

Empfehlung des Umweltbundesamtes

PFAS im Trinkwasser – Sachstand und Aspekte zur Bewertung

Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission



Jahre
Umweltbundesamt
1974–2024

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 (PFOA) 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.

1 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/l¹ für die Summe der Konzentrationen von 20 bestimmten PFAS vorgegeben wurde [4].

Annähernd zeitgleich zur TW-RL hatte die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) auf Basis aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse für einen Teil der PFAS-Stoffgruppe einen Beurteilungswert 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), Perfluornonansäure (PFNA), Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) [5], die nach den bis dahin vorliegenden Daten zusammen ca. 90 % der .

¹ 0,10 µg/l der TW-RL entspricht 0,000 10 mg/l laut TrinkwV oder 100 ng/l in wissenschaftlichen Darstellungen

Gesamt-Körperlast des Menschen ausmachen². Die EFSA sieht neben Lebensmitteln wie Fisch, Obst, Eiern und Eiprodukten 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, technisch-wirtschaftliche 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 so abgeleitet, dass bei einer täglichen und lebenslangen Aufnahme keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu besorgen 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, Untersuchungsstellen und Behörden im Hinblick auf die Sicherstellung der Einhaltung der Grenzwerte zu den jeweiligen Stichtagen verbunden sein. Dies verdeutlicht zudem die Notwendigkeit, bereits den Eintrag dieser persistenten Verbindungen in die Umwelt und somit in die Trinkwassereinzugsgebiete und das Rohwasser zu reduzieren.

Das Umweltbundesamt (UBA) hat in seinen Empfehlungen von 2020 und 2021 bereits notwendige Schritte im Hinblick auf die bevorstehende 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 der technischen Möglichkeiten der Wasseraufbereitung werden durch das Umweltbundesamt zusammengeführt.

Die o. g. Grenzwerte gelten nicht unmittelbar mit Inkrafttreten der TrinkwV, sondern werden mit Übergangsfristen eingeführt: Der Grenzwert für Summe PFAS-20 ist ab dem 12. Januar 2026 einzuhalten, der Grenzwert für Summe PFAS-4 ab dem 12. Januar 2028.

2 Hinweise zum Umgang mit PFAS-Befunden bis zum Inkrafttreten der Grenzwerte

Die formalen Pflichten zur Untersuchung sowie zur Einhaltung der Grenzwerte für Summe PFAS-20 und Summe PFAS-4 gelten somit ab Anfang 2026, respektive Anfang 2028. 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 [3].

Viele Betreiber einer Wasserversorgungsanlage untersuchen bereits zum vorsorgenden Gesundheitsschutz, aus Gründen der Planungssicherheit oder den Untersuchungsaufrufen des UBA von 2020 [6] und 2021 [7] folgend das Roh- oder Trinkwasser auf PFAS.

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

Im Übergangszeitraum sollte sich die Bewertung von Befunden zu den beiden PFAS-Summenparametern bereits grundsätzlich an den zukünftig in Kraft tretenden Grenzwerten orientieren.

Das UBA steht darüber hinaus auf Anfrage im konkreten Einzelfall beratend zur Verfügung.

Das UBA hat bereits 2017 für 13 PFAS entsprechend der damaligen Datenlage Trinkwasserleitwerte (LWTW) oder gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) abgeleitet. Die Fortschreibung und Vervollständigung dieser Bewertung, auch im Hinblick auf den Parameter Summe PFAS-20, ist derzeit beim UBA mit Beratung durch die Trinkwasserkommission (TWK) in Bearbeitung (s. nächster Abschnitt).

2.1 Bewertung von PFAS-Einzelverbindungen

Für die toxikologische Bewertung von Stoffen werden in Deutschland vom UBA zwei sich ergänzende Bewertungskonzepte in Abhängigkeit von der toxikologischen Datenlage angewendet. Bei unvollständigen toxikologischen Daten oder fehlenden wissenschaftlichen Erkenntnissen wird ein vorsorgebasierter GOW festgelegt, wohingegen bei Verfügbarkeit einer umfassenden Datenlage die Ableitung eines gefährdungsbasierten gesundheitlichen LW_{TW} möglich ist [9], [10], [11], [12].

Die vorläufige UBA-Bewertung von 13 PFAS aus dem Jahr 2017 [13] ist aufgrund der inzwischen verfügbaren toxikologischen Daten nicht mehr auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft; zudem wird die Stoffgruppe der *Summe PFAS-20* nach TrinkwV nicht vollständig abgedeckt. Das UBA hat daher eine Literaturrecherche in Auftrag gegeben und die Auswertung dieser zusammengestellten toxikologischen Daten im Jahr 2023 veröffentlicht [14]. In dieser Veröffentlichung wurde eine Recherche zur aktuellen toxikologischen bzw. epidemiologischen Datenlage der in der TrinkwV regulierten PFAS dargestellt (mit Ausnahme der vier durch die EFSA im Jahr 2020 bereits bewerteten PFAS). Ziel war eine Aufbereitung dieser Daten als Grundlage für die toxikologische Bewertung der Substanzen mit Bezug auf ihr Vorkommen im Trinkwasser. Die erhobenen Daten sollen somit die Basis für toxikologisch berechnete Konzentrationen bilden, deren Kenntnis neben den anderen o. g. Aspekten z. B. für die Festlegung von Höchstwerten nach § 7 Absatz 3 TrinkwV durch die Überwachungsbehörden genutzt werden kann. Die toxikologisch berechneten Konzentrationen sind nicht Bestandteil der oben genannten Studie [14], sondern werden aktuell vom UBA mit Beratung durch die TWK abgeleitet. Mit der in nächster Zeit zu rechnender Veröffentlichung dieser neuen Werte werden die bisherigen Bewertungen und Empfehlungen aktualisiert.

3 Analytische Methoden zur PFAS-Bestimmung

Das Europäische Normungsgremium CEN TC 230 hat unter deutscher Leitung ein Normungsprojekt durchgeführt, um entsprechend Artikel 13 Absatz 7 TW-RL eine neue Norm für die Einzelstoffanalytik zur Summe PFAS-20 zu erarbeiten. Der aktuelle, finale Entwurf dieser europäischen Norm prEN 17892 sieht eine flüssigchromatografische Methode mit Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS) vor, wobei sowohl die Direkt-Injektion als auch ein Festphasenextraktions-Anreicherungsverfahren (SPE) als Optionen vorgesehen sind. Das neue Verfahren wird im Sommer 2024 als europäische und deutsche Norm (DIN EN 17892) zur Verfügung stehen [15]. Im Rahmen einer Umfrage bei europäischen Laboratorien konnte gezeigt werden, dass die analytischen Bestimmungsgrenzen im Optimalfall bei 0,2 ng/l je Stoff liegen können und sie robust im Mittel aber unter 1,5 ng/l liegen. Auch die Messunsicherheit, die laut Anlage 7, Teil I TrinkwV besser als 50 % auf dem Niveau von 5 ng/l je Stoff sein muss [3], wird mit dem neuen Verfahren EN 17892 von Untersuchungsstellen im Durchschnitt erreicht. Die Norm EN 17892 ist damit geeignet, alle in der TrinkwV geregelten PFAS im Rahmen der

Trinkwasserüberwachung zuverlässig und richtig zu bestimmen. Es können damit die Anforderungen der Anlage 7 Teil I TrinkwV erfüllt werden.

In Deutschland beherrschen bereits einige Untersuchungsstellen die Analytik, andere müssen jedoch noch Erfahrungen sammeln und an der eigenen Etablierung des Verfahrens arbeiten. Bei Auftragsvergaben sollte die Leistungsfähigkeit der Untersuchungsstelle (z. B. Bestimmungsgrenze, Messunsicherheit) abgefragt und von dieser konkret belegt werden. Für die Summe PFAS-20 gibt es in Deutschland seit 2024 ein regelmäßiges Angebot an Ringversuchen im Rahmen der harmonisierten Trinkwasserringversuche [16].

Es sind also routinemäßige Messungen von PFAS in ausreichender Sensitivität möglich; die Zahl an geeigneten Untersuchungsstellen wird sich in nächster Zeit voraussichtlich weiter erhöhen, und die Kosten werden für die PFAS-Analytik in einem für organische Spurenstoffe üblichen Rahmen liegen.

4 Nachweis in deutschen Trinkwässern

Borchers et al. [17] sowie Ingold et al. [18] haben im Rahmen einer Datensammlung und Auswertung einen ersten Überblick über die Befundlage an PFAS in Trinkwässern und damit über die Betroffenheit der deutschen Wasserversorgung skizzieren können. In der Studie von Borchers et al. konnten mit einer guten geografischen Verteilung der Proben, einer konkreten Zuordnung zu real von Wasserversorgern abgegebenen Trinkwässern und einer statistischen Bereinigung bei Datenhäufungen an Hotspots bislang 1.300 Datensätze (Stand März 2024) in die Analyse einbezogen und bewertet werden. Die bisher zusammengetragenen Daten sind nicht im statistischen Sinn repräsentativ für die Situation in Deutschland, entsprechen aber dem derzeit besten verfügbaren Wissensstand. Erst nach Einführung der Untersuchungs- und Berichtspflicht 2026 bzw. 2028 ist frühestens mit einer repräsentativen Gesamtübersicht zu rechnen.

In der nachstehenden Abbildung 1 werden die Analysenergebnisse für Summe PFAS-20 gemäß TrinkwV nach Konzentrationsklassen dargestellt.

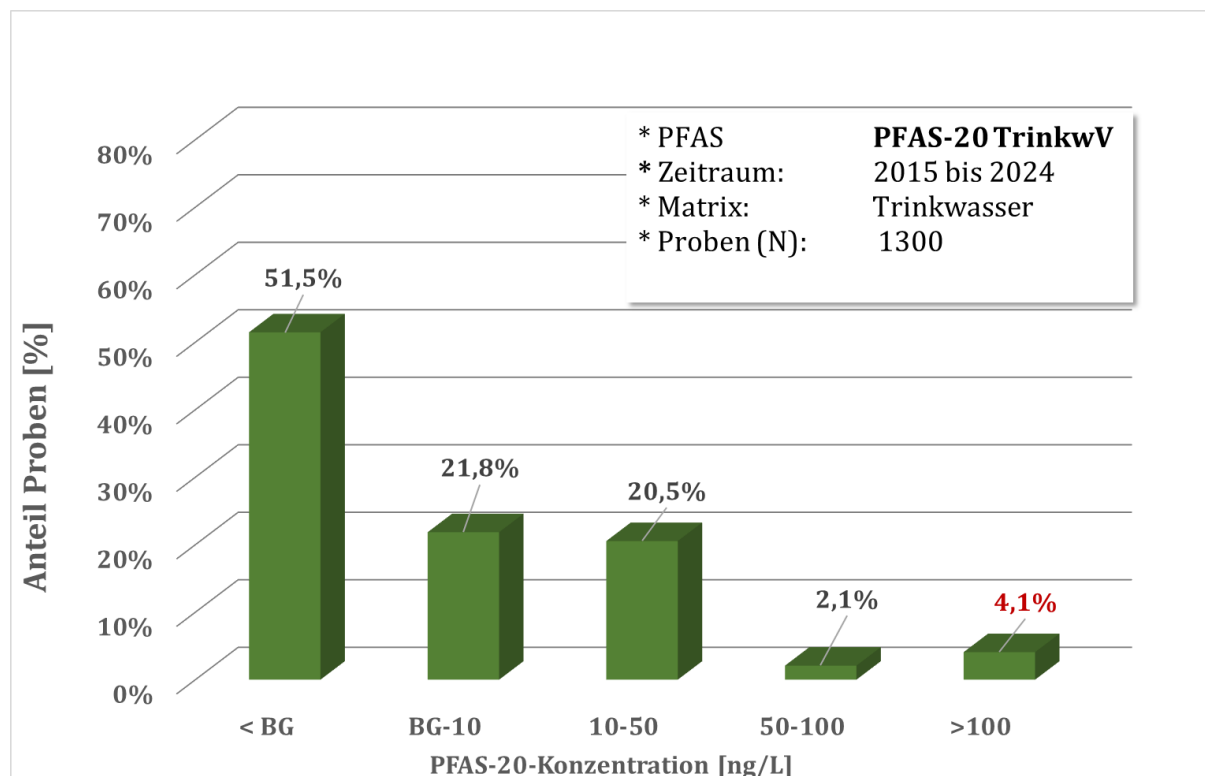


Abbildung 1: Summe PFAS-20 gemäß TrinkwV in deutschen Trinkwässern [17]

Es wird deutlich, dass bei 51,5 % der Proben, d. h. beim überwiegenden Teil der in die Auswertung geflossenen Daten, die PFAS-Gehalte unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze liegen (< BG). Das bedeutet, dass für diese kein Nachweis oberhalb des zukünftigen Grenzwertes für Summe PFAS-20 der TrinkwV erfolgte.

Bei 4,1 % der Proben wurden Gehalte über dem Grenzwert Summe PFAS-20 von 0,000 10 mg/l der TrinkwV gefunden.

Eine parallele, auf die Summe PFAS-4 fokussierte Auswertung derselben Analysedaten zeigte, dass bei 6,4 % der Proben die Gehalte über dem Grenzwert Summe PFAS-4 der TrinkwV von 0,000 020 mg/l lagen (Datenbasis März 2024, 1.300 Proben).

5 Aufbereitungsverfahren

Die Entfernung von PFAS bei der Trinkwasseraufbereitung ist aufgrund ihrer Stoffeigenschaften (hohe Persistenz gegenüber mikrobiellen und chemischen Abbauvorgängen, ionischer Charakter) herausfordernd [19]. Gängige Verfahren wie Untergrundpassage, Flockung oder Ozonung sind weitgehend wirkungslos. Als Verfahren der Wahl, insbesondere bei Belastungen des Rohwassers mit langkettigen PFAS, kann die Aktivkohlefiltration eingesetzt werden. Basierend auf Praxiserfahrungen mit bereits in Betrieb befindlichen Anlagen können spezifische Aufbereitungskosten für dieses Verfahren von derzeit unter 0,1 €/m³ abgeleitet werden. Abhängig von Höhe und Art der PFAS-Belastung und der Zusammensetzung des Rohwassers empfehlen sich Vorversuche u. a. zur Auswahl der optimalen Aktivkohle. Liegen überwiegend kurzkettige PFAS im Rohwasser vor (Kettenlängen C₆ und kürzer), verkürzen sich die Filterlaufzeiten allerdings sehr stark, und die Aufbereitungskosten und der Betriebsaufwand steigen entsprechend. Ionenaustauscher als mögliche Alternative sind in Deutschland bislang nur im Rahmen von Forschungsvorhaben getestet worden. Derzeit wird noch kein Ionenaustauscher-Material auf der Liste des UBA nach § 20 TrinkwV geführt. 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 Methode eine Alternative darstellen. Bei allen beschriebenen Aufbereitungsverfahren ist zu berücksichtigen, dass durch die Entfernung der PFAS Rückstände entstehen, die wiederum mit PFAS belastet sind und entsorgt oder ggf. weitergehend behandelt werden müssen.

Die Neuerrichtung oder Erweiterung von Aufbereitungsanlagen benötigt Zeit. Planung, Genehmigung und Bau dauern i. d. R. mehrere Jahre.

6 PFAS im Kontext der neuen Trinkwassereinzugsgebieteverordnung

Die TW-RL führt in der Fassung von 2020 einen „risikobasierten Ansatz“ ein. Er umfasst die gesamte Versorgungskette von der Wassergewinnung in den Einzugsgebieten, von Entnahmestellen für die Trinkwassergewinnung über die Aufbereitung und Speicherung bis zur Verteilung des Wassers [4] und adressiert somit auch Gefährdungen der Wasserbeschaffenheit, die bspw. aus PFAS resultieren können.

Für die Einzugsgebiete von Trinkwasserressourcen wurde die Trinkwassereinzugsgebieteverordnung (TrinkwEGV) im Zuständigkeitsbereich des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) erlassen [20]. Sie regelt das Risikomanagement für die Einzugsgebiete von Entnahmestellen für die Trinkwassergewinnung und verfolgt das Ziel, Grund-, Oberflächen- und

Rohwasser in den Trinkwassereinzugsgebieten zu schützen und damit auch den Umfang der erforderlichen Aufbereitung von Trinkwasser gering zu halten. Hierfür sollen mögliche Risiken für die Wasserbeschaffenheit, wie u. a. PFAS-Belastungen in den Trinkwassereinzugsgebieten, identifiziert werden, so dass entsprechende Maßnahmen zum Risikomanagement (Präventiv- bzw. Minderungsmaßnahmen) von den zuständigen Behörden (§ 15 TrinkwEGV) initiiert werden können. Diesen Maßnahmen zur Reduzierung der Einträge kommt eine große Bedeutung zum Schutz des Trinkwassers zu.

Die TrinkwEGV sieht vor, dass jeder Betreiber einer Wassergewinnungsanlage, aus der mindestens 10 m³/Tag entnommen oder mehr als 50 Personen versorgt werden, das zugehörige Einzugsgebiet routinemäßig auf potenzielle Gefährdungen, wie bspw. durch PFAS, systematisch analysiert und damit verbundene Risiken abschätzt. Dazu sind Messergebnisse und jegliche sonstige Informationen heranzuziehen, ggf. unter Nutzung des Informationsstandes bei Behörden. Aufgrund ihrer Verankerung in der TrinkwV werden PFAS regelmäßig Gegenstand der Betrachtung sein. Die durchzuführende Gefährdungsanalyse (gemäß DIN EN 15975-2 [21]) in den Trinkwassereinzugsgebieten wird PFAS-Risiken infolge flächenhafter Belastung, zum Beispiel durch Klärschlämme, verunreinigte Komposte oder Bodenhilfsstoffe, ebenso berücksichtigen müssen wie punktuelle Belastungen im Umfeld von Flughäfen, vorangegangenen Großbränden (Einsatz von Löschschäumen) oder speziellen industriellen Anlagen bzw. Altlasten. Solche Belastungen können für Trinkwasserressourcen relevant sein.

Auf der Grundlage einer gesamtheitlichen Bewertung obliegt es der zuständigen Behörde, Risikomanagementmaßnahmen festzulegen und deren Umsetzung zu überwachen. In seiner Struktur mit einem 6-jährigen Intervall ist dieser Prozess zyklisch angelegt, so dass sich eine stetige weitere Verbesserung des Zustandes der Trinkwasserressourcen entwickeln soll. Darüber hinaus ist vorgesehen, dass der Betreiber die zuständige Behörde unverzüglich über erkannte relevante Veränderungen in der Rohwasserbeschaffenheit informiert, damit entsprechende Schutzmaßnahmen, erforderlichenfalls auch kurzfristig, veranlasst werden können.

Die TrinkwEGV verpflichtet den Betreiber, die Dokumentation seiner Risikobewertung erstmals bis zum 12. November 2025 vorzulegen. Daraufhin hat die zuständige Behörde bis zum 12. Mai 2027 erforderlichenfalls geeignete Risikomanagementmaßnahmen festzulegen

Referenzen

1. HBM-II-Werte für Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) in Blutplasma – Stellungnahme der Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 63 (3): 356-360 (2020)
2. Fragen und Antworten zu per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS), Bundesinstitut für Risikobewertung, Stand 21. September 2020, <https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/fragen-und-antworten-zu-per-und-polyfluorierten-alkylsubstanzen-pfas.pdf>
3. Trinkwasserverordnung (2023): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch <https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2023/159/regelungstext.pdf?blob=publicationFile&v=2>

4. EU-Richtlinie (2020): Richtlinie (EU) 2020/2184 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Neufassung)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184&from=DE>
5. Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, Gremium für Kontaminanten in der Lebensmittelkette (2020). Scientific Opinion on the risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. EFSA Journal 2020;18(9):6223, S. 391 ff.,
<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2020.6223>
6. Umweltbundesamt (2020): Empfehlung des UBA - Umgang mit PFAS im Trinkwasser, 2020
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5620/dokumente/twk_200826_empfehlung_pfas_final_0.pdf
7. Umweltbundesamt (2021): Ergänzung der Empfehlung des UBA – „Umgang mit PFAS im Trinkwasser vom 26. August 2020“
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5620/dokumente/twk_210706_empfehlung_pfas.pdf
8. Umweltbundesamt (2008): Trinkwasserhygienische Bewertung stoffrechtlich „nicht relevanter“ Metaboliten von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln im Trinkwasser; Bundesgesundheitsbl. 2008, 51, S. 797 ff.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/nicht_relevante_metaboliten.pdf
9. Umweltbundesamt (2011): Grenzwerte, Leitwerte, Orientierungswerte, Maßnahmenwerte - Aktuelle Definitionen und Höchstwerte, aktualisierte Fassung
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/grenzwerte_leitwerte.pdf
10. Umweltbundesamt (2020): Gesundheitlicher Orientierungswert – GOW
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/trinkwasser/trinkwasserqualitaet/toxikologie-des-trinkwassers/gesundheitlicher-orientierungswert-gow>
11. Umweltbundesamt (2020): Vorgehensweise nach dem GOW-Konzept und die Aufgaben der beteiligten Akteure, Fließschema zur Ableitung von GOW
<https://www.umweltbundesamt.de/bild/vorgehensweise-nach-dem-gow-konzept-die-aufgaben-0>
12. Umweltbundesamt (2023): Trinkwasserleitwerte
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/trinkwasser/trinkwasserqualitaet/toxikologie-des-trinkwassers/trinkwasserleitwerte>
13. Umweltbundesamt (2017): Fortschreibung der vorläufigen Bewertung von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) im Trinkwasser Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission, Bundesgesundheitsbl 2017, 60, S.350 ff.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/fortschreibung_der_uba-pfc-bewertungen_bundesgesundheitsbl_2017-60_s_350-352.pdf
14. Umweltbundesamt (2023): Literaturrecherche und Auswertung vorhandener toxikologischer Daten als Grundlage zur Ableitung von Trinkwasserleitwerten für PFAS
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/literaturrecherche-auswertung-vorhandener>

15. DIN EN 17892:2024: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der Summe der perfluorierten Substanzen (Summe der PFAS) im Trinkwasser - Methode mittels Flüssigkeitschromatographie/Massen-spektrometrie (LC/MS)
16. Trinkwasser-Ringversuche in Deutschland
<https://aqs.iswa.uni-stuttgart.de/pdf/TWFlyer.pdf>
17. Borchers, U. et al. (2022): PFAS im Trinkwasser: ein erster Überblick über Befunde und Herausforderungen für die Wasserversorgung“
https://energie-wasser-praxis.de//wp-content/uploads/2023/05/ewp_0922_64-71_Borchers.pdf
18. Ingold, V., Kämpfe, A., Ruhl, A.S. (2023): Screening for 26 per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in German drinking waters with support of residents. Eco-Environment & Health 2 (2023) Nr. 5, S. 235 ff.
19. Riegel, M., Sacher, F., 2021: PFAS-Trink - Bestandsaufnahme zur Betroffenheit der deutschen Trinkwasserversorgung durch die Einführung eines Trinkwassergrenzwerts für PFAS, Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben W 202011, Juli 2021
<https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-pfas-trink>
20. Trinkwassereinzugsgebieteverordnung (2023): Verordnung über Einzugsgebiete von Entnahmestellen für die Trinkwassergewinnung
https://www.recht.bund.de/eli/bund/bgbl_1/2023/346
21. DIN EN 15975-2:2013-12: Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 2: Risikomanagement;
<https://dx.doi.org/10.31030/1970867>