung, für PFAS-kontaminierte Stoffe kaum Deponieraum vorhanden! Im Rahmen der Planung sind die möglichen Entsorgungswege genauestens zu prüfen und abzustimmen.
- Hochtemperaturverbrennung – aufgrund der hohen Kosten und unter ökologischen Gesichtspunkten (völlige Zerstörung von Bodenfunktionen, hoher Energieaufwand) nur für sehr kleine Bodenmengen geeignet.

- Sicherung durch Umlagerung innerhalb des Sanierungsplangebietes – immer mit Einbau im technischen Bauwerk und Überwachung des Grundwassers.

Dabei werden z.B. PFAS-verunreinigte Böden aus mehreren Bereichen auf der betroffenen Liegenschaft zusammengeführt in einem modular aufgebauten Sanierungsbauwerk aus technischen Dichtungs- und Sicherungsbauwerken. Die Zielfläche sollte dabei unter Beachtung des Verschlechterungsverbots auf einer schon verunreinigten Fläche errichtet werden. Derzeit sind entsprechende Maßnahmen auf Bundesliegenschaften in Vorbereitung.

Neben der Unterbindung der weiteren Exposition der PFAS hat die beschriebene Zentralisierung der Verunreinigungen den Vorteil, dass Dekontaminationsmaßnahmen unter gesicherten Bedingungen durchgeführt werden können, sofern zukünftig entsprechende Techniken zur Dekontamination verfügbar sind.

Bodenwäsche

Die Grundannahme zur Verfahrenswirkung besteht darin, dass sich PFAS bevorzugt an das Feinkorn binden und durch eine Bodenwäsche (Klassierung) die Menge PFAS-kontaminierter Bodens auf die Feinfraktion reduziert wird. Aktuelle Erfahrungen aus dem Betrieb einer Bodenwaschanlage auf dem NATO-Flugplatz Wittmundhafen zeigen, dass in dem Fall nicht lediglich eine Klassierung von Grobmaterial und PFAS-haltigem Feinmaterial erfolgte, sondern die PFAS überwiegend in das Waschwasser migrierten. Die PFAS-Gehalte im abgetrennten Feinmaterial (Filterkuchen) waren deutlich niedriger als angenommen.

Der Umgang mit dem abgetrennten Feinmaterial ist abhängig vom Schadstoffgehalt. Während er in Wittmundhafen teilweise für die Herstellung einer für den Wiedereinbau geeigneten Körnung verwendet werden konnte, ist im Regelfall eine Beseitigung in Form einer Deponierung oder Hochtemperaturverbrennung erforderlich.

Eine Bodenwäsche ist nicht bei allen Korngrößenverteilungen anwendbar, da bei einem zu hohen Feinkornanteil das Reduzierungspotential der Bodenmasse nicht im Verhältnis zum Aufwand steht. Es ist immer eine Abwasserbehandlungsanlage (z.B. Adsorption auf Aktivkohle) nachzuschalten.

Grundwasser

Zur Sanierung von PFAS-Verunreinigungen im Grundwasser ist das Pump-And-Treat-Verfahren etabliert (Grundwasserförderung mit Behandlung des Wassers am Standort (on-site)). Das Verfahren wird zur hydraulischen Sicherung des Abstroms an der Quelle und/oder in der Verunreinigungsfahne eingesetzt. Eine vollständige Dekontamination ist mit dem Pump-And-Treat-Verfahren als alleinige Maßnahme i.d.R. nicht über einen überschaubaren Zeitraum zu erreichen.

Varianten des Verfahrens stehen insbesondere bei der Behandlung (Treat) des geförderten Grundwassers zur Verfügung (z.B. Fällung, Sorption an Aktivkohle oder Ionentauscher). Bei der Auswahl geeigneter Behandlungsverfahren sind unbedingt Vorversuche durchzuführen, da sich die Leistungsfähigkeit verschiedener Vorbehandlungsstufen und Sorbentien abhängig von der PFAS-Konzentration und -Zusammensetzung im Wasser stark unterscheiden kann. Darüber hinaus haben der spezifische Wasserchemismus (pH-Wert, Fe-Gehalt etc.) und möglicherweise vorhandene Störstoffe einen erheblichen Einfluss auf den Wirkungsgrad der Abreinigung.

Bei der Grundwasserförderung und -behandlung ist zu berücksichtigen, dass die PFAS lediglich aus dem Wasser ausgeschleust werden. Am Ende steht eine Zerstörung der PFAS durch eine Hochtemperaturverbrennung. Diese kann durch Hochtemperaturverbrennung des Sorbens oder durch Lösen der PFAS vom Sorbens und Überführen in die Gasphase mit anschließender Hochtemperaturnachverbrennung der Abgase erfolgen.

Neben dem etablierten Pump-And-Treat-Verfahren werden in der UBA-Veröffentlichung zum Sanierungsmanagement (UBA, 2020b) zahlreiche weitere Methoden, auch in-situ-Verfahren, mit unterschiedliche Entwicklungsständen vorgestellt.

Vielversprechend und bereits im technischen Maßstab meist außerhalb Deutschlands eingesetzt, ist die Injektion von kolloidaler Aktivkohle in den Grundwasserleiter mit nachfolgender Sorption der PFAS an der Kohle. Dadurch lassen sich Sorptionsbarrieren im Grundwasserleiter errichten. Auch auf einer ehemaligen Bundesliegenschaft mit Beteiligung von BImA und NLBL wird das Verfahren derzeit als Vorzugsvariante bei der Sanierungsuntersuchung weiterverfolgt.

8 Umgang mit PFAS-haltigem Boden- und Pflanzenmaterial

Auf Bundesliegenschaften fällt nicht nur bei bodenschutzrechtlich erforderlichen Sanierungsmaßnahmen (s. Kap. 7), sondern z.B. bei infrastrukturellen Instandhaltungsmaßnahmen regelmäßig Material wie Bodenaushub oder auch Grasschnitt an, das aus mit PFAS-kontaminierten Bereichen stammt.

Der ordnungsgemäße Umgang mit PFAS-haltigen Materialien ist frühzeitig zu klären, insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Entsorgung von mit PFAS kontaminierten Materialien weiterhin erschwert ist. Aufgrund unklarer rechtlicher oder genehmigungstechnischer Rahmenbedingungen nehmen viele Deponien keine entsprechenden Materialien an. Zudem ist generell der Deponieraum knapp.

Besonders relevant ist daher der allgemeine Grundsatz, Abfälle möglichst zu vermeiden oder zu minimieren. Bei nicht vermeidbaren Abfällen ist, sofern im Einzelfall möglich und sinnvoll, geringer belastetes Material von höher belastetem Material zu trennen und getrennt zu entsorgen (Vorrang Verwertung vor Beseitigung).

Nachdem es bisher keine einheitlichen Grundlagen gab, enthält nunmehr der BMUV-Leitfaden von 2022 umfangreiche Angaben im Hinblick auf den Umgang mit PFAS-haltigem Bodenmaterial. Das Vorgehen auf Bundesliegenschaften sollte den Empfehlungen grundsätzlich folgen.

Bodenmaterial aus Baumaßnahmen

Unter Beachtung der Maßgabe zur Abfallvermeidung ist zunächst zu prüfen, inwiefern bei Baumaßnahmen ausgehobenes, kontaminiertes Bodenmaterial wieder am Ort der Entstehung eingebaut werden darf (allgemeingültig, nicht nur bzgl. PFAS). Zu beachten sind §§ 6-8 BBodSchV. Grundsätzlich gilt, dass es keine Verschlechterung geben darf (Verschlechterungsverbot) und dass keine schädliche Bodenveränderung oder das Entstehen einer schädlichen Veränderung des Grundwassers zu besorgen sein darf. Ein Wiedereinbau kontaminierten Bodenaushubs vor Ort ist daher einzelfallspezifisch abzuklären. Die Rahmenbedingungen inklusive des räumlichen Geltungsbereichs sind im Vorfeld möglichst klar zu definieren.

Sofern der Bodenaushub definitionsgemäß als Abfall einzustufen ist, d.h. überschüssig ist (Entledigungswille) oder aufgrund der Verunreinigung (hier mit PFAS) am Ort der Entstehung nicht wiederverwendet werden darf (Entledigungspflicht), ist er ordnungsgemäß zu entsorgen (Verwertung oder Beseitigung).

Grundsätzlich gilt, dass bei einer Verwertung die Unterschreitung der Gefahrenschwelle erforderlich ist. Der BMUV-Leitfaden von 2022 empfiehlt, dafür die GFS-Werte im Sickerwasser beim Eintritt in das Grundwasser (Ort der Beurteilung) zu verwenden. (Diese entsprechen den Prüfwerten für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser der am 01.08.2023 in Kraft getretenen Neufassung der BBodSchV (s.o.)). Orientierend werden die GOW-Werte herangezogen.

GFS- und GOW-Werte bilden damit die Grundlage für die in den Tabellen 8 und 9 aufgeführten Verwertungskategorien des BMUV-Leitfadens. Bei Unterschreitung der Werte der Verwertungskategorie (VK) 1, die den GFS- und GOW-Werten entsprechen, ist die Gefahrenschwelle sicher unterschritten, ein uneingeschränkter offener Einbau des Bodenmaterials möglich (BMUV, 2022).

VK 2 mit den doppelten GFS- bzw. GOW-Werten gilt für den "eingeschränkten offenen Einbau in Gebieten mit erhöhten PFAS Gehalten" (BMUV, 2022). (Zu beachten: Im Entwurf des BMUV-Leitfadens vom 27.04.2021 (LABO/LAWA, 2021), der in der 4. Auflage des Leitfadens für Bundesliegenschaften zitiert wurde, waren die Werte für VK 1 und VK 2 noch identisch und die VK wurden etwas anders definiert.)

Für die Verwertungskategorie 3, die den „eingeschränkten Einbau in technische Bauwerke mit definierten Sicherungsmaßnahmen“ wie z.B. einer wasserundurchlässige Abdeckung beschreibt, gibt der BMUV-Leitfaden das 5- bzw. 10-fache der GFS- und GOW-Werte vor (s. Tab. 8 und 9).

Der BMUV-Leitfaden enthält weitere allgemeine Grundsätze sowie detaillierte Angaben zu den einzelnen Verwertungskategorien.

Es empfiehlt sich, die Verwertung von Bodenmaterial im Einzelfall abzuklären. Erhöhte Hintergrundgehalte oder günstige (hydro-)geologische Eigenschaften, die einer Gefährdung des Grundwassers entgegenstehen, lassen ggf. eine Verwertung von Bodenmaterial auch mit höheren PFAS-Konzentrationen zu.

Im Hinblick auf die Verwertung oder Beseitigung auf Deponien bezieht sich der BMUV-Leitfaden von 2022 auf Artikel 7 Absatz 4 EU-Verordnung 2019/1021 und § 7 Absatz 1 Nummer 7 Deponieverordnung (DepV), gemäß derer eine oberirdische Deponierung von Bodenmaterial bis zu einem Gehalt von 50 mg/kg für den Einzelstoff PFOS zulässig ist. Bei einer Überschreitung dieses Werts kann eine Entsorgung in permanente unterirdische Speicher für gefährliche Abfälle erfolgen. Der BMUV-Leitfaden empfiehlt, den für PFOS geltenden Grenzwert von 50 mg/kg für die oberirdische Deponierung auf die Summe der ermittelten PFAS anzuwenden.

Tabelle 8: Verwertungskategorien, vorläufige maximal zulässige Konzentrationen im W/F 2:1-Eluat in µg/L (GFS-basierte Werte, BMUV, 2022)

Stoffname	Abkürzung	Verwertungskategorie 1 (uneingeschränkter offener Einbau)	Verwertungskategorie 2 (eingeschränkter offener Einbau in Gebieten mit erhöhten PFAS-Gehalten (* siehe Erläuterungen))	Verwertungskategorie 3 (eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen)
Perfluorbutansäure	PFBA	10	20,0	50
Perfluorhexansäure	PFHxA	6	12,0	30
Perfluoroctansäure	PFOA	0,1	0,2	1
Perfluornonansäure	PFNA	0,06	0,12	0,6
Perfluorbutansulfonsäure	PFBS	6,0	12,0	30
Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	0,1	0,2	1
Perfluoroctansulfonsäure	PFOS	0,1	0,2	1

Tabelle 9: Verwertungskategorien, vorläufige maximal zulässige Konzentrationen für Orientierungswerte im W/F 2:1-Eluat in µg/L (GOW-basierte Werte) (BMUV, 2022)

Stoffname	Abkürzung	Verwertungs-kategorie 1 (uneingeschränkter offener Einbau)	Verwertungs-kategorie 2 (eingeschränkter offener Einbau)	Verwertungs-kategorie 3 (eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen)
Perfluorpentansäure	PFPeA	3,0	6,0	15
Perfluorheptansäure	PFHpA	0,3	0,6	3
Perfluordekansäure	PFDA	0,1	0,2	1
Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS	0,3	0,6	3
6:2-Fluortelomersulfonsäure	6:2 FTS (H4PFOS)	0,1	0,2	1
Perfluoroctansulfonamid	PFOSA	0,1	0,2	1
Weitere PFAS	--	0,1	0,2	1

Erläuterungen zu den Tabellen 8 und 9 (BMUV, 2022):

Angesichts der unzureichenden Datenlage zur Ableitung von Feststoffwerten wird empfohlen, vorerst für die Beurteilung einer Verwertbarkeit von Bodenmaterial die Werte der Tabellen 8 und 9 zu verwenden. Abweichungen sind als länderspezifische Regelungen möglich. Dies gilt bzgl. der GFS-Werte auch für die Anwendung der Quotientensumme (vgl. Kapitel 3.4). Sobald Hintergrundwerte auf Basis von Feststoffgehalten (FG) vorliegen und die Analytik es zulässt, sind die hilfsweisen, vorläufigen Anforderungen in Form von Eluatwerten durch FG in Kombination mit Eluatwerten abzulösen.

- **VK 1:** Bei der uneingeschränkten offenen Verwertung von Bodenmaterial darf das Entstehen einer schädlichen Bodenveränderung nicht zu besorgen sein. Bodenmaterial kann auf oder in die durchwurzelbare Bodenschicht auf- oder eingebracht oder in bodenähnliche Anwendungen bzw. in technische Bauwerke eingebracht werden, wenn die verwendeten Eluatgehalte in Höhe der in den Tabellen 8 und 9 angegebenen GFS- und GOW-Werte nicht überschritten werden. Tabelle 8 (VK auf Basis GFS-Werte): Diese Werte orientieren sich an den Werten, die das Grundwasser ausreichend schützen. Tabelle 9 (VK auf Basis GOW-Werte): Diese Werte bieten eine Orientierung, solange für diese Einzelstoffe noch keine GFS-Werte vorliegen.
- **VK 2:** Eine eingeschränkte offene Verwertung ist unter bestimmten Bedingungen möglich (*):
In Gebieten mit erhöhten PFAS-Gehalten (nach § 6 Abs. 4 der neugefassten BBodSchV) kann anfallendes Bodenmaterial der VK 2 bis zu den doppelten GFS- bzw. GOW-Werten im Eluat innerhalb dieser Gebiete im eingeschränkten offenen Einbau verwertet werden, wenn einzelfallspezifisch nachgewiesen ist, dass eine ordnungsgemäße und schadlose Verwertung erfolgt. Dabei sind die Standortverhältnisse, insbesondere die geologischen und hydrogeologischen Bedingungen, die natürlichen Bodenfunktionen des Untergrundes und der Umgebung sowie etwa bereits vorhandene PFAS-Gehalte zu berücksichtigen. Die Situation am Ort der Verwertung darf nicht verschlechtert werden. Der Abstand zum höchsten zu erwartenden Grundwasserstand muss mindestens 1,0 m zuzüglich eines Sicherheitsabstandes von 0,5 m betragen.
Unter diesen Bedingungen kann die für die Zulassung des Auf- und Einbringens von Bodenmaterial zuständige Behörde im Einvernehmen mit der für den Bodenschutz zuständigen Behörde das Auf- oder Einbringen von PFAS-haltigem Bodenmaterial gestatten.
Es wird empfohlen, die zuständige Wasserbehörde zu beteiligen.
Diese Regelungen sind nicht möglich in Wasserschutzgebieten (Zone I bis III B), Heilquellenschutzgebieten, Wasservorranggebieten und Gebieten mit häufigen Überschwemmungen.

- **VK 3:** Bei der Ableitung der Werte für die Verwertung in technischen Bauwerken mit definierten Sicherungsmaßnahmen der VK 3 wurde die Mobilität kurzkettiger Verbindungen (Anwendung des Faktors fünf) bzw. die erhöhte Retardation langkettiger Verbindungen im Boden (Anwendung des Faktors zehn) berücksichtigt. Der Abstand zum höchsten zu erwartenden Grundwasserstand muss mindestens 1,0 m zuzüglich eines Sicherheitsabstandes von 0,5 m betragen.

Pflanzenmaterial

Auf Flächen mit Kontaminationsverdacht sollte aus Vorsorgegründen die landwirtschaftliche Nutzung eingestellt werden. Dies umfasst die Landnutzung zur Heu- und/oder Silagegewinnung sowie die Nutzung als Weide- und Ackerflächen. Anfallende Mahd ist, falls kein geeigneter Entsorgungsweg gefunden werden kann, auf der Entstehungsfläche als Mulch zu belassen. Dadurch werden mögliche Verschleppungen minimiert.

An Dritte verpachtete/vermietete Flächen, die sich mit Flächen mit PFAS-Kontaminationsverdacht überschneiden, sind bis auf Widerruf aus der landwirtschaftlichen Nutzung zu nehmen, um so den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze und das Risiko einer Schadstoffaufnahme durch den Menschen durch den Verzehr möglicherweise belasteter Tiere zu unterbrechen. Zudem muss die Kompostierung des Aufwuchses solcher Flächen unterbleiben, um eine Rückführung von PFAS in den Boden beim Aufbringen des Kompostes auf anderen (unbelasteten) Flächen zu verhindern.

Über ein Vor-Ernte-Monitoring kann das Nutzungsverbot ggf. aufgehoben werden. Damit kann sichergestellt werden, dass eine mögliche PFAS-Kontamination des Ernteguts entdeckt und die Verwendung bzw. das Inverkehrbringen unterbunden wird. Dies trifft auch auf Pflanzenmaterial zu, welches der Kompostgewinnung zugeführt werden soll. In jedem Fall ist das Vorgehen mit den zuständigen Behörden abzustimmen.

Bestätigt sich nach einer Untersuchung der Phase IIa der Kontaminationsverdacht auf einer Fläche nicht, kann diese der landwirtschaftlichen Nutzung wieder uneingeschränkt zugeführt werden.

Bei der Geländebetreuung fallen ggf. unterschiedliche, mit PFAS kontaminierte Materialien wie Mähgut, Gehölzschnitt oder Material z.B. aus der Reinigung von Entwässerungsgräben an. Grundsätzlich gilt, dass die Materialien nicht zu kompostieren sind, da andernfalls die Gefahr besteht, dass kontaminierter Kompost auf bisher unbelastete Flächen aufgebracht wird (Bundeswehr, 2016; BImA, 2016).

Bei Mähgut ist prinzipiell ein Mulchen mit Verbleib auf der Fläche möglich. Denkbar ist dies grundsätzlich auch bei (gehäckseltem) Gehölzschnitt. Erlaubnis und Vorgehen sind mit der örtlich zuständigen Behörde abzuklären.

Sofern kein Verbleib des jeweiligen PFAS-haltigen Materials auf der Fläche möglich ist, muss eine fachgerechte Entsorgung erfolgen. Dafür ist es erforderlich, die Materialien getrennt und ggf. gegen Auswaschung gesichert zu lagern und separat auf PFAS zu analysieren.

9 Literatur

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (StMUV, 2018): Bericht – Umweltschonender Einsatz von Feuerlöschschäumen, 1. Auflage. Stand: Februar 2018.

BMWSB/BMVG/BImA (2023): Baufachliche Richtlinien Boden- und Grundwasserschutz (BFR BoGwS); Berlin/Bonn. Fortlaufende Aktualisierung unter www.bfr-bogws.de.

BUNDESANSTALT FÜR IMMOBILIENAUFGABEN (BImA, 2016): Vorläufige Nutzungsbeschränkungen auf Flächen mit PFC-Belastungen bzw. PFC-Verdacht vom 31.10.2016 (AZ, ZEPM.VV 2639 – 05/15.4002).

BBodSchV (2021): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 09. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598, 2716).

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (BMUB, 2017): Schriftlicher Bericht – Bericht zu perfluorierten Verbindungen; Reduzierung/Vermeidung, Regulierung und Grenzwerte, einheitliche Analyse- und Messverfahren für fluororganische Verbindungen; Bonn, 30.09.2017.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMUV, 2022): Leitfaden zur PFAS Bewertung - Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials; Stand: 21.02.2022.

BUNDESWEHR (2016): Verfügungen BAIUDBw GS II/II 5 Az GS II 5 – 63-25-42/00-01 vom 3. Februar 2016 und BAIUDBw GS II/II 5/II 6 vom 22. August 2016.

DIN 4124 (2012): Baugruben und Gräben – Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten. Ausgabedatum: 2012-01.

DIN 19528 (2023): Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen. Ausgabedatum: 2023-07

DIN 19529 (2015): Elution von Feststoffen – Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg. Ausgabedatum: 2015-12.

DIN 19529 (2023): Elution von Feststoffen – Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg. Ausgabedatum: 2023-07

DIN 13608:2023-08: Feststoff - Bestimmung von Perfluoralkansäuren mittels LC-MS/MS nach oxidativem Aufschluss von Bodeneluat (TOP Assay); Ausgabedatum: 2023-07.

DIN 38407-42 (2011): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F) – Teil 42: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Wasser – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) nach Fest-Flüssig-Extraktion (F 42). Ausgabedatum: 2011-03.

DIN 38409-59 (2022): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H) – Teil 59: Bestimmung von adsorbierbarem organisch gebundenem Fluor, Chlor, Brom und Iod (AOF, AOCl, AOBr, AOI) mittels Verbrennung und nachfolgender ionenchromatographischer Messung (H 59). Ausgabedatum: 2022-10.

DIN 38414-14 (2011): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung und Sedimente (Gruppe S) – Teil 14: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) (S 14). Ausgabedatum: 2011-08.

Düngemittelverordnung (DüMV, 2012): – Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln vom 05.12.2012, zuletzt geändert am 02.10.2019.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (EFSA, 2020): – Risk to human health relate to the presence of perfluoralkyl substances in food. EFSA Journal 18(9). Veröffentlichung am 17.09.2020.

EUROPEAN TECHNICAL COMMITTEE FOR FLUORINE (Eurofluor, 2015): Berichtsheft – Ein Überblick über die Fluorchemie, 3. Ausgabe, Stand März 2015.

EUROPÄISCHE UNION (EU, 2006a): Richtlinie 2006/122/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zur dreißigsten Änderung der Richtlinie 76/769/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (Perfluorooctansulfonate).

EUROPÄISCHE UNION (EU, 2006b): Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/9445/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1788/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/115/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission.

EUROPÄISCHE UNION (EU, 2010): Verordnung (EU) Nr. 757/2010 vom 24. August 2010 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates über persistente organische Schadstoffe hinsichtlich der Anhänge I und III.

EUROPÄISCHE UNION (EU, 2013): Richtlinie 2013/39 EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. August 2013 zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik.

EUROPÄISCHE UNION (EU, 2017): Verordnung (EU) 2017/1000 der Kommission vom 13. Juni 2017 zur Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) betreffend Perfluorooctansäure (PFOA), ihre Salze und PFOA-Vorläuferverbindungen.

EUROPÄISCHE UNION (EU, 2019): Verordnung (EU) Nr. 2019/1021 vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe (Neufassung).

EUROPÄISCHE UNION (EU, 2020): Richtlinie (EU) Nr. 2020/2184 vom 16.12.2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Neufassung).

Gefahrstoffverordnung (GefStoffV, 2010): Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen vom 26.11.2010, zuletzt geändert am 21.07.2021.

LABO – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO, 2015): Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastenverdächtigen Flächen mit Löschmitteleinsätzen – Arbeitshilfe zur flächendeckenden Erfassung, standortbezogenen historischen Erkundung und zur orientierenden Untersuchung (Projektstufe 1), Projekt-Nr. B 4.14 (Stand: Oktober 2015).

LABO – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO, 2017): Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastenverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen – Durchführung und Ergebnisse zu exemplarischen flächendeckenden und systematischen Erfassungen und standortbezogenen Erhebungen (Projektstufe 2), Projekt-Nr. B 4.15 (Stand: September 2017).

LABO/LAWA – Bund/Länder Arbeitsgruppe PFC (LABO/LAWA, 2021): Leitfaden zur PFC-Bewertung – Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFC-haltigen Bodenmaterials; Entwurf vom 27.04.2021.

LAGA – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (LAGA, 2010): Jahresbericht der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 2010.

LAGA FORUM ABFALLUNTERSUCHUNG (LAGA, 2010): PFAS: Vorschlag zur Erweiterung des Untersuchungs- und Bewertungsspektrums sowie Vorschlag geeigneter Analysemethoden; Stand: 04. November 2021.

LAGA PN 98 – LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL- (LAGA PN 98, 2001): Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 32 – LAGA PN 98 – Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen, Dezember 2001.

LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV NRW, 2011): Verbreitung von PFT in der Umwelt, Ursachen – Untersuchungsstrategie – Ergebnisse – Maßnahmen. LANUV-Fachbericht 34 vom August 2011.

LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV NRW, 2023): Bewertungsmaßstäbe für PFAS-Konzentrationen für NRW. Online verfügbar unter: <https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/gefährstoffe/pfas/bewertungsmaassstaebe> (Datum des Abrufs: 30.11.2023).

LANDESAMT FÜR UMWELT, BAYERN (LfU BY, 2017): Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden. Stand: April 2017.

LANDESAMT FÜR UMWELT, BAYERN (LfU BY, 2018): Hinweise für Sachverständige und Untersuchungsstellen Boden/Wasser. Newsletter vom 26.06.2018.

LANDESAMT FÜR UMWELT, BAYERN (LfU BY, 2020): Bewertungsleitlinien PFC, Bewertungsgrundsätze des Bundes. Versand per Mail am 11.12.2020.

LANDESAMT FÜR UMWELT, BAYERN (LfU BY, 2022): Vorläufige Leitlinien zur Bewertung von PFAS-Verunreinigungen in Wasser und Boden. Stand: Juli 2022.

LANDESAMT FÜR UMWELT RHEINLAND-PFALZ (LfU RP, 2023): Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in der Umwelt – Landesstrategie und landesspezifische Vollzugshinweise Rheinland-, ALEX-Informationsblatt 29 vom August 2023.

LAWA – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA, 2017a): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser – Aktualisierte und überarbeitete Fassung 2016. Veröffentlicht im Januar 2017.

LAWA – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA, 2017b): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser – Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC), erarbeitet von der LAWA-LABO-Kleingruppe PFC. Veröffentlicht am 28.07.2017.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG (UM BW, 2012): Handlungshilfe für Entscheidungen über die Ablagerbarkeit von Abfällen mit organischen Schadstoffen (Handlungshilfe organische Schadstoffe auf Deponien, PFT). Veröffentlicht im Mai 2012.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG (UM BW, 2015): Vorläufige GFS-Werte für das Grundwasser und Sickerwasser aus schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten, Az 5-8932.52/4.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG (UM BW, 2016): Entsorgung von Bodenmaterialien aus PFC (PFAS)-belasteten Flächen, Az 25-8980.05/15.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG (UM BW, 2018): Anwendung der Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) für per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) zur Beurteilung nachteiliger Veränderungen der Beschaffenheit des Grund- und Sickerwassers aus schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten; Az 5-8932.52/4.

ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD, 2023): Portal on Per and Poly Fluorinated Chemicals. Online verfügbar unter: www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/aboutpfass/ (Datum des Abrufs: 27.11.2023).

RICHTER, L., CORDNER, A., BROWN, P. (2018): Non-stick science: Sixty years of research and (in)action on fluorinated compounds. *Social Studies of Science*, Vol. 48(5), S. 691-714. Veröffentlicht am 20.09.2018.

SCHULTZ, M. M., Barofsky, D. F., Field J. A. (2003): Fluorinated Alkyl Surfactants, *Environmental Engineering Science*, Vol. 20, No. 5, S. 487-501. Veröffentlicht am 06.07.2004.

STOCKHOLM CONVENTION ON PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS (POP, 2017): The 16 New POPs -An introduction on the chemicals added to the Stockholm Convention as Persistent Organic Pollutants by the Conference of the Parties. Online verfügbar unter: <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/TheNewPOPs/tabid/2511/Default.aspx> (Datum des Abrufs: 09.09.2021).

TRINKWASSERVERORDNUNG (TrinkwV, 2023): Trinkwasserordnung (TrinkwV, 2023): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserordnung - TrinkwV) vom 20.06.2023

UMWELTBUNDESAMT (UBA, 2011): Grenzwerte, Leitwerte, Orientierungswerte, Maßnahmenwerte – Aktuelle Definitionen und Höchstwerte. Überarbeitete Fassung vom 16.12.2011.

UMWELTBUNDESAMT (UBA, 2013): Fluorhaltige Schaumlöschmittel – Umweltschonender Einsatz. Ratgeber Broschüre. Veröffentlicht am 01.06.2013.

UMWELTBUNDESAMT (UBA, 2017): Fortschreibung der vorläufigen Bewertung von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) im Trinkwasser; Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission. In: Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 3. Veröffentlicht am 02.01.2017.

UMWELTBUNDESAMT (UBA, 2020a): PFAS. Gekommen, um zu bleiben; Schwerpunkt 1/2020. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/schwerpunkt-1-2020-pfas-gekommen-um-zu-bleiben> (Datum des Abrufs: 09.09.2021).

UMWELTBUNDESAMT (UBA, 2020b) Hrsg.: Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen – Abschlussbericht. Texte 137/2020.

UMWELTBUNDESAMT (UBA, 2022): Erarbeitung von fachlichen Grundlagen für die Ableitung von Bewertungsmaßstäben für weitere bodenrelevante, bisher nicht in der BBodSchV enthaltenen Schadstoffe und Schadstoffgruppen in Böden (Schwerpunkt PFAS) im Wirkungspfad Boden-Pflanze (FLUORTRANSFER); Abschlussbericht; Texte 77/2022.

UMWELTBUNDESAMT (UBA, 2023): Ableitung von Bodenwerten für PFAS. Forschungskennziffer: 37 21 7420 10. Zeitraum 2021-2024. Stand: 08.02.2023. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11538/dokumente/20230208_steckbrief_projekt_pfas-bodenwerte-ableitung_finale_pdf.pdf (Datum des Abrufs: 16.02.2024).

WORLD HEALTH ORGANISATION - INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (WHO IARC, 2023) Volume 135: Perfluorooctanoic acid and perfluorooctanesulfonic acid. Veröffentlicht am 01.12.2023. Online verfügbar unter: <https://monographs.iarc.who.int/news-events/volume-135-perfluorooctanoic-acid-and-perfluorooctanesulfonic-acid/> (Datum des Abrufs: 05.02.2024).

In der folgenden Auflistung der Länder-Angaben nicht enthalten sind z.B. ergänzende Hinweise, Konkretisierungen, geringfügige Abweichungen oder Verweise auf weitere landesspezifische Vorgaben, die nicht dem BMUV-Leitfaden widersprechen.

A-1.1 Schleswig-Holstein

Erlass vom 11.05.2022:

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein (2022): Leitfaden zur PFAS-Bewertung - Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials; Kiel, 11.05.2022

Wortlaut zur Einführung (Auszug):

"Im Rahmen des Vollzugs bitte ich um Beachtung des Leitfadens und um Rückmeldung zu Erfahrungen und Erkenntnissen aus dem Vollzug für die Fortschreibung."

Abweichende Vorgaben zum BMUV-Leitfaden:

Keine

A-1.2 Hamburg

kein Erlass

Es gibt in Hamburg keine nachgeordneten separaten Behörden, die per Erlass o.Ä. zu informieren wären. In der Praxis wird der BMUV-Leitfaden bereits angewendet und ist damit de facto eingeführt.

Abweichende Vorgaben zum BMUV-Leitfaden:

Keine

A-1.3 Niedersachsen

Erlass vom 27.01.2022:

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2022): Veröffentlichung: „Leitfaden zur PFAS-Bewertung – Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials“ (PFAS-Leitfaden des Bundes); Hannover, 27.01.2022

Wortlaut zur Einführung (Auszug):

"Anliegend übersende ich das Dokument zur Kenntnis."

Sonstiges:

Es wird Bezug genommen auf die Entwurfsfassung des BMUV-Leitfadens vom 30.11.2021.

Abweichende Vorgaben zum BMUV-Leitfaden:

Keine

A-1.4 Bremen

kein Erlass

Es gibt in Bremen keine nachgeordneten separaten Behörden, die per Erlass o.Ä. zu informieren wären. In der Praxis wird der BMUV-Leitfaden bereits angewendet und ist damit de facto eingeführt.

Abweichende Vorgaben zum BMUV-Leitfaden:

Keine

A-1.5 Nordrhein-Westfalen

Erlass vom 04.03.2022:

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2022): Kreislaufwirtschaft, Bodenschutz, Altlasten, Wasserwirtschaft; Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS), hier: Leitfaden zur PFAS-Bewertung; Düsseldorf, 04.03.2022

Wortlaut zur Einführung (Auszug):

"Hiermit gebe ich den Leitfaden dem nordrhein-westfälischen Verwaltungsvollzug bekannt und empfehle ihn zur Anwendung in folgenden Bereichen (...)."

Klare und relevante Abweichungen zum BMUV-Leitfaden:

- Umrechnung von Analyseergebnissen bei Eluat aus einem Wasser/Feststoffverhältnis 10:1 auf ein W/F von 2:1 bei verwertungsbezogenen Fragestellungen:
kommt in NW nicht in Betracht; gem. BMUV-Leitfaden hilfsweise möglich
- Untersuchung Bodenmaterial zur Verwertung in/auf oder außerhalb/unterhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht auf PFAS:
in NW auch bei verdachtslosen Flächen obligatorisch; gem. BMUV-Leitfaden bei Hinweisen/Anhaltspunkten auf PFAS-Verunreinigung

A-1.6 Hessen

kein Erlass, sondern Angabe im Internet:

www.hlnug.de/themen/altlasten/altlastenschwerpunkte/pfc-per-und-polyfluorierte-chemikalien

Wortlaut zur Einführung (Auszug):

"Das Bundesumweltministerium hat aktuell einen Leitfaden zur PFAS-Bewertung [verlinkt] mit Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials veröffentlicht."

Abweichende Vorgaben zum BMUV-Leitfaden:

Keine

A-1.7 Rheinland-Pfalz

Erlass vom 24.10.2022 sowie Rundschreiben vom 09.10.2023 mit Information zum überarbeiteten ALEX-Informationsblatt 29 vom August 2023

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz (2022): Leitfaden des [...] BMUV zur PFAS-Bewertung [...]; hier: Vollzug in der Abfall- und Wasserwirtschaft sowie im Bodenschutz in Rheinland-Pfalz; Mainz, 24.10.2022

Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (2023): Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in der Umwelt – Landesstrategie und landesspezifische Vollzugshinweise Rheinland-Pfalz; ALEX-Informationsblatt 29/2023; Mainz, August 2023

RP hatte zunächst mit Erlass vom 24.10.2022 den BMUV-Leitfaden grundsätzlich ohne Abweichungen zum BMUV-Leitfaden eingeführt und eine Überarbeitung der bisherigen landeseigenen Vorgaben (ALEX-Informationsblatt 29) angekündigt.

Mit Rundschreiben vom 09.10.2023 wurde das angekündigte überarbeitete ALEX-Informationsblatt 29 „Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in der Umwelt – Landesstrategie und landesspezifische Vollzugshinweise Rheinland-Pfalz“ vom August 2023 bekannt gegeben. Dieses ist nicht mehr als eigener kompletter Leitfaden konzipiert, sondern nimmt neben der Beschreibung der Landesstrategie zur Ermittlung von PFAS in RP im Wesentlichen konkret Bezug auf einzelne Angaben des BMUV-Leitfadens und beschreibt die empfohlene Umsetzung für RP. Daraus ergeben sich folgende klare und relevante Abweichungen zum BMUV-Leitfaden:

- Untersuchungen Precursor:
Methode TOP-Assay in RP empfohlen; im BMUV-Leitfaden gleichrangige Listung von TOP-Assay, AOF und EOF ohne Präferenz einer Methode
- Umrechnung Analysenergebnisse aus dem W/F 10:1 Eluat auf W/F 2:1 bei verwertungsbezogenen Fragestellungen: kommt in RP nicht in Betracht; gem. BMUV-Leitfaden hilfsweise möglich
- Anwendung Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW):
in RP in Trinkwasserschutzgebieten sowohl für Grundwasser (als vorläufige GFS-Werte) als auch für Boden (als Prüfwertvorschläge für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser) obligatorisch; GOW sind zudem außerhalb von Schutzgebieten „aus Vorsorgegründen grundsätzlich bewertungsrelevant“ – Einzelfallabstimmung mit den zuständigen Behörden;
gem. BMUV-Leitfaden optional orientierende Heranziehung des GOW für Grundwasser bzw. Boden (Wirkungspfad Boden-Grundwasser)
- Bewertung PFAS bei Gefahrenermittlung im Grundwasser:
Anwendung Quotientensumme in RP obligatorisch; gem. BMUV-Leitfaden optional (Hinweis auf länderspezifische Regelungen)
- Bewertung PFAS im Sickerwasser am Ort der Beurteilung (Wirkungspfad Boden-Grundwasser):
Anwendung Quotientensumme in RP obligatorisch; keine Anwendung der Quotientensumme gem. BMUV-Leitfaden, da sie eine vorsorgende Risikobewertung von Stoffgemischen bei Beurteilung der Trinkwasserbeschaffenheit darstellt
- Bewertung PFAS-haltiges Bodenmaterial zur Verwertung:
keine Anwendung Quotientensumme in RP, gem. BMUV-Leitfaden optional (Hinweis auf mögliche länderspezifische Regelungen)

- Anwendung GFS/GOW und Quotientensumme zur Bewertung von Oberflächengewässern: in RP bei wechselnden effluenten und influenten Verhältnissen optional orientierende Heranziehung von GFS/GOW sowie der Quotientensumme zusätzlich zu den UQN; keine Angaben im BMUV-Leitfaden
- Abgrenzung gefährlicher und nicht gefährlicher Abfall (Zuordnungswerte Deponieklasse DK I/DK II im W/F 2:1-Eluat): in RP Angabe von DK I/DK II-Zuordnungswerten für PFAS-Einzelsubstanzen (13 prioritäre PFAS sowie pauschaler Wert für weitere PFAS) im 2:1-Eluat; BMUV-Leitfaden gibt Orientierungswert für die Summe der o.g. Einzelstoffe von 500 µg/l im 2:1-Eluat an ohne Werte für Einzelsubstanzen (Einzelwerte von RP entsprechen in der Summe etwa 500 µg/l; dafür wurden in RP die Werte der VK 3 des BMUV-Leitfadens jeweils mit 3,6 multipliziert)

A-1.8 Baden-Württemberg

Erlass vom 22.08.2022

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2022): Anwendung des Leitfadens zur PFAS-Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen des BMUV; Stuttgart, 22.08.2022

Wortlaut zur Einführung (Auszug):

„Die Anwendung des PFAS-Leitfadens vom 21. Februar 2022 wird empfohlen.“

Klare und relevante Abweichungen zum BMUV-Leitfaden:

- Herstellung von Eluaten für eine Gefährdungsabschätzung: Verwendung der feldfrischen Probe gem. DIN 19529 (Schüttelverfahren) bzw. DIN 19528 (Säulenschnelltest) in Baden-Württemberg, während BMUV-Leitfaden Trocknung bei max. 40 °C empfiehlt
- Herstellung von Eluaten für eine Gefährdungsabschätzung: Filtration gem. DIN 19529 (Schüttelverfahren) in Baden-Württemberg, während BMUV-Leitfaden Weglassen des Filtrationsschritts empfiehlt
- Bewertung PFAS, für die es GFS-Werte gibt, im Grundwasser: Anwendung Quotientensumme in Baden-Württemberg obligatorisch, gem. BMUV-Leitfaden optional (Hinweis auf mögliche länderspezifische Regelungen)
- Bewertung PFAS-haltiges Bodenmaterial zur Verwertung: keine Anwendung Quotientensumme in Baden-Württemberg, gem. BMUV-Leitfaden optional (Hinweis auf mögliche länderspezifische Regelungen)
- Deponiesickerwasser: Sickerwasserbehandlung in Baden-Württemberg für DK II und DK III obligatorisch; gem. BMUV-Leitfaden für DK I, II und III obligatorisch
- Überwachung des Grundwassers von Deponien: Ermittlung und Untersuchung der relevanten PFAS in Baden-Württemberg, gem. BMUV-Leitfaden zusätzlich Untersuchung PFAS-Summenparameter

A-1.9 Bayern

keine Einführung des BMUV-Leitfadens im Ganzen, sondern Implementierung von Inhalten in eine vorläufige Fassung der bayerischen Leitlinien

Landesamt für Umwelt, Bayern (2022): Vorläufige Leitlinien zur Bewertung von PFAS-Verunreinigungen in Wasser und Boden. Stand: Juli 2022

Wortlaut unter www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/pfc/rechtliches/index.htm:

„Die "Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden (Stand: April 2017)" wurden durch die ‚Vorläufige Leitlinien zur Bewertung von PFAS-Verunreinigungen in Wasser und Boden (Stand: Juli 2022)‘ ersetzt. Wesentliche Änderungen im Text sind grün hervorgehoben“.

Beim Abgleich zwischen den bayerischen Leitlinien und dem BMUV-Leitfaden ist zu beachten, dass sich auch dadurch abweichende landesspezifische Vorgaben ergeben können, dass einige Inhalte aus dem BMUV-Leitfaden mutmaßlich bewusst, aber ohne explizite Nennung nicht in den bayerischen Leitfaden übernommen wurden. Zudem zu beachten ist die unabhängig von PFAS teils unterschiedliche Systematik und Vorgehensweise in Bayern (z.B. Schwellenwerte für Grundwasser, Stufenwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser, Nutzung der Öffnungsklausel in § 8 Abs. 8 BBodSchV n.F. mit Weiterführung des bayerischen Verfüll-Leitfadens), die hier nicht näher ausgeführt wird. Entsprechend steht die Vollständigkeit der nachfolgend abgeleiteten klaren und relevanten Abweichungen zwischen den aktualisierten bayerischen Leitlinien und dem BMUV-Leitfaden unter Vorbehalt, zumal kein detaillierter Abgleich jeder einzelnen Angabe zwischen den beiden Vollzugshilfen erfolgte:

- Beurteilungswerte Grundwasser in Zusammenhang mit bayernspezifischer Vorgehensweise (Schwellenwerte):
Dadurch, dass die „vorläufigen Schwellenwerte“ in Bayern sowohl die PFAS-Einzelstoffe mit GFS-Werten als auch die mit GOW-Werten gleichrangig umfassen, liegt nicht nur bei Überschreitung des GFS-Werts, sondern auch bei Überschreitung des GOW-Werts in der Regel eine schädliche Veränderung des Grundwassers vor;
gemäß BMUV-Leitfaden ist bei Überschreitung des GOW-Werts von einer nachteiligen Veränderung auszugehen
- Beurteilungswerte Boden (Wirkungspfad Boden – Grundwasser) mit bayernspezifischer Vorgehensweise (Stufenwerte):
Die bayerischen „vorläufigen Stufe-1-Werte“ für PFAS-Einzelsubstanzen, die auf GFS-Werte basieren, entsprechen den Prüfwerten der BBodSchV n.F. Dadurch, dass wie bei den bayerischen Schwellenwerten für das Grundwasser die „vorläufigen Stufe-1-Werte“ in Bayern zusätzlich und gleichrangig die PFAS-Einzelsubstanzen mit GOW-Werten umfassen, ergibt sich jeweils die gleiche Konsequenz in der Beurteilung;
gemäß BMUV-Leitfaden können die GOW-Werte orientierend zur Bewertung herangezogen werden
- ohnehin BY-spezifisch und nicht auf PFAS bezogen: Nutzung der Länderöffnungsklausel in § 8 (8) BBodSchV n.F. mit Weiterführung des bayerischen Verfüll-Leitfadens "Leitfaden zur Verfüllung von Gruben und Brüchen sowie Tagebauen" mit Angabe von Vorsorgewerten für PFAS für das GW-Überwachungsprogramm (= 0,75 x GFS/GOW)
- Verwertung von PFAS-haltigem Bodenmaterial:
BY gibt für die Verwertung von Bodenmaterial Zuordnungswerte Z0, Z1, Z2 nach LAGA M 20 an; die Werte entsprechen VK 1, VK 2 und VK 3 im BMUV-Leitfaden

- Umrechnung Analysenergebnissen aus dem W/F 10:1 Eluat auf W/F 2:1 bei verwertungsbezogenen Fragestellungen:
in BY-Leitlinien nicht erwähnt; gem. BMUV-Leitfaden hilfsweise möglich
- Anwendung Quotientensumme:
in BY-Leitlinien nicht erwähnt, allerdings gemäß Newsletter des LfU vom 26.06.2018 bis auf Weiteres nicht (...) anzuwenden, lediglich zusätzliche Bewertungshilfe für den Einzelfall; gem. BMUV-Leitfaden bei einigen Fragestellungen optional

A-1.10 Saarland

Verfügung vom 18.03.2022 (liegt nicht vor)

Gemäß schriftlicher Auskunft vom 09.01.2023 des Ministeriums für Umwelt, Klima, Mobilität, Agrar und Verbraucherschutz wurde der BMUV-Leitfaden mit Datum vom 18.03.2022 im Vollzug des Saarlandes als Verfügung gegenüber dem zuständigen Landesamt eingeführt (ohne Erlass).

Abweichende Vorgaben im Vergleich zum BMUV-Leitfaden:
keine

A-1.11 Berlin

keinen Erlass eruiert, sondern Angabe im Internet
www.berlin.de/sen/uvk/umwelt/bodenschutz-und-altlasten/gesetzliche-grundlagen-zustaendigkeiten/gesetzliche-grundlagen/

Wortlaut zur Einführung (Auszug):
"Der ‚Leitfaden zur PFAS-Bewertung (...)‘ wurde im Amtsblatt von Berlin mit Datum vom 17. Juni 2022 bekannt gegeben."

Abweichende Vorgaben im Vergleich zum BMUV-Leitfaden:
keine

A-1.12 Brandenburg

Erlass vom 26.10.2022
Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg (2022): Erlass zur Einführung des Leitfadens „Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials“; Potsdam, 26.10.2022

Im Erlass vom 26.10.2022, der umfangreiche Angaben enthält, erscheinen einige Punkte uneindeutig (u.a. beim Wortlaut zur Einführung). Es kann davon ausgegangen werden, dass der BMUV-Erlass im Ganzen eingeführt ist.

Wortlaut zur Einführung (Auszug):
„Hiermit geben wir Ihnen ich den unter Mitwirkung von LAWA, LABO und LAGA erarbeiteten Leitfaden bekannt und empfehle ihn zur Anwendung in folgenden Bereichen (...)“

Abweichende Vorgaben im Vergleich zum BMUV-Leitfaden:

- Umrechnung Analysenergebnissen aus dem W/F 10:1 Eluat auf W/F 2:1 bei verwertungsbezogenen Fragestellungen:
kommt in BB nicht in Frage; gem. BMUV-Leitfaden hilfsweise möglich

A-1.13 Mecklenburg-Vorpommern

Erlass vom 10.06.2022

Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern (2022): „Leitfaden zur PFAS-Bewertung – Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials“; Schwerin, 10.06.2022

Wortlaut zur Einführung (Auszug):

"Die Anwendung in Mecklenburg-Vorpommern wird empfohlen."

Abweichende Vorgaben im Vergleich zum BMUV-Leitfaden:

keine

A-1.14 Sachsen

Erlass vom 25.05.2022 mit Handlungsanleitung

Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (2022):

Handlungsanleitung des LfULG zu PFC; Leitfaden zur PFAS-Bewertung des BMUV; Dresden, 25.05.2022

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2022): Poly- und perfluorierte Chemikalien (PFC); Fachliche Empfehlungen zum Umgang mit lokalen und flächenhaften Kontaminationen; Redaktionsschluss 29.03.2022

Wortlaut zur Einführung (Auszug):

"Es wird empfohlen, dass die zuständigen Bodenschutz-, Abfall- sowie Wasserbehörden die genannten Veröffentlichungen [BMUV-Leitfaden sowie Handlungsanleitung des LfULG v. 29.03.2022] für den Vollzug heranziehen."

Die Handlungsanleitung liefert hauptsächlich Hintergrundinformationen, die aus dem BMUV-Leitfaden oder weiteren einschlägigen Grundlagen entnommen sind.

Klare und relevante Abweichungen zum BMUV-Leitfaden:

- Untersuchung Precursor (Gefahrenermittlung Boden und Grundwasser):
in Sachsen obligatorisch bei allen Untersuchungen, im BMUV-Leitfaden nicht ganz stringente Angaben

A-1.15 Sachsen-Anhalt

Rundverfügung vom 12.10.2022, liegt nicht vor

Gemäß schriftlicher Auskunft vom 09.01.2023 des Ministeriums für Wissenschaft, Energie, Klimaschutz und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt ist der BMUV-Leitfaden den zuständigen Abfall- und Bodenschutzbehörden Sachsen-Anhalts mit Rundverfügung 04/2022 vom 12.10.2022 „als eine den Sachstand zusammenfassende Informationsquelle sowie als Orientierungshilfe für den Vollzug zur Kenntnis gegeben worden“. Dabei „wurde auf ergänzende oder abweichende Vorgaben im Vergleich zur o.g. Vollzugshilfe, auch im Sinne bundeslandspezifischer Vorgaben, verzichtet“.

Abweichende Vorgaben im Vergleich zum BMUV-Leitfaden:

keine

A-1.16 Thüringen

Erlass vom 18.05.2022

Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz (2022): Leitfaden zur PFAS-Bewertung; Erfurt, 18.05.2022

Wortlaut zur Einführung (Auszug):

"Mit Blick auf die nachgeordneten Behörden im Umweltbereich wird seitens des Thüringer Ministeriums für Umwelt, Energie und Naturschutz aus fachlicher Sicht empfohlen, ihr behördliches Handeln in relevanten Fällen auf die fachlichen Empfehlungen des Leitfadens zu stützen."

Abweichende Vorgaben im Vergleich zum BMUV-Leitfaden:

keine

Anlage A-2: Wesentliche weitere Bewertungsmaßstäbe

Die folgenden Tabellen enthalten im Wesentlichen Beurteilungswerte, die nicht im Textteil aufgeführt sind bzw. länderspezifische Ergänzungen oder Abweichungen darstellen.

A-2.1 Binnenoberflächengewässer

Richtlinie, Verordnung, Regelung	Begriff für Beurteilungswert	Substanz	Begrenzender Wert	Anmerkung
EU: Richtlinie 2013/39/EU (EU, 2013)	JD-UQN (Jahresdurchschnitt)	PFOS (und Derivate)	0,00065 µg/L (= 0,65 ng/L)	bezieht sich auf Wasserkörper; Einhaltung bis Ende 2027
und/oder	ZHK-UQN (zulässige Höchstkonzentration)	PFOS (und Derivate)	36 µg/L	
OGewV, 2016 (Oberflächengewässerverordnung)	Biota-UQN	PFOS (und Derivate)	9,1 µg/kg (Nassgewicht)	

A-2.2 Trinkwasser

Richtlinie, Verordnung, Regelung	Begriff für Beurteilungswert	Substanz	Begrenzender Wert	Anmerkung
EU: Richtlinie 2020/2184 (EU, 2020)	Leitwert	„PFAS gesamt“	0,5 µg/L	„Summe der PFAS“: 20 Einzelverbindungen (siehe Tab. 2)
		„Summe der PFAS“	0,1 µg/L	
TrinkwV, 2023	Grenzwert	Summe PFAS-20	0,1 µg/l	Einzelverbindungen s. Tab. 2
		Summe PFAS-4	0,02 µg/l	Einzelverbindungen s. Tab. 2

A-2.3 Einleitwerte Abwasser

Richtlinie, Verordnung, Regelung	Begriff für Beurteilungswert	Substanz	Begrenzender Wert	Anmerkung
Nordrhein-Westfalen: https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/gefährstoffe/pfas/bewertungsmaassstaebe (Abruf am 30.11.2023)	Orientierungswert (OW)	\sum PFAS PFOS + PFOA PFOS + PFOA \sum PFAS	1,0 µg/L 0,3 µg/L 10 g/Tag 35 g/Tag	\sum PFAS = Summe aller gemessenen PFAS gem. LANUV-Parameterumfang; bei Überschreitung Ursachenermittlung und Einleitung Gegenmaßnahmen

A-2.4 Grundwasser

Richtlinie, Verordnung, Regelung	Begriff für Beurteilungswert	Substanz	Begrenzender Wert	Anmerkung
Bayern: „vorläufige Leitlinien PFAS [...]“ (LfU BY, 2022)	vorläufige Schwellenwerte	13 Einzelsubstanzen mit GFS- bzw. GOW-Werten	0,06-10 µg/L	Werte identisch mit GFS- bzw. GOW-Werten; s. Tab. 2

A-2.5 Boden

Richtlinie, Verordnung, Regelung	Begriff für Beurteilungswert	Substanz	Begrenzender Wert	Anmerkung
Bayern: „vorläufige Leitlinien PFAS [...]“ (LfU BY, 2022)	vorläufige Stufe-1-Werte	13 Einzelsubstanzen mit GFS- bzw. GOW-Werten	0,06–10,0 µg/L	Werte identisch mit GFS-Werten (=Prüfwerte BBodSchV) bzw. GOW-Werten; s. Tab. 2 und Tab. 3
	vorläufige Stufe-2-Werte	13 Einzelsubstanzen mit GFS-Werten bzw. GOW-Werten	0,25–40 µg/L	vorläufige Stufe-1-Werte jeweils multipliziert mit Faktor von ca. 4

A-2.6 Klärschlamm

Richtlinie, Verordnung, Regelung	Begriff für Beurteilungswert	Substanz	Begrenzender Wert	Anmerkung
Bundesregierung: Düngemittelverordnung (DüMV, 2012)	Grenzwert Kennzeichnungsschwelle	∑ PFOS + PFOA	100 µg/kg 50 µg/kg	

A-2.7 Abfall

Richtlinie, Verordnung, Regelung	Begriff für Beurteilungswert	Substanz	Begrenzender Wert	Anmerkung
EU-Verordnung 2019/1021 (EU, 2019)	Grenzwert	PFOS	>50 mg/kg	Sonderabfall, keine oberirdische Lagerung ohne Vorbehandlung; thermische Verwertung
LAGA, 2010	Orientierungswert	PFOS und Derivate	50 mg/kg	DK III (auf der 95. LAGA-Sitzung vereinbart)
Bayern: „vorläufige Leitlinien PFAS [...]“, (LfU BY, 2022)	Verwertung: Z 0	stoffabhängig	0,03–3,0 µg/L	Werte entsprechen VK 1 im BMUV-Leitfaden
	Verwertung: Z 1	stoffabhängig	0,06–10,0 µg/L	Werte entsprechen VK 2 im BMUV-Leitfaden
	Verwertung: Z 2	stoffabhängig	0,25–40,0 µg/L	Werte entsprechen VK 3 im BMUV-Leitfaden
	Beseitigung OW: DK I	∑ PFAS	50 µg/L	
	Beseitigung OW: DK II	∑ PFAS	100 µg/L	
Rheinland-Pfalz: ALEX-Informationsblatt 29 (LfU RP, 2023)	Beseitigung: DK I / DK II	stoffabhängig	3,6-180 µg/l	Werte zur Abgrenzung gefährlicher/nicht gefährlicher Abfall (2:1 Eluat); Werte entsprechen VK 3 im BMUV-Leitfaden jeweils multipliziert mit 3,6

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr Referat
GS II 5 · 53123 Bonn
E-Mail: baiudbwgsii5@bundeswehr.org

Bundesanstalt für Immobilienaufgaben
Zentrales Kontaminationsmanagement
Fasanenstraße 87 · 10623 Berlin
E-Mail: ZFP-kontamination-zentrale@bundesimmobilien.de

Redaktionskreis

Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr
Referat GS II 5 · 53123 Bonn
Vera Kunze
E-Mail: baiudbwgsii5@bundeswehr.org

Bundesanstalt für Immobilienaufgaben
Zentrales Kontaminationsmanagement
Fasanenstraße 87 · 10623 Berlin
Stephan Clemens
E-Mail: ZFP-kontamination-zentrale@bundesimmobilien.de

Niedersächsisches Landesamt für Bau und Liegenschaften
Leitstelle des Bundes für Boden- und Grundwasserschutz
Waterloostraße 4 · 30169 Hannover
Helge Düker
E-Mail: lsb@nbl.niedersachsen.de

Altenbockum & Partner, Geologen (Mitwirkung bis einschließlich 4. Auflage)
Gewerbepark Brand 32 · 52078 Aachen

Gestaltung

Ingenieurbüro Dr. Niestroj
Geibelstraße 63 · 30173 Hannover

Bildnachweis

Titelfoto: © Marcus Rott/Bundeswehr

Stand

März 2024, 5. Auflage

Aktuelle Informationen

www.bfr-bogws.de

