



# Vorläufige Leitlinien zur Bewertung von PFAS-Verunreinigungen in Was- ser und Boden

Stand: Juli 2022

Am 21.02.2022 wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit der „Leitfaden zur PFAS-Bewertung - Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials“<sup>1</sup> veröffentlicht. Die darin vorliegenden Bewertungsansätze werden aktuell in eine Neufassung der Bayerischen Leitlinien zur PFAS-Bewertung eingearbeitet.

Im Vorgriff auf diese Neufassung werden in der vorliegenden vorläufigen Fassung die Umstellung des Eluatverfahrens vom Wasser/Feststoff (W/F) - Verhältnis 10:1 auf 2:1 gemäß der DIN-Norm 19529 und eine Aktualisierung der Werte für die Verwertung von Bodenmaterial berücksichtigt. Für die Ablagerung von Bodenmaterial auf Deponien gilt weiterhin das Eluatverfahren gemäß DIN EN 12457-4 mit einem W/F-Verhältnis von 10:1.

---

<sup>1</sup> [https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Bodenschutz/pfas\\_leitfaden\\_bf.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Bodenschutz/pfas_leitfaden_bf.pdf)

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Stoffspektrum</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Beurteilungskriterien und Anwendungshinweise</b>	<b>5</b>
3.1	Gewässerschutz	5
3.1.1	Trinkwasser	5
3.1.2	Grundwasser	5
3.1.3	Oberflächengewässer	6
3.1.4	Abwasser	9
3.1.5	Klärschlamm	10
3.2	Boden	11
3.2.1	Schädliche Bodenveränderungen und Altlasten	11
3.2.2	Verwertung (außerhalb von Deponien)	12
3.3	Abfallentsorgungsanlagen	15
3.3.1	Entsorgung auf Deponien	15
3.3.2	Weitere Entsorgungsoptionen	16
<b>4</b>	<b>Analytik</b>	<b>17</b>
4.1	Chemische Analytik	17
4.2	Herstellung von Eluaten zur Bodenuntersuchung	18
<b>5</b>	<b>Gesetzliche Grundlagen</b>	<b>20</b>
5.1	Internationale und Europäische Regelungen	20
5.2	Bundesweite Regelungen zur Begrenzung von PFAS in der Umwelt	25
5.3	Oberflächengewässer - Erläuterungen zur Ableitung von PNEC und UQN	25

## 1 Einleitung

In den letzten Jahren wurden in Bayern zunehmend Schadensfälle und Verunreinigungen mit per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS)<sup>2</sup> in Boden und Gewässern bekannt. Bundesweit einheitliche Regelungen für diese Stoffklasse gibt es aktuell in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) vom 20.06.2016, die Umweltqualitätsnormen für Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) enthält. Werden diese Umweltqualitätsnormen derzeit in einem Oberflächengewässer überschritten, müssen geeignete Maßnahmen festgesetzt werden, um ihre Einhaltung spätestens ab 2027 zu erreichen.

Weitere gesetzliche Regelungen gibt es noch in der Düngemittelverordnung mit 100 µg/kg Trockenmasse für die Summe aus PFOS und Perfluoroktansäure (PFOA), sowie in der ab 01.08.2023 geltenden Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung. Weitere bundesweit einheitliche gesetzliche Grenzwerte für diese Stoffklasse liegen aktuell noch nicht vor.

Mit den vorliegenden Leitlinien werden für den Vollzug in Bayern ein Bewertungsrahmen sowie beurteilungsrelevante Hintergrundinformationen zur Verfügung gestellt. Damit soll eine Bewertung von PFAS-Einträgen in Gewässer oder in den Boden ermöglicht werden (z. B. Einleitungen von Abwasser oder Grundwasser in Oberflächengewässer, Ablagerungen, Einsatz von PFAS-haltigen Feuerlöschmitteln). Zusätzlich enthalten die Leitlinien Maßstäbe für die Bewertung von Untersuchungsergebnissen und für Entscheidungen über ggf. erforderliche weitergehende Maßnahmen bei bestehenden Untergrundverunreinigungen.

PFAS sind in der Umwelt außerordentlich stabil (persistent) und mittlerweile in Spuren ubiquitär in den verschiedensten Umweltmedien nachweisbar. Umweltkontaminationen werden insbesondere durch eine bestimmte Gruppe der PFAS, die perfluorierten Tenside (PFT) verursacht. Neben Verunreinigungen durch Einleitungen PFAS-haltiger Abwässer in Kläranlagen und Gewässer sind dies vor allem Kontaminationen in Wasser und Boden durch PFAS-haltige AFFF- (Aqueous-Film-Forming-Foams) Feuerlöschschäume.

Diese Löschschäume wurden und werden bislang vor allem bei Werkfeuerwehren (z. B. Flughäfen, Raffinerien, chemische Industrie) eingesetzt, teils auch bei kommunalen Feuerwehren. Bis in das Jahr 2000 wurde zur Herstellung der Löschschäume vornehmlich PFOS verwendet. PFOS-haltige Löschschäume mit einem Gehalt von mehr als 0,001 % dürfen aufgrund eines EU-weiten Verbots seit 2011 nicht mehr verwendet werden. Wegen der langjährigen Verwendung dieser Schaummittel bei Übungen z. B. im Bereich von militärischen und zivilen Flughäfen, Raffinerien und Standorten chemischer Industrie sind PFOS-bedingte Kontaminationen dort häufig vorzufinden. AFFF-Feuerlöschmitteln werden mittlerweile statt PFOS häufig sogenannte telomerbasierte PFAS zugesetzt (z. B. 6:2 Fluortelomersulfonat, auch als H4PFOS bezeichnet), deren Umweltverhalten derzeit noch nicht abschließend beurteilt werden kann.

Bei einigen in jüngster Zeit aufgetretenen PFAS-Kontaminationen aus Sprinkleranlagen handelt es sich vorrangig um die in der Routineanalytik teils noch nicht nachweisbaren telomerbasierten PFAS. Auch bei dieser Stoffgruppe bzw. ihren Umwandlungsprodukten sollte wegen ihrer Persistenz und ihres noch nicht abschließend geklärten ökotoxischen Verhaltens die Einleitung, z. B. über eine Kläranlage in ein Oberflächengewässer vermieden werden. Kontaminierte Wässer sollten stattdessen ordnungsgemäß als Abfall entsorgt werden. Für die Beurteilung im Einzelfall kann auch das LfU/Abt. 7 kontaktiert werden.

---

<sup>2</sup> In der Fachliteratur wird statt PFAS teilweise auch noch die Bezeichnung PFC für „Per- und polyfluorierte Chemikalien“ verwendet.

**Die folgenden Hinweise sind zu beachten:**

- Die in den vorliegenden Leitlinien verwendeten Richtwerte sollen einen einheitlichen Vollzug zur Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen in Bayern sicherstellen.
- Bei der Bewertung von Überschreitungen sind die Messunsicherheit des jeweiligen Analyseverfahrens und der Einzelfall zu berücksichtigen. Im Rahmen einer Einzelfallbeurteilung sind in begründeten Fällen Abweichungen von diesen Empfehlungen möglich.

## 2 Stoffspektrum

Die Stoffgruppe der PFAS umfasst eine Vielzahl verschiedener Einzelsubstanzen. PFAS werden in langkettige und kurzkettige Verbindungen unterteilt, da sie unterschiedliche chemische Eigenschaften aufweisen. Als langkettig gelten nach einer Definition der OECD<sup>3</sup> alle Perfluorcarbonsäuren mit sieben und mehr perfluorierten Kohlenstoffatomen (beginnend mit der Perfluorooctansäure, PFOA) und alle Perfluorsulfonsäuren mit sechs und mehr perfluorierten Kohlenstoffatomen (beginnend mit der Perfluorhexansulfonsäure, PFHxS). Diese Leitlinien enthalten Hinweise für die nachfolgend genannten 13 PFAS, für die bereits DIN-Normen für die Analytik vorliegen (s. Kapitel 5)<sup>4</sup> :

Substanzname	Abkürzung	Substanzname	Abkürzung
Perfluorbutansäure	PFBA	Perfluorbutansulfonsäure	PFBS
Perfluorpentansäure	PFPeA	Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS
Perfluorhexansäure	PFHxA	Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS
Perfluorheptansäure	PFHpA	Perfluoroktansulfonsäure	PFOS
Perfluoroktansäure	PFOA	H4-Polyfluoroktansulfonsäure	H4PFOS
Perfluornonansäure	PFNA	Perfluoroktansulfonamid	PFOSA
Perfluordekansäure	PFDA		

Alle vorgenannten PFAS wurden in Bayern oder in anderen Bundesländern bei Grundwasseruntersuchungen mindestens einmal oberhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze nachgewiesen.

**Hinweis:**

**Insbesondere bei Löschschaumeinsätzen können AFFF-Mittel zum Einsatz kommen und zu Kontaminationen führen, die nicht in dieser Liste enthalten sind. Beim Einsatz fluortensidhaltiger Löschsäume sollte daher im Bedarfsfall Rücksprache mit dem LfU für eine weitergehende Analytik (z. B. für Polyfluoralkylbetaine, PFAB, als PFOS-Ersatzstoffe in Capstone™-Produkten) gehalten werden.**

<sup>3</sup> <http://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/aboutpfass/Figure1-classification-of-per-and-polyfluoroalkyl-substances%20-PFASs.pdf>

<sup>4</sup> 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, muss dann jedoch im Einzelfall geprüft werden.

## 3 Beurteilungskriterien und Anwendungshinweise

### 3.1 Gewässerschutz

#### 3.1.1 Trinkwasser

Für den Schutz des Trinkwassers existieren gesundheitlich lebenslang duldbare Leitwerte (LW) und gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) der Trinkwasserkommission (TWK) des Umweltbundesamtes, die auf Basis aktuell verfügbarer toxikologischer Erkenntnisse (→LW) oder vorsorgeorientierter Bewertungsmodelle (→GOW) abgeleitet werden. Nach Anhörung der TWK hat das Umweltbundesamt im Januar 2017 im Bundesgesundheitsblatt<sup>5</sup> eine aktualisierte Bewertung mit Leitwerten für sieben der 13 PFAS nach Kapitel 2 (darunter PFOS und PFOA), sowie gesundheitlichen Orientierungswerten für die restlichen sechs PFAS als Empfehlung veröffentlicht.

Die Neufassung der Anfang 2021 in Kraft getretenen Europäischen Trinkwasserrichtlinie (Richtlinie (EU)2020/2184 vom 16.12.2020) listet erstmalig Vertreter aus der PFAS-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 PFAS-Gruppe erfasst wird.

Bei Trinkwasser handelt es sich um ein Lebensmittel, weshalb die Zuständigkeit für die Überwachung des Trinkwassers in Bayern in den Aufgabenbereich der Gesundheitsämter bzw. des Bayerischen Staatsministeriums für Gesundheit und Pflege (StMGP) fällt.

#### 3.1.2 Grundwasser

Eine gemeinsame Arbeitsgruppe der Länderarbeitsgemeinschaften Wasser und Boden (LAWA und LABO) hat für die sieben PFAS mit vorliegenden Leitwerten für das Trinkwasser Geringfügigkeitsschwellenwerte für das Grundwasser (GFS) abgeleitet. Da für alle diese Einzelstoffe der jeweilige Leitwert niedriger, teilweise sogar sehr deutlich niedriger als die jeweilige „Predicted no effect concentration“ (PNEC) zum Schutz der aquatischen Lebensgemeinschaft ist, konnten die GFS-Werte den jeweiligen Leitwerten gleichgesetzt werden.

In Anlehnung an die Bewertung der Trinkwasserkommission und die Ableitungskriterien der LAWA für GFS im Grundwasser sind in Tabelle 1 vorläufige Schwellenwerte (SW) für die einzelnen PFAS zusammengestellt. Bei Überschreitung dieser Werte im Grundwasser liegt in der Regel eine schädliche Veränderung des Grundwassers im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) vor.

---

<sup>5</sup> [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/fortschreibung\\_der\\_uba-pfc-bewertungen\\_bundesgesundheitsbl\\_2017-60\\_s\\_350-352.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/fortschreibung_der_uba-pfc-bewertungen_bundesgesundheitsbl_2017-60_s_350-352.pdf)

Tabelle 1: Vorläufige Schwellenwerte für die Beurteilung von PFAS im Grundwasser

Stoff	Vorläufiger Schwellenwert (SW) in µg/l	Perfluorierte Kettenlänge	Begründung
Perfluornonansäure <b>PFNA</b>	0,06	langkettig	Übernahme des GFS-Werts der LAWA, bzw. Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung, neue Fassung gültig ab 01.08.2023
Perfluoroktansulfonsäure <b>PFOS</b>	0,1	langkettig	
Perfluoroktansäure <b>PFOA</b>	0,1	langkettig	
Perfluorhexansulfonsäure <b>PFHxS</b>	0,1	langkettig	
Perfluorhexansäure <b>PFHxA</b>	6,0	kurzkettig	
Perfluorbutansulfonsäure <b>PFBS</b>	6,0	kurzkettig	
Perfluorbutansäure <b>PFBA</b>	10,0	kurzkettig	
Perfluordekansäure <b>PFDA</b>	0,1	langkettig	Übernahme des GOW
H4-Polyfluoroktansulfonsäure <b>H4PFOS</b>	0,1	langkettig	
Perfluoroktansulfonamid <b>PFOSA</b>	0,1	langkettig	
Perfluorheptansulfonsäure <b>PFHpS</b>	0,3	langkettig	
Perfluorheptansäure <b>PFHpA</b>	0,3	kurzkettig	
Perfluorpentansäure <b>PFPeA</b>	3,0	kurzkettig	

### 3.1.3 Oberflächengewässer<sup>6</sup>

Bei der Beurteilung von Oberflächengewässern sind grundsätzlich zwei Betrachtungsebenen zu unterscheiden:

- a. Die Wasserkörperebene im Sinne des § 27 Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) (Bewirtschaftungsziele im Rahmen der Einleitungserlaubnis, bezogen auf die repräsentative Messstelle) und
- b. die lokale Ebene z.B. im Umfeld einer Einleitungsstelle.

Zu a.) Wasserkörperebene

<sup>6</sup> In Anlehnung an: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Bodenschutz/pfas\\_leitfaden\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Bodenschutz/pfas_leitfaden_bf.pdf)

Nach § 27 Abs. 1 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 OGewV vom 20. Juni 2016 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 Nr. 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 Biota-UQN für PFOS und ihre Derivate beträgt für Oberflächengewässer 9,1 µg/kg und 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 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.

Wird eine UQN in einem OWK überschritten, müssen geeignete Maßnahmen festgesetzt werden, um ihre Einhaltung bis zum 22. Dezember 2027 zu erreichen.

### **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<sup>7</sup> 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<sup>8</sup>.

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 wieder einstellt. Dies kann beispielsweise bei zeitlich befristeten, kurzzeitigen Einleitungen im Rahmen einer Baumaßnahme gegeben sein.

### **Zielerreichungsgebot**

Ebenfalls ist für PFOS 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 Über-

---

<sup>7</sup> Konzentrationserhöhungen, die rechnerisch, aber nicht messtechnisch erfassbar sind, gelten nicht als Verschlechterung

<sup>8</sup> LAWA-AR Handlungsempfehlung Verschlechterungsverbot (Beschluss 153. LAWA-VV 16./17. 03 2017; unveröffentlicht)

schreitung 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.

#### 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 PFAS im Gewässer zu berücksichtigen.



### 3.1.4 Abwasser

Für die Einleitung von PFAS-haltigem Wasser aus Abwasserreinigungsanlagen in Gewässer enthält die Abwasserverordnung (AbwV) - abgesehen von allgemeinen einzuhaltenden Mindestanforderungen und Summenparametern - keine konkreten stoffspezifischen Überwachungs- bzw. Grenzwerte nach dem Stand der Technik. In der Fortschreibung der AbwV vom 01.06.2016 wurde für PFAS in der Anlage 1 zu § 4 AbwV (Analysen- und Messverfahren) lediglich ein konkretes Verfahren (DIN 38407-42, Ausgabe März 2011) zur Bestimmung von PFAS aufgenommen.

Während § 57 Abs. 1 Nr. 1 WHG vorgibt, dass bei Abwassereinleitungen die eingeleitete Schadstofffracht nach dem Stand der Technik minimiert wird (innerbetriebliche Maßnahmen und Emissionsstandards), fordert § 57 Abs. 1 Nr. 2 WHG zusätzlich die Berücksichtigung der Anforderungen an die Gewässereigenschaften, also eine Prognose und Beurteilung der Auswirkungen auf das Gewässer infolge der Abwassereinleitung. Deshalb sind unvermeidbare PFAS-Einträge soweit zu begrenzen, dass die prognostizierten PFAS-Konzentrationen im Gewässer nach vollständiger Durchmischung mit dem Abwasser keine schädlichen Gewässerveränderungen an der Einleitungsstelle hervorrufen und das Erreichen des Bewirtschaftungszieles für den betroffenen Oberflächenwasserkörper nicht gefährden (s.a. 5.3, Erläuterungen zur Ableitung von PNEC und UQN).

Für PFOS ist bei Abwassereinleitungen in der Regel die weitergehende Einhaltung der JD-UQN von 0,65 ng/l an der repräsentativen Messstelle im Oberflächengewässerkörper zu fordern. Dabei ist nicht nur die Einleitung, sondern ggf. auch eine PFAS-Vorbelastung des Gewässers zu berücksichtigen (s. Kapitel 4.1.3). Ferner sind im Falle möglicher Beeinträchtigungen des Grundwassers (z. B. bei erheblicher Infiltration von Oberflächenwasser ins Grundwasser) oder einer Trinkwassernutzung (z. B. bei Verwendung von Uferfiltrat) bei der Begrenzung des PFAS-Eintrags in Oberflächengewässer auch die Auswirkungen auf das Grundwasser im Hinblick auf die Einhaltung der vorläufigen Schwellenwerte (s. Kapitel 3.1.2) zu beachten.

Um den „worst case“ zu berücksichtigen, ist für die Berechnung der prognostizierten PFAS-Konzentrationen im Gewässer in der Regel der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) des betroffenen Vorfluters anzusetzen.

Für die rechnerische Ermittlung der durch eine punktuelle Einleitung verursachten **Immissionskonzentration  $C_{\text{Im}}$  im Gewässer** gilt folgende mathematische Gleichung mit:

**MNQ** = Mittlerer Niedrigwasserabfluss (Volumen/Zeit)

**$C_{\text{HG}}$**  = Hintergrundkonzentration (Masse/Volumen)

**$A_{\text{Abw}}$**  = Abwasserfluss (Volumen/Zeit)

**$C_{\text{Abw}}$**  = Stoffkonzentration im Abwasser (Masse/Volumen)

$$C_{\text{Im}} = \frac{MNQ \cdot C_{\text{HG}} + A_{\text{Abw}} \cdot C_{\text{Abw}}}{MNQ + A_{\text{Abw}}}$$

Bei einer Indirekteinleitung von PFAS-haltigem Abwasser über eine kommunale Kläranlage muss der PFAS-Eintrag in das Gewässer soweit begrenzt werden, dass auch hier nach Durchmischung mit dem Abwasser die prognostizierten PFAS-Gewässerkonzentrationen die PNEC bzw. JD-UQN unterschreiten. Da die hier relevanten PFAS mikrobiell nicht abbaubar und wenig an Klärschlamm adsorbierbar sind, kann ihre Elimination in der Kläranlage in erster Näherung vernachlässigt werden.

### 3.1.5 Klärschlamm

Im aktuellen Entwurf der Klärschlammverordnung vom Januar 2017 ist kein Grenzwert für PFAS festgelegt. Für die bodenbezogene Verwertung von Klärschlamm gilt die Düngemittelverordnung vom 27.05.2015, die einen Grenzwert von 100 µg/kg für die Summe aus PFOS und PFOA festlegt, ab 50 µg/kg besteht eine Kennzeichnungspflicht.

Für Bayern hat das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz mit Schreiben vom 07.01.2008 (zuletzt aktualisiert am 22.03.2016) festgelegt, dass alle Klärschlämme bei einer beabsichtigten landwirtschaftlichen oder landschaftsbaulichen Verwertung und ab einer Ausbaugröße der Kläranlagen von 1.000 Einwohnerwerten auf PFAS untersucht werden müssen. Bei Kläranlagen, deren Klärschlamm in den vergangenen 3 bis 4 Jahren durchgängig PFAS-Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze (alle Einzelparameter < 10 µg/kg TM oder niedrigere NWG) aufwies, ist eine Untersuchung im Abstand von 2 bis 3 Jahren ausreichend, wenn nicht besondere Ereignisse (z. B. Brandereignis mit Einsatz von Löschschaum oder Ansiedlung eines Betriebs, der mit PFAS umgeht) aufgetreten sind.

In allen anderen Fällen sollte der Klärschlamm wie bisher mindestens jährlich untersucht werden. Bei Kläranlagen mit deutlich nachweisbaren PFAS-Gehalten (Summe der PFAS ab ca. 50 µg/kg TM) sollte eine Abgabe des Klärschlammes zur bodenbezogenen Verwertung nur erfolgen, wenn ein PFAS - Untersuchungsergebnis vorliegt, das für die Gesamtmenge des abzugebenden Klärschlammes repräsentativ ist. Außerdem sollte in solchen Fällen und generell bei Überschreitungen des Vorsorgewertes die Quelle des PFAS-Eintrags auffindig gemacht und die Ursache des Eintrags nach Möglichkeit abgestellt werden.

Die Liste der gemäß o.g. UMS zu untersuchenden Stoffe wird um die längerkettigen PFAS Perfluordecansulfonsäure (PFDS) und Perfluordodekansäure (PFDoA) erweitert (Anwendung der Fußnote 3 im Kapitel 2). Dafür fehlt die kürzerkettige Perfluorpentansäure (PFPeA), so dass im Klärschlamm nach UMS insgesamt 11 PFAS zu analysieren sind. Dabei gilt ein Vorsorgerichtwert von 100 µg/kg Trockenmasse (zzgl. 25 % Messtoleranz) für die Summe aller 11 genannten PFAS. Bei einer Überschreitung darf der Klärschlamm nur thermisch entsorgt werden.

## 3.2 Boden

Bodenverunreinigungen sind in Bayern bislang zum weit überwiegenden Teil im Zusammenhang mit der Anwendung von Feuerlöschschäumen bei Bränden und Löschübungen aufgetreten. Kurzkettige PFAS (< C<sub>6</sub>) sind sehr mobil, daher bislang nur selten in Böden nachgewiesen worden und dann wiederum auch nur im Zusammenhang mit Löschschaumkontaminationen. Treten im Einzelfall weitere, in den Kapiteln 3.2.1 bis 3.2.2 nicht erfasste PFAS in relevanten Mengen im Boden auf, so werden vom LfU - soweit möglich - für diese PFAS ergänzend Bewertungsgrundlagen erstellt.

### 3.2.1 Schädliche Bodenveränderungen und Altlasten

Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass die Bestimmung von Feststoffgehalten aufgrund der Mobilität der PFAS nicht aussagekräftig ist. Für die Gefährdungsabschätzung für den Pfad Boden - Grundwasser sind deshalb Eluatwerte (vgl. Kapitel 5.2) heranzuziehen. Feststoffgehalte können, soweit analytisch möglich, ergänzend zur Beurteilung des Schadstoffpotenzials herangezogen werden. Der Rückhalt von PFAS in der ungesättigten Bodenzone ist abhängig von der Einzelsubstanz und den jeweiligen Bodenbestandteilen. Wie aus der Literatur und Untersuchungen des LfU<sup>9</sup> bekannt, adsorbieren kurzkettige PFAS weniger gut an die Bodenmatrix und werden deshalb schneller mit dem Sickerwasser ausgetragen.

Tabelle 2: Vorläufige Stufenwerte für PFAS für den Pfad Boden – Grundwasser

Stoff	Vorläufiger Stufe-1-Wert in µg/l	Vorläufiger Stufe-2-Wert in µg/l
Perfluornonansäure <b>PFNA</b>	0,06	0,25
Perfluoroktansulfonsäure <b>PFOS</b>	0,1	0,4
Perfluoroktansäure <b>PFOA</b>	0,1	0,4
Perfluorhexansulfonsäure <b>PFHxS</b>	0,1	0,4
Perfluorhexansäure <b>PFHxA</b>	6,0	24,0
Perfluorbutansulfonsäure <b>PFBS</b>	6,0	24,0
Perfluorbutansäure <b>PFBA</b>	10,0	40,0
Perfluordekansäure <b>PFDA</b> (ggf. Summe mit allen PFAS > C10)	0,1	0,4
H4-Polyfluoroktansulfonsäure <b>H4PFOS</b>	0,1	0,4
Perfluoroktansulfonamid <b>PFOSA</b>	0,1	0,4
Perfluorheptansulfonsäure <b>PFHpS</b>	0,3	1,0
Perfluorheptansäure <b>PFHpA</b>	0,3	1,0
Perfluorpentansäure <b>PFPeA</b>	3,0	12,0

<sup>9</sup>[https://www.lfu.bayern.de/analytik\\_stoffe/pfc/untersuchung\\_verhalten\\_in\\_der\\_umwelt/doc/kleinlysimeter\\_saeule\\_batch.pdf](https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/pfc/untersuchung_verhalten_in_der_umwelt/doc/kleinlysimeter_saeule_batch.pdf)

Bewertungsrelevant für den Pfad Boden-Grundwasser ist die Konzentration der Stoffe im Sickerwasser am Ort der Beurteilung (Ermittlung über Sickerwasserprognose sofern durchführbar). Bei den langkettigen und damit weniger mobilen PFAS (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. Im Rahmen einer „worst-case“-Betrachtung können die Eluatkonzentrationen aber vereinfachend auf das Sickerwasser am „Ort der Beurteilung“ übertragen werden. Die Bewertung analytisch-chemischer Befunde erfolgt anhand der in Tabelle 2 aufgeführten vorläufigen Stufe-1- und Stufe-2-Werte entsprechend der im LfU-Merkblatt 3.8/1 beschriebenen Vorgehensweise. Dabei sind die Stufe-1-Werte den vorläufigen Schwellenwerten für das Grundwasser nach Tabelle 1 gleichgesetzt (entspricht für die 7 PFAS mit GFS den neuen Prüfwerten der BBodSchV n.F. ab 01.08.2023, entspricht für die restlichen 6 PFAS dem GOW des Umweltbundesamtes).

### 3.2.2 Verwertung (in Gruben und Brüchen sowie technischen Bauwerken)

Eine Verfüllung von Bodenmaterial nach dem Leitfaden „Anforderungen zur Verfüllung von Gruben und Brüchen sowie Tagebauen“ soll in Gruben der Kategorie N und A nur erfolgen, wenn das Bodenmaterial aufgrund der Herkunft als unbedenklich eingestuft werden kann. Damit ist eine Verfüllung von Material aus Verdachtsbereichen in diesen Gruben grundsätzlich ausgeschlossen. In Gruben anderer Kategorien kann Bodenmaterial bei dem die Einhaltung der Z 0-Werte (s. Tabelle 4) nachgewiesen ist verwertet werden. Bei der Verfüllung kann eine technisch hergestellte Sorptionsschicht nicht für die unten genannten Parameter angerechnet werden. Die jeweiligen PFAS sind an den betroffenen Verfüllstandorten auch in das Überwachungsprogramm (Eigen-, Fremd- und Grundwasserüberwachung) aufzunehmen. Als einzuhaltender Vorsorgewert ist gemäß Tabelle 3 ein Faktor von 0,75 des jeweiligen Schwellenwertes in Tabelle 1 festzulegen (s. Anl. zum o. g. Leitfaden).

*Tabelle 3: Vorsorgewerte für PFAS für das Grundwasserüberwachungsprogramm*

Stoff	Vorsorgewert für Grundwasserüberwachungsprogramm in µg/l
Perfluorononansäure, <b>PFNA</b>	0,045
Perfluoroktansulfonsäure, <b>PFOS</b>	0,075
Perfluoroktansäure, <b>PFOA</b>	0,075
Perfluorhexansulfonsäure, <b>PFHxS</b>	0,075
Perfluorhexansäure, <b>PFHxA</b>	4,5
Perfluorbutansulfonsäure, <b>PFBS</b>	4,5
Perfluorbutansäure, <b>PFBA</b>	7,5
Perfluordekansäure, <b>PFDA</b>	0,075
H4-Polyfluoroktansulfonsäure, <b>H4PFOS</b>	0,075
Perfluoroktansulfonamid, <b>PFOSA</b>	0,075
Perfluorheptansulfonsäure, <b>PFHpS</b>	0,23
Perfluorheptansäure, <b>PFHpA</b>	0,23
Perfluorpentansäure, <b>PFPeA</b>	2,3

Für die Verwertung von Bodenmaterial nach LAGA M 20 (Stand 06. November 1997) im „uneingeschränkten Einbau“ sind die Zuordnungswerte Z0 einzuhalten.

In Gebieten mit anthropogen bedingt erhöhten PFAS-Gehalten kann anfallendes Bodenmaterial bis zu den Z1-Werten der Tabelle 4 innerhalb dieser Gebiete verwertet werden, wenn einzelfallspezifisch nachgewiesen ist, dass eine ordnungsgemäße und schadlose Verwertung erfolgt. Dabei sind die Standortverhältnisse, insbesondere die geologischen und hydrogeologischen Bedingungen, die natürlichen Bodenfunktionen des Verwertungsortes und der Umgebung sowie etwa bereits vorhandene PFAS-Gehalte zu berücksichtigen. Die Schadstoffsituation am Ort der Verwertung darf nicht verschlechtert und die Bodenfunktionen dürfen nicht zusätzlich beeinträchtigt werden. Der Abstand zum höchsten zu erwartenden Grundwasserstand muss mindestens 1,0 m betragen.

Unter diesen Bedingungen kann die für die Zulassung des Auf- und Einbringens von Bodenmaterial zuständige Behörde im Einvernehmen mit der für den Bodenschutz zuständigen Behörde das Auf- oder Einbringen von PFAS-haltigem Bodenmaterial gestatten. Es wird empfohlen, die zuständige Wasserbehörde zu beteiligen. Diese Regelungen sind nicht möglich in Wasserschutzgebieten (Zone I bis III B), Heilquellenschutzgebieten, Wasservorranggebieten und Gebieten mit häufigen Überschwemmungen. Die von Bodenbelastungen mit hydrophilen bzw. gut wasserlöslichen Stoffen ausgehende Gewässergefährdung kann mit hinreichender Sicherheit über das Eluat festgestellt werden. Deshalb ist es nicht erforderlich, für die in Tabelle 4 aufgeführten Parameter zusätzlich Feststoffstoffgehalte festzulegen.

Zusammengefasst kann PFAS-haltiges Bodenmaterial bis zu den in Tabelle 4 aufgeführten einbauklassenbezogenen Zuordnungswerten unter folgenden Bedingungen verwertet werden:

- Z 0: Uneingeschränkte offene Verwertung (= GFS-Werte)
- Z 1: Eingeschränkte offene Verwertung, innerhalb von mit PFAS anthropogen vorbelasteten Gebieten, unter Einbeziehung der für den Bodenschutz örtlich zuständigen Kreisverwaltungsbehörde
- Z 2: Verwertung in technischen Bauwerken mit definierten Sicherungsmaßnahmen

Tabelle 4: Zuordnungswerte für die Beurteilung des nach Kapitel 5.2 hergestellten Eluats

Stoff	Z 0 in µg/l	Z 1 in µg/l	Z 2 in µg/l
Perfluoronansäure <b>PFNA</b>	< 0,06	0,12	0,6
Perfluoroktansulfonsäure <b>PFOS</b>	< 0,1	0,2	1,0
Perfluoroktansäure <b>PFOA</b>	< 0,1	0,2	1,0
Perfluorhexansulfonsäure <b>PFHxS</b>	< 0,1	0,2	1,0
Perfluorhexansäure <b>PFHxA</b>	< 6,0	12,0	30,0
Perfluorbutansulfonsäure <b>PFBS</b>	< 6,0	12,0	30,0
Perfluorbutansäure <b>PFBA</b>	< 10,0	20,0	50,0
Perfluordekansäure <b>PFDA</b> ggf. Summe mit allen PFAS > C10	< 0,1	0,2	1,0
H4-Polyfluoroktansulfonsäure <b>H4PFOS</b>	< 0,1	0,2	1,0
Perfluoroktansulfonamid <b>PFOSA</b>	< 0,1	0,2	1,0
Perfluorheptansulfonsäure <b>PFHpS</b>	< 0,3	0,6	3,0
Perfluorheptansäure <b>PFHpA</b>	< 0,3	0,6	1,5
Perfluorpentansäure <b>PFPeA</b>	< 3,0	6,0	15,0

Bei der Ableitung der Z 2-Werte für die Verwertung in technischen Bauwerken mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen wurde die Mobilität kurzkettiger Verbindungen (Anwendung des Faktors fünf) bzw. die erhöhte Retardation langkettiger Verbindungen im Boden (Anwendung des Faktors zehn) berücksichtigt.

### 3.3 Abfallentsorgungsanlagen

Abfälle, die PFOS in einer Konzentration von mehr als 50 mg/kg enthalten, müssen ohne unnötige Verzögerung und in Übereinstimmung mit Anhang V Teil I der POP-Verordnung (EG 850/2004 ergänzt durch EU Nr. 1342/2014) so beseitigt oder verwertet werden, dass die darin enthaltenen persistenten organischen Schadstoffe zerstört oder unumkehrbar umgewandelt werden, damit die verbleibenden Abfälle und Freisetzungen nicht die Eigenschaften persistenter organischer Schadstoffe aufweisen.

Dies bedeutet, dass Abfälle mit höheren Gehalten als 50 mg/kg, die dann als gefährliche Abfälle gelten, nicht obertägig abgelagert werden dürfen, sondern vorzugsweise in einer Sonderabfallverbrennungsanlage zu behandeln sind. Als Alternative käme eine untertägige Entsorgung in Frage. Diese Regelung gilt seit 18.06.2015.

Für weitere PFAS existieren im Abfallrecht aktuell noch keine Regelungen.

#### 3.3.1 Entsorgung auf Deponien

**Hinweis: Das Kapitel 3.3.1 und 3.3.2 werden vollständig überarbeitet. Die nachstehenden vorläufigen Änderungen konzentrieren sich auf die Themen DK 0 und Elutionsverfahren.**

Für die Entsorgung auf Deponien gelten die Vorgaben der Deponieverordnung (DepV). Für nicht technisch gedichtete Deponien der DK 0 (zumeist ohne Sickerwasserfassung) kann kein allgemein gültiger Richtwert angegeben werden, da hier die Standortkriterien und der tatsächliche Ausbau der Anlage im Einzelfall zu betrachten sind. Bei Einhaltung der Z 0-Kriterien nach Kapitel 4.2.2 im Eluat gemäß DIN EN 12457-4 mit einem W/F-Verhältnis von 10:1 kann i. d. R. eine Ablagerung auf einer DK 0 Deponie erfolgen. Eine Einzelfallentscheidung ist erforderlich.

Bei Ablagerung auf DK 0 Deponien ohne Sickerwasserfassung sind analog Kapitel 4.2.2 die jeweiligen PFAS an den betroffenen Standorten in das Grundwasser-Überwachungsprogramm aufzunehmen. Als einzuhaltender Vorsorgewert ist der jeweilige Schwellenwert in Tabelle 1 multipliziert mit Faktor 0,75 festzulegen (Auslöseschwellen gem. LfU-Merkblatt 3.6/1).

Bei DK 0 Deponien mit Sickerwasserfassung und Ableitung über einen Abwasserkanal zur Kläranlage oder in den Vorfluter sind die Kriterien nach Kapitel 4.1.4 bzw. 4.1.3 zu prüfen.

#### **DK I und II**

Für die Summe aller nach Kapitel 2 untersuchten PFAS können zur Orientierung für eine mögliche Ablagerung auf abgedichteten Deponien folgende Werte analog DepV, Anhang 3, Tabelle 2 im Eluat gemäß DIN EN 12457-4 mit einem W/F-Verhältnis von 10:1 herangezogen werden:

**DK I  $\leq$  50  $\mu\text{g/l}$**

**DK II  $\leq$  100  $\mu\text{g/l}$**

Die Herstellung des Eluates für die Beurteilung der Zulässigkeit der Ablagerung auf Deponien hat generell gemäß DIN EN 12457-4 mit einem W/F-Verhältnis von 10:1 zu erfolgen.

Da bei einer Ablagerung auf Deponien das Sickerwasser für eine mögliche Verfrachtung von PFAS in die Umwelt von entscheidender Bedeutung ist, können die vorgenannten Werte nur orientierenden Charakter haben. Darüber hinaus muss in jedem Einzelfall die Sickerwasserreinigung hinsichtlich der notwendigen

Schadstoffrückhaltung betrachtet werden. Das in die Vorflut einzuleitende Wasser muss die Anforderungen aus den wasserrechtlichen Vorgaben erfüllen. Hier ist speziell zu prüfen, ob die Behandlung des gefassten Sickerwassers die Kriterien nach Kapitel 4.1.4 dieser Handlungshilfe erfüllt.

Auslöseschwellen sind ggf. dann festzulegen, wenn erhebliche Mengen an PFAS-haltigen Abfällen abgelagert werden. Da PFAS-Parameter nicht in der DepV festgelegt sind, muss dies im Einzelfall durch die jeweils zuständige Behörde festgelegt werden.

Für Material mit hoher Schadstoffbelastung ist zu klären, ob durch eine Vorbehandlung (z. B. thermisch oder Wäsche) eine Verringerung des Schadstoffgehaltes herbeigeführt werden kann. Im Übrigen kann es notwendig werden, eine Monoablagerung mit besonderen Sicherungsmaßnahmen (z. B. Einkapselung im eigentlichen Deponiekörper) zu prüfen. Art und Umfang der Prüfung ist mit den Fach- und Genehmigungsbehörden abzustimmen.

### **3.3.2 Weitere Entsorgungsoptionen**

Sofern eine oberirdische Ablagerung nicht möglich ist, können die Abfälle ggf. im Untertageversatz oder in einer Untertagedeponie entsorgt werden. Grundsätzlich ist jedoch bei hohen organischen Belastungen eine thermische Behandlung zu empfehlen (z. B. Verbrennung in MVA oder SAV der Sonderabfall - Entsorgung Bayern GmbH (GSB)).



## 4 Analytik

### 4.1 Chemische Analytik

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 (PFAS) in Wasser – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) nach Fest-Flüssig-Extraktion“ (März 2011). Untersuchungsstellen/Labore geben Bestimmungsgrenzen in Bodeneluatn meist bei 5 bis 10 ng/l für Einzelverbindungen an, z. T. sind Bestimmungsgrenzen von 1 ng/l erreichbar.

Um das Potenzial von PFAS-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 (PFAS) 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 PFAS-Verbindungen umgewandelt (z. B. PFOS, PFOA). Daher ist es für die Bewertung einer Belastungssituation entscheidend, neben den jeweiligen PFAS-Einzelsubstanzkonzentrationen auch zu bestimmen, welche Maximalkonzentrationen der stabilen PFAS sich aus dem jeweils vorliegenden PFAS-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  $\leq 2$  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. Auch lassen sich die niedrigen Bestimmungsgrenzen der PFAS-Routineanalytik erreichen (i.d.R.  $< 5-10$  ng/l).

Aufgrund der Vielzahl von unbekanntem PFAS-Verbindungen kann die Einzelsubstanzenanalytik 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 PFAS-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<sup>10</sup>. Bei der AOF-Analytik ist jedoch zu berücksichtigen, dass hohe Fluorid-Konzentrationen in der Wasserprobe die 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 PFAS-Verbindungen i. d. R. eine Beurteilung der Belastungssituation zu. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass bei polyfluorierten PFAS auf dem Weg von der Schadstoffquelle zwischenzeitlich eine Transformation zu analytisch nachweisbaren Verbindungen stattgefunden hat. Auch hier kann eine Analyse mittels Summenparameter Sicherheit bringen

## 4.2 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 W/F-Verhältnis von 2:1 anzuwenden.

Weiterhin sind nach DIN 19529:2015-12 die Untersuchungen an feldfrischen oder ggf. 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 z. B. Bodendauerbeobachtungsflächen<sup>11</sup>. Dies ist bei einem Vergleich von Untersuchungsergebnissen zu berücksichtigen. Ein Trocknungsschritt führt daher 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.
- Verzicht auf einen Filtrationsschritt nach der Zentrifugation, da insbesondere für Precursor Filtrationsverluste nachgewiesen wurden. Falls die Proben für eine Direktmessung zu trüb sind, kann gegebenenfalls eine Ultrazentrifugation durchgeführt werden (im Protokoll zu vermerken).
- Bei stark humosen Böden mit > 8 % Humusanteil kann mit einem W/F-Verhältnis von 2:1 die für die Analytik erforderliche Menge an Eluat nicht erreicht werden, da der Boden das Wasser zu stark bindet. Hier kann ein W/F-Verhältnis von 10:1 verwendet werden (im Protokoll zu vermerken).

---

<sup>10</sup> Die Kosten liegen bei ca. 200 EUR für AOF oder EOF und ca. 500 EUR für die Durchführung des TOP-Assays bei Privatlaboren (Abfrage10/2021)

<sup>11</sup> Nach vorläufigen Ergebnissen vergleichender Untersuchungen der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg und des DVGW-Technologiezentrums Wasser erzeugt das Säulenverfahren 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.

Abweichend vom vorstehend beschriebenen Verfahren werden im Bereich des Abfallrechts zur Prüfung einer Deponierbarkeit von Bodenmaterial Eluatuntersuchungen i.d.R. mit einem W/F-Verhältnis von 10:1 nach DIN EN12457-4:2003-1 durchgeführt.

Die chemische Analytik der Eluate/Perkolate erfolgt analog nach DIN 38407-42. Der Mindestumfang der Untersuchungsparameter auf PFAS umfasst die in der Tabelle 1 aufgeführten Stoffe. Die analytische Bestimmungsgrenze der PFAS im Eluat soll  $\leq 10$  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 Gesetzliche Grundlagen<sup>12</sup>

### 5.1 Internationale und Europäische Regelungen

#### Internationales Stockholmer Übereinkommen (POP-Konvention) über persistente organische Schadstoffe

In der Stockholm Konvention werden persistente, organische Schadstoffe (persistent organic pollutants, POP) international reguliert. Durch die Aufnahme von PFOS 2009 in den Anhang B wurden die Vertragspartner verpflichtet, die Herstellung und Verwendung von PFOS in ihrem jeweiligen Hoheitsgebiet zu beschränken. Durch die Aufnahme von PFOA 2019 in den Anhang A, ist die Herstellung, Verwendung, Einfuhr und Ausfuhr seit Juli 2020 einzustellen. 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 demnächst international reguliert.

#### EU POP-Verordnung

Mit der Verordnung 850/2004/EG (EU-POP-Verordnung) wurden die Vorgaben aus der Stockholm-Konvention in europäisches Recht überführt. Diese wurde im Juli 2019 durch die novellierte EU-POP-Verordnung Nr. 2019/1021 ersetzt.

Die Herstellung, Verwendung und das Inverkehrbringen von **PFOS** als solches, in Gemischen oder als Bestandteil 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.

Mit der delegierten Verordnung (EU) 2020/784 wurde die POP-Verordnung (2019/1021) durch Hinzufügung von **PFOA** zu Anhang I im November 2020 ergänzt. Dabei ist jedoch die Verwendung von in der Union vor dem 4. Juli 2020 bereits verwendeten Erzeugnissen, die PFOA, ihre Salze und/oder PFOA-verbundene Verbindungen enthalten, zulässig.

#### Europäisches Chemikalienrecht (REACH-Verordnung)

Mit Veröffentlichung der Richtlinie 2006/122/EG am 27.12.2006 wurde die Verwendung von **PFOS** und ihrer Derivate erheblich eingeschränkt. Diese Beschränkung wurde in die REACH Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) übernommen. Eine Beschränkung unter REACH bedeutet, dass ein Stoff für eine Verwendung oder in einem Erzeugnis oder Gemisch nicht mehr zugelassen ist. Diese Beschränkungen sind in der REACH -Verordnung in Anhang XVII aufgeführt.

Mit Aufnahme von PFOS in die POP-Verordnung 2011 (siehe oben) wurden diese Einträge zu PFOS in der REACH-Verordnung wieder gelöscht, um Doppelregulierungen zu vermeiden.

Durch die Aufnahme in Anhang XVII der REACH-Verordnung (EU) 2017/1000 sind auch für die **PFOA**, ihre Salze und Vorläuferverbindungen eine EU-weite Beschränkung in Kraft getreten. Seit dem 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 (ent-

---

<sup>12</sup> Aus: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Bodenschutz/pfas\\_leitfaden\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Bodenschutz/pfas_leitfaden_bf.pdf)

spricht 25 µg/l) für PFOA und deren Salze sowie 1000 ppb (1000 µg/l) für Vorläuferverbindungen. Feuerlöschschaumgemische - basierend auf PFOA und seinen Vorläuferverbindungen -, die vor dem 04.07.2020 auf dem Markt waren, dürfen fristlos aufgebraucht werden.

Dieser Eintrag wurde ebenfalls – nach Aufnahme der PFOA in die POP-VO – wie zuvor der Eintrag zu PFOS am 15.12.2020 gestrichen, um eine EU-Doppelregulierung zu vermeiden.

Ebenso existiert mittlerweile eine EU-weite Beschränkung für die Herstellung und Verwendung der langkettigen **C9 - C14 PFAS**, die am 25. Februar 2023 in Kraft tritt. Werden diese Stoffe, deren Salze oder Vorläuferverbindungen als Bestandteil eines anderen Stoffes, in einem Gemisch oder Erzeugnis eingesetzt, gelten Grenzwerte von 25 ppb (entspricht 25 µg/l) für die Stoffe und deren Salze sowie 260 ppb (260 µg/l) für Vorläuferverbindungen. Für einzelne Verwendungen bestehen längere Ausnahmefristen bzw. Konzentrationsgrenzen für diese Regelungen.

EU-weite Beschränkungen für die Herstellung und Verwendung von **PFHxA** und **PFAS-haltige Feuerlöschschäume**, sowie eine umfassende Beschränkung der Stoffgruppe der PFAS sind in Vorbereitung.

#### Beschränkungsverfahren der gesamten Stoffgruppe

Bei den PFAS scheint im Weiteren die Beschränkung des Einsatzes der gesamten Stoffgruppe und eine konsequente Ausrichtung auf Ersatzstoffe mit weniger kritischen Umwelteigenschaften notwendig. Die deutschen Chemikalienbehörden (BfR, UBA, BAuA) arbeiten deshalb zusammen mit den Behörden von vier weiteren Staaten (Niederlande, Schweden, Dänemark und Norwegen) an einem europäischen Regulierungsvorschlag unter REACH, der sämtliche andere gesamtgesellschaftlich nicht notwendigen Verwendungen der PFAS regeln soll. Der Vorschlag soll im Jahr 2022 bei der Europäischen Chemikalienagentur ECHA eingereicht und damit das EU- Beschränkungsverfahren formal initiiert werden. Mit einer Entscheidung ist aufgrund des aufwändigen Verfahrens nicht vor dem Jahr 2024 zu rechnen

#### Kandidatenliste für Anhang XIII

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 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 PFAS 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 der EU Chemikalienverordnung (CLP-VO)<sup>13</sup>.

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

<b>Substanz</b>	<b>SVHC-Eigenschaft*</b>	<b>Einstufung in CLP-VO (Anhang VI CLP)</b>
Perfluorooctansäure (PFOA; C8-PFASA) und das Ammoniumsalz APFO	PBT, CMR	Carc. 2 Repr. 1B Lact STOT RE 1 Acute Tox. 4 Eye dam. 1
Perfluornonansäure (PFNA; C9-PFASA) und seine Natrium- und Ammoniumsalze	PBT, CMR	Carc. 2 Repr. 1B Lact. Acute Tox. 4 STOT RE 1 Eye Dam. 1
Nonadecafluorodekansäure (syn. Perfluorodekansäure PFDA; C10-PFASA) und ihre Natrium- und Ammonium-Salze	PBT, CMR	Carc. 2 Repr. 1B Lact.
Henicosafluorundecansäure (syn. Perfluorundecansäure PFUnDA; C11-PFASA)	vPvB	-
Tricosafluordodekansäure (syn. Perfluordodecan, PFDoDA; C12-PFASA)	vPvB	-
Pentacosafuortridekansäure (syn. Perfluortridekansäure, PFTrDA; C13-PFASA)	vPvB	-
Heptacosafuortetradecansäure (syn. Perfluortetradecansäuren, PFTeDA; C14-PFASA)	vPvB	-
Perfluorobutansulfonsäure (PFBS)	vP, sehr mobil	-

<sup>13</sup> CLP Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung (*Classification, Labeling and Packaging*) von Stoffen und Gemischen

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

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 bei PBT- bzw. insbesondere bei vPvB-Stoffen 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.

### EU Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit

Die im Oktober 2020 vorgelegte Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit der Europäischen Kommission beinhaltet u.a. einen PFAS-Aktionsplan. Als konkrete Aktivitäten sind dort eine Beschränkung von Feuerlöschschäumen (in Vorbereitung durch die Europäische Chemikalienagentur) und in anderen Verwendungen, die gesamtgesellschaftlich nicht unabdingbar sind, vorgesehen. PFAS sollen zukünftig in den relevanten Gesetzesbereichen wie Wasser, nachhaltige Produkte, Lebensmittel, Industrieemissionen und Abfall als Stoffgruppe behandelt werden. Ebenso will die Kommission einen EU-weiten Ansatz zur Sanierung von PFAS Kontaminationen entwickeln, sowie finanzielle Unterstützung von Forschungsvorhaben bereitstellen, letzteres auch mit Blick auf die Substitution dieser Stoffe durch umweltverträglichere Stoffe.

### Novellierung der EU-Trinkwasserrichtlinie

Die neue EU-Trinkwasserrichtlinie 2020/2184 vom 16. Dezember 2020 hat die PFAS folgendermaßen aufgenommen: Die Kommission legt bis Anfang 2024 Leitlinien zu Analyseverfahren für die Überwachung der neuen PFAS-Parameter vor. Nachweisgrenzen, Parameterwerte und Häufigkeit der Probenahmen. Die Mitgliedstaaten stellen bis 2026 die Einhaltung der vorgegebenen Werte sicher.

Mindestanforderungen:

- PFAS gesamt: 0,50 µg/l (Gesamtheit der per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen)
- Summe der PFAS: 0,10 µg/l (Summe der 20 in Anhang III Teil B Nummer 3 aufgeführten per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen):
  - o Perfluorbutansäure (PFBA)



- o Perfluorpentansäure (PFPeA)
- o Perfluorhexansäure (PFHxA)
- o Perfluorheptansäure (PFHpA)
- o Perfluoroctansäure (PFOA)
- o Perfluornonansäure (PFNA)
- o Perfluordecansäure (PFDA)
- o Perfluorundecansäure (PFUnDA)
- o Perfluordodecansäure (PFDoDA)
- o Perfluortridecansäure (PFTrDA)
- o Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)
- o Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS)
- o Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)
- o Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)
- o Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)
- o Perfluornonansulfonsäure (PFNS)
- o Perfluordecansulfonsäure (PFDS)
- o Perfluorundecansulfonsäure
- o Perfluordodecansulfonsäure
- o Perfluortridecansulfonsäure

Weiterhin ist geplant die PFAS in die Anhänge der EU Grundwasserrichtlinie aufzunehmen.

### PFAS in Lebensmitteln

Im September 2020 hat die EFSA die finale Stellungnahme zu „PFAS in Lebensmitteln“ vorgelegt: Dabei hat sie sich auf die Auswertung von Literatur (peer-reviewed) konzentriert, die zwischen Januar 2007 und September 2018 veröffentlicht wurde. Im Ergebnis wurde ein Summen-TWI für die vier langkettigen PFAS mit mehrjährigen Halbwertzeiten im Menschen PFOA, PFOS, PFHxS, PFNA in Höhe von 4,4 ng/kg Körpergewicht und Woche nach einem pragmatischen Ansatz festgelegt. Dies stellt noch einmal eine Absenkung der bisherigen TWI dar. Als toxikologisch empfindlichster Endpunkt für alle 4 Stoffe wurde dabei die Immuntoxizität auf Grundlage von Tierversuchen und epidemiologischen Studien herangezogen. Die Expositionsschätzungen der EFSA zu PFAS in Lebensmitteln weisen aufgrund von TWI-Überschreitungen auf gesundheitliche Besorgnis hin.

Die Beratungen zur erstmaligen Festsetzung von Höchstgehalten für die vier Stoffe, für die der Summen-TWI vorliegt, wurden im November 2020 auf EU-Ebene aufgenommen. Im Vordergrund stehen dabei zunächst die Lebensmittelgruppen, die nach der EFSA-Stellungnahme einen nennenswerten Beitrag zur PFAS-Exposition leisten und für die eine ausreichende Datengrundlage vorliegt. In Vorbereitung auf die Festlegung von Höchstgehalten ist aufgrund des nun sehr viel strengeren TWI die Entwicklung von empfindlicheren Analysemethoden für tierische und pflanzliche Lebensmittel notwendig.

Erste Vorschläge zur Festsetzung von PFAS-Höchstgehalten in Lebensmitteln sowie zur Anpassung der EU-Empfehlung 2010/161/EU zur Überwachung von PFAS in Lebensmitteln wurden dazu von der EU-KOM im Juni 2021 den Mitgliedsstaaten mit Gelegenheit zur Stellungnahme vorgelegt.



## 5.2 Bundesweite Regelungen zur Begrenzung von PFAS in der Umwelt

Bundesweit einheitliche Regelungen für diese Stoffklasse gibt es aktuell in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) vom 20.06.2016 (zuletzt geändert 09.12.2020), 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 Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) und Perfluorooctansäure (PFOA) bestimmt.

Für sieben Einzel-PFAS wurden auf humantoxikologischer Basis Geringfügigkeitsschwellenwerte für das Grundwasser sowie Leitwerte für das Trinkwasser abgeleitet. Auf dieser Basis wurden für diese sieben Einzel-PFAS Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser in der novellierten Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung formuliert.

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

## 5.3 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<sub>aquatisch</sub> 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 PFAS kaum anreichern. Effekte treten bei Fischen erst in vergleichsweise hohen Konzentrationen auf, was zu relativ hohen PNEC<sub>aquatisch</sub>-Werten führt. Im Gegensatz dazu reichern terrestrische Top-prädatoren PFOA und andere langkettige PFAS in hohem Maße an. Dies konnte z.B. an Fischottern gezeigt werden. Interessanterweise ist der Mensch bislang der sensibelste Organismus hinsichtlich der Effekte durch PFAS-Kontaminationen. Menschen nehmen PFAS hauptsächlich durch die

Nahrung (z.B. Fisch), Trinkwasser, Luft und Staub auf. Deshalb ist es aus Sicht der menschlichen Gesundheit besonders wichtig, PFAS-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.

## Glossar

ADONA	Ammonium 4,8-Dioxa-3H-Perfluornonanoat
APFO	Ammoniumsalz der Perfluoroktansäure
ECHA	Europäische Chemikalienagentur mit Sitz in Helsinki
FTOH	Fluortelomeralkohol
FTSA	Fluortelomersulfonsäure (= H4PFOS)
GFS	Geringfügigkeitsschwellenwerte, Bewertungsgrundlage der LAWA für Stoffe im Grundwasser
GOW	gesundheitliche Orientierungswerte (für Trinkwasser)
H4PFOS	H4-Polyfluoroktansulfonsäure
LABO	Länderarbeitsgemeinschaft Boden
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LW	Leitwerte (für Trinkwasser)
MNQ	mittlerer Niedrigwasserabfluss eines Gewässers
PBT	Persistent, bioakkumulierend und toxisch
PFAB	Polyfluoralkylbetaine (z. B. PFOS-Ersatz Capstone™)
PFAS	perfluorierte Alkylsulfonate
PFBA	Perfluorbutansäure
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure
PFAS	per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen
PFDA	Perfluordecansäure
PFDoA	Perfluordodecansäure
PFDS	Perfluordekansulfonsäure
PFHpA	Perfluorheptansäure
PFHpS	Perfluorheptansulfonsäure
PFHxA	Perfluorhexansäure
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure
PFNA	Perfluornonansäure
PFOA	Perfluoroktansäure
PFOS	Perfluoroktansulfonsäure
PFOSA	Perfluoroktansulfonamid
PFPeA	Perfluorpentansäure
PFSA	perfluorierte Sulfonsäuren
PFUnA	Perfluorundecansäure
PNEC	Predicted no effect concentration, Konzentration, bei der mit hinreichender Sicherheit keine Effekte mehr auf aquatische Lebewesen zu erwarten sind
POP	Persistent organic Pollutant, persistenter organischer Schadstoff
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (Europäisches Chemikalienrecht)
SVHC	Substances of very high concern (besonders besorgniserregende Stoffe)
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 toxic (Stoffkategorie in REACH)
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie



**Impressum:****Herausgeber:**

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0

Telefax: 0821 9071-5556

E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)

Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

**Bearbeitung:**

Ref. 76.2 mit 31, 36, 68, 76.1, 93, 96 und 103

**Bildnachweis:**

LfU

**Stand:**

Mai 2022

**Postanschrift:**

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
86177 Augsburg

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.