

# PFAS im Trinkwasser:

ein erster Überblick über Befunde und Herausforderungen für die Wasserversorgung

Quelle: TZW



Die neue Trinkwasserverordnung (TrinkwV), die **spätestens zum 12. Januar 2023 in Kraft treten muss**, wird erstmalig Grenzwerte für Perfluoralkylsubstanzen (PFAS) enthalten. Trotz der Übergangsfristen ist aufgrund der zum Teil toxikologischen bzw. hygienischen Relevanz und dem ubiquitären Vorkommen aufgrund chemisch-physikalischer Eigenschaften einiger diese Stoffe zu erwarten, dass **bereits kurzfristig mit der Überwachung begonnen wird**. Im Fall von gehäuften bzw. wiederholten Befunden ist damit zu rechnen, dass **Maßnahmen zu ergreifen sind, um die Verbraucherinnen und Verbraucher zu schützen**.

von: Dr. Ulrich Borchers (IWW Zentrum Wasser), Dr. Camilla Beulker, Dr. Alexander Kämpfe (beide: Umweltbundesamt), Dr. Holger Knapp (Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit), Dr. Frank Sacher (TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser) & Dr. Roland Suchenwirth (Niedersächsisches Landesgesundheitsamt)

Es zeigt sich, dass es in einigen Fällen in deutschen Wasserwerken Probleme mit PFAS gibt bzw. geben dürfte, da analytische Befunde für einzelne Vertreter dieser Stoffgruppe nicht selten sind. Ein Überblick über die verfügbaren Ergebnisse aus Trinkwasseranalysen zu PFAS, der im Rahmen einer Datensammlung für die Trinkwasserkommission erstellt wurde, zeigt ein aktuelles Bild der Betroffenheit der Wasserversorgung in Deutschland. Es ist damit zu rechnen, dass insbesonde-

re bei Beeinflussungen der Rohwasserressourcen aus punktuellen Kontaminationsquellen, beispielsweise aus der Industrie oder der Umgebung von Flughäfen, eine Aufbereitung des Rohwassers zur Minimierung der PFAS-Konzentrationen angezeigt ist.

## Ausgangssituation

Die neue EU-Trinkwasserrichtlinie (DWD) [1] ist nach ihrer Veröffentlichung im Dezember 2020 am 12. Januar

2021 in Kraft getreten. Aufgrund der zweijährigen Übergangsfrist muss in Deutschland bis spätestens zum 12. Januar 2023 eine neue Trinkwasserverordnung in Kraft gesetzt werden, um die seit 2019 geltende Fassung der TrinkwV [2] abzulösen. Angesichts der Änderungen, die in die EU-Gesetzgebung eingeflossen sind, darf mit teilweise erheblichen Veränderungen auch der TrinkwV gerechnet werden. Der bisher stark qualitätsorientierten Fokussierung der Richtlinie wurde nun in der neuen Fas-

sung auch ein prägender Schwerpunkt des „Wasser-managements“ sowie noch umfangreichere Verbraucherinformationsrechte hinzugefügt. Dennoch ist und bleibt es das Hauptziel der Richtlinie, die menschliche Gesundheit vor nachteiligen Einflüssen durch die Aufnahme von Trinkwasser zu schützen.

In diesem Beitrag soll auf die neu eingeführten Grenzwerte für die per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) eingegangen werden, die sowohl für die Analytik als auch für die Wasserversorgung und -aufbereitung eine große Herausforderung darstellen. PFAS sind – neben weiteren neuen Parametern und Regelungen in der EU-Richtlinie – wegen der Verbreitung der Stoffgruppe in der aquatischen Umwelt sowie der zum Teil bestehenden toxikologischen Relevanz von besonderer Bedeutung. Ein Schwerpunkt des Beitrags ist die Auswertung einer breit angelegten Datensammlung von Befunden an PFAS, die im Auftrag einer Unterarbeitsgruppe der Trinkwasserkommission durchgeführt wurde.

### Herausforderungen bei der analytischen Überwachung der PFAS

Für die trinkwasserhygienisch und toxikologisch relevante Gruppe der PFAS wurden zwei Summengrenzwerte in die neue EU-Trinkwasserrichtlinie [1] aufgenommen:

- Summe der PFAS (PFAS<sub>Σ20</sub>) = 0,10 Mikrogramm pro Liter (µg/l) für die Summe von 20 explizit im Anhang III Teil B, Nr. 3 genannten

Stoffen, wobei diese eine Kettenlänge von C4 bis C13 haben und jeweils Carbon- und Sulfonsäuren umfassen. In **Tabelle 1** sind die Stoffnamen und gebräuchlichen Abkürzungen aufgeführt.

- PFAS, gesamt (PFAS<sub>gesamt</sub>) = 0,50 µg/l für die Gesamtheit aller per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen. Theoretisch zählen mehrere Tausend Einzelsubstanzen zu dieser Gruppe.

Für beide Fälle wurde festgelegt, dass der Parameterwert erst gelten soll, sobald standardisierte analytische Methoden für die Überwachung entwickelt wurden. Die Mitgliedstaaten können anschließend entscheiden, entweder einen oder beide der Parameter „PFAS, gesamt“ oder „Summe der PFAS“ für die Überwachung zu verwenden. Für Deutschland gilt es als wahrscheinlich, dass nur für die „Summe der PFAS“ (PFAS<sub>Σ20</sub>) eine Überwachung zu erfolgen hat, insbesondere, weil für „PFAS, gesamt“ derzeit keine abgestimmte und genormte Methodik existiert.

Bis zum 12. Januar 2024 wird die EU-Kommission für den Parameter „Summe der PFAS“ die Analyseverfahren einschließlich Nachweisgrenzen und Häufigkeit der Probenahmen festlegen. Bis zum 12. Januar 2026 müssen die Mitgliedstaaten dann die nötigen Maßnahmen ergreifen, um sicherzustellen, dass die neuen Grenzwerte für Trinkwasser auch eingehalten werden.

### Toxikologische Bewertung der PFAS

Zu den PFAS gibt es vom Umweltbundesamt aus den letzten Jahren mehrere Empfehlungen

**Tabelle 1: 20 Stoffe, die in die Summe der PFAS (PFAS<sub>Σ20</sub>) nach EU-Trinkwasserrichtlinie Anhang III [1] eingehen**

C-Atome	Carbonsäuren		Sulfonsäuren	
4	Perfluorbutansäure	(PFBA)	Perfluorbutansulfonsäure	(PFBS)
5	Perfluorpentansäure	(PFPeA)	Perfluorpentansulfonsäure	(PFPeS)
6	Perfluorhexansäure	(PFHxA)	<b>Perfluorhexansulfonsäure</b>	<b>(PFHxS)*</b>
7	Perfluorheptansäure	(PFHpA)	Perfluorheptansulfonsäure	(PFHpS)
8	<b>Perfluoroctansäure</b>	<b>(PFOA)*</b>	<b>Perfluoroctansulfonsäure</b>	<b>(PFOS)*</b>
9	<b>Perfluornonansäure</b>	<b>(PFNA)*</b>	Perfluornonansulfonsäure	(PFNS)
10	Perfluordecansäure	(PFDA)	Perfluordecansulfonsäure	(PFDS)
11	Perfluorundecansäure	(PFUnDA)	Perfluorundecansulfonsäure	
12	Perfluordodecansäure	(PFDoDA)	Perfluordodecansulfonsäure	
13	Perfluortridecansäure	(PFTrDA)	Perfluortridecansulfonsäure	

\* vier PFAS, für die die EFSA eine zulässige tägliche Aufnahmemenge (ADI) abgeleitet hat (PFAS<sub>Σ4</sub>) [5]

Quelle: die Autoren

zur Bewertung, in denen die toxikologische Relevanz der Stoffgruppe beschrieben wird [z. B. 3, 4], da die European Food Safety Authority (EFSA) in den letzten Jahren die Bewertungen für bestimmte PFAS-Einzelsubstanzen [5] zunehmend verschärft hat. Diese Bewertungen stellen eine Empfehlung zur Umsetzung in relevanten Aufnahmepfaden dar.

Aufgrund einer Aktualisierung der toxikologischen Bewertung einiger PFAS wird der von der EFSA empfohlene Wert für die tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge für die vier Einzelverbindungen PFOA, PFOS, PFHxS und PFNA (PFAS<sub>Σ4</sub>, siehe Tab. 1) auch im Trinkwasser zu berücksichtigen sein. Dies könnte zu Empfehlungen für Höchst- oder Grenzwerte führen, die sehr deutlich unter den bisherigen Leitwerten, vorübergehenden Maßnahmenwerten bzw. allgemeinen Vorsorgewerten in Deutschland liegen.

*Die neue Trinkwasserverordnung wird Grenzwerte für PFAS enthalten. Sie sind toxikologisch relevant und sollten rechtzeitig analysiert werden, um präventive Maßnahmen planen zu können.*

Die vorübergehenden Maßnahmenwerte für PFOS und PFOA [6] wurden im Hinblick auf die Neubewertung durch die EFSA festgelegt und tragen dem Vorsorgegedanken Rechnung. Bei einer Ableitung für Trinkwasser gemäß dem in Deutschland üblichen Vorgehen bei der Regulierung ergäbe sich aus dem TWI-Wert der EFSA [5] für die vier zu betrachtenden PFAS ein Summenwert (PFAS<sub>Σ4</sub>) in Höhe von lediglich gerundet 2 Nanogramm pro Liter (ng/l) (= 0,002 µg/l), der bereits im Hinblick auf die derzeitigen Bestimmungsgrenzen der Analytik ein stufenweises Herangehen erfordern würde. Im Rahmen eines solchen Prozesses könnte die Einführung von gestuften „Zielwerten“ dienlich

sein, die insbesondere für die zu entwickelnden Maßnahmen in den beiden Bereichen

- Analytik zur empfindlichen Bestimmung von PFAS im Roh- und Trinkwasser sowie
- Aufbereitung von betroffenem Rohwasser zur Minimierung der PFAS-Gehalte

als Zielstellung dienen können.

#### **Normung der Analyseverfahren für PFAS**

Im Jahr 2021 wurde beim Europäischen Normungsgremium CEN TC 230 ein neues Normungsprojekt unter deutscher Leitung gestartet, um auf Basis der deutschen DIN 38407-42 [7] aus dem Jahr 2011 sowie der ISO 21675 [8] aus dem Jahr 2019 eine neue Europäische Norm für die Einzelstoffanalytik der 20 Stoffe zu erarbeiten, die von der Kommission als verbindliches Verfahren festgelegt werden soll. Hier geht es insbesondere darum, dass alle 20 Stoffe mit ausreichender Empfindlichkeit und akzeptabler Messunsicherheit in der Matrix Trinkwasser gemessen werden können.

Hierfür fordert die Trinkwasserrichtlinie [1] im Anhang III, Teil B eine Bestimmungsgrenze für die PFAS<sub>Σ20</sub> von 30 ng/l und eine Messunsicherheit von 50 Prozent am Parameterwert. Das bedeutet, dass ein einzelner Stoff mit einer Bestimmungsgrenze von 1,5 ng/l zu messen ist. Für die vier EFSA-PFAS (PFAS<sub>Σ4</sub>) wird sogar eine Bestimmungsgrenze angestrebt, die bei ca. 0,2 ng/l liegt, damit ein eventueller neuer, sehr niedriger Leit- oder Grenzwert im Nanogramm-pro-Liter-Bereich auch sicher überwacht werden kann. Der aktuelle Entwurf der neuen Europäischen Norm sieht eine flüssigkeitschromatografische Methode mit Kopplung zur Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS) vor, wobei sowohl das Direkt-Injektions- als auch ein SPE (Festphasenextraktion)-Anreicherungsverfahren als Optionen vorgesehen sind. Dabei muss insbesondere für die PFAS mit einer Kettenlänge von mehr als 10 C-Atomen aufgrund der starken Adsorption der Stoffe an Gefäßwandungen eine geeignete Vorgehensweise gefunden werden. Im Mai 2022 ist das Verfahren als Europäischer Norm-Entwurf bei CEN in Brüssel als prEN 17892 in die Umfrage und Abstimmung zu einer Vornorm (prEN) gegangen. Das Verfahren dürfte damit 2023 als fertige europäische und deutsche Norm zur Verfügung stehen.

Für die Summenmethode für den Parameterwert „PFAS, gesamt“ (Konventionmethode)

besteht dagegen keine Perspektive für eine sinnvolle und ausreichend empfindliche Methode, sodass davon ausgegangen werden kann, dass nur der Parameter PFAS<sub>Σ20</sub> in die neue Trinkwasserverordnung Eingang finden wird.

## Erster Überblick über PFAS in deutschen Trinkwässern

### Sammlung und Auswertung von PFAS-Analysendaten

Um einen größeren und möglichst umfassenden Überblick über die Befundlage an PFAS in Trinkwässern und damit über die Betroffenheit der deutschen Wasserversorgung zu bekommen, konnten bisher rund 1.600 Ergebnis-Datensätze für PFAS aus verschiedenen deutschen Laboratorien gesammelt und ausgewertet werden. Die Daten für die folgenden Betrachtungen wurden von den Laboratorien der Autorinnen und Autoren zusammengetragen:

- IWW: 686 Proben
- LGL Bayern: 89 Proben
- Umweltbundesamt: 583 Proben
- TZW: 208 Proben
- **Gesamt: 1.566 Proben**

Es handelt sich um Trink- und teilweise um Rohwasserproben, die aus mehreren Bundesländern stammen. Diese decken ein breites Spektrum an größeren und kleineren Wasserwerken ab und wurden teilweise auch aus der Trinkwasserinstallation entnommen. Die Daten sind in den Jahren 2015 bis 2022 erhoben worden, wobei etwa 50 Prozent der Daten aus dem Zeitraum zwischen 2020 und 2022 stammen. Es ist zu beachten, dass anfangs nicht die kompletten 20 PFAS gemessen werden konnten, zum Teil wegen noch fehlender Standard-Referenzmaterialien. Diese fehlenden Werte gehen deshalb mit „Null“ in die Berechnung der Summenkonzentration ein. Bei den vier EFSA-PFAS (PFAS<sub>Σ4</sub>) ist zu erwähnen, dass anfangs die Bestimmungsgrenzen wegen der im Aufbau befindlichen Analytik für diese Stoffe noch nicht im unteren einstelligen Nanogramm-pro-Liter-Bereich lagen. Dies konnte durch eine Optimierung der Analytik erst in den

letzten beiden Jahren zunehmend erreicht werden.

Durch beide Randeffekte kommt es eher zu einer leichten Unterschätzung der mittleren Gehalte. Mithilfe der von der Trinkwasserkommission des UBA angeregten, möglichst flächendeckenden Untersuchungen sollen relevante Eintragsquellen von PFAS in die Trinkwasserressourcen (wie beispielsweise Flughäfen, Militäreinrichtungen, Klärschlammausbringung und Industrieanlagen) frühzeitig identifiziert werden [3, 4].

Zu den Analysendaten wurden in der Datensammlung – soweit verfügbar –

den Proben auch Metadaten zugeordnet, um die Bewertung zu verbessern. Dabei handelte es sich um Informationen zur Matrix der Proben, zur Herkunft des Wassers (z. B. Grundwasser, von Oberflächenwasser beeinflusstes Wasser, Uferfiltrat, Wasser aus Talsperren, Wasser nach Aufbereitung etc.) und schließlich zu bekannten oder vermuteten Kontaminationsquellen im Einzugsgebiet.

Zur Vermeidung einer statistischen Verzerrung wurden die Daten von Mehrfachbestimmungen bereinigt, insbesondere bei Standorten, die aufgrund von bekannten Belastungen und Kontaminationen („Hotspots“) regelmäßig ▶

## UV-Anlage von ProMinent killt Keime und Kosten



Die einzigartige UV-Anlage DULCODES LP steht für die zukunftsweisende Wasseraufbereitung – effizient, sicher und chemiefrei. Als erste UV-Anlage nach neuer Prüfnorm DIN19294 zertifiziert.

Mehr unter: [www.prominent.com/uv](http://www.prominent.com/uv)



Zertifiziert nach neuer Norm



Mehr Leistung mit weniger Lampen



Präzise Regelbarkeit



**ProMinent**<sup>®</sup>

Besuchen Sie uns auf der DrinkTec in München, 12.-16.09.2022, Halle B3 /312

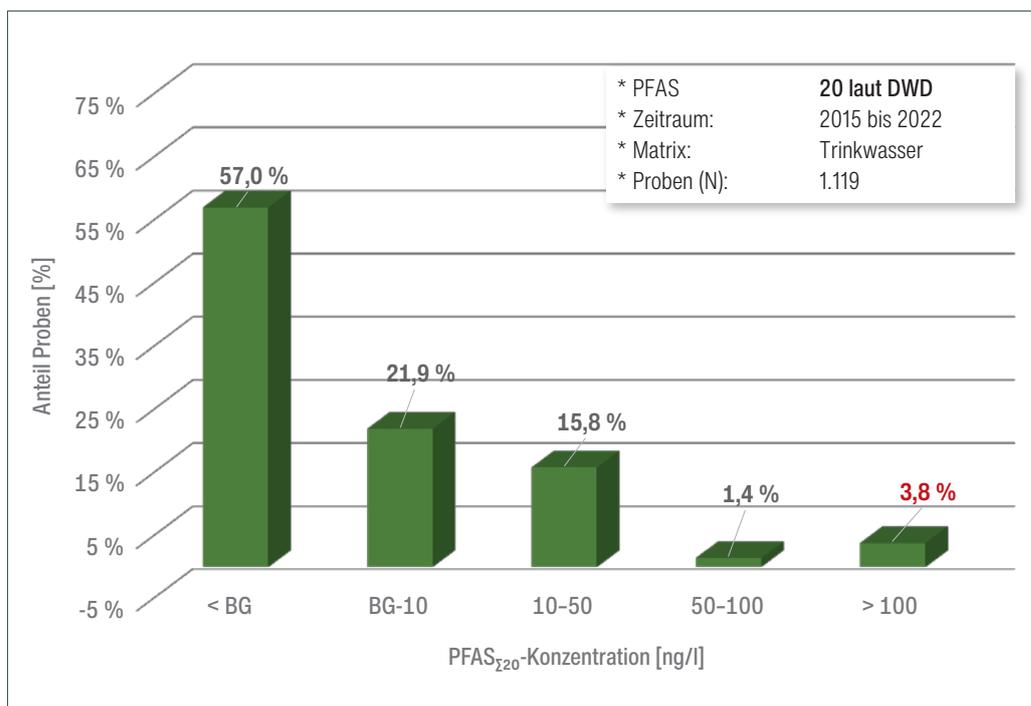


Abb. 1: Summe der Konzentrationen für 20 PFAS (PFAS<sub>Σ20</sub>) gemäß EU-Trinkwasserrichtlinie [1] in deutschen Trinkwässern

Quelle: die Autoren

oder gehäuft beprobt wurden. Für diese wurden nur die jeweils aktuellsten Werte für eine weitere Auswertung verwendet. Dieser bereinigte Datensatz umfasst die Messwerte von insgesamt 1.119 Proben. Ohne eine solche Selektion würden die gemittelten Ergebnisse zu schlechteren Werten verzerrt und mit zunehmender Zeit durch weitere Häufung der Daten im Umfeld der Problemstandorte scheinbar immer höher.

### Ergebnisse

In **Abbildung 1** wird die Summe der 20 PFAS nach Konzentrationsklassen dargestellt. Dabei wird deutlich, dass mit rund 57 Prozent der Proben der überwiegende Teil der in die Auswertung geflossenen Daten unter der Bestimmungsgrenze liegt. Das bedeutet, dass für alle 20 PFAS (siehe Tab. 1) kein Nachweis erfolgte, sodass die Summe der Konzentrationen aus formalen Gründen gleich Null gesetzt wird. Entsprechend der Vorgabe der bisherigen TrinkwV [2] werden im Fall von Summenbildungen bei Parametern, die aus Konzentrationen von Einzelstoffen (z. B. PAK, HKW, PSM) berechnet werden, die Gehalte als Null gewertet, wenn die Bestimmungsgrenze unterschritten wird (Konvention).

Bei 3,8 Prozent der Proben wurden Gehalte über dem zukünftigen Summengrenzwert von 0,10 µg/l gefunden. Im Vergleich zu vorangegangenen Auswertungen kleinerer Stichproben [9, 10], in denen ca. 13,5 Prozent der Proben über 0,10 µg/l lagen, zeigt sich damit ein deutlich positiveres Bild. Dies dürfte im Wesentlichen

auf den umfangreicheren und bereinigten Datensatz zurückzuführen sein, in welchen – wie oben erläutert – nur die aktuellen Werte eines Standortes eingeflossen sind, auch wenn dieser Standort z. B. wegen eines bereits bekannten PFAS-Vorkommens mehrfach beprobt wurde. In der Summe haben nur 5,0 Prozent der Proben PFAS<sub>Σ20</sub>-Gehalte über der Hälfte des geplanten Grenzwerts.

Die Metadaten zu diesen Proben zeigen, dass typischerweise Kontaminationsquellen wie Rückstände von Löschschäumen im Bereich von Flughäfen oder andere industrielle Kontaminationen für die Verunreinigungen verantwortlich sind. Dabei sind Trinkwässer, die aus Grundwässern gewonnen werden, ebenso betroffen wie solche aus von Oberflächenwasser beeinflussten Ressourcen.

In **Abbildung 2** ist eine auf die PFAS<sub>Σ4</sub> fokussierte Auswertung der Analysendaten dargestellt. Es sind zwar die gleichen 1.119 Proben erfasst, nur wird hier die Summe (eine Untergruppe der PFAS<sub>Σ20</sub>) aus den vier Stoffen PFOA, PFNA, PFHxS, PFOS gezeigt. Bei anteilig gleicher relativer Berücksichtigung wie für die PFAS<sub>Σ20</sub> ergibt sich ein oberer Wert für die Summe dieser Stoffe von 20 ng/l. Die Abbildung verdeutlicht, dass bei rund 5,4 Prozent der Proben die Gehalte über einem eventuellen Trinkwasserleit- oder Grenzwert von 20 ng/l liegen. Das zeigt, dass in diesem Fall die Betroffenheit der Wasserversorgung ebenfalls moderat wäre. Bei

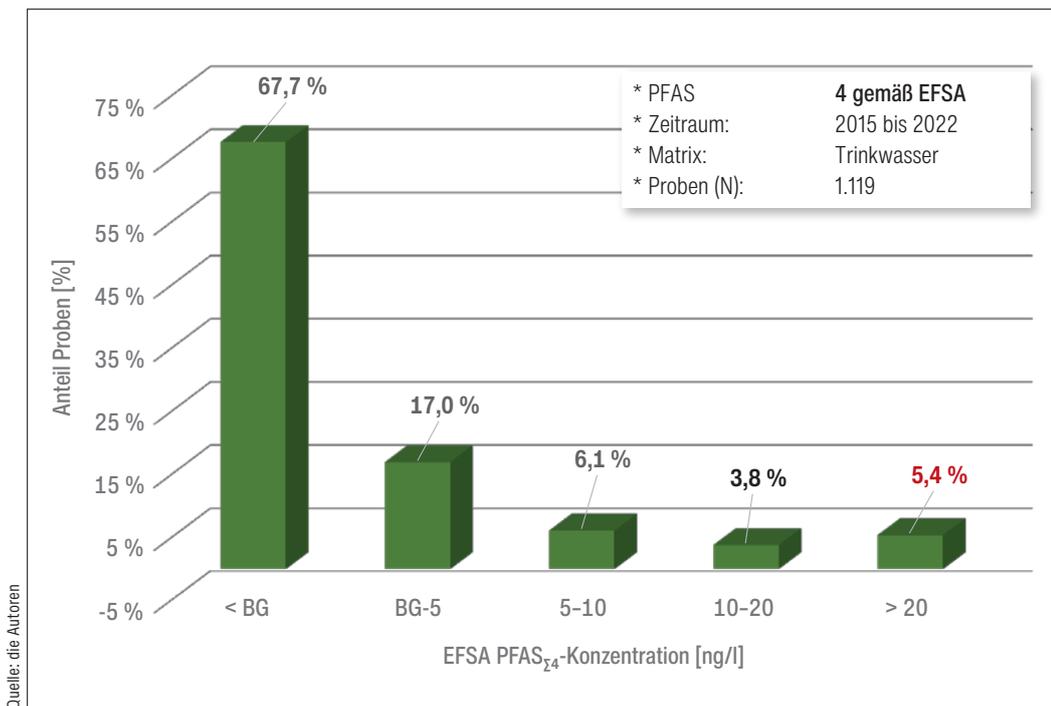


Abb. 2: Summe der Konzentrationen für vier PFAS (PFAS<sub>Σ4</sub>) gemäß EFSA-Vorschlag [6, 7] in deutschen Trinkwässern

dieser Betrachtung hatten frühere Auswertungen [9, 10] mit ca. 7 Prozent Überschreitungen des Werts von 20 ng/l ein ähnliches Bild gezeigt.

Werden diejenigen Proben betrachtet, bei denen die Summe der Gehalte der vier EFSA-PFAS (PFAS<sub>Σ4</sub>) über dem Wert von 2 ng/l liegt (Daten hier nicht gezeigt), so wären mit rund 29 Prozent nahezu ein Drittel aller Proben betroffen. Dies würde eine erhebliche Betroffenheit der Wasserversorgung und folglich erhebliche Konsequenzen für Aufbereitungsmaßnahmen oder die Verwendung bedeuten.

### Häufigkeits- und Konzentrationsverteilung der PFAS nach Kettenlänge

In **Abbildung 3** wird schließlich eine Häufigkeitsverteilung der PFAS nach der Kettenlänge der Verbindungen gezeigt und in **Abbildung 4** die korrespondierende Konzentrationsverteilung der PFAS nach Kettenlänge.

Die **Abbildung 3** zeigt, dass in jeweils ca. 15 bis 20 Prozent der Proben Perfluorbutan- (C4, PFBA) und Perfluoroctansäure (C8, PFOA) gefunden werden. PFOA gehört auch zu den vier EFSA-PFAS. Danach haben auch noch die C5- bis C7-Carbonsäuren mit jeweils über 10 Prozent Befunden in den selektierten Proben einen nennenswerten Anteil.

Bei der Konzentrationsbetrachtung dominiert dagegen die Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)

mit einem mittleren Gehalt in allen Proben von ca. 18 ng/l. Eine separate Auswertung (hier nicht dargestellt) der Konzentrationsverteilung der Stoffe im Umfeld von Flughäfen (Feuerlöschschäume) zeigt, dass dort die Perfluorhexancarbonsäure (PFHxA) und die Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) mit mittleren Gehalten von je ca. 80 ng/l dominieren. Dies konnte an rund 300 Proben gezeigt werden (unkorrigierte Daten). Da die Perfluorhexansulfonsäure zu den vier EFSA-PFAS (PFAS<sub>Σ4</sub>) gehört, wäre allein wegen dieser Verbindung eine Aufbereitung und ggf. weitere Maßnahmen erforderlich.

Aus den **Abbildungen 3** und **4** wird auch ersichtlich, dass PFAS mit Kettenlängen von zehn und mehr C-Atomen in Trinkwasserproben praktisch nicht gefunden werden, was an ihrer Adsorption am Aquifer-Material liegen könnte.

### Aufbereitungsmöglichkeiten für PFAS

PFAS sind grundsätzlich persistente Verbindungen, die mikrobiell praktisch nicht abgebaut werden. Naturnahe Aufbereitungsverfahren, die auf einem Abbau der Kontaminationen beispielsweise bei einer Untergrundpassage (Uferfiltration) oder in einem Langsandsandfilter basieren, sind daher nicht wirksam. Messungen in Wasserwerken belegen, dass beispielsweise durch eine Uferfiltration kein signifikanter Rückhalt für PFAS mit Kettenlängen zwischen C4 und C8 erfolgt, sodass in Uferfiltraten, die zur Trinkwassergewinnung genutzt werden,

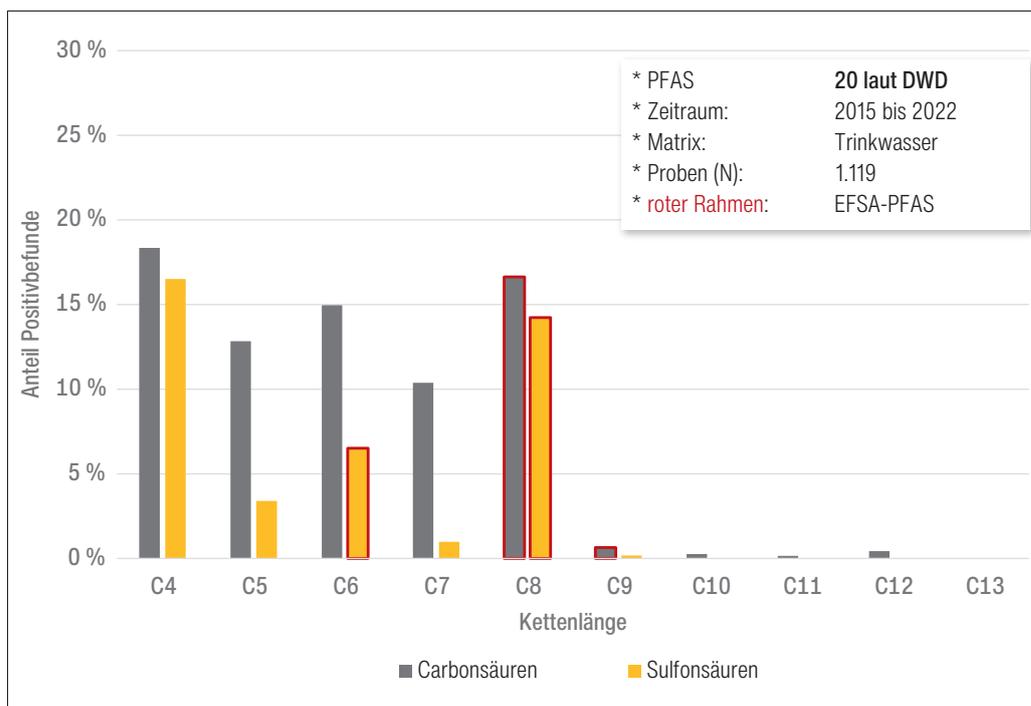


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der PFAS nach Kettenlänge in deutschen Trinkwässern

Quelle: die Autoren

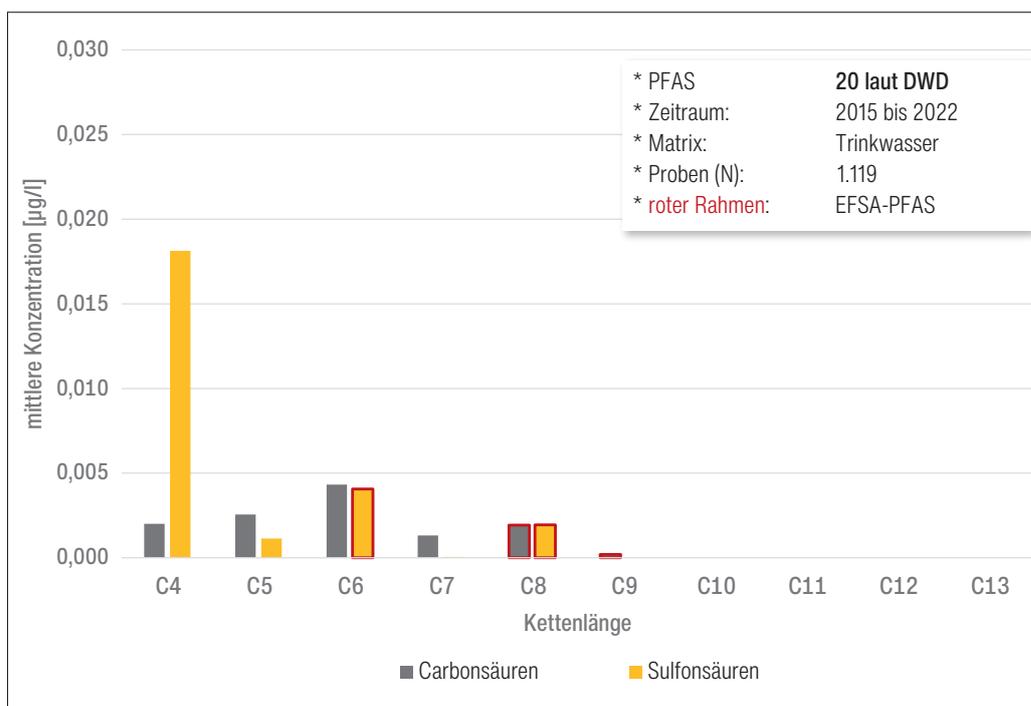


Abb. 4: Verteilung der mittleren Konzentration der PFAS nach Kettenlänge in deutschen Trinkwässern

Quelle: die Autoren

vergleichbare mittlere Konzentrationen wie im Fließgewässer gefunden werden [11]. Für langkettige PFAS kann sich allerdings eine gewisse Reduktion bei der Untergrundpassage oder Langsandsfiltration ergeben, da durch den Filtrationsprozess Partikel zurückgehalten werden, an die diese Verbindungen teilweise sorbieren. Noch ungeklärt ist die Frage, ob PFAS dauerhaft an Bodenpartikeln adsorbieren oder nur für eine Zeitspanne zurückgehalten werden und lediglich verzögert eluieren (Chromatografie-Effekt).

Die Entfernung von PFAS bei der Trinkwasseraufbereitung ist aufgrund ihrer Stoffeigenschaften nicht einfach. Als Verfahren der Wahl, insbesondere bei Belastungen des Rohwassers mit langkettigen PFAS, kann für die Einhaltung des Parameterwerts der EU-Trinkwasserrichtlinie für die Summe der Konzentrationen von 20 PFAS (PFAS<sub>Σ20</sub>) von 0,1 µg/l die Aktivkohlefiltration eingesetzt werden. Basierend auf Praxiserfahrungen mit bereits in Betrieb befindlichen Anlagen, können spezifische Aufbereitungskosten für dieses Verfahren von unter 0,1 Euro/m<sup>3</sup> ab-

geleitet werden. Liegen überwiegend kurzkettige PFAS im Rohwasser vor (Kettenlängen C6 und kürzer), verkürzen sich die Filterlaufzeiten allerdings sehr stark und die Aufbereitungskosten steigen entsprechend [11].

Ionenaustauscher als mögliche Alternative sind bislang nur im Rahmen von Forschungsvorhaben getestet worden. Hier stellt insbesondere die Regeneration der beladenen Harze, die nach derzeitigem Kenntnisstand den Einsatz von Ethanol erfordert, eine große Einschränkung dar. Die Filtration über dichte Membranen, d. h. die Nanofiltration oder die Umkehrosmose, ist ebenfalls eine Möglichkeit, um PFAS zu entfernen. Insbesondere in den Fällen, in denen neben der PFAS-Entfernung weitere Aufbereitungsziele verfolgt werden (beispielsweise eine Enthärtung des Wassers), kann diese Variante eine Alternative darstellen. Allerdings sprechen der hohe Energie- und Wasserbedarf gegen den Einsatz dichter Membranen zur PFAS-Entfernung. Abhängig von der Rohwasserbelastung könnte auch eine Vollstrombehandlung notwendig werden, was eine zusätzliche Aufhärtung des membranbehandelten Wassers erfordern würde.

Bei allen beschriebenen Aufbereitungsverfahren ist zu berücksichtigen, dass durch die PFAS-Entfernung Rückstände entstehen, die wiederum mit PFAS belastet sind und die entsorgt und ggf. weitergehend behandelt werden müssen. Der Vermeidung von PFAS-Einträgen ist daher in jedem Fall der Vorzug vor einer nachträglichen Entfernung der Stoffe bei der Trinkwasseraufbereitung zu geben. ■

#### Literatur

- [1] Richtlinie (EU) 2020/2184 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Neufassung). Amtsblatt der Europäischen Union L 435, S. 1-62.
- [2] TrinkwV 2019: 4. Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung vom 20. Dezember 2019. Bundesgesetzblatt, Teil I 2019 (52), S. 2.934.
- [3] Umweltbundesamt: Empfehlung des Umweltbundesamtes – Umgang mit per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) im Trinkwasser (2020), online unter [www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5620/dokumente/twk\\_200826\\_empfehlung\\_pfas\\_final.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5620/dokumente/twk_200826_empfehlung_pfas_final.pdf), abgerufen am 28. Juli 2022.
- [4] Umweltbundesamt: Ergänzung der Empfehlung „Umgang mit per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) im Trinkwasser“ vom 26. August 2020. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission, Umweltbundesamt. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, Band 64, Seiten 1.328-1.329 (2021)
- [5] EFSA (2020): Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. Efsa Journal Eur Food Saf Auth 18(9):e6223. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>
- [6] Umweltbundesamt: Stellungnahme zu einem vorübergehenden Maßnahmenwert für PFOA und PFOS, online unter [www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/stellungnahme\\_pfoa\\_pfos\\_0.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/stellungnahme_pfoa_pfos_0.pdf), abgerufen am 28. Juli 2022.
- [7] 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).
- [8] ISO 21675:2019-10: Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in Wasser – Verfahren mittels Flüssigkeitschromatographie/Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS) nach Festphasenextraktion.
- [9] Borchers, U., Wiegand, L. : Die analytischen Herausforderungen der neuen EU-Trinkwasserrichtlinie: was kommt auf die Deutsche Wasserversorgung zu?, in: GWF-Wasser | Abwasser, Ausgabe 3/2021, S. 30-33.
- [10] Borchers, U., Sacher, F.: PFAS im Trinkwasser – Überwachung und Herausforderungen für die Trinkwasserversorgung. 55. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft „Wasserwirtschaft im Klimawandel“ vom 9. bis 11. März 2022 in Aachen. T. Wintgens und J. Pinnekamp. Aachen. Gewässerschutz – Wasser – Abwasser: 33/31-33/37.
- [11] Riegel, M., Sacher, F.: Betroffenheit der Trinkwasserversorgung durch die Einführung eines Trinkwassergrenzwerts für PFAS, in: DVGW energie | wasser-praxis, Ausgabe 11/2021, S. 65-69.

#### Die Autoren

**Dr. Ulrich Borchers** ist Leiter des Geschäftsbereiches Wasserqualität beim IWW Zentrum Wasser.

**Dr. Camilla Beulker** ist Leiterin der Abteilung II 3 Trinkwasser- und Badebeckenwasserhygiene beim Umweltbundesamt.

**Dr. Alexander Kämpfe** ist Fachgebietsleiter für chemische Analytik in der Abteilung Trinkwasser und Badebeckenwasser beim Umweltbundesamt.

**Dr. Holger Knapp** ist Sachgebietsleiter organische Kontaminanten in Lebensmitteln und Trinkwasser beim Bayerischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit.

**Dr. Frank Sacher** ist Leiter der Abteilung Wasserchemie beim TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser.

**Dr. Roland Suchenwirth** ist Abteilungsleiter Umweltmedizin beim Niedersächsischen Landesgesundheitsamt.

#### Kontakt:

Dr. Ulrich Borchers  
IWW Zentrum Wasser  
Moritzstr. 26  
45476 Mülheim an der Ruhr  
Tel.: 0208 40303-210  
E-Mail: [u.borchers@iww-online.de](mailto:u.borchers@iww-online.de)  
Internet: [www.iww-online.de](http://www.iww-online.de)