

Verbreitung und Bewertung von PFAS im Grundwasser

GZÜV-Sondermessprogramm 2022



Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft,
Stubenring 1, 1010 Wien

Autorinnen und Autoren: Heike Brielmann, Stefan Weiß, Johannes Grath, Katharina Lenz,
Gernot Döberl, Ingrid Gattringer, Irene Zieritz, Uta Wemhöner

Projektkoordination: Dietmar Krämer, Manfred Clara (BML), Astrid Draxler

Fotonachweis: Cover: © Elisabeth Stadler, Umweltbundesamt
Wien, 2023.

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft und der Autorin / des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin / des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Inhalt

Zusammenfassung	6
1 Einleitung	8
1.1 Definition	8
1.2 Herstellung und Entwicklung	8
1.3 Systematik und Eigenschaften	9
1.3.1 Polymere	10
1.3.2 Nicht-Polymere	10
1.3.3 Lineare und verzweigte Isomere	12
1.3.4 Eigenschaften.....	12
1.4 Umweltverhalten	13
1.5 Quellen und Eintragspfade in das Grundwasser	14
1.5.1 Fluorhaltige Löschsäume	14
1.5.2 Industriestandorte, Altstandorte, Abfallbehandlungsanlagen.....	16
1.5.3 Deponien, Altablagerungen	18
1.5.4 Industrielle und kommunale Abwässer	18
1.5.5 Böden, Klärschlamm, Pflanzenschutzmittel, Düngemittel	19
1.5.6 Ferntransport, atmosphärische Deposition.....	20
1.6 Problematische Stoffeigenschaften.....	21
1.7 Chemikalienrechtliche Beschränkungen	22
1.8 Grundwasserüberwachung.....	24
1.8.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen	24
1.8.2 Bisheriges Monitoring.....	25
2 Ziel	27
3 Material und Methoden	28
3.1 Probenahme	28
3.2 Analytik	28
3.3 Datenaufbereitung und -darstellung	31
3.4 Bewertung und vorläufige Risikobeurteilung	32
4 Ergebnisse	35
4.1 Nachweishäufigkeiten	35
4.1.1 Einfluss des Grundwasserleitertyps.....	39
4.2 Stoffkonzentrationen.....	40
4.2.1 Einzelsubstanzen.....	40
4.2.2 Doppelproben	44

4.2.3	Summenkonzentrationen und Bewertung	45
5	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	52
6	Anhang.....	54
	Tabellenverzeichnis.....	56
	Abbildungsverzeichnis.....	58
	Literaturverzeichnis	59
	Rechtsvorschriften	66
	Abkürzungen.....	70

Zusammenfassung

Auf Basis von GZÜV-Sondermessprogrammen der Jahre 2016/2017 und 2019/2020 wurde im Rahmen des 3. Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans (NGP) ein potenzielles Risiko abgeleitet, dass Grundwasser regional nicht den Anforderungen an Trinkwasser entsprechen könnte. Daraufhin wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML) und der Bundesländer im Jahr 2022 das GZÜV-Sondermessprogramm „PFAS im Grundwasser“ veranlasst und durchgeführt.

Ziel des GZÜV-Sondermessprogramms war die österreichweit flächendeckende Erhebung, Darstellung der Verbreitung und Bewertung von PFAS im Grundwasser. Für die Analyse ausgewählter PFAS (27 Einzelsubstanzen) wurden im Rahmen der regulären GZÜV-Probenahmen im 2. Quartal 2022 österreichweit an insgesamt 1.892 Messstellen Grundwasserproben entnommen. 1.877 Proben stammten aus Messstellen der Überwachung oberflächennaher Grundwasserkörper (Brunnen und Quellen), 15 Proben aus Messstellen zur Überwachung von Tiefengrundwasserkörpern.

Für die Bewertung der Konzentrationen der derzeit in Österreich im Grundwasser nicht geregelten PFAS wurde zum einen der Trinkwasserparameterwert „Summe der PFAS“ von 0,1 µg/l für 20 genannte Substanzen (TWRL; RL (EU) 2020/2184) und zum anderen die im Jahr 2022 zur Aufnahme in den Anhang I der Grundwasserrichtlinie vorgeschlagene Qualitätsnorm von 0,0044 µg/l für die „Summe PFOA-Äquivalente“ herangezogen (EK, 2022a). Der für diese Grenzwerte jeweils zu berücksichtigende Parameterumfang ist unterschiedlich. Für die Bewertung entsprechend der vorgeschlagenen Grundwasserqualitätsnorm lagen Daten zu 19 der im Vorschlag genannten 24 PFAS vor.

An 14 der 1.892 untersuchten Grundwassermessstellen wurde der Parameterwert der TWRL für die „Summe der PFAS“ von 0,1 µg/l überschritten. Das sind 0,74 % aller untersuchten Grundwassermessstellen. Werte in dieser Größenordnung deuten auf erhebliche Einträge von PFAS in den Untergrund hin. Da etliche, insbesondere kurzkettenige, PFAS in Boden und Untergrund sehr mobil sind, können im Umfeld durchaus ausgedehnte Schadstofffahnen im Grundwasser vorliegen, wenn eine entsprechende Durchlässigkeit und Wasserwegigkeit im Untergrund gegeben ist.

An 216 (11,4 %) der Grundwassermessstellen wurde eine Überschreitung der von der EU-Kommission aus Gründen des Gesundheits- und Umweltschutzes vorgeschlagenen Grundwasserqualitätsnorm von 0,0044 µg/l „Summe PFOA-Äquivalente“ festgestellt. In neun Grundwasserkörpern treten diese Überschreitungen gehäuft (>30 % der Messstellen) auf: Klagenfurter Becken [DRA], Marchfeld [DUJ], Linzer Becken [DUJ], Traun- und Zubringertäler [DUJ], Welser Heide [DUJ], Grazer Feld (Graz/Andritz - Wildon) [MUR], Ilz und Rittscheintal [LRR], Safental [LRR] und Südl. Wiener Becken [DUJ]. Im 2. Quartal 2023 erfolgt eine Weiterbeobachtung von PFAS an 370 Messstellen, die auf Grundlage der Messergebnisse ausgewählt wurden.

Die Notwendigkeit der Festlegung eines Grundwasserschwellenwertes für PFAS in der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser ist auf Basis der Ergebnisse des flächendeckenden GZÜV-Sondermessprogramms zu PFAS zu prüfen.

Die Untersuchungsergebnisse dienen zudem als wichtige Grundlagendaten für die Untersuchung von Flächen gemäß §13 Altlastensanierungsgesetz (ALSAG, BGBl. Nr. 299/1989 idgF) und die Planung von Schwerpunktaktionen für Trinkwasseruntersuchungen. Die Daten sind als Umweltinformationen (UIG BGBl., Nr. 495/1993 idgF) öffentlich über die H2O-Fachdatenbank des Wasser Informationssystems Austria (WISA) abrufbar.

Die Qualitätssicherung der Messungen erfolgte insbesondere im Hinblick auf mögliche Probenahmeeffekte durch Doppelproben und Blindwerte. Systematische Probenahmeeffekte mit Einfluss auf die Größenordnung der an den Grundwassermessstellen festgestellten PFAS-Summenkonzentrationen können ausgeschlossen werden. Auch die mit Reinstwasser erhobenen Blindwerte der Probenahmeequipments zeigen keine Probenahmeeffekte und sind frei von PFAS.

1 Einleitung

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) ist die Bezeichnung für eine große Gruppe künstlich hergestellter (synthetischer) organischer Fluorverbindungen, die für ihre Langlebigkeit in der Umwelt und potenziell schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit bekannt sind. PFAS kommen häufig und verbreitet in Verbraucherprodukten und industriellen Anwendungen vor. In der aquatischen Umwelt werden Spuren von PFAS verbreitet nachgewiesen. Im Zusammenhang mit spezifischen Risikofaktoren sind in den letzten Jahren lokale Belastungen von Grundwasser mit PFAS in Österreich festgestellt worden.

1.1 Definition

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) sind synthetische organische Fluorverbindungen, bei denen die Wasserstoffatome vollständig (**perfluoriert**) oder teilweise (**polyfluoriert**) durch Fluoratome ersetzt sind (Buck et al., 2011). Gemeinsames Strukturmerkmal ist das Aufweisen zumindest einer vollständig fluorierten Methyl- oder Methylengruppe (siehe Definition der OECD (2021)).

Definition (OECD, 2021)

PFAS sind fluorierte Stoffe, die mindestens ein vollständig fluoriertes Methyl (CF_3^-) oder Methylen ($-\text{CF}_2^-$) Kohlenstoffatom (ohne daran gebundene H/Cl/Br/I-Atome) enthalten.

1.2 Herstellung und Entwicklung

Natürlich vorkommende fluororganische Verbindungen sind extrem selten (Kirsch, 2013). Die industrielle Entwicklung und Herstellung fluororganischer Stoffe begann in den 1930er und 1940er Jahren mit der Entwicklung und Herstellung von fluorhaltigen Kältemitteln (Halonen) und der eher zufälligen Entdeckung des **Kunststoffes Polytetrafluorethylen (PTFE)**. PTFE ist ein Fluorpolymer, das aufgrund seiner einzigartigen Stoffeigenschaften (siehe Box) breite Verwendung findet. Es wird z. B. als Grundstoff für beschichtetes Kochgeschirr

(z. B. Teflon™) oder beschichtete, wasserundurchlässige Outdoorbekleidung (z. B. Gore-Tex™) verwendet.

Eigenschaften von Polytetrafluorethylen (PTFE)

- hitze-, licht- und witterungsbeständig, unbrennbar
- beständig gegen Laugen, Alkohole, Ketone, Benzine, Öle, organische und mineralische Säuren
- elektrische Isoliereigenschaften

In den 1950er Jahren begann zudem die Entwicklung und industrielle Herstellung fluororganischer Arzneimittel und Pestizide. Heute umfasst die Verwendung fluororganischer Substanzen mehr als 200 verschiedene Anwendungsbereiche in fast allen industriellen Branchen und in vielen Konsumgütern (ECHA, 2023a; Glüge et al., 2020).

1.3 Systematik und Eigenschaften

Anfang des Jahres 2023 wurden von etwa 114 Millionen – aufgrund von wissenschaftlichen Publikationen oder Patenten – erfassten chemischen Verbindungen (PubChem¹) mehr als 7 Millionen Substanzen als PFAS entsprechend Definition der OECD (2021, s. Kapitel 1.1) identifiziert (Schymanski et al., 2023). Davon finden nach derzeitigem Kenntnisstand einige tausend PFAS Verwendung am Weltmarkt (OECD, 2018). In Umweltproben, kommerziellen Produkten und Proben aus dem Humanbiomonitoring wurden weltweit bisher etwa 840 verschiedene PFAS schon einmal nachgewiesen (Joerss et al., 2023; Liu et al., 2019). In der geographischen Verteilung der Nachweise gibt es dabei vor allem Häufungen um entsprechende Produktionsstandorte. Als kommerziell relevant gelten derzeit einige hundert PFAS (Buck et al., 2021).

PFAS werden hinsichtlich ihrer chemischen Struktur in **polymere** und **nicht-polymere** Verbindungen unterschieden.

¹ [PubChem \(nih.gov\)](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/)

1.3.1 Polymere

Polymere PFAS, wie z. B. **Fluorpolymere**, sind Makromoleküle mit Kohlenstoff-Fluor-Bindungen und hohen Molekulargewichten. Der eingangs erwähnte Kunststoff Polytetrafluorethylen (PTFE) ist ein Fluorpolymer. Produkte aus polymeren PFAS werden als gering bedenklich diskutiert (Henry et al., 2018). Allerdings geht ihre Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung mit der umfangreichen Freisetzung besorgniserregender und langlebiger (persistenter) **nicht-polymerer** PFAS einher, weswegen Polymere ebenfalls Bestandteil des aktuellen Beschränkungsvorschlags für PFAS im europäischen Chemikalienrecht unter REACH (Verordnung (EG) Nr. 1907/2006) sind (ECHA, 2023a).

1.3.2 Nicht-Polymere

Nicht-polymere PFAS umfassen perfluorierte und polyfluorierte Alkylverbindungen, bei welchen die Wasserstoffatome vollständig (perfluoriert) oder teilweise (polyfluoriert) durch Fluoratome ersetzt sind (Buck et al., 2011). Eine Untergruppe der perfluorierten Alkylverbindungen sind die **Perfluoralkylsäuren (PFAAs)**.

1.3.2.1 Perfluoralkylsäuren (PFAAs)

Häufigste Untergruppen und Leitsubstanzen von PFAAs sind:

- **Perfluorcarbonsäuren (PFCAs)**, z. B. **Perfluoroktansäure (PFOA, C8)** und
- **Perfluorsulfonsäuren (PFSA)**, z. B. **Perfluoroktansulfonsäure (PFOS, C8)**.

PFOA und PFOS sowie weitere Vertreter dieser Stoffgruppen wurden in den vergangenen Jahrzehnten weltweit am häufigsten hergestellt, verwendet, in Umwelt- und Humanproben detektiert und durch gesetzliche Vorgaben reguliert. In der Umwelt sind PFAAs schwer abbaubar (**persistent**).

PFOA wurde vor allem als Zusatzstoff in der Fluorpolymerherstellung verwendet oder bei deren Herstellung freigesetzt. PFOS (wie auch PFOA) waren häufiger Bestandteil von wasserfilmbildenden Löschschäumen (AFFF, engl. *aqueous film forming foam*) zur Bekämpfung von Flüssigkeitsbränden (Öl, Benzin). Ihre Verwendung ist mittlerweile verboten (PFOS) bzw. stark eingeschränkt (PFOA) (siehe Kapitel 1.7).

PFCA's und PFSA's werden häufig nach der Länge ihrer perfluorierten Kohlenstoffkette in kurz- und langkettige Verbindungen unterteilt (OECD, 2018), da die Kettenlänge neben anderen Faktoren Einfluss auf das Umweltverhalten, die Toxizität und Bioakkumulation der jeweiligen Verbindungen hat:

- kurzkettige Perfluorcarbonsäuren (<7 perfluorierte Kohlenstoffatome),
- kurzkettige Perfluorsulfonsäuren (<6 perfluorierte Kohlenstoffatome),
- langkettige Perfluorcarbonsäuren (≥7 perfluorierte Kohlenstoffatome),
- langkettige Perfluorsulfonsäuren (≥6 perfluorierte Kohlenstoffatome).

1.3.2.2 Polyfluorierte Alkylverbindungen

Polyfluorierte Alkylverbindungen, wie die z. B. in Löschschäumen eingesetzten **Fluortelomersulfonsäuren (FTSAs)**, werden im Zusammenhang mit PFAS häufig als *Vorläuferverbindungen* (engl. *precursors*) bezeichnet. Sie werden früher oder später zu langlebigen perfluorierten Verbindungen abgebaut (Buck et al., 2011; Cousins et al., 2022; ECHA, 2023a) und können deshalb mit zeitlicher Verzögerung auch lange nach ihrer Verwendung in die Umwelt gelangen. Ein großer Anteil bekannter PFAS sind solche Vorläuferverbindungen (ca. 90 % der im Jahr 2018 von der OECD genannten 4.700 PFAS).

1.3.2.3 Per- und polyfluorierte Alkylethercarbon- und sulfonsäuren

Per- und polyfluorierte Alkylethercarbonsäuren (PFECAs) wurden entwickelt, um PFOA nach der Beschränkung ihrer Inverkehrbringung im Jahr 2020 (ChemG 1996, BGBl. I Nr. 53/1997; POP-V, Verordnung (EU) 2019/1021) als Hilfsstoff bei der Herstellung von PTFE zu ersetzen. **GenX** (Hexafluorpropylenoxid-Dimersäure, HFPO-DA) und ADONA (Ammoniumsalz der Perfluor-4,8-dioxa-3H-nonansäure (**DONA**)) sind entsprechende PFOA-Ersatzstoffe. ADONA wird unter anderem im Chemiepark Gendorf im Landkreis Altötting (D, Bayern) produziert, wo es auch entwickelt wurde und in Restmengen über das gereinigte Abwasser in die Alz gelangt, welche dem Inn und in weiterer Folge der Donau zufließt².

² [Einführung des PFOA-Ersatzstoffes ADONA - LfU Bayern](#)

Ein weiterer – für PFOS entwickelter – Ersatzstoff in Form einer polyfluorierten Alkyl-ethersulfonsäure ist 9-Chlorhexadecafluor-3-oxanon-sulfonsäure (6:2 Cl-PFESA), auch bekannt als **F-53B**.

1.3.3 Lineare und verzweigte Isomere

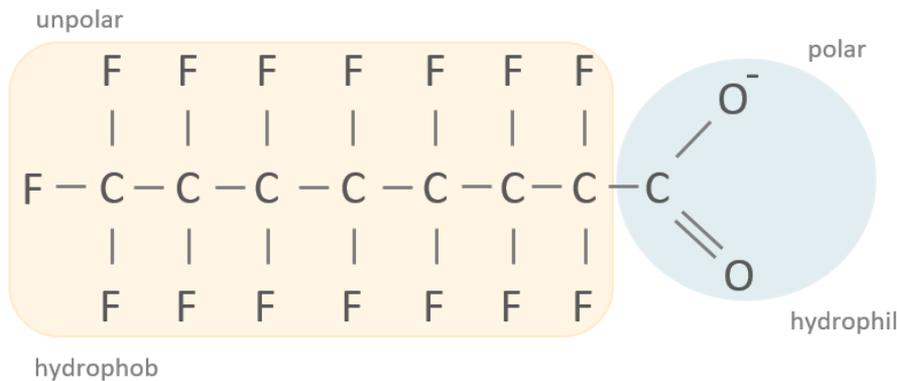
PFAS werden verfahrenstechnisch entweder durch **Fuortelomerisierung** oder mittels **elektrochemischer Fluorierung** hergestellt. Je nach Herstellungsprozess liegen PFAS in Umweltproben deshalb als Mischungen **linearer** oder **verzweigter Isomere** vor, d. h. die räumliche Struktur der PFAS-Verbindungen unterscheidet sich. So kann beispielsweise PFOS in Form linearer oder verzweigter Isomere in einer Umweltprobe vorkommen (Niegowska et al., 2021).

Im Verfahren der **elektrochemischen Fluorierung** entstehen in der Regel Mischungen linearer und verzweigter Isomere, der Herstellungsprozess der **Fuortelomerisierung** resultiert überwiegend in linearen Verbindungen. Die Mischungszusammensetzung hat Auswirkungen auf das Umweltverhalten und kann unter Umständen Hinweise auf die Eintragsquelle geben.

1.3.4 Eigenschaften

Fluor besitzt von allen Atomen im Periodensystem der Elemente die höchste Elektronegativität und bildet mit Kohlenstoff eine der stabilsten Bindungen der organischen Chemie. Je höher die Elektronegativität, desto stärker zieht ein Atom die Elektronen einer Bindung an sich. Die Elektronenpackung des Fluors wirkt als Schutzschild gegen thermische, chemische, photolytische und biologische Einflüsse und führt zur extremen Langlebigkeit vieler PFAS oder ihrer Abbauprodukte (Gasser et al., 2021). Viele PFAS wirken aufgrund ihres Molekülaufbaus (hydrophober und hydrophiler Anteil, Abbildung 1) als Tensid (oberflächenaktiv) und gleichzeitig lipophob (öl-, fett- und schmutzabweisend).

Abbildung 1: Tensidstruktur von PFAS.



Quelle: verändert nach Gasser et al. (2021); Umweltbundesamt (2020)

Die Stoffgruppe PFAS umfasst insgesamt Substanzen mit **sehr unterschiedlichen** physikalischen und chemischen Eigenschaften. Die unterschiedlichen Kettenlängen, Fluorierungsgrade und funktionellen Gruppen wirken sich sowohl auf das jeweilige Umweltverhalten als auch die Toxizität der einzelnen Substanzen aus (ECHA, 2023a).

Das gemeinsame Merkmal dieser Stoffgruppe ist jedoch die **extreme Langlebigkeit (Persistenz)** sowohl der jeweiligen Verbindung als auch ihrer Abbauprodukte und damit die Gefahr einer zunehmenden Anreicherung in Mensch und Umwelt. Diese Persistenz ist auch Hauptbedenken und Hauptargument für einen aktuellen Vorschlag zur Beschränkung der Stoffgruppe PFAS im europäischen Chemikalienrecht unter REACH (Verordnung (EG) Nr. 1907/2006).

1.4 Umweltverhalten

Das Umweltverhalten von PFAS – speziell das Verhalten in der ungesättigten und gesättigten Zone – wird zum einen von den **Stoffeigenschaften** der jeweiligen PFAS-Verbindung, zum anderen von den **Standorteigenschaften** beeinflusst. Kettenlänge, Grad der Fluorierung, Art der funktionellen Gruppe und Ionenzustand von PFAS haben großen Einfluss auf deren Ausbreitung und Transformation in der Umwelt. In Bezug auf die Bodeneigenschaften sind vor allem die Mächtigkeit der Bodendecke und der ungesättigten Zone, Durchlässigkeiten, Redoxstatus, der Gehalt an organischem Material und Grundwasserneubildungsraten von Bedeutung für das Umweltverhalten von PFAS.

Einträge von PFAS können zu langen Schadstoffbahnen führen, entlang derer sich PFAS v. a. in Abhängigkeit von ihrer Kettenlänge unterschiedlich verbreiten. Im Allgemeinen werden **kurzkettige und verzweigte PFAS** wegen ihrer guten Wasserlöslichkeit rascher transportiert, sie sind **mobiler** in der aquatischen Umwelt als **längerkettige und lineare** PFAS. Kurzkettige PFAS sind außerdem flüchtiger (volatiler).

Die Tendenz zur Adsorption an (Boden- oder Sediment-) Oberflächen nimmt mit steigender Kettenlänge zu, unterscheidet sich aber auch zwischen verzweigten und linearen Isomeren und in Abhängigkeit von der funktionalen Gruppe (Gasser et al., 2021). Die Tensidwirkung und Neigung zur Schaumbildung steigt mit Zunahme der Kohlenstoff-Kettenlänge. Insbesondere längerkettige Verbindungen können sich deshalb an der Luft-Wasser-Grenzfläche in der ungesättigten Zone anreichern.

Viele, insbesondere langkettige PFAAs weisen sehr besorgniserregende Eigenschaften auf (*substances of very high concern* = SVHC unter REACH). Langkettige PFAS, insbesondere PFAAs sind langlebig (=persistent) und können über weite Entfernungen verbreitet werden. Zudem sind sie bioakkumulierend, das heißt, sie reichern sich in Mensch und Tier durch Aufnahme über die Nahrungskette an und wirken sich substanzabhängig negativ auf die menschliche Gesundheit und den Zustand der Umwelt aus (siehe Kapitel 1.6).

1.5 Quellen und Eintragspfade in das Grundwasser

Nachfolgend werden die in Bezug auf einen potenziellen Eintrag von PFAS in das Grundwasser besonders relevanten Quellen und Eintragspfade näher erläutert.

1.5.1 Fluorhaltige Löschschäume

Flüssigkeitsbrände mit Öl und Benzin (Brandklasse B) werden seit den 1960er Jahren mit wasserfilmbildenden Schaummitteln (z. B. *aqueous film forming foam* = AFFF u. a.³) gelöscht. Diese enthalten bzw. enthielten in der Regel PFAS, vor allem PFOS, PFOA und PFHxA. Standorte, an denen langjährig oder in großen Mengen PFAS-haltige wasserfilmbildende

³ film-forming fluoroprotein foam (FFFP), alcohol-resistant film-forming fluoroprotein foam (AR-FFFP), alcohol-resistant aqueous film-forming foam (AR-AFFF), fluoroprotein foam (FP), alcohol-resistant fluoroprotein foam (FPAR)

Löschsäume (auch zu Übungszwecken) eingesetzt wurden, wie z. B. an Feuerwehrübungsplätzen, Flughäfen, Militärstützpunkten, bei Werksfeuerwehren (Raffinerien, Tanklager, chemische Industrie, Kunststoffverarbeiter, Reifenhersteller) und Großbrandstandorten weisen deshalb ein hohes Risiko für den unmittelbaren Eintrag von PFAS in den Boden, die ungesättigte Zone oder das Grundwasser auf.

PFAS-haltige schaubildende Löschsäume haben EU-weit immer wieder zu Verunreinigungen von Grund- und Trinkwasser mit PFAS geführt. In Österreich kam es beispielsweise in einem für Feuerlöschübungen genutzten Teil des Salzburger Flughafens durch jahrzehntelange Verwendung von Löschsäumen zu einer erheblichen Kontamination des Untergrundes und des Grundwassers mit PFAS und in der Folge zur Ausweisung einer Altlast entsprechend §14 ALSAG (Altlast S23: Flughafen Salzburg – Feuerlöschübungsgelände).

Weitere Untersuchungsprogramme gemäß §13 ALSAG hinsichtlich potenzieller PFAS-Verunreinigungen durch Feuerlöschübungsplätze an zivilen und Militärflughäfen sind bereits abgeschlossen (Voruntersuchung Innsbruck), aktuell in Durchführung (Wien, Linz) oder zu erstellen (Graz, Klagenfurt) (BMK, 2023a). Weiters laufen Pilotprogramme für die systematische Erfassung von Feuerlöschübungsplätzen (BMK, 2023a). Auch die Untersuchung von Altstandorten im Zusammenhang mit Raffinerien und großen Tanklagern wird wegen der erhöhten Wahrscheinlichkeit eines PFAS-Eintrages in die Umwelt als wichtige kurzfristige Maßnahme gesehen (BMK, 2023a).

Durch chemikalienrechtliche Vorgaben wird die Inverkehrbringung von PFAS-haltigen Löschsäumen zunehmend eingeschränkt oder vermindert. Fluorhaltige Schaummittel mit **PFOS** über einer Konzentration von 0,005 Masseprozent dürfen in Österreich seit 2008 (wenn sie vor 2006 in Verkehr gebracht wurden seit 2011) nicht mehr verwendet werden (Chem-VerbotsV, BGBl. II Nr. 477/2003 idgF).

Die Verwendung von **PFOA**, ihrer Salze und von PFOA-verwandten Verbindungen in Feuerlöschsäumen wird durch die Änderungsverordnung (EU) 2020/784 zur POP-Verordnung über persistente organische Schadstoffe geregelt und in Österreich durch das Chemikaliengesetz umgesetzt. PFOA und ihre Vorläuferstoffe dürfen nach dem 4. Juli 2020 im Rechtsgebiet der EU weder hergestellt noch in Verkehr gebracht werden. Gemische oder Erzeugnisse dürfen ab diesem Datum höchstens 25 µg/kg PFOA bzw. insgesamt höchstens 1 mg/kg aller Vorläuferstoffe enthalten.

Schaumlöschmittel, die vor dem 4. Juli 2020 bereits in Verkehr waren, durften – wenn sie die PFOA-Grenzwerte überschreiten – nur noch bis 1. Januar 2023 für den Einsatz weiterverwendet werden. PFOA-haltige Löschsäume dürfen für die Brandklasse B mit einer Übergangsfrist bis 4. Juli 2025 noch eingesetzt werden, wenn sie bereits in mobile oder ortsfeste Systeme eingefüllt sind und das Löschwasser am Ort der Verwendung vollständig aufgefangen werden kann. Ein Vorschlag zur Beschränkung von fluorhaltigen Feuerlöschsäumen unter REACH wird derzeit bei der ECHA bewertet (ECHA, 2023b) (vgl. Kapitel 1.7).

1.5.2 Industriestandorte, Altstandorte, Abfallbehandlungsanlagen

Weitere potenzielle Quellen von PFAS-Emissionen in die aquatische Umwelt und das Grundwasser sind Industriestandorte, an denen PFAS (z. B. in Form von Fluorpolymerkunststoffen) entweder selbst hergestellt, im Herstellungsprozess verwendet (z. B. Galvaniken) oder in Form von Abfällen entsorgt, behandelt und verwertet wurden oder werden.

Vorgaben zur Vermeidung und Verminderung von Schadstoffemissionen aus Industrieanlagen in Luft, Wasser und Boden und zur Abfallvermeidung sind durch die Industrieemissionsrichtlinie (IE-RL, Richtlinie 2010/75/EU) und branchenspezifische BVT^{4,5}-Schlussfolgerungen festgelegt. Die besten verfügbaren Techniken (BVT) können mit Emissionswerten assoziiert sein (BAT-AEL). Derzeit gibt es keine sektorspezifischen BAT-AEL für PFAS. Im Textilbereich sind PFAS allerdings im Abwasser zu untersuchen⁶. Die IE-RL verpflichtet zudem Betreiber von IPPC-Anlagen, in denen *relevante gefährliche Stoffe* verwendet, erzeugt oder freigesetzt werden, einen Bericht zu erstellen, in dem der Ausgangszustand von Boden und Grundwasser auf dem Gelände der Anlage quantifiziert wird⁷.

Punktuell können PFAS an entsprechenden Standorten oder in deren Umfeld durch industrielle Abwässer, Ablagerung von Abfällen oder die unbeabsichtigte Freisetzung bei Undichtigkeiten und Leckagen in Boden, Grund- und Oberflächengewässer gelangen. PFAS können bei ihrer Herstellung und potenziell – in Abhängigkeit von technischer Ausstattung und Verbrennungstemperatur – möglicherweise auch bei der (Müll-)Verbrennung in die Luft ent-

⁴ BVT...Beste Verfügbare Technik (engl. BAT – best available techniques)

⁵ [BAT reference documents | Eippcb \(europa.eu\)](#)

⁶ [BVT-Schlussfolgerungen Textilindustrie](#)

⁷ [Leitfaden zum Bericht über den Ausgangszustand](#)

weichen und über versickernden Niederschlag **diffus** in das Grundwasser eingetragen werden. Die Bedeutung dieses Eintragspfades ist derzeit nicht vollständig geklärt (siehe z. B. Aleksandrov et al., 2019; Longendyke et al., 2022).

Als relevante Branchen und Standorte in Bezug auf potenzielle PFAS-Emissionen gelten insbesondere:

- Galvaniken (z. B. elektrochemische Verchromung von Werkstücken aus Metall oder Kunststoff),
- Herstellung und Veredlung von Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren (inkl. Wäscherei und chemische Reinigung),
- Herstellung von Produkten aus Papier und Karton (beschichtete Papiere, Lebensmittelkontaktpapiere),
- Chemische Industrie (Herstellung von Fluorpolymeren, Bioziden, Löschschäumen, Tensiden, Tenside in der Erdölförderung, Zusatzstoffe für Lithiumbatterien, Imprägniermittel, Hochleistungshydraulikflüssigkeiten u. a.),
- Herstellung von Reinigungsmitteln, Kosmetika,
- Herstellung von Farben, Lacken und Skiwachsen,
- Halbleiterindustrie (Herstellung von elektronischen Platinen),
- Fotoindustrie (Filme, Fotopapiere und Fotoplatten),
- Bauindustrie (v. a. Beschichtungen von Oberflächen z. B. von Dächern, Zement etc.),
- Herstellung von Kabeln und Leitungen.

In Bezug auf das Risiko möglicher (früherer) Emissionen an entsprechenden **Altstandorten** ist auch von Bedeutung, ob es sich bei den PFAS im jeweiligen Herstellungs- oder Verwendungsprozess um polymere oder nicht-polymere Verbindungen handelt (siehe Kapitel 1.3). Im Rahmen der Vollziehung des Altlastensanierungsgesetzes sollen zukünftig Altstandorte mit Fluorpolymerproduktion und Galvankbetriebe in Bezug auf PFAS prioritär untersucht werden (BMK, 2023a).

Abfallbehandlungs- und verbrennungsanlagen sind ebenfalls Standorte an denen potenziell verfahrensabhängig punktuelle (über Sickerwasser) oder diffuse (über die Luft) Emissionen von PFAS in die Umwelt eintreten können (Berg et al., 2022; Liu et al., 2023) (vgl. auch Kapitel 1.5.4). Emissionen aus Abfallbehandlungsanlagen werden generell über die Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der physikalisch-chemischen oder biologischen Abfallbehandlung (AEV Abfallbehandlung, BGBl. II Nr. 9/199 idgF) begrenzt (vgl. Kapitel 1.5.4). Diese enthält keine Vorgaben hinsichtlich PFAS.

1.5.3 Deponien, Altablagerungen

Wegen der vielseitigen Anwendungsbereiche von PFAS (ECHA 2023a; Glüge et al., 2020) ist auch am Ende des Lebenszyklus entsprechender Produkte bei der Ablagerung von Abfällen auf Deponien mit einem potenziellen Auftreten von PFAS im Sickerwasser zu rechnen (Solo-Gabriele et al., 2020). In Österreich wurde in allen neun im Jahr 2015 untersuchten Deponien PFOS im Deponiesickerwasser nachgewiesen. Die Konzentrationen lagen zwischen 0,019 µg/l und 0,84 µg/l (BMLFUW, 2016). Im Sickerwasser von drei Vorarlberger Hausmülldeponien, auf denen auch industrielle und gewerbliche Abfälle abgelagert wurden, waren PFOA-Konzentrationen von 0,36 µg/l bis 4,5 µg/l nachzuweisen. Die PFOS-Konzentrationen lagen zwischen 0,13 µg/l und 0,48 µg/l. Der maximale PFHxA-Gehalt betrug 5,6 µg/l (Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2021).

Je nach Deponietyp (Bodenaushub, Reststoff, Massenabfall (Hausmüll) etc.), Art und Zeitpunkt der abgelagerten Abfälle, Grad der Sicherung bzw. Sanierung von Deponie-Altlasten und der Behandlung oder Ableitung von Sickerwasser ist mit einer unterschiedlichen PFAS-Belastung des Sickerwassers zu rechnen. Deponiesickerwässer können in der Folge zum Eintrag von PFAS in Kläranlagen und Klärschlämme führen oder bei ungesicherten Ablagerungen direkt in die ungesättigte Zone und das Grundwasser versickern. Emissionen aus Deponien werden entweder über die Verordnung über die Begrenzung von Sickerwasseremissionen aus Abfalldeponien (AEV Deponiesickerwasser, BGBl Nr. 263/2003 idgF) oder die Allgemeine Abwasseremissionsverordnung (AAEV, BGBl. Nr. 186/1996 idgF) begrenzt. Diese enthalten keine Vorgaben hinsichtlich PFAS.

1.5.4 Industrielle und kommunale Abwässer

PFAS werden in Kläranlagen unvollständig zurückgehalten (Lenka et al. 2021) und gelangen deshalb punktuell durch betriebliche und kommunale Einleitungen in Oberflächengewässer, welche lokal über die hyporheische Zone im Austausch mit Grundwasser stehen können. Insbesondere Abwässer aus der Galvanik sowie aus der Textil- und Papierherstellung stellen ein potenzielles Eintragsrisiko von PFAS in Oberflächengewässer dar (Clara et al., 2008; BMNT, 2019; Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2021). Bei geringer Verdünnung durch niedrige Abflüsse weisen einige Fließgewässer aufgrund der Einleitung gereinigter kommunaler Abwässer eine entsprechende PFAS-Grundlast auf (BMNT 2019). Arzneimittel können dabei signifikante Quellen für eine Belastung von kommunalen Abwässern mit PFAS und anderen organischen Fluorchemikalien (Nicht-PFAS) darstellen (Spaan et al., 2023).

PFOS-Emissionen in Oberflächengewässer oder in öffentliche Kanalisationen von ausgewählten großen industriellen Einleitern (z. B. Oberflächenbehandlungsanlagen, Abfallbehandlungsanlagen, Deponien) sind laut Emissionsregisterverordnung (EmRegV-OW 2017, BGBl. II Nr. 207/2017 idgF) mit einer Mindestbestimmungsgrenze von 0,001 µg/l zu messen und im Emissionsregister zu erfassen. Die Messungen werden ab 2023 durchgeführt und liegen ab 2024 im Emissionsregister Oberflächenwasserkörper (EMREG-OW) vor. Auch die Emissionen aus kommunalen Kläranlagen mit einem Bemessungswert >10.000 Einwohnerwerten (EW) sind ab 2023 zu messen und ab 2024 einzumelden.

Der chemische Zustand von Oberflächengewässern wird auf Basis von Umweltqualitätsnormen für prioritäre und acht andere Stoffe bewertet. PFOS und PFOS-Derivate sind seit 2013 als prioritär gefährliche Stoffe unter der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000/60/EG) und der Umweltqualitätsnormenrichtlinie (UQN-RL, 2008/105/EG) gelistet. Die Biota-UQN von 9,1 µg PFOS/kg Feuchtgewicht ist in Fischen zu überwachen. Der 3. Nationale Gewässerbewirtschaftungsplan (BMLRT, 2022) zeigte, dass Emissionen von industriellen Einleitern und kommunalen Kläranlagen zur Verfehlung des guten chemischen Zustands im Oberflächengewässer beitragen und dass eine Verbesserung der Datenlage hinsichtlich der Emissionen aus Punktquellen erforderlich ist. Verpflichtende Messungen von PFOS wurden daher in der Emissionsregisterverordnung für ausgewählte industrielle Einleiter und kommunale Kläranlagen vorgesehen. Aktuell schlägt die Europäische Kommission analog zu Grundwasser eine Jahresdurchschnitt-UQN von 0,0044 µg/l Summe von 24 PFAS (ausgedrückt als „Summe PFOA-Äquivalente“) in Oberflächengewässern und 0,0044 µg/kg Nassgewicht in Biota vor (EK, 2022a).

1.5.5 Böden, Klärschlamm, Pflanzenschutzmittel, Düngemittel

Böden weisen durch die atmosphärische Deposition häufig Hintergrundbelastungen mit PFAS auf (Brusseau et al., 2020). Lokal oder regional können höhere Belastungen im Boden auftreten (Amt der Vorarlberger Landesregierung 2016, 2021) und Grundwasserkonzentrationen deutlich überschreiten (Johnson, 2022).

Hierbei können Beaufschlagungen mit Klärschlammkompost einen Risikofaktor darstellen und zu diffusen Einträgen von PFAS in Böden und Grundwasser beitragen (Umweltbundesamt, 2022). Der Grad der Belastung von Klärschlämmen variiert in Abhängigkeit der Anteile

kommunaler und industrieller Abwässer an einer Kläranlage, der Branche industrieller Indirekteinleiter, der Größe des Einzugsgebietes und auch saisonal (Fredriksson et al., 2022; Johnson, 2022).

In Österreich werden rund 21 % des Klärschlammes aus kommunalen Kläranlagen auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht (BMK, 2023b). Die Nutzung von Klärschlämmen auf landwirtschaftlichen Flächen wird durch die Bodenschutzgesetze, Klärschlamm- und Kompostverordnungen der Bundesländer geregelt. Der Umgang mit Klärschlamm reicht dabei von Aufbringungsverboten für unbehandelten Klärschlamm (Wien, Tirol, Salzburg) bis hin zur Nutzung nach Eignungsüberprüfungen. In Vorarlberg ist die Verwendung von Klärschlamm soweit eingeschränkt, dass nur kompostierter Klärschlamm als Qualitätsklärschlammkompost unter Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte in der Landwirtschaft verwendet werden darf (Vorarlberger Gesetz zum Schutz der Bodenqualität, LGBl. Nr. 26/2018). Grenzwerte zur Beurteilung von PFAS in Klärschlammkompost- und Bodenproben liegen derzeit nicht vor.

Neben der Aufbringung von Klärschlamm kann auch der Einsatz von fluorierten Pflanzenschutz- und Düngemitteln auf landwirtschaftlichen Flächen zu einer diffusen Belastung von Böden mit PFAS und in der Folge zu einer potenziellen Verlagerung von PFAS in das Grundwasser führen. Gegenwärtig wird auf Basis internationaler Datenbanken davon ausgegangen, dass etwa 16 % aller Pestizide fluoriert sind. Von diesen enthalten etwa 42 % eine Methylgruppe und entsprechen damit der PFAS-Definition (Ogawa et al., 2020).

PFAS-haltige Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln, Biozidprodukten und Human- sowie Tierarzneimitteln sind im aktuellen Beschränkungsvorschlag unter REACH (ECHA, 2023a) ausgenommen. Für diese Anwendungsbereiche soll im Rahmen von sektorspezifischen Regelungen geprüft werden, ob der Eintrag von PFAS in die Umwelt ebenfalls minimiert werden kann (ECHA, 2023a).

1.5.6 Ferntransport, atmosphärische Deposition

PFAS können bei industriellen Herstellungsprozessen (z. B. Fluorpolymerherstellung) sowie aus Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen mit fluorhaltigen Kältemitteln gasförmig in die Luft freigesetzt und diffus über die atmosphärische Deposition in die aquatische Umwelt gelangen. Die sogenannten *Fluorierten Gase (F-Gase)* aus Anlagen zur Heizung, Lüftung und Klimatisierung (HLK) sind häufig auch PFAS und zudem effektive Treibhausgase (bis zu etwa

23.500-mal wirksamer als Kohlendioxid). Über den versickernden Niederschlag können so PFAS aus der Luft ins Grundwasser und in ansonsten naturnahe, abgelegene Gebiete (z. B. Bergregionen) gelangen. Dies trifft insbesondere für sehr kurzkettige perfluorierte Substanzen zu (Ahrens & Bundschuh, 2014). Wegen der hohen Persistenz insbesondere der Perfluoralkysäuren (PFAAs) ist zudem davon auszugehen, dass PFAS im Wasserkreislauf verbleiben und zunehmend weiter verteilt werden (Cousins et al., 2022). Chemikalienrechtlich wird das Inverkehrbringen und die Verwendung von F-Gasen unter anderem durch die EU-F-Gase-Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014) – derzeit in Novellierung (EK, 2022b) und das Fluorierte Treibhausgase-Gesetz 2009 (BGBl I Nr. 103/2009) beschränkt. Ziel ist die deutliche Emissionsreduktion fluorierter Treibhausgase.

1.6 Problematische Stoffeigenschaften

Gemeinsames Merkmal von PFAS sowie Hauptbedenken (siehe auch Kapitel 1.3.4) und -argument für einen aktuellen Vorschlag zur Beschränkung der Stoffgruppe PFAS im europäischen Chemikalienrecht durch die REACH-Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 1907/2006) ist die extreme Langlebigkeit (Persistenz) entweder der jeweiligen PFAS-Verbindung selbst oder ihrer Abbauprodukte und damit die Gefahr einer zunehmenden und umkehrbaren Anreicherung in Mensch und Umwelt.

Viele, insbesondere langkettige Vertreter der PFAS weisen sehr besorgniserregende Eigenschaften auf (*substances of very high concern* = SVHC unter REACH): Sie sind langlebig (=persistent) und können über weite Entfernungen verbreitet werden. Sie sind bioakkumulierend, das heißt, sie reichern sich in Mensch und Tier durch Aufnahme über die Nahrungskette an und wirken sich substanzabhängig negativ (toxisch) auf die menschliche Gesundheit und den Zustand der Umwelt aus. Einige PFAAs (Perfluoralkylsäuren), z. B. PFOS, PFOA und PFNA, stehen im Verdacht Krebs zu erregen, werden mit schädigenden Wirkungen auf Organe (Schilddrüse, Leber, Niere) sowie auf Cholesterin und negativen Einflüssen auf Reproduktion und Immunsystem in Verbindung gebracht (ECHA 2023a).

Durch die hohe **Mobilität** vieler kurzkettiger Vertreter der PFAS besteht ein hohes Risiko der weiten Verbreitung und in der Folge der Exposition der Bevölkerung über Trinkwasser und Nahrungsmittel. Gleichzeitig ist die Entfernung von PFAS aus verunreinigtem Trinkwasser oder aus kontaminierten Böden und Grundwasser bei Altlastensanierungen aufwendig und teuer (Umweltbundesamt 2020).

Viele PFAS – insbesondere PFAAs (Perfluoralkylsäuren) – unterliegen deshalb bereits in Bezug auf ihre Inverkehrbringung und Verwendung chemikalienrechtlichen Beschränkungen (siehe Kapitel 1.7)

1.7 Chemikalienrechtliche Beschränkungen

Die **POP-Verordnung** (Verordnung (EU) 2019/1021) – basierend auf dem **Stockholmer Übereinkommen**⁸ über persistente organische Schadstoffe – verbietet bzw. beschränkt die Herstellung, das Inverkehrbringen, die Verwendung und Aufnahme von persistenten organischen Schadstoffen. Die Verwendung von PFOS und ihrer Derivate ist seit 2010 verboten. PFOS darf in der EU nur noch zur Sprühnebelunterdrückung für nicht dekoratives Hartverchromen (Chrom VI) in geschlossenen Kreislaufsystemen verwendet werden. Die Verwendung von PFOA, ihrer Salze und Vorläuferverbindungen ist seit 2020 stark eingeschränkt. Ausnahmen bzw. Übergangsfristen gelten beispielsweise für den Einsatz in wasserabweisenden Textilien für medizinische und sicherheitstechnische Zwecke, in der Halbleiterfertigung, bei Latexdruckfarben und bei Feuerlöschschäumen (vgl. auch Kapitel 1.5.1). PFHxS (Perfluorhexansulfonsäure, C6) wurde im Jahr 2022 als POP in das Stockholmer Übereinkommen und in der Folge in die Anhänge IV und V der EU-POP-Verordnung mit Vorgaben zur Abfallbewirtschaftung aufgenommen.

Die **REACH-Verordnung** (Verordnung (EG) 1907/2006) soll die menschliche Gesundheit und die Umwelt vor Risiken durch Chemikalien schützen. Sie beschränkt unter anderem das Inverkehrbringen, die Herstellung und Verwendung von als *sehr besorgniserregend* eingestuft Chemikalien. Ab Februar 2023 ist die Verwendung von Perfluorcarbonsäuren (PFCAs) der Kettenlänge C9–C14, deren Salze und Vorläuferverbindungen chemikalienrechtlich beschränkt. C9-C14 PFCA, deren Salze und Vorläuferverbindungen dürfen in der EU nicht mehr als Stoffe selbst hergestellt oder in Verkehr gebracht werden. Für einige Verwendungen gelten längere Übergangsfristen.

Die Kandidatenliste der Stoffe mit *besonders besorgniserregenden* Eigenschaften (*substances of very high concern = SVHC unter REACH*) umfasst momentan die in Tabelle 1 genannten PFAS des gegenständlichen GZÜV-Sondermessprogramms. Für Produzenten und Importeure von Erzeugnissen, welche Stoffe der Kandidatenliste enthalten, ergeben sich in

⁸ [POP-Übereinkommen \(bmk.gv.at\)](https://www.bmk.gv.at)

Abhängigkeit von den im Produkt oder Erzeugnis eingesetzten Mengen, chemikalienrechtliche Verpflichtungen.

Tabelle 1: PFAS auf der Kandidatenliste der Stoffe mit besonders besorgniserregenden Eigenschaften.

Besorgniserregende Eigenschaften	
Perfluorheptansäure und ihre Salze (PFHpA)	Reproduktionstoxisch, PBT, vPvB, Bedenken hinsichtlich wahrscheinlich ernsthafter Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt (Art. 57(f))
Perfluorooctansäure (PFOA)	Reproduktionstoxisch, PBT
Perfluornonansäure (PFNA) und ihre Natrium- und Ammoniumsalze	Reproduktionstoxisch, PBT
Perfluordecansäure (PFDA)	Reproduktionstoxisch, PBT
Perfluorundecansäure (PFUnDA)	vPvB
Perfluorierte Carbonsäuren (C9–14 PFCAs)	PBT, vPvB
Perfluorbutansulfonsäure und ihre Salze (PFBS)	Bedenken hinsichtlich wahrscheinlich ernsthafter Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt (Art. 57(f))
Perfluorhexansulfonsäure und ihre Salze (PFHxS)	vPvB
GenX (HFPO-DA)	Bedenken hinsichtlich wahrscheinlich ernsthafter Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt (Art. 57(f))

PBT... persistent, bioaccumulative and toxic; vPvB... very persistent, very bioaccumulating

Quelle: ECHA (2023c)

Im Jahr 2021 wurden PFHxA (Perfluorhexansäure, C6), ihre Salze und Vorläuferverbindungen zur Beschränkung vorgeschlagen. Außerdem haben fünf EU-Länder einen Beschränkungsvorschlag für nicht-essentielle Nutzungen der **gesamten Stoffgruppe der PFAS** unter REACH gestartet (ECHA, 2023a). Auch ein ergänzender Vorschlag zur Regulierung von fluorhaltigen Feuerlöschschäumen wird derzeit bei der ECHA bewertet (ECHA, 2023b).

1.8 Grundwasserüberwachung

1.8.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die **Wasserrahmenrichtlinie** (WRRL; Richtlinie 2000/60/EG) legt EU-weit einheitliche Qualitätsziele für den guten chemischen Zustand von Grundwasser fest und verpflichtet die Mitgliedstaaten zur Durchführung der erforderlichen Maßnahmen, um den guten Zustand zu erreichen bzw. zu erhalten. In Konkretisierung dazu enthält die **Grundwasserrichtlinie** (GWRL; Richtlinie 2006/118/EG) EU-weit einheitliche Grundwasserqualitätsnormen sowie Kriterien für die Festlegung von Schwellenwerten durch die Mitgliedsstaaten. Weiters sieht die Richtlinie Maßnahmen zur Verhinderung oder Begrenzung des Eintrags von Schadstoffen in das Grundwasser vor. Die GWRL verpflichtet die Mitgliedstaaten überdies zur Ermittlung signifikanter und anhaltender steigender Trends sowie zu deren Umkehr. Im Jahr 2022 wurde durch die Europäische Kommission die Aufnahme einer EU-weiten Grundwasserqualitätsnorm von 0,0044 µg/l für die „Summe PFOA-Äquivalente“ in den Anhang I der Grundwasserrichtlinie vorgeschlagen⁹. Der Vorschlag berücksichtigt im Gegensatz zur Trinkwasserrichtlinie (TWRL; Richtlinie (EU) 2020/2184), die Empfehlungen der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority, EFSA)¹⁰ zu PFAS vom 9. Juli 2020 und befindet sich derzeit im Prozess des sogenannten *Mitentscheidungsverfahren* im Europäischen Parlament und Rat.

Die gemeinschaftsrechtlichen Vorgaben werden in Österreich durch das **Wasserrechtsgesetz** (WRG; BGBl. Nr. 215/1959 idgF, § 30c Abs. 1 und 2), die **Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser** (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 idgF) und die **Gewässerzustandsüberwachungsverordnung** (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006 idgF) umgesetzt. In Bezug auf die Grundwasserqualität sind im WRG wesentliche **Schutzziele** verankert.

⁹ EK (2022a): COM (2022) 540: Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy, Directive 2006/118/EC on the protection of groundwater against pollution and deterioration and Directive 2008/105/EC on environmental quality standards in the field of water policy.

¹⁰ EFSA CONTAM Panel (2020): Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. Scientific opinion. EFSA Journal. doi: 10.2903/j.efsa.2020.6223.

Grundwasser ist u.a. so zu schützen,

- dass es als Trinkwasser verwendet werden kann,
- dass Grundwasserverschmutzung schrittweise reduziert und weitere Verschmutzung verhindert wird und
- dass sich die Grundwasserkörper in einem guten chemischen Zustand befinden.

Die Grundwasserqualität wird im Rahmen der GZÜV unter einheitlichen, gesetzlich festgelegten Kriterien überwacht. Zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und zum Erhalt des guten chemischen Zustands sind für kritische Schadstoffe in der QZV Chemie GW sogenannte Schwellenwerte festgelegt. Die Beurteilung des Grundwasserzustands erfolgt auf der räumlichen Ebene der *Grundwasserkörper*. **Für PFAS gibt es derzeit keine Schwellenwerte.**

In Umsetzung der WRRL wird im Rahmen des **Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans (NGP)** alle sechs Jahre das Risiko der Verfehlung des guten chemischen Zustands von Grundwasser durch stoffliche Belastungen beurteilt. Für eine entsprechende Risikobeurteilung der Grundwasserkörper im Hinblick auf in der QZV Chemie GW nicht erfasste Parameter, insbesondere potenziell besorgniserregende Stoffe, können mittels GZÜV-Sondermessprogrammen die notwendigen Datengrundlagen erhoben werden. Konzentrationen nicht geregelter, potenzieller Schadstoffe werden dabei entweder entsprechend ihrer Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit bewertet (BMG, 2014) oder – wegen der Bedeutung des Grundwasserzustroms für viele Flüsse und Seen – auf Basis von vorhandenen ökologischen Kriterien. Auf Basis der Erkenntnisse der Risikobeurteilung erfolgt die Anpassung von Monitoring- und Maßnahmenprogrammen sowie die Festsetzung oder Anpassung von Schwellenwerten. Unmittelbare Maßnahmen können bei Gefahr schwerwiegender Schäden jederzeit gesetzt werden. Im Umkehrschluss soll mit der Risikobeurteilung auch herausgefunden werden, wo es unwahrscheinlich ist, dass Belastungen des Grundwassers auftreten bzw. ein ernstes Risiko darstellen könnten.

1.8.2 Bisheriges Monitoring

Im Rahmen von Sondermessprogrammen wurden in den Jahren 2016/2017 zunächst die Leitsubstanzen **PFOA** und **PFOS** und in den Jahren 2019/2020 insgesamt 22 verschiedene

PFAS Verbindungen an hinsichtlich einer potenziellen **Belastung** ausgewählten Grundwassermessstellen untersucht (BMNT, 2018; Brielmann et al., 2022). Auf Basis der erhobenen Daten wurde im Rahmen des 3. NGP ein potenzielles Risiko abgeleitet, dass Grundwasser regional nicht den Anforderungen an Trinkwasser entsprechen könnte. Daraufhin wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML) und der Bundesländer im Jahr 2022 das gegenständliche flächendeckende GZÜV-Sondermessprogramm zur Erhebung von PFAS im Grundwasser (27 Einzelsubstanzen) veranlasst und durchgeführt.

2 Ziel

Ziel des gegenständlichen GZÜV-Sondermessprogramms war die österreichweit flächendeckende Erhebung, Darstellung der Verbreitung und Bewertung von PFAS im Grundwasser. Die Untersuchungen schaffen damit eine wesentliche Datengrundlage für die Risikobeurteilung der Grundwasserkörper in Bezug auf PFAS im Rahmen des nächsten Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan und hinsichtlich der Festlegung entsprechender Grundwasserschwellenwerte. Zum anderen stellen die Ergebnisse eine wichtige Grundlage für die Risikobewertung und das Management von Trinkwasserentnahmen gemäß Artikel 8 der Trinkwasserrichtlinie dar.

3 Material und Methoden

3.1 Probenahme

Für die Analyse ausgewählter PFAS wurden im Rahmen der regulären GZÜV-Probenahmen im 2. Quartal 2022 österreichweit an insgesamt 1.892 Messstellen Grundwasserproben entnommen. 1.877 Proben stammten aus Messstellen der Überwachung oberflächennaher Grundwasserkörper (Brunnen und Quellen), 15 Proben aus Messstellen zur Überwachung von Tiefgrundwasserkörpern.

An 22 Messstellen wurden Doppelproben für die Qualitätssicherung genommen. Jedes Probenahmeteam übermittelte außerdem eine Blindwertprobe für das jeweilige Probenahme-equipment. Für die Probenahmen wurden vorgereinigte Kunststoffgebinde (1000 ml HDPE) bereitgestellt. Die Proben wurden zur Analyse unter Kühlung (4 °C) ins Labor übermittelt.

3.2 Analytik

Im Rahmen des Sondermessprogramms wurden elf Perfluorcarbonsäuren (PFCAs, Kettenlänge C4–C14), zehn Perfluorsulfonsäuren (PFASs, Kettenlänge C4–C13), drei Fluortelomersulfonsäuren (FTSAs), sowie drei Ersatzstoffe, welche ebenfalls PFAS sind, in den Grundwasserproben analysiert (Tabelle 2, Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5).

Zum Zeitpunkt der Durchführung des gegenständlichen Sondermessprogramms stand für die Bestimmung der 20 PFAS („Summe der PFAS“) nach Trinkwasserrichtlinie (EU) 2020/2184 bzw. der 24 PFAS („Summe PFOA-Äquivalente“) entsprechend Vorschlag der Europäischen Kommission (EK, 2022a) noch keine genormte analytische Methode zur Verfügung. Es wurden alle 20 genannten Substanzen analysiert (lineare Isomere).

Der in der „Summe PFOA-Äquivalente“ (EK, 2022a) berücksichtigte Parameterumfang war zu Projektbeginn noch unbekannt. Es wurden im gegenständlichen Projekt deshalb nur 19 der 24 genannten Substanzen analysiert. Nicht analysiert wurden: Perfluorhexadecansäure (PFHxDA), Perfluoroctadecansäure (PFODA), 2-(Perfluorhexyl)ethylalkohol (6:2 FTOH),

2-(Perfluorooctyl)ethanol (8:2 FTOH) und Essigsäure/2,2-difluor-2-((2,2,4,5-tetrafluor-5-(trifluormethoxy)-1,3-dioxolan-4-yl)oxy)- (C6O4). Für die Erfassung aller 24 genannten PFAS wären derzeit jedenfalls zwei analytische Methoden notwendig.

Die Einzelstoffanalytik der Wasserproben in Hinblick auf PFAS erfolgte basierend auf der Norm DIN 38407-42:2011-03. Die Proben wurden **nicht filtriert**. Den wässrigen Proben wurde ein isotopenmarkierter Surrogatmix **linearer** PFAS-Isomere zugesetzt. **Verzweigte PFAS-Isomere** wurden im gegenständlichen Sondermessprogramm **nicht quantifiziert**. Nach Konditionierung der verwendeten schwachen Anionenaustauscher Chromabond HR-XAW-Kartuschen wurden die Proben geladen, die Kartuschen gespült und mit einem Methanol (MeOH)-Ammoniak-Gemisch eluiert. Das Eluat wurde eingedampft und abschließend mit einem MeOH-Wasser-Gemisch aufgefüllt. Die Analysen erfolgten mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie gekoppelt mit Tandem-Massenspektrometrie (HPLC-MS/MS). Bei jeder Probenaufbereitungscharge wurde je ein Blindwert und eine dotierte Probe zur Überprüfung der Wiederfindungen mitaufbereitet. Es wurde eine 12-Punkt-Kalibrierungskurve verwendet und die Nachweis- und Bestimmungsgrenzen (NG und BG) wurden gemäß der Norm DIN 32645:2008-11 ermittelt.

Insgesamt wurden elf Perfluorcarbonsäuren (Kettenlänge C4–C14), zehn Perfluorsulfonsäuren (Kettenlänge C4–C13), drei Fluortelomersulfonsäuren und drei per- und polyfluorierte Alkylethercarbonsäuren und -sulfonsäuren (Ersatzstoffe für PFOA und PFOS) in den Grundwasserproben analysiert (Tabelle 2, Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5).

Tabelle 2: Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der analysierten linearen Perfluorcarbonsäuren in den Grundwasserproben.

Substanz	CAS-Nr.	NG (µg/l)	BG (µg/l)
Perfluorbutansäure (PFBA), PF4C	375-22-4	0,0005	0,001
Perfluorpentansäure (PFPeA), PF5C	2706-90-3	0,0005	0,001
Perfluorhexansäure (PFHxA), PF6C	307-24-4	0,00025	0,0005
Perfluorheptansäure (PFHpA), PF7C	375-85-9	0,00025	0,0005
Perfluoroctansäure (PFOA), PF8C	335-67-1	0,00025	0,0005
Perfluornonansäure (PFNA), PF9C	375-95-1	0,00025	0,0005
Perfluordecansäure (PFDA), PF10C	335-76-2	0,00025	0,0005

Substanz	CAS-Nr.	NG (µg/l)	BG (µg/l)
Perfluorundecansäure (PFUnDA), PF11C	2058-94-8	0,00025	0,0005
Perfluordodecansäure (PFDoDA), PF12C	307-55-1	0,00025	0,0005
Perfluortridecansäure (PFTrDA), PF13C	72629-94-8	0,0005	0,001
Perfluortetradecansäure (PFTeDA), PF14C	376-06-7	0,0005	0,001

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 3: Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der analysierten linearen Perfluorsulfonsäuren in den Grundwasserproben.

Substanz	CAS-Nr.	NG (µg/l)	BG (µg/l)
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS), PF4S	375-73-5	0,0005	0,001
Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS), PF5S	630402-22-1	0,0005	0,001
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS), PF6S	355-46-4	0,0005	0,001
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS), PF7S	375-92-8	0,0005	0,001
Perfluoroctansulfonsäure (PFOS), PF8S	1763-23-1	0,0005	0,001
Perfluornonansulfonsäure (PFNS), PF9S	98789-57-2	0,0005	0,001
Perfluordecansulfonsäure (PFDS), PF10S	335-77-3	0,0005	0,001
Perfluorundecansulfonsäure (PFUnDS), PF11S	749786-16-1	0,0005	0,001
Perfluordodecansulfonsäure (PFDoS), PF12S	79780-39-5	0,0005	0,001
Perfluortridecansulfonsäure (PFTrDS), PF13S	n.a.	0,0005	0,001

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 4: Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der analysierten Fluortelomersulfonsäuren in den Grundwasserproben.

Substanz	CAS-Nr.	NG (µg/l)	BG (µg/l)
4:2 Fluortelomersulfonsäure (4:2 FTS)	757124-72-4	0,00025	0,0005
6:2 Fluortelomersulfonsäure (6:2 FTS, H₄PFOS)	27619-97-2	0,00025	0,0005
8:2 Fluortelomersulfonsäure (8:2 FTS)	39108-34-4	0,0005	0,001

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 5: Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der analysierten per- und polyfluorierten Alkylethercarbonsäuren (PFECAs) und -sulfonsäuren (PFESAs) in den Grundwasserproben.

Substanz	CAS-Nr.	NG (µg/l)	BG (µg/l)
Perfluor-4,8-dioxa-3H-nonansäure (DONA)	919005-14-4	0,0005	0,001
2,3,3,3-Tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propansäure (GenX, HFPO-DA)	13252-13-6	0,0005	0,001
9-Chlorhexadecafluor-3-oxanon-sulfonsäure (F-53B)	73606-19-6	0,0005	0,001

Quelle: Umweltbundesamt

3.3 Datenaufbereitung und -darstellung

Entsprechend der Vorgaben der QZV Chemie GW wurden Messwerte unter der Bestimmungsgrenze oder Nachweisgrenze bei der Ermittlung des arithmetischen Mittelwertes und der Standardabweichung der Spurenstoffkonzentrationen mit der halben Bestimmungsgrenze berücksichtigt. Bei Summenbildungen wurden diese Messwerte mit „0“ (Null) berücksichtigt. Für alle anderen Darstellungen bleiben die Werte unverändert. Liegen statistische Lagemaße unter der betreffenden Bestimmungsgrenze entsprechend Tabelle 2 bis Tabelle 3, so wird dieser Wert als „< BG“ dargestellt.

Die im Rahmen der GZÜV erhobenen Daten sind als **Umweltinformationen** (UIG; BGBl., Nr. 495/1993 idgF) nach Prüfung und Plausibilisierung öffentlich über die H2O-Fachdatenbank¹¹ des Wasser Informationssystems Austria (WISA) abrufbar und fließen in zusammengefasster Form in die Wassergüte Jahresberichte¹² ein.

3.4 Bewertung und vorläufige Risikobeurteilung

Für die Bewertung der Grundwasserkonzentrationen – der derzeit im Grundwasser nicht geregelten PFAS – wurde der Trinkwasserparameterwert „Summe der PFAS“ von 0,1 µg/l für 20 definierte PFAS (TWRL; RL (EU) 2020/2184) herangezogen. Ab 12. Jänner 2026 darf die „Summe der PFAS“ von 0,1 µg/l oder der Parameter „PFAS gesamt“ von 0,5 µg/l im Trinkwasser in Österreich nicht überschritten werden. Die „Summe der PFAS“ umfasst 20 ausgewählte „per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen, die im Hinblick auf Wasser für den menschlichen Gebrauch als bedenklich erachtet werden. Dabei handelt es sich um eine Untergruppe von „PFAS gesamt“ mit einem perfluorierten Alkylanteil mit drei oder mehr Kohlenstoffatomen (d. h. -C_nF_{2n}-, n≥3) oder einem perfluorierten Alkyletheranteil mit zwei oder mehr Kohlenstoffatomen (d. h. -C_nF_{2n}OC_mF_{2m}-, n und m≥1)“ (RL (EU) 2020/2184).

Außerdem wurde die – zur Aufnahme in den Anhang I der Grundwasserrichtlinie – vorgeschlagene Qualitätsnorm von 0,0044 µg/l für die „Summe 24 PFAS“ (ausgedrückt als PFOA-Äquivalente, „Summe 24 PFOA-Äquivalente“) herangezogen (EK, 2022a). Die vorgeschlagene Grundwasserqualitätsnorm berücksichtigt im Gegensatz zur Trinkwasserrichtlinie (Richtlinie (EU) 2020/2184), die Empfehlung der EFSA zu PFAS vom 9. Juli 2020¹³. In der Empfehlung werden PFAS im Vergleich zur früheren Empfehlung der EFSA aus dem Jahr 2018¹⁴, welche der Überarbeitung der Trinkwasserrichtlinie zugrunde lag, mit einer tolerierbaren *wöchentlichen* Aufnahmemenge (*tolerable weekly intake*, TWI) von 0,0044 µg pro kg Körpergewicht für die Summe aus vier PFAS (PFOA, PFOS, PFHxS, PFNA) deutlich kritischer bewertet. Der Kommissionsvorschlag zur Qualitätsnorm ist derzeit im Prozess des sogenannten Mitentscheidungsverfahrens im Europäischen Parlament und Rat. Für die entspre-

¹¹ <https://wasser.umweltbundesamt.at/h2odb/>

¹² [Wassergüte Jahresbericht 2018-2020 \(bml.gv.at\)](https://www.bml.gv.at/Wasserguete/Jahresbericht-2018-2020)

¹³ [Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food - - 2020 - EFSA Journal - Wiley Online Library](https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/5222/abstract)

¹⁴ [Risk to human health related to the presence of perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid in food | EFSA \(europa.eu\)](https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/5222/abstract)

chende Bewertung liegen im GZÜV-Sondermessprogramm 2022 Daten zu 19 der im Vorschlag angeführten 24 PFAS vor. Die der Berechnung der PFOA-Äquivalente zugrundeliegenden Relativen Potenzfaktoren sind in Tabelle 6 angegeben. Der Parameterumfang der für die Bewertung der Konzentrationen verwendeten Grenzwerte ist unterschiedlich (vgl. auch Tabelle 6, Abbildung 2).

Tabelle 6: Analysenumfang des GZÜV-Sondermessprogramms 2022 im Vergleich zum Parameterumfang der Grundwasserqualitätsnorm (EK, 2022a), der „Summe der PFAS“ (TWRL) und der EFSA-Empfehlung (EFSA, 2020); Relative Potenzfaktoren zur Berechnung der „Summe der PFOA-Äquivalente“ (EK, 2022a).

Substanz	Analyse im GZÜV-Sondermessprogramm 2022	in „Summe PFOA-Äquivalente“ (EK, 2022a)	Relative Potenzfaktoren (EK, 2022a)	in „Summe der PFAS“ (TWRL, 2020)	in „Summe 4 PFAS“ (EFSA, 2020)
PFBA	Ja	Ja	0,05	Ja	Nein
PFPeA	Ja	Ja	0,03	Ja	Nein
PFHxA	Ja	Ja	0,01	Ja	Nein
PFHpA	Ja	Ja	0,505	Ja	Nein
PFOA	Ja	Ja	1	Ja	Ja
PFNA	Ja	Ja	10	Ja	Ja
PFDA	Ja	Ja	7	Ja	Nein
PFUnDA	Ja	Ja	4	Ja	Nein
PFDoDA	Ja	Ja	3	Ja	Nein
PFTTrDA	Ja	Ja	1,65	Ja	Nein
PFTeDA	Ja	Ja	0,3	Nein	Nein
PFHxDA	Nein	Ja	0,02	Nein	Nein
PFODA	Nein	Ja	0,02	Nein	Nein
PFBS	Ja	Ja	0,001	Ja	Nein
PFPeS	Ja	Ja	0,3005	Ja	Nein
PFHxS	Ja	Ja	0,6	Ja	Ja
PFHpS	Ja	Ja	1,3	Ja	Nein
PFOS	Ja	Ja	2	Ja	Ja

Substanz	Analyse im GZÜV-Sondermessprogramm 2022	in „Summe PFOA-Äquivalente“ (EK, 2022a)	Relative Potenzfaktoren (EK, 2022a)	in „Summe der PFAS“ (TWRL, 2020)	in „Summe 4 PFAS“ (EFSA, 2020)
PFNS	Ja	Nein	-	Ja	Nein
PFDS	Ja	Ja	2	Ja	Nein
PFUnDS	Ja	Nein	-	Ja	Nein
PFDoS	Ja	Nein	-	Ja	Nein
PFTTrDS	Ja	Nein	-	Ja	Nein
4:2 FTS	Ja	Nein	-	Nein	Nein
6:2 FTS	Ja	Nein	-	Nein	Nein
8:2 FTS	Ja	Nein	-	Nein	Nein
DONA	Ja	Ja	0,03	Nein	Nein
GenX	Ja	Ja	0,06	Nein	Nein
F-53B	Ja	Nein	-	Nein	Nein
6:2 FTOH	Nein	Ja	0,02	Nein	Nein
8:2 FTOH	Nein	Ja	0,04	Nein	Nein
C6O4	Nein	Ja	0,06	Nein	Nein

Quelle: EFSA (2020), TWRL (2020), EK (2022a)

Die Bewertung der *Gefährdung* von Grundwassermessstellen als Grundlage für die Risiko- beurteilung von Grundwasserkörpern hinsichtlich eines Schadstoffes erfolgt grundsätzlich entsprechend QZV Chemie GW auf Basis des arithmetischen Mittels der Jahresmittelwerte aus allen für den *Beurteilungszeitraum* vorliegenden – zumindest drei Beobachtungen um- fassenden – Messergebnissen. Das arithmetische Mittel wird auf Überschreitung des zuge- hörigen Schwellenwertes geprüft. Der Beurteilungszeitraum umfasst dabei parameterab- hängig entweder das jeweilige *Erstbeobachtungsjahr* des aktuellen 6-jährigen Zyklus des Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans oder die letzten drei dem Betrachtungszeit- punkt vorangegangenen Kalenderjahre.

Das gegenständliche Projekt liefert auf Basis der flächendeckenden einmaligen Untersu- chungen im 2. Quartal 2022 die Datengrundlage für:

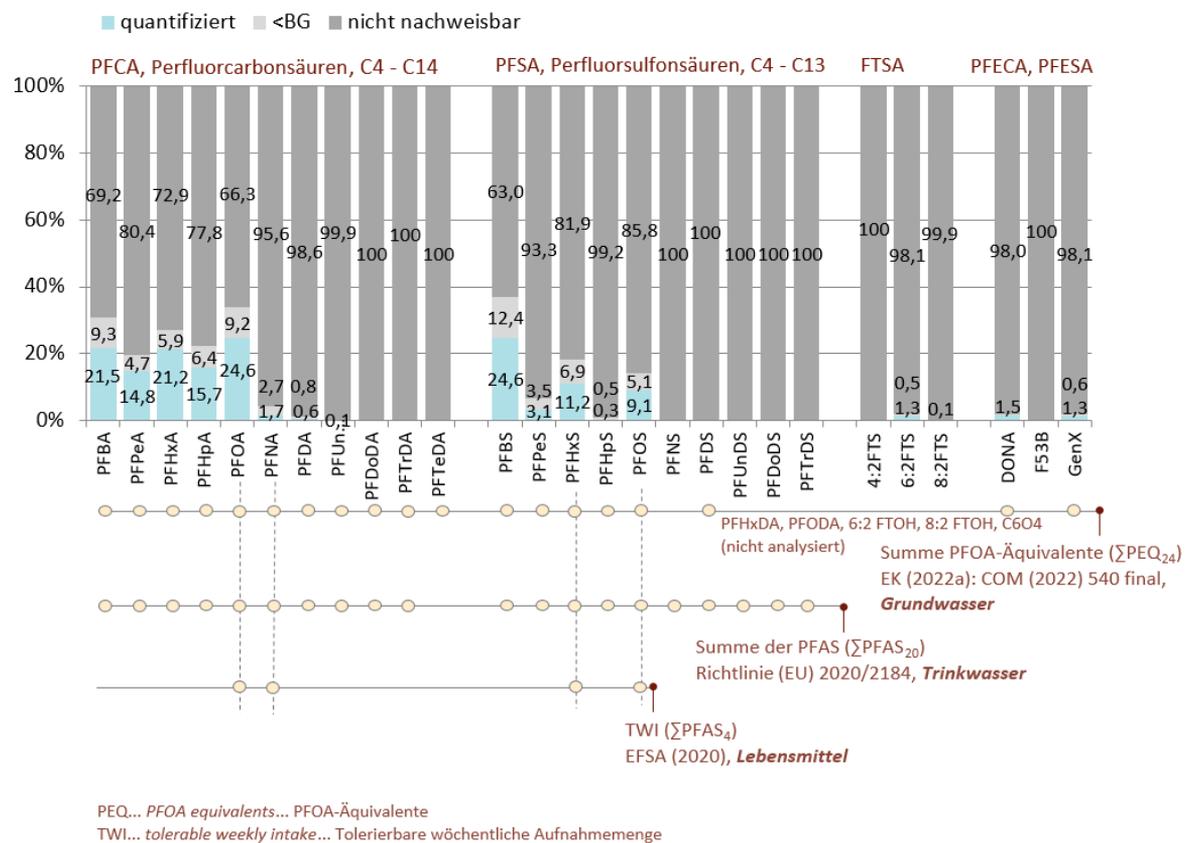
- die Durchführung etwaiger, notwendiger Wiederholungsbeobachtungen,
- die Überprüfung einer Festlegung von Grundwasserschwellenwerten für PFAS.

4 Ergebnisse

4.1 Nachweishäufigkeiten

Von 27 im gegenständlichen Monitoringprogramm untersuchten PFAS wurden 17 Substanzen in mindestens einer der 1.877 Proben der oberflächennahen GZÜV-Grundwassermessstellen (Brunnen und Quellen) nachgewiesen oder über der analytischen Bestimmungsgrenze quantifiziert (Abbildung 2).

Abbildung 2: Nachweishäufigkeiten von PFAS im oberflächennahen Grundwasser (2. Quartal 2022) und die Erfassung einzelner PFAS durch die ausgewählten Bewertungskriterien.



Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

Auswertung: Umweltbundesamt

Im Grundwasser nachgewiesen wurden vor allem kurzkettige (PFCAs, C4–C7) und in wenigen Proben auch vier langkettige (PFCAs, C8–C11) **Perfluorcarbonsäuren** (Abbildung 2, Tabelle 7). Über der Bestimmungsgrenze quantifiziert wurden sie mit der Rangfolge PFOA (24,6 %) >PFBA (21,5 %) >PFHxA (21,2 %) >PFHpA (15,7 %) >PFPeA (14,8 %) >PFNA (1,7 %) >PFDA (0,6 %) >PFUnDA (0,1 %) (Tabelle 7).

Tabelle 7: Perfluorcarbonsäuren (PFCAs) – Nachweishäufigkeiten (Anzahl Proben) im oberflächennahen Grundwasser.

Substanz	Quartal	NG (µg/l)	BG (µg/l)	Anzahl nicht nachweisbar	Anzahl <BG	Anzahl quantifiziert	Anzahl gesamt
PFBA	2022/2	0,0005	0,001	1.299	174	404	1.877
PFPeA	2022/2	0,0005	0,001	1.510	89	278	1.877
PFHxA	2022/2	0,00025	0,0005	1.368	111	398	1.877
PFHpA	2022/2	0,00025	0,0005	1.461	121	295	1.877
PFOA	2022/2	0,00025	0,0005	1.244	172	461	1.877
PFNA	2022/2	0,00025	0,0005	1.794	51	32	1.877
PFDA	2022/2	0,00025	0,0005	1.851	15	11	1.877
PFUnDA	2022/2	0,00025	0,0005	1.875	0	2	1.877
PFDoDA	2022/2	0,00025	0,0005	1.877	0	0	1.877
PFTTrDA	2022/2	0,0005	0,001	1.877	0	0	1.877
PFTeDA	2022/2	0,0005	0,001	1.877	0	0	1.877

Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

Auswertung: Umweltbundesamt

Im Grundwasser ebenfalls nachgewiesen wurden kurzkettige (PFSA, C4–C6) sowie eine langkettige (PFSA, C8) **Perfluorsulfonsäure**, welche mit der Rangfolge PFBS (24,6 %) >PFHxS (11,2 %) >PFOS (9,1 %) >PFPeS (3,1 %) und PFHpS (0,3 %) in den Grundwasserproben quantifiziert wurden (Abbildung 2, Tabelle 8).

Tabelle 8: Perfluorsulfonsäuren (PFSA) – Nachweishäufigkeiten (Anzahl Proben) im oberflächennahen Grundwasser.

Substanz	Quartal	NG (µg/l)	BG (µg/l)	Anzahl nicht nachweisbar	Anzahl <BG	Anzahl quantifiziert	Anzahl gesamt
PFBS	2022/2	0,0005	0,001	1.183	233	461	1.877
PFPeS	2022/2	0,0005	0,001	1.752	66	59	1.877
PFHxS	2022/2	0,0005	0,001	1.537	129	211	1.877
PFHpS	2022/2	0,0005	0,001	1.862	9	6	1.877
PFOS	2022/2	0,0005	0,001	1.611	96	170	1.877
PFNS	2022/2	0,0005	0,001	1.877	0	0	1.877
PFDS	2022/2	0,0005	0,001	1.877	0	0	1.877
PFUnDS	2022/2	0,0005	0,001	1.877	0	0	1.877
PFDoDS	2022/2	0,0005	0,001	1.877	0	0	1.877
PFTrDS	2022/2	0,0005	0,001	1.877	0	0	1.877

Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen
Auswertung: Umweltbundesamt

Vereinzelt nachgewiesen und quantifiziert wurden zudem die **Fluortelomersulfonsäuren** 6:2 FTS und 8:2 FTS sowie die **per- und polyfluorierte Alkylethercarbonsäuren und -sulfonsäuren** (Ersatzstoffe für PFOA und PFOS) DONA und GenX (HFPO-DA).

Perfluorcarbonsäuren (PFCAs) mit Kettenlängen ≥ 11 , Perfluorsulfonsäuren mit Kettenlängen ≥ 9 wurden neben der 4:2 Fluortelomersulfonsäure (4:2 FTS) und dem Kaliumsalz der Perhalogensulfonsäure (F 53B) in keiner der untersuchten Grundwasserproben nachgewiesen (Abbildung 2).

Inwieweit die im Grundwasser quantifizierten PFAS durch derzeitige Bewertungskriterien bzw. Grenzwerte („Summe der PFAS“, „Summe PFOA-Äquivalente“, EFSA TWI) erfasst werden, ist ebenfalls in Abbildung 2 ersichtlich. Die mit der angewendeten analytischen Methode in den Grundwasserproben am häufigsten nachgewiesenen und quantifizierten PFAS werden durch den Parameterumfang der drei dargestellten Bewertungskriterien jedenfalls zum überwiegenden Teil erfasst (Abbildung 2).

Tabelle 9: Fluortelomersulfonsäuren – Nachweishäufigkeiten (Anzahl Proben) im oberflächennahen Grundwasser.

Substanz	Quartal	NG (µg/l)	BG (µg/l)	Anzahl nicht nachweisbar	Anzahl <BG	Anzahl quantifiziert	Anzahl gesamt
4:2 FTS	2022/2	0,00025	0,0005	1.877	0	0	1.877
6:2 FTS (H ₄ PFOS)	2022/2	0,00025	0,0005	1.842	10	25	1.877
8:2 FTS	2022/2	0,0005	0,001	1.876	0	1	1.877

Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

Auswertung: Umweltbundesamt

Tabelle 10: PFECA, PFESA (Ersatzstoffe) – Nachweishäufigkeiten (Anzahl Proben) im oberflächennahen Grundwasser.

Substanz	Quartal	NG (µg/l)	BG (µg/l)	Anzahl nicht nachweisbar	Anzahl <BG	Anzahl quantifiziert	Anzahl gesamt
DONA	2022/2	0,0005	0,001	1.840	9	28	1.877
GenX (HFPO-DA)	2022/2	0,0005	0,001	1.877	0	0	1.877
F-53B	2022/2	0,0005	0,001	1.841	12	24	1.877

Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

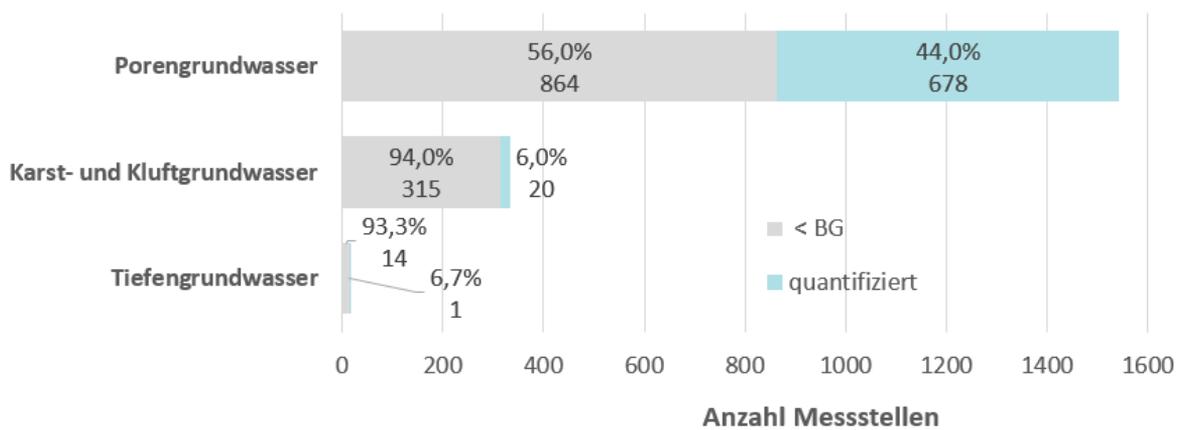
Auswertung: Umweltbundesamt

Der vergleichsweise häufige Nachweis kurzkettiger PFAS in den untersuchten Grundwasserproben lässt sich auf die hohe Mobilität kurzkettiger Verbindungen in der ungesättigten Zone (vgl. Kapitel 1.4) sowie die Tatsache zurückführen, dass diese auch Abbauprodukte von **poly**fluorierten Verbindungen (vgl. Kapitel 1.3.2) sein können und als Alternativen für langkettige PFAS eingesetzt werden. Die häufigen Funde von PFOS und PFOA sind vor allem dadurch zu erklären, dass diese bis zum Inkrafttreten von chemikalienrechtlichen Beschränkungen ab 2010 (PFOS) bzw. 2020 (PFOA), die am häufigsten eingesetzten PFAS waren. Längerkettige Perfluoralkylsäuren (PFAAs) neigen zur Adsorption an Boden- und Sedimentoberflächen, so dass sie eher in Boden und ungesättigter Zone verbleiben.

4.1.1 Einfluss des Grundwasserleitertyps

In 699 von 1.892 untersuchten Grundwassermessstellen wurden PFAS quantifiziert. An den Messstellen der verschiedenen Grundwasserleitertypen (Porengrundwasser, Karst- und Kluftgrundwasser sowie Tiefengrundwasser) wurden PFAS unterschiedlich häufig quantifiziert. Lediglich 2,9 % der Messstellen mit quantifizierten PFAS (20 von 699) sind Karst- und Kluftgrundwassermessstellen, 0,1 % (1 von 699) sind Tiefengrundwassermessstellen. 97,0 % (678 von 699) aller Grundwassermessstellen mit quantifizierten PFAS sind Porengrundwassermessstellen.

Abbildung 3: Anzahl und Anteil der Messstellen mit quantifizierten PFAS (>BG) je Grundwasserleitertyp.



Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen
Auswertung: Umweltbundesamt

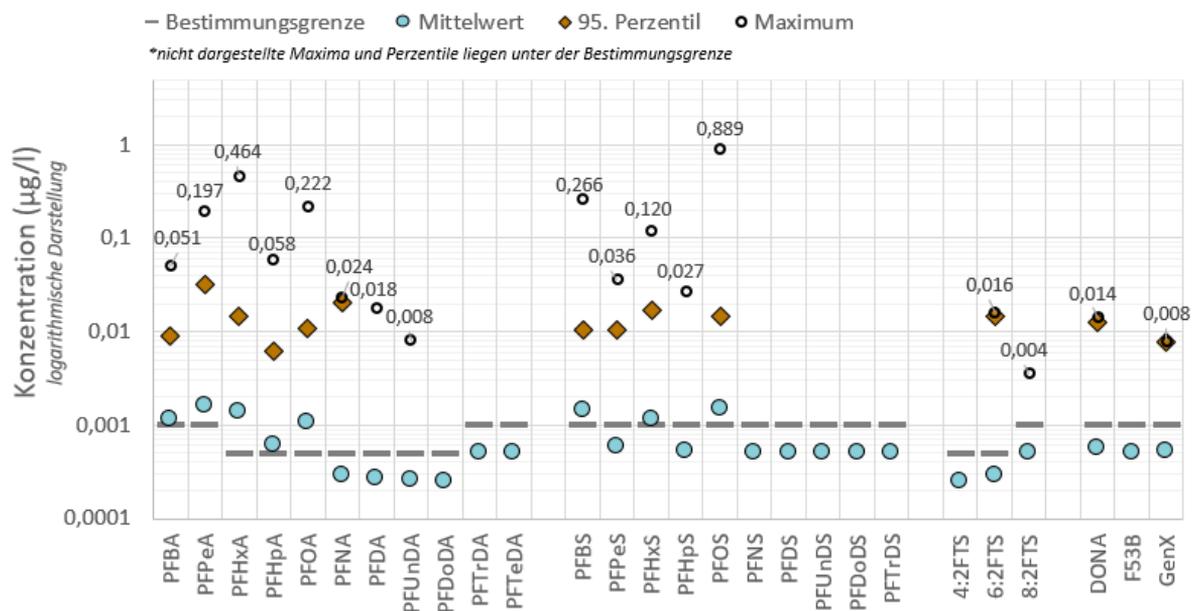
Bezogen auf die Messstellenanzahl je Grundwasserleitertyp wurden bei 44,0 % der Porengrundwassermessstellen und bei 6,0 % der Karst- und Kluftgrundwassermessstellen PFAS quantifiziert (Abbildung 3). In den im 2. Quartal 2022 untersuchten 15 Tiefengrundwassermessstellen (Burgenland=6, Steiermark=9) wurden nur in der Probe einer Messstelle (TG10003902, Oberwart) PFAS nachgewiesen. Dabei wurden kurzkettige (C4–C8) Perfluorcarbonsäuren (PFCAs) und die Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS, C6) in Konzentrationen bis maximal 0,0023 µg/l (PFPeA) quantifiziert.

4.2 Stoffkonzentrationen

4.2.1 Einzelsubstanzen

Die ermittelten Konzentrationsbereiche der einzelnen PFAS sind in Abbildung 4 anhand der Mittelwerte, 95. Perzentile und Maxima dargestellt. Für die Ermittlung der Mittelwerte wurden Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze entsprechend der in der QZV Chemie GW vorgegebenen Konvention mit der halben Bestimmungsgrenze ersetzt.

Abbildung 4: Konzentrationsbereiche der untersuchten PFAS in den Proben der oberflächennahen Grundwasserkörper.



Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

Auswertung: Umweltbundesamt

In den untersuchten Grundwasserproben überwiegen auch in Bezug auf die Höhe der Konzentrationen vor allem kurzkettige PFAS sowie die beiden Leitsubstanzen PFOA und PFOS (Abbildung 4). Die Maximalkonzentrationen der einzelnen PFAS mit einer Größenordnung $>0,05 \mu\text{g/l}$, lassen sich mit der Rangfolge: PFOS ($0,889 \mu\text{g/l}$) $>$ PFHxA ($0,464 \mu\text{g/l}$) $>$ PFBS ($0,266 \mu\text{g/l}$) $>$ PFOA ($0,222 \mu\text{g/l}$) $>$ PFPeA ($0,197 \mu\text{g/l}$) $>$ PFHxS ($0,120 \mu\text{g/l}$) $>$ PFHpA ($0,058 \mu\text{g/l}$) $>$ PFBA ($0,051 \mu\text{g/l}$) wiedergeben. PFNA, PFDA, PFUnDA, PFPeS, PFHpS,

6:2 FTS, 8:2 FTS, DONA und GenX wurden in Maximalkonzentrationen <0,05 µg/l gefunden. Die Maximalkonzentrationen stellten dabei überwiegend Ausreißer in der Konzentrationsverteilung der Einzelsubstanzen dar, wie aus dem Vergleich mit den 95. Perzentilen der PFAS-Konzentrationen ersichtlich ist (Abbildung 4). Maximalkonzentrationen einzelner PFAS wurden an unterschiedlichen Grundwassermessstellen festgestellt (Tabelle 11), ein Hinweis auf die unterschiedliche PFAS-Zusammensetzung verschiedener potenzieller Eintragsquellen.

Tabelle 11: GZÜV-Grundwassermessstellen mit Maximalkonzentrationen einzelner PFAS.

GZÜV-ID	Maximalkonzentration (µg/l)
PG60710032	PFHpA (0,058), PFOA (0,222), PFDA (0,018), PFBS (0,266), PFPeS (0,036), PFHpS (0,027), PFOS (0,889)
PG61020012	PFBA (0,051), PFHxA (0,464)
PG92200642	PFPeA (0,197)
PG41012012	PFPeS (0,036)
PG54106952	PFUnDA (0,008)
PG31300312	DONA (0,014), GenX (0,008)
PG31600312	6:2 FTS (0,016)
PG21002072	8:2 FTS (0,004)

Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

Auswertung: Umweltbundesamt

Die 95. Perzentile der **Perfluorcarbonsäuren (PFCAs)** lassen sich mit der Rangfolge: PFPeA (0,0323 µg/l) >PFNA (0,0205 µg/l) >PFHxA (0,0145 µg/l) >PFOA (0,0108 µg/l) >PFBA (0,0089 µg/l) >PFHpA (0,0063 µg/l) darstellen. 95 % aller Grundwasserproben enthalten jeweils niedrigere Konzentrationen der entsprechenden PFCAs (Abbildung 4, Tabelle 12). In einzelnen Proben wurden die Perfluorcarbonsäuren der Kettenlänge C4–C6 sowie C8 (PFBA, PFPeA, PFHxA und PFOA) mit einer Konzentration >0,1 µg/l bestimmt (Tabelle 12).

Tabelle 12: Statistische Lagemaße der Konzentrationen der analysierten linearen Perfluorcarbonsäuren (PFCAs) im oberflächennahen Grundwasser.

Substanz	NG (µg/l)	BG (µg/l)	Anzahl	Mittelwert* (µg/l)	σ* (µg/l)	95. Perzentil (µg/l)	Max. (µg/l)	Anzahl >0,1 µg/l
PFBA	0,0005	0,001	1.877	0,00118	0,00255	0,0089	0,051	3
PFPeA	0,0005	0,001	1.877	0,00161	0,00773	0,0323	0,197	3
PFHxA	0,00025	0,0005	1.877	0,00142	0,01170	0,0145	0,464	2
PFHpA	0,00025	0,0005	1.877	0,00061	0,00214	0,0063	0,058	0
PFOA	0,00025	0,0005	1.877	0,00107	0,00556	0,0109	0,222	1
PFNA	0,00025	0,0005	1.877	0,00030	0,00080	0,0205	0,024	0
PFDA	0,00025	0,0005	1.877	0,00027	0,00042	<BG	0,018	0
PFUnDA	0,00025	0,0005	1.877	0,00025	0,00018	<BG	0,008	0
PFDoDA	0,00025	0,0005	1.877	0,00025	-	-	-	-
PFTrDA	0,0005	0,001	1.877	0,0005	-	-	-	-
PFTeDA	0,0005	0,001	1.877	0,0005	-	-	-	-

*für die Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung (σ) wurden Werte kleiner Nachweis- und Bestimmungsgrenze (<NG, <BG) durch die halbe Bestimmungsgrenze (BG/2) ersetzt. Max. ... Maximum.

Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

Auswertung: Umweltbundesamt

Die 95. Perzentile der **Perfluorsulfonsäuren (PFSAs)** lassen sich mit der Rangfolge: PFHxS (0,0168 µg/l) >PFOS (0,0148 µg/l) >PFPeS (0,0104 µg/l) >PFBS (0,0104 µg/l) reihen. 95 % aller Grundwasserproben enthalten jeweils niedrigere Konzentrationen der entsprechenden PFSAs (Abbildung 4, Tabelle 12). In einzelnen Proben wurden die Perfluorsulfonsäuren der Kettenlänge C4–C6 sowie C8 (PFBS, PFPeS, PFHxS und PFOS) mit einer Konzentration >0,1 µg/l bestimmt (Tabelle 13).

Tabelle 13: Statistische Lagemaße der Konzentrationen der analysierten linearen Perfluor-sulfonsäuren (PFSA) im oberflächennahen Grundwasser.

Substanz	NG (µg/l)	BG (µg/l)	Anzahl	Mittelwert* (µg/l)	σ* (µg/l)	95. Perzentil (µg/l)	Max. (µg/l)	Anzahl >0,1 µg/l
PFBS	0,0005	0,001	1.877	0,00143	0,00671	0,0104	0,266	1
PFPeS	0,0005	0,001	1.877	0,00059	0,00103	0,0104	0,036	3
PFHxS	0,0005	0,001	1.877	0,00115	0,00539	0,0168	0,120	2
PFHpS	0,0005	0,001	1.877	0,00052	0,00063	< BG	0,027	0
PFOS	0,0005	0,001	1.877	0,00152	0,02226	0,0148	0,889	2
PFNS	0,0005	0,001	1.877	0,0005	-	-	-	-
PFDS	0,0005	0,001	1.877	0,0005	-	-	-	-
PFUnDS	0,0005	0,001	1.877	0,0005	-	-	-	-
PFDoS	0,0005	0,001	1.877	0,0005	-	-	-	-
PFTTrDS	0,0005	0,001	1.877	0,0005	-	-	-	-

*für die Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung (σ) wurden Werte kleiner Nachweis- und Bestimmungsgrenze (<NG, < BG) durch die halbe Bestimmungsgrenze (BG/2) ersetzt. Max. ... Maximum.

Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

Auswertung: Umweltbundesamt

Fluortelomersulfonsäuren und per- und polyfluorierte Alkylethercarbonsäuren (PFECAs) und -sulfonsäuren (PFESAs) (= PFOA-/PFOS-Ersatzstoffe) wurden im gegenständlichen Grundwassermonitoring nur in einer geringen Probenanzahl quantitativ nachgewiesen. Die Konzentrationen sind niedrig (Abbildung 4, Tabelle 14). DONA und GenX treten vorwiegend an Grundwassermessstellen mit potenzieller Wechselwirkung mit der Donau auf. Es ist auf Basis der Informationen aus Kapitel 1.3.2.3 davon auszugehen, dass es sich bei der Eintragsquelle um industrielle Abwässer handelt, welche in Restmengen über das Abwasser in die Alz gelangen, welche dem Inn und in weiterer Folge der Donau zufließen.

Tabelle 14: Statistische Lagemaße der Konzentrationen der analysierten Fluortelomer-sulfonsäuren (FTSAs) sowie der per- und polyfluorierten Alkylethercarbonsäuren (PFECAs) und -sulfonsäuren (PFESAs) im oberflächennahen Grundwasser.

Substanz	NG (µg/l)	BG (µg/l)	Anzahl	Mittelwert* (µg/l)	σ* (µg/l)	95. Perzentil (µg/l)	Max. (µg/l)	Anzahl >0,1 µg/l
4:2 FTS	0,00025	0,0005	1.877	0,00025	-	-	-	-
6:2 FTS	0,00025	0,0005	1.877	0,00030	0,00061	0,0147	0,016	0
8:2 FTS	0,0005	0,001	1.877	0,0005	0,00007	-	0,004	0
DONA	0,0005	0,001	1.877	0,00056	0,00063	0,013	0,014	0
GenX	0,0005	0,001	1.877	0,00052	0,00029	0,008	0,008	0
F-53B	0,0005	0,001	1.877	0,0005	-	-	-	-

*für die Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung (σ) wurden Werte kleiner Nachweis- und Bestimmungsgrenze (<NG, <BG) durch die halbe Bestimmungsgrenze (BG/2) ersetzt. Max. ... Maximum.

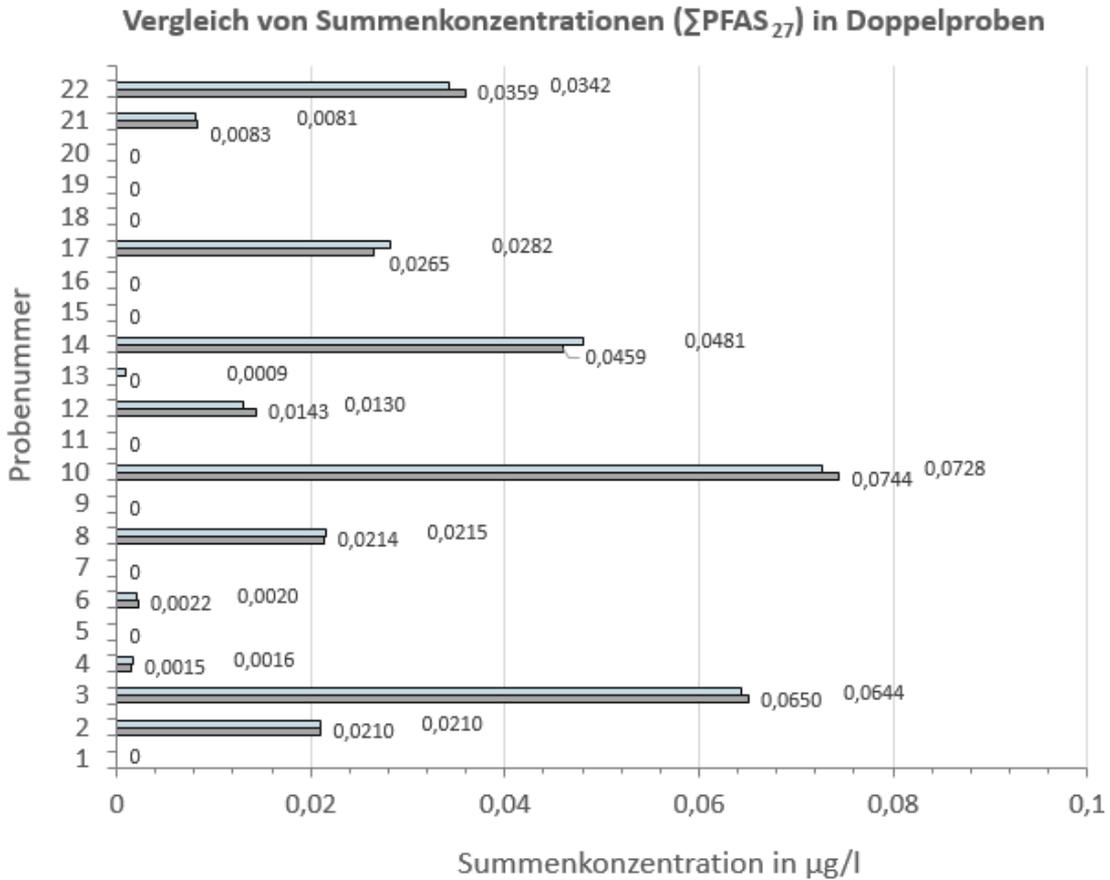
Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

Auswertung: Umweltbundesamt

4.2.2 Doppelproben

Die Qualitätssicherung der Messungen erfolgte insbesondere im Hinblick auf mögliche Probenahmeeffekte durch Doppelproben und Blindwerte. Abbildung 5 zeigt dazu die Abweichungen in Bezug auf die Summe aller untersuchten PFAS (Σ PFAS₂₇) je Doppelprobe. Im Mittel zeigen die Summenkonzentrationen der Doppelproben eine Abweichung von 0,035 ng/l (0,000035 µg/l) bzw. eine Bandbreite von 0 bis 0,00167 µg/l Σ PFAS₂₇. Systematische Probenahmeeffekte mit Einfluss auf die Größenordnung der an den Grundwassermessstellen festgestellten PFAS-Summenkonzentrationen können deshalb ausgeschlossen werden. Auch die mit Reinstwasser erhobenen Blindwerte der Probenahmeequipments zeigen keine Probenahmeeffekte und sind frei von PFAS. Die mit Leitungswasser als Doppelproben erhobenen Blindwerte der Probenahmeequipments waren nicht gänzlich frei von PFAS, zeigen aber sehr gut reproduzierbare Messergebnisse bei einem Vergleich der Doppelproben.

Abbildung 5: Vergleich von Summenkonzentrationen (Σ PFAS₂₇) in Doppelproben.



Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

Auswertung: Umweltbundesamt

4.2.3 Summenkonzentrationen und Bewertung

Um die Gesamtbelastung der Grundwassermessstellen hinsichtlich PFAS zu überprüfen und eine etwaige Gefährdung von Grundwassermessstellen festzustellen, wurden mangels entsprechender Grundwasserswellenwerte zum einen der Trinkwasserparameterwert „Summe der PFAS“ (Σ PFAS₂₀) von 0,1 µg/l für 20 definierte PFAS entsprechend TWRL herangezogen.

Ab 12. Jänner 2026 darf dieser Grenzwert in Trinkwasser nicht überschritten werden. Ergänzend wurde die Summenkonzentration aller im Projekt analysierten PFAS, das heißt die Summe aller 27 analysierten Einzelsubstanzen als „Summe 27 PFAS“ (Σ PFAS₂₇) betrachtet (Tabelle 15).

Außerdem wurde für eine vorläufige Bewertung hinsichtlich einer etwaigen Gefährdung von Messstellen durch PFAS überprüft, ob die vorgeschlagene Grundwasserqualitätsnorm (EK, 2022a) von 0,0044 µg/l „Summe PFOA-Äquivalente“ (engl. *sum of PFOA equivalents*, $\sum\text{PEQ}_{24}$) in den untersuchten Grundwasserproben überschritten wird. Im gegenständlichen Monitoring wurden 19 der 24 PFAS untersucht. Die „Summe PFOA-Äquivalente“ wurde unter Berücksichtigung der substanzspezifischen Relativen Potenzfaktoren (vgl. Kapitel 3.4) berechnet. Bei einer Aufnahme der vorgeschlagenen Qualitätsnorm in den Anhang I der Grundwasserrichtlinie müssten zukünftig nach Überschreitung einer PFOA-Äquivalentkonzentration von 0,0044 µg/l an Grundwassermessstellen Maßnahmen zur Verbesserung der Grundwasserqualität gesetzt werden.

4.2.3.1 „Summe der PFAS“ (Trinkwasserrichtlinie)

Die in der Trinkwasserrichtlinie definierten zwanzig PFAS ($\sum\text{PFAS}_{20}$) erfassen den Großteil der PFAS-Konzentrationen (Tabelle 15) im Vergleich zum gesamten Analytikumfang ($\sum\text{PFAS}_{27}$). Die sieben im Trinkwasserparameterwert nicht berücksichtigten Substanzen (v. a. FTSA, PFECAs, PFESAs) werden im Grundwasser nur selten und mit geringen Konzentrationen gefunden (vgl. auch Abbildung 2, $\sum\text{PFAS}_{27}$).

Tabelle 15: Statistische Lagemaße der „Summe der PFAS“ ($\sum\text{PFAS}_{20}$) und der Summe aller analysierten PFAS ($\sum\text{PFAS}_{27}$) im oberflächennahen Grundwasser.

Summe	Anzahl	Median (µg/l)	75. P. (µg/l)	95. P. (µg/l)	Max. (µg/l)	Anzahl >0,075 µg/l	Anzahl >0,1 µg/l	Anteil (%) >0,1 µg/l
$\sum\text{PFAS}_{20}$ (TWRL)	1.877	0	0,0027	0,0317	1,78	24	14	0,74
$\sum\text{PFAS}_{27}$	1.877	0	0,0028	0,0330	1,78	24	14	0,75

P... Perzentil, Max. ... Maximum.

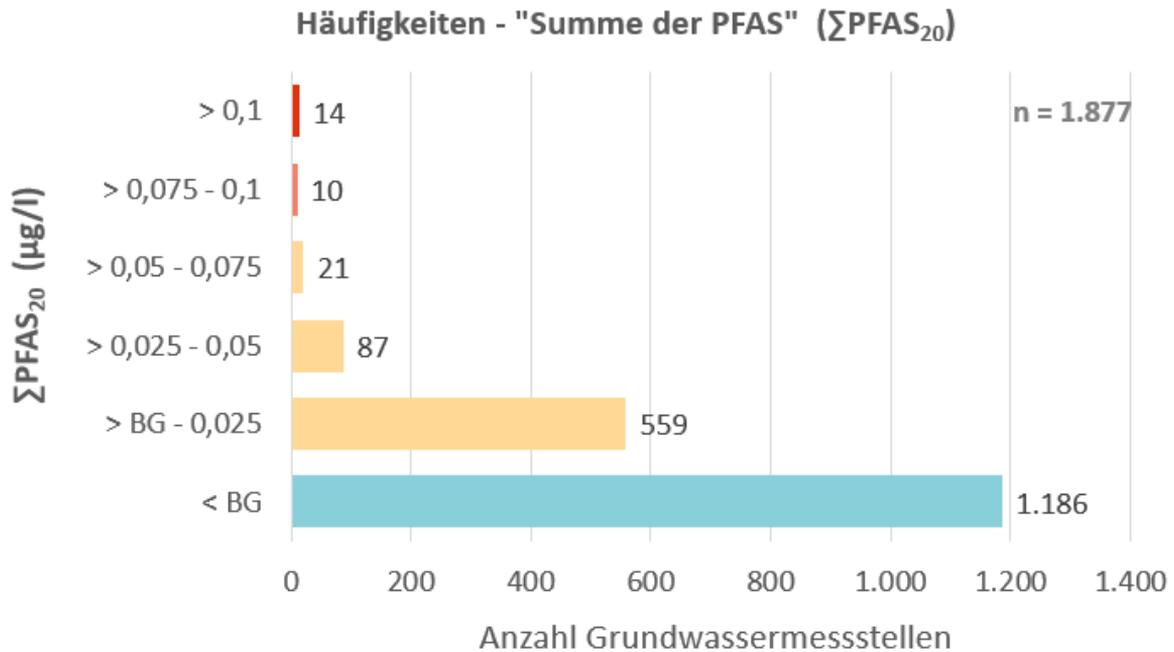
Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

Auswertung: Umweltbundesamt

An 14 Grundwassermessstellen der oberflächennahen Grundwasserkörper wird der, ab 2026 bei Trinkwassernutzung einzuhaltende, Parameterwert von 0,1 µg/l „Summe der PFAS“ überschritten (Tabelle 15, Abbildung 6). An zehn weiteren Grundwassermessstellen wurde eine Konzentration von mindestens 75 % und an 21 weiteren Messstellen eine Konzentration von mindestens 50 % dieses Parameterwertes erreicht (Abbildung 6). An 0,75 %

aller oberflächennahen Grundwassermessstellen (14 von 1.877) (Abbildung 6) und 0,74 % aller insgesamt untersuchten Messstellen wurde der Trinkwasserparameterwert von 0,1 µg/l „Summe der PFAS“ überschritten.

Abbildung 6: Häufigkeiten der „Summe der PFAS“ (TWRL) im oberflächennahen Grundwasser.



Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

Auswertung: Umweltbundesamt

An keiner der im 2. Quartal 2022 untersuchten 15 Tiefengrundwassermessstellen wurde dieser Trinkwasserparameterwert überschritten.

4.2.3.2 „Summe PFOA-Äquivalente“ (Vorschlag Grundwasserqualitätsnorm)

Als zweites Bewertungskriterium wurde die von der Europäischen Kommission im Jahr 2022 vorgeschlagene Grundwasserqualitätsnorm von 0,0044 µg/l „Summe PFOA-Äquivalente“ (EK, 2022a) herangezogen. Sie berücksichtigt — wie in Kapitel 3.4 erläutert — im Gegensatz zur Trinkwasserrichtlinie, die Empfehlung der EFSA zu PFAS vom 9. Juli 2020 und die damit einhergehende, deutlich kritischere Beurteilung von PFAS-Konzentrationen in Lebensmitteln wie Trinkwasser.

Dementsprechend kommt es im Grundwassermessnetz zu häufigeren Überschreitungen der vorgeschlagenen Grundwasserqualitätsnorm von 0,0044 µg/l PFOA-Äquivalenten. Im 2. Quartal 2022 wurde dieses Bewertungskriterium an 216 (11,5 %) der im Rahmen des Sondermessprogramms beprobten GZÜV-Messstellen in oberflächennahen Grundwasserkörpern überschritten (Tabelle 16, Abbildung 7). Bezogen auf die Gesamtanzahl (einschließlich Tiefengrundwasser) kommt es an 11,4 % der Messstellen zu Überschreitungen der vorgeschlagenen Qualitätsnorm (Tabelle 16).

Tabelle 16: Statistische Lagemaße der „Summe PFOA-Äquivalente“ (Σ PEQ₂₄) im Grundwasser.

Summe	Anzahl	Median (µg/l)	75. P. (µg/l)	95. P. (µg/l)	Max. (µg/l)	Anzahl >0,0044 µg/l	Anteil (%) >0,0044 µg/l
Σ PEQ ₂₄ (EK, 2022a) oberflächennahes Grundwasser (Brunnen und Quellen)	1.877	0	0,00066	0,0141	2,41	216	11,5
Σ PEQ ₂₄ (EK, 2022a) inklusive Tiefengrundwasser	1.892	0	0,00066	0,0139	2,41	216	11,4

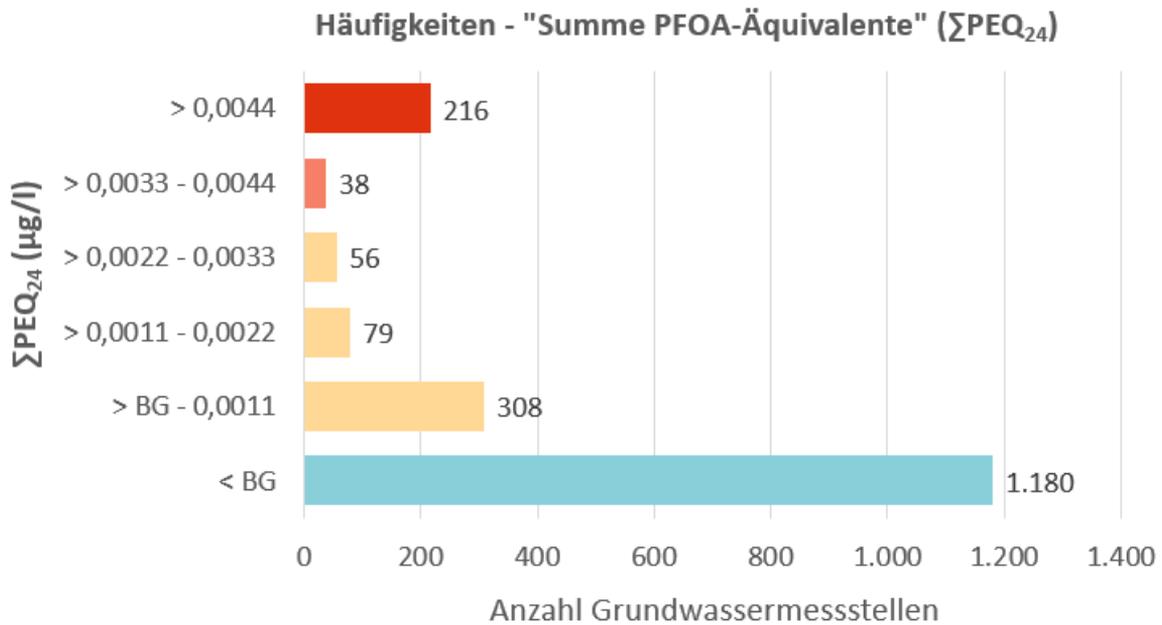
P... Perzentil, Max. ... Maximum.

Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

Auswertung: Umweltbundesamt

An 38 weiteren Grundwassermessstellen lag die Konzentration bei mindestens 75 % (>0,0033 µg/l) und an 56 weiteren Messstellen bei mindestens 50 % (>0,0022 µg/l) dieser Qualitätsnorm (Abbildung 7). An 62,9 % (n=1.180) der Messstellen war aufgrund des Parameterumfangs der „Summe PFOA-Äquivalente“ die Summenkonzentration gleich „0“, da die Messwerte unterhalb der Bestimmungs- oder Nachweisgrenze liegen (Abbildung 7). Die Abweichung zur Messstellenanzahl mit einer Summenkonzentration gleich „0“ bei einer Bewertung auf Basis der „Summe der PFAS“ entsprechend TWRL (vgl. Abbildung 6) ergibt sich aus dem unterschiedlichen Parameterumfang der beiden Bewertungskriterien (vgl. auch Abbildung 2).

Abbildung 7: Häufigkeiten der „Summe PFOA-Äquivalente“ (EK, 2022a) im oberflächennahen Grundwasser.



Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

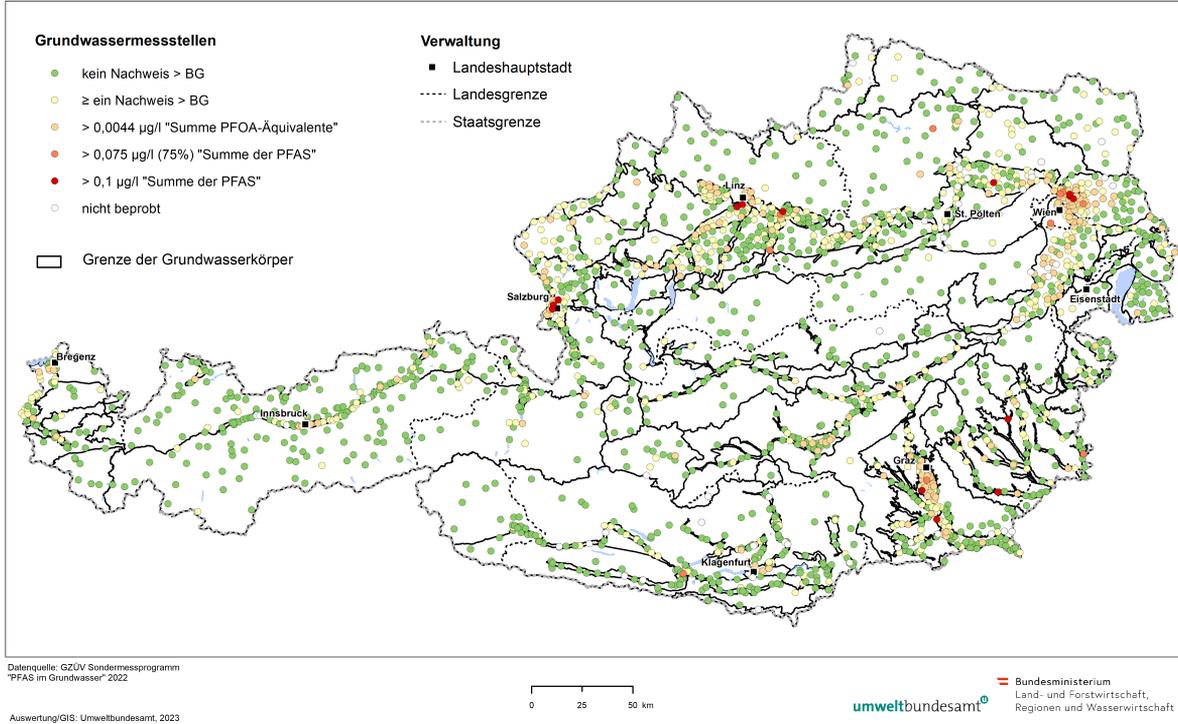
Auswertung: Umweltbundesamt

In der Karte (Abbildung 8) ist die räumliche Verteilung von Grundwassermessstellen mit Überschreitungen der herangezogenen Bewertungskriterien dargestellt. Der für eine Trinkwasserverwendung geltende Parameterwert von $0,1 \mu\text{g/l}$ „Summe der PFAS“ wurde im Grundwasser vor allem lokal in Folge von punktuellen Belastungen – häufig durch den Einsatz von PFAS-haltigen Feuerlöschschäumen in der Vergangenheit – überschritten (vgl. auch Tabelle 18 im Anhang).

Zur Häufung von Überschreitungen (>30 % der Messstellen eines GWKs) der vorgeschlagenen Grundwasserqualitätsnorm von $0,0044 \mu\text{g/l}$ PFOA-Äquivalenten kommt es bei den im 2. Quartal 2022 durchgeführten Probenahmen in den Grundwasserkörpern Klagenfurter Becken [DRA], Marchfeld [DUJ], Linzer Becken [DUJ], Traun- und Zubringertäler [DUJ], Welser Heide [DUJ], Grazer Feld (Graz/Andritz - Wildon) [MUR], Ilz und Rittscheintal [LRR], Safental [LRR] und Südl. Wiener Becken [DUJ] (Abbildung 8, Tabelle 17).

Abbildung 8: Räumliche Verteilung von PFAS im oberflächennahen Grundwasser im 2. Quartal 2022.

GZÜV-Sondermessprogramm "PFAS im Grundwasser", 2. Quartal 2022



Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen
 Auswertung: Umweltbundesamt

Tabelle 17: Grundwasserkörper mit >30 % beprobter Grundwassermessstellen mit Überschreitung von 0,0044 µg/l „Summe PFOA-Äquivalente“ (ΣPEQ₂₄).

Bundesland	GWK	Anzahl gesamt	Anzahl >0,0044 µg/l „Summe PFOA-Äquivalente“ (ΣPEQ ₂₄)	Anteil (%) >0,0044 µg/l „Summe PFOA-Äquivalente“ (ΣPEQ ₂₄)
Kärnten	Klagenfurter Becken [DRA]	10	6	60,0
Niederösterreich, Wien	Marchfeld [DUJ]	69	32	46,4
	Südl. Wiener Becken [DUJ]	86	33	38,4
Oberösterreich	Linzer Becken [DUJ]	13	7	53,8

Bundesland	GWK	Anzahl gesamt	Anzahl >0,0044 µg/l „Summe PFOA-Äquivalente“ (ΣPEQ ₂₄)	Anteil (%) >0,0044 µg/l „Summe PFOA-Äquivalente“ (ΣPEQ ₂₄)
	Traun- und Zubringertäler [DUJ]	8	3	37,5
	Welser Heide [DUJ]	22	7	31,8
Steiermark	Grazer Feld [MUR]	36	24	66,7
	Ilz und Rittscheintal [LRR]	3	1	33,3
	Safental [LRR]	1	1	100,0

Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

Auswertung: Umweltbundesamt

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

An 14 der 1.892 untersuchten Grundwassermessstellen wurde der Parameterwert der Trinkwasserrichtlinie für die „Summe der PFAS“ von 0,1 µg/l überschritten. Das sind 0,74 % aller untersuchten Grundwassermessstellen. Überschreitungen in der Größenordnung dieses Parameterwertes deuten auf erhebliche Einträge von PFAS in den Untergrund hin. Da etliche, insbesondere kurzkettige PFAS im Boden und Untergrund sehr mobil sind, könnten im Umfeld derartiger Messstellen durchaus ausgedehnte Schadstofffahnen im Grundwasser vorliegen, wenn eine entsprechende Durchlässigkeit und Wasserwegigkeit im Untergrund gegeben ist. An 216 (11,4 %) der Grundwassermessstellen wurde eine Überschreitung der von der EU-Kommission aus Gründen des Gesundheits- und Umweltschutzes vorgeschlagenen Grundwasserqualitätsnorm von 0,0044 µg/l „Summe PFOA-Äquivalente“ festgestellt.

Die zuständigen Landesbehörden wurden nach Plausibilisierung der Messwerte in ihrer Funktion als Gewässeraufsicht über die Untersuchungsergebnisse informiert. Bei einer Überschreitung des ab 2026 in der EU einzuhaltenden Trinkwasserparameterwertes sollten bereits jetzt geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um Ursache, Ausmaß und die Auswirkungen unbeabsichtigter Verschmutzungen mit PFAS festzustellen und in der Folge zu begrenzen. Hierbei ist ggf. zu prüfen, ob es sich bei den festgestellten Kontaminationen um Altlasten gemäß Altlastensanierungsgesetz (ALSAG, BGBl. Nr. 299/1989 idgF) handelt. Zudem sind PFAS-relevante Altstandorte und Altablagerungen als potenzielle Quellen für den Eintrag von PFAS in Böden und Grundwasser zu identifizieren.

Im Umfeld besonders belasteten Grundwassermessstellen (>0,075 µg/l „Summe der PFAS“) wurden vielerorts bereits weiterführende Untersuchungen durchgeführt bzw. sind in Durchführung oder in Planung (BMK, 2023a). So wurden und werden im Rahmen der Vollziehung des Altlastensanierungsgesetzes derzeit Untersuchungen in der Gemeinde Lebring-St. Margarethen, an den Flughäfen Wien-Schwechat und Linz-Hörsching, in der Stadt Salzburg und an weiteren Standorten durchgeführt (BMK, 2023a). Der langjährige bzw. in großen Mengen erfolgte Einsatz von PFAS-haltigen Löschschäumen stellt nach bisherigem Erkenntnisstand das größte Risiko für eine Belastung des Grundwassers dar.

Im 2. Quartal 2023 erfolgt an ~370 Grundwassermessstellen eine Weiterbeobachtung von PFAS im Rahmen der Gewässerzustandsüberwachung. Trinkwasser selbst wird zudem im Rahmen von Schwerpunktaktionen im Auftrag des Bundesministeriums für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz durch die AGES regelmäßig untersucht¹⁵. Der Normentwurf zur Bestimmung der Summe der perfluorierten Substanzen („Summe der PFAS“) im Trinkwasser¹⁶ umfasst auch zwei verzweigte PFAS-Isomere (PFOS_{verzweigt}, PFHxS_{verzweigt}), welche im Analytikumfang zukünftiger Grundwasseruntersuchungen berücksichtigt werden sollten. In der GZÜV-Weiterbeobachtung von PFAS im 2. Quartal 2023 werden die beiden verzweigten Isomere ebenfalls erfasst.

Die Festlegung eines Grundwasserschwellenwertes für PFAS in der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser ist auf Basis der Ergebnisse des flächendeckenden GZÜV-Sondermessprogramms zu PFAS und unter Berücksichtigung der nationalen Umsetzung der Trinkwasserrichtlinie sowie der etwaigen Umsetzung des EU-Kommissionsvorschlags für eine EU-weite Grundwasserqualitätsnorm zu prüfen.

¹⁵ Schwerpunktaktionen – AGES

¹⁶ prEN 17892 - Water quality - Determination of the sum of perfluorinated substances (Sum of PFAS) in (iteh.ai)

6 Anhang

Tabelle 18: Grundwassermessstellen mit Konzentrationen >75 % des Parameterwertes von 0,1 µg/l „Summe der PFAS“ (TWRL) im 2. Quartal 2022 sowie „Summe PFOA-Äquivalente“ (EK, 2022a) und Summe aller analysierten PFAS (Σ PFAS₂₇) für diese Messstellen.

Bundesland	Gemeinde	GZÜV-ID	„Summe der PFAS“ (Σ PFAS ₂₀) (µg/l)	„Summe PFOA-Äquivalente“ (Σ PEQ ₂₄) (µg/l)	Summe PFAS ₂₇ (Σ PFAS ₂₇) (µg/l)
Burgenland	Eberau	PG10003572	0,085	0,0031	0,085
Kärnten	Villach	PG20201172	0,078	0,1005	0,078
Niederösterreich	Zwentendorf an der Donau	PG32100642	0,224	0,1011	0,224
	St. Leonhard am Hornerwald	PG31300362	0,089	0,1683	0,089
	St. Pantaleon-Erla	PG30500282	0,284	0,0250	0,284
	Ennsdorf	PG30500142	0,082	0,0105	0,091
Oberösterreich	Leonding	PG41012012	0,371	0,2609	0,371
	Leonding	PG41012052	0,108	0,0335	0,108
	Steyr	PG40201012	0,075	0,0244	0,075
Salzburg	Salzburg	PG54100612	0,227	0,4625	0,227
	Bergheim	PG54100702	0,187	0,0774	0,187
	Salzburg	PG54106952	0,571	1,0310	0,574
Steiermark	Feldkirchen bei Graz	PG60117282	0,097	0,0692	0,097
	Lang	PG61020012	0,738	0,0385	0,739
	Hartberg	PG60710032	1,782	2,4077	1,782
	Premstätten	PG60652532	0,129	0,0231	0,129
	Feldbach	PG60411182	0,113	0,0211	0,113
Wien	22., Donaustadt	PG92200642	0,423	0,0507	0,431

Bundesland	Gemeinde	GZÜV-ID	„Summe der PFAS“ (Σ PFAS ₂₀) ($\mu\text{g/l}$)	„Summe PFOA-Äquivalente“ (Σ PEQ ₂₄) ($\mu\text{g/l}$)	Summe PFAS ₂₇ (Σ PFAS ₂₇) ($\mu\text{g/l}$)
	21., Floridsdorf	PG92100322	0,092	0,0621	0,092
	21., Floridsdorf	PG92100272	0,137	0,0302	0,137
	21., Floridsdorf	PG92100072	0,077	0,0290	0,078
	22., Donaustadt	PG92200522	0,088	0,0464	0,088
	21., Floridsdorf	PG92100282	0,118	0,0323	0,119

Quellen: GZÜV, BML, Ämter der Landesregierungen

Auswertung: Umweltbundesamt

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: PFAS auf der Kandidatenliste der Stoffe mit besonders besorgniserregenden Eigenschaften.	23
Tabelle 2: Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der analysierten linearen Perfluorcarbonsäuren in den Grundwasserproben.	29
Tabelle 3: Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der analysierten linearen Perfluorsulfonsäuren in den Grundwasserproben.	30
Tabelle 4: Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der analysierten Fluortelomersulfonsäuren in den Grundwasserproben.....	31
Tabelle 5: Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der analysierten per- und polyfluorierten Alkylethercarbonsäuren (PFECAs) und -sulfonsäuren (PFESAs) in den Grundwasserproben.....	31
Tabelle 6: Analysenumfang des GZÜV-Sondermessprogramms 2022 im Vergleich zum Parameterumfang der Grundwasserqualitätsnorm (EK, 2022a), der „Summe der PFAS“ (TWRL) und der EFSA-Empfehlung (EFSA, 2020); Relative Potenzfaktoren zur Berechnung der „Summe der PFOA-Äquivalente“ (EK, 2022a).....	33
Tabelle 7: Perfluorcarbonsäuren (PFCAs) – Nachweishäufigkeiten (Anzahl Proben) im oberflächennahen Grundwasser.....	36
Tabelle 8: Perfluorsulfonsäuren (PFSA) – Nachweishäufigkeiten (Anzahl Proben) im oberflächennahen Grundwasser.....	37
Tabelle 9: Fluortelomersulfonsäuren – Nachweishäufigkeiten (Anzahl Proben) im oberflächennahen Grundwasser.....	38
Tabelle 10: PFECA, PFESA (Ersatzstoffe) – Nachweishäufigkeiten (Anzahl Proben) im oberflächennahen Grundwasser.....	38
Tabelle 11: GZÜV-Grundwassermessstellen mit Maximalkonzentrationen einzelner PFAS.....	41
Tabelle 12: Statistische Lagemaße der Konzentrationen der analysierten linearen Perfluorcarbonsäuren (PFCAs) im oberflächennahen Grundwasser.....	42
Tabelle 13: Statistische Lagemaße der Konzentrationen der analysierten linearen Perfluorsulfonsäuren (PFSA) im oberflächennahen Grundwasser.....	43
Tabelle 14: Statistische Lagemaße der Konzentrationen der analysierten Fluortelomersulfonsäuren (FTSAs) sowie der per- und polyfluorierten Alkylethercarbonsäuren (PFECAs) und -sulfonsäuren (PFESAs) im oberflächennahen Grundwasser.	44
Tabelle 15: Statistische Lagemaße der „Summe der PFAS“ (\sum PFAS ₂₀) und der Summe aller analysierten PFAS (\sum PFAS ₂₇) im oberflächennahen Grundwasser.....	46

Tabelle 16: Statistische Lagemaße der „Summe PFOA-Äquivalente“ ($\sum\text{PEQ}_{24}$) im Grundwasser.	48
Tabelle 17: Grundwasserkörper mit >30 % beprobter Grundwassermessstellen mit Überschreitung von 0,0044 $\mu\text{g/l}$ „Summe PFOA-Äquivalente“ ($\sum\text{PEQ}_{24}$).....	50
Tabelle 18: Grundwassermessstellen mit Konzentrationen >75 % des Parameterwertes von 0,1 $\mu\text{g/l}$ „Summe der PFAS“ (TWRL) im 2. Quartal 2022 sowie „Summe PFOA-Äquivalente“ (EK, 2022a) und Summe aller analysierten PFAS ($\sum\text{PFAS}_{27}$) für diese Messstellen.....	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Tensidstruktur von PFAS.	13
Abbildung 2: Nachweishäufigkeiten von PFAS im oberflächennahen Grundwasser (2. Quartal 2022) und die Erfassung einzelner PFAS durch die ausgewählten Bewertungskriterien.....	35
Abbildung 3: Anzahl und Anteil der Messstellen mit quantifizierten PFAS (>BG) je Grundwasserleitertyp.....	39
Abbildung 4: Konzentrationsbereiche der untersuchten PFAS in den Proben der oberflächennahen Grundwasserkörper.	40
Abbildung 5: Vergleich von Summenkonzentrationen (Σ PFAS ₂₇) in Doppelproben.....	45
Abbildung 6: Häufigkeiten der „Summe der PFAS“ (TWRL) im oberflächennahen Grundwasser.	47
Abbildung 7: Häufigkeiten der „Summe PFOA-Äquivalente“ (EK, 2022a) im oberflächennahen Grundwasser.	49
Abbildung 8: Räumliche Verteilung von PFAS im oberflächennahen Grundwasser im 2. Quartal 2022.....	50

Literaturverzeichnis

Ahrens, L. & Bundschuh, M. (2014): Fate and effects of poly- and perfluoroalkyl substances in the aquatic environment: A review. *Environmental toxicology and chemistry*, 33(9), 1921-1929.

Aleksandrov, K.; Gehrmann, H.-J.; Hauser, M.; Mätzing, H.; Pigeon, D.; Stapf, D.; Wexler, M. (2019): Waste incineration of Polytetrafluoroethylene (PTFE) to evaluate potential formation of per- and Poly-Fluorinated Alkyl Substances (PFAS) in flue gas. *Chemosphere* 226, 898-906. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.191>

Amt der Vorarlberger Landesregierung (2016): Klärschlamm und Boden. Eintrag von Spurenstoffen auf landwirtschaftlich genutzte Böden. Amt der Vorarlberger Landesregierung, Bregenz, Wien.
<https://vorarlberg.at/documents/302033/472528/Eintrag+von+Spurenstoffen+auf+landwirtschaftlich+gen%C3%B4tzte+B%C3%B6den.pdf/9517b6c0-c879-adeb-d234-67ef1b906b59>, abgerufen am 26.05.2023.

Amt der Vorarlberger Landesregierung (2021): Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in Vorarlberg. Amt der Vorarlberger Landesregierung, Bregenz.
https://vorarlberg.at/documents/302033/844659/PFAS_in_Vorarlberg.pdf/c0309b72-cf69-29ef-4b5c-c91a73ca8804?t=1623823252212, abgerufen am 26.05.2023.

Berg, C.; Crone, B.; Gullett, B.; Higuchi, M.; Krause, M. J.; Lemieux, P. M.; Martin, T.; Shields, E. P.; Struble, E.; Thoma, E.; Whitehill, A. (2022): Developing innovative treatment technologies for PFAS-containing wastes. In: *Journal of the Air & Waste Management Association* (1995), 72 (6), S. 540–555.
<https://doi.org/10.1080/10962247.2021.2000903>.

BMG (2014): Leitlinie. Umgang mit nicht geregelten Fremdstoffen im Trinkwasser. BMG-75210/0023-II/B/13/2014. Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Konsumentenschutz, Wien. <https://www.lebensmittelbuch.at/leitlinien/leitlinien-richtlinien-empfehlungen-usw-der-codexkommission/trinkwasser/leitlinie-umgang-mit-nicht-geregelten-fremdstoffen-im-trinkwasser.html>, abgerufen am 30.05.2023.

BMK (2023a): PFAS-Strategie im Rahmen der Vollziehung des Altlastensanierungsgesetzes. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und

Technologie, Wien. <https://altlasten.gv.at/dam/jcr:4a0eedc4-b25e-49f1-8bff-97a32386a3d1/PFAS-Strategie-ALSAG.pdf>, abgerufen am 30.05.2023

BMK (2023b): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2023, Teil 1. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien. https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/aws/bundes_aws/bawp2023.html, abgerufen am 30.05.2023.

BMLFUW (2016): Deponiesickerwasser. Untersuchungen zu Zusammensetzung, Abbaubarkeit und Hemmwirkung in biologischen Kläranlagen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien. <https://info.bml.gv.at/themen/wasser/wasserqualitaet/abwasserreinigung/deponiesickerwasser-endbericht.html>, abgerufen am 23.05.2023.

BMLRT (2022): Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2021. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT), Wien. [Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2021 \(NGP 2021\) \(bml.gv.at\)](https://www.bml.gv.at/nationaler-gewaesserbewirtschaftungsplan-2021), abgerufen am 23.05.2023.

BMNT (2018): Spurenstoffe im Grundwasser. Untersuchungen zum Vorkommen von Quecksilber und 30 ausgewählten organischen Substanzen anthropogener Herkunft. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien. [Sondermessprogramm Spurenstoffe im Grundwasser \(bml.gv.at\)](https://www.bml.gv.at/spurenstoffe-im-grundwasser), abgerufen am 26.06.2023.

BMNT (2019): STOBIMO Spurenstoffe. Stoffbilanzmodellierung für Spurenstoffe auf Einzugsgebietsebene. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien. [STOBIMO Spurenstoffe - Modellierung punktförmiger und diffuser Emissionen von Spurenstoffen \(bml.gv.at\)](https://www.bml.gv.at/stobimo-spurenstoffe), abgerufen am 26.06.2023.

Brielmann, H.; Grath, J.; Wemhöner, U.; Lindinger, H.; Scheidleder, A. (2022): Schadstoffe im Grundwasser – Vorgangsweise zur Identifizierung und Priorisierung von neu auftretenden Spurenstoffen. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 74 (7), S. 293–305. <https://doi.org/10.1007/s00506-022-00870-9>.

Brusseau, M. L.; Anderson, R. H.; Guo, B. (2020): PFAS concentrations in soils: Background levels versus contaminated sites. In: The Science of the total environment, 740, S. 140017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140017>.

Buck, R. C.; Franklin, J.; Berger, U.; Conder, J. M.; Cousins, I. T.; Voogt, P. de; Jensen, A. A.; Kannan, K.; Mabury, S. A.; van Leeuwen, S. P. J. (2011): Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. In: Integrated environmental assessment and management, 7 (4), S. 513–541.
<https://doi.org/10.1002/ieam.258>.

Buck, R. C.; Korzeniowski, S. H.; Laganis, E.; Adamsky, F. (2021): Identification and classification of commercially relevant per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS). In: Integrated environmental assessment and management, 17 (5), S. 1045–1055.
<https://doi.org/10.1002/ieam.4450>.

Clara, M., Scheffknecht, C., Scharf, S., Weiss, S., Gans, O. (2008): Emissions of perfluorinated alkylated substances (PFAS) from point sources-identification of relevant branches. In: Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research, 58 (1), S. 59–66.

Cousins, I. T.; Johansson, J. H.; Salter, M. E.; Sha, B.; Scheringer, M. (2022): Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). In: Environmental science & technology, 56 (16), S. 11172–11179.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02765>.

DIN 32645:2008-11 (2008): Chemische Analytik - Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen - Begriffe, Verfahren, Auswertung.

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

ECHA (2023a): ANNEX XV RESTRICTION REPORT. PROPOSAL FOR A RESTRICTION. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). European Chemicals Agency. [Registry of restriction intentions until outcome - ECHA \(europa.eu\)](#), abgerufen am 26.05.2023.

ECHA (2023b): ANNEX XV RESTRICTION REPORT. PROPOSAL FOR A RESTRICTION. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in firefighting foams. European Chemicals Agency,

Helsinki. [Registry of restriction intentions until outcome - ECHA \(europa.eu\)](#), abgerufen am 26.06.2023.

ECHA (2023c): Liste der für eine Zulassung in Frage kommenden besonders besorgniserregenden Stoffe. [Liste der für eine Zulassung in Frage kommenden besonders besorgniserregenden Stoffe - ECHA \(europa.eu\)](#); abgerufen am 26.06.2023.

EK (2022a): COM (2022) 540 final: Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, der Richtlinie 2006/118/EG zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung und der Richtlinie 2008/105/EG über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik. Europäische Kommission, 2022/0344 (COD), Brüssel. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022PC0540>, abgerufen am 30.05.2023.

EK (2022b): COM (2022) 150 final: Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über fluorierte Treibhausgase, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2019/1937 und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 517/2014. Europäische Kommission, 2022/0099 (COD), Brüssel. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022PC0150>, abgerufen am 30.05.2023.

Fredriksson, F.; Eriksson, U.; Kärrman, A.; Yeung, L. W. Y. (2022): Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in sludge from wastewater treatment plants in Sweden - First findings of novel fluorinated copolymers in Europe including temporal analysis. In: The Science of the total environment, 846, S. 157406. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157406>.

Gasser, L.; Held, T.; Krieg, F.; Kathriner, L.; Lipsky, A.; Reinhard, M. (2021): Entscheidungsgrundlagen für den Vollzug bei PFAS-belasteten Standorten in der Schweiz. Expertenbericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Arcadis Schweiz AG. <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/altlasten/externe-studien-berichte/expertenbericht-pfas.pdf.download.pdf/entscheidungsgrundlagen-vollzug-PFAS-belastete-standorte.pdf>, abgerufen am 30.05.2023.

Glüge, J.; Scheringer, M.; Cousins, I. T.; DeWitt, J. C.; Goldenman, G.; Herzke, D.; Lohmann, R.; Ng, C. A.; Trier, X.; Wang, Z. (2020): An overview of the uses of per- and

polyfluoroalkyl substances (PFAS). In: Environmental science. Processes & impacts, 22 (12), S. 2345–2373. <https://doi.org/10.1039/d0em00291g>.

Henry, B. J.; Carlin, J. P.; Hammerschmidt, J. A.; Buck, R. C.; Buxton, L. W.; Fiedler, H.; Seed, J.; Hernandez, O. (2018): A critical review of the application of polymer of low concern and regulatory criteria to fluoropolymers. In: Integrated environmental assessment and management, 14 (3), S. 316–334. <https://doi.org/10.1002/ieam.4035>.

Joerss, H.; Menger, F. (2023): The complex 'PFAS world' - How recent discoveries and novel screening tools reinforce existing concerns. In: Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 40, S. 100775. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100775>.

Johnson, G. R. (2022): PFAS in soil and groundwater following historical land application of biosolids. In: Water research, 211, S. 118035. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.118035>.

Kirsch, P. (2013): Modern fluoroorganic chemistry: synthesis, reactivity, applications. John Wiley & Sons. ISBN: 3527651373.

Lenka, S. P.; Kah, M.; Padhye, L. P. (2021): A review of the occurrence, transformation, and removal of poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) in wastewater treatment plants. In: Water research, 199, S. 117187. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117187>.

Liu, X.; Huang, X.; Wei, X.; Zhi, Y.; Qian, S.; Li, W.; Yue, D.; Wang, X. (2023): Occurrence and removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in leachates from incineration plants: A full-scale study. In: Chemosphere, 313, S. 137456. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137456>.

Liu, Y.; D'Agostino, L. A.; Qu, G.; Jiang, G.; Martin, J. W. (2019): High-resolution mass spectrometry (HRMS) methods for nontarget discovery and characterization of poly- and per-fluoroalkyl substances (PFASs) in environmental and human samples. In: TrAC Trends in Analytical Chemistry, 121, S. 115420. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.02.021>.

Longendyke, G.K.; Katel, S.; Wang, Y. (2022): PFAS fate and destruction mechanisms during thermal treatment: a comprehensive review. Environmental Science: Processes & Impacts, 24(2), 196-208. DOI <https://doi.org/10.1039/D1EM00465D>

Niegowska, M.; Pretto, P.; Porcel-Rodriguez, E.; Marinov, D.; Ceriani, L.; Lettieri, T. (2021): Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) of possible concern in the aquatic environment. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-37868-6, https://doi.org/10.2760/968570_JRC125254.

OECD (2018): Toward a new comprehensive global database of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). Summary report on updating the OECD 2007 list of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). . Series on Risk Management, No. 39. Environment Directorate, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris. <https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/global-database-of-per-and-polyfluoroalkyl-substances.xlsx>, abgerufen am 30.05.2023.

OECD (2021): Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance. Series on Risk Management, No. 61. Environment Directorate, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris. [https://one.oecd.org/document/ENV/CBC/MONO\(2021\)25/En/pdf](https://one.oecd.org/document/ENV/CBC/MONO(2021)25/En/pdf), abgerufen am 30.05.2023.

Ogawa, Y.; Tokunaga, E.; Kobayashi, O.; Hirai, K.; Shibata, N. (2020): Current Contributions of Organofluorine Compounds to the Agrochemical Industry. In: *iScience*, 23 (9), S. 101467. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101467>.

Schymanski, E.; Bolton, E. (2023): ZeroPM Webinar: Are there really 6 million PFAS in PubChem? 10.5281/zenodo.7756622, abgerufen am 05.05.2023.

Solo-Gabriele, H. M.; Jones, A. S.; Lindstrom, A. B.; Lang, J. R. (2020): Waste type, incineration, and aeration are associated with per- and polyfluoroalkyl levels in landfill leachates. In: *Waste management (New York, N.Y.)*, 107, S. 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.034>.

Spaan, K. M.; Seilitz, F.; Plassmann, M. M.; Wit, C. A. de; Benskin, J. P. (2023): Pharmaceuticals Account for a Significant Proportion of the Extractable Organic Fluorine in Municipal Wastewater Treatment Plant Sludge. In: *Environmental Science & Technology Letters*, 10 (4), S. 328–336. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.3c00108>.

Umweltbundesamt (2020): Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen. Abschlussbericht. Dessau-Roßlau: Arcadis Germany GmbH.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-13_texte_137-2020_handbuch_pfas.pdf, abgerufen am 30.05.2023.

Umweltbundesamt (2022): "Circular economy" im Abfallbereich - Evaluierung im Hinblick auf Klärschlammkompost. Endbericht. Wien. https://www.umweltbundesamt.at/studien-reports/publikationsdetail?pub_id=2421, abgerufen am 30.05.2023.

Rechtsvorschriften

EU-Recht

Änderungsverordnung (EU) 2020/784: Delegierte Verordnung (EU) 2020/784 der Kommission vom 8. April 2020 zur Änderung des Anhangs I der Verordnung (EU) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Aufnahme von Perfluorooctansäure (PFOA), ihrer Salze und von PFOA-Vorläuferverbindungen. Abl. Nr. L 188/1.

EU-F-Gase-Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014): Verordnung (EU) Nr. 517/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über fluoridierte Treibhausgase und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 842/2006.

Grundwasserrichtlinie (GWRL; RL 2006/118/EG): Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung. Abl. Nr. L 372/19.

Industrieemissionsrichtlinie (IE-RL; Richtlinie 2010/75/EU): Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) (Neufassung). Abl. Nr. L 334/17.

POP-Verordnung (Verordnung (EU) 2019/1021): Verordnung (EU) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe (Neufassung). Abl. Nr. L 169/45.

REACH-Verordnung (Verordnung (EG) 1907/2006): Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission. Abl. Nr. L 136/3.

Trinkwasserrichtlinie (TWRL; RL (EU) 2020/2184): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Neufassung). ABl. Nr. L 435/1.

Umweltqualitätsnormenrichtlinie (UQN-RL; RL (EU) 2020/2184): Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG.

Wasserrahmenrichtlinie (WRRL; RL 2000/60/EG): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. ABl. Nr. L 327. Zuletzt geändert durch RL 2014/101/EU. ABl. L 311/32.

Nationales Recht

AEV Abfallbehandlung (BGBl. II Nr. 9/199 idgF): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der physikalisch-chemischen oder biologischen Abfallbehandlung (AEV Abfallbehandlung).

AEV Deponiesickerwasser (BGBl. Nr. 263/2003 idgF): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Begrenzung von Sickerwasseremissionen aus Abfalldeponien (AEV Deponiesickerwasser).

Allgemeine Abwasseremissionsverordnung (AAEV; BGBl. II Nr. 332/2019 idgF): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (Allgemeine Abwasseremissionsverordnung – AAEV).

Altlastensanierungsgesetz (ALSAG; BGBl. Nr. 299/1989 idgF): Bundesgesetz vom 7. Juni 1989 zur Finanzierung und Durchführung der Altlastensanierung (Altlastensanierungsgesetz).

Chemikaliengesetz 1996 (ChemG 1996; BGBl. I Nr. 53/1997 idgF): Bundesgesetz über den Schutz des Menschen und der Umwelt vor Chemikalien (Chemikaliengesetz 1996 – ChemG 1996).

Chemikalien-Verbotsverordnung 2003 (Chem-VerbotsV 2003; BGBl. II Nr. 477/2003 idgF): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über weitere Verbote und Beschränkungen bestimmter gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Fertigwaren (Chemikalien-Verbotsverordnung 2003 – Chem-VerbotsV 2003).

Emissionsregisterverordnung 2017 (EmRegV-OW 2017; BGBl. II Nr. 20772017 idgF): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über ein elektronisches Register zur Erfassung aller wesentlichen Belastungen von Oberflächenwasserkörpern durch Emissionen von Stoffen aus Punktquellen 2017.

Fluorierte Treibhausgase-Gesetz 2009 (BGBl. I Nr. 103/2009 idgF): Bundesgesetz zur Reduktion der Emissionen fluoriierter Treibhausgase (Fluorierte Treibhausgase-Gesetz 2009).

Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006 idgF): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustandes von Gewässern (Gewässerzustandsüberwachungsverordnung – GZÜV).

Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 idgF): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über den guten chemischen Zustand des Grundwassers (Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser – QZV Chemie GW).

Umweltinformationsgesetz – (UIG; BGBl. Nr. 495/1993 idgF): Bundesgesetz über den Zugang zu Informationen über die Umwelt (Umweltinformationsgesetz – UIG).

Vorarlberger Gesetz zum Schutz der Bodenqualität (LGBl. Nr. 26/2018 idgF): Gesetz zum Schutz der Bodenqualität (BSchG).

Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG 1959; BGBl. Nr. 215/1959 idgF): Wasserrechtsgesetz
1959 – WRG. 1959.

Abkürzungen

Abk.	Abkürzung
4:2 FTS	4:2 Fluortelomersulfonsäure
6:2 FTOH	2-(Perfluorhexyl)ethylalkohol
6:2 FTS	6:2 Fluortelomersulfonsäure
8:2 FTOH	2-(Perfluorooctyl)ethanol
8:2 FTS	8:2 Fluortelomersulfonsäure
AAEV	Allgemeine Abwasseremissionsverordnung
AEV	Abwasseremissionsverordnung
AFFF	aqueous film forming foam (wasserfilmbildendes Schaummittel)
ALSAG	Altlastensanierungsgesetz
BAT-AEL	Best available technique – achievable emission level (mit den besten verfügbaren Techniken assoziierte Emissionswerte)
BG	Bestimmungsgrenze
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BMK	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
BML	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; jetzt BML
BMNT	Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus; jetzt BML
BVT	beste verfügbare Technik
C6O4	Essigsäure/2,2-difluor-2-((2,2,4,5-tetrafluor-5-(trifluormethoxy)-1,3-dioxolan-4-yl)oxy)-
DIN	Deutsches Institut für Normu
DONA	Perfluor-4,8-dioxa-3H-nonansäure
ECHA	European Chemicals Agency; Europäische Chemikalienagentur

Abk.	Abkürzung
EFSA	European Food Safety Authority; Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
EK	Europäische Kommission
EMREG-OW	Emissionsregister Oberflächenwasserkörper
EU	European Union
F-53B	9-Chlorhexadecafluor-3-oxanon-sulfonsäure
FTSA	
GenX	2,3,3,3-Tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propansäure (HFPO-DA)
GWRL	Grundwasserrichtlinie
GZÜV	Gewässerzustandsüberwachungsverordnung
HPLC-MS/MS	High performance liquid chromatography mass spectrometry/mass spectrometry (tandem mass spectrometry)
IE-RL	Industrieemissionsrichtlinie
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control (Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung)
MeOH	Methanol
NG	Nachweisgrenze
NGP	Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
PFAA	
PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen
PFBA	Perfluorbutansäure
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure
PFCA	Perfluorcarbonsäuren
PFDA	Perfluordecansäure
PFDoDA	Perfluordodecansäure
PFDoS	Perfluordodecansulfonsäure

Abk.	Abkürzung
PFDS	Perfluordecansulfonsäure
PFHpA	Perfluorheptansäure
PFHpS	Perfluorheptansulfonsäure
PFHxA	Perfluorhexansäure
PFHxDA	Perfluorhexadecansäure
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure
PFNA	Perfluornonansäure
PFNS	Perfluornonansulfonsäure
PFOA	Perfluoroctansäure
PFODA	Perfluoroctadecansäure
PFOS	Perfluoroctansulfonsäure
PFPeA	Perfluorpentansäure
PFPeS	Perfluorpentansulfonsäure
PFSA	Perfluorsulfonsäuren
PFTeDA	Perfluortetradecansäure
PFTrDA	Perfluortridecansäure
PFTrDS	Perfluortridecansulfonsäure
PFUnDA	Perfluorundecansäure
PFUnDS	Perfluorundecansulfonsäure
POP	Persistent organic pollutants, persistente organische Schadstoffe
PTFE	Polytetrafluorethen
QZV Chemie GW	Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals (Registrierung, Bewertung und Zulassung von Chemikalien)
SVHC	Substances of very high concern (besonders besorgniserregende Stoffe)
TWI	tolerable weekly intake (tolerierbare wöchentliche Aufnahmmenge)

Abk.	Abkürzung
TWRL	Trinkwasserrichtlinie
usw.	und so weiter
vgl.	vergleiche
WRG	Wasserrechtsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft

Stubenring 1, 1010 Wien

bml.gv.at