

Herausforderungen und Möglichkeiten bei der Entfernung von Poly- und perfluorierter Alkylsubstanzen in der Trinkwasseraufbereitung



Jörg E. Drewes



Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft

Technische Universität München

WaBoLu Fortbildungstagung für Wasserfachleute, 6. November 2024

Gliederung

- **Aktuelle Anforderungen nach TrinkwV und TrinkwEGV**
- **Umgang mit neuen PFAS-Grenzwerten und bisherigen LWs und GOWs**
- **Vorkommen von PFAS in Rohwässern als Grundlage für das Risikomanagement**
- **Optionen möglicher Behandlungsverfahren**
- **Ausblick**

Neue gesetzliche Anforderungen nach TrinkwV

- Neue Parameter nach §7 TrinkwV (Anlage 2 Teil I)

Neue Parameter	Grenzwert	Gültigkeit	Bemerkung
Summe PFAS-20	0,000 10 mg/l (100 ng/l)	ab 12.01.2026	20 Einzelparameter (Perfluorcarbon- und Perfluorsulfonsäuren C4-C13)
Summe PFAS-4	0,000 020 mg/l (20 ng/l)	ab 12.01.2028	Summe PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS

- Die Konzentrationen der zur Summenbildung herangezogenen PFAS sind einzeln auszuweisen
- Unabhängig davon dürfen grundsätzlich gemäß § 7 Absatz 1 TrinkwV im Trinkwasser keine chemischen Stoffe in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen

Neue Grenzwerte und bisherige GOW und LW

PFAS-Einzelsubstanz (in ng/l)	Umweltbundesamt		TrinkwV- Summe PFAS-20	TrinkwV- Summe PFAS-4
	GOW	LW _{TW}		
Perfluoroktansäure (PFOA) (335-67-1)		100	100	20
Perfluoroktansulfonat (PFOS) (1763-23-1)		100		
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) (355-46-4)		100		
Perfluornonansäure (PFNA) (375-95-1)		60		
Perfluorpentansäure (PFPeA) (2706-90-3)	3.000			
Perfluorpentylsulfonsäure (PFPS) (2706-91-4)	1.000			
Perfluorhexansäure (PFHxA) (307-24-4)		6.000		
Perfluorbutansäure (PFBA) (375-22-4)		10.000		
Perfluorheptansäure (PFHpA) (375-85-9)	300			
Perfluorheptanilsulfonsäure (PFHpS) (375-92-8)	300			
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS) (375-73-5)		6.000		
Perfluordekansäure (PFDA) (335-76-2)	100			
Perfluorundecansäure (PFUnDA) (2058-94-8)				
Perfluordodecansäure (PFDoDA) (307-55-1)				
Perfluortridecansäure (PFTrDA) (72629-94-8)				
Perfluornonansulfonsäure (PFNS) (68259-12-1)				
Perfluordekansulfonsäure (PFDS) (355-77-3)				
Perfluorundecansulfonsäure (PFUnDS)				
Perfluordodecansulfonsäure (PFDoDS)				
Perfluortridecansulfonsäure (PFTrDS)				
6:2 Fluortelomersulfonsäure (H4PFOS) (27619-97-2)	100			
Perfluoroktansulfonamid (PFOSA) (754-91-6)	100			

Summe PFAS-20: 100 ng/l

- gilt auch für kurzkettenige PFAS ohne hohe toxikologische Relevanz (PFBA, PFPeA)
- Damit Verschärfung bisheriger nationaler LW und GOW
- Berücksichtigt keine neuen Erkenntnisse zur toxikologischen Relevanz einzelner PFAS (ab C6)

Summe PFAS-4: 20 ng/l

- Berücksichtigt neue tox. Erkenntnisse, Analytik und techn. Machbarkeit

Neubewertung der toxikologischen Relevanz von PFAS

- Neubewertung der GOW/LW für PFAS erfolgte parallel zur Revision der TrinkwV durch TWK und UBA; abgeschlossen Dezember 2023
- Toxikologischen Neubewertung wurde durch externe Vergabe durch das UBA an die Fa. Ramboll mit gestaffeltem Auftrag unterstützt:
 - Identifikation solcher PFAS mit umfassender tox. Datenlage für Ableitung von LW
 - Identifikation solcher PFAS mit nicht ausreichender Datenlage für Ableitung von GOW
- Berücksichtigte Verbindungen:
 - Summe PFAS-20 (ohne Summe PFAS-4)
 - Summe PFAS-4
 - Vier Ersatzstoffe: GenX, ADONA, 6:2FTSA, C604



Empfehlungen der TWK/UBA zum Umgang mit PFAS im Trinkwasser

Trinkwasserkommission: März 2024

- Konzept für toxikologisch-begründete Einzelwerte der PFAS-20 aus der TrinkwV
 - Wenn PFAS-Grenzwerte in Kraft treten (01.2026; 01.2028) verlieren Leitwerte (LWs) und Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) für PFAS der TrinkwV ihre Gültigkeit

PFAS-Einzelsubstanz (in ng/l)	Umweltbundesamt	
	GOW	LW _{Tw}
6:2 Fluortelomersulfonsäure (H4PFOS) (27619-97-2)	100	
Perfluoroktansulfonamid (PFOSA) (754-91-6)	100	

- Einzelwertabschätzung für Beurteilung durch Gesundheitsämter
 - Grundlage: Literaturrecherche UBA Texte 129/2023
 - Toxikologisch begründete Werte ersetzen LW und GOW (ab Juli 2024)
 - Empfehlungen für alle PFAS-20
- Zukünftig:
 - Toxikologische Bewertung von weiteren PFAS

Empfehlungen der TWK/UBA zum Umgang mit PFAS im Trinkwasser (Juli 2024)

Tab. 1 Bewertung der Einzelverbindungen der PFAS-20

Substanzname (Bewertungsnummer)	Abkürzung	CAS Nr.	Grundlage der Ableitung	Toxikologisch begründete Konzentration
Perfluorbutansäure (2.)	PFBA	375-22-4	UBA 2016 [6]	10.000
Perfluorpentansäure (3.)	PFPeA	2706-90-3	TrinkwV 2023	Abgedeckt über Summe PFAS-20*
Perfluorhexansäure (4.)	PFHxA	307-24-4	UBA 2016 [6]	6000
Perfluorheptansäure (5.)	PFHpA	375-85-9	UBA 2023 [2]	280
Perfluoroctansäure (1.)	PFOA	335-67-1	TrinkwV 2023	Abgedeckt über Summe PFAS-4**
Perfluorononansäure (1.)	PFNA	375-95-1	TrinkwV 2023	Abgedeckt über Summe PFAS-4**
Perfluordecansäure (6.)	PFDA	335-76-2	UBA 2023 [2]	35
Perfluorundecansäure (7.)	PFUnDA	2058-94-8	UBA 2023 [2]	28
Perfluordodecansäure (8.)	PFDoDA	307-55-1	UBA 2023 [2]	28
Perfluortridecansäure (9.)	PFTrDA	72629-94-8	UBA 2023 [2]	1700
Perfluorbutansulfonsäure (10.)	PFBS	375-73-5	UBA 2016 [6]	6000
Perfluorpentansulfonsäure (11.)	PFPeS	2706-91-4	TrinkwV 2023	Abgedeckt über Summe PFAS-20*
Perfluorhexansulfonsäure (1.)	PFHxS	355-46-4	TrinkwV 2023	Abgedeckt über Summe PFAS-4**
Perfluorheptansulfonsäure (12.)	PFHpS	375-92-8	TrinkwV 2023	Abgedeckt über Summe PFAS-20*
Perfluoroctansulfonsäure (1.)	PFOS	1763-23-1	TrinkwV 2023	Abgedeckt über Summe PFAS-4**
Perfluorononansulfonsäure (13.)	PFNS	474511-07-4	UBA 2023 [2]	Abgedeckt über Summe PFAS-4***
Perfluordecansulfonsäure (14.)	PFDS	335-77-3	TrinkwV 2023	Abgedeckt über Summe PFAS-20*
Perfluorundecansulfonsäure (14.)	PFUnDS	749786-16-1	TrinkwV 2023	Abgedeckt über Summe PFAS-20*
Perfluordodecansulfonsäure (14.)	PFDoDS	79780-39-5	TrinkwV 2023	Abgedeckt über Summe PFAS-20*
Perfluortridecansulfonsäure (14.)	PFTrDS	791563-89-8	TrinkwV 2023	Abgedeckt über Summe PFAS-20*

Bekanntmachungen – Amtliche Mitteilungen

Bundesgesundheitsblatt 2024, 67:975–979
<https://doi.org/10.1007/s00103-024-03929-y>
© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2024



Bekanntmachung des Umweltbundesamtes

Bewertung der PFAS-20 aus der Trinkwasserverordnung Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission

Übersicht

Die bisher durch das Umweltbundesamt (UBA) veröffentlichten Dokumente bezüglich der Festlegung von Trinkwasserleitwerten (LWTV) und Gesundheits- Orientierungswerten (GOW) für PFAS in Trinkwasser verlieren ihre Gültigkeit und werden durch die hier vorliegende Bewertung ersetzt.

Zusätzliche Informationen zum aktuellen Kenntnisstand zur Analytik der poly- und perfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS), zum Vorkommen und zu Aufbereitungsoptionen, aber auch zur Frage, weshalb eine Befassung mit dieser Stoffgruppe – als neue Parameter der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) – durch die Betreiber einer Wasserversorgungsanlage und die Gesundheitsämter bereits zum jetzigen Zeitpunkt anzuraten ist, werden in der UBA Empfehlung „PFAS im Trinkwasser – Sachstand und Aspekte zur Bewertung“ adressiert.

Die Richtlinie (EU) 2020/2184 (TW-RL) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch führt mit den Parametern „Summe der PFAS“ und „PFAS gesamt“ die Stoffgruppe der PFAS erstmalig ein [1]. Mit der Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht durch die Trinkwasserverordnung (TrinkwV) vom 20. Juni 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 159, S. 2) wird in Deutschland der Parameter „Summe der PFAS“ unter der Bezeichnung „Summe PFAS-20“ übernommen.

Damit ist die Gruppe der perfluorierten Carbon- und Sulfonäuren mit einer Kettenlänge von 4 bis 13 Kohlenstoffatomen mit einem Grenzwert von 0,000 10 mg/l (entspricht 100 ng/l) belegt. Die TrinkwV schreibt vor, dass die gemessenen Konzentrationen der Stoffe einzeln ausgewiesen werden müssen. Aufgrund der Tatsache, dass die toxische Potenz der Einzelstoffe sehr unterschiedlich ist, ist im Einzelfall eine individuelle Bewertung der Einzelkonzentrationen, wenn es die Datenlage erlaubt, hilfreich. Der Parameter „Summe PFAS-20“ muss ab 12. Januar 2026 gemessen und eingehalten werden.

In Ergänzung zum Parameter „Summe PFAS-20“ wird in Deutschland der Parameter „Summe PFAS-4“ zum 12. Januar 2028 eingeführt, der die Stoffe Perfluoroctansäure (PFOA), Perfluorononansäure (PFNA), Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) und Perfluoroctansulfonsäure (PFOS) umfasst. Diese vier Stoffe machen ca. 50 % der PFAS in der menschlichen Nahrungsaufnahme aus und wurden aufgrund besonderer toxikologischer Besorgnis durch die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) auf Basis epidemiologischer Daten 2020 bewertet [3].

Um diese Erkenntnisse der EFSA im Rahmen der nationalen Umsetzung der TW-RL in deutsches Recht zu berücksichtigen, muss ab dem 12.01.2028 der zusätzliche Grenzwert der TrinkwV für „Summe PFAS-4“ – PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS – in Höhe von 0,00020 mg/l (entspricht 20 ng/l) gemessen und eingehalten werden. Die Konzentrationen der zur Summenbildung herangezogenen PFAS sind einzeln auszuweisen.

vorhandener toxikologischer Daten als Grundlage zur Ableitung von Trinkwasserleitwerten für PFAS* [2]. Auf Basis dieser Zusammenstellung von Studiendaten war es das Ziel, die toxikologische Bewertung der Substanzen mit Bezug auf ihr Vorkommen im Trinkwasser vorzunehmen. Diese Bewertung umfasst die in der Summe PFAS-20 erfassten Einzelstoffe. Substitutionsstoffe, ultra-kurzkettenige PFAS oder andere PFAS werden in diesem Dokument nicht adressiert.

Startpunkt für die Bewertung der Einzelverbindungen der „Summe PFAS-20“ war die jeweils höchste Dosis, bei der kein schädlicher Effekt beobachtet wurde (no-observed-adverse-effect-level, NOAEL). Um von einem NOAEL, der zumeist auf Tierdaten beruht, auf eine täglich tolerierbare Aufnahmemenge im Trinkwasser durch den Menschen zu schließen, werden standardisierte Bewertungsfaktoren verwendet, z. B. ein Faktor für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen (z. B. Kinder, Schwangere, Kranke) oder ein Faktor für die möglichen Unterschiede zwischen Menschen und Tieren, wenn die Daten aus Tierversuchen stammen.

Auch die möglicherweise unterschiedlich lange Studiendauer wird über einen Bewertungsfaktor berücksichtigt. Bei den in **Tab. 1** aufgeführten Werten, die auf den Daten der UBA-Ableitung von 2016 beruhen, wurde aus Konsistenzgründen auf eine Anpassung der Zehnterpotenzationsfaktoren an die heute üblicherweise verwendeten Werte verzichtet (2016: Faktor 10, 2024: 2 oder 6 entsprechend z. B. des ECHA R.8 Leitfadens für subchronisch zu chronisch bzw. akut zu chronisch) [4, 7]. Eine Anpassung hätte eine deutliche Erhöhung der Konzentrationen zur Folge.

Ab Grundlage für die Bewertung der Einzelverbindungen dient eine von UBA in Auftrag gegebene Studie unter dem Titel „Literaturrecherche und Auswertung

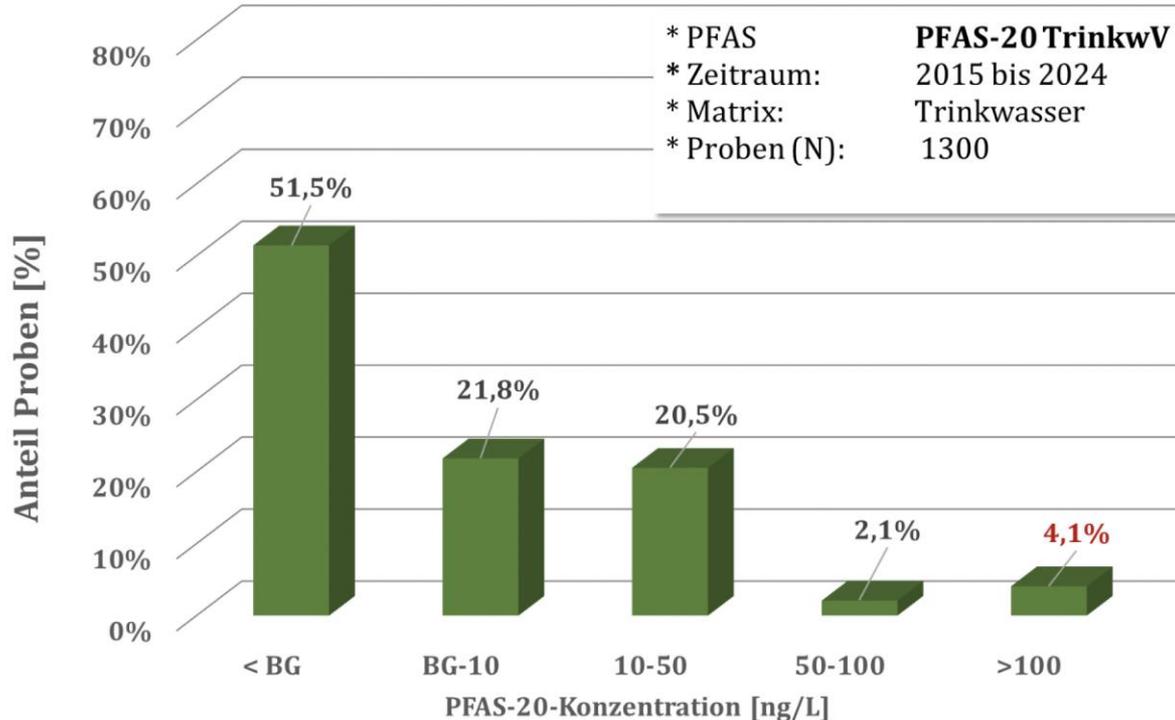
vorhandener toxikologischer Daten als Grundlage zur Ableitung von Trinkwasserleitwerten für PFAS* [2]. Auf Basis dieser Zusammenstellung von Studiendaten war es das Ziel, die toxikologische Bewertung der Substanzen mit Bezug auf ihr Vorkommen im Trinkwasser vorzunehmen. Diese Bewertung umfasst die in der Summe PFAS-20 erfassten Einzelstoffe. Substitutionsstoffe, ultra-kurzkettenige PFAS oder andere PFAS werden in diesem Dokument nicht adressiert.

Startpunkt für die Bewertung der Einzelverbindungen der „Summe PFAS-20“ war die jeweils höchste Dosis, bei der kein schädlicher Effekt beobachtet wurde (no-observed-adverse-effect-level, NOAEL). Um von einem NOAEL, der zumeist auf Tierdaten beruht, auf eine täglich tolerierbare Aufnahmemenge im Trinkwasser durch den Menschen zu schließen, werden standardisierte Bewertungsfaktoren verwendet, z. B. ein Faktor für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen (z. B. Kinder, Schwangere, Kranke) oder ein Faktor für die möglichen Unterschiede zwischen Menschen und Tieren, wenn die Daten aus Tierversuchen stammen.

Auch die möglicherweise unterschiedlich lange Studiendauer wird über einen Bewertungsfaktor berücksichtigt. Bei den in **Tab. 1** aufgeführten Werten, die auf den Daten der UBA-Ableitung von 2016 beruhen, wurde aus Konsistenzgründen auf eine Anpassung der Zehnterpotenzationsfaktoren an die heute üblicherweise verwendeten Werte verzichtet (2016: Faktor 10, 2024: 2 oder 6 entsprechend z. B. des ECHA R.8 Leitfadens für subchronisch zu chronisch bzw. akut zu chronisch) [4, 7]. Eine Anpassung hätte eine deutliche Erhöhung der Konzentrationen zur Folge.

Ab Grundlage für die Bewertung der Einzelverbindungen dient eine von UBA in Auftrag gegebene Studie unter dem Titel „Literaturrecherche und Auswertung

Relevanz der PFAS im Trinkwasser in Deutschland



Bekanntmachungen – Amtliche Mitteilungen

Bundesgesundheitsbl. 2024; 67(9):e791
<https://doi.org/10.1007/s00113-024-03906-5>
© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2024



Bekanntmachung des Umweltbundesamtes

PFAS im Trinkwasser – Sachstand und Aspekte zur Bewertung
Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission

Ziel dieser Stellungnahme ist es, den aktuellen Kenntnisstand zur Analytik der poly- und perfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in Trinkwasser, zum Vorkommen und zu Aufbereitungsoptionen aufzuzeigen, aber auch darzustellen, weshalb eine Befassung mit dieser Stoffgruppe – als neue Parameter der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) – durch die Betreiber einer Wasserversorgungsanlage und die Gesundheitsämter bereits zum jetzigen Zeitpunkt anzustreben ist. Außerdem soll die Fortentwicklung der gesundheitlichen Bewertung von PFAS-Vorkommen im Trinkwasser beschrieben werden. Richtiglich der möglichen gesundheitlichen Konsequenzen von PFAS-Belastungen für den Menschen werden auf die HDML-Werte für Perfluorooctansäure (PFOS) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) in Blutplasma – Stellungnahme der Kommission Human-Bio monitoring des Umweltbundesamtes [1] und auf die FAQ-Liste des Bundesinstitutes für Risikobewertung (BfR) vom 21. September 2020 [2] verwiesen.

Grenzwerte in der Trinkwasserverordnung

Am 24. Juni 2023 ist die TrinkwV in Kraft getreten, die erstmalig Grenzwerte für Stoffe aus der Gruppe der PFAS als Parameter enthält [3]. Damit wurde die EU-Trinkwasserrichtlinie (Richtlinie (EU) 2020/2184, hier Abk. TW-RL) umgesetzt, in der ein Parameterwert von 0,10 µg/l für die Summe der Konzentrationen von 20 bestimmten PFAS vorgegeben wurde [4].

Anschließend zeitgleich zur TW-RL hat die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) auf Basis aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse für einen Teil der PFAS-Stoffgruppe einen Bewertungswert in Form einer „tolerablen wöchentlichen Gesamtaufnahme“ (TWI) in Höhe von 4,4 ng/kg Körpergewicht ermittelt und in ihrem Gutachten vom 17. September 2020 veröffentlicht [5]. Die EFSA bewertete die Summe von vier PFAS: Perfluorooctansäure (PFOA), Perfluorooctansulfonsäure (PFOS), Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) und Perfluordecansulfonsäure (PFDS) [5], die nach den bis dahin vorliegenden Daten zusammen ca. 90 % der Gesamt-Körperlast des Menschen ausmachen. Die EFSA sieht neben Lebensmittel wie Fisch, Obst, Eiern und Eiweißprodukten auch Trinkwasser als eine mögliche Expositionsquelle für PFAS an.

Um diesen weiterentwickelten toxikologischen Erkenntnissen Rechnung zu tragen, wurde im Rahmen der nationalen Umsetzung der TW-RL in der TrinkwV neben der Übernahme des Wertes für Summe PFAS-20 in Höhe von 0,000 10 mg/l ein zusätzlicher Grenzwert für die Summe der Konzentrationen von PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS (bezeichnet als Summe PFAS-4) in Höhe von 0,000 020 mg/l für Trinkwasser eingeführt [3]. Ein Grenzwert für Trinkwasser ist die festgelegte Höchstkonzentration eines Stoffes oder bei Summenparametern einer Summe an Stoffen im Trinkwasser. Die Festlegung eines Grenzwertes berücksichtigt die gesundheitliche Bewertung der Stoffe, technische Aspekte (u.a. verfügbare Techniken zur Entfernung und deren Kosten, verfügbare Analysemethoden oder Schutz von technischen Anlagen z. B. vor Korrosion) und politische Aspekte (z. B. das Minimierungsgebot, Verhältnismäßigkeit im Rahmen der Begrenzung der Gesamtexposition). Im Regelfall wird ein Grenzwert abgeleitet, das bei einer täglichen und lebenslangen Aufnahme keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu besorgen ist. Über den Trinkwasserpfad wird die täglich tolerable Aufnahme eines Stoffes auf nur zu 10 % ausgeschöpft („Allokation“). Die Hauptaufnahmequellen für die mit einem Grenzwert in der TrinkwV belagten PFAS stellen im Regelfall Lebensmittel dar.

Im Einzelfall kann die Einführung dieser neuen PFAS-Parameter mit einem erhöhten Aufwand bei Betreibern einer Wasserversorgungsanlage, Untersuchungsstellen und Behörden im Hinblick auf die Sicherstellung der Einhaltung der Grenzwerte zu den jeweiligen Stichproben verbunden sein. Dies verdeutlicht zudem die Notwendigkeit, bereits den Eintrag dieser persistenten Verbindungen in die Umwelt und somit in die Trinkwasserentnahmestellen und das Rohwasser zu reduzieren.

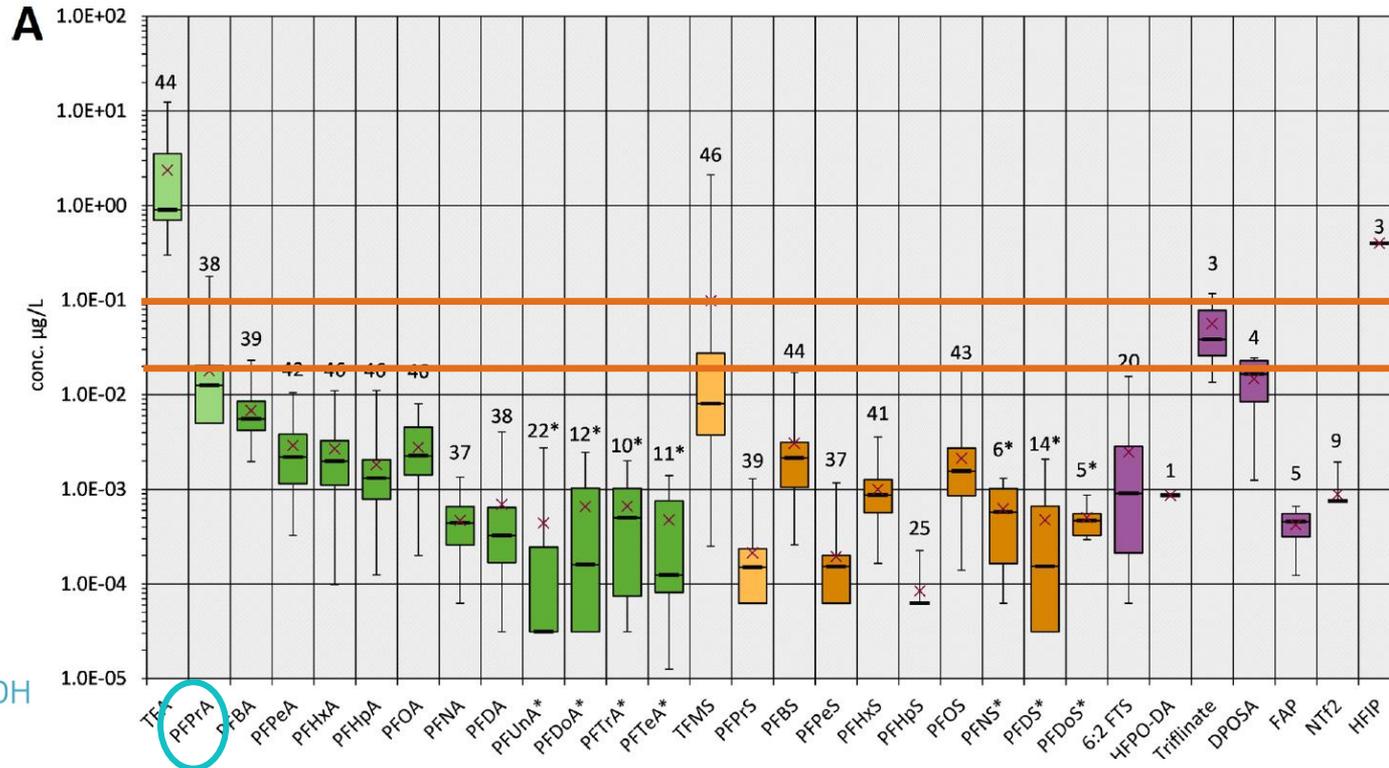
Das Umweltbundesamt (UBA) hat in seinen Empfehlungen von 2020 und 2021 bereits notwendige Schritte im Hinblick auf die beweisende Regulierung von PFAS im Trinkwasser aufgereizt [6, 7]. Die verschiedenen Aktivitäten zur Verbesserung des Kenntnisstandes hinsichtlich der toxikologischen Einzelstoffbewertungen, einer hinreichend empfindlichen und standardisierten Messmethode und

¹ 0,10 µg/l die TWI, entspricht 0,020 10 mg/l bei TrinkwV oder 100 ng/l in wissenschaftlichen Darstellungen.

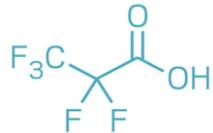
² Bezogen auf die Medianwerte in Blutplasma von Erwachsenen (weitere Informationen siehe [3]).

Relevanz der PFAS im Trinkwasser in Deutschland

(Okt. 2019 – Okt. 2021, Rohwässer und Uferfiltrate)



n = 46



Perfluoropropanoic acid (PFPrA)

Relevanz der PFAS im Einzugsgebiet nach TrinkwEGV

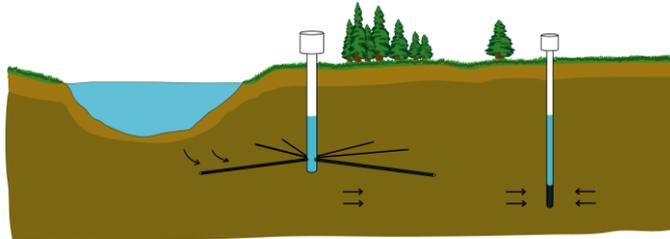
§ 6 Bestimmung und Beschreibung des Trinkwassereinzugsgebiets

(1) Der **Betreiber** (>10 m³/Tag) hat eine Bestimmung und Beschreibung des Trinkwassereinzugsgebiets vorzunehmen (bis 12.11.2025). Diese umfasst:

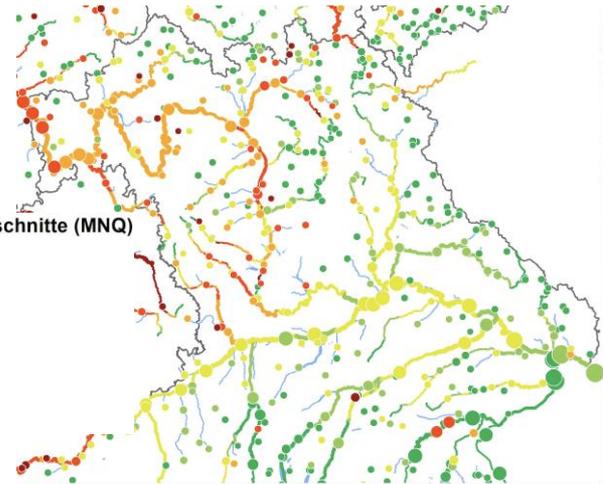
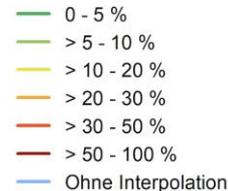
5. die Beschreibung der Abflussprozesse im Trinkwassereinzugsgebiet von Oberflächengewässern oder der Neubildungsprozesse im Trinkwassereinzugsgebiet von Grundwasserfassungen

- Altlasten

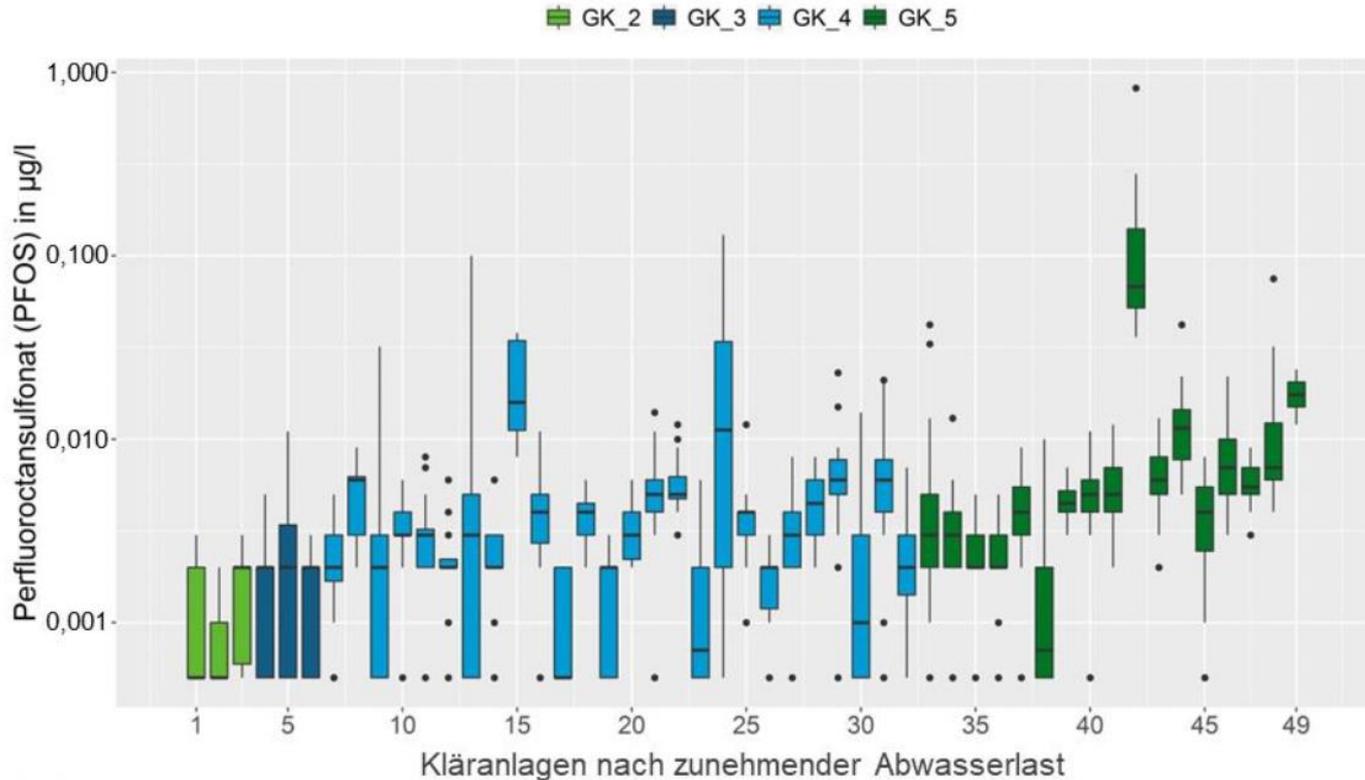
- Uferfiltrat



Klarwasseranteile - Flussabschnitte (MNQ)



Vorkommen von PFOS in Kläranlagenabläufen

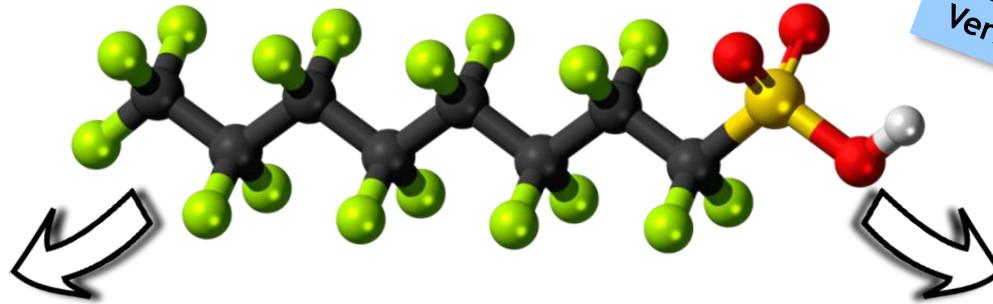


Vorkommen von PFAS in Kläranlagenabläufen

Stoff	N	< BG	90% Quantil (ng/l)
PFBA	1.000	912	12
PFPeA	1.000	889	13
PFHxA	1.000	979	18
PFHpA	1.000	582	4
PFOA	1.000	898	11
PFNA	1.000	165	1
PFDA	1.000	238	2
PFUnDA	1.000	2	< BG
PFDoDA	1.000	4	< BG
PFBS	1.000	885	13
PFPeS	1.000	16	< BG
PFHxS	1.000	329	4
PFHpS	1.000	16	< BG
PFOS	1.000	840	11
PFDoS	1.000	0	-

Ansatzpunkte für Behandlungsverfahren

PFAS-Molekül (PFOS)



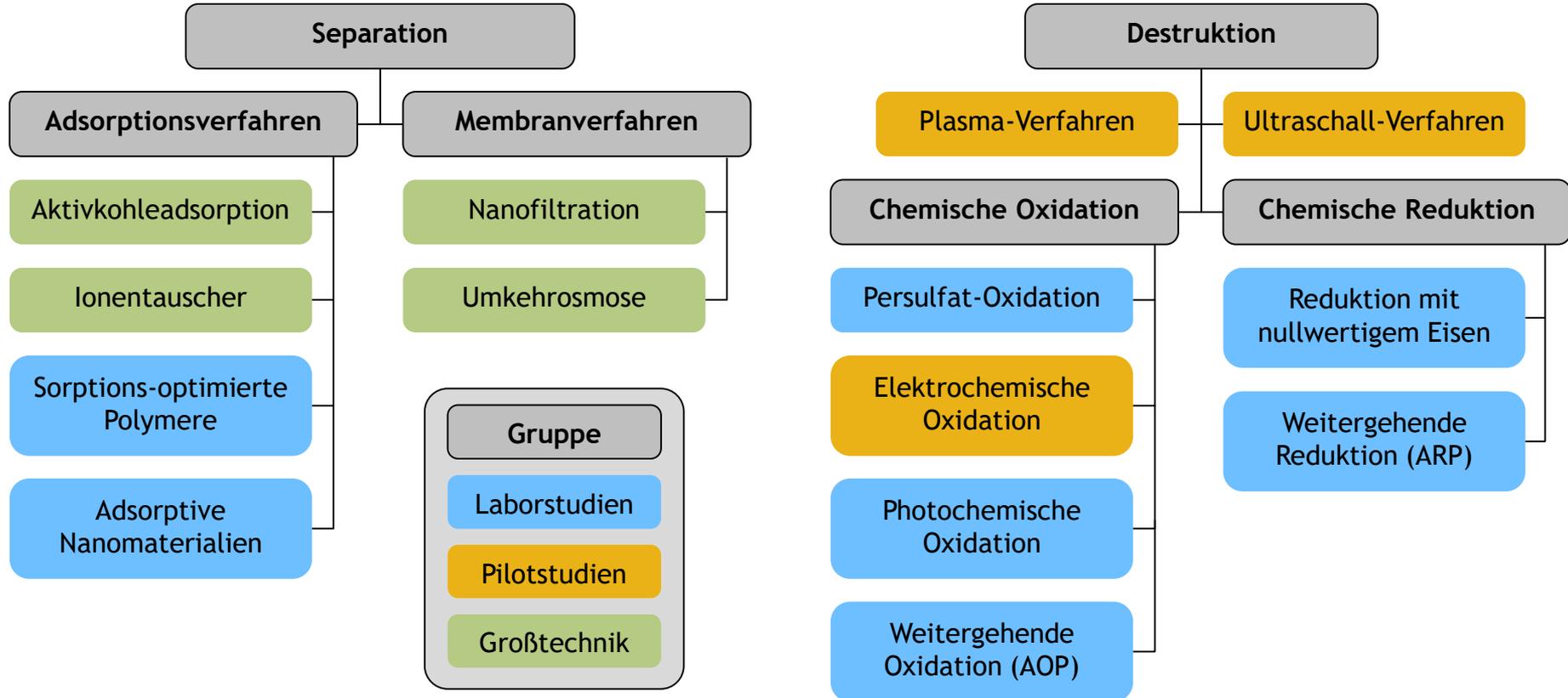
Behandlung für
kurzkettige oder neutrale
Verbindungen erschwert!

Ausnutzen der **hydrophoben Alkylkette**
(z.B. Adsorption an Aktivkohle oder Gasblasen)

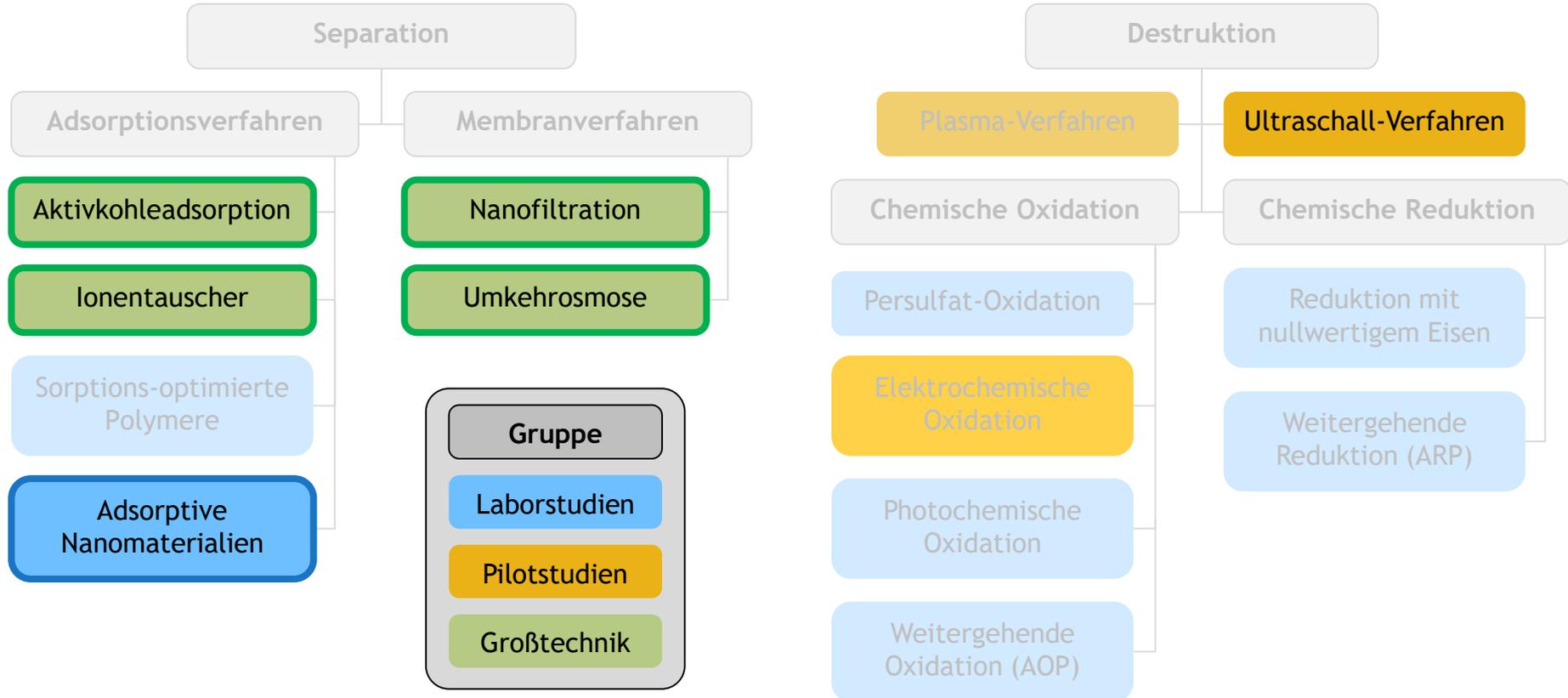
Ausnutzen der **ionischen Kopfgruppe**
(z.B. Ionentauscher)

Ausnutzen der **Molekülgröße**
(z.B. Membranverfahren)

Mögliche Behandlungsoptionen für PFAS



Mögliche Behandlungsoptionen



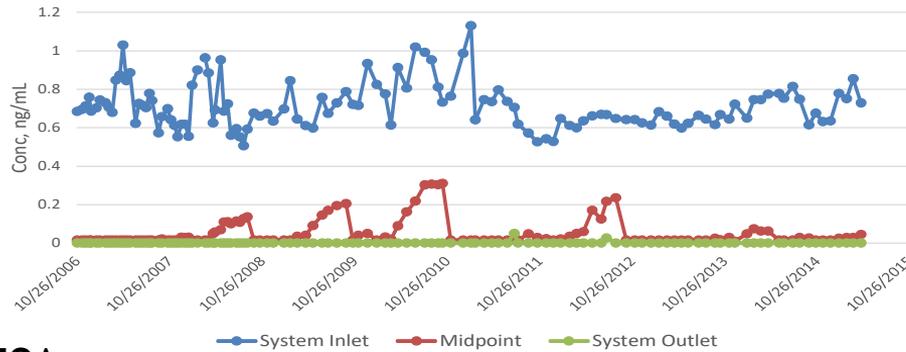
Aufbereitung mit granulierter Aktivkohle (GAK)



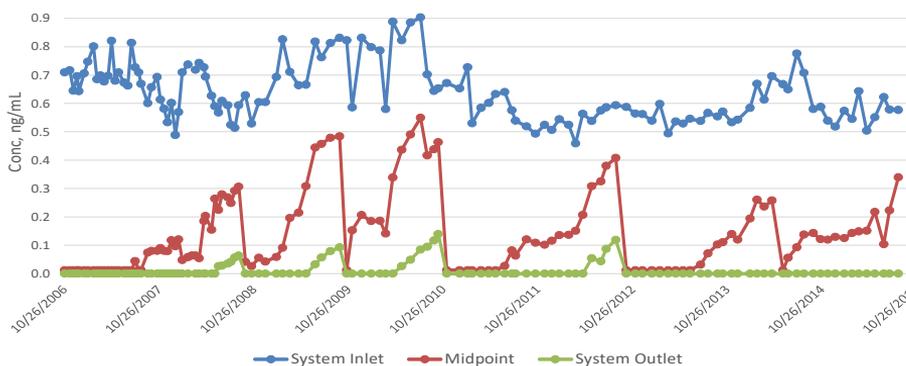
Standort	Versorgte Einwohner	Verfahren	PFAS Belastung
Oakdale, Minnesota, USA	27.000	Calgon Carbon GAK (F-600) EBCT 16 min (lead/lag) Austausch alle 12 Monate	PFOA: 0,7 $\mu\text{g/l}$ PFOS: 0,8 $\mu\text{g/l}$ PFBA: 1,5 – 2 $\mu\text{g/l}$

2-stufige GAK Behandlung: PFOS, PFOA, PFBA Wasserwerk Oakdale, Minnesota, USA

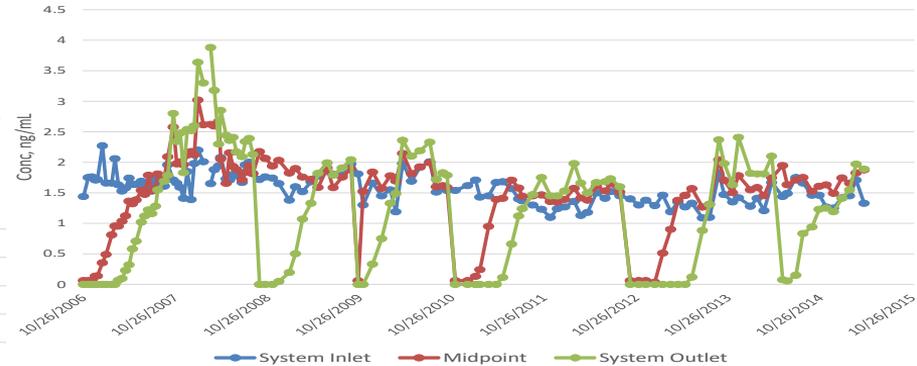
PFOS



PFOA

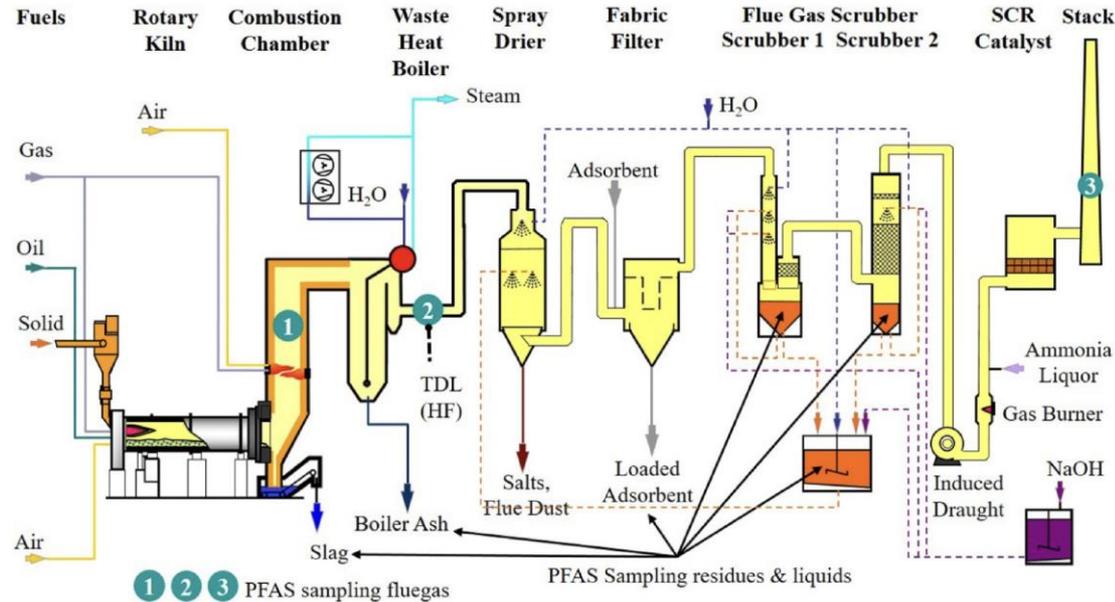


PFBA



PFBA: keine Reduktion durch GAK

Entsorgung/Regeneration granulierter Aktivkohle (GAK)



- mixed sample of fluoropolymers representing 80% of commercial fluoropolymers was combusted at conditions representative of municipal (860 °C for 2 s) and industrial (1095 °C for 2 s) waste incinerators
- Statistical analysis of the results confirmed non-detect to negligible levels of PFAS evidencing mineralization of fluoropolymers



Ionentauscher

Pro

- Höhere Adsorptionskapazität als Aktivkohle
- Nahezu vollständige Entfernung langkettiger PFAS möglich
- Bessere Entfernung kurzkettiger PFAS als Aktivkohle
- Hohe Durchflussraten möglich
- Platzsparender als Aktivkohle
- Onsite Regeneration möglich

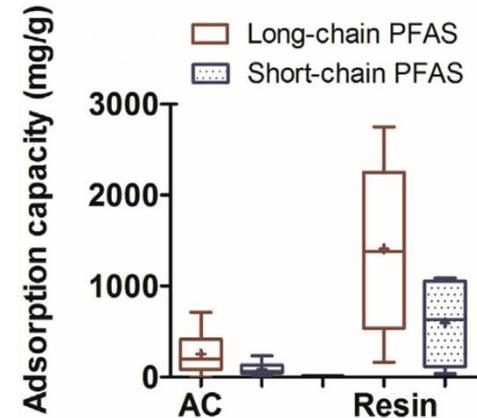
Contra

- Adsorptionskapazität für kurzkettige PFAS dennoch limitiert
- Co-Substanzen können PFAS-Adsorption stark mindern
- Ionenaustauscherharze teurer als Aktivkohle
- Entstehung hochkonzentrierter Abwässer bei Regenerierung
- Regenerierung oft unwirtschaftlich



Separation

Großtechnik

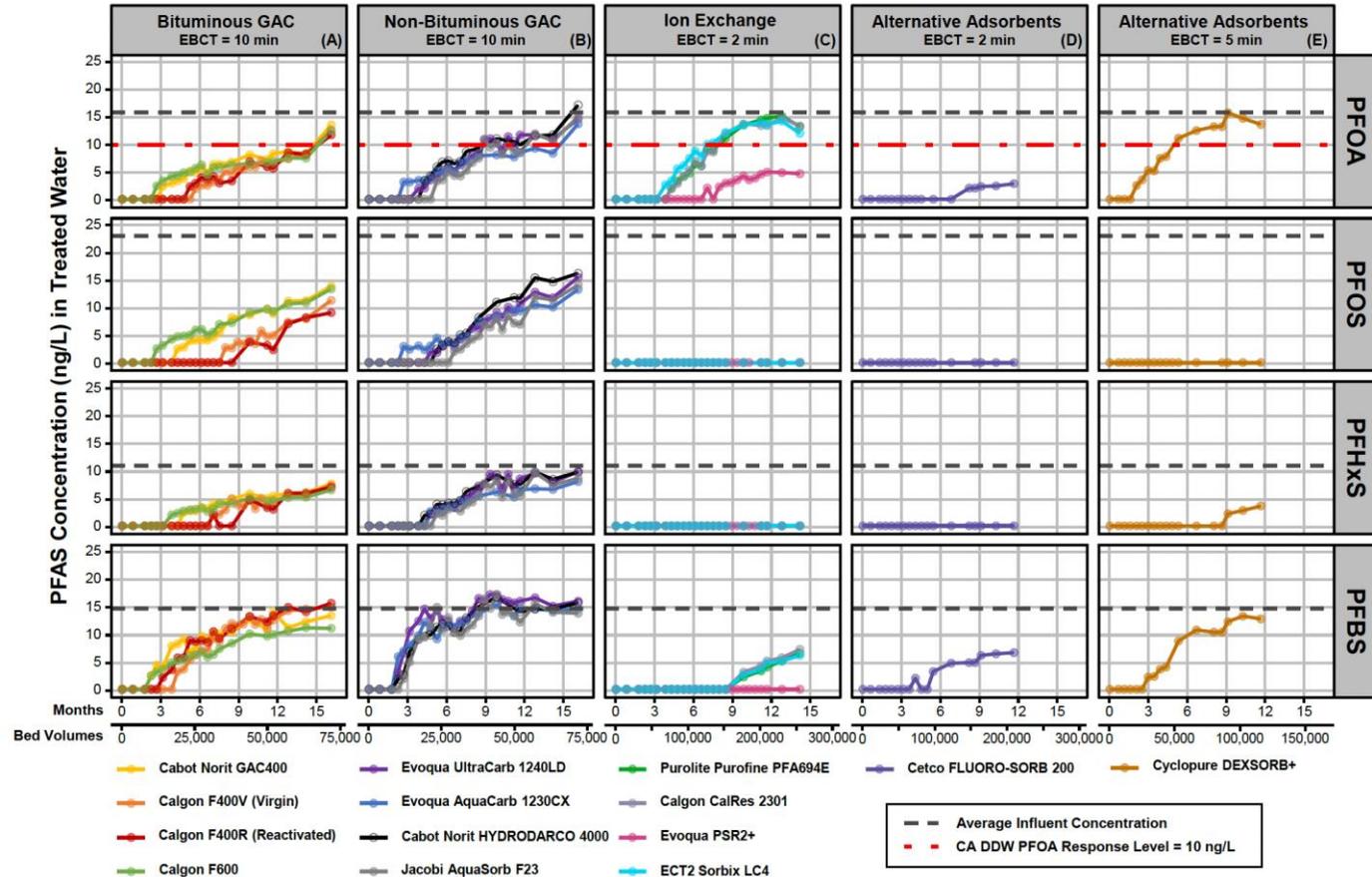


OCWD: Behandlungsstudie Grundwasser



Granular Activated Carbon (GAC) Ion Exchange (IX) Resin Alternative Adsorbents (AA)

CETCO Fluoro-Sorb 200
Cyclopure Dextorb+



Membranfiltration

Nanofiltration und Umkehrosmose

Separation

Großtechnik

Pro

- Vollständige PFAS-Entfernung möglich
- Umkehrosmose wirksam für lang- und kurzkettige PFAS
- Nanofiltration (typischerweise mit MWCO von 200 Dalton) effektiv für langkettige und die meisten kurzkettigen PFAS
- Lange Lebenszeit der Membranen (5+ Jahre)

Contra

- Kostenintensiver Anfall hochkonzentrierter Retentatströme
- Vergleichsweise hohe Kapital- und Betriebskosten
- Membranfouling, verminderte Permeation bei hohen PFAS Konzentrationen
- Notwendigkeit einer adäquaten Vorbehandlung (Cartridge-Filter, pH-Wert Anpassung)



Ultraschallbehandlung

Destruktiv

Pilot-scale

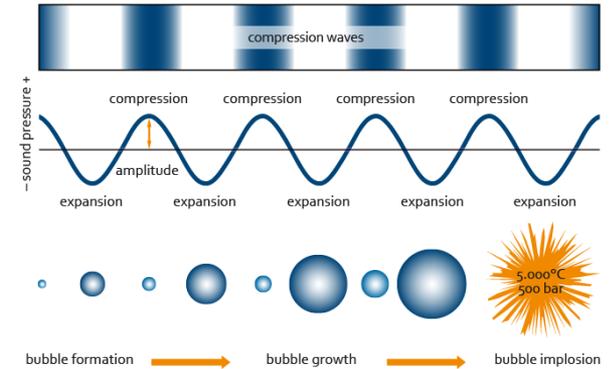
No commercialization yet for PFAS treatment – otherwise a well-studied process

Pro

- Pyrolytic mineralization produces significantly less by-products
- Effective also for short-chain PFAS
- No addition of chemicals necessary (aside from pH adjustment of concentrate)
- Simple operation

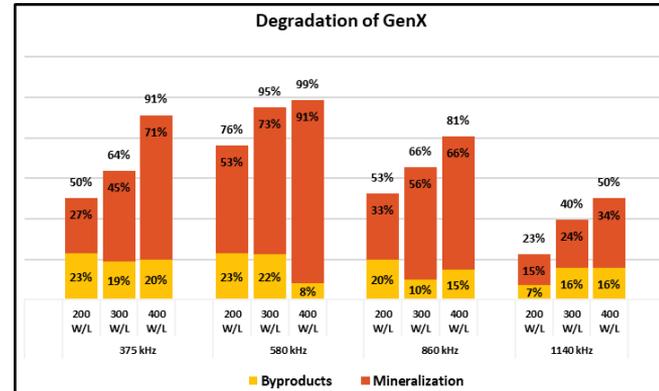
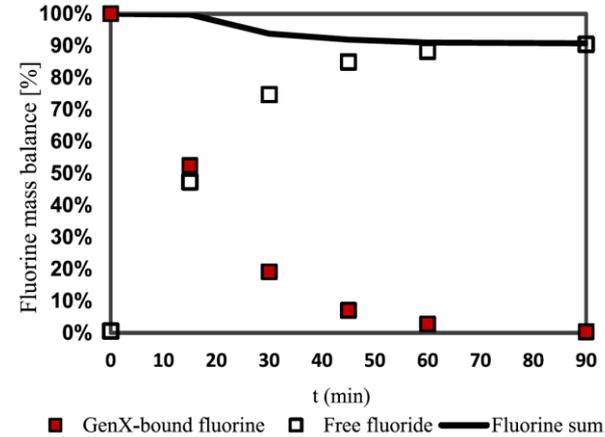
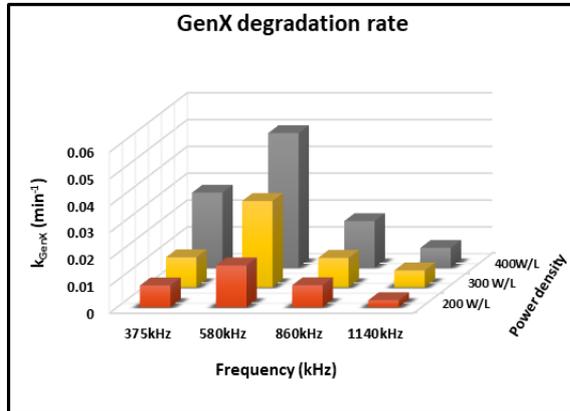
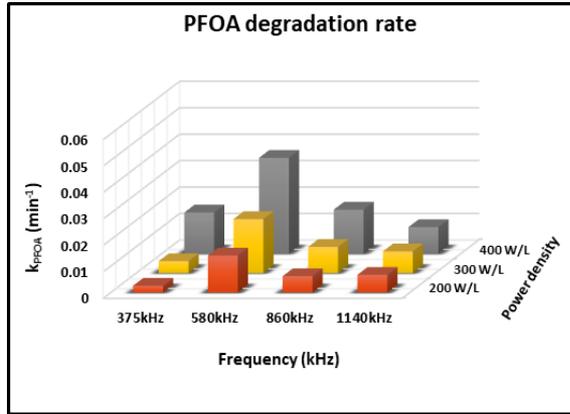
Contra

- Only suitable for concentrates due to high energy consumption
- Degradation efficiency depends on PFAS concentrations and matrix effects
- Scale-up (still) challenging for high-frequency applications



Adapted from Lippert et al., 2021

Ultraschallbehandlung



Ausblick

- ❑ Neue TrinkwV setzt für Summe PFAS-20 und Summe PFAS-4 ab 2026/2028 neue Grenzwerte
- ❑ Dafür verlieren bisherige GOWs und LWs für PFAS ihre Gültigkeit
- ❑ TrinkwEGV erfordert Kenntnis über mögliche PFAS Belastung insbesondere bei Standorten mit Altlasten und Uferfiltration
- ❑ PFAS treten immer als Stoffgemisch auf; einige PFAS weniger trinkwasserrelevant (C10-C13; PFPeS, PFHpS)
- ❑ Granulierte Aktivkohle (GAK) und Ionenaustausch sind zuverlässige weitergehende Aufbereitungsverfahren für PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS und andere PFAS (C-6 oder höher)
- ❑ Für kürzerkettige PFAS ist GAK nicht geeignet



Bekanntmachungen – Amtliche Mitteilungen

Bundesgesundheitsbl 2024 · 67:975–974
<https://doi.org/10.1007/s00120-024-02096-4>
© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2024



Bekanntmachung des Umweltbundesamtes

PFAS im Trinkwasser – Sachstand und Aspekte zur Bewertung

Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission

Ziel dieser Stellungnahme ist es, den aktuellen Kenntnisstand zur Analytik der poly- und perfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in Trinkwasser, zum Vorkommen und zu Aufbereitungsoptionen aufzuzeigen, aber auch darzustellen, weshalb eine Befassung mit dieser Stoffgruppe – als neue Parameter der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) – durch die Betreiber einer Wasserversorgungsanlage und die Gesundheitsämter bereits zum jetzigen Zeitpunkt anzuraten ist. Außerdem soll die Fortentwicklung der gesundheitlichen Bewertung von PFAS-Vorkommen im Trinkwasser beschrieben werden. Bezüglich der möglichen gesundheitlichen Konsequenzen von PFAS-Belastungen für den Menschen werden auf die HBM-II-Werte für Perfluorooctansäure (PFOS) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) in Blutplasma – Stellungnahme der Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes [1] – und auf die FAQ-Liste des Bundesinstitutes für Risikobewertung (BfR) vom 21. September 2020 [2] verwiesen.

Grenzwerte in der Trinkwasserverordnung

Am 24. Juni 2023 ist die TrinkwV in Kraft getreten, die erstmalig Grenzwerte für Stoffe aus der Gruppe der PFAS als Parameter enthält [3]. Damit wurde die EU-Trinkwasserrichtlinie (Richtlinie (EU) 2020/2184, hier Abk. TW-RL) umgesetzt, in der ein Parameterwert von 0,10 µg/l für die Summe der Konzentra-

tionen von 20 bestimmten PFAS vorgegeben wurde [4].

Amherdend zeitgleich zur TW-RL hat die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) auf Basis aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse für einen Teil der PFAS-Stoffgruppe einen Beurteilungswert in Form einer „Joharben wöchentlichen Gesamtaufnahme“ (TWI) in Höhe von 4,4 ng/kg Körpergewicht ermittelt und in ihrem Gutachten vom 17. September 2020 veröffentlicht [5]. Die EFSA bewertete die Summe von vier PFAS-Perfluorooctansäure (PFOS), Perfluornonansäure (PFNA), Perfluorheptansulfonsäure (PFHxS) und Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) [5], die nach den bis dahin vorliegenden Daten zusammen ca. 90 % der Gesamt-Körperlast des Menschen ausmachen. Die EFSA sieht neben Lebensmitteln wie Fisch, Obst, Eiern und Eiprodukten auch Trinkwasser als eine mögliche Expositionquelle für PFAS an.

Um diesen weiterentwickelten toxikologischen Erkenntnissen Rechnung zu tragen, wurde im Rahmen der nationalen Umsetzung der TW-RL in der TrinkwV neben der Übernahme des Wertes für Summe PFAS-20 in Höhe von 0,0002 mg/l ein zusätzlicher Grenzwert für die Summe der Konzentrationen von PFOS, PFNA, PFHxS und PFOS (bezeichnet als Summe PFAS-4) in Höhe von 0,00020 mg/l für sein Einfüllungen von 2020 und 2021 bereits notwendige Schritte im Hinblick auf die bewertende Regulierung von PFAS im Trinkwasser aufgezeigt [6, 7]. Die verschiedenen Aktivitäten zur Verbesserung des Kenntnisstandes hinsichtlich der toxikologischen Einzelstoffbewertungen, einer hinreichend empfindlichen und standardisierten Messmethode und

Grenzwertes berücksichtigt die gesundheitliche Bewertung der Stoffe, technische Aspekte (u. a. verfügbare Techniken zur Entfernung und deren Kosten, verfügbare Analysemethoden) oder Schutz von technischen Anlagen z. B. vor Korrosion) und politische Aspekte (z. B. die Minimierung des, Verhältnismäßigkeit im Rahmen der Begrenzung der Gesamtexposition). Im Regelfall wird ein Grenzwert so abgeleitet, dass bei einer täglichen und lebenslangen Aufnahme keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist. Über den Trinkwasserpfad wird die täglich tolerable Aufnahme eines Stoffes zudem nur zu 10 % ausgeschöpft („Allokation“). Die Hauptaufnahmequellen für die mit einem Grenzwert in der TrinkwV belegten PFAS stellen im Regelfall Lebensmittel dar.

Im Einzelfall kann die Einführung dieser neuen PFAS-Parameter mit einem erhöhten Aufwand bei Betreibern einer Wasserversorgungsanlage, Untersuchungen und Behörden im Hinblick auf die Sicherstellung der Einhaltung der Grenzwerte zu den jeweiligen Stichtagen verbunden sein. Dies verdeutlicht auch die Notwendigkeit, bereits den Eintrag der persistenten Verbindungen in die Umwelt und somit in die Trinkwasserzuzugsgebiete und das Rohwasser zu reduzieren.

Das Umweltbundesamt (UBA) hat in seinen Empfehlungen von 2020 und 2021 bereits notwendige Schritte im Hinblick auf die bewertende Regulierung von PFAS im Trinkwasser aufgezeigt [6, 7]. Die verschiedenen Aktivitäten zur Verbesserung des Kenntnisstandes hinsichtlich der toxikologischen Einzelstoffbewertungen, einer hinreichend empfindlichen und standardisierten Messmethode und

Vielen Dank!

jdrewes@tum.de

Bekanntmachungen – Amtliche Mitteilungen

Bundesgesundheitsbl 2024 · 67:975–970
<https://doi.org/10.1007/s00120-024-04392-9>
© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2024



Bekanntmachung des Umweltbundesamtes

Bewertung der PFAS-20 aus der Trinkwasserverordnung

Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission

Übersicht

Die bisher durch das Umweltbundesamt (UBA) veröffentlichten Dokumente bezüglich der Festlegung von Trinkwasserleitwerten (LWTV) und Gesundheitsorientierungswerten (GOW) für PFAS in Trinkwasser verlieren ihre Gültigkeit und werden durch die hier vorliegende Bewertung ersetzt.

Zusätzliche Informationen zum aktuellen Kenntnisstand zur Analytik der poly- und perfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS), zum Vorkommen und zu Aufbereitungsoptionen, aber auch zur Frage, weshalb eine Befassung mit dieser Stoffgruppe – als neue Parameter der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) – durch die Betreiber einer Wasserversorgungsanlage und die Gesundheitsämter bereits zum jetzigen Zeitpunkt anzuraten ist, werden in der UBA-Empfehlung „PFAS im Trinkwasser – Sachstand und Aspekte zur Bewertung“ adressiert.

Die Richtlinie (EU) 2020/2184 (TW-RL) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch führt mit den Parametern „Summe der PFAS“ und „PFAS gesamt“ die Stoffgruppe der PFAS erstmalig ein [1]. Mit der Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht durch die Trinkwasserverordnung (TrinkwV) vom 20. Juni 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 159, S. 2) wird in Deutschland der Parameter „Summe der PFAS“ unter der Bezeichnung „Summe PFAS-20“ übernommen.

Damit ist die Gruppe der perfluorierten Carbon- und Sulfonäuren mit einer Kettlänge von 4 bis 13 Kohlenstoffatomen mit einem Grenzwert von 0,0002 mg/l

(entspricht 100 µg/l) belegt. Die TrinkwV schreibt vor, dass die gemessenen Konzentrationen der Stoffe einzeln ausgewiesen werden müssen. Aufgrund der Tatsache, dass die toxische Potenz der Einzelstoffe sehr unterschiedlich ist, ist im Einzelfall eine individuelle Bewertung der Einzelkonzentrationen, wenn es die Datenlage erlaubt, hilfreich. Der Parameter „Summe PFAS-20“ muss ab 12. Januar 2026 gemessen und eingehalten werden.

In Ergänzung zum Parameter „Summe PFAS-20“ wird in Deutschland der Parameter „Summe PFAS-4“ zum 12. Januar 2028 eingeführt, der die Stoffe Perfluorooctansäure (PFOS), Perfluornonansäure (PFNA), Perfluorheptansulfonsäure (PFHxS) und Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) umfasst. Diese vier Stoffe machen ca. 50 % der PFAS in der menschlichen Nahrungsaufnahme bzw. ca. 90 % der inerten Körperbelastung aus und wurden aufgrund besonderer toxikologischer Besorgnis durch die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) im Rahmen der nationalen Umsetzung der TW-RL in deutsches Recht zu berücksichtigen, muss ab dem 12.01.2028 der zusätzliche Grenzwert der TrinkwV für „Summe PFAS-4“ – PFOS, PFNA, PFHxS und PFOS – in Höhe von 0,00020 mg/l (entspricht 20 µg/l) gemessen und eingehalten werden. Die Konzentrationen der zur Summenbildung herangezogenen PFAS sind einzeln auszuweisen.

Als Grundlage für die Bewertung der Einzelverbindungen dient eine von UBA im Auftrag gegebene Studie unter dem Titel „Lebensdauer und Auswertung vorhandener toxikologischer Daten als Grundlage zur Ableitung von Trinkwasserleitwerten für PFAS“ [2]. Auf Basis dieser Zusammenstellung von Studiendaten war es das Ziel, die toxikologische Bewertung der Substanzen mit Bezug auf ihr Vorkommen im Trinkwasser vorzunehmen. Diese Bewertung umfasst die in der Summe PFAS-20 enthaltenen Einzelstoffe. Substitutionsstoffe, ultra-kurzketten PFAS oder andere PFAS werden in diesem Dokument nicht adressiert.

Startpunkt für die Bewertung der Einzelverbindungen der „Summe PFAS-20“ war die jeweils höchste Dosis, bei der kein schädlicher Effekt beobachtet wurde (sobered adverse effect-level, NOAEL). Um von einem NOAEL, der zumeist auf Tierdaten beruht, auf eine täglich tolerierbare Aufnahmemenge im Trinkwasser durch den Menschen zu schließen, werden standardisierte Bewertungsfaktoren verwendet, z. B. ein Faktor für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen (z. B. Kinder, Schwangere, Kranke) oder ein Faktor für die möglichen Unterschiede zwischen Menschen und Tieren, wenn die Daten aus Tierversuchen stammen. Auch die möglicherweise unterschiedlich lange Studiendauer wird über einen Bewertungsfaktor berücksichtigt. Bei den in **Tab. 1** aufgeführten Werten, die auf den Daten der UBA-Ableitung von 2016 beruhen, wurde aus Konsistenzgründen auf eine Anpassung der Zehnterpotenzfaktoren an die heute üblicherweise verwendeten Werte verzichtet (2016: Faktor 10, 2024: 2 oder 6 entsprechend z. B. des ECHA R.8 Leitfadens für subchronisch zu chronisch bzw. akut zu chronisch) [4, 7]. Eine Anpassung hätte eine deutliche Erhöhung der Konze-

¹ 0,10 µg/l der TW-RL entspricht 0,0002 mg/l bei TrinkwV oder 100 ng/l in wissenschaftlichen Darstellungen.

² Bezogen auf die Medianwerte im Blut-Serum von Erwachsenen (weitere Informationen siehe [5]).