Entwurfsfassung Stand: 17. September 2020

Leitfaden zur PFC-Bewertung

Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFC-haltigen Bodenmaterials

E N T W U R F S F A S S U N G

Verabschiedet durch die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaften Bodenschutz und Wasser am 17. September 2020.

Kapitel 6 (Umgang mit PFC-haltigem Bodenmaterial) befindet sich in fachlicher Bearbeitung durch den Ausschuss für Abfalltechnik der Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Abfall.

Eine Veröffentlichung des vollständigen Leitfadens als Papier des Bundes erfolgt nach Abschluss der fachlichen Abstimmung.

ENTWURF

INHALTSVERZEICHNIS

1	**Veranlassung**	**6**
2	**Einführung**	**8**
3	**Grundlage für die Ableitung von Bewertungsmaßstäben**	**9**
4	**Analytik**	**10**
4.1	Stoffspektrum	10
4.2	Analysenverfahren	11
4.3	Herstellung von Eluaten zur Bodenuntersuchung	12
5	**Beurteilungskriterien und Anwendungshinweise**	**13**
5.1	Wasser	13
5.1.1	Grundwasser	13
5.1.2	Oberflächengewässer	15
5.1.3	Abwasser	17
5.1.3.1	Emissionsbezogene Anforderungen	17
5.1.3.2	Weitergehende immissionsseitige Anforderungen	17
5.1.3.3	Abschätzung der Gewässerbelastung durch rechnerische Ermittlung	19
5.2	Klärschlamm / Düngemittel	19
5.3	Boden - Wirkungspfadbezogene Gefahrenbeurteilung	20
5.3.1	Wirkungspfad Boden-Grundwasser	20
5.3.2	Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze	21
5.3.3	Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt)	22
6	**Umgang mit PFC-haltigem Bodenmaterial**	**23**
6.1	Allgemeines	23
6.2	Verwertung von Bodenmaterial auf, in oder unter/außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht	24
6.2.1	Verwertung von Bodenmaterial auf/in einer durchwurzelbaren Bodenschicht	25
6.2.2	Auf- und Einbringen von Bodenmaterial unter- /außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht	25
6.2.3	Gebiete mit erhöhten Schadstoffbelastungen nach §12 Absatz 10 BBodSchV	25
6.3	Verwertung von Bodenmaterial in technischen Bauwerken	26
6.4	Umlagerung von Bodenmaterial im Rahmen der Sanierung	28
6.5	Verwertung und Beseitigung auf Deponien	28
Glossar		31
Anhang		33
I.	**Eintragswege in die Umwelt**	**33**
I.1	**Schaumlöschmittel der Feuerwehren**	**33**
I.2	**PFC-Eintrag über organische Reststoffe**	**33**
I.3	**Abwasser**	**34**

ENTWURF

I.4	Altlasten und schädliche Bodenveränderungen	34
I.4.1	Altstandorte	34
I.4.2	Altablagerungen und Altdeponien	35
I.4.3	Sonstige Hinweise	35
I.5	Atmosphärischer Eintragspfad	35
II.	Gesetzliche Grundlagen	36
II.1	Europäische Regelungen	36
II.2	Bundesweite Regelungen zur Begrenzung von PFC in der Umwelt	38
II.3	Oberflächengewässer - Erläuterungen zur Ableitung von PNEC und UQN	39
III.	PFC-Verwendungen	40
IV.	Übersicht über die nach ISO 21675:2019-10 analysierbaren Verbindungen	43
V.	Fallbeispiele aus den Ländern	44
V.1	Baden-Württemberg	44
V.2	Bayern	45
V.3	Nordrhein-Westfalen	46

ENTWURF

Leitfaden zur PFC-Bewertung - Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFC-haltigen Bodenmaterials

Erarbeitet durch die Bund/Länder Arbeitsgruppe PFC unter Mitwirkung von:

Bieber, Andreas	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Biegel-Engler, Dr. Annegret	Umweltbundesamt, Dessau
Bogner, Dominik	Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (BY)
Dihlmann, Peter	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (BW)
Gierig, Dr. Michael	Landesamt für Umwelt (BY)
Hensel-Schikora, Dirk	Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (BY)
[redacted]	Landesamt für Bau und Liegenschaften (NI)
Klose, Astrid	Behörde für Umwelt und Energie (HH)
Maier, Dr. Ursula	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (BW)
Raffelsiefen, Markus	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Schroers, Stefan	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (NW)
Straßburger, Dr. Thomas	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Ungermann, Dr. Andrea	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (BW)
Wiedenhöft, Claudia	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (NW)

ENTWURF

1 Veranlassung

Seit einigen Jahren werden zunehmend Schadensfälle und Verunreinigungen mit per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) in Boden und Gewässern bekannt.

In Nordrhein-Westfalen wurde bereits im Jahr 2006 die (illegale) Aufbringung von kontaminierten Bioabfallgemischen und sogenannten "Bodenverbesserern" auf landwirtschaftlich genutzten Flächen im Hochsauerland als wesentlicher Eintragspfad für außergewöhnlich hohe Belastungen mit Perfluoroctansäure (PFOA) und Perfluoroctansulfonsäure (PFOS) in der Ruhr identifiziert. Die anschließende intensive Befassung mit dem Thema hat gezeigt, dass bundesweit vielfältige Ursachen für Boden- und Gewässerverunreinigungen mit PFC und eine Vielzahl von Schadensfällen bestehen. Einer der größten Schadensfälle befindet sich in Bayern. Dort wird PFOA im Umfeld eines Industrieparks mit ansässigen Fluorpolymerherstellern und -verwendern auf einer Gesamtfläche von mittlerweile 230 km^2 in Boden-, Grundwasser- und Oberflächengewässerproben nachgewiesen.

In Baden-Württemberg wurden 2013 erstmalig PFC-Verunreinigungen in einem Brunnen der Trinkwasserversorgung Rastatt festgestellt. Untersuchungen ergaben, dass Böden und Grundwasser in den Regionen Rastatt, Baden-Baden und Mannheim mit PFC verunreinigt sind. Es ist anzunehmen, dass die Ursache dieser PFC-Verunreinigungen Papierschlamm-Kompostgemische waren, die über mehrere Jahre auf landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen aufgebracht wurden. In Mittel- und Nordbaden sind flickenteppichartig Flächen von mehreren hundert Hektar teilweise erheblich mit PFC verunreinigt.

Bundesweit stehen viele PFC-Schadensfälle in Boden und Grundwasser aber vorrangig im Zusammenhang mit der Verwendung von fluorhaltigen Schaumlöschmitteln bei Feuerwehreinsätzen und -übungen sowie dem Einsatz PFC-haltiger Hilfsstoffe beispielsweise in Galvanik- und Textilveredelungsanlagen.

Aufgrund der erheblichen Umweltauswirkungen hatte die Umweltministerkonferenz (UMK) Ende 2016 einen Bericht zur Dimension der Umweltbelastung durch PFC angefordert und unter dem Titel „Bericht zu perfluorierten Verbindungen; Reduzierung/Vermeidung, Regulierung und Grenzwerte, einheitliche Analyse- und Messverfahren für fluororganische Verbindungen“ Ende September 2017 veröffentlicht[1].

Daneben beschloss die UMK, dass Bund und Länder einheitliche Vorgaben für die Bewertung und Sanierung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFC-haltiger Materialien erarbeiten. Hierzu wurde auf Bitten der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaften Bodenschutz (LABO) und Wasser (LAWA) eine Ad-hoc Arbeitsgruppe (Fachgruppe PFC) eingerichtet – unter Einbindung von Vertreterinnen und Vertretern des Bundes und der Länder[2]. Die Arbeitsgruppe hat den vorliegenden Leitfaden entwickelt. Weiterhin wurde der Forschungsbedarf herausgearbeitet und in einem eigenen Positionspapier dargestellt.

Die zuständigen Vollzugsbehörden der Bundesländer wie z.B. Bayern und Baden-Württemberg, haben auf der Grundlage eigener Bewertungen und Empfehlungen bereits weitergehende Erfahrungen mit der PFC-Problematik machen können. Die Erfahrungen zeigen, dass ein belastbarer Vollzug anhand vorläufiger Bewertungsgrundlagen grundsätzlich möglich ist. Bislang fehlt es jedoch an bundeseinheitlichen Regelungen.

Großflächige wie auch kleinräumige PFC-Umwelteinträge unterschiedlichster Ursachen zeitigen Folgen, die direkte Auswirkungen insbesondere auf die Trinkwasserversorgung und auf die landwirtschaftliche Produktion haben können. Wasserversorgern entstehen erhebliche Kosten für die Wasseraufbereitung

[1] https://www.umweltministerkonferenz.de/umlbeschluesse/umlaufBericht2017_19.pdf

[2] Mitgewirkt haben Vertreterinnen und Vertreter der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaften Bodenschutz (LABO), Wasser (LAWA), Abfall (LAGA) und des Bund-/Länder-Arbeitskreises Abwasser (BLAK Abwasser).

mit der Folge einer Anhebung der Wassergebühren, Landwirte können Produkte nicht mehr vermarkten oder müssen die Produktion umstellen.

Bei großflächigen Verunreinigungen ergeben sich auch Probleme in Bezug auf die Ausweisung von Baugebieten sowie den Umgang mit verunreinigtem Erdaushub. Damit ist auch die Bereitstellung von Deponiekapazitäten betroffen und vielerorts eine noch ungelöste Aufgabe.

In Abhängigkeit von Eintragsursachen, PFC-Verteilungsmuster aber auch des Umfangs der verunreinigten Flächen sind die Betroffenheit der Bevölkerung und die Auswirkungen jedoch regional stark unterschiedlich.

Bei relativ kleinräumigen Belastungen von Boden und Grundwasser können in der Regel Sanierungsmaßnahmen ergriffen werden. Bei großen flächenhaften Verunreinigungen sind Sanierungsmaßnahmen aus Gründen der Verhältnismäßigkeit nicht oder oft nur teilweise möglich, hier steht das Schadensmanagement im Vordergrund.[3]. Gleichwohl können erhebliche Kosten für die Länder anfallen, beispielsweise für dringend erforderliche Untersuchungs- und Forschungsprojekte, die dem vorsorgenden Verbraucherschutz oder einer regionalen Weiterentwicklung „trotz Schadensfall“ dienen.

Mit diesem Leitfaden werden ein Bewertungsrahmen sowie beurteilungsrelevante Hintergrundinformationen zur Verfügung gestellt. Damit soll vor allem den Vollzugsbehörden Hilfestellung bei der Bewertung von PFC-Einträgen in Gewässer oder in den Boden gegeben werden. Zusätzlich enthält der Leitfaden Maßstäbe für die Bewertung von Untersuchungsergebnissen und für Entscheidungen über ggf. erforderliche weitergehende Maßnahmen bei bestehenden Boden- und Gewässerverunreinigungen.

Abweichungen von diesen Empfehlungen können im Rahmen von Einzelfallbeurteilungen sinnvoll sein. Generell gilt, dass dieser Leitfaden eine rechtsverbindliche bundesweite oder sogar europaweite Bewertung nicht ersetzen kann.

ENTWURF

[3] Umweltbundesamt (2020): Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/sanierungsmanagement-fuer-lokale-flaechenhafte-pfas

2 Einführung

In diesem Leitfaden wird die Bezeichnung PFC durchgehend verwendet. In der Literatur findet man synonym oft auch die englische Bezeichnung PFAS (per- and polyfluoroalkyl substances).

PFC kommen nicht natürlich vor, sondern sind anthropogenen Ursprungs. Aktuell umfasst diese Stoffgruppe mehrere tausend Verbindungen[4]. Allen PFC gemeinsam sind vollständig (per-) oder teilweise (poly-) fluorierte aliphatische Kohlenstoffketten mit einer funktionellen Gruppe.

Aufgrund ihrer vielfältigen Verwendungen existieren verschiedenste Eintragspfade in die Umwelt. Die perfluorierten Vertreter der Stoffgruppe sind in der Umwelt außerordentlich stabil. Sie werden praktisch nicht abgebaut. Deshalb lassen sie sich mittlerweile auch außerhalb von Schadensfällen in Spuren überall in der Umwelt (ubiquitär) nachweisen, auch in industriefernen Gebieten. Der Großteil der PFC sind polyfluorierte Stoffe, sie können unter Umweltbedingungen zu perfluorierten Carbon- und Sulfonsäuren abgebaut werden. Sie werden deshalb auch Vorläuferverbindungen genannt (englische Bezeichnung ‚precursor').

Der vorliegende Leitfaden befasst sich mit PFC mit mehr als drei fluorierten C-Atomen besitzen. PFC werden in langkettige und kurzkettige Verbindungen unterteilt, da sie unterschiedlichen chemischen Eigenschaften aufweisen. Als langkettig gelten nach einer Definition der OECD[5] alle Perfluorcarbonsäuren mit sieben und mehr perfluorierten Kohlenstoffatomen (also beginnend mit Perfluoroctansäure) und alle Perfluorsulfonsäuren mit sechs und mehr perfluorierten Kohlenstoffatomen (also beginnend mit Perfluorhexansulfonsäure). Aus der Stoffbezeichnung ist häufig die Anzahl der Kohlenstoffatome erkennbar.

Langkettige PFC gelten als persistent und bioakkumulierbar. Im menschlichen Körper können langkettige PFC an Proteine in Blut, Leber und Niere binden. Im Vergleich zu anderen Chemikalien werden langkettige PFC sehr langsam ausgeschieden und können sich deshalb im Körper anreichern. Besonders kritisch ist auch die Weitergabe langkettiger PFC von der Mutter zum Kind während der Schwangerschaft und Stillzeit. Erhöhte Konzentrationen von PFOA und PFOS im menschlichen Blut können Wirkungen von Impfungen vermindern, die Neigung zu Infekten erhöhen, zu erhöhten Cholesterinwerten führen und bei Nachkommen ein verringertes Geburtsgewicht zur Folge haben. In der Muttermilch und im menschlichen Blut der Allgemeinbevölkerung sind langkettige PFC nachweisbar. Nach der Europäischen Chemikalienverordnung REACH (siehe Anhang II.1) gelten einige dieser Verbindungen als „besonders besorgniserregend".

Langkettige perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren wurden in den verschiedenen Anwendungsbereichen zunehmend durch komplexe, meist polyfluorierte Verbindungen substituiert, welche als Vorläuferverbindungen fungieren. Deren Abbauprodukte – meist kurzkettige perfluorierte Verbindungen – sind ebenso wenig abbaubar, wie die langkettigen perfluorierten Moleküle. Wegen ihrer geringen Adsorptionsneigung werden kurzkettige PFC im Boden weniger stark zurückgehalten und verunreinigen so schneller Grund- und Rohwasser. Dagegen werden langkettige Vertreter (z.B. Perfluoroctansulfonsäure [PFOS], oder Perfluordecansäure [PFDA]) meist nur relativ langsam aus Böden ausgewaschen. Grundwasserbelastungen treten deshalb oft erst Jahre bis Jahrzehnte nach einer Exposition des Bodens auf, z.B. nach der Aufbringung PFC-haltiger Materialien. Vor allem, wenn diese Materialien Vorläuferverbindungen enthalten, die erst im Lauf der Zeit zu den persistenten Endstufen abgebaut werden (vgl. Kap. 4.1).

Insbesondere kurzkettige PFC können von Pflanzen aufgenommen werden und gelangen so in die Nahrungskette. Konkrete Transferfaktoren für den Wirkungspfad Boden-Pflanze sind noch nicht bekannt, Bis auf wenige Ausnahmen (u.a. PFOS und PFOA) sind die öko- bzw. humantoxikologischen Wirkungen der meisten PFC sind bislang wenig untersucht, insofern ist das Vorsorgeprinzip eine wichtige Maxime bei der Bewertung.

[4] http://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/

[5] http://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/aboutpfass/Figure1-classification-of-per-and-polyfluoroalkyl-substances%20-PFASs.pdf

3 Grundlage für die Ableitung von Bewertungsmaßstäben

Eine wesentliche Grundlage für die Bewertung von Verunreinigungen von Boden und Grundwasser sind die TDI-Werte (Tolerable Daily Intake, tolerierbare tägliche Aufnahmemenge). Der TDI-Wert steht für die Menge eines Stoffes, die über die gesamte Lebenszeit pro Tag ohne gesundheitliche Auswirkungen aufgenommen werden kann. Die TDI-Werte werden als zulässige Menge eines Stoffs je kg Körpergewicht (KG) und Tag (d) angegeben (Masse/(KG*d)). Auch eine wöchentliche oder monatliche Zeitspanne (TWI, Tolerable Weekly Intake bzw, TMI, Tolerable Monthly Intake) kann für die Bewertung sinnvoll sein.

Die gemeinsame LAWA-LABO-Kleingruppe „Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für PFC“ hat 2017 aus veröffentlichten Studien sog. TDI-analoge Werte für einige PFC-Verbindungen ermittelt, z.B. jeweils 28,6 Nanogramm pro Kilogramm Körpergewicht und Tag (ng/kg KG*d) für PFOA und PFOS. Vergleicht man die humantoxikologische Wirkung (Schutzgut Trinkwasser) mit der ökotoxikologischen Wirkung (Schutzgut Gewässerorganismen), zeigt sich, dass das Schutzgut Trinkwasser für alle Verbindungen empfindlicher ist als die zu schützenden trophischen Ebenen der Gewässerorganismen. Die Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) für PFC stützen sich daher durchgängig auf humantoxikologische Wirkungen und das Anforderungsprofil der Trinkwasserverordnung. Aufgrund der Löslichkeit vieler PFC und der damit verbundenen Relevanz für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser stehen die GFS-Werte im direkten Zusammenhang mit Werten zur Einstufung von Bodenmaterial (siehe Kapitel 6).

Die Neufassung der Europäischen Trinkwasserrichtlinie - voraussichtlich Mitte 2020 in Kraft tretend - listet erstmalig Vertreter aus der PFC-Gruppe als Schadstoffe auf. Für die 20 aufgeführten Einzelverbindungen kommt ein Summenwert von 0,1 µg/l zur Anwendung oder alternativ 0,5 µg/l, wenn die gesamte PFC-Gruppe erfasst wird. Die nationale Umsetzung der Richtlinie wird zu einem verstärken Monitoring führen. Bislang waren Nachweise von PFC-Belastungen im Grund- bzw. Trinkwasser eher Zufallsfunde als Ergebnisse einer systematischen Überwachung.

Die Europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde (EFSA) hatte 2018 eine Neubewertung der gesundheitlichen Risiken durch PFOA und PFOS in Lebensmitteln veröffentlicht und deutlich niedrigere Richtwerte abgeleitet als zuvor[6]. Die tolerierbaren wöchentlichen Aufnahmemengen von 6 ng/kg für PFOA und von 13 ng/kg für PFOS liegen auch weit unter TDI-analogen Werten der LAWA-LABO-Kleingruppe[7]. Die EFSA hat in einem aktuellen Entwurf von Anfang 2020 die Bewertung erneut überarbeitet und empfiehlt nun einen TWI für die Summe von vier Verbindungen (PFOA, PFOS, Perfluorhexansulfonsäure [PFHxS], und Perfluornonansäure [PFNA]) in Höhe von 8 ng/kg. Damit hat sie ihre Empfehlung erneut verschärft. Erstmalig wurde auch der Gesichtspunkt der Mischtoxizität berücksichtigt.

Nach Abschluss der Konsultationen zu diesem Entwurf ist über eine entsprechende Anpassung der bisherigen Bewertungsgrundlage zu entscheiden. Deshalb werden im vorliegenden Leitfaden die TDI-analogen Werte der LAWA-LABO-Kleingruppe bis auf weiteres als Bewertungsgrundlage herangezogen.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) eingeführte Umweltqualitätsnorm für PFOS (Kap. 5.1.2) noch auf dem veralteten EFSA-Wert von 2008 beruht.

[6] https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/5194

[7] Die von der EFSA abgeleiteten Aufnahmemengen geben die Dosis an, die bei lebenslanger Aufnahme keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen beim Menschen erwarten lassen. Bis zur Neufestsetzung in 2018 lagen die Werte für die tolerierbare tägliche Aufnahmemenge für PFOS bei 150 und für PFOA bei 1.500 ng/kg. Die US Umweltbehörde (EPA) hatte bereits 2016 einen deutlich niedrigeren, gemeinsamen Wert (‚reference dose‘) für beide Verbindungen bestimmt. Für PFOS sind diese nun dreizehn Nanogramm (ng) pro Kilogramm (kg) Körpergewicht pro Woche, für PFOA sechs ng pro kg Körpergewicht pro Woche.

4 Analytik

4.1 Stoffspektrum

Die Stoffgruppe der PFC umfasst eine Vielzahl verschiedener Einzelsubstanzen. Dieser Leitfaden bezieht sich im Wesentlichen auf die in der Tabelle 1 angeführten 13 Verbindungen, für die Geringfügigkeitsschwellen (GFS)-Werte bzw. Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) vorliegen und die nach DIN-Normen analysierbar sind[8]. Für zahlreiche Verbindungen liegt somit kein Bewertungsrahmen vor.

Sollen in begründeten Fällen (z. B. Verunreinigungen mit polyfluorierten Verbindungen) mehr als die in Tabelle 1 genannten PFC untersucht werden, ist über das zu untersuchende Parameterspektrum im Einzelfall zu entscheiden.

Insbesondere fluorhaltige Schaumlöschmittel, z.B. AFFF[9], können zu Verunreinigungen mit PFC führen, die nicht in dieser Liste enthalten sind. Nach einem Einsatz solcher Löschschäume sollte daher das Untersuchungsspektrum erweitert werden. Hier kommen insbesondere Polyfluoralkylbetaine in Betracht, die z.B. als PFOS-Ersatzstoffe in Capstone™-Produkten[10] enthalten sind. Nicht alle diese Betaine können als Einzelsubstanz nachgewiesen werden, so dass unter Umständen auch eine Erfassung als Summenparameter (siehe Kapitel 4.2) sinnvoll sein kann.

Tabelle 1: Nach DIN-Normen analysierbare PFC

Substanz	Abkürzung	Summenformel	CAS-Nr.	Perfluorierte Kettenlänge
Perfluorbutansäure	PFBA	$C_4HO_2F_7$	375-22-4	kurzkettig
Perfluorpentansäure	PFPeA	$C_5HO_2F_9$	2706-90-3	
Perfluorhexansäure	PFHxA	$C_6HO_2F_{11}$	307-24-4	
Perfluorheptansäure	PFHpA	$C_7HO_2F_{13}$	375-85-9	
Perfluoroctansäure	PFOA	$C_8HO_2F_{15}$	335-67-1	langkettig
Perfluornonansäure	PFNA	$C_9HO_2F_{17}$	375-95-1	
Perfluordecansäure	PFDA	$C_{10}HO_2F_{19}$	335-76-2	
Perfluorbutansulfonsäure	PFBS	$C_4HO_3F_9S$	375-73-5	kurzkettig
Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	$C_6HO_3F_{13}S$	355-46-4	langkettig
Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS	$C_7HO_3F_{15}S$	357-92-8	
Perfluoroctansulfonsäure	PFOS	$C_8HO_3F_{17}S$	1763-23-1	
6:2-Fluortelomersulfonsäure	6:2 FTSA (H4PFOS)	$C_8H_5O_3F_{13}S$	27619-97-2	kurzkettig
Perfluoroctansulfonamid	PFOSA	$C_8H_2F_{17}NO_2S$	754-91-6	langkettig

[8] Sowohl für die Analytik in Wasserproben nach DIN 38407-42 als auch in Schlamm, Kompost und Boden nach DIN 38414-14 ist die Anwendbarkeit des jeweiligen Verfahrens auf weitere Substanzen nicht ausgeschlossen, ist jedoch im Einzelfall zu prüfen.

[9] AFFF oder A3F ist die Abkürzung für Aqueous Film Forming Foam (deutsch etwa ‚wasserfilmbildendes Schaummittel')

[10] PFOS-freies Handelsprodukt (DuPont), das in Feuerlöschmitteln eingesetzt wird; enthält Polyfluoralkylbetaine.

Mittlerweile liegt mit der ISO 21675:2019-10[11] eine Norm vor, die ein Verfahren für bis zu 30 Einzelsubstanzen liefert (Umfang vgl. Anhang IV).

4.2 Analysenverfahren

Die Analytik der per- und polyfluorierten Carbon- und Sulfonsäuren erfolgt in Trink-, Grund-, Oberflächen- und behandeltem Abwasser nach DIN 38407-42 (F42): „Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Wasser – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) nach Fest-Flüssig-Extraktion“ (März 2011). Untersuchungsstellen/Labore geben Bestimmungsgrenzen in Bodeneluaten meist bei 5 bis10 ng/l für Einzelverbindungen an, z.T. sind Bestimmungsgrenzen von 1 ng/l erreichbar.

Um das Potenzial von PFC-Verunreinigungen in Materialien abzuschätzen, kann es erforderlich sein, Feststoffgehalte zu bestimmen. Im Gewässersediment, Klärschlamm, Kompost und Boden erfolgt die Bestimmung nach DIN 38414-14 (S14): „Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS)“ (August 2011). Die untere Anwendungsgrenze des Verfahrens wird mit 10 µg/kg angegeben. Derzeit werden Bestimmungsgrenzen je Einzelsubstanz von 1 bis 10 µg/kg, in Ausnahmen 0,1 µg/kg genannt. Für die Ermittlung der Hintergrundbelastung von Boden (ubiquitäre Belastung) ist eine untere Anwendungsgrenze von 0,1 µg/kg erforderlich.

Im Falle von Boden-/Gewässerverunreinigungen ist häufig nicht bekannt, welche fluororganischen Verbindungen enthalten sind und in welcher Konzentration diese vorliegen. Zahlreiche polyfluorierte Substanzen werden in der Umwelt durch meist oxidative Prozesse in stabilere PFC-Verbindungen umgewandelt (z.B. PFOS, PFOA). Daher ist es für die Bewertung einer Belastungssituation entscheidend, neben den jeweiligen PFC-Einzelsubstanzkonzentrationen auch zu bestimmen, welche Maximalkonzentrationen der stabilen PFCs sich aus dem jeweils vorliegenden PFC-Gemisch bilden können Bislang ist nur eine überschaubare Zahl von Verbindungen aus dieser Schadstoffgruppe als Referenzsubstanzen für die Analytik verfügbar und/oder mit den Routineverfahren erfassbar. Daher laufen aktuell mehrere Vorhaben zur Entwicklung von Summenparametern. Sie ermöglichen als Orientierungswerte eine erste Einschätzung von potenziellen Belastungen durch fluororganische Verbindungen. Hier sind zu nennen:

- AOF (adsorbierbares organisch gebundenes Fluor) für wässrige Proben: Es basiert auf der Anreicherung von fluororganischen Verbindungen an einer geeigneten Aktivkohle und der Bestimmung der adsorbierten Verbindungen nach Verbrennung als Fluorid. Die Bestimmungsgrenze liegt aktuell bei ≤ 2 µg/l (Entwurf DIN-Norm).
- EOF (extrahierbares organisch gebundenes Fluor) für Feststoffproben: Die Analytik erfolgt analog der AOF-Bestimmung nach einer vorausgegangenen Extraktion aus festen Proben. Die Bestimmungsgrenze liegt aktuell bei etwa 10 µg/kg.
- TOP-Assay (Total Oxidizable Precursor): Vorläuferverbindungen werden im Eluat von Feststoffen, Bodenextrakten und in wässrigen Proben durch eine definierte Oxidation zu den persistenten Endstufen - v.a. perfluorierte Carbonsäuren - transformiert und sind damit analytisch erfassbar.

[11] ISO 21675:2019-10: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in Wasser - Verfahren mittels Flüssigkeitschromatographie/Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS) nach Festphasenextraktion.

Auch lassen sich die niedrigen Bestimmungsgrenzen der PFC-Routineanalytik erreichen (i.d.R. < 5-10 ng/l).

Aufgrund der Vielzahl von unbekannten PFC-Verbindungen kann die Einzelsubstanzanalytik in bestimmten Fällen zu einer Unterschätzung des Risikopotentials führen. Ungeachtet noch laufender Normungsarbeiten liefern aber Summenparameter wertvolle zusätzliche Hinweise zu Höhe und räumlicher Verteilung von PFC-Verunreinigungen in Boden und Wasser.

Für Untersuchungen nahe der Schadstoffquelle wird empfohlen, ergänzend zur Einzelsubstanzanalytik auch auf die summarischen Parameter AOF, EOF oder TOP-Assay zu analysieren[12]. Bei der AOF-Analytik ist jedoch zu berücksichtigen, dass hohe Fluorid-Konzentrationen in der Wasserprobe die AOF-Analytik beeinflussen und dadurch zu überhöhten Messergebnissen und Fehlinterpretationen führen können. Durch den Vergleich der Ergebnisse für die bekannten Einzelsubstanzen mit denen der Summenparameter ergibt sich ein Hinweis auf die Höhe des Anteils unbekannter organischer Fluorverbindungen. Für Untersuchungen fern der Schadstoffquelle, z.B. im Trinkwasser, lässt die Einzelsubstanzanalytik auf die bekannten PFC-Verbindungen i.d.R. eine Beurteilung der Belastungssituation zu. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass bei polyfluorierten PFC auf dem Weg von der Schadstoffquelle zwischenzeitlich eine Transformation zu analytisch nachweisbaren Verbindungen stattgefunden hat. Auch hier kann eine Analyse mittels Summenparameter Sicherheit bringen.

4.3 Herstellung von Eluaten zur Bodenuntersuchung

Für die Untersuchung von Bodenproben zur Beurteilung des Sickerwassers ist das Schüttelverfahren nach DIN 19 529 oder der Säulenschnelltest nach DIN 19528 mit einem Wasser-Feststoff (W/F) -Verhältnis von 2:1 anzuwenden.

Weiterhin sind nach DIN 19529:2015-12 die Untersuchungen an feldfrischen oder ggf. auch an getrockneten Proben durchzuführen. Zu beachten ist, dass sowohl das Elutionsverfahren als auch der Trocknungszustand zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen gerade bei der Untersuchung gering belasteter Böden führen kann, wie sie z.B. in Bodendauerbeobachtungsflächen vorliegen[13]. Dies ist bei einem Vergleichvon Untersuchungsergebnissen zu berücksichtigen. Ein grundsätzlicher Trocknungsschritt führtdaher zu einer besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Es werden daher für eine bessere Vergleichbarkeit von Analysen-Ergebnissen in Anlehnung an die o.g. DIN die folgenden zusätzlichen Empfehlungen für die Probenvorbereitung gegeben:

- Trocknung der Probe bei max. 40°C bis zur Gewichtskonstanz (Ausnahme: sehr stark humose Böden mit > 8 % Humusanteil können nach Trocknung eine hohe Hydrophobizität aufweisen und sollten daher nur feldfrisch untersucht werden), der Wasserverlust durch Trocknung ist im Protokoll zu vermerken.
- Durchführung der Elution mit 250 g (TM) Boden in 1-l-PP-Flasche nach Abtrennung der Fraktion > 10 mm, der Gewichtsanteil ist im Protokoll zu vermerken und bei der Auswertung zu berücksichtigen

[12] Die Kosten liegen bei ca. 200 EUR für AOF oder EOF und ca. 500 EUR für die Durchführung des TOP-Assays bei Privatlaboren (Abfrage10/2019)

[13] Nach vorläufigen Ergebnissen aus vergleichenden Untersuchungen der LUBW und des TZW erzeugt das Säulenverfahrens auf Bodenproben ohne spezifische PFAS-Belastung i. d. R. deutlich höhere Eluatwerte als die Anwendung des Schüttelverfahrens (*https://pd.lubw.de/42387*). Außerdem können in getrockneten Proben bis zu ca. 10fach höhere PFAS-Konzentrationen im Eluat auftreten als bei feldfrischen Proben (noch unveröffentlichte Untersuchungsergebnisse der LUBW und des TZW)

- Bei stark humosen Böden mit > 8 % Humusanteil kann mit einen W/F-Verhältnis von 2:1 nicht die für die Analytik erforderliche Menge an Eluat erreicht werden, da der Boden das Wasser zu stark bindet. Hier kann ein W/F-Verhältnis von 10:1 verwendet werden, die Abweichung ist im Protokoll zu vermerken.

Abweichend vom vorstehend beschriebenen Elutionsverfahren werden im Bereich des Abfallrechts Eluatuntersuchungen i.d.R. mit einem W/F-Verhältnis von 10:1 nach DIN EN12457-4:2003-1 durchgeführt. Sollen für die Prüfung einer möglichen Verwertung keine Doppeluntersuchungen durchgeführt werden, können hilfsweise die mit dem 10:1-Verfahren analysierten Werte mit dem Faktor 5 multipliziert werden. Wissenschaftlich gestützte Umrechnungsfaktoren liegen nicht vor. Insbesondere für langkettige PFC kann der Umrechnungsfaktor in der Realität aufgrund von Sorptionseffekten auch geringer als 5 sein. Mit diesem Vorgehen wird aber eine ausreichende Sicherheit geschaffen, damit die höhere Verdünnung beim 10:1-Eluat nicht zu einer Unterschätzung der Belastung führt. Grundsätzlich belastbar wären jedoch Doppeluntersuchungen, um den jeweils hinterlegten Beurteilungsmaßstäben für die weitere Nutzung der Analysenergebnisse gerecht zu werden.

Die chemische Analytik der Eluate/Perkolate erfolgt analog nach DIN 38407-42. Der Mindestumfang der Untersuchungsparameter auf PFC umfasst die in der Tabelle 1 (Kap. 4.1) aufgeführten Stoffe. Die analytische Bestimmungsgrenze der PFC-Substanzen im Eluat soll ≤ 10 ng/l betragen. In der Praxis liegen die von den Untersuchungsstellen/Laboren angegebenen Bestimmungsgrenzen in Bodeneluaten aktuell meist bei 5 bis 10 ng/l für Einzelverbindungen. Mit optimierten Verfahrensabläufen sind Bestimmungsgrenzen von 1 ng/l erreichbar.

5 Beurteilungskriterien und Anwendungshinweise

5.1 Wasser

5.1.1 Grundwasser

Die gemeinsame Kleingruppe der LAWA und der LABO hat anhand von Informationen zum Vorkommen und zur Verbreitung sowie aus Einzelfallberichten 13 PFC als für das Grundwasser prioritär benannt[14]. Für sieben dieser Verbindungen konnte sie GFS-Werte auf der Grundlage humantoxikologischer Daten ableiten. Bei ihrer Überschreitung liegt gemäß der Anwendungsgrundsätze im LAWA-GFS-Bericht[15] eine schädliche Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit vor.

Die Trinkwasserkommission beim Umweltbundesamt hat die Datenlage als ausreichend bewertet, um die sieben abgeleiteten GFS-Werte auch als Leitwerte nach der Trinkwasserverordnung zu etablieren. Für weitere sechs PFC hat die LAWA-LABO-Kleingruppe aufgrund der eingeschränkten Datenlage Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) angegeben (s. Tabelle 2).

[14] LAWA (2017): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser – PFC. https://www.lawa.de/documents/03_anlage_3_bericht_gfs_fuer_pfc_endfassung_22_11_2017_2_1552302208.pdf
PFC-Datenblätter: https://www.lawa.de/documents/02_anlage_2_bericht__gfs_datenblaetter_2_1552302232.zip

[15] LAWA (2016): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser – Aktualisierte und überarbeitete Fassung 2016. https://www.lawa.de/documents/geringfuegigkeits_bericht_seite_001-028_1552302313.pdf

Für nicht bewertete PFC wird empfohlen, hilfsweise einen Wert von 0,1 µg/l je Einzelsubstanz - orientierend am ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable) - zu verwenden.

Wenn im Grundwasser gleichzeitig mehrere PFC auftreten, für die GFS-Werte festgelegt wurden, kann für die Risikobewertung solcher Stoffgemische zusätzlich die Quotientensumme (QS) analog der Additionsregel der Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 402) herangezogen werden. Dies ermöglicht länderspezifische Regelungen. Bei Anwendung der QS wird die Konzentration einer Einzelverbindung GFS-Wert geteilt und die Quotienten aufsummiert. Damit werden ähnliche Wirkungsmechanismen und mögliche additive Effekte auf die menschliche Gesundheit berücksichtigt.

$$Quotientensumme = \frac{PFC_1}{GFS_1} + \frac{PFC_2}{GFS_2} + \cdots + \frac{PFC_n}{GFS_n}$$

Nicht zur Bildung der Quotientensumme herangezogen werden PFC, für die Datenlage noch unzureichend ist und daher nur GOW-Werte vorliegen. Ebenfalls unberücksichtigt bleiben Analysenergebnisse unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Wenn die Quotientensumme bei der Bewertung der Grundwasserbeschaffenheit den Wert 1 überschreitet, ist eine schädliche Grundwasserveränderung zu vermuten. Ob sich aus einer Überschreitung ein Handlungsbedarf (z.B. Sanierung) ergibt, hängt von den einzelfallspezifischen Umständen ab (z.B. Nutzung für Trinkwasserzwecke, Beregnungszwecke in der Landwirtschaft). Im Unterschied zu GFS-Werten haben GOW-Werte orientierenden Charakter, d.h. eine Überschreitung dieser für die Trinkwasserbewertung geltenden Werte deutet auf nachteilige Veränderung der Beschaffenheit des Grundwassers hin[16]. Diese Vorgehensweise gilt auch für PFC, die nach dem ALARA-Prinzip bewertet werden.

ENTWURF

[16] Bei Überschreitungen der GOW sind die Trinkwasserversorger gehalten, mittelfristig für eine Einhaltung dieser Werte zu sorgen.

Tabelle 2: GFS-Werte und GOW für PFC im Grundwasser

Stoff	GFS-Werte* [µg/l]	GOW [µg/l]
Perfluorbutansäure, **PFBA**	10,0	
Perfluorpentansäure, **PFPeA**		3,0
Perfluorhexansäure, **PFHxA**	6,0	
Perfluorheptansäure, **PFHpA**		0,3
Perfluoroctansäure, **PFOA**	0,1	
Perfluornonansäure, **PFNA**	0,06	
Perfluordecansäure, **PFDA**		0,1
Perfluorbutansulfonsäure, **PFBS**	6,0	
Perfluorhexansulfonsäure, **PFHxS**	0,1	
Perfluorheptansulfonsäure, **PFHpS**		0,3
Perfluoroctansulfonsäure, **PFOS**	0,1	
6:2-Fluortelomersulfonsäure, **6:2 FTSA (H4PFOS)**		0,1
Perfluoroctansulfonamid, **PFOSA**		0,1
Weitere PFC mit R1-(CF2)n-R2, mit n>3		0,1

* Gelten gleichzeitig als Trinkwasserleitwerte nach Trinkwasserverordnung

5.1.2 Oberflächengewässer

Bei der Beurteilung von Oberflächengewässern und den Anforderungen an Einleitungen sind grundsätzlich zwei Betrachtungsebenen zu unterscheiden:

a. Die Wasserkörperebene im Sinne des § 27 WHG (Bewirtschaftungsziele im Rahmen der Einleitungserlaubnis, bezogen auf die repräsentative Messstelle) und

b. die lokale Ebene im Umfeld der Einleitungsstelle.

Zu a.) Wasserkörperebene

Nach § 27 Abs. 1 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) sind oberirdische Gewässer so zu bewirtschaften, dass eine Verschlechterung ihres ökologischen und chemischen Zustands vermieden und ein guter

ökologischer und chemischer Zustand erhalten oder erreicht wird. Für verschiedene Stoffe wurden zu diesem Zweck Umweltqualitätsnormen (UQN) festgelegt. PFOS wurde 2013 als bislang einziger Vertreter der Schadstoffgruppe mit der UQN-Richtlinie 2013/39/EU in die EU-weite Liste der prioritären Stoffe aufgenommen. Insofern ist allein für PFOS die Betrachtung des gesamten Wasserkörpers bisher rechtlich vorgesehen. Bei der Wasserkörperebene steht die Bewertung des chemischen und ökologischen Zustands nach den Vorgaben der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) im Vordergrund. Für PFOS ist die Einhaltung der UQN mit Bezug auf den Oberflächenwasserkörper (OWK) von Bedeutung. Ein OWK ist ein einheitlicher und bedeutender Abschnitt eines oberirdischen Gewässers (§ 3 Nummer 6 WHG). Zu den Bewirtschaftungszielen gehören das Verschlechterungsverbot und das Zielerreichungsgebot (§ 27 WHG). Maßgeblich ist die Bewertung an der für den jeweiligen OWK repräsentativen Messstelle.

Die UQN beträgt für Oberflächengewässer 9,1 µg/kg. Sie darf in Fischen (Biota) nicht überschritten werden. Dieser Wert wurde für das Schutzgut menschliche Gesundheit über den Fischkonsum abgeleitet. Der korrespondierende Wert für die Wasserphase beträgt 0,65 ng/l als Jahresdurchschnittswert (JD-UQN). Als zulässige Höchstkonzentration (ZHK-UQN) sind 36 µg/l (ZHK-UQN) festgelegt, abgeleitet aus einem Algentest. Die Einhaltung der UQN ist über ein Biota-Monitoring nachzuweisen. Nur wenn dies nicht möglich ist, kann alternativ die JD-UQN in der Wasserphase verwendet werden. Gleichzeitig ist die ZHK-UQN einzuhalten.

Diese Werte wurden in der Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 in deutsches Recht umgesetzt. Wird eine UQN in einem OWK überschritten, müssen geeignete Maßnahmen festgesetzt werden, um ihre Einhaltung bis zum 22. Dezember 2027 zu erreichen. Für PFOS wurde gemäß OGewV zum 22. Dezember 2018 ein Überwachungsprogramm sowie ein vorläufiges Maßnahmenprogramm aufgestellt.

Als prioritärer Schadstoff mit ubiquitärer Verbreitung sind für PFOS bei der Zulassung von Abwassereinleitungen oder der Wiedereinleitung von (gereinigtem) Grundwasser in ein Oberflächengewässer die Auswirkungen auf den Wasserkörper unter Berücksichtigung des Verschlechterungsverbots und des Zielerreichungsgebots zu prüfen.

Verschlechterungsverbot

Eine Verschlechterung des chemischen Zustands eines OWK tritt grundsätzlich dann ein, wenn infolge eines Vorhabens die UQN für einen Stoff nach Anlage 8 zur OGewV überschritten wird. Liegt in dem betroffenen OWK bereits vor diesem Vorhaben eine Überschreitung der UQN vor, liegt bei jeder weiteren Einleitung (des jeweiligen Stoffes) eine Verschlechterung vor, wenn diese zu einer Erhöhung[17] der Konzentration an der repräsentativen Messstelle führt. Wenn eine Verschlechterung festzustellen oder zu prognostizieren ist, kann ein Vorhaben dennoch zugelassen werden, wenn die Voraussetzungen für eine Ausnahme gem. § 31 Absatz 2 WHG gegeben sind[18].

Kurzzeitige Verschlechterungen können aus Gründen der Verhältnismäßigkeit außer Betracht bleiben, wenn mit Sicherheit davon auszugehen ist, dass sich der bisherige Zustand nach Ende der Einleitung kurzfristig wiedereinstellt. Dies kann beispielsweise bei zeitlich befristeten, kurzzeitigen Einleitungen im Rahmen einer Baumaßnahme gegeben sein.

[17] Konzentrationserhöhungen, die rechnerisch, aber nicht messtechnisch erfassbar sind, gelten nicht als Verschlechterung

[18] LAWA-AR Handlungsempfehlung Verschlechterungsverbot (Beschluss 153. LAWA-VV 16./17. 03 2017; unveröffentlicht)

Zielerreichungsgebot

Ebenfalls nur für PFOS ist darüber hinaus im Falle einer bestehenden Überschreitung der UQN im OWK gemäß § 27 Abs.1 Nr. 2 WHG auch das Zielerreichungsgebot zu beachten. Für die einzelne Einleitung bedeutet dies, dass im Rahmen des Erlaubnisverfahrens zu prüfen ist, ob im Falle einer bestehenden Überschreitung der UQN eine Frachtverringerung möglich ist. Bei der Frage, ob das Zielerreichungsgebot eingehalten wird, ist auch zu berücksichtigen, ob im Bewirtschaftungsplan für den betreffenden OWK Fristverlängerung, abweichende Bewirtschaftungsziele oder Ausnahmen (§§ 29, 30 und 31 WHG) festgelegt worden sind. Bei der Zulassung des einzelnen Vorhabens ist darauf zu achten, dass die Zielerreichung insgesamt für den Wasserkörper nicht unmöglich wird (weitere Erläuterungen s. Anhang II.3.2).

Zu b.) lokale Ebene

Bei der lokalen Ebene im Sinne des § 57 Absatz 1 Nummer 2 WHG geht es um die Eigenschaften bestimmter Gewässerabschnitte im Bereich der Einleitungsstelle (nach Vermischung). Auf dieser Ebene sind auch die Auswirkungen anderer PFC im Gewässer zu berücksichtigen. Die Betrachtung der lokalen Ebene ist im Abschnitt 5.1.3.2 „Weitergehende immissionsseitige Anforderungen“ beschrieben.

5.1.3 Abwasser

5.1.3.1 Emissionsbezogene Anforderungen

§ 57 Absatz 1 Nummer 1 WHG fordert, bei Abwassereinleitungen die eingeleitete Schadstofffracht nach dem Stand der Technik (§ 3 Nummer 11 WHG) zu minimieren. PFC werden i.d.R. nicht spezifisch im Abwasser direkteinleitender Betriebe oder kommunaler Kläranlagen erfasst.

Die Summenparameter CSB und TOC sind für PFC nicht aussagekräftig, da nur abbaubare organische Fluorverbindungen erfasst werden. Diese treten nur in vergleichsweise geringen Konzentrationen auf. Bislang wurde noch kein branchenbezogener Grenzwert für PFC als Stand der Technik festgelegt. Stoffspezifische Regelungen sind in den allgemeinen Anforderungen des Teils B der AbwV aufgeführt (z.B. Verzicht auf oder Minimierung von bestimmte/n Einsatzstoffe/n).

In den seit 2016 novellierten branchenspezifischen Anhängen der AbwV wird die PFC-Problematik angegangen So werden z. B. im Anhang 28 *Herstellung Papier und Pappe Teil B Allgemeine Anforderungen* Verzichts- und Minimierungsanforderungen gestellt. Dies ist ein erster Schritt, um auch europaweit zu einer Lösung zu kommen.

Diese Minimierungsanforderungen gelten auch für Indirekteinleiter, allerdings nur dann, wenn im Anhang Anforderungen für den Ort des Anfalls (Teil E) oder vor Vermischung (Teil D) gestellt werden. Das Verfahren (DIN 38407-42, Ausgabe März 2011) zur Bestimmung von PFC bei Abwasseruntersuchungen ist in der Anlage 1 zu § 4 AbwV (Analysen- und Messverfahren) aufgeführt (siehe auch Kapitel 4.2).

5.1.3.2 Weitergehende immissionsseitige Anforderungen

§ 57 Absatz 1 Nummer 2 WHG fordert bei Erteilung einer Erlaubnis zur Abwassereinleitung die Berücksichtigung der Anforderungen an die Gewässereigenschaften, also eine Prognose und Beurteilung der

Auswirkungen auf das Gewässer infolge der Einleitung. Deshalb sind PFC-Einträge, wenn sie sich nicht gänzlich vermeiden lassen, soweit zu begrenzen, dass die prognostizierten PFC-Konzentrationen im Gewässer nach Durchmischung mit dem Abwasser über die bereits geprüften Anforderungen nach § 27 WHG hinaus keine schädlichen Gewässerveränderungen an der Einleitungsstelle hervorrufen.

Dabei ist nicht nur die Einleitung, sondern auch eine ggf. vorhandene PFC-Vorbelastung des Gewässers zu betrachten. Ferner sind mögliche Beeinträchtigungen des Grundwassers (z. B. bei erheblicher Infiltration von Oberflächenwasser ins Grundwasser) oder Auswirkungen auf die Trinkwassernutzung (z. B. bei Verwendung von Uferfiltrat) bei der Begrenzung der Einträge in Oberflächengewässer zu berücksichtigen.

Für eine auf den Schutz der aquatischen Lebensgemeinschaft bezogene ökotoxikologische Bewertung (auf lokaler Ebene) können im Rahmen einer Einleiterlaubnis für PFC die Konzentrationswerte der JD-UQN in der Wasserphase (liegt aktuell nur für PFOS vor) oder PNEC (Predicted No Effect Concentration) -Werte orientierend herangezogen werden. Letztere werden im Allgemeinen ausschließlich bezogen auf den Schutz der aquatischen Lebensgemeinschaft anhand ökotoxikologischer Daten abgeleitet ($PNEC_{aquatisch}$). Von den zu prüfenden Parametern nach diesem Leitfaden stehen aktuell nur $PNEC_{aquatisch}$-Werte für vier kurzkettige PFC zur Verfügung.

Die Prüfung wird aufgrund der relativ hohen PNEC-Werte im Regelfall ergeben, dass die aquatische Lebensgemeinschaft hinreichend geschützt ist. Jedoch berücksichtigen die PNEC-Werte im Gegensatz zu den UQN für PFOS weder den Schutz fischfressender Tiere („secondary poisoning“) noch den menschlichen Fischverzehr oder die mögliche Beeinflussung des Grundwassers als Trinkwasserressource. Weitere Erläuterungen dazu s. Anhang II.1 und II.3.

Aus Vorsorgegründen können daher bei Abwassereinleitungen wegen der hohen Persistenz und Mobilität der PFC andere als ökotoxikologische Beurteilungskriterien (z.B. secondary poisoning, Humantoxikologie) vorrangig sein und weitergehende Minimierungsmaßnahmen erfordern.

Außerdem sind nach REACH bereits mehrere PFC als besonders besorgniserregende Stoffe (sog. SVHC) eingestuft, für die keine PNEC-Werte festgelegt werden können (siehe Anhang II.1)[19]. Für derartige Verbindungen sollen im Geltungsbereich von REACH grundsätzlich Minimierungsmaßnahmen angestrebt werden.

Im Einzelfall ist bei Einleitungen zu beachten, dass Menge und Schädlichkeit des Abwassers so geringgehalten werden, wie dies bei Einhaltung der jeweils in Betracht kommenden Verfahren nach dem Stand der Technik möglich ist. Wesentliche Kriterien bei zusätzlichen Anforderungen sind nicht allein die Höhe der Konzentration im Abwasser, sondern auch die erreichbare Frachtreduzierung, der erforderliche Aufwand und die örtlichen Rahmenbedingungen. Bei der Priorisierung von ggf. erforderlichen Maßnahmen wird empfohlen, nach der Höhe der Summe der im gereinigten Abwasser nachgewiesenen PFC vorzugehen. Auf die Beispiele im Anhang IV.2 und IV.3 und die dort verwendeten Orientierungswerte wird hingewiesen.

Für PFOS gelten zusätzlich die Ausführungen unter 5.1.2. Dabei ist zu beachten, dass die UQN nicht an der Einleitungsstelle, sondern an der für den jeweiligen OWK repräsentativen Messstelle einzuhalten ist.

Die Entscheidung über eine Einleitungserlaubnis ist im Falle von nicht rechtsverbindlich festgelegten Immissionswerten auf der Grundlage von § 12 WHG im pflichtgemäßen Ermessen zu treffen.

[19] Als SVHC (Substances of very high concern) werden z.B. Stoffe eingestuft, die gleichzeitig persistent, bioakkumulierend und toxisch (PBT) oder sehr persistent und sehr hoch bioakkumulierend (vPvB) sind, Aufgrund dieser Kombination von Eigenschaften lassen sich keine langfristig „sicheren“ Konzentrationen in der Umwelt ableiten.

Auch die Überschreitung nicht rechtsverbindlich festgelegter Immissionswerte (z. B. PNEC) kann im Einzelfall nach entsprechender Prüfung und Begründung eventuell sogar eine schädliche Gewässerveränderung bedeuten. In diesem Fall muss die Erlaubnis versagt werden. Das fällt nicht unter das Bewirtschaftungsermessen.

5.1.3.3 Abschätzung der Gewässerbelastung durch rechnerische Ermittlung

Um die zusätzliche Belastung für das Gewässer abzuschätzen, wird empfohlen für die Abschätzung der prognostizierten PFC-Konzentrationen im Gewässer in der Regel den mittleren Niedrigwasserabfluss (MNQ) des betroffenen Gewässers anzusetzen.

Für die rechnerische Ermittlung der durch eine punktuelle Einleitung verursachten Immissionskonzentration C_{im} im Gewässer gilt folgende Gleichung:

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

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)

Siehe dazu Beispiele in Anhang IV.2 und IV.3.

5.2 Klärschlamm / Düngemittel

In der Klärschlammverordnung vom Oktober 2017 ist mittelbar ein Grenzwert für PFC für die bodenbezogene Verwertung von Klärschlamm durch Querverweis auf die Düngemittelverordnung vom 27. Mai 2015 festgelegt. Diese legt generell sowohl für Ausgangsstoffe von Düngemitteln als auch für das Düngemittel selbst einen Grenzwert von 100 µg/kg für die Summe aus PFOS und PFOA fest; ab 50 µg/kg besteht eine Kennzeichnungspflicht.

Der 2008 eingeführte Grenzwert ist so hoch bemessen, dass selbst bei dessen Einhaltung eine Ausbringung u.U. zu einer Überschreitung der GFS-Werte im Grundwasser (s. Tabelle 2) führen kann. Erschwerend kommt hinzu, dass die im Klärschlamm vorhandenen Vorläuferverbindungen außer Acht bleiben. Aus Vorsorgegründen wäre es daher angebracht, den Wert im Zuge einer Novellierung der DüMV baldmöglichst nach unten anzupassen. Dafür spricht auch die deutliche Absenkung der bisher von der EFSA empfohlenen maximalen Aufnahmemengen über Lebensmittel. Darüber hinaus sollte ein PFC-Summengrenzwert nicht auf die zwei Substanzen beschränkt sein, sondern zumindest die in Tabelle 2 aufgeführten Vertreter oder aber die gesamte Stoffgruppe berücksichtigen.

ENTWURF

5.3 Boden - Wirkungspfadbezogene Gefahrenbeurteilung

5.3.1 Wirkungspfad Boden-Grundwasser

Bei der Bewertung von PFC im Rahmen der Gefahrenabwehr (Nachsorge) hat sich der Wirkungspfad Boden-Grundwasser als der vorrangig relevante Wirkungspfad erwiesen (unbeschadet der Einzelfallbetrachtung). Ungeachtet der noch bestehenden Unsicherheiten hinsichtlich ihres Umweltverhaltens insbesondere in der Bodenmatrix, wird die Konzentration der Stoffe im Sickerwasser am Ort der Beurteilung auf Grundlage der Untersuchung von Bodeneluaten abgeschätzt (Sickerwasserprognose, bestehend aus Materialuntersuchungen und Transportprognose).

Es wird empfohlen, diese Materialuntersuchungen mittels repräsentativer Proben[20] aus der ungesättigten Bodenzone (Ort der Probenahme) über Elutions- oder Perkolationsversuche mit einem W/F-Verhältnis von 2:1 durchzuführen. Zur Beurteilung des Schadstoffpotenzials sollten – soweit analytisch möglich – Ergebnisse von Feststoffanalysen hinzugezogen werden.

Verschiedene Schadensfälle haben gezeigt, dass auch Vorläuferverbindungen vorhanden sein können. Deren Transformationspotenzial ist häufig nur schwer einschätzbar. Dennoch sind solche PFC-Verbindungen bei der Gefährdungsabschätzung zu berücksichtigen. Hierzu können die in Kapitel 4 beschriebenen Summenparameter Hinweise geben.

Solange rechtlich verbindliche Prüfwerte für PFC nicht in Kraft sind, gelten die GFS-Werte für PFC (Tabelle 2) als Prüfwertvorschläge für Sickerwasser am Ort der Beurteilung[21]. Die Quotientensumme wird zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser nicht zusätzlich herangezogen, da sie eine vorsorgende Risikobewertung von Stoffgemischen bei Beurteilung der Trinkwasserbeschaffenheit darstellt. Für bisher nicht bewertete PFC soll – orientierend am ALARA-Prinzip – hilfsweise der Wert 0,1 µg/l je Einzelsubstanz als Prüfwertvorschlag verwendet werden. Dieser Wert kann wie die GOW zunächst orientierend zur Bewertung herangezogen werden. Eine Überschreitung des Prüfwertvorschlags führt nicht zur unmittelbaren Gefahrenfeststellung, sondern bewirkt eine weitere Prüfung. Bei dieser Prüfung werden dann sowohl Konzentrationen und Frachten als auch mögliche Metaboliten und persistente Abbauprodukte berücksichtigt.

Bei Überschreitung einer dieser Prüfwertvorschläge im Eluat bereits am Ort der Probenahme, soll durch eine Transportprognose (verbalargumentativ oder ggf. mit Unterstützung durch Softwaretools z.B. SIWA-SP oder ALTEX-1D) abgeschätzt werden, ob dies auch für die Konzentration der PFC im Sickerwasser am Ort der Beurteilung (Übergang von der ungesättigten in die gesättigte Bodenzone) zu erwarten ist. Hierfür werden neben Eluatuntersuchungen ggf. auch Feststoffuntersuchungen benötigt.

Bei der Transportprognose ist zu beachten, dass der Rückhalt von kurzkettigen PFC in der ungesättigten Bodenzone im Vergleich zu langkettigen PFC geringer ist. Zudem sind dabei die einzelfallbezogenen Standortbedingungen wie z.B. Art (Geologie) und Mächtigkeit der Sickerstrecke sowie das Gefährdungspotenzial von Vorläuferverbindungen zu berücksichtigen.

---

[20] Siehe Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung in der geltenden Fassung, Anhang 1, Anforderungen an die Probenahme

[21] In der geplanten Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung sind die GFS-Werte der sieben PFC der Tabelle 2 (Kap. 5.1.1) als Prüfwerte vorgesehen - http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/122/1812213.pdf

Bei den langkettigen und damit weniger mobilen PFC (z.B. PFNA, PFDA oder PFOS) und bei den Vorläuferverbindungen ist - soweit möglich - im Rahmen einer Transportprognose die Rückhaltewirkung bzw. bei den Vorläuferverbindungen die Abbaukinetik im Bereich der Quelle und auf der Sickerstrecke zu berücksichtigen.

Unterschreitet die prognostizierte Konzentration am Ort der Beurteilung den Prüfwertvorschlag, ist der Gefahrenverdacht in Bezug auf die erfassten Stoffe ausgeräumt.

Überschreitet die prognostizierte Konzentration am Ort der Beurteilung die Prüfwertvorschläge, sind nach § 9 Absatz 2 BBodSchG wegen des hinreichenden Verdachts auf eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast weitere Sachverhaltsermittlungen durchzuführen. Für eine Bewertung kann bei geeigneten hydrogeologischen Randbedingungen ergänzend die Einmischung des Sickerwassers in ein begrenztes Grundwasservolumen berücksichtigt werden. Die Beurteilung des Grundwassers nach der Einmischung ist gemäß Kapitel 5.1.1 durchzuführen.

5.3.2 Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze

Pflanzen können PFC aus dem Boden oder aus dem Beregnungswasser aufnehmen und in verschiedene Pflanzenteile (Blätter, Korn) transportieren[22]. Grundsätzlich werden kurzkettige Verbindungen (z.B. PFBA, PFPeA oder PFHxA) eher aufgenommen als langkettige (z.B. PFOA, PFOS). Es gibt jedoch auch Hinweise, dass bei Abwesenheit kurzkettiger PFC auch eine Aufnahme langkettiger PFC, insbesondere PFOA, in die Pflanze, und teilweise auch ins Korn, erfolgt. Darüber hinaus unterscheiden sich Aufnahmekapazität und Verlagerungsverhalten in die Pflanzenorgane in Abhängigkeit von der Pflanzenart:

- Vor allem in die grünen Pflanzenteile und in Pflanzen mit einem hohen Wasserbedarf (z.B. Gemüse, Sojabohnen und Weizen) werden insbesondere kurzkettige PFC eingelagert. Langkettige PFC reichern sich dagegen eher in den Wurzeln an[23].
- Während bei Körnermais, Winterraps und Sommergerste nur vereinzelt ein Übergang ins Erntepodukt Korn festgestellt wurde, erfolgt bei Sojabohne und Winterweizen ein erhöhter Transfer.

Die Aufnahme von PFC in Pflanzen hängt sowohl von den Gehalten im Boden oder dem Beregnungswasser als auch von den Eigenschaften der jeweiligen Verbindungen (u.a. Kettenlänge, Verzweigungsgrad, funktionelle Gruppen) sowie von der Pflanzenart ab. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass die Aufnahme insbesondere von der Bodenart, der organischen Substanz im Boden und dem pH-Wert des Bodens beeinflusst wird.

Der Bedarf für Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze ist gegeben, die Datengrundlage zur Berechnung von Transferfaktoren ist aber noch nicht ausreichend, so dass noch keine Prüfwertvorschläge abgeleitet werden können.

Auf PFC-verunreinigten, landwirtschaftlich genutzten Flächen empfiehlt sich deshalb ein Vor-Ernte-Monitoring[24] aus Gründen des vorsorgenden Verbraucherschutzes, sofern der Verbraucherschutz nicht eindeutig geklärt ist.

---

[22] Stahl, T., Heyn, J., Thiele, H., Hüther, J., Failing, K., Georgii, S., Brunn, H. (2009): Carryover of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) from soil to plants. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 57, 289–298

[23] Felizeter, S., McLachlan, M.S., De Voogt, P. (2014): Root uptake and translocation of perfluorinated alkyl acids ba three hydroponically grown crops. J. Agric, Food Chem.62, 3334-3342

[24] Zum Vor-Ernte-Monitoring siehe Homepage der Stabsstelle PFC beim Regierungspräsidium Karlsruhe: https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpk/Abt5/Ref541/PFC/Seiten/Landwirtschaft.aspx

(siehe Anhang IV.1). Darüber hinaus sollte in Verdachtsfällen das ggf. zur Bewässerung genutzte Wasser untersucht werden, um PFC-Einträge zu vermeiden.

Auch Wildpflanzen können PFC aus dem Boden aufnehmen und in essbaren Pflanzenteilen oder Nektar anreichern. Dadurch kann z.B. Honig stark belastet sein. Gerade bei einer spezifischen und großflächigen Verunreinigung von Bodenmaterial mit kurzkettigen PFC wird empfohlen, diesen Aspekt zu berücksichtigen.

5.3.3 Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt)

Die Bewertung von Bodenverunreinigungen hinsichtlich des Wirkungspfades Boden-Mensch (direkter Kontakt) erfolgt vor allem anhand von Prüfwerten nach Anhang 2 BBodSchV. Entsprechende Werte für PFC sind in der geplanten Neufassung der BBodSchV allerdings nicht vorgesehen, sondern nur Prüfwerte für den Pfad Boden-Grundwasser.

Die Systematik zur Ableitung von Prüfwerten wurde im Bundesanzeiger 51, Nummer 161a, vom 28.08.1999 veröffentlicht[25]. Würde man Werte nach dieser Systematik für PFC ableiten, ergäben sich Werte in einer Größenordnung, die bislang in der Realität kaum nachgewiesen werden. Der Pfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) ist somit i.d.R. in der Nachsorge im Gegensatz zum Pfad Boden-Grundwasser nicht relevant. Letzterer ist - bezogen auf PFC - im Allgemeinen (unbeschadet der Einzelfallbetrachtung) der sensiblere Wirkungspfad. Im Rahmen der abschließenden Gefährdungsabschätzung sind lediglich die relevanten Wirkungspfade zu betrachten.

ENTWURF

[25] https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/ableitung_der_pr__f-_und_ma__nahmenwerte.pdf

6 Umgang mit PFC-haltigem Bodenmaterial

6.1 Allgemeines

ENTWURF

6.2 Verwertung von Bodenmaterial auf, in oder unter/außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht

ENTWURF

6.2.1 Verwertung von Bodenmaterial auf/in einer durchwurzelbaren Bodenschicht

6.2.2 Auf- und Einbringen von Bodenmaterial unter- /außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht

6.2.3 Gebiete mit erhöhten Schadstoffbelastungen nach §12 Absatz 10 BBodSchV

ENTWURF

6.3 Verwertung von Bodenmaterial in technischen Bauwerken

ENTWURF

6.4 Umlagerung von Bodenmaterial im Rahmen der Sanierung

6.5 Verwertung und Beseitigung auf Deponien

6.5.1 Obergrenze für die oberirdische Deponierung

6.5.2 Anforderungen an die Ablagerung auf obertägigen Deponien

ENTWURF

ENTWURF

Glossar

6:2-FTS	6:2-Fluortelomersulfonsäure (H4-Polyfluoroctansulfonsäure)
AFFF	Aqueous Film Forming Foam (Schaumlöschmittel)
ALARA	As Low As Reasonably Achievable - so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar
CAS	Chemical Abstracts Service
ECHA	Europäische Chemikalienagentur
FTOH	Fluortelomeralkohol
GenX	2,3,3,3-Tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy)propionsäure
GFS	Geringfügigkeitsschwelle, Bewertungsgrundlage der LAWA für Stoffe im Grundwasser
GOW	Gesundheitliche Orientierungswerte (für Trinkwasser)
LABO	Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LAGA	Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall
LAWA	Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
MNQ	Mittlerer Niedrigwasserabfluss eines Gewässers
OWK	Oberflächenwasserkörper
PBT	Persistent, bioaccumulative, toxic; (dt.: persistent, bioakkumulierend und toxisch) – Reach-Stoffkategorie
PFAS	Per- and polyfluoroalkyl substances; (dt.: Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen)
PFBA	Perfluorbutansäure
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure
PFC	Per- und polyfluorierte Chemikalien
PFCA	Perfluorierte Carbonsäuren
PFDA	Perfluordecansäure
PFDoDA	Perfluordodecansäure
PFDS	Perfluordecansulfonsäure
PFHpA	Perfluorheptansäure
PFHpS	Perfluorheptansulfonsäure
PFHxA	Perfluorhexansäure
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure
PFNA	Perfluornonansäure
PFOA	Perfluoroctansäure
PFOS	Perfluoroctansulfonsäure
PFOSA	Perfluoroctansulfonamid
PFPeA	Perfluorpentansäure
PFSA	Perfluorierte Sulfonsäuren

ENTWURF

PFUnDA	Perfluorundecansäure
PNEC	Predicted no effect concentration - Konzentration, bei der mit hinreichender Sicherheit keine Effekte mehr auf aquatische Lebewesen zu erwarten sind
POP	Persistent organic pollutants - persistente organische Schadstoffe
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (Europäisches Chemikalienrecht)
SVHC	Substances of very high concern; (dt.: besonders besorgniserregende Stoffe) - Reach-Stoffkategorie
SW	Schwellenwert (Bewertungswerte für Grundwasser)
TWK	Trinkwasserkommission am Umweltbundesamt
UQN	Umweltqualitätsnorm (aus der Oberflächengewässerverordnung, OGewV, angegeben als Jahresdurchschnittskonzentration (JD-UQN) oder zulässige Höchstkonzentration (ZHK-UQN)
vPvB	Very persistent, very bioaccumulative;(dt.: sehr persistent, sehr hoch bioakkumulierend) - Reach-Stoffkategorie
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie

ENTWURF

Anhang

I. Eintragswege in die Umwelt

PFC-Emissionen können grundsätzlich in jeder Phase ihres Lebenszyklus entstehen, d.h. bei ihrer Herstellung, bei ihrem Einsatz und der Verwendung bis hin zu ihrer Entsorgung. Die Eintragsszenarien können entsprechend vielfältig sein. Bekannt sind neben Einleitungen PFC-haltiger Abwässer in Kläranlagen und in Gewässer insbesondere Kontaminationen von Wasser und Boden durch PFC-haltige AFFF-(Aqueous Film Forming Foams) Schaumlöschmittel oder durch die Aufbringung organischer PFC-haltiger Reststoffe auf landwirtschaftlich genutzte Flächen. Bei ubiquitären Spurenbefunden ist hingegen von PFC-Einträgen über die Luft auszugehen. Dieser atmosphärische Transport kann sich über sehr weite Distanzen erstrecken, wie die Funde von PFC auch in sehr abgelegenen Gegenden ohne industrielle Einflüsse zeigen.

I.1 Schaumlöschmittel der Feuerwehren

PFC-haltige AFFF-Schaumlöschmittel wurden ab Anfang der 1970er Jahre verbreitet angewandt. Sie wurden und werden vor allem bei Werkfeuerwehren (z. B. Zivil- und Militärflughäfen, Raffinerien, chemische Industrie) verwendet, teils aber auch bei kommunalen Feuerwehren. Bis in das Jahr 2000 wurde in diesen Schaumlöschmitteln vornehmlich mit dem Verfahren der elektrochemischen Fluorierung (ECF) hergestelltes PFOS verwendet. Bei diesem Prozess entsteht ein Gemisch verschiedener PFC (unterschiedliche Kettenlängen, verzweigt/unverzweigt). So lässt sich bei vielen Löschschaum-Kontaminationen ein charakteristisches Muster von PFC mit unterschiedlicher Kettenlänge erkennen. Später produzierte PFC wurden bzw. werden überwiegend nach dem Telomerverfahren produziert (Vorteil: nur geradzahlige Homologe (C2, C4, C6…), weniger Nebenprodukte). PFOS-haltige Schaumlöschmittel mit einem Gehalt von mehr als 0,001 % dürfen aufgrund eines EU-weiten Verbots seit 2011 nicht mehr verwendet werden.

Neueren AFFF-Schaumlöschmitteln werden mittlerweile anstelle von PFOS häufig telomerbasierte PFC (z. B. 6:2 Fluortelomersulfonsäure (6:2-FTS), auch als H4PFOS bezeichnet, oder andere Vorläuferverbindungen auf C6-Basis) zugesetzt. Bei einigen durch Schaumlöschmittel aufgetretenen PFC-Kontaminationen und insbesondere solchen aus stationären Sprinkleranlagen handelt es sich vorrangig um in der Routineanalytik teils noch nicht nachweisbare PFC (z.B. Perfluoralkybetaine).

Durch neue Entwicklungen stehen heutzutage aber für die überwiegende Mehrheit der Brandfälle fluorfreie Schaumlöschmittel zur Verfügung, nur in sehr seltenen Fällen sind AFFF-Mittel noch notwendig[29].

I.2 PFC-Eintrag über organische Reststoffe

Die regional bekannten großräumigen PFC-Belastungen in Nordrhein-Westfalen (Arnsberg, 2006) und Baden-Württemberg (Rastatt, 2013) sind durch Einträge von PFC-verunreinigten organischen Reststoffen

[29] Leitfaden zum umweltschonenden Einsatz von Feuerlöschschäumen s. https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/per_polyfluorierte_chemikalien/feuerloeschschaeume_und_umwelt/index.htm, oder Untersuchung fluortensidfreier Löschmittel und geeigneter Löschverfahren. https://idf.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MI/IDF/IBK/Dokumente/Forschung/Fo_Publikationen/imk_ber/bericht_187.pdf

auf landwirtschaftliche Nutzflächen hervorgerufen worden.
Im Schadensfall Rastatt wurden vermutlich Kompost-Papierschlamm-Gemische auf landwirtschaftlich genutzte Flächen aufgebracht. Diese Gemische enthielten polyfluorierte Chemikalien, die zur Papierveredlung verwendet werden.

I.3 Abwasser

PFC werden in der industriellen Produktion in verschiedenen Branchen (s. Anhang III) eingesetzt, insbesondere im Bereich der Oberflächenveredelung, z. B. als Mittel zur Sprühnebelunterdrückung und Herabsetzung der Oberflächenspannung, zur wasser-, öl- und fettabweisenden Ausrüstung von Textilien (z.B. Outdoor- und Arbeitskleidung, Sitzbezüge, Teppiche) oder zur Beschichtung von Papieren für Lebensmittelverpackungen oder im Bereich der Spezialchemie, z.B. zur Herstellung fluorhaltiger Kunststoffe. Je nach Einsatzbereich können PFC dabei während des Herstellungsprozesses in das betriebliche Abwasser gelangen. Da viele PFC in Kläranlagen nur zu einem geringen bis mäßigen Anteil aus dem Abwasser entfernt werden und bislang in der Abwasserverordnung kein Stand der Technik für eine spezifische Vorbehandlung zur Reduktion von PFC existiert, gelangen die Stoffe auch in die Gewässer.

Der Einsatz von PFOS wurde seit 2006 mit wenigen Ausnahmen verboten. Folgende Emissionsquellen können für PFC aber weiterhin möglich sein (Eine detaillierte Aufstellung der Branchen, bei denen PFC zum Einsatz kamen oder kommen, enthält Anhang III):

- Diffuse Einträge in kommunale Kanalisationen über Niederschlagswasser (atmosphärischer Transport), Grundwassereintritte o.ä.
- Abwasser aus Betrieben (z. B. Galvanik), die andere PFC als PFOS verwenden (Umwandlung von Vorläufersubstanzen in persistente Abbauprodukte) oder auch aus der Herstellung von PFC-Verbindungen
- Betriebe, die PFOS nicht mehr verwenden, aber früher verwendet haben, und/oder auf polyfluorierte Ersatzstoffe umgestiegen sind; der Austrag von PFOS aus solchen Anlagen ist auch noch mehrere Jahre nach Einstellung der Verwendung nachgewiesen (sogenannte „Ausbluten“ der belasteten Anlagenteile und Leitungen)
- Einleitungen aus Boden- oder Grundwassersanierungen sowie aus Grundwasserabsenkungen (z. B. Bauwasserhaltungen), Abwasser aus Wasseraufbereitungsanlagen, soweit PFC im jeweils eingesetzten Rohwasser bereits enthalten war
- Mischwasserabschläge und ggf. Fehlanschlüsse bei der Trennkanalisation
- Schaumlöschmittel, die PFOS in Mengen < 0,001 % oder andere PFC enthalten
- PFC können auch über zahlreiche Konsumentenprodukte in die Umwelt eingetragen werden, z.B. durch Waschen entsprechend ausgerüsteter Textilien wie Outdoor- und Arbeitskleidung, Verwendung von PFC-haltigen Imprägnierungsmitteln u.a.

I.4 Altlasten und schädliche Bodenveränderungen

I.4.1 Altstandorte

Eintragswege von PFC in die Umwelt können aus betrieblicher Anwendung und in deren Folge aus Boden- und Grundwasserkontaminationen resultieren. Bei Altstandorten sind vorrangig ehemalige Betriebe

mit chromhaltigen Galvanikbädern von Bedeutung bei denen PFC vermutlich in den alten Bundesländern seit den 1960er Jahren (in den neuen Bundesländern ab den 1990er Jahren) eingesetzt wurden. Diese sind wegen der vergleichsweise großen Mengen an verwendeten PFC (meist PFOS, daneben aber auch PFBS und PFHxS) altlastenrelevant.

Darüber hinaus kann es vor allem bei Altstandorten der Textilverarbeitung, Papierherstellung sowie der Foto- und Filmindustrie geboten sein, PFC in die Untersuchungen einzubeziehen. Detaillierte Informationen zur PFC-Relevanz in den einzelnen Branchen enthält die „LABO-Arbeitshilfe zur flächendeckenden Erfassung, standortbezogenen historischen Erkundung und zur orientierenden Untersuchung von Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC (siehe auch Anhang III).

I.4.2 Altablagerungen und Altdeponien

Bei Altablagerungen oder Altdeponien ist der Zeitpunkt einer Betriebs- bzw. Deponiestilllegung für die PFC-Relevanz wesentlich. War dieser Zeitpunkt in den 1970er Jahren, so ist eine PFC-Relevanz wenig wahrscheinlich, da eine intensive Verwendung der PFC erst danach erfolgte. Für kleine kommunale Altablagerungen ist eine PFC-Relevanz ebenfalls unwahrscheinlich. Ausnahmen sind unter Umständen firmeneigene Altablagerungen, sofern PFC in relevanten Mengen betrieblich verwendet wurden und die Betriebsstilllegung später als in dem oben genannten Zeitraum erfolgte sowie die Ablagerung von Brandschutt (PFC-haltige Löschmittel). Untersuchungen an zahlreichen Deponien in einigen Bundesländern ergaben, dass PFC im Sickerwasser regelmäßig vorhanden waren.

I.4.3 Sonstige Hinweise

Hinsichtlich der Verwendung von Feuerlöschschäumen (vgl. I.1) sind ehemalige und betriebene zivile und militärische Flugplätze, Feuerwehrübungsplätze sowie Großbrände typische Standorte mit potenziellen PFC-Verunreinigungen. In der Vergangenheit wurden auch auf anderen ehemalig militärisch genutzten Liegenschaften Altlasten festgestellt. Die hauptsächlich vorkommenden Schadstoffverbindungen waren insbesondere aromatische und aliphatische Kohlenwasserstoffe, die sowohl im Bereich von Tankanlagen als auch im Bereich von Feuerwehrübungsplatzen angetroffen wurden. Diese Flächen sowie Flächen von Großbrandereignissen zeigen in vielen Fällen zusätzlich eine PFC-Relevanz.

Im Falle von biologischen ex-situ Sanierungsverfahren, die on-site zur Ausführung kamen, wie auch im Falle von off-site Dekontaminationsanlagen kann es zu einer Vermischung von PFC-haltigem und PFC-freiem Bodenmaterial gekommen sein. Durch den Wiedereinbau des Bodenmaterials kann eine Verschleppung von PFC nicht ausgeschlossen werden.

Im Falle PFC-relevanter Branchen kann bei "sanierten Altlasten" im Einzelfall eine Nacherfassung mit anschließender Erkundung und Untersuchung auf PFC erforderlich werden.

I.5 Atmosphärischer Eintragspfad

Systematische Untersuchungen an Bodendauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg und Bayern weisen darauf hin, dass PFC, insbesondere PFOA, PFOS und kurzkettige Carbonsäuren in Eluaten von Oberböden flächendeckend an Standorten ohne jeden Belastungsverdacht in geringen Konzentrationen nachgewiesen werden. Wahrscheinlichste Ursache für den Nachweis dieser Stoffe auch in weitestgehend

unveränderten Böden, ist ein ubiquitärer atmosphärischer Transport, der zu einer globalen Verteilung der Stoffe beiträgt[30/31].

II. Gesetzliche Grundlagen

II.1 Europäische Regelungen

Mit Veröffentlichung der Richtlinie 2006/122/EG am 27.12.2006 wurde die Verwendung von PFOS und deren Derivate erheblich eingeschränkt. Diese Beschränkung wurde in die Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) übernommen. Mit Verordnung (EU) Nr. 207/2011 wurden diese Einträge zu PFOS jedoch wieder gelöscht, um Doppelregulierungen zu vermeiden.

In der Stockholm Konvention werden persistente, organische Schadstoffe (persistent organic pollutants, POP) international reguliert. PFOS (seit 2006) und PFOA (seit 2019) sind im Anhang B der Stockholmer Konvention enthalten, welcher die Vertragspartner verpflichtet, die Herstellung und Verwendung dieser Substanzen in ihrem jeweiligen Hoheitsgebiet zu beschränken. Mit der Verordnung 850/2004/EG (EU-POP-Verordnung) wurden die Vorgaben aus der Stockholm-Konvention in europäisches Recht überführt, die im Juli 2019 durch die neue EU-POP-Verordnung Nr. 2019/1021 ersetzt wurde.

Herstellung, Verwendung und Inverkehrbringen als solches, in Gemischen oder als Bestandteile von Artikeln sind mit wenigen Ausnahmen und ab bestimmten Grenzwerten verboten:

PFOS-haltige Feuerlöschschäume mit einem Gehalt von mehr als 0,001 % durften nur noch bis zum 27. Juni 2011 verwendet werden.

Im Mai 2019 wurde auch PFOA als POP in die Stockholm Konvention aufgenommen. Die Aufnahme in die EU-POP-Verordnung steht noch aus. PFHxS befindet sich derzeit im Verfahren zur Aufnahme in die Anhänge A, B und/oder C des Stockholmer Übereinkommens und wird voraussichtlich ebenfalls als persistenter organischer Schadstoff international reguliert.

Chemikalienrecht (REACH)

Stoffe mit besorgniserregenden Eigenschaften – sogenannte SVHC-Stoffe („Substances of very high concern“) können in die Kandidatenliste des Artikel 57 der REACH-Verordnung gelistet werden. Als besonders besorgniserregend gelten laut Anhang XIII der REACH-Verordnung Stoffe zum Beispiel wegen ihrer krebserzeugenden, erbgutverändernden oder fortpflanzungsgefährdenden Eigenschaften (CMR-Stoffe) oder weil sie schwer abbaubar (persistent) sind, sich in Organismen anreichern (bioakkumulierend) und/oder toxisch in der Umwelt wirken (PBT oder vPvB-Stoffe) oder ein anderes Risiko darstellen. Mit dem Eintrag in die Kandidatenliste ergeben sich für den Gebrauch dieser Chemikalien Auskunftspflichten für Lieferanten und Auskunftsrechte für Verbraucher, wenn diese Stoffe in Konzentrationen von mehr als 0,1 Massenprozent in Erzeugnissen verwendet werden.

Stoffe, die auf die Kandidatenliste aufgenommen wurden, können in der Folge in den Anhang XIV der REACH-Verordnung, der Liste der zulassungspflichtigen Stoffe aufgenommen werden. Mit dem Eintrag in

[30] https://fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/118077/LUBW_PFC_Hgg_final_Nov_2016.pdf?command=downloadContent&filename=LUBW_PFC_Hgg_final_Nov_2016.pdf

[31] Vgl. auch https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/per_polyfluorierte_chemikalien/pfc_belastung_boeden/index.htm

Anhang XIV ist die Verwendung des Stoffes in der EU untersagt. Unternehmen können jedoch eine Zulassung für bestimmte Verwendungen beantragen, wenn z.B. keine Alternativen zur Verfügung stehen oder sozioökonomische Gründe für die weitere Verwendung der Stoffe vorliegen. In diesem Zusammenhang sind grundsätzlich Minimierungsmaßnahmen anzustreben.

Die in Tabelle A-1 aufgeführten langkettigen PFC stehen bereits aufgrund ihrer persistenten, bioakkumulierenden und toxischen (PBT) Eigenschaften bzw. aufgrund ihrer sehr persistenten und sehr bioakkumulierenden (vPvB) Eigenschaften auf der Kandidatenliste. Die Toxizität beruht auf der Einstufung der Stoffe gemäß CLP-VO[32].

Tabelle A-1: Übersicht der PFC, die aufgrund ihrer SVHC-Eigenschaft als Kandidaten für den Anhang XIV der REACH-Verordnung eingestuft sind

Substanz	**SVHC-Eigenschaft***	**Einstufung in CLP-VO (Anhang VI CLP)**
Perfluoroctansäure (PFOA; C8-PFCA) und das Ammoniumsalz APFO	PBT, CMR	Carc. 2 Repr. 1B Lact STOT RE 1 Acute Tox. 4 Acute Tox. 4 Eye dam. 1
Perfluornonansäure (PFNA; C9-PFCA) und seine Natrium- und Ammoniumsalze	PBT, CMR	Carc. 2 Repr. 1B Lact. Acute Tox. 4 Acute Tox. 4 STOT RE 1 Eye Dam. 1
Nonadecafluorodecansäure (syn. Perfluordecansäure PFDA; C10-PFCA) und ihre Natrium- und Ammonium-Salze	PBT, CMR	Carc. 2 Repr. 1B Lact.
Henicosafluorundecansäure (syn. Perfluorundecansäure PFUnDA; C11-PFCA)	vPvB	-
Tricosafluordodecansäure (syn. Perflurododecan, PFDoDA; C12-PFCA)	vPvB	-
Pentacosafluortridecansäure (syn. Perfluortridecansäure, PFTrDA; C13-PFCA)	vPvB	-
Heptacosafluortetradecansäure (syn. Perfluortetradecansäuren, PFTeDA; C14-PFCA)	vPvB	-
Perfluorobutansulfonsäure (PFBS)	vP, sehr mobil	-
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) und ihre Salze	vPvB	-
2,3,3,3-Tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy)propionsäure (GenX, HFPO-DA)	-	-

* PBT: persistent, bioakkumulierend und toxisch; vPvB: sehr persistent, sehr bioakkumulierend, CMR: carcinogen, mutagen oder reproduktionstoxisch

[32] Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen

Für PFOA, seine Salze und Vorläuferverbindungen ist im Jahr 2017 eine EU-weite Beschränkung in Kraft getreten (COMMISSION REGULATION (EU) 2017/1000). Ab 04.07.2020 ist die Herstellung verboten und das Inverkehrbringen der Stoffe als solches, in Gemischen und in Erzeugnissen bis auf wenige Ausnahmen untersagt. Werden PFOA, deren Salze oder Vorläuferverbindungen als Bestandteil eines anderen Stoffes, in einem Gemisch oder Erzeugnis, wie z.B. in Imprägniersprays, Textilien oder Lebensmittelverpackungen eingesetzt, gelten Grenzwerte von 25 ppb (entspricht 25 µg/l) für PFOA und deren Salze sowie 1000 ppb (1000 µg/l) für Vorläuferverbindungen. Feuerlöschschaumgemische, die vor dem 4. Juli 2020 auf dem Markt waren, dürfen fristlos aufgebraucht werden.

EU-weite Beschränkungen für die Herstellung und Verwendung der C9-C14 PFCAs sowie für PFHxS sind in Vorbereitung.

PBT- und vPvB-Stoffe verbleiben für lange Zeit in der Umwelt. Effekte durch die Anreicherung in Organismen können langfristig nicht vorhergesehen werden. Akkumulationen in Organismen sind so gut wie nicht umkehrbar und Gehalte der Stoffe in Umweltmedien sind aufgrund ihrer Persistenz durch eine Reduzierung der Emissionen kaum zu vermindern. Außerdem haben PBT- und vPvB-Stoffe das Potenzial, entlegene Gebiete fernab der Emissionsquellen zu verunreinigen.

Auch wenn Standardlabortests keine, oder nur geringe akut toxische Wirkungen zeigen, können langfristig Effekte durch eine langanhaltende Exposition mit geringer Dosis auftreten, die auch aufgrund der langen Lebenszyklen bei Organismen am Ende der Nahrungskette kaum vorhersehbar sind. Langzeiteffekte können auch deshalb nicht ausgeschlossen werden, da die Gehalte der PBT- und vPvB-Stoffe in Mensch und Umwelt über langfristige Zeiträume nicht vorhergesagt werden können.

Aktuell gilt dies für alle perfluorierten Carbonsäuren mit einer Kettenlänge von C8 – C14, PFOS und PFHxS, dementsprechend kann für diese Stoffe – laut REACH- keine PNEC festgelegt werden (siehe auch Anhang II.3. Unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Möglichkeiten sollten die Emission dieser Stoffe soweit wie möglich minimiert werden.

II.2 Bundesweite Regelungen zur Begrenzung von PFC in der Umwelt

Bundesweit einheitliche Regelungen für diese Stoffklasse gibt es aktuell in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) vom 20.06.2016, die Umweltqualitätsnormen für PFOS enthält. Werden diese Umweltqualitätsnormen derzeit in einem Oberflächengewässer überschritten, müssen geeignete Maßnahmen festgesetzt werden, um ihre Einhaltung spätestens ab 2027 zu erreichen. Seit dem 22. Dezember 2018 wird PFOS im Rahmen eines zusätzlichen Überwachungsprogrammes sowie eines vorläufigen Maßnahmenprogrammes zur Minimierung der Belastung berücksichtigt.

Eine weitere gesetzliche Regelung gibt es in der Düngemittelverordnung, die einen Grenzwert von 100 µg/kg Trockenmasse für die Summe aus Perfluoroctansulfonsäure (PFOS) und Perfluoroctansäure (PFOA) bestimmt.

Für sieben Einzel-PFC wurden auf humantoxikologischer Basis Geringfügigkeitsschwellenwerte für das Grundwasser sowie Leitwerte für das Trinkwasser abgeleitet. Auf dieser Basis wurden für diese sieben Einzel-PFC Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser im Entwurf der Mantelverordnung formuliert.

Weitere bundesweit einheitliche gesetzliche Grenzwerte für diese Stoffklasse liegen aktuell noch nicht vor.

II.3 Oberflächengewässer - Erläuterungen zur Ableitung von PNEC und UQN

PFHxS, PFOA, PFNA und PFDA, sowie alle Perfluorcarbonsäuren mit einer Kettenlänge von C11 - C14 sind bislang unter REACH aufgrund ihrer persistenten, bioakkumulierenden und toxischen (PBT) bzw. sehr persistenten und sehr bioakkumulierenden (vPvB) Eigenschaften als besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC, substances of very high concern) definiert worden (vgl. II.3). PFOS, PFOA, PFDA und PFNA sind zudem als CMR-Stoffe eingestuft.

Die besondere Besorgnis, die von PBT-Stoffen ausgeht, hat ihre Ursache darin, dass sie, einmal in die Umwelt ausgebracht, dort dauerhaft verbleiben. Sie können sich über einen langen Zeitraum in den Umweltmedien oder in Organismen anreichern und dann Schäden anrichten. Dabei kann nicht genau vorhergesagt werden, wann und wo solche Effekte auftreten. Schäden, die einmal durch PBT oder vPvB-Stoffe bei Mensch und Umwelt eingetreten sind, sind häufig nicht reparabel, daher wird hier der Vorsorgegedanke in der Chemikalienverordnung verankert.

Für PBT und vPvB-Stoffe kann unter der Sichtweise von REACH aufgrund der hohen Verweildauer der Stoffe in der Umwelt und des hohen Anreicherungspotenzials in Organismen keine Konzentration in der Umwelt abgeleitet werden, für die mit Sicherheit keine Effekte in der Zukunft auftreten. PNEC-Werte (Predicted no effect concentration) können nur für einzelne Schutzgüter (z.B. $PNEC_{aquatisch}$ für die aquatische Lebensgemeinschaft) auf Basis aktueller Erkenntnisse abgeleitet werden, bieten aber nicht die eigentlich erforderliche Sicherheit im Sinne einer Risikominimierung für alle zu betrachtenden Schutzgüter. Eine PNEC als „sichere“ Konzentration in der Umwelt ist daher mit hoher Unsicherheit behaftet und nicht für die gesamte Lebensgemeinschaft ableitbar. Es muss jedoch beachtet werden, dass aquatische Organismen wasserlösliche PFC kaum anreichern. Effekte treten bei Fischen erst in vergleichsweise hohen Konzentrationen auf, was zu relativ hohen $PNEC_{aquatisch}$-Werten führt. Im Gegensatz dazu reichern terrestrische Top-prädatoren PFOA und andere langkettige PFC in hohem Maße an. Dies konnte z.B. an Fischottern gezeigt werden. Interessanterweise ist der Mensch bislang der sensibelste Organismus hinsichtlich der Effekte durch PFC-Kontaminationen. Menschen nehmen PFC hauptsächlich durch die Nahrung (z.B. Fisch), Trinkwasser, Luft und Staub auf. Deshalb ist es aus Sicht der menschlichen Gesundheit besonders wichtig, PFC-Einleitungen in Gewässer so gering wie möglich zu halten, um eine weitere Verbreitung der Stoffe einzudämmen und die menschliche Exposition zu vermindern.

Die nach Wasserrahmenrichtlinie zur Bewertung relevanten UQN für prioritäre Stoffe wie PFOS umfassen neben den Ableitungskriterien für PNEC (Schutz der aquatischen Gemeinschaft abgebildet durch die Vertreter der Trophiestufen Alge, Daphnie und Fisch) den Schutz vor sekundärer Vergiftung fischfressender Tiere („secondary poisoning“) und den Schutz der menschlichen Gesundheit bei Fischverzehr.

III. PFC-Verwendungen

Außer dem Einsatz in Schaumlöschmitteln (siehe Anhang I.1) liegen weitere Verwendungsgebiete von PFC hauptsächlich im Bereich der Oberflächenveredelung von Textilien, der Papierbeschichtung und der Spezialchemie.

Detaillierte Informationen zur PFC-Relevanz in den einzelnen Branchen enthält die „LABO-Arbeitshilfe zur flächendeckenden Erfassung, standortbezogenen historischen Erkundung und zur Orientierenden Untersuchung von Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC“[33].

Eine Auswahl von relevanten Branchen ist nachfolgend dargestellt:

Chemische Industrie

Der Bereich der chemischen Industrie umfasst eine sehr große Breite verschiedener Einsatzbereiche und eine weite Verbreitung in der Produktkette. Für die im Folgenden aufgeführten Bereiche liegen kaum Daten vor. Es gibt keinerlei Informationen zu Einsatzmengen und Einsatzzeiträumen, nicht einmal dazu, ob der jeweilige Einsatzbereich für Deutschland überhaupt relevant ist. Aufgrund der spärlichen Informationen ist davon auszugehen, dass die verwendeten PFC-Mengen eher gering waren. Einsatzzeitraum: ab ca. 1970 bis heute.

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: Die eingesetzten Chemikalien können die gesamte PFC-Produktpalette umfassen.

Branchen:

- Produktion der PFC und deren Polymere,
- Herstellung von Formulierungen,
- Verwendung von PFC (als Prozesschemikalien bzw. als Hilfsmittel bei Synthesen) in der Herstellung von Produkten, die letztlich keine PFC mehr enthalten,
- Verwendung von PFC zur Herstellung PFC-haltiger Produkte.

Galvanik

Im Rahmen der Oberflächenbehandlung wurden PFC bei der Hartverchromung, Glanzverchromung und Kunststoffgalvanisierung mit Chrom eingesetzt. Es gilt der Anhang 40 der AbwV (keine PFC-Grenzwerte). Seit 2015 ist nach der EU-POP-VO nur noch der Einsatz als Mittel zur Sprühnebelunterdrückung für nicht dekoratives Hartverchromen (Chrom VI) in geschlossenen Kreislaufsystemen zulässig.

Einsatzzeitraum: ab ca. 1960 bis heute (Ausnahmegenehmigung für PFOS)

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: PFOS, 6:2 FTSA, PFBS, PFHxS

[33] Länderfinanzierungsprogramm Wasser, Boden und Abfall, Teil Boden (2016): Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen - Kriterien für die Erfassung und historische Erkundung von Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC – Länderübergreifende ALA-Arbeitshilfe (Projektstufe 1). LFP-Projekt B 4.14 (http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/projektberichte/labo/ , dort Projekt B 4.14)

Branchen: Oberflächenveredelung/Oberflächentechnik mit folgenden Verfahren:

1. Priorität: Hartverchromung, Glanzverchromung, Kunststoffgalvanisierung

2. Priorität: Zinkverchromung, Verkupferung, Vernickelung, Vergoldung, Galvanisieren, Edelmetalle, Anodisierverfahren

Textilindustrie

Altlast- und abwasserrelevant sind Textilbetriebe mit Nassausrüstung zum Auftrag von Imprägnier- und Fleckenschutz und für membranherstellende Betriebe. Es gilt Anhang 38 der AbwV (keine PFC-Grenzwerte).

Einsatzzeitraum: ab ca. 1960 bis heute (mit Ausnahme PFOS: Ende 2006)

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: Fluorcarbonharze, Fluorpolymere, PFOS, PFOA, 6:2 FTOH, Fluortelomeracrylate, seitenkettenfluorierte Polymere auf C6-Basis

Branchen: Textilherstellung, Herstellung techn. Textilien, Herstellung Teppiche, Membranherstellung (z.B. GoreTex)

Papierindustrie

Eine mögliche Umweltgefährdung beschränkt sich auf die Papier-, Karton- und Pappeherstellung. Es gilt der Anhang 28 der AbwV.

Einsatzzeitraum: ab ca. 1960 bis heute

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: seitenkettenfluorierte Polymere aller Kettenlängen, Phosphatester von N-Et-FOSE, Fluorocarbonharze, Perfluorpolyether(PEPE), PAP, polyfluorierte Phosphonsäuren (PFOS, PFOA und Vorläuferverbindungen als sekundäre, relevante Verunreinigungen), diPAP, SAmPAP

Branchen: Papier- und Pappeherstellung

Lack- und Farbenherstellung

Aussagen zur Altlastenrelevanz sind schwierig. Altlastenrelevanz besteht dann, wenn bei der Produktion von Farben/Lacken PFC-Additive zugesetzt wurden.

Einsatzzeitraum: ab ca. 1960 bis heute (Ausnahme PFOS: Ende 2006)

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: PFOS und PFOS-verwandte Substanzen, PFBS, fluorierte Polyether, Fluorpolymere – PVDF (Polyvinylidenfluorid – Polymer aus C2H2F2).

Branchen: Lack-, Farbenherstellung – Farben/Lacke mit wasser-, schmutz-, ölabweisenden Eigenschaften, Druckfarbenherstellung (Lackierereien und Industriebetriebe mit Lackieranlagen)

ENTWURF

Feuerlöschschäume (Siehe auch Anhang I.1)

Einsatzzeitraum; ab 1970 bis heute

PFC-Stoffgruppe: Fluorhaltige Feuerlöschschäume, sogenannte AFFF (Aqueous Film Forming Foam) enthielten bis ca. 2010 PFOS und PFHxS. Neuere Schäume basieren hauptsächlich auf C6-Chemie, d.h. enthalten Vorläufersubstanzen. Typisch für aktuell verwendete Löschschäume sind Fluortelomerbetaine und Perfluorbetaine.

Branchen: Werkfeuerwehren, Berufsfeuerwehren, Flughafenfeuerwehren, freiwillige Feuerwehren

Halbleiterindustrie

Aufgrund des Prozesses ist eine besondere Umweltgefährdung für Boden und Grundwasser nicht zu erwarten. Es gilt Anhang 54 der AbwV (keine PFC-Grenzwerte)

Einsatzzeitraum: ab ca. 1995 bis heute (Ausnahme PFOS, Ende 2006)

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: PFOS, Vorläuferverbindungen basierend auf C8-, C6- und C4-Chemie

Branchen: Halbleiterherstellung

Fotoindustrie

Ähnlich wie für die Halbleiterindustrie ist nicht mit einer relevanten Umweltgefährdung zu rechnen.

Eisatzzeitraum: ab ca. 1995 bis heute, Schwerpunkt bis 2000

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: PFOS, Vorläuferverbindungen basierend auf C8-, C6- und C4-Chemie

Branchen: Printmedienherstellung, Entwicklungslabors, Betriebe zur Aufarbeitung von Entwicklerlösungen

Hydraulikflüssigkeiten

Es ist keine Umweltgefährdung der Medien Boden und Grundwasser beim Umgang mit Hydraulikflüssigkeiten in der Luftfahrt und Luftfahrtindustrie zu erwarten. Die Einsatzmengen an PFOS sind gering.

Einsatzzeitraum: untere Abschneidegrenze: bisher nicht klar definierbar, obere Abschneidegrenze: bis heute

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: PFOS, Perfluor-Ethyl-Cyclohexyl-Sulfonat (FC-98)

Branchen: Flugzeugbau, Flugzeugwartung (Flughäfen)

ENTWURF

IV. Übersicht über die nach ISO 21675:2019-10 analysierbaren Verbindungen

In Tabelle A-2 sind die Verbindungen aufgeführt, die mit der Methode der ISO 21675:2019 analysierbar sind. Die Methode enthält neben den 13 nach DIN 38407-42 (F42) analysierbaren PFC weitere PFC-Verbindungen wie bspw. die PFOA-Ersatzstoffe GenX und DONA sowie den Hauptbestanteil von F-53B 9Cl-PF3ONS.

Tabelle A-2: Übersicht über die in ISO 21675:2019 aufgelisteten Verbindungen.

Substanz	Abkürzung	Formel	CAS
Perfluorbutansäure	PFBS	$C_4HF_9O_3S$	375-73-5
Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	$C_6HF_{13}O_3S$	355-46-4
Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS	$C_7HF_{15}O_3S$	375-92-8
Perfluoroctansulfonsäure	PFOS	$C_8HF_{17}O_3S$	1763-23-1
Perfluorundecansulfonsäure	PFDS	$C_{10}HF_{21}O_3S$	335-77-3
Perfluoroctansulfonamid	PFOSA	$C_8H_2F_{17}NO_2S$	754-91-6
N-Methyl-Perfluoroctansulfonamid	N-MeFOSA	$C_9H_4F_{17}NO_2S$	31506-32-8
N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid	N-EtFOSA	$C_{10}H_6F_{17}NO_2S$	4151-50-2
N-Methyl-Perfluoroctansulfonamidoessigsäure	N-Me-FOSAA	$C_{11}H_6F_{17}NO_4S$	2355-31-9
N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamidoessigsäure	N-EtFOSAA	$C_{12}H_8F_{17}NO_4S$	2991-50-6
6:2 Fluortelomersulfonsäure	6:2 FTSA (H4PFOS)	$C_8H_5F_{13}O_3S$	27619-97-2
8:2 Fluortelomersulfonsäure	8:2 FTSA	$C_{10}H_5F_{17}O_3S$	39108-34-4
9-Chlorohexade-cafluoro-3-oxanonane-1-sulfonic acid	9Cl-PF3ONS	$C_8HClF_{16}O_4S$	756426-58-1
Perfluorbutansäure	PFBA	$C_4HF_7O_2$	375-22-4
Perfluorpentansäure	PFPeA	$C_5HF_9O_2$	2706-90-3
Perfluorhexansäure	PFHxA	$C_6HF_{11}O_2$	307-24-4
Perfluorheptansäure	PFHpA	$C_7HF_{13}O_2$	375-85-9
Perfluoroctansäure	PFOA	$C_8HF_{15}O_2$	335-67-1
Perfluornonansäure	PFNA	$C_9HF_{17}O_2$	375-95-1
Perfluordecansäure	PFDA	$C_{10}HF_{19}O_2$	335-76-2
Perfluorundecansäure	PFUnDA	$C_{11}HF_{21}O_2$	2058-94-8
Perflurododecansäure	PFDoDA	$C_{12}HF_{23}O_2$	307-55-1
Perfluortridecansäure	PFTrDA	$C_{13}HF_{25}O_2$	72629-94-8
Perfluortetradecansäure	PFTeDA	$C_{14}HF_{27}O_2$	376-06-7
Perfluorhexadecansäure	PFHxDA	$C_{16}HF_{31}O_2$	67905-19-5
Perfluoroctadecansäure	PFOcDA	$C_{18}HF_{35}O_2$	16517-11-6
8:2 Ungesättigte Fluortelomersäure	8:2 FTUCA	$C_{10}H_2F_{16}O_2$	70887-84-2
8:2 Polyfluoralkylphosphorsäurediester	8:2 diPAP	$C_{20}H_9F_{34}O_4P$	678-41-1
Hexafluorpropylenoxiddimersäure	HFPO-DA / FRD-903 / GenX	$C_6HF_{11}O_3$	13252-13-6
Perfluor-4,8-dioxa-3H-nonansäure	DONA	$C_7H_2F_{12}O_4$	919005-14-4

V. Fallbeispiele aus den Ländern

V.1 Baden-Württemberg

Vorgehensweise zur Beurteilung von Lebensmitteln

Grundsätzlich können Pflanzen PFC aus dem Boden oder über Beregnungswasser aufnehmen. Untersuchungen haben gezeigt, dass vor allem kurzkettige PFC (PFBA, PFPeA, PFHxA) aufgenommen werden. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass unterschiedliche Pflanzenarten unterschiedliche Aufnahmekapazitäten zeigen: Sojabohnen, Gemüse und Weizen nehmen PFC sehr gut auf, während bei Mais und Raps in seltenen Fällen in geringen Mengen ein Übergang ins Korn beobachtet wurde.

Es wird der Bedarf von Prüfwerten für den Wirkungspfad Boden-Pflanze gesehen. Hier fehlen aber Bewertungsgrundlagen (derzeit z. T. Vor-Ernte-Monitoring, z. B. im Raum Rastatt/Baden-Baden). Es liegen noch zu wenige Daten zum PFC-Transfer Boden-Pflanze vor, um Transferfaktoren berechnen zu können. Dabei ist zu beachten, dass der Transfer von unterschiedlichen Einflussfaktoren abhängt, u. a. von der PFC-Kettenlänge. Es werden systematische Untersuchungen zum Transfer Boden-Pflanze unter Feldbedingungen als erforderlich angesehen.

Hinsichtlich der Bewertung von PFC-Rückständen in tierischen und pflanzlichen Lebensmitteln gibt es als verbindlich anwendbare Entscheidungsgrundlage bisher nur durch die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) festgelegte, lebenslänglich tolerierbare tägliche Aufnahmemengen (sogenannte TDIs) für die langkettigen PFC-Verbindungen PFOS und PFOA. Weitere TDIs oder rechtlich verbindliche Grenzwerte für kurzkettige PFC-Verbindungen existieren bis dato nicht.

Aufgrund eines größeren PFC-Kontaminationsfalles auf verschiedenen landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie in Grund-, Oberflächen- und Trinkwasser in drei baden-württembergischen Landkreisen und dem bereits oben angeführten Fehlen rechtlich verbindlicher Grenzwerte hat das Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (MLR) Baden-Württemberg eigene Beurteilungswerte für kurzkettige PFC in pflanzlichen und tierischen Lebensmitteln berechnet und festgelegt. Diese für Lebensmittel duldbaren Werte dienen als Werkzeug für die amtliche Lebensmittelüberwachung und sollen in Kombination mit einem vorgeschalteten Vor-Ernte-Monitoring verhindern, dass mit PFC belastete Lebensmittel in den Verkehr gelangen. Abgeleitet wurden diese baden-württembergischen Beurteilungswerte unter Berücksichtigung des Vorsorge- und Minimierungsgrundsatzes aus den durch das Umweltbundesamt (UBA) veröffentlichten und später fortgeschriebenen Leitwerten und Gesundheitlichen Orientierungswerten für PFC in Trinkwasser. Sie berücksichtigen auch Faktoren wie die durchschnittliche Aufnahmemenge von Lebensmittel aus der Nationalen Verzehrstudie.

Die Faktoren, die die PFC Aufnahme der unterschiedlichen Pflanzkulturen beeinflussen, sind sehr vielfältig und zum großen Teil weder ausreichend wissenschaftlich erforscht noch beeinflussbar. Exakte Vorhersagen zur PFC-Aufnahme von Pflanzen bei bekannten Werten im Boden sind daher aktuell noch nicht möglich. Dennoch konnten auf der Basis der Daten des Vor-Ernte-Monitorings und der vorliegenden Versuchsergebnisse Anbauempfehlungen für die wichtigsten Pflanzkulturen abgeleitet werden.

Hinsichtlich weiterer Informationen und Darstellungen wird auf die Internetseite des Regierungspräsidiums Karlsruhe verwiesen: https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpk/Abt5/Ref541/PFC/Seiten/default.aspx

V.2 Bayern

Einleitung in Oberflächengewässer

Vor der Einleitung von PFC-verunreinigtem Wasser in ein Oberflächengewässer ist ggf. eine Aufbereitung nach dem Stand der Technik durchzuführen. Bei der Einleitung von zur Sanierung gefördertem Grundwasser wird dieses im u. g. Beispiel als erfüllt angesehen, wenn der Reinigungsgrad für PFC mindestens 90 % beträgt. Dabei sollte zusätzlich ein Wert von 200 ng/l für die Summe aller 13 nach DIN untersuchbaren PFC, sowie zusätzlich ein Wert von 20 ng/l für PFOS als Einzelstoff im aufbereiteten Wasser eingehalten werden. Analog wurde dieses Vorgehen auch bei der Einleitung von PFC-verunreinigtem Löschwasser eingesetzt.

Praxisbeispiel:

- Die PFOS-Konzentration eines betroffenen Gewässers liegt in der Größenordnung von ca. 6 ng/l, das entspricht bei MNQ von 131 m³/s einer Fracht von 786 µg/s
- Volumen des bei einem Schadensfall zutage geförderten und zu reinigenden Grundwassers: 50 m³/h = 14 Liter/s
- Reinigung z.B. über A-Kohle, Reinigungszielwerte: 200 ng/l PFC gesamt, 20 ng/l PFOS
- Eine zusätzliche Fracht von 14 l/s x 20 ng/l = 280 ng/s = 0,28 µg/s für PFOS erhöht die Gesamtfracht im Gewässer von 786 µg/s auf 786,28 µg/s und führt rein rechnerisch zu einer Konzentrationserhöhung um ca. 0,002 ng/l. Dies liegt im Bereich der messtechnischen Schwankungsbreite und ist analytisch nicht nachweisbar.

Bauwasserhaltungen

Hinsichtlich einer Einleitung des geförderten Grundwassers in ein Oberflächengewässer gelten die immissionsbezogenen Anforderungen nach Kap.5.1.3 dieses Leitfadens. Vorgaben zur Beurteilung einer Verschlechterung macht die OGewV mit der Umweltqualitätsnorm für PFOS von 0,65 ng/l. Kurzzeitige Verschlechterungen eines Wasserkörpers können dann außer Betracht bleiben, wenn auf Grund einer Einzelfallprüfung davon auszugehen ist, dass sich der bisherige Zustand des Wasserkörpers kurzfristig wiedereinstellt und die Annahme einer Verschlechterung unverhältnismäßig wäre. Danach sind bei jeder Bauwasserhaltung Dauer und Umfang (Wassermenge, PFC-Konzentration bzw. -fracht) der Grundwasserableitung zu prüfen. Kleine Bauwasserhaltungen wie z. B. für einzelne Wohngebäude können daher ggf. anders bewertet werden als Wassereinleitungen aus langlaufenden Grundwassersanierungen oder längerfristigen Bauwasserhaltungen.

Falls Maßnahmen zur Sanierung des Grundwassers bereits unternommen oder in absehbarer Zeit in Angriff genommen werden (z. B. im Rahmen des bodenschutzrechtlichen Vollzugs) und dabei eine wesentlich effizientere Verminderung der Schadstofffracht im Vergleich zum Minderungseffekt durch Wasserentnahme und Reinigung bei einer zeitlich eng begrenzten einzelnen Bauwasserhaltung zu erwarten ist, so kann bei solchen Einzelprojekten auf eine Abreinigung vor einer Versickerung (Wiedereinleitung in das belastete Grundwasser) verzichtet werden.

V.3 Nordrhein-Westfalen

Einleitung von aufbereitetem Grundwasser in ein Oberflächengewässer

Nach einem ersten Hinweis der Wasserwerke Duisburg auf erhöhte PFC-Konzentrationen in einer Vorfeldmessstelle einer Wassergewinnungsanlage wurden von der Stadt Düsseldorf seit 2007 systematisch risikoorientierte Grundwasseruntersuchungen auf PFC im Düsseldorfer Norden durchgeführt. Der Untersuchungsumfang wurde kontinuierlich erweitert. Es konnten 4 Eintragsstellen auf dem Gelände am Düsseldorfer Flughafen identifiziert werden. Von diesen gehen Schadstofffahnen im Grundwasser in Fließrichtung zum Rhein aus.

Im Rahmen von Beprobungen wurden in mehreren Messstellen Konzentrationen deutlich oberhalb des allgemeinen Vorsorgewertes von 100 ng/l PFC, vereinzelt mit Werten bis zu 57.000 ng/l PFC, nachgewiesen. Ein ähnliches Bild bietet sich bei den durch Abgrabungen entstandenen künstlichen Seen im Düsseldorfer Norden. Die vorhandenen Grundwasserverunreinigungen haben damit unmittelbaren Einfluss auf die Wasserqualität der Seen. In einem See wurden PFC-Konzentrationen von bis zu maximal 5.000 ng/l gemessen.

Im Rahmen der PFC-Grundwassersanierung am Flughafen Düsseldorf wird mit PFC verunreinigtes Grundwasser über Ionenaustauscher und Aktivkohlefilter gereinigt. Anlagen zur hydraulischen Abschirmung der Eintragsquellen gingen zwischen November 2015 und Juni 2016 in Betrieb. Die notwendigen Entnahmemengen zur hydraulischen Fassung der Verunreinigungen im Bereich der Eintragsstellen wurden auf der Grundlage des Grundwassermodells der Stadt Düsseldorf ermittelt:

- Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken: Entnahme von 14 m³/h aus 3 Förderbrunnen
- Feuerwache Nord: Entnahme von 18 m³/h aus 5 Förderbrunnen
- Unfallstelle Atlas Air: Entnahme von 22 m³/h aus 2 Förderbrunnen

Die stationären Anlagen sind wie folgt aufgebaut:

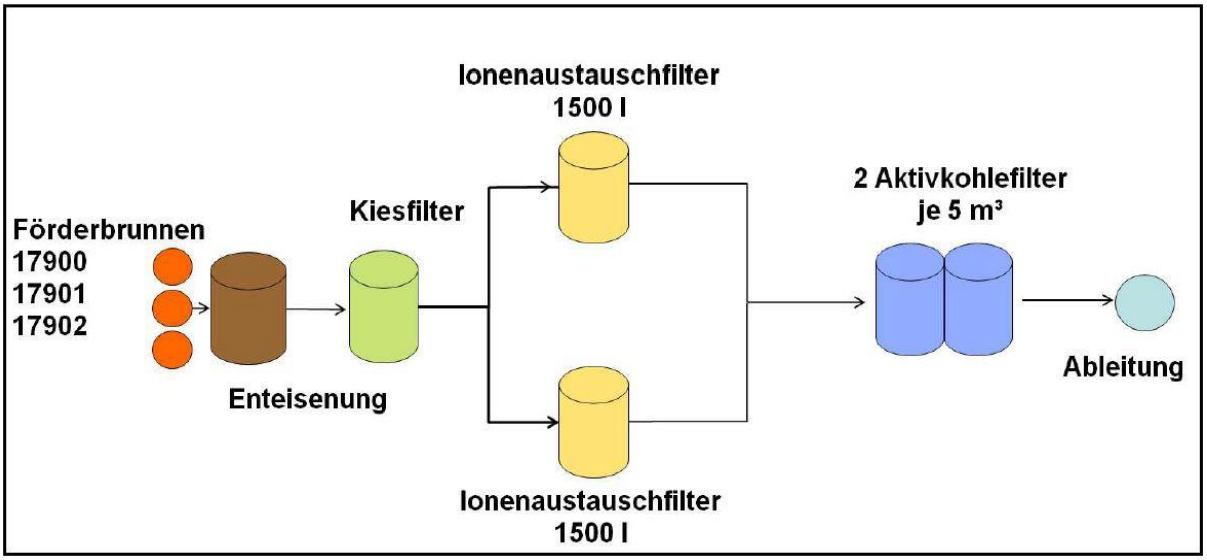

Abbildung A-3: Prinzip der Reinigungsanlage im Endausbau am ehemaligen Löschbecken

Das gereinigte Wasser der drei Sanierungsanlagen wird in ein Oberflächengewässer eingeleitet. Als Grundlage für die wasserrechtlichen Erlaubnisse wurden die folgenden wasserrechtlichen Anforderungen formuliert: Zur Sanierung ist das verunreinigte Grundwasser zu fördern, aufzubereiten und entweder direkt oder indirekt in ein Gewässer einzuleiten. Im vorliegenden Fall wird das Grundwasser nach Aufbereitung in ein oberirdisches Gewässer eingeleitet. Die Einleitung aufbereiteten Grundwassers in eine öffentliche oder private Kanalisation wird nicht präferiert, da in Kläranlagen ohne schadstoffspezifische Verfahrenstechnik keine gezielte PFC-Reduzierung erfolgt, sondern durch die zusätzliche Wassermenge lediglich die hydraulische Belastung der Kläranlage mit allen damit verbundenen Folgeproblemen erhöht wird.

Auch eine Wiederversickerung aufbereiteten Grundwassers kommt im vorliegenden Fall nicht in Betracht. Nach § 48 Absatz 1 WHG darf eine Erlaubnis für das Einbringen und Einleiten von Stoffen in das Grundwasser nur erteilt werden, wenn eine nachteilige Veränderung der Wasserbeschaffenheit nicht zu besorgen ist. Da die Durchlässigkeit selbst in einem quartären Aquifer sehr unterschiedlich sein kann, lässt sich die zu erwartende Ausbreitung wiederversickernden Grundwassers im Untergrund sowohl in der ungesättigten als auch in der gesättigten Bodenzone nur begrenzt vorherbestimmen. Auch ist die Ausbreitung des wiederversickerten Grundwassers im Untergrund nicht steuerbar. Daher wird das Risiko gesehen, durch Wiederversickerung eine weitere Ausbreitung der Verunreinigung oder einen neuen Langzeitschaden zu verursachen.

Bei verunreinigtem Grundwasser handelt es sich nicht um Abwasser im engeren Sinne der wasserrechtlichen Regelungen nach § 54 WHG und 51 LWG NRW. Die für Abwassereinleitungen definierten Emissionsanforderungen könnten zwar als Erkenntnisquelle herangezogen werden. Da aber in der Abwasserverordnung keine konkreten Regelungen für PFC enthalten sind, wird auf die per Erlass in NRW festgelegten Anforderungen für Direkt- und Indirekteinleiter sowie auf die allgemeinen Anforderungen Bezug genommen[34]. Nach dem Erlass gelten für Abwasser als Orientierungswerte 300 ng/l für die Summe PFOS und PFOA sowie 1.000 ng/l für die Summe PFC. Es ist zu beachten, dass die Immissionsanforderungen nach OGewV eingehalten werden und das Verschlechterungsverbot beachtet wird.

Nach der behördlichen Überwachung der Wasserbeschaffenheit des Kittelbachs oberhalb der vorgesehenen Einleitungsstelle liegen die Konzentrationen für PFC (ab 2014 incl. 6:2 FTS) mehrheitlich unterhalb der Bestimmungsgrenze. Zu einzelnen Untersuchungszeitpunkten wurden Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt.

Der höchste bisher ermittelte Wert für PFC betrug rund 200 ng/l.
Auf der Grundlage der Daten eines Pegels beträgt der mittlere Niedrigwasserabfluss MNQ 0,36 m³/s (1296 m³/h) und der Mittelwasserabfluss MQ 0,74 m³/s.

Berechnung der zulässigen Einleitkonzentrationen:

$A_{Abw} \cdot C_{Abw} = MNQ \cdot C_{HG}$

MNQ = Mittlerer Niedrigwasserabfluss (Volumen/Zeit)
C_{HG} = Hintergrundkonzentration (Masse/Volumen)
A_{Abw} = Abwasserfluss (Volumen/Zeit) bzw. Volumenstrom Grundwasserbehandlungsanlagen
C_{Abw} = Stoffkonzentration im Abwasser (Masse/Volumen) bzw. Konzentration Abfluss aus Grundwasserbehandlung

[34] Erlass des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen vom 16.06.2014, Az.: IV-7 096 004 0052

Berechnung der maximal zulässigen Summenkonzentration aller gemessenen PFC im Abfluss aus der Grundwasserbehandlung (= Einleitung) unter der Voraussetzung, dass keine nennenswerte Erhöhung der Gehalte im Gewässer verursacht wird (Maßstab: Bestimmungsgrenze des Analysenverfahrens von 10 ng/l):

C_{Abw}= MNQ / A_{Abw} ▪ C_{HG} = 1296 m³/h / 54 m³/h ▪ 10 ng/l
C_{Abw}. = 240 ng/l (Summe aller gemessenen PFC)
gewählt: C_{Abw}. = 200 ng/l

Berechnung der maximal zulässige PFOS-Konzentration im Abfluss aus der Grundwasserbehandlung (= Einleitung) unter der Voraussetzung, dass keine nennenswerte Erhöhung der Konzentrationen im Gewässer verursacht werden (Maßstab: UQN = 0,65 ng/l):

C_{Abw} = MNQ / A_{Abw} ▪ CHG = 1296 m³/h / 54 m³/h ▪ 0,65 ng/l
C_{Abw} = 15,6 ng/l (PFOS)
gewählt: doppelte Nachweisgrenze des Analysenverfahrens: C_{Abw} = 20 ng/l

Unter der Annahme, dass aus den Sanierungsmaßnahmen des Flughafens insgesamt zunächst 54 m³/h aufbereitetes Grundwasser in die Gewässer eingeleitet werden sollen, würde bei Einhaltung einer Maximalkonzentration für die Summe PFC von 200 ng/l eine Fracht von ca. 10.000 µg/h in das Gewässer eingeleitet. Daraus würde bei MNQ eine mittlere Konzentrationserhöhung von 10 ng/l resultieren. Diese Erhöhung würde somit im Bereich der Messgenauigkeit liegen. Durch die Einleitung würde daher keine nennenswerte Erhöhung der PFC-Konzentrationen im Gewässer verursacht. Dem Verschlechterungsverbot könnte somit Rechnung getragen werden, wenn die o.g. Werte eingehalten werden.

ENTWURF

Im gereinigten Grundwasser einzuhaltende PFC-Werte bei Einleitung in ein oberirdisches Gewässer im konkreten Einzelfall:

Im konkreten Fall ist unter Bezug auf die Immissionsbetrachtung eine Aufbereitung des zur Sanierung geförderten Grundwassers vor Einleitung in ein oberirdisches Gewässer durchzuführen. Diese Anforderung wurde im vorliegenden Fall als erfüllt angesehen, wenn

- der Reinigungsgrad für PFC > 90 % beträgt.

Um sicherzustellen, dass auch bei sehr hohen PFC-Konzentrationen im geförderten Grundwasser, durch die Einleitung aus der Grundwassersanierung dem Verschlechterungsverbot Rechnung getragen wird, sind für die

- Summe der PFC < 200 ng/l

im einzuleitenden Grundwasser nach Aufbereitung einzuhalten. Zusätzlich ist für PFOS die Umweltqualitätsnorm einzuhalten. Unter Berücksichtigung der derzeitigen analytischen Möglichkeiten wurde festgelegt, dass diese Anforderungen als eingehalten gelten, wenn

- für PFOS < 20 ng/l[35]

im einzuleitenden Grundwasser eingehalten wird. Das Monitoring der Anlage sollte so konzipiert werden, dass Durchbrüche unter Einbeziehung des Zeitraums der Analytik rechtzeitig erkannt werden. Die Einhaltung des Verschlechterungsverbotes ist durch ein entsprechendes Monitoring zu überwachen. Darüber hinaus ist ein operatives Monitoring zur Erfassung der Schadstofffahne festzulegen.

ENTWURF

[35] Entspricht der doppelten Nachweisgrenze von 10 ng/l, die standardmäßig erreicht werden kann