

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)

Normen zur PFAS-Analyse in Wasser, Sediment und Boden

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) umfassen eine Substanzklasse von etwa 5.000 Einzelverbindungen, die über verschiedene Pfade in die Umwelt und schließlich auch in die Nahrungskette gelangen. Die Verwendung von PFAS-Verbindungen wird seit Jahren immer stärker durch Behörden beschränkt. Der Artikel gibt eine fachliche Einführung und einen Überblick über den geltenden rechtlichen Rahmen sowie über Normungsprojekte zur Bestimmung von PFAS im Normenausschuss Wasserwesen (NAW).

→ **Anja Sokolowski**
ist Projektmanagerin im DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW), Gruppe Ressourcen & Technik (RuT).

→ **Andreas Paetz**
ist Teamkoordinator und Senior-Projektmanager im DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW), Gruppe Ressourcen & Technik (RuT).

Einführung und rechtlicher Rahmen

„PFAS – Gekommen, um zu bleiben“ [1], mit diesem treffenden Titel macht das Umweltbundesamt die Ausgabe 1/2020 seines Magazins *Schwerpunkt* auf. Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) sind im weiteren Sinn organische Verbindungen verschiedener Kettenlängen, bei denen die Wasserstoffatome durch Fluoratome substituiert sind. Bei einer vollständigen Substitution spricht man von perfluorierten, bei einer teilweisen Substitution von polyfluorierten Alkylsubstanzen. Auch die Bezeichnung per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) wird noch verwendet.

PFAS umfassen eine Substanzklasse von etwa 5.000 Einzelverbindungen. PFAS kommen nicht natürlich vor, es sind technisch hergestellte Verbindungen. Die bekanntesten Vertreter sind PFOS (Perfluoroktansulfonsäure) und PFOA (Perfluoroktansäure). Sie werden bereits seit den 1950er-Jahren hergestellt und verwendet [1] [2].



PFAS-Verbindungen finden Anwendung in Farben.

PFAS sind wasser-, fett- und schmutzabweisend. Aufgrund dieser Eigenschaften werden sie in zahlreichen industriellen Prozessen und technischen Anwendungen eingesetzt und sind in zahlreichen Verbraucherprodukten wie Papier (z. B. Lebensmittelbecher), Textilien (Bekleidung mit speziellen Beschichtungen, Schuhen und Heimtextilien), antihaft-beschichteten Pfannen, Elektronikgeräten, Kosmetika oder Ski-Wachsen vertreten. Zudem werden PFAS zur Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen, in Reinigungs- und Pflanzenschutzmitteln, in der Fahrzeug- und Bauindustrie, im Energiesektor, in Farben und Feuerlöschschäumen sowie in einer Vielzahl weiterer Bereiche verwendet [1] [2].

PFAS weisen eine hohe thermische und chemische Stabilität auf und sind resistent gegenüber biologischem Abbau. Sie werden infolgedessen auch „forever chemicals“ genannt [3]. Ihre Stabilität sowie ihre vielfältige Anwendung haben zur Folge, dass PFAS über verschiedene Pfade in die Umwelt und schließlich auch in die Nahrungskette gelangen. Sie sind allgegenwärtig als Hintergrundkontamination in der Umwelt zu finden [5], [6]. Einige PFAS reichern sich in Pflanzen, Tieren und im Menschen an und wirken gesundheitsschädigend [1]. PFAS lassen sich in vielen Umweltmatrices und Organismen nachweisen (siehe z. B. [4] zu Bioakkumulation). Mehrere hundert PFAS sind aufgrund ihrer Persistenz und Akkumulation verboten.

Foto: roofimages - pixabay.com

Die Aufnahme von PFAS durch den Menschen erfolgt hauptsächlich über Lebensmittel – aber auch durch die Luft, Staub oder verunreinigtes Trinkwasser [5], [14]. 2018 hatte die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) den Grenzwert für die tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (tolerable weekly intake, TWI) der „wichtigsten“ PFAS (Perfluorooctansäure (PFOA), Perfluorooctansulfonat (PFOS), Perfluorononansäure (PFNA) und Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)) drastisch gesenkt, und zwar um das Tausendfache. 2020 hat die EFSA den Schwellenwert erneut gesenkt, auf 4,4 ng/kg Körpergewicht pro Woche [14].

PFAS – Regulatorische Maßnahmen

Seit 2006 haben die EU-Behörden die Verwendung von PFOS bis auf wenige Ausnahmen beschränkt. 2009 wurde PFOS in den Anhang B der Stockholm Konvention [7] aufgenommen, der die Beschränkung der Produktion und Anwendung regelt. PFOS ist eine prioritär gefährliche Substanz der Wasser-Rahmenrichtlinie [8].

PFOA ist im Anhang A der Stockholm Konvention und durch die „Verordnung (EU) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe“ (POP-Verordnung) gelistet, was einem weitgehenden Verbot dieser Substanz entspricht [10].

Eine Reihe weiterer PFAS stehen auf der REACH-Liste der besonders besorgniserregenden Stoffe (SVHCs). Im Juni 2019 wurde HFPO-DA (besser bekannt als GenX), ein kurzkettiger PFAS-Ersatz für PFOA in der Fluorpolymerproduktion, als erste PFAS aufgrund seiner persistenten, mobilen und toxischen Eigenschaften, die eine Bedrohung für Trinkwasser und Umwelt darstellen, in die SVHC-Liste aufgenommen [9], [11]. Die zuständige Stelle (der Ausschuss der Mitgliedstaaten bei der Europäischen Chemikalienagentur, ECHA) hat auch die mögliche Exposition



Foto: jackal211 – pixabay.com

Auch im Schaum von Feuerlöschern befinden sich PFAS-Verbindungen.

über die Nahrungskette und das Trinkwasser als besorgniserregend bezeichnet sowie auf Schwierigkeiten bei der Sanierung verunreinigter Medien und der Entfernung von HFPO-DA aus dem Trinkwasser hingewiesen. Mehrere PFAS stehen im fortlaufenden Aktionsplan der Gemeinschaft (Community Rolling Action Plan, CoRAP), um in den kommenden Jahren bewertet zu werden.

Angesichts der mehr als 4.000 registrierten PFAS ist die Durchführung von Risikobewertungen für jede einzelne Substanz und auch eine umfassende Umweltüberwachung zum Verständnis der Exposition äußerst langwierig und aufwendig. Daher sind Behörden und Forschung auf der Suche nach ergänzenden und vorsorgenden Ansätzen zur Regelung von PFAS [12]. Anlässlich der im Rahmen der deutschen EU-Ratspräsidentschaft 2020 vom Bundesumweltministerium (BMUV) und dem Umweltbundesamt (UBA) veranstalteten Konferenz *PFAS – Dealing with contaminants of emerging concern* [13] wurden aktuelle regulatorische Entwicklungen der Stoffgruppe dargestellt, Strategien zum Umgang mit PFAS-Kontaminationen diskutiert, Möglichkeiten der Boden- und Gewässersanierung und zukünftige politische Handlungsfelder aufgezeigt, z. B. zur Minimierung von PFAS-Einträgen in die Umwelt. Dringend notwendige technische Fragen und Themen, die für den Vollzug relevant sind, wurden ebenfalls diskutiert,

u. a. die Notwendigkeit, ein entsprechendes technisches Regelwerk zu entwickeln.

Trinkwasser

In der Neufassung der EU-Richtlinie über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (EU-Trinkwasserrichtlinie EU 2020/2184) [15] werden PFAS als zu überwachender Parameter aufgeführt. Die EU-Kommission beabsichtigt bis zum 12. Januar 2024 technische Leitlinien bezüglich der Analyseverfahren zur Überwachung der per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen im Rahmen der Parameter „PFAS gesamt“ und „Summe der PFAS“ festzulegen, einschließlich Nachweisgrenzen, Parameterwerten und Häufigkeit der Probenahmen. Als Parameterwerte sind für den Parameter „PFAS gesamt“ 0,50 µg/l und für die Summe von 20 ausgewählten PFAS „Summe der PFAS“ 0,10 µg/l festgelegt (siehe Tabelle 2). Diese ausgewählten PFAS umfassen perfluorierten Carbon- und Sulfonsäuren mit einer Kettenlänge von vier bis dreizehn Kohlenstoffatome siehe Tabelle 1. Im Rahmen des geregelten Übergangszeitraums bis zum 12. Januar 2026 müssen die Mitgliedstaaten die nötigen Maßnahmen ergreifen, um sicherzustellen, dass Wasser für den menschlichen Gebrauch in Bezug auf PFAS [und weitere Parameter] den in Anhang I Teil B der EU-Trinkwasserrichtlinie EU 2020/2184 festgelegten Werten entspricht.

Boden

Für die Untersuchung von Böden sind noch keine europäischen gesetzlichen Regelungen vorhanden. Für die Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) [16]

wurden Prüfwerte für sieben Einzelstoffe aus der Gruppe der per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) abgeleitet. Die Werte für die Vertreter der Stoffgruppe der PFC sind humantoxikologisch begründet [16].

Hinweis: Der Bundesrat hat der sogenannten **Mantelverordnung** [16] der Bundesregierung in seiner Plenarsitzung am 25. Juni 2021 zugestimmt. Die Verordnung tritt zwei Jahre nach ihrer Verkündung in Kraft [18].

Tabelle 1: Ausgewählte PFAS für die Einzelanalyse sowie für die Summe der PFAS gemäß EU-Richtlinie über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch [15]

Analyt	Abkürzung	CAS Nr
Perfluorbutansäure	PFBA	375224
Perfluorpentansäure	PFPeA	2706903
Perfluorhexansäure	PFHxA	307244
Perfluorheptansäure	PFHpA	375859
Perfluoroctansäure	PFOA	335671
Perfluorononansäure	PFNA	375951
Perfluordecansäure	PFDA	335762
Perfluorundecansäure	PFUnDA	2058-94-8
Perfluordodecansäure	PFDoDA	307-55-1
Perfluortridecansäure	PFTrDA	72629-94-8
Perfluorbutansulfonsäure	PFBS	375-73-5
Perfluorpentansulfonsäure	PFPeS	2706-91-4
Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	355 46 4
Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS	375-92-8
Perfluoroctansulfonsäure	PFOS	1763 23 1
Perfluorononansulfonsäure	PFNS	68259-12-1
Perfluordecansulfonsäure	PFDS	335-77-3
Perfluorundecansulfonsäure	PFUnDS	749786-16-1
Perfluordodecansulfonsäure	PFDoDS	79780-39-5
Perfluortridecansulfonsäure	PFTrDS	791563-89-8

Tabelle 2: Parameterwerte für PFAS gesamt und Summe der PFAS gemäß EU-Richtlinie über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch [15]

Parameter	Parameterwert in µg/l	Anmerkungen
PFAS gesamt	0,50	„PFAS gesamt“ bezeichnet die Gesamtheit der per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen. Dieser Parameterwert gilt erst, sobald technische Leitlinien für die Überwachung dieses Parameters gemäß Artikel 13 Absatz 7 entwickelt wurden. Die Mitgliedstaaten können anschließend entscheiden, entweder einen oder beide der Parameter „PFAS gesamt“ oder „Summe der PFAS“ zu verwenden.
Summe der PFAS	0,10	„Summe der PFAS“ bezeichnet die Summe der in Anhang III Teil B Nummer 3 aufgeführten per- und polyfluorierten 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 _n F _{2n} -, n ≥ 3) oder einem perfluorierten Alkyletheranteil mit zwei oder mehr Kohlenstoffatomen (d. h. -C _n F _{2n} O C _m F _{2m} -, n und m ≥ 1).

Für den Wirkungspfad Boden/Pflanze enthält die BBodSchV keine Prüfwerte. Verschiedene Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass PFC in Böden von Pflanzen über die Wurzeln aufgenommen werden können. Die Aufnahme unterscheidet sich je nach Einzelsubstanz und Pflanzenart. Die Bewertung muss daher im Einzelfall vorgenommen werden [1].

Die Neufassung der BBodSchV verweist für die Analyse der in Tabelle 3 aufgeführten PFC auf zwei DIN-Normen:

- DIN 38407-42 [19] für die Analyse von Wasser;
- DIN 38414-14 [20] für die Analyse von Boden.

Wegen des fachlichen Zusammenhangs zwischen Boden- und Gewässerschutz (Trinkwasserschutz) und Düngemittelanwendung wird hier auf das Düngemittelrecht verwiesen. Nach Düngemittelverordnung (DüMV) [21] gilt der gesetzliche Grenzwert von 100 µg/kg Trockenmasse für die Summe aus PFOS und PFOA (dort als perfluorierte Tenside, PFT, angegeben). Die Kennzeichnungsschwelle/-pflicht beträgt 50 µg/kg Trockenmasse für die Summe aus PFOS und PFOA.

Die Oberflächengewässerverordnung (OgewV) [22] enthält Umweltqualitätsnormen (UQN) für PFOS (9,1 µg/kg für Biota (Fische); 0,65 ng/l für Wasser) zum Schutz des Menschen beim Verzehr von Fischen.

Auch die Abwasserverordnung [23] enthält Festlegungen zu per- oder polyfluorierten Chemikalien im Anhang 25 Lederherstellung, Pelzveredlung, Lederfaserstoffherstellung und im Anhang 28 Herstellung von Papier, Karton oder Pappe. Als Analyseverfahren ist DIN 38407-42 [19] zitiert.

Tabelle 3: Prüfwerte für PFC für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser am Ort der Probenahme und im Sickerwasser am Ort der Beurteilung nach [16]

Analyt	Prüfwert (µg/l)
Perfluorbutansäure (PFBA)	10
Perfluorhexansäure (PFHxA)	6
Perfluoroktansäure (PFOA)	0,1
Perfluornonansäure (PFNA)	0,06
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	6
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	0,1
Perfluoroktansulfonsäure (PFOS)	0,1

Eine gute Übersicht über die verschiedenen Zuständigkeits- und Rechtsbereiche beim Auftreten von PFAS-Kontaminationen in umweltrelevanten Medien enthält [30].

Normen für die Bestimmung von PFAS in Wasser, Sediment und Boden

Aufgrund der hohen Umweltrelevanz von PFAS wurde bereits 2008 mit der Erarbeitung der nationalen Normen DIN 38407-42 und DIN 38414-14 angefangen, die schließlich 2011 publiziert wurden [19], [20].

DIN 38407-42, *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)* und

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

Während DIN 38407-42 ein Prüfverfahren für die Bestimmung von ausgewähl-

ten Perfluoralkyl-Substanzen in Trink-, Grund-, Oberflächen- und behandeltem Abwasser festlegt, ist DIN 38414-14 für Feststoffe in der Umwelt (Schlamm, Kompost und Boden) anwendbar. Die unteren Anwendungsgrenzen für die Bestimmung von polyfluorierten Verbindungen betragen 0,01 µg/l für Trink-, Grund- und Oberflächenwasser bzw. 0,025 µg/l für behandeltes Abwasser und 10 µg/kg Trockenmasse für Schlamm, Kompost und Boden. Beide Normen wurden für 10 Perfluoralkyl-Substanzen validiert [19], [20].

Aktuelle Normungsarbeiten

Trinkwasser

Nach Bekanntgabe, dass die Neufassung der EU-Trinkwasserrichtlinie Festlegungen zu PFAS treffen wird, wurde in Zuge eines Workshops [24] das Vorgehen zum PFAS-Monitoring diskutiert sowie durch einen „letter of intent“ der EU-Kommission an die Generaldirektorin von CEN und CENELEC aufgezeigt, dass

- PFAS eine hohe Priorität für Europa und die EU-Kommission haben, die derzeit ihre neue Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit und ihren PFAS-Aktionsplan vorbereitet;
- regulatorische Initiativen getroffen werden, um PFAS auch als Gruppe, analysieren zu können;
- die neue EU-Trinkwasserrichtlinie die Kommission verpflichtet, bis 3 Jahre nach Inkrafttreten technische Leitlinien bezüglich der Analyseverfahren, einschließlich der Nachweisgrenzen und Parameter-

werte sowie der Häufigkeit der Probenahme für die Überwachung von

- „PFAS gesamt“ und
- „Summe der PFAS“ zu erstellen;

- die Werte für „PFAS gesamt“ und „Summe der PFAS“ bis 3 Jahre nach Ablauf der Umsetzungsfrist gelten werden;
- in einem ersten Schritt beabsichtigt ist, in einem möglichst kurzen formalen Zeitrahmen eine Norm für die Summe der perfluorierten Stoffe (Summe PFAS) im Trinkwasser zu entwickeln und zu veröffentlichen. Diese Norm wird die Bestimmung der 20 in Anhang III der neuen EU-Trinkwasserrichtlinie aufgeführten Ziel-PFAS beinhalten. Darüber hinaus werden einige relevante neue PFAS (Ersatzstoffe) wie GenX und ADONA [33] mit einbezogen.

Die Erarbeitung solch eines Prüfverfahrens zur Analyse der 20 PFAS, die in Anhang III Teil B Punkt 3 der EU-Trinkwasserrichtlinie EU 2020/2184 zur Überwachung des maximal zulässigen Parameterwerts von 0,1 µg/l für die Summe der PFAS aufgeführt sind und weiteren PFAS-Verbindungen, erfolgt im CEN/TC 230 *Wasseranalytik* unter deutscher Projektleitung [15], [25]. Das Normungsprojekt prEN 17892, *Wasserbeschaffenheit – Bestimmung ausgewählter Per- und Polyfluoralkylsubstanzen in Trinkwasser – Verfahren mittels Flüssigkeitschromatographie/Tandem-Massenspektrometrie (LC MS/MS)* wird vom NA 119-01-03 AA *Wasseruntersuchung* und seinem NA 119-01-03-02-21 AK *Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)* gespiegelt und wurde im Juni 2022 zur Veröffentlichung des Normentwurfs bei CEN/CENELEC eingereicht.

prEN 17892 definiert ein Verfahren unter Verwendung von Direktinjektions-LC-MS/MS, wobei ein Aliquot der unfiltrierten Wasserprobe mit Methanol verdünnt und mit einer Lösung von isotoopenmarkierten internen Standards versetzt wird, sowie ein Festphasenextraktionsprotokoll vor der LC-MS/MS-Messung. Für jeden Analyten werden sowohl eventuell auftretende verzweigte Isomere als

auch das jeweilige unverzweigte Isomer zusammen quantifiziert. Die mit dieser Methode ermittelte Analytenauswahl ist repräsentativ für eine Vielzahl von PFAS. Die Anwendbarkeit des Verfahrens auf weitere Wasserarten wie Süßwasser (z. B. Grundwasser, Oberflächenwasser) oder behandeltes Abwasser muss für jeden Einzelfall separat validiert werden [25].

Feststoffe in der Umwelt

Analyse von PFAS in Boden, Sediment und Schlamm mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) und Massenspektrometrie

In der WG 2 *Organische Analytik* des CEN/TC 444 *Umweltbezogene Charakterisierung fester Matrices* haben die Niederlande die Erarbeitung eines Prüfverfahrens zur quantitativen Bestimmung von ausgewählten PFAS-Verbindungen in Boden, Sediment und Schlamm mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) und Massenspektrometrie initiiert. Bisher konnte die PFAS-Analytenliste noch nicht endgültig festgelegt werden; es herrscht Konsens, dass die 20 PFAS-Verbindungen, die in Anhang III Teil B Punkt 3 der EU-Trinkwasserrichtlinie EU 2020/2184 gelistet sind, enthalten sind. Der Arbeitsentwurf dieses PFAS-Einzelstoffanalyseverfahrens basiert u. a. auf DIN 38414-14 [26].

Bestimmung von Vorläufersubstanzen von Perfluoralkansäuren aus Bodeneluat und Wässern mittels LC-MS/MS (TOP Assay)

Im Rahmen der Arbeiten des Fachbeirats für Bodenuntersuchungen (FBU) wird an einer „Überprüfung der Robustheit und Durchführung einer Ringuntersuchung zur Quantifizierung von PFC-Vorläufersubstanzen in Bodeneluat mittels der Methode Total Oxidizable Precursor (TOP-Assay) für den Pfad Boden – Grundwasser der BBodSchV“ gearbeitet [28].

Das in der englischsprachigen Literatur als TOP (Total Oxidizable Precursors) Assay bezeichnete Analyseverfahren dient, ergänzend zur quantitativen

Bestimmung von ausgewählten PFAS-Einzelverbindungen, zur Prüfung auf das potentielle Vorhandensein von Vorläufersubstanzen (Precursor) perfluorierter Carbonsäuren (PFCA) [27].

Der TOP-Assay ist von großem Interesse für die Untersuchung von Feststoffen in der Umwelt, da es eine hohe Anzahl verschiedener möglicher PFAS gibt, deren kleinster Anteil in der quantitativen PFAS-Einzelstoffanalytik zurzeit etabliert ist. Vor allem größere Ausgangsmoleküle, die in der Industrie verwendet wurden, werden in der Umwelt mit der Zeit zu den perfluorierten Säuren transformiert. Dieser Oxidationsmechanismus wird mit dem TOP-Assay im Labor simuliert, so dass eine Aussage über die Anwesenheit bzw. Abwesenheit von derartigen Vorläufersubstanzen getroffen werden kann. Das erhaltene Ergebnis kann als „worst case“-Abschätzung dienen. Die chemisch induzierten Oxidationswege können von denen in der Umwelt abweichen (z. B. Perfluoroalkansulfon-amidoethanolbasierte Vorläufersubstanzen (z. B. EtFOSA, EtFOSAA), die mikrobiell zu PFOS abgebaut werden, werden beim TOP-Assay zu PFOA umgesetzt) [27].

Ein standardisiertes Prüfverfahren für den TOP-Assay wird zurzeit mit DIN 3608, *Feststoff – Bestimmung von Perfluoralkansäuren mittels LC-MS/MS nach oxidativem Aufschluss von Bodeneluat (TOP-Assay)* im NA 119-01-02-02-05 AK *Organische Analytik* erarbeitet. Die Probenaufbereitung und Analytik der unbehandelten und oxidierten Probe erfolgt nach DIN 38407-42 [27].

Summenparameter EOF bzw. AOF

Summenparameter können ggf. im Rahmen der Sanierungsüberwachung als Ergänzung zur Einzelstoffanalytik sinnvoll eingesetzt werden, um eine relative Abnahme von PFAS-Frachten festzustellen. Die derzeit dafür in Frage kommenden analytischen Techniken sind

- die hochauflösende continuum-source-Graphitrohr Molekül-

absorptionsspektrometrie (HR-CS-GFMAS), und

- die Combustion-Ionenchromatographie (CIC) zur Bestimmung des Anteils an adsorbierbarem organisch gebundenen Fluors (AOF CIC).

Beide Techniken sind grundsätzlich geeignet, als komplementäre Verfahren zur Einzelstoffbestimmung angewendet zu werden, wie Untersuchungen an Oberflächengewässern gezeigt haben [31], [32]. Die Empfindlichkeit beider Verfahren ist für die Anwendung auf Trinkwasserproben nicht ausreichend [24]. Die Prüfung der Einhaltung von Prüfwerten, z. B. nach BBodSchV, ist nicht bzw. nur bedingt möglich.

Ausblick

Die Normung von Prüfverfahren zur Untersuchung von PFAS in umweltrelevanten Medien/ Matrices (Wasser, Boden, Sedimente) wird voraussichtlich 2023 bis 2025 abgeschlossen sein. Durch die enorme Anzahl von Einzelstoffen wird sich möglicherweise die Betrachtung der bisher im Fokus stehenden Stoffe aufgrund neuerer wissenschaftlicher Erkenntnisse und toxikologischen Bewertungen verändern, ggf. auch im Verlauf der laufenden Normungsarbeiten. Anpassungen der vorhandenen Untersuchungsverfahren können daraus resultieren.

Literatur

- [1] Umweltbundesamt (2020): PFAS. Gekommen, um zu bleiben. Schwerpunkt 1/2020. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/uba_sp_pfas_web_0.pdf
- [2] Bundesinstitut für Risikobewertung (2020): Fragen und Antworten zu per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS). https://www.bfr.bund.de/de/fragen_und_antworten_zu_per_und_polyfluorierten_alkylsubstanzen__pfas_-242936.html
- [3] https://chemicalsinourlife.echa.europa.eu/guest-corner/-/asset_publisher/vcr05-pl91ebf/blog/what-are-forever-chemicals-and-why-should-you-care-about-them
- [4] *Ian T. Cousins* (2017), Per- and polyfluoroalkyl substances in materials, humans and the environment

- [5] Umweltbundesamt 2022: Perfluorierte Alkylsubstanzen – PFAS; Stoffradar <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/stoffradar/pfas>
- [6] The Nordic Council of Ministers (2019), The Costs of Inaction. A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS
- [7] Secretariat of the Stockholm Convention (2020) Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants – Text and Annexes Revised in 2019
- [8] 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
- [9] Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/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/EWG und 2000/21/EG der Kommission
- [10] Verordnung (EU) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe (Neufassung). Amtsblatt der Europäischen Union, L 169/45
- [11] <https://echa.europa.eu/registry-of-svhc-intentions/-/distlist/details/0b0236e1832708a2>
- [12] <https://www.umweltprobenbank.de/de/documents/profiles/analytes/14121>
- [13] PFAS – Dealing with contaminants of emerging concern. International Online-Conference, 30th November/1st December 2020. Organized by Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety and Federal Environment Agency, Germany
- [14] <https://www.efsa.europa.eu/de/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>
- [15] Richtlinie (EU) 2020/2184 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Neufassung)
- [16] Deutscher Bundestag Drucksache 19/29636 (12.05.2021) Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung
- [17] Bundesrat-Drucksache 494/21 vom 11.06.21 – Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung
- [18] BundesratKOMPAKT vom 25.06.2021, TOP 95, <https://www.bundesrat.de/DE/plenum/bundesrat-kompakt/bundesrat-kompakt-node.html>
- [19] DIN 38407-42:2011-03, *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)*
- [20] DIN 38414-14:2011-08, *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Schlamm und Sedimente (Gruppe S) – Teil 14: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) (S 14)*
- [21] Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln¹ (Düngemittelverordnung – DüMV) vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2482)
- [22] Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung – OGewV) Ausfertigungsdatum: 20.06.2016
- [23] Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung – AbwV) vom 17. Juni 2004 (BGBl. I S. 1108, 2625)
- [24] WORKSHOP AND WORKSHOP REPORT ON PFAS MONITORING – PARALLEL SESSION I: CHARACTERISATION OF PFAS IN GROUND-WATER, SURFACE WATER & DRINKING WATER.
- [25] prEN 17892:2022, *Wasserbeschaffenheit – Bestimmung ausgewählter Per- und Polyfluoralkylsubstanzen in Trinkwasser – Verfahren mittels Flüssigkeits-chromatographie/Tandem-Massenspektrometrie (LC MS/MS)*
- [26] Draft NEN-NTA *Analysis of PFAS in soil, sediment and sludge, by HPLC and mass spectrometry* (Translated into English)
- [27] Arbeitsentwurf DIN 3608, *Feststoff – Bestimmung von Perfluoralkansäuren mittels LC-MS/MS nach oxidativem Aufschluss von Bodeneluat (TOP Assay)*
- [28] Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit; Forschungskennzahl: 3719 71 298 0, Aktenzeichen PT: Z 1.5 – 91 007 – 2/84
- [29] Bund/Länder-Arbeitsgruppe PFC (2021) Leitfaden zur PFC-Bewertung – Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFC-haltigen Bodenmaterials, Stand: 27. April 2021, 53 S.
- [30] UBA Texte 137/2020 Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen. 80 S.
- [31] PFC-Leitfaden für Liegenschaften des Bundes – Anhang A-8.2 der Baufachlichen Richtlinien Boden- und Grundwasserschutz. Hrsg.: Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr und Bundesanstalt für Immobilienaufgaben, Zentrales Kontaminationsmanagement, 2018, 45 S.
- [32] L. Gehrenkemper, F. Simon, P. Roesch, E. Fischer, M. von der Au, J. Pfeifer, A. Cossmer, P. Wittwer, C. Vogel, F.-G. Simon, B. Meermann, *Anal. Bioanal. Chem.*, 2021, 413, 103–115
- [33] H. Fromme, E. Roscher, W. Völkel (2016): Sachstandsbericht ADONA und perfluorierte Substanzen. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL), 14 S.