



**Bund/Länder-Arbeitsgemein-  
schaft Wasser**

**LABO**

**Bund/Länder-Arbeitsgemein-  
schaft Bodenschutz**

**Fachbericht der PFAS-Koordinierungsgruppe**

**Fragestellungen zur konsistenten Ableitung von Bewertungskrite-  
rien für die Medien Grund- und Oberflächenwasser sowie Boden vor  
dem Hintergrund neuer EFSA-Empfehlungen**

**Arbeitsauftrag aus der Umweltministerkonferenz (38/93)**

Beschlossen auf der 162. LAWA-Vollversammlung und der 60. LABO-Sitzung  
am 23. September 2021

**Unter Mitwirkung von:**

Biegel-Engler, Dr. Annegret Böhm, Dr. Peter	Umweltbundesamt Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
Diehl, Marius	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz
Drewes, Prof. Dr.-Ing. Jörg E. Grambow, Prof. Dr.-Ing. Martin	Technische Universität München Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucher- schutz, LAWA/LABO-Vorsitzender
Lieberroth-Leden, Hans-Jörg	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucher- schutz des Landes Nordrhein-Westfalen
Luther, Stefan	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicher- heit
Krakau, Christoph	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden- Württemberg
Müller, Dr. Kurt	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucher- schutz
Rapp, Christoph	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucher- schutz des Landes Nordrhein-Westfalen
Rathing, Friedrich	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz
Ribbeck, Friederike	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz
Rosport, Elke	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden- Württemberg
Schedel, Georg	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucher- schutz
Schulte, Dr. Christoph Utermann, Prof. Dr. Jens	Umweltbundesamt Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucher- schutz des Landes Nordrhein-Westfalen
Völkel, Prof. Dr. Wolfgang	Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicher- heit
Wick, Arne Zadow, Alexander	Bundesanstalt für Gewässerkunde Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucher- schutz

**Dank an:**

ALB	Arbeitsgruppe „Lebensmittel, Bedarfsgegenstände, Wein und Kosmetika“ in der Verbraucherschutzministerkonferenz
-----	---

**Herausgeber:**

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)  
Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO)  
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz  
Rosenkavalierplatz 2, 81925 München, © München, September 2021

**Impressum / Zitiervorschlag:**

Bund/Länderarbeitsgemeinschaften Wasser (LAWA) und Bodenschutz (LABO) (2021):  
Fragestellungen zur konsistenten Ableitung von Bewertungskriterien für die Medien Grund- und Ober-  
flächenwasser sowie Boden vor dem Hintergrund neuer EFSA-Empfehlungen. Fachbericht der PFAS-  
Koordinierungsgruppe.

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3	
Abkürzungsverzeichnis.....	4	
1	Veranlassung und Arbeitsauftrag.....	5
2	Einführung.....	5
3.	Grenz- und Richtwertdiskussion.....	8
3.1	Vorhandene Grenzwerte auf Seiten der Emissionen und Immissionen.....	8
3.2	Konsequenzen aus den Diskrepanzen zwischen legaler Emission und verschärften Werten in Folge der EFSA-Evaluierung.....	10
4	Toxikologische Relevanz der EFSA-Werte.....	11
4.1	Beschreibung der Ableitung eines TDI/TWI-Wertes am Beispiel des TWI-Wertes von vier PFAS.....	11
4.2	Bewertung von Trinkwasser aus Sicht der TWK.....	14
4.3	Bewertung für das Ökosystem.....	16
5	Umweltmedien - Handlungs- und Regelungsbedarf.....	17
5.1	Abwasser.....	17
5.2	Luft.....	19
5.3	Böden.....	20
5.3.1	Punktuelle Einträge in Böden und Grundwasser.....	21
5.3.2	Flächenhafte diffuse Einträge in und auf Böden.....	22
5.4	Oberflächengewässer.....	25
5.5	Grund-, Roh- und Trinkwasser.....	27
5.6	Lebensmittel.....	29
6	Fazit.....	34
Quellen.....	36	

## Abkürzungsverzeichnis

ADONA	Ammoniumsalz der Perfluor-4,8-dioxa-3H-nonansäure (Ersatzstoff für PFOA)
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
CEN	Europäischer Komitee für Normung
CONTAM	Gremium für Kontaminanten in der Lebensmittelkette
DüMV	Düngemittelverordnung
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
EOF	Extrahierbares organisch gebundenes Fluor
GenX	Ammonium-2,3,3,3-tetrafluor-2-propanoat (Ersatzstoff von PFOA)
GFS-Werte	Geringfügigkeitsschwellenwerte
GOW	Gesundheitliche Orientierungswerte
HBM	Human Biomonitoring
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
OGewV	Oberflächengewässerverordnung
PFAS	Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure
PFC	Per- und Polyfluorierte Chemikalien (nicht mehr gebräuchlich)
PFDA	Perfluordecansäure
PFDODA	Perfluordodecansäure
PFHxA	Perfluorhexansäure
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure
PFNA	Perfluornonansäure
PFOA	Perfluorooctansäure
PFOS	Perfluorooctansulfonsäure
PFTeDA	Perfluortetradecansäure
PFTrDA	Perfluortridecansäure
PFUnDA	Perfluorundecansäure
POP	Persistent Organic Pollutants
REACH	Europäische Chemikalienverordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe
TDI	Tolerierbare Tagesdosis (tolerable daily intake)
TWI	Tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (tolerable weekly intake)
TWK	Trinkwasserkommission
UBA	Umweltbundesamt
UQN	Umweltqualitätsnorm
UMK	Umweltministerkonferenz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

## 1 Veranlassung und Arbeitsauftrag

Auf Bitte von Mitgliedstaaten hat die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) eine Neubewertung wichtiger per- und polyfluorierter Alkylsubstanzen (PFAS) durchgeführt und ihre Ergebnisse im November 2020 veröffentlicht. Damit hat sie ihre Empfehlung gegenüber 2009 und 2018 durch die Einführung eines Summenparameters aus vier Einzelstoffen erweitert und die tolerierbare wöchentliche Aufnahmerate (TWI) deutlich verschärft. Dies war Anlass für die Umweltministerkonferenz (UMK), auf ihrer 93. Sitzung die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) um eine Prüfung zu bitten, ob die bisherige Datengrundlage in Deutschland für eine konsistente Ableitung von Bewertungskriterien aus Sicht ihrer länderspezifischen Fragestellungen ausreicht [1].

Die neue Risikobewertung der EFSA vom November 2020 führt zu einer weiteren Absenkung der gesundheitsbezogenen Bewertungskriterien mit noch nicht abgeklärten Folgen für die Höhe von Beurteilungswerten (wie Trinkwasserleitwerte, Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW), Umweltqualitätsnormen (UQN)) oder auch Grenzwerten auf Seiten der Emission wie der Immission und den daraus erwachsenden Risikomanagementmaßnahmen.

Auf der gemeinsamen Sitzung der LAWA und der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) im März 2020 beschlossen beide Gremien, eine gemeinsame LAWA/LABO-Arbeitsgruppe zu gründen.

Die Arbeitsgruppe hat aus dem UMK-Auftrag vier Fragestellungen abgeleitet:

- Welche Daten zu PFAS sind in den Ländern vorhanden?
- Was sind die spezifischen Fragestellungen der Länder?
- Welche Daten fehlen zur Risikobewertung?
- Welche möglichen Antworten auf die vorgenannten Fragen sind auf Basis bestehender Ergebnisse bereits möglich?

Im Zuge der Diskussion der Arbeitsgruppe haben sich zwei Kernthemen herauskristallisiert. Zum einen gibt es eine erkennbare Diskrepanz zwischen einer regelkonformen hohen Emission und sich mehr und mehr verschärfenden Immissionswerten. Ein weiterer Kernpunkt war, die Intention der EFSA-Bewertung zu verstehen und deren Folgen für die Bewertung von Human- wie ökologischen Risiken und das ableitbare Risikomanagement zu verdeutlichen.

## 2 Einführung

- *PFAS = per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen. Die Stoffgruppe umfasst ca. 4.700 verschiedene Stoffe, von denen weniger als 1 % separat analytisch erfassbar und/oder (öko-) toxikologisch bewertbar sind.*
- *PFAS kommen in zahlreichen Industrieprodukten und Konsumgütern, insbesondere im Textil- und Verpackungsbereich vor, wodurch eine steigende globale diffuse Hintergrundbelastung verursacht wird. Hohe punktuelle Belastungen entstehen primär durch*

*Freisetzung bei der Produktion, Weiterverarbeitung und durch Einsatz von fluorhaltigen Feuerlöschschäumen.*

- *Neue wissenschaftliche Erkenntnisse führen bei einzelnen Substanzen zu einer deutlichen Senkung von bisherigen Beurteilungswerten und könnten z.B. bei einer Vielzahl von Gewässern einschränkende Verzehrempfehlungen für Fische zur Folge haben. Auch eine Umsetzung bei der Bewertung von Bodenmaterialien mit diffusen PFAS-Hintergrundbelastungen oder von Einleitungen in Gewässer wird in der Praxis erhebliche Vollzugsprobleme bereiten.*
- *Da PFAS extrem persistent sind, verbleiben sie für einen sehr langen Zeitraum in der Umwelt und können weiträumig verbreitet werden.*
- *Daher ist eine Regulierung der gesamten Stoffgruppe erforderlich, die aktuell auf EU-Ebene vorbereitet wird. Für einen bundesweit einheitlichen Vollzug sind abgestimmte Vollzugsempfehlungen und verständliche, bewusstseinsbildende Informationen der Öffentlichkeit auch auf regionaler Ebene notwendig.*

PFAS ist die Sammelbezeichnung für die Stoffgruppe der per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen, auch bekannt als per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC). Die Abkürzung PFC ist jedoch nicht mehr gebräuchlich. Von dieser Stoffgruppe sind heute mehr als 4.700 Einzelsubstanzen bekannt [1]. Sie alle enthalten fluoridierte Kohlenstoffketten, die zu den stabilsten chemischen Bindungen gehören. Das bedeutet, dass sie schwer abbaubar sind, sowohl bei ihrer Verwendung als auch in der Umwelt.

Die verschiedenen PFAS unterscheiden sich in der Länge ihrer Kohlenstoffketten und den im Molekül vorhandenen, weiteren Strukturen (funktionelle Gruppen); es wird zwischen kurz- und langkettigen PFAS unterschieden. Die bekanntesten Vertreter der langkettigen PFAS sind PFOS (Perfluorooctansulfonsäure) und PFOA (Perfluorooctansäure). Sie werden bereits seit den 1950er Jahren hergestellt und verwendet. Diese beiden Stoffe sind mit Abstand am besten untersucht, es liegen dazu die meisten toxikologischen und andere wissenschaftlichen Bewertungen vor. Nach dem weitgehenden Verbot von PFOS seit 2011 und von PFOA seit 2020 werden vermehrt andere PFAS verwendet. Dazu gehören polyfluorierte Stoffe, die auch Vorläuferverbindungen oder Präkursoren genannt werden, weil sie in der Umwelt zu den stabilen perfluorierten, auch kürzerkettigen PFAS umgewandelt werden. Sie stellen mittlerweile den größten Teil der PFAS dar. Andere neuartige PFAS sind sogenannte per- und polyfluorierte Etherverbindungen, wie z. B. ADONA oder GenX (Ammonium-2,3,3,3-tetrafluor-2-propanoat), die primär in der Produktion von Fluorpolymeren eingesetzt werden. Über die meisten neueren PFAS haben Behörden und Wissenschaft kaum Informationen zu den Verwendungen, zum Verhalten der Stoffe in der Umwelt und zu den Wirkungen auf Mensch und Umwelt.

Aufgrund ihrer ausgeprägten wasser-, schmutz- und fettabweisenden Eigenschaften in Verbindung mit ihrer hohen Stabilität gegen Umwelteinflüsse werden PFAS seit vielen Jahren in zahllosen Produkten eingesetzt. Da PFAS so vielfältig verwendet werden, gibt es auch viele Wege, wie sie in die Umwelt gelangen können: bei der Herstellung der Chemikalien selbst, der Polymerproduktion, der Weiterverarbeitung zu Produkten, bei deren Gebrauch und letztendlich auch bei der Entsorgung. Grundsätzlich werden nach heutigem Kenntnisstand zwei Arten von Umweltbelastung unterschieden: punktuelle und diffuse Belastungen.

*Punktuelle Belastungen* sind in erster Linie durch den langjährigen Einsatz von PFAS-haltigen Feuerlöschschäumen (insbesondere auf Flughäfen und anderen Feuerlöschübungsplätzen) und in Galvanikbetrieben entstanden, durch Einleitungen kommunaler und industrieller Abwässer und durch die Aufbringung belasteter Materialien, wie z. B. bestimmter Papierschlämme oder belasteter Kompostmaterialien, und durch Freisetzung bei der industriellen Produktion von Fluorpolymeren. Die Beseitigung dieser Kontaminationen erfordert einen hohen Kostenaufwand, da die Entfernung aus den verschiedenen Umweltmatrices (Boden, Grund- und Oberflächenwasser), wenn überhaupt, dann nur mit hohem technischem Aufwand bewerkstelligt werden kann.

Noch schwieriger zu beherrschen sind die *diffusen Belastungen* durch den breiten Einsatz der PFAS in zahlreichen Konsumgütern wie Regenbekleidung, Textilbeschichtungen (z.B. bei Teppichen oder Autositzen), Medizinprodukten, beschichteten Haushaltswaren wie Kochgeschirr, Farben und Lacken, Imprägniersprays oder Lebensmittelverpackungen. Die weltweite Verwendung der PFAS führt zu einer global nachweisbaren Hintergrundbelastung, die auch vor industriefernen Regionen wie den Alpen und entlegenen Gebieten wie der Arktis oder dem Himalaja nicht haltmacht.

Da PFAS extrem persistent sind, verbleiben sie für einen sehr langen Zeitraum in der Umwelt und können weiträumig verbreitet werden. Einige PFAS reichern sich in Tieren, Pflanzen und im Menschen an und wirken zudem gesundheitsschädigend.

Die EFSA hat im September 2020 [2] einen neuen gesundheitsbezogenen Richtwert für vier PFAS festgelegt, die sich im menschlichen Körper anreichern. Dieser Richtwert – eine zulässige wöchentliche Aufnahmemenge (TWI) von 4,4 Nanogramm pro Kilogramm Körpergewicht pro Woche – ist Teil eines wissenschaftlichen Gutachtens über die Risiken, die von diesen Stoffen für die menschliche Gesundheit ausgehen, wenn sie in Lebensmitteln enthalten sind. In der Oberflächengewässerverordnung sind für PFAS bislang nur für den Einzelparameter PFOS Umweltqualitätsnormen (UQN) festgelegt: 9,1 µg/kg für Biota (Fische) und 0,65 ng/l für Wasser. Diese wurden auf der Grundlage des Schutzes der menschlichen Gesundheit beim Fischverzehr auf Basis eines 2008 von der EFSA abgeleiteten TWI von 1.050 Nanogramm pro Kilogramm Körpergewicht pro Woche nach den technischen Regeln für die Ableitung von UQN festgelegt. Nach bisherigen Messungen liegt ein nicht unerheblicher Anteil untersuchter Fische über der Biota-UQN. Die deutliche Absenkung der EFSA-Richtwerte stellt daher eine bedeutende Herausforderung für den Umwelt- und Gesundheitsschutz dar.

Die größte Herausforderung ist neben der Langlebigkeit der Stoffe ihre hohe Anzahl. Nach dem Verbot von PFOS im Jahr 2011 kamen eine Vielzahl neuer PFAS zur Anwendung, von denen heute nur ein verschwindend geringer Teil separat analytisch nachweisbar oder anhand (öko-)toxikologischer Daten bewertbar ist. Derzeit prüfen die zuständigen Fachbehörden auf Bundesebene, das Umweltbundesamt (UBA), das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) sowie die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) in Zusammenarbeit mit den Chemikalienbehörden Dänemarks, der Niederlande, Norwegens und Schwedens eine umfassende Regulierung sämtlicher PFAS. Ausnahmeregelungen sollen nur für Verwendungen vorgesehen werden, die als gesamtgesellschaftlich unabdingbar gelten (essenzielle Verwendungen). Diese Initiative geht auf einen einstimmigen Beschluss im EU-Umweltrat vom Juni 2019 zurück.

Bis zu dieser EU-weiten Regelung ist es noch ein weiter Weg und es müssen dringend Lösungen gefunden werden, um mit den heute in der Umwelt vorhandenen PFAS umzugehen. Dazu werden einheitliche Vollzugsempfehlungen und Beurteilungswerte ebenso benötigt wie Bundes- und EU-weite fachübergreifende und fachspezifische Forschungsvorhaben und an die Öffentlichkeit gerichtete verständliche Informationen über Vorkommen, Auswirkungen und Gegenmaßnahmen bei PFAS-Belastungen.

### 3. Grenz- und Richtwertdiskussion

#### 3.1 Vorhandene Grenzwerte auf Seiten der Emissionen und Immissionen

- *PFAS werden in den unterschiedlichen Rechtsbereichen nicht einheitlich betrachtet, für viele Bereiche sind noch keine Grenzwerte vorhanden.*
- *Durch Ausnahmeregelungen und Übergangsfristen werden PFAS-Emissionen seitens der Industrie und über die hergestellten Produkte weiterhin erfolgen.*
- *Den derzeit nahezu unregulierten PFAS-Emissionen, z. B. aus Industrieanlagen und Kläranlagen, stehen sehr geringe tolerierbare PFAS-Gehalte für menschliche Nahrungsmittel gegenüber.*

#### Emissionen

PFAS sind anthropogenen Ursprungs. Emissionen in die Umwelt, vorwiegend in Luft und Abwasser, finden in jedem Schritt des Lebenszyklus statt (Herstellung, Verwendung, Entsorgung).

Um die Emissionen zu senken sind in der EU Herstellung und Verwendung einiger PFAS bereits für viele Anwendungen verboten. PFOS wurde 2009 in die EU-POP-Verordnung (persistent organic pollutants) übernommen (VO (EU) 757/2010), wobei Inverkehrbringen und Verwendung schon 2006 mit der Richtlinie 2006/122/EG eingeschränkt wurden. Im Jahr 2019 wurde das PFOS-Verbot nach dem Stockholmer Übereinkommen noch einmal geprüft und alle in der EU bis dahin gewährten Ausnahmen gestrichen.<sup>1</sup>

PFOA ist zunächst EU-weit reguliert worden und zwar einschließlich seiner Salze und Vorläuferverbindungen. Diese Beschränkung tritt in mehreren Stufen (zwischen Juli 2020 und Juli 2032) für verschiedene Anwendungen in Kraft, um den Wechsel auf geeignete Alternativen zu ermöglichen. Es bestehen Ausnahmen für die Verwendung in implantierbaren Medizinprodukten, Feuerlöschschäumen, fotografischen Beschichtungen und für fotolithografische Verfahren, da hier bisher keine geeigneten Alternativen verfügbar sind. Inzwischen wurde auch PFOA in die weltweit gültige Verbotsliste der Stockholm-Konvention für persistente organische Schadstoffe aufgenommen und die Aufnahme in die EU-POP-Verordnung vorbereitet.

---

<sup>1</sup> Mit Ausnahme der Verwendung von PFOS als Mittel zur Sprühnebelunterdrückung für nicht dekoratives Hartverchromen (Chrom VI) in geschlossenen Kreislaufsystemen.



Die Beschränkung weiterer PFAS werden in drei Vorschlägen aktuell in EU-Regelungsverfahren nach REACH beraten:

- Perfluorierte Carbonsäuren mit neun bis vierzehn Kohlenstoffatomen (PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDODA, PFTrDA, PFTeDA) und deren Vorläufersubstanzen.
- PFHxS (Perfluorhexansulfonsäure). Dieser Stoff wurde auch als POP-Kandidat nominiert und könnte 2021 in das Stockholmer Übereinkommen aufgenommen werden.
- PFHxA (Perfluorhexansäure).

Verschiedene weitere PFAS wie etwa Perfluorbutansulfonsäure (PFBS) und GenX sind bereits als besonders besorgniserregende Stoffe unter REACH (Europäische Chemikalienverordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe) identifiziert, mit dem Ziel sie langfristig zu substituieren.

Behörden aus den Niederlanden, Dänemark, Schweden und Norwegen und Deutschland erarbeiten derzeit zudem einen EU-weiten Beschränkungsvorschlag unter REACH mit dem Ziel einer generellen Beschränkung der Herstellung, des Inverkehrbringens und der Verwendung aller PFAS. [1]

### Immissionen

Für die Umweltkompartimente existieren für PFAS derzeit kaum verbindliche Grenzwerte (siehe Leitfaden zur PFC-Bewertung).

In der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist PFOS als einziger Stoff der Stoffgruppe PFAS als prioritär gefährlicher Stoff definiert. Somit sind Behörden verpflichtet, entsprechend der Umsetzung in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) PFOS-Gehalte in Oberflächengewässern zu messen.

Die Umweltqualitätsnorm (UQN) für PFOS gilt europaweit seit 2013<sup>2</sup>. Dieser Wert darf zum Schutz der menschlichen Gesundheit nicht überschritten werden. Die Ableitung von UQN für weitere PFAS ist durch die EU-Kommission derzeit in Vorbereitung. Für einige dieser Stoffe liegen UQN-Vorschläge oder zumindest Effektkonzentrationen vor, die eine Wirkungsbewertung der gemessenen Belastung zulassen. Für das Gros der PFAS fehlen solche Daten. Die stärkste toxische Wirkung lässt sich derzeit bei Menschen nachweisen; dies ist ableitungsbestimmend für die UQN. Aus diesem Grund kommen die sehr niedrigen UQN durch die Bewertung des Schutzgutes menschliche Gesundheit, z. B. bei Fischkonsum zustande.

Aktuell findet der Priorisierungsprozess zur regelmäßigen Überprüfung der UQN Richtlinie (2008/105/EG geändert durch 2013/39/EU) statt. Dabei werden auch PFAS berücksichtigt. Derzeit ist seitens der EU Kommission vorgeschlagen, eine summarische UQN für PFOA, PFHxS und PFNA und zwanzig weitere PFAS auf Basis der Lebertoxizität abzuleiten. Dabei soll die spezifische Toxizität relativ zur Toxizität von PFOA summiert werden, auf Grundlage des Relative Potency Factor (RPF).

---

<sup>2</sup> Durch die Aufnahme von PFOS in die Richtlinie über Umweltqualitätsnormen (Richtlinie 2013/39/EU zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik).

Für das Grundwasser liegen seit 2017 national für sieben PFAS Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) vor, die auf der Grundlage epidemiologischer Daten abgeleitet wurden; die neuen Erkenntnisse der EFSA sind bei der Bewertung jedoch noch nicht eingeflossen. Bei Überschreitung der GFS-Werte liegt gemäß der Anwendungsgrundsätze im LAWA-GFS-Bericht eine schädliche Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit vor. Für weitere sieben PFAS wurden 2016 Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) für das Grundwasser abgeleitet. Durch die novellierten EU-Trinkwasserverordnung gelten seit 12.01.2021 mit „PFAS<sub>gesamt</sub>“ und „PFAS<sub>Σ20</sub>“ zwei summarische Parameter, die nicht toxikologisch begründet sind.

Durch Querverweis auf die Düngemittelverordnung gilt seit 2015 für die bodenbezogene Verwertung von Klärschlamm und anderen Ausgangsstoffen für Düngemittel ein Grenzwert von 100 µg/kg für die Summe von PFOS und PFOA. Ab 50 µg/kg besteht eine Kennzeichnungspflicht.

Die novellierte Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung sieht für den Pfad Boden-Grundwasser für sieben PFAS Prüfwerte für Sickerwasser am Ort der Beurteilung vor, es handelt sich um die für das Grundwasser abgeleiteten GFS-Werte. Sie tritt 2023 in Kraft.

### **3.2 Konsequenzen aus den Diskrepanzen zwischen legaler Emission und verschärften Werten in Folge der EFSA-Evaluierung**

- *LAWA und LABO sehen es als zielführend an, abgestimmte Summenparameter für die Stoffgruppe oder zumindest für ein breiteres Spektrum der PFAS in allen angrenzenden Rechtsbereichen zu etablieren.*
- *Die wesentlichen PFAS-Einträge sind zu erfassen.*
- *Die als relevant identifizierten PFAS sind durch strenge Grenzwerte zu regulieren.*
- *Damit würde zudem ein einheitliches und gut handhabbares Vorgehen der Vollzugsbehörden erreicht.*

Treiber für die Neubewertung von PFAS-Grenz- und Richtwerten in allen Umweltmedien ist derzeit die neueste Ableitung der EFSA. Der TWI für vier PFAS ist aufgrund neuer Daten zur Epidemiologie um ein Vielfaches niedriger als die früheren Bewertungen. Dies hat zur Folge, dass auch weitere Grenzwerte, die sich auf entsprechende Ableitungen beziehen, angepasst werden könnten. Dies betrifft Werteableitungen für Düngemittel, Böden, Oberflächengewässer, Grundwasser und Trinkwasser. Zusätzlich sind PFAS-Grenzwerte für Nahrungs- und Futtermittel abzuleiten.

Die bisherigen Grenzwerte sind zu unterschiedlichen Zeiten abgeleitet worden und bedürfen nicht nur einer Anpassung, sondern auch einer Harmonisierung hinsichtlich des Umfangs der zu betrachtenden Stoffe und der betrachteten Medien. Die novellierte europäische Trinkwasserrichtlinie von Januar 2021 regelt in Trinkwasser die gesamte Stoffgruppe per Summenparameter (PFAS<sub>gesamt</sub>) oder durch die Summe aus 20 Einzelstoffen (PFAS<sub>Σ20</sub>). Da Trinkwasser

aus Grund- und Oberflächengewässern gewonnen wird, ist es zielführend, die für das Trinkwasser relevanten Stoffe bereits im Rahmen des Risikomanagements der Versorger zu erfassen.

Es ist umso mehr erforderlich, die emissionsseitigen primären PFAS-Einträge zu erfassen und durch strenge Grenzwerte zu regulieren. Hier sollten insbesondere PFAS der neuen Generation (Vorläufersubstanzen, Etherverbindungen) mit einbezogen werden. Dies gilt auch für Düngemittel und andere Materialien, die auf Böden aufgebracht werden, denn nur so können PFAS-Gehalte in Böden und Wasser grundlegend vermindert werden. Nur so können aufwändige und teure Reinigungs- und Sanierungsmaßnahmen von Böden, Roh- und Grundwasser verhindert und die Belastung der Umwelt und des Menschen durch PFAS weiter gesenkt werden.

Voraussichtlich werden überarbeitete UQN für PFOS, basierend auf dem TWI-Wert für Lebensmittel (EFSA 2020) die derzeit gültige PFOS UQN unterschreiten und in einer deutlich höheren Anzahl an Überschreitungen der überarbeiteten PFOS UQN resultieren.

Mit Blick auf die ubiquitäre PFAS Belastung greift der Gewässerschutz mit der klassischen UQN Ableitung zu kurz, da er langfristige Risiken durch die persistenten Stoffe und ihre weiträumige Verteilung in den Medien nicht ausreichend berücksichtigt.

Ungeachtet der schwierigen Bewertung der unerwünschten Wirkungen der PFAS für Mensch und Umwelt, ist das Gefährdungspotenzial durch den langlebigen Verbleib der Stoffe in den Ökosystemen eine Herausforderung für den Gewässerschutz.

## 4 Toxikologische Relevanz der EFSA-Werte

### 4.1 Beschreibung der Ableitung eines TDI/TWI-Wertes am Beispiel des TWI-Wertes von vier PFAS

- *Die tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (TWI-Wert) gibt die wöchentliche Dosis einer Substanz an, die bei einer lebenslangen Aufnahme keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen beim Menschen erwarten lässt.*
- *Die TWI für PFOA und PFOS wurden zwischen 2008 und 2020 drastisch verschärft und um PFNA und PFHxS ergänzt, basierend auf Erkenntnissen aus epidemiologischen Studien.*
- *Der Ableitung eines Richtwertes liegt immer auch eine in gewissen Grenzen variable Einschätzung zugrunde, da die Datenlage nur in seltenen Fällen eindeutig ist.*

### Allgemeines Procedere

Ein Großteil der Arbeit der EFSA erfolgt auf Ersuchen um wissenschaftliche Beratung durch die Europäische Kommission, das Europäische Parlament und die EU-Mitgliedstaaten.

Das Gremium für Kontaminanten in der Lebensmittelkette (CONTAM) als wissenschaftlicher Ausschuss der EFSA erarbeitet wissenschaftliche Ratschläge zu Kontaminanten in der Lebensmittelkette wie den PFAS.

Mitglieder des CONTAM-Gremiums sind Fachleute aus ganz Europa mit Fachkenntnissen in folgenden Bereichen:

- Chemie - organische, anorganische, analytische Chemie, chemische Verunreinigungen bei Lebensmittel- und Futtermittelverarbeitung.
- Expositionsabschätzung in Bezug auf chemische Kontaminanten der Nahrung einschließlich Kenntnisse zum Lebensmittelkonsum.
- Human- und Veterinärtoxikologie (bei der Risikobewertung von Chemikalien) - Absorption, Verteilung, Metabolismus, Ausscheidung (ADME) von Substanzen, subchronische und chronische Toxizität (Studien mit wiederholten Dosen), Genotoxizität und Mutagenität, Entwicklungs- und Reproduktionstoxizität, Kanzerogenität, Allergenität und Immuntoxizität.
- Epidemiologie - Biomarker für die Auswirkungen sowie die Exposition und Interpretation menschlicher Daten, Statistik - Bewertung von Dosis-Wirkungs-Effekten, z.B. Benchmark-Dosismodellierung und Analyse komplexer (epidemiologischer) Datensätze.

Die EFSA richtet für die Durchführung der Risikobewertung in der Regel eine Arbeitsgruppe von Sachverständigen ein. Bewertet werden die verfügbaren wissenschaftlichen Informationen, die von Mitgliedstaaten, Forschungseinrichtungen oder Unternehmen vorgelegt werden.

Die Arbeitsgruppe erstellt einen Entwurf und legt dem jeweiligen Gremium (in diesem Fall: CONTAM-Gremium) zur Diskussion vor. Im Rahmen einer Plenarsitzung des betreffenden Gremiums wird über die Bewertung durch die Gremienmitglieder abgestimmt.

## **Ableitung eines Summen-TWI auf Anfrage der Europäischen Kommission.**

### **Definition**

Der TWI gibt die wöchentliche Dosis einer Substanz an, die bei einer lebenslangen Aufnahme keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen beim Menschen erwarten lässt.

### **Hintergrund**

Die beiden bekanntesten PFAS-Vertreter sind PFOA und PFOS. Für diese hatte die EFSA bereits 2008 eine Bewertung durchgeführt. Auf Antrag der Europäischen Kommission erfolgte eine Neubewertung einer Reihe von PFAS durch die EFSA. Dabei wurden PFOA und PFOS vorab getrennt betrachtet und im Jahr 2018 eine vorläufige Bewertung für die beiden Substanzen veröffentlicht, die mit einer drastischen Absenkung des Richtwertes um das 1.750-fache im Falle von PFOA verbunden war. Diese ungewöhnlich hohe Reduktion ist damit zu erklären, dass im Vergleich zu 2008 die Ableitung nicht auf Basis von Daten aus Tierstudien, sondern vor allem aus epidemiologischen Studien erfolgte (siehe Kapitel 2).

Im Jahr 2019 wurde begonnen, weitere PFAS hinsichtlich ihrer gesundheitlichen Wirkungen zu beurteilen. Da mittlerweile die Methodik für die Bewertung mehrerer chemischer Stoffe zur Verfügung stand, konnte ein Summen-TWI abgeleitet werden. Dieser schließt neben den bereits zuvor bewerteten PFOA und PFOS auch PFNA und PFHxS mit ein. Ausschlaggebend

dafür waren vergleichbare Eigenschaften wie die langsame Ausscheidung beim Menschen über mehrere Jahre, ähnliche toxische Effekte im Tier und die höchsten Konzentrationen im Blutplasma bzw. Blutserum der Bevölkerung.

### **Durchführung der Ableitung**

Wie bereits beschrieben wurden für die Ableitung 2018 epidemiologische Studien herangezogen. Normalerweise liefern solche Studien eine Assoziation zwischen dem Fremdstoffgehalt (z. B. gemessen im Blut) und der Häufigkeit für das Auftreten eines adversen, also gesundheitlich bedenklichen Effekts. Im Falle der PFAS wurden mehrere Effekte betrachtet (u. a. ein Anstieg des Cholesterinspiegels, die Reduktion des Geburtsgewichtes, die Reduktion der Antikörperkonzentration nach Impfen und weitere Endpunkte). Eine Assoziation ist aber kein kausaler Zusammenhang, d. h. die Beobachtung muss nicht mit dem Fremdstoff – hier den PFAS – zusammenhängen, sondern könnte auch zufällig auftreten. Daher hat bereits 1965 Bradford-Hill Kriterien definiert, um eine Kausalität zu bestätigen. Im Falle des TWI der PFAS sind einige dieser Kriterien erfüllt: Es liegen mehrere epidemiologische Studien vor, wenn auch nicht immer mit einheitlichen Ergebnissen. Weiterhin sind Daten aus mehreren Tierstudien verfügbar, die helfen, mechanistisch die Beobachtungen der epidemiologischen Studien zu erklären und damit eine Kausalität wahrscheinlich machen.

Im Gegensatz zur Bewertung aus dem Jahr 2018 wird aktuell jedoch nicht mehr der Anstieg des Cholesterins als kritischer Endpunkt betrachtet, sondern die verminderte Reaktion des Immunsystems auf Impfungen. Diese Änderung binnen zwei Jahre zeigt aber sehr deutlich, dass entsprechende Bewertungen, die mit der Ableitung des Richtwertes einhergehen, variabel sind und gegebenenfalls angepasst werden müssen.

### **Einschränkungen**

Andere Institutionen können die vorliegenden wissenschaftlichen Studien in anderer Weise beurteilen. So wurde 2018 der Parameter „Anstieg des Cholesterins“ als kritische Wirkung vom BfR kritisiert, da wissenschaftliche Unsicherheiten bestehen.

Da die Datenlage nur in seltenen Fällen eindeutig ist, liegt bei der Ableitung eines Richtwertes auch immer eine variable Einschätzung in gewissen Grenzen zugrunde. Beispielsweise hat kürzlich die nationale Stillkommission des Max-Rubner-Institutes nach Abwägung von Nutzen und Risiken des Stillens auch das Stillen von hoch mit PFAS exponierten Frauen empfohlen, obwohl lange gestillte Kinder den von der EFSA abgeleiteten kritischen PFAS-Wert von 17,5 ng/ml Serum für die Summe aus PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS (PFAS<sub>Σ4</sub>) erreichen können.

### **Ableitung des TWI von 4,4 ng/kg**

Der TWI wurde auf Basis der Querschnittsstudie von Abraham u. a. zur Reduktion verschiedener Antikörper nach Impfung und unter Verwendung des Benchmark Dose-Modells (BMD) abgeleitet. Dabei wird auf Basis der beobachteten Dosis-Wirkungs-Daten eine Dosis-Wirkungs-Kurve modelliert und für einen quantitativen Effekt (hier 10-prozentige Reduktion der Antikörperkonzentration) mit 95-prozentiger Sicherheit ein sogenannter „benchmark dose lower bound (BMDL)“-Wert von 17,5 ng/ml für PFAS<sub>Σ4</sub> im Blutserum abgeschätzt. Im vorliegenden Fall hat die CONTAM-AG diesen Wert, der wie vorher beschrieben auf Basis einer Studie mit Kleinstkindern abgeleitet wurde, mit Hilfe eines Modells auf den Serumgehalt stillender Mütter umgerechnet und einen Wert von 6,9 ng/ml Blutserum errechnet. Dieser Wert wurde

auf die entsprechende Aufnahmemenge umgerechnet. Dazu wird ein Modell (Physiologie-basierte Pharmakokinetik (PBPK)) genutzt und ein TWI-Wert von 4,4 ng/kg Körpergewicht pro Woche erhalten. Das heißt, nimmt eine stillende Mutter in der Summe nicht mehr als 4,4 ng pro Kilogramm Körpergewicht von PFAS<sub>Σ4</sub> auf, so besteht für die Mutter als auch für den Säugling nach derzeitigem Wissenstand bei einer lebenslangen Aufnahme keine Gefahr einer gesundheitlichen Beeinträchtigung.

### Anwendung des TWI

Der TWI wurde von der EFSA im Kontext einer Aufnahme von PFAS über Lebensmittel betrachtet; er gilt für eine Gesamtaufnahme – unabhängig für den Pfad. Ob und inwieweit der TWI auch für andere Matrices oder Bereiche sinnvoll anwendbar ist, müssen die jeweiligen Institutionen bzw. Kommissionen entscheiden.

So setzt das Bayerische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit im Falle von Fischen für Vielverzehrer einen durchschnittlichen wöchentlichen Verzehr von 210 g an. Damit wird die duldbare Aufnahme von 4,4 ng/kg Körpergewicht für einen 70 kg schweren Erwachsenen bei einem Gehalt von 1,47 µg PFAS<sub>Σ4</sub> im Kilogramm Fisch erreicht, ohne dass dabei eine Aufnahme der PFAS über andere Quellen berücksichtigt wird.

## 4.2 Bewertung von Trinkwasser aus Sicht der TWK

- *Für PFAS im Trinkwasser waren in der Trinkwasserverordnung bisher keine verbindlichen Grenzwerte festgelegt. Von der Europäischen Kommission wurde 2021 mit der novellierten EU-Trinkwasserrichtlinie die Parameter (PFAS<sub>gesamt</sub>) von 500 ng/l bzw. Summe PFAS (PFAS<sub>Σ20</sub>) von 100 ng/l eingeführt. Deutschland muss die Bestimmungen der Trinkwasserrichtlinie bis spätestens zum 12. Januar 2023 in nationales Recht umsetzen.*
- *In Deutschland basiert die Bewertung von PFAS bislang auf toxikologisch abgeleiteten Leitwerten bzw. Gesundheitlichen Orientierungswerten.*
- *Vor dem Hintergrund des neu abgeleiteten TWI-Wertes für 4 PFAS-Einzelverbindungen (PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS) der EFSA von 4,4 ng/kg Körpergewicht ergäbe sich nach toxikologischen Gesichtspunkten ein Beurteilungswert für Trinkwasser im einstelligen ng/l-Bereich, der damit deutlich niedriger läge als der in der novellierte EU-Trinkwasserrichtlinie vorgesehene Parameterwert von 100 ng/l für PFAS<sub>Σ20</sub>.*

In der bisherigen EG-Trinkwasserrichtlinie, welche bis zum 11.01.2021 galt und dementsprechend die Basis der national und aktuell geltenden Trinkwasserverordnung ist, waren für PFAS keine spezifischen Parameterwerte festgelegt. Diese Substanzklasse ist daher bisher auch kein Parameter der gesetzlich vorgeschriebenen Trinkwasseruntersuchungen. Nach einer gesundheitlichen Bewertung von für Trinkwasser relevanten PFAS-Verbindungen hat das UBA nach Anhörung der Trinkwasserkommission (TWK) im Jahr 2017 eine Empfehlung für den Umgang überwachender Behörden und Institutionen mit der Angabe von 13 Leitwerten bzw.



Gesundheitlichen Orientierungswerten (GOW) bewertbarer PFAS-Verbindungen im Trinkwasser veröffentlicht [1]. Dabei stellen Leitwerte bzw. GOW Beurteilungswerte dar, bei deren Einhaltung auch bei lebenslanger Aufnahme über das Trinkwasser keine gesundheitliche Besorgnis im Sinne von § 6 Abs. 1 der Trinkwasserverordnung gegeben ist.

Das UBA hat im Dezember 2019 vor dem Hintergrund der zu erwartenden Neubewertung der PFAS (bzw. der Einzelverbindungen PFOA, PFNA, PFHxS, PFOS) durch die EFSA bereits einen neuen „Vorsorge-Maßnahmenwert“ in Höhe von jeweils 50 ng/l für PFOA bzw. PFOS empfohlen [2]. Dieser Wert gilt nur für die besonders empfindlichen Bevölkerungsgruppen Schwangere, stillende Mütter, Säuglinge und Kleinkinder bis zu einem Alter von 24 Monaten. Im Unterschied zu den 2017 von der TWK abgeleiteten Leitwerten und GOW basieren diese Vorsorge-Maßnahmenwerte nicht auf einer toxikologischen Datenbasis, sondern auf dem Vorsorgegedanken für diese besonders empfindlichen Bevölkerungsgruppen.

Die Umweltschutzbehörde der Vereinigten Staaten (US-EPA) nennt einen „Drinking Water Health Advisory“-Wert für PFOA und PFOS von jeweils 70 ng/l, wobei auch die Summe diesen Wert nicht überschreiten soll [3]. Dieser Wert dient – ähnlich wie die in Deutschland vom UBA abgeleiteten Leitwerte für Trinkwasser – für eine lebenslange Aufnahmemenge unterhalb derer keine nachteiligen gesundheitlichen Effekte zu erwarten sind. Einzelne Bundesstaaten haben diese Einschätzung noch einmal deutlich verschärft. So gelten im Bundesstaat New Jersey Trinkwassergrenzwerte von 13 ng/l für PFOS und PFNA sowie 14 ng/l für PFOA [4]. In Kalifornien wurden Maßnahmenwerte von 10 ng/l für PFOA und 40 ng/l für PFOS festgelegt, bei deren Überschreitung das Trinkwasser nicht mehr an Verbraucher abgegeben werden darf [5].

Üblicherweise berechnen sich Trinkwasserbeurteilungswerte aus TDI- (tolerierbare Tagesdosis) bzw. TWI-Werten unter Berücksichtigung einer täglichen Aufnahme von Trinkwasser von 2 l, einem Zuteilungsfaktor für Trinkwasser (Allokationsfaktor) von 0,1 und der Annahme eines durchschnittlichen Körpergewichtes von 70 kg. Aus toxikologischer Sicht ergäbe sich daher basierend auf dem aktuellen TWI-Wert der EFSA für die 4 PFAS-Einzelsubstanzen (PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS) ein Beurteilungswert im Trinkwasser im einstelligen ng/l-Bereich.

Diese Beurteilung wird auch von der Kommission für Humanbiomonitoring (HBM) des UBA durch die Veröffentlichung von Schwellenwerten im Blut, bei deren Überschreitung gesundheitliche Beeinträchtigungen möglich sind (HBM-II-Werte) gestützt. Aufgrund der vorliegenden Daten hat die HBM-Kommission des UBA HBM-II-Werte festgelegt [6, 7]:

- (I) für Frauen im gebärfähigen Alter: 5 ng PFOA/ml Blutplasma, 10 ng PFOS/ml Blutplasma und
- (II) für die übrigen Bevölkerungsgruppen: 10 ng PFOA/ml Blutplasma und 20 ng PFOS/ml Blutplasma.

Ferner wurden am 12. Januar 2021 mit der novellierten EU-Trinkwasserrichtlinie erstmals Parameterwerte für „PFAS<sub>gesamt</sub>“ (0,5 µg/l) (alle PFAS-Verbindungen in einer Probe) und Summe der PFAS von der Europäischen Kommission eingeführt. Der Parameterwert für die Summe 20 definierter PFAS mit einer Kettenlänge von vier bis dreizehn Kohlenstoffatomen (PFAS<sub>Σ20</sub>) beträgt 100 ng/l (Summe aller 20 Einzelwert als Gesamtkonzentration). Die Festlegung der beiden Parameterwerte für PFAS<sub>gesamt</sub> und PFAS<sub>Σ20</sub> ist nicht toxikologisch begründet. Deutschland hat als Mitgliedsstaat der EU zwei Jahre Zeit, die Vorgaben der neuen EU-Trinkwasser-

richtlinie in nationales Recht (im Rahmen der Novellierung der Trinkwasserverordnung) umzusetzen. Ob es dabei aufgrund der oben beschriebenen epidemiologischen Bewertung (EFSA 2020) auch zur Festlegung niedrigerer Grenzwerte, Leitwerte oder GOW für ausgewählte PFAS im Trinkwasser kommen wird, ist Gegenstand laufender Abwägungen.

Die 20 Einzelstoffe, die im Parameterwert  $PFAS_{\Sigma 20}$  zusammengefasst sind, stimmen nicht vollständig mit den bisherigen 13 Stoffen aus der UBA-Bewertung von 2017 überein. Deswegen hat die TWK in der Empfehlung vom 26.08.2020 den Bundesländern empfohlen, zum Umgang mit der Veröffentlichung der europäischen Richtlinie, d.h. noch vor Umsetzung in nationales Recht, die 20 gelisteten Stoffe in ein Monitoringprogramm für Roh- und Trinkwasser aufzunehmen [7]. Damit könnte bereits vor der Überarbeitung der deutschen Trinkwasserverordnung ein erster Überblick des Vorkommens der benannten PFAS-Substanzen erhalten werden. Die Länder sollten hierfür besondere PFAS-Eintragsquellen mit Einfluss auf die Rohwasserqualität wie Flughäfen, Militäreinrichtungen und Industrieanlagen einbeziehen. Bisher steht noch keine standardisierte analytische Methode zur Bestimmung aller in der novellierten EU-Trinkwasserrichtlinie benannten 20 PFAS ( $PFAS_{\Sigma 20}$ ) mit ausreichend niedrigen Bestimmungsgrenzen zur Verfügung. Bei dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) ist die Modifikation des DIN-Verfahrens zur Bestimmung von PFAS momentan in Überarbeitung und sollte bis zum endgültigen Inkrafttreten der nationalen Trinkwasser-Regulationen im kommenden Jahr abgeschlossen sein.

#### 4.3 Bewertung für das Ökosystem

- *PFAS reichern sich in der Nahrungskette und deshalb auch im Menschen an.*
- *Menschen sind gegenüber PFAS empfindlicher [8] als die meisten anderen bisher untersuchten Arten.*

Bisher sind nur für wenige PFAS die (öko)-toxischen Effekte, beispielsweise endokrine Wirkungen, die Bioakkumulation und die Verlagerung in das Grundwasser untersucht. Vergleicht man die humantoxische Wirkung mit der ökotoxischen Wirkung, zeigt sich, dass das Schutzgut menschliche Gesundheit für alle untersuchten Verbindungen empfindlicher ist als die zu schützende Nahrungskette der Gewässerorganismen. Die GFS-Werte für PFAS stützen sich daher durchgängig auf humantoxische Wirkungen und das Anforderungsprofil der Trinkwasserverordnung.

Diese Erkenntnis lässt sich durch viele weitere Untersuchungen untermauern. Auch die UQN für PFOS basiert auf dem Schutzgut menschliche Gesundheit über den Fischkonsum: Die UQN beträgt für Oberflächengewässer 9,1 µg/kg Frischgewicht. Sie darf in Fischen (Biota) nicht überschritten werden. Terrestrische Lebewesen reichern PFAS i.d.R. in größerem Maße an als aquatische Organismen. PFOS und andere langkettige PFAS akkumulieren in aquatischen und terrestrischen Lebewesen an der Spitze der Nahrungspyramide. Für PFOA und andere Perfluorcarbonsäuren gilt allerdings, dass sie sich eher in terrestrischen und kaum in aquatischen Lebewesen anreichern.



## 5 Umweltmedien – Handlungs- und Regelungsbedarf

### 5.1 Abwasser

- *Der langjährige Eintrag von PFAS-haltigen Abwässern hat zu weiträumigen Gewässerbelastungen beigetragen.*
- *Zur Verminderung der PFAS-Einträge sind chemikalienrechtliche Herstellungs- und Anwendungsbeschränkungen über die EU-Chemikalienstrategie und -gesetzgebung erforderlich.*
- *Der aktuelle Stand der Technik ist kontinuierlich zu erfassen und durch gezielte Forschung weiterzuentwickeln.*
- *Die PFAS-Einträge der einzelnen Branchen über das Abwasser sind zu erfassen und zu bewerten.*
- *Auf dieser Grundlage ist eine Fortschreibung der Regulierung über die Abwasserverordnung erforderlich.*
- *Beim industriellen Einsatz von PFAS sollten weitgehend abwasserfreie Produktionsverfahren etabliert werden.*

PFAS treten seit etwa 60 Jahren im Abwasser auf. Sie stammen insbesondere aus Produktionsprozessen der Chemiebranche, von Galvanik- und Tiefdruckbetrieben, Papier- und Lederfabriken sowie Textilveredlern und aus bestimmten Deponien. PFAS-haltiges Abwasser kann auch infolge der Nutzung relevanter Produkte durch Industrie und Gewerbe sowie in Privathaushalten anfallen. Grundsätzlich sind daher auch Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen betroffen. Die Belastung ist dort jedoch im Vergleich zu Betriebsabwässern meist wesentlich geringer [1], [2].

Einträge über das Abwasser können auch durch Verschleppungen aus früheren Nutzungen bedingt sein. Beispielsweise bluten kontaminierte Prozessanlagen und Abwasserleitungen über einen langen Zeitraum aus. Sofern PFAS-kontaminierte Rohwasser-Reservoirs für die betriebliche oder öffentliche Wasserversorgung genutzt werden und dafür eine Aufbereitung erforderlich ist, können ebenfalls PFAS-haltige Abwässer anfallen (z. B. Konzentrate aus der Umkehrosmose).

Die historischen und aktuellen PFAS-relevanten Abwassereinleitungen in Oberflächengewässer sind neben den Einträgen insbesondere über den Luftpfad, über kontaminierte Böden und den Zustrom von belastetem Grundwasser mitverantwortlich für den aktuellen Belastungszustand der Oberflächengewässer (siehe Kap. 5.4).

## Handlungs- und Regelungsbedarf

Aufgrund von chemikalienrechtlichen Regulierungen werden mittlerweile zahlreiche Ersatzstoffe für PFAS eingesetzt (z. B. ADONA oder GenX für PFOA, H4PFOS für PFOS). Sie weisen häufig vergleichsweise höhere Anwendungskonzentrationen auf und sind den bisher erprobten Abwasserbehandlungsverfahren schlechter zugänglich. Auf EU-Arbeitsebene läuft derzeit ein Abstimmungsprozess zur Berücksichtigung weiterer PFAS-Verbindungen bei der Beurteilung des chemischen Zustands von Oberflächengewässern. Weiterhin will die EU-Kommission Maßnahmen zur Begrenzung der Herstellung und Verwendung von PFAS als Baustein ihrer Chemikalienstrategie im Rahmen der „Zero-Pollution-Ambition“ prüfen.

Soweit eine signifikante Reduzierung von abwasserrelevanten PFAS-Anwendungen auf chemikalienrechtlichem Weg nicht zeitnah erreicht wird, sind Maßnahmen zur Emissionsminderung nach dem Stand der Technik fortzuentwickeln und durch den Bund wasserrechtlich wirksam zu verankern. Die Ermächtigung für die Festlegung von Anforderungen in der Abwasserverordnung bezieht sich nach § 57 Absatz 2 WHG in Verbindung mit § 23 Absatz 1 Nr. 3 auf das Einleiten von Stoffen. Unmittelbare Einsatz- oder Herstellungsverbote für PFAS sind so daher nicht realisierbar. Insofern wäre wasserrechtlich maximal ein Einleitungsverbot für PFAS möglich.

Unabhängig davon können PFAS-Einträge in Gewässer über den Abwasserpfad bei Industrie und Gewerbe grundsätzlich über folgende Maßnahmen sowohl bei Direkt- als auch bei Indirekteinleitern begrenzt werden:

1. Verzicht auf PFAS-haltige Einsatzstoffe und Hilfsmittel.
2. Optimierte Verbrauchssteuerung und -minimierung bei unverzichtbaren PFAS-Einsatzstoffen.
3. Produktion in weitgehend geschlossenen (abwasserfreien) Systemen.
4. Gezielte Abreinigung des Abwassers vor der Einleitung.

Bisher wurden in der Abwasserverordnung für die Bereiche Leder- sowie Papierherstellung PFAS-relevante Anforderungen festgelegt. Sie umfassen innerbetriebliche Maßnahmen im Sinne der o. g. Nr. 1 und 2. Entsprechendes ist bei der Fortschreibung der Anforderungen für die Chip-Herstellung und die Metallverarbeitung geplant.

Für eine darüberhinausgehende Festsetzung von emissionsmindernden Anforderungen im Sinne von zulässigen PFAS-Frachten bzw. -Konzentrationen fehlt derzeit ein ausreichend gesicherter Kenntnis- bzw. Entwicklungsstand hinsichtlich der vorhandenen branchenbezogenen Abwasserbelastung sowie standardmäßig verfügbarer Vermeidungs- und Abwasserbehandlungsverfahren. Dies gilt insbesondere auch im Hinblick auf die o. g. Ersatzstoffproblematik. Außerdem steht derzeit kein erprobtes Analysenverfahren zur vollständigen Erfassung von PFAS als Stoffgruppe zur Verfügung.

Es besteht daher folgender Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- Entwicklung und Erprobung einer praxistauglichen PFAS-Analytik mit niedrigen Bestimmungsgrenzen.
- Ermittlung der PFAS Belastung im Abwasser der jeweiligen Branchen
- Bestandsaufnahme und Auswertung in der Praxis erprobter Verfahren zur Verringerung von PFAS-Einträgen.

- Forschung und Entwicklung im Bereich Abwasserbehandlung (Fortentwicklung von Verfahren auf der Basis von z. B. Membranverfahren, Ionenaustauscher bzw. Aktivkohle inkl. Entsorgungsmöglichkeiten für Konzentrate/Abfälle insbesondere in den Bereichen Galvanik und Wasseraufbereitung).
- Forschung und Entwicklung im Bereich Produktionsverfahren (Umstellung auf weitgehend geschlossene Systeme).

Gestützt auf Ergebnisse entsprechender Vorhaben sollten die PFAS-Belastungen des Abwassers in den jeweiligen Branchen ermittelt und auf europäischer Ebene in den Sevilla-Prozess zu branchenspezifischen Best-Verfügbaren Techniken (BVT) der Abwasserbehandlung eingebracht werden. Auf dieser Grundlage sollte die Abwasserverordnung fortgeschrieben werden.

Parallel dazu sollte angestrebt werden, die Verwendung weitgehend abwasserfreier Produktionsverfahren als allgemeinen Grundsatz in die Abwasserverordnung aufzunehmen, und zwar für alle Bereiche, bei denen ansonsten der Eintrag von langlebigen Problemstoffen in Gewässer zu erwarten wäre. Die Grundlagen für eine entsprechende Stoffdefinition sind durch eine Fortschreibung des Chemikalienrechts zu schaffen, auf die im Wasserrecht Bezug genommen werden kann.

## 5.2 Luft

- *PFAS werden über verschiedene Quellen in die Atmosphäre eingetragen. Konkrete Kenntnisse zu Eintragsmengen und Verbreitung sind jedoch nicht vorhanden.*
- *Die PFAS-Emissionen aus der Luft können Böden und Oberflächengewässer verunreinigen und so zu erhöhten PFAS-Konzentrationen in Nahrungsmitteln führen.*
- *Einheitliche Messverfahren im Abgas sowie Emissionsminderungsverfahren in Verbrennungsanlagen müssen entwickelt werden.*

PFAS-Einträge in die Luft erfolgen z. B. durch Industrieanlagen, Kläranlagen, Abfallverbrennungsanlagen, Produkte für die Endverbraucher, sowie die Verwendung von Kälte- und Treibmitteln.

PFAS werden über globale Luftströme weiträumig in der Atmosphäre verteilt und erreichen so entlegene Gebiete, wie die Arktis. PFAS werden durch trockene und nasse Deposition aus der Luft in Böden und Oberflächengewässer verfrachtet. Welche Menge PFAS in der Atmosphäre vorhanden sind, ist bisher kaum untersucht worden. Im Umkreis von Industrieanlagen, in denen PFAS über die Abluft freigesetzt werden, zeigen sich in Hauptwindrichtung erhöhte PFAS Konzentrationen in Böden. Werden die Böden landwirtschaftlich genutzt, können PFAS von Pflanzen und Nutztieren aufgenommen werden. Aus Böden werden PFAS im Laufe der Zeit in das Grundwasser verlagert. Dies kann erhöhte PFAS-Konzentrationen im Grund- und Trinkwasser zur Folge haben (Bsp. Altötting). Regelungen zur Verminderung von PFAS in der Industrieabluft fehlen weitestgehend. Wie hoch der Anteil von PFAS in der Atmosphäre durch Kläranlagen und Müllverbrennungsanlagen ist, ist bisher nicht bekannt.

## Handlungs- und Regelungsbedarf

Unabhängig von den großen Wissenslücken über die genauen atmosphärischen Stoffströme der PFAS über den Luftpfad besteht Forschungsbedarf [3]. Dies gilt für die Erfassung und Bewertung von Emissionswerten sowie für die verfahrenstechnischen Möglichkeiten zur Minderung oder thermischen Beseitigung von PFAS.

Für Verbrennungsanlagen müssen sowohl Messverfahren im Abgas als auch Emissionsminderungstechniken entwickelt werden. Bei der thermischen Beseitigung von Reststoffen fehlen Kenntnisse über die erforderlichen Mindesttemperaturen und Verweilzeiten in der Verbrennungsanlage, um eine Emission von PFAS wirksam zu verhindern. Allgemein werden die Möglichkeiten zur Emissionsminderung durch produktionsintegrierte Maßnahmen auf Seiten der Industrie bei weitem nicht ausgeschöpft, z. B. durch Rückgewinnung, Kreislaufführung und andere Minderungs- bzw. Vermeidungsmaßnahmen.

## 5.3 Böden

### ***Punktuelle PFAS-Belastungen in Böden***

- *Es ist von einer hohen Zahl an bislang nicht untersuchten punktuellen PFAS-Verdachtsflächen auszugehen, welche durch die zuständigen Vollzugsbehörden sukzessive noch zu erfassen sind.*
- *Es bedarf der Ableitung/Weiterentwicklung von Bewertungskriterien zur Gefahrenbeurteilung der Wirkungspfade Boden-Grundwasser und Boden-Pflanze sowie der Weiterentwicklung von Sanierungsverfahren.*
- *Es besteht grundsätzlich Forschungsbedarf beim Umgang mit Bodenmaterial aufgrund punktueller Einträge (Deponierung, Aufbereitung).*

### ***Flächenhaft diffuse PFAS-Belastungen in Böden***

- *Der Grenzwert der Düngemittelverordnung ist dringend an aktuelle Beurteilungsmaßstäbe anzupassen. Es ist eine Harmonisierung beim Nachweisverfahren anzustreben, sodass Klärschlämme, Düngemittel und Bioabfälle gleichbehandelt werden.*
- *Um diffuse Immissionen aufgrund von atmosphärischen Verlagerungen zu vermindern, besteht Handlungsbedarf auf der Emissionsseite. Hierzu bedarf es der Umsetzung von Emissionsminderungsmöglichkeiten seitens der Industrie.*
- *Es ist zwingend erforderlich, bundesweit belastbare Hintergrundgehalte zu ermitteln, mit dem Ziel der Ableitung von Beurteilungsmaßstäben für die Verwertung von Bodenmaterial.*
- *Die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung ist vorzeitig weiter einzuschränken, da Klärschlämme PFAS enthalten können, die durch die bodenbezogene Verwertung einen nicht zu vernachlässigenden Eintragspfad in Böden, Gewässer und Nutzpflanzen darstellen.*

- *Auch Bioabfälle können PFAS enthalten. Es bedarf einer besseren Datenlage, um branchenspezifische Aussagen zu ermöglichen und die PFAS-Einträge über Bioabfall in Böden zu minimieren.*

Einträge von PFAS in und auf Böden können durch punktuelle und durch flächenhaft diffuse Quellen hervorgerufen werden.

Bei der Bewertung von PFAS im Rahmen der Gefahrenabwehr sind insbesondere die Wirkungspfade Boden-Grundwasser und Boden-Nutzpflanze relevant.

Die kurzkettigen PFAS verhalten sich beim Transport mit dem Sickerwasser in das Grundwasser grundsätzlich mobiler als langkettige PFAS. Pflanzen können PFAS aus dem Boden oder aus dem Beregnungswasser aufnehmen. Grundsätzlich werden kurzkettige Verbindungen eher von Pflanzen aufgenommen als langkettige. Für eine quantitative Beschreibung des Transfers Boden-Pflanze fehlt eine valide Datengrundlage. Zudem wird die Ableitung von Transferfunktionen oder -faktoren durch die Precursorproblematik (Abbau von Vorläuferverbindungen im Boden) erschwert, so dass bisher noch keine Prüfwertvorschläge für den Wirkungspfad Boden-Pflanze abgeleitet werden konnten.

### **5.3.1 Punktuelle Einträge in Böden und Grundwasser**

Punktuelle Einträge von PFAS in Böden und Grundwasser resultieren u. a. aus der Verwendung von fluorhaltigen Schaumlöschmitteln oder aus betrieblichen Anwendungen (z. B. Galvanikbetriebe), aber auch aus PFAS-relevanten Altlasten [4].

Beispielsweise befanden sich mit Stand 2019 in Nordrhein-Westfalen 113 punktuelle Fälle mit PFAS-Belastungen in der Bearbeitung im Zuständigkeitsbereich der Kreise und Städte [5]. In 10 % der Fälle ist die Sanierung abgeschlossen, hier finden teilweise noch Überwachungsmaßnahmen (Grundwassermonitoring) statt.

### **PFAS in Bodenaushub punktueller Belastungsstandorte**

PFAS-belasteter Bodenaushub kann insbesondere bei Bau- und Sanierungsarbeiten anfallen.

Besonders bei punktuellen Belastungsstandorten (z. B. Feuerlöschplätze, Galvaniken, Wäschereien) fällt relativ hoch belastetes Bodenmaterial an, das sich nicht zur Verwertung eignet. Hier stellt sich die Frage einer ordnungsgemäßen Entsorgung des Bodenmaterials. Soweit ein Entledigungswille bzw. eine Entledigungspflicht bestehen, greifen zunächst abfallrechtliche Regelungen mit der Maßgabe a) der Vermeidung des Entstehens von belastetem Bodenaushub, b) der ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung oder c) letztlich der Beseitigung des belasteten Materials.

Die Entsorgung von PFAS-belastetem Bodenaushub und die Annahme auf Deponien stellt sich im Vollzug bislang als problematisch dar, weil weitgehend Unsicherheiten hinsichtlich der qualitativen und quantitativen Anforderungen an die Annahme bestehen. Im Leitfaden zur PFAS-Bewertung [13] werden entsprechende Anforderungen definiert. In Einzelfällen könnte auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine Vorbehandlung, beispielweise mittels Immobilisierung oder Bodenwäsche, am Ort des Anfalls von belastetem Material vorteilhaft sein.

Diese Verfahren sind allerdings noch nicht weit genug entwickelt. Die Eignung der Bodenwäsche beschränkt sich auf sandige und kiesige Böden. Bisher sind nur einzelne Boden-Waschanlagen in Betrieb.

### **Handlungsbedarf im Hinblick auf punktuelle PFAS-Einträge in und auf Böden**

- Weitergehende Erfassung von Verdachtsflächen aufgrund punktueller PFAS-Einträge durch die zuständigen Vollzugsbehörden.
- Bewertung der Verdachtsflächen durch die Vollzugsbehörden bzw. die Pflichtigen.
  - Dazu: Weiterentwicklung der wirkungspfadbezogenen Bewertungskriterien (Forschungsbedarf gemäß des „Positionspapiers Forschung“ der PFAS-Fachgruppe [3]), insbesondere Bestimmung von Daten zum Transfer Boden-Pflanze und systematische Untersuchungen unter Feldbedingungen.
  - Sanierungsmaßnahmen: Weiterentwicklung von Sanierungsverfahren (Forschungsbedarf gemäß des „Positionspapiers Forschung“ der PFAS-Fachgruppe [3]).
- Weiterentwicklung und praktische Erprobung von technischen Aufbereitungsverfahren zum Umgang mit Bodenaushub aus punktuellen Bodenbelastungen; Weiterentwicklung von materiellen Maßstäben; Weiterentwicklung und Optimierung von Verfahren zur Aufbereitung von PFAS-belastetem Deponiesickerwasser.

### **5.3.2 Flächenhafte diffuse Einträge in und auf Böden**

Flächenhaft diffuse PFAS-Einträge in Böden erfolgen u.a. durch atmosphärische Einträge und Materialaufbringung (z. B. Klärschlämme, Bioabfälle, Bodenmaterial, Ausgangsstoffe für Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Beregnungswasser).

#### **PFAS in Abfällen zur bodenbezogenen Verwertung**

Im Gegensatz zu punktuellen Belastungen kann es infolge der landwirtschaftlichen Verwertung von Abfällen, insbesondere von Klärschlämmen und manchen Bioabfällen, zu diffusen PFAS-Einträgen in Böden, Gewässer und Nutzpflanzen kommen.

Darüber hinaus gab es in der Vergangenheit wenige Einzelfälle, die im Rahmen der illegalen Abfallbeseitigung zu hohen Schadstoffeinträgen durch PFAS-belastete Ausgangsstoffe für Düngemittel bzw. Bioabfälle (BW, NW) geführt haben.

Ob neben Klärschlämmen und Bioabfällen weitere für die bodenbezogene Verwertung zugelassene Abfälle in Einzelfällen und aufgrund ihrer Herkunft bedenkliche PFAS-Gehalte aufweisen können, ist zu untersuchen.

#### **- PFAS in Klärschlamm**

Über das Abwasser aus Indirekteinleitern der Industrie und Gewerbe sowie durch die Freisetzung PFAS-haltiger Produkte aus dem häuslichen Abwasser gelangen PFAS in die kommunalen Kläranlagen. Dort adsorbiert ein Teil der PFAS am Klärschlamm, vor allem kurzkettige PFAS werden über das gereinigte Abwasser in die Oberflächengewässer eingeleitet. Im Klärschlamm verbleiben feststoffgebunden überwiegend langkettige PFAS-Verbindungen, die bei einer bodenbezogenen Klärschlammverwertung in den Boden gelangen.



Die bodenbezogene Klärschlammverwertung ist weiter rückläufig. 2019 wurden in Deutschland insgesamt rund 400.000 Tonnen Klärschlamm stofflich verwertet, das entspricht 25 % der Gesamtfracht [6].

Die Gehalte, insbesondere der Einzelstoffe PFOA und PFOS in Klärschlämmen, sind gut untersucht. In einer Auswertung von 4.981 Klärschlammproben aus 1.165 kommunalen Kläranlagen in Bayern in den Jahren 2008-2013 konnte PFOS als Hauptkontaminante in 43 % der Proben nachgewiesen werden. Im letzten Auswertungsjahr 2013 wurden im Mittel 12-19 µg PFOS/kg analysiert [7].

Diese Ergebnisse werden durch Berichte aus anderen Bundesländern bestätigt [8, 9, 10, 11, 12].

In der Klärschlammverordnung vom Oktober 2017 sind mittelbar Grenzwerte für die zwei PFAS-Vertreter PFOS und PFOA für die bodenbezogene Verwertung von Klärschlamm durch Querverweis auf die Düngemittelverordnung (DüMV) festgelegt und wird durch die abfallrechtlichen Nachweispflichten im Vollzug überwacht. Zur Begrenzung des PFAS-Eintrages in Böden legt die DüMV für Ausgangsstoffe von Düngemittel als auch für das Düngemittel selbst einen Grenzwert von 100 µg/kg für die Summe aus PFOS und PFOA fest. Für weitere Einzelwirkstoffe der PFAS-Gruppe bestehen derzeit keine Anforderungen für Anwendungsbeschränkungen.

#### - **PFAS in Bioabfall und Bioabfallgemischen**

Pflanzliche Bestandteile als Hauptausgangsstoff von Bioabfällen und Bioabfallgemischen nehmen vor allem wasserlösliche PFAS auf und reichern diese an. Daher werden in Untersuchungen zu Bioabfällen, insbesondere in flüssigen Gärprodukten aus Bioabfällen, vor allem kurzkettige Vertreter nachgewiesen. In einer Untersuchung des hessischen Landesamtes für Umwelt konnten im Mittel 1,7 µg/kg PFOS sowie 4,4 µg/kg für die Summe an kurzkettigen PFC nachgewiesen werden [9].

Eine große Herausforderung stellt die PFAS-Analytik in Bioabfällen dar. Die typische Stoffmatrix ermöglicht keine ausreichend niedrige Bestimmungsgrenze.

Generell ist die Datenlage über Ausgangsstoffe von Düngemitteln bzw. Abfällen aus Branchen, die PFAS in die Stoffkreisläufe emittieren noch nicht so umfassend wie bei Klärschlämmen, sodass hier ein Nachholbedarf besteht.

Im Zusammenhang mit dem Nachweisverfahren nach Bioabfallverordnung (BioAbfV) bzw. den Pflichten nach DüMV können die folgenden Schwachstellen identifiziert werden:

- Erleichterte Nachweisverfahren an Stelle der Lieferscheinplicht bei zertifiziertem Kompost durch die RAL-Gütesicherung in Einzelfällen in einigen Bundesländern.
- Der PFAS-Grenzwert der DüMV gilt im Rahmen der Garantenstellung für den In-Verkehr-Bringer von Bioabfällen. Untersuchungspflichten und ein Lieferscheinverfahren – wie aus dem Abfallrecht bekannt – sieht die DüMV nicht vor. Im Gegensatz zu den Anforderungen für Klärschlämme gibt es für Bioabfälle und Gemische mit anderen Ausgangsstoffen für Düngemittel keinen verbindlichen Nachweis über die Einhaltung des PFAS-Grenzwertes.

## Handlungsbedarf für die Verwertung von PFAS-haltigen Abfällen

Anhaltend diffuse Einträge können zu einer schädlichen Bodenveränderung und Grundwasserbeeinträchtigung führen, daraus ergibt sich insbesondere folgender Handlungsbedarf:

- Deutliche Absenkung des Grenzwertes der DüMV für die Summe an PFOA und PFOS, so dass die GFS für PFAS-Einzelverbindungen im Grundwasser sicher eingehalten werden können. Für eine Absenkung spricht auch die Absenkung der bisher von der EFSA empfohlenen maximalen Aufnahmemengen über Lebensmittel.
- Aufgrund der hohen Heterogenität der Indirekteinleiter sowie der Vielzahl an in Haushalten befindlichen PFAS-Produkten sollte ein PFAS-Grenzwert nicht auf die zwei Substanzen PFOA und PFOS beschränkt sein, sondern zumindest die 20 auch in der europäischen Trinkwasser-Richtlinie genannten Verbindungen (PFAS<sub>Σ20</sub>) oder einen summarischen Parameter wie den EOF (Extrahierbares organisch gebundenes Fluor) berücksichtigen.
- Das langjährige Ein- und Aufbringen von Klärschlämmen hat aufgrund der hohen Persistenz eine kontinuierliche Anreicherung im Boden zur Folge; zusätzlich besteht die Gefahr der Verlagerung von kurzkettigen PFAS ins Grundwasser. Folglich sollte die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung vorzeitig weiter eingeschränkt werden.
- Bei Bioabfällen und anderen Abfällen, die für eine gemeinsame Behandlung und die Herstellung von Gemischen mit Bioabfällen geeignet sind, ist die Datenlage aus Branchen, die PFAS in die Stoffkreisläufe emittieren, umfassend zu erweitern. Es ist eine Harmonisierung beim Nachweisverfahren anzustreben, sodass Klärschlämme, Düngemittel und Bioabfälle gleichbehandelt werden. Da Bioabfälle und Gemische überwiegend gütegesichert sind, sollte auch die damit verbundene Befreiung von der Lieferscheinpflcht zur Diskussion gestellt werden.

## Verwertung von Bodenmaterial

Stichprobenartige Untersuchungen von Böden in Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg zeigen, dass die Eluatgehalte eines Teils der verdachtslos beprobten Flächen oberhalb von GFS-Werten und somit von Gefahrenverdachtsschwellen liegen. Bestätigt sich dieser Befund in der Fläche, muss zukünftig von deutlichen Einschränkungen der Verwertung von Bodenmaterial aufgrund einer diffusen PFAS-Belastung ausgegangen werden.

## Handlungsbedarf

Vor diesem Hintergrund erscheint es auch bei der Bewertung von diffusen Einträgen zwingend, den Kenntnisstand über die Hintergrundgehalte von PFAS in Böden sowohl auf Basis der Feststoffgehalte als auch auf Basis der Eluatgehalte zu verbessern. Auf dieser Grundlage sollen statistisch abgeleitete Hintergrundwerte als Basis für Verwertungsregelungen für Bodenmaterial aufgestellt werden.



## 5.4 Oberflächengewässer

- *Zum Schutz der aquatischen Biozöosen und der Ressource Trinkwasser sind summarische Grenzwerte und Umweltqualitätsnormen für die gesamte Gruppe der PFAS sinnvoll. Zusätzlich sollten neben der Einzelsubstanz PFOS zukünftig weitere PFAS-Einzelsubstanzen bei der Bewertung des chemischen Zustands der Gewässer berücksichtigt werden.*
- *Es besteht weiterhin Forschungsbedarf zu den Verbreitungsmechanismen und ökotoxikologischen Wirkungen vieler PFAS.*
- *Die Reinigungsverfahren in ausgewählten Kläranlagen und bei der Trinkwasseraufbereitung sind für die PFAS-Elimination zu optimieren.*

Wegen ihrer extremen Persistenz, dem Bioakkumulationspotential und Hinweisen auf endokrine Wirkungen und ökotoxikologische Wirkungen stellen PFAS ein langfristiges und dauerhaftes Risiko für die aquatische Biozönose sowie für das Schutzgut Trinkwasser dar. Da zudem die Beseitigung von PFAS über Aufbereitungsverfahren technisch sehr aufwendig ist, sind Minderungsmaßnahmen an den Quellen unabdingbar.

Generell können polyfluorierte Chemikalien in der Umwelt sowohl durch biologische als auch nicht-biologische Prozesse zu perfluorierten Chemikalien umgewandelt werden. Perfluorierte Chemikalien sind jedoch in der Umwelt stabil und können sich in den Ökosystemen anreichern. Insbesondere langkettige PFAS adsorbieren an Sediment, Schwebstoffen und Biota sowie Klärschlämme. Werden belastete Klärschlämme in der Landwirtschaft auf den Boden aufgebracht, können die PFAS in angrenzende Oberflächengewässer ausgeschwemmt werden.

Einen weiteren Eintragspfad kann belastetes Grundwasser darstellen, welches bei niedrigen Flurabständen mit den Oberflächengewässern im Austausch steht. Untersuchungen aus Baden-Württemberg [14] zeigen, dass je nach Gewässersituation sowohl eine Verlagerung von PFAS aus Oberflächengewässern ins Grundwasser, als auch aus dem Grundwasser in Oberflächengewässer erfolgen kann.

PFAS verteilen sich durch Ferntransport weiträumig in der Umwelt. Sie werden mit Flüssen und Meeresströmungen über weite Entfernungen global transportiert. Die Verbindungen erreichen entlegene Polargebiete und ihre Nahrungsnetze. Flüchtige PFAS verteilen sich zudem über Luftströmungen und partikelgebunden in der Atmosphäre. Über atmosphärische Deposition gelangen sie dann in terrestrische Ökosysteme und Gewässer. Die Anreicherung von PFAS im Wasserkreislauf führt in Meeren und den Polarregionen zu einem langfristigen Konzentrationsanstieg, der dann zeitverzögert zu Wirkungen in Meeresorganismen führen kann.

### **PFAS in Flüssen und Seen**

Messungen der Bundesländer und von Forschungsinstitutionen zeigen, dass neben PFOS und PFOA eine Reihe weiterer PFAS die Binnengewässer befrachten. Es zeigt sich auch, dass

Industrieansiedlungen oder andere besonders belastete Orte in den Einzugsgebieten zu erhöhten PFAS Konzentrationen in den Flüssen führen.

Die PFAS-Belastung der Gewässer ist wahrscheinlich größer als gegenwärtig bekannt, denn die Vielzahl der PFAS kann mit der Einzelstoffanalytik kaum erfasst werden. Erschwerend kommt hinzu, dass analytische Standards lediglich für einen kleinen Teil zur Verfügung stehen. Um die Gesamtbelastung zu ermitteln, werden daher zunehmend summarische Methoden in der PFAS Gewässer- und Abwasseranalytik eingesetzt. Summarische Untersuchungen der Umweltprobenbank des Bundes in Fischen und Schwebstoffen bestätigen, dass die PFAS Gesamtbelastung der Gewässer und ihre Wirkungen um ein Vielfaches höher sein können als bislang angenommen [15]. Mit der Einzelstoffanalytik können lokale Belastungen oder Verdachtsstoffe weiter spezifiziert werden.

Für häufig beschriebene und sehr gut untersuchte PFAS, wie PFOS und andere langkettige Perfluoralkylsäuren, für die bereits EU- und weltweite Regulierungen existieren oder in Vorbereitung sind, zeichnen sich in den Daten der Bundesländer, der Umweltprobenbank und wissenschaftlicher Literatur abnehmende Trends ab, weil die Unternehmen zunehmend auf kurz-kettige Verbindungen sowie auf Polyfluorether umstellen, die weniger gut untersucht sind und deren Verwendung weitgehend unreguliert ist. Derartige Verbindungen werden jedoch beispielsweise im Rhein in zunehmenden Konzentrationen nachgewiesen [16].

### **Untersuchungen der Bundesländer**

Zu den PFAS Untersuchungen der Bundesländer gehört das Monitoring nach WRRL sowie Projekte zur Charakterisierung der PFAS Belastung in einzelnen Flussgebieten und bekannten Schwerpunktgebieten.

Gegenwärtig liegt dem UBA für die Überblicksmessstellen an deutschen Flüssen zumindest je ein Messergebnis von 2012–2018 vor. In diesem Zeitraum kam es für die heute gültige UQN an etwa einem Drittel der Messstellen zu Überschreitungen.

Neben den Untersuchungen an den LAWA-Messstellen untersuchen die Bundesländer PFAS Belastungen auch an operativen Messstellen und in anlassbezogenen Sonderuntersuchungen (z. B. Gewässer im Umkreis von Flughäfen oder in belasteten landwirtschaftlichen Flächen).

Alle Messungen bestätigen, dass PFAS in den Gewässern präsent sind. Durch die hohe Persistenz sind eine Anreicherung in Senken und langfristige Auswirkungen in Ökosystemen möglich.

Mit Blick auf die ubiquitäre PFAS Belastung greift der Gewässerschutz mit der klassischen UQN Ableitung zu kurz, da er langfristige Risiken durch die persistenten Stoffe und ihre weiträumige Verteilung in den Medien außer Acht lässt.

## 5.5 Grund-, Roh- und Trinkwasser

- *Der punktuelle und diffuse Eintrag von PFAS in das Grundwasser führt dort zu einer tendenziell flächenhaften Belastung. Notwendige weiterführende Aufbereitungsverfahren führen zwangsläufig zu erheblichen Mehrkosten für die Verbraucher sowie wachsende Umweltbelastungen bei der Entsorgung von Reststoffen.*
- *Die Datenlage bei den Wasserbehörden und Wasserversorgern ist kontinuierlich zu verbessern; insbesondere kleinere Wasserversorgungsunternehmen sind stärker zu sensibilisieren.*
- *Sekundärbelastungen durch Nutzung von belasteten Grundwasservorkommen sind nach Möglichkeit zu unterbinden.*
- *Der Vollzug der boden- und wasserrechtlichen Anforderungen ist integral auszurichten.*
- *Weitergehende Forschung zum Eintrag und Verhalten von PFAS im Grundwasser sowie zu ressourceneffizienten Aufbereitungsverfahren ist dringend anzustoßen.*

### 5.5.1 Einträge in das Grundwasser

Einträge von PFAS in Grundwasser resultieren aus der Verwendung von fluorhaltigen Schaumlöschmitteln oder aus betrieblichen Anwendungen, insbesondere auch aus PFAS-relevanten Altlasten. Als weitere Eintragspfade kommen die atmosphärische Deposition, Depo-niesickerwässer, nicht hinreichend überwachte Materialaufbringung (Klärschlämme, Dünger, Bioabfall, Pflanzenschutzmittel) oder Bewässerungen/Infiltrationen mit PFAS-belastetem Grund- oder Oberflächenwasser (siehe Kapitel 5.5.3) in Betracht. Ein Nachweis der konkreten Ursachen ist vielfach aufgrund unsicherer Datenlage noch nicht möglich.

Durch die vielfältigen Eintragungsszenarien, die extreme Stabilität und die teilweise hohe Mobilität der Verbindungen wird davon ausgegangen, dass PFAS mittlerweile flächenhaft im Grundwasser verbreitet sind. Laut UBA [18] zeigte eine Untersuchung des Grundwassers in 15 Bundesländern (i. d. R. konzentriert auf Regionen und Messstellen, in deren Einzugsgebiet PFAS-Belastungen bekannt sind oder erwartet wurden), dass PFAS bereits an über 70 % der Messstellen nachweisbar sind. Kurzkettenige Verbindungen sind in Böden und im Grundwasser sehr mobil.

Eine systematische flächendeckende Untersuchung aller Grundwassermessstellen erfolgt bisher in der Regel nicht. Jedoch sind verschiedene PFAS-Einzelstoffe Bestandteil der freiwilligen Schadstoffüberwachungsliste (Voluntary Groundwater Watch List, Juni 2019). Untersuchungen konzentrieren sich in der Regel auf Regionen bzw. Messstellen, in deren Einzugsgebiet PFAS-Belastungen bekannt sind oder erwartet werden können.

Auf die weiteren Auswirkungen belasteter Grundwasservorkommen wird in den nachfolgenden Abschnitten eingegangen.

### **5.5.2 Auswirkungen für die Trinkwassergewinnung**

Die Grundwasserqualität hat unmittelbaren Einfluss auf die Qualität des Roh- und Trinkwassers.

Bei Trinkwassergewinnung mit Uferfiltratanteilen oder bei direkter Entnahme aus Oberflächengewässern kann die PFAS-Belastung von Oberflächengewässern (vgl. Kapitel 5.4) oder die Einleitung PFAS-haltiger Abwässer (vgl. Kapitel 5.1) zu einem Risiko für die Trinkwasserversorgung führen.

PFAS-Belastungen im Einzugsgebiet erfordern zum einen Maßnahmen an der Quelle sowie ein aufwändiges Gegensteuern seitens der Wasserversorgungsunternehmen, um durch geeignete Aufbereitungsmaßnahmen eine gesundheitlich unbedenkliche Trinkwasserversorgung sicherstellen zu können.

In der Trinkwasseraufbereitung konnten durch den Einsatz von Aktivkohle sowie von Umkehrosomemembranen PFAS signifikant reduziert werden. Membranverfahren weisen die höchste Entfernungsleistung vor dem Ionenaustausch und der Adsorption an Aktivkohle auf. Notwendige weiterführende Aufbereitungsverfahren führen zwangsläufig zu erheblichen Mehrkosten für die Verbraucher sowie wachsende Umweltbelastungen bei der Entsorgung von Reststoffen.

Auch Grundwassersanierungsverfahren haben sich in jüngerer Vergangenheit deutlich weiterentwickelt, aber auch zu deutlich höheren Kosten geführt. Bei beiden Prozessen besteht die Notwendigkeit einer sicheren Entsorgung der PFAS-angereicherten Reststoffströme (Konzentrate, Regenerationslösungen, beladene Kohle).

Bei privaten Hausbrunnen/Eigenversorgungsanlagen können derartige Techniken nicht wirtschaftlich eingesetzt werden. Hier kommt bei entsprechenden Grundwasserbelastungen i. d. R. nur eine Nutzungseinschränkung bis hin zum Verbot in Betracht.

Bislang ist nach den derzeit gültigen Beurteilungsgrundlagen aufgrund der Anstrengungen der Wasserversorger von keiner gesundheitlichen Gefährdung durch das Trinkwasser der öffentlichen Wasserversorgung auszugehen. Die laufende Grenz- und Richtwertdiskussion (vgl. Kapitel 3) und die notwendige Umsetzung der neuen EU-PFAS-Regelungen in nationales Recht (vgl. Kapitel 4.2) muss aber zu einer Überarbeitung der nationalen Bewertung und Regulation und zur Notwendigkeit weiterer gegensteuernder Maßnahmen der Wasserversorger führen.

### **5.5.3 Auswirkungen auf Brauchwassernutzungen**

Grundwasser ist nicht nur Ressource für Roh- und Trinkwasser, sondern wird in der Industrie, in der Landwirtschaft und von Kommunen als Prozesswässer, für Beregnungszwecke, als Viehtränkwasser oder für andere Zwecke genutzt.

Bei einer PFAS-Belastung derartiger Brauchwässer kann es dadurch zu einem Transfer in andere Umweltmedien oder Nutztiere kommen (Sekundärbelastung). So kann eine Beregnung mit PFAS-belastetem Grundwasser zu Belastungen von bisher unbelasteten Böden mit PFAS führen (Kapitel 5.3 „Böden“). Im Zuge der Bearbeitung akuter Schadensfälle (z. B. Düsseldorf) wird deshalb regelmäßig die Grundwassernutzung für die landwirtschaftliche Bewässerung, als Viehtränkwasser sowie für die Bewässerung von Hausgärten untersagt.

Bei anderen Grundwassernutzungen (z. B. Infiltration, Kühlzwecke) von belasteten Grundwasservorkommen fehlen oftmals spezifische Erkenntnisse zum Verhalten der PFAS, so dass entsprechende Nutzungen allenfalls vorsorglich ausgeschlossen werden.

#### 5.5.4 Weitere Austräge aus PFAS-belastetem Grundwasser

Grundwasser steht im hydrologischen Austausch mit Oberflächengewässern und dient der Versorgung grundwasserabhängiger Landökosysteme. Das Grundwasser ist damit keine „Endstation“ für PFAS-Belastungen vielmehr können PFAS-Einträge im Grundwasser weitergetragen bzw. im Kreislauf geführt werden.

Neben den vorgenannten Fällen einer gezielten Grundwasserentnahme und anschließender Infiltration, Verrieselung, Bewässerung oder Einleitung kann PFAS-belastetes Grundwasser in Oberflächengewässer ausgetragen werden (Exfiltration) und dort zu einer Belastung mit PFAS führen (siehe Kapitel 5.4).

#### Handlungsbedarf:

- Verpflichtende und regelmäßige PFAS-Analyse des Roh- und Trinkwassers für alle Wasserversorger u.a. zur Verbesserung der Datenlage bei den Wasserbehörden und Wasserversorgern.
- Sensibilisierung insbesondere kleinerer Wasserversorgungsunternehmen über Ausmaß und Reichweite PFAS-bezogener Problemstellungen mit dem Ziel einer Analyse des Roh- und Trinkwassers mit sensitiven Messverfahren.
- Weiterentwicklung von Analytik und Bewertungsmaßstäben (medienübergreifende Harmonisierung von Werteregeln zu Einzelverbindungen, Bestimmungsgrenzen).
- Weitergehende Forschung zum Eintrag und Verhalten von PFAS im Grundwasser (z. B. Einfluss von Temperaturänderungen; Wechselwirkungen mit weiteren Stoffen im Aquifer) ist zu intensivieren.
- Angewandte Forschung zu ressourceneffizienten Aufbereitungsverfahren (selektiv, destruktiv, energieeffizient) ist dringend anzustoßen.
- Der Vollzug der boden- und wasserrechtlichen Anforderungen ist auf das integrale Problem PFAS auszurichten, z. B. im Hinblick auf eine konsequente Erfassung, Bewertung und Kartierung sowie Sicherung/Sanierung von PFAS-belasteten Grundwässern.

#### 5.6 Lebensmittel

- *Die mittlere wöchentliche Gesamtaufnahme von PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS der Bevölkerung in Europa und in Deutschland liegt nach Einschätzung der EFSA und des BfR derzeit bei Teilen der Bevölkerung über dem von der EFSA abgeleiteten TWI-Wert.*
- *Der TWI-Wert der EFSA bezieht sich auf die PFAS-Gesamtaufnahme des Menschen aus verschiedenen externen Quellen. Er kann nicht unmittelbar auf die lebensmittelrechtliche Beurteilung eines einzelnen Lebensmittels bezüglich PFAS übertragen werden und kann von der Lebensmittelüberwachung daher nicht unmittelbar angewandt werden.*

- *Derzeit gibt es keine gesetzlich festgelegten Grenzwerte für PFAS in Lebensmitteln. Auf EU-Ebene wurde mit den Diskussionen bezüglich der Einführung von Höchstgehalten für PFAS in Lebensmitteln begonnen.*
- *Auch außerhalb besonderer Kontaminationsgebiete finden sich in der Regel in Wildschweinnereien und teilweise in Süßwasserfischen höhere PFAS-Gehalte.*
- *Der Schwerpunkt der PFAS-Minderungsmaßnahmen muss auf der Emissionsseite liegen, d. h. das Einbringen von PFAS in die Umwelt und damit indirekt in Lebensmittel muss deutlich verringert werden.*
- *Bei der Analytik von PFAS sind aufgrund der im EFSA-Gutachten von 2020 vorgenommenen Absenkung der toxikologischen Referenzwerte wesentlich geringere Bestimmungsgrenzen anzustreben. Hierfür müssen die analytischen Methoden in den Laboratorien weiter verbessert werden.*

### **Bewertung von PFAS in Lebensmitteln**

Das von der EFSA im September 2020 veröffentlichte aktualisierte Gutachten [19] gibt eine aktualisierte tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (TWI) für die Summe von vier PFAS (PFOA, PFOS, PFHxS und PFNA) von 4,4 ng pro kg Körpergewicht pro Woche an. Der TWI-Wert gibt die wöchentliche PFAS-Menge an, die bei einer lebenslangen Aufnahme keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen beim Menschen erwarten lässt (siehe Kapitel 4.1). Eine Überschreitung des TWI führt nicht automatisch zu einer gesundheitlichen Beeinträchtigung. Bei dauerhafter Überschreitung des TWI-Werts ist sie jedoch nicht mehr mit der gebotenen Sicherheit auszuschließen. Der TWI-Wert der EFSA bezieht sich auf die lebenslang wöchentliche kumulierte Gesamtaufnahme der genannten vier Verbindungen über verschiedene Medien (z. B. über Lebensmittel, Trinkwasser, Hausstaub, Verbraucherprodukte). Daher kann der EFSA-TWI-Wert nicht unmittelbar auf die lebensmittelrechtliche Beurteilung eines einzelnen Lebensmittels bezüglich PFAS übertragen werden und von der Lebensmittelüberwachung nicht unmittelbar angewandt werden. Der TWI-Wert ermöglicht keine unmittelbare Aussage zur Sicherheit eines konkreten einzelnen Lebensmittels im lebensmittelrechtlichen Sinn.

Nach den Berechnungen der EFSA von 2020 beträgt die mittlere wöchentliche Gesamtaufnahme von PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS in der erwachsenen Bevölkerung in Europa im Median der europäischen Mitgliedstaaten 6,4 ng pro kg Körpergewicht für die Summe dieser vier PFAS (Lower Bound). Die Aufnahme liegt damit bei Teilen der Bevölkerung in Europa über dem abgeleiteten TWI-Wert.

Nach Ansicht des BfR in seiner Stellungnahme vom 28.06.2021 [20] ist die Schätzung der externen PFAS-Exposition insgesamt mit großen Unsicherheiten verbunden. Dies ist zu einem großen Teil darauf zurückzuführen, dass die Gehalte in den meisten Lebensmittelgruppen zu einem hohen Prozentsatz unterhalb der Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der derzeitigen verwendeten Analysemethoden liegen. Insgesamt kann die Schätzung der externen Exposition daher aufgrund der großen Unsicherheiten nur als eine näherungsweise Beschreibung der realen Expositionssituation für die Allgemeinbevölkerung in Deutschland angesehen werden. Insbesondere Aussagen zur Höhe der Anteile von einzelnen Lebensmittelgruppen an der Gesamtexposition durch Lebensmittel sind mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Im Ergebnis bestätigt die Expositionsschätzung des BfR für Verbraucherinnen und Verbraucher in Deutschland, dass die Lebensmittelhauptgruppen „Fisch und Fischerzeugnisse“ sowie



„Fleisch und Fleischerzeugnisse“ maßgeblich zur Exposition gegenüber PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS beitragen. Weitere tierische Produkte, die in geringerem Umfang Anteil an der Gesamtexposition haben, sind „Eier und Eiprodukte“ sowie „Milch und Milchprodukte“. Die Rolle pflanzlicher Lebensmittel an der Gesamtexposition gegenüber den vier PFAS lässt sich auf der Grundlage der vorliegenden Datenbasis kaum beurteilen, da die Gehalte an PFAS in dem überwiegenden Teil der untersuchten pflanzlichen Lebensmittel unterhalb der Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der derzeitigen verwendeten Analysemethoden liegen.

Im Ergebnis der externen Expositionsschätzung ergibt sich laut BfR aus der derzeitigen Datenlage, dass die langfristige Exposition Erwachsener in Deutschland gegenüber PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS durch Verzehr von Lebensmitteln außer Trinkwasser bei mittleren Gehalten etwa dem Zweifachen (Mittelwert) bis Fünffachen (95. Perzentil) der Höhe der von der EFSA abgeleiteten tolerierbaren wöchentlichen Aufnahmemenge entspricht (bei Heranwachsenden dem Zwei- bis Dreifachen (Mittelwert) und Fünf- bis Siebenfachen (95. Perzentil)). Im Median liegt die Höhe der Exposition der Erwachsenen im Bereich des TWI. Das heißt, dass die langfristige Exposition gegenüber PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS bei etwa 50 % der Teilnehmenden der Verzehrsstudie, die der Expositionsschätzung zugrunde liegt, über dem TWI liegt. Der Median der Exposition von Heranwachsenden entspricht bei mittleren Gehalten der Summe der vier PFAS in Lebensmitteln ebenfalls der Höhe des TWI bzw. in Abhängigkeit von der berücksichtigten Verzehrsstudie der zweifachen Höhe des TWI. Die Schätzung der externen Exposition jüngerer Kinder (1 bis 9 Jahre) gegenüber der Summe der vier PFAS entspricht teils bedingt durch den körperrgewichtbezogenen höheren Verzehr dem Zwei- bis Dreifachen der Höhe der Exposition Erwachsener. Die Exposition dieser Altersgruppe entspricht bei mittleren Gehalten an PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS in Lebensmitteln etwa dem Dreifachen (Median) bis 11-fachen (95. Perzentil) der Höhe des TWI.

Verbraucherinnen und Verbraucher können ihre Exposition gegenüber PFAS als ubiquitäre Umweltkontaminanten kaum beeinflussen. Auch kann die PFAS-Gesamtaufnahme der Bevölkerung durch Maßnahmen der Lebensmittelüberwachung wie z. B. eine lebensmittelrechtliche Beanstandung und ggf. das Außerverkehrnehmen eines einzelnen Lebensmittels mit durchschnittlichem PFAS-Gehalt nicht grundlegend verringert werden. Die Lebensmittelüberwachung muss sich daher auf besonders betroffene Lebensmittelgruppen und höher kontaminierte Lebensmittel konzentrieren. Daraus können auch Verzehrsempfehlungen resultieren.

### **PFAS-Gehalte in Lebensmitteln**

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) hat in seiner Stellungnahme zu PFAS in Lebensmitteln 2021 [21] eine Gesamtauswertung der Daten aus der Lebensmittelüberwachung von 2007 bis 2020 vorgenommen.

Danach waren nur die Hauptgruppen „Fleisch und Fleischerzeugnisse“, „Fisch und Fischerzeugnisse“ und partiell „Milch und Milchprodukte“ sowie „Gemüse und Gemüseprodukte“ ausreichend Gehaltsdaten vorhanden, um eine Differenzierung von Lebensmitteln mit hohen und niedrigeren Gehalten in der jeweiligen Gruppe zu ermöglichen. Insbesondere die Schätzungen der Lebensmittelgruppen „Fleisch und Fleischerzeugnisse“ und „Fisch und Fischerzeugnisse“ gehen mit vergleichbar geringeren Unsicherheiten einher. Die geringe Anzahl an Messergebnissen in anderen Lebensmittelhauptgruppen führt dazu, dass einzelne Lebensmittelhaupt-

gruppen nicht gut durch Gehaltsdaten repräsentiert sind, teilweise Einzelwerte einen sehr hohen Einfluss auf die Gesamtexposition haben und die Schätzung dadurch erhebliche Unsicherheiten aufweist (z. B. „Getreide und Produkte auf Getreidebasis“).

Die Hauptgruppen „Fleisch und Fleischerzeugnisse“, „Eier und Eiprodukte“ sowie „Fisch und Fischerzeugnisse“ zeigen nach dieser Auswertung die höchsten Gehalte. Die Gehalte in Fisch und Fleisch liegen dabei mit im Mittel 5,38 µg/kg bzw. 52,90 µg/kg deutlich oberhalb derer von Eiern, welche einen mittleren Gehalt von 0,36 µg/kg aufweisen. Die höchsten Gehalte in der Gruppe „Gemüse und Gemüseprodukte“ lassen sich auf hohe Gehalte von PFOA in der Untergruppe Algen (23 Proben) bzw. PFOS in der Untergruppe Pilze (21 Proben) zurückführen, die im Vergleich zur Verzehrsmenge überproportional häufig vertreten sind. In der Hauptgruppe „Fleisch und Fleischerzeugnisse“ weisen Innereien höhere Gehalte als Muskelfleisch auf. Wildschwein ist als die Tierart mit den höchsten Gehalten herauszustellen. Gleichzeitig ist anzumerken, dass sowohl Wildschwein als auch Innereien hinsichtlich der Probenzahl überproportional im Verhältnis zum Verzehr beprobt wurden. In der Untergruppe „Fisch und Fischerzeugnisse“ finden sich die höchsten Gehalte in Karpfen, Aal und sonstigen Süßwasserfischen bzw. deren Innereien. In der Lebensmittelhauptgruppe „Getreide und Produkte auf Getreidebasis“ liegen Ergebnisse zu 21 untersuchten Proben vor, von denen nur für eine Probe ein Gehalt oberhalb der Bestimmungsgrenze berichtet wurde.

Das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) hat eine Auswertung der Daten aus dem Lebensmittelmonitoring 2019 (in Leber und Fleisch vom Schwein, Vollmilch, Mineralwasser, Scholle, Schlankwels und Obst/Gemüsegläsern für Säuglinge und Kleinkinder) veröffentlicht [22]. Darin heißt es zusammenfassend:

Ein Vergleich des Fleisches und der Innereien an Land lebender Tiere aus Nutztierhaltung zeigt, dass Innereien mit PFOS bzw. PFOA belastet sein können. Muskelfleisch von Nutztieren weist in der Regel geringe PFAS-Gehalte auf im Vergleich zu Wild aus belasteten Gebieten, z. B. Wildschwein. Hauptkomponente der Kontaminationen bei den Innereien ist meistens PFOS, für das der Mittelwert in der Regel deutlich höher liegt als für die übrigen drei ausgewerteten Substanzen.

In einigen Bundesländern wurden insbesondere Wildschweinfleisch und -leber untersucht. Speziell vom Verzehr von Wildschweinleber wird abgeraten.

Befunde zu PFAS in Wildschweinfleisch und -leber sind beispielhaft einem Untersuchungsbericht des CVUA Freiburg vom 22.10.2019 zu entnehmen: Von 16 untersuchten Proben Wildschweinfleisch aus ganz Baden-Württemberg waren bei 14 keine PFAS nachweisbar. Eine Probe enthielt PFOA (2,2 µg/kg) und eine andere PFOS (2,9 µg/kg). Dagegen wurden in den Wildschweinlebern flächendeckend deutliche PFAS-Gehalte festgestellt [23]

Zu Wildschweinen und Wild allgemein gibt es auch einen Bericht aus Bayern [24]. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass PFAS vor allem in Wildschweinleber gefunden werden. Die Gehalte im Fleisch der Tiere sind meistens deutlich geringer. Die Gehalte in der Leber sind bei der weit überwiegenden Anzahl an Proben unabhängig vom Abschussort der Tiere so hoch, dass das LGL Bayern zur Reduzierung der persönlichen PFAS-Aufnahme vom Verzehr dieser Wildschweinlebern abrät. Die gemessenen Gehalte unterscheiden sich dabei nicht wesentlich von denen, die aus anderen Regionen Deutschlands berichtet werden. Weitere Untersuchungsergebnisse aus Bayern sind unter [25] einzusehen.



In Fischen werden deutlich höhere Konzentrationen an PFOS als an PFOA nachgewiesen. Ein Vergleich von Süßwasser- mit Meeresfischen zeigt, dass die PFAS-Kontamination von Süßwasserfischen tendenziell höher ist. Der Mittelwert der festgestellten PFOS-Gehalte ist bei fast allen Fischkategorien höher als der für PFOA, PFNA oder PFHxS. Bei den meisten Fischproben dürften die von der EFSA neu in die Bewertung einbezogenen Substanzen PFHxS und PFNA für die Bewertung eine untergeordnete Rolle spielen. Unter [26] ist ein Untersuchungsbericht des CVUA Freiburg zu Fischen aus dem Bodensee abrufbar.

Für viele weitere Lebensmittelwarengruppen, z. B. Gemüse oder Früchte, liegen derzeit noch keine flächendeckenden Daten zu PFAS-Gehalten vor. Messergebnisse lagen bisher weitgehend unterhalb der Bestimmungs- und Nachweisgrenzen und damit so niedrig, dass mit der verfügbaren Analytik eine verlässliche Quantifizierung nicht möglich war.

### **Regulierung/Höchstwerte**

Derzeit gibt es keine gesetzlich festgelegten Grenzwerte für PFAS in Lebensmitteln. Im Sachverständigenausschusses „Persistent Organic Pollutants in Food“ der Generaldirektion SANTE der EU-Kommission wurde mit den Diskussionen bezüglich der Einführung von Höchstgehalten für PFAS in Lebensmitteln begonnen.

### **Handlungsbedarf**

- Der Schwerpunkt der Minderungsmaßnahmen muss auf der Emissionsseite liegen, d. h. das Einbringen von PFAS in die Umwelt und damit indirekt in Lebensmittel muss deutlich verringert werden.
- Bei vielen Warengruppen sind die PFAS-Bestimmungsgrenzen derzeit noch nicht ausreichend niedrig, um belastbare Aussagen zur Einhaltung des derzeit von der EFSA hergeleiteten Summen-TWI zu treffen. Bei der Analytik von PFAS sind aufgrund der im EFSA-Gutachten von 2020 vorgenommenen Absenkung der toxikologischen Referenzwerte wesentlich geringere Bestimmungsgrenzen für PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS anzustreben. Hierfür müssen die analytischen Methoden der Laboratorien weiter verbessert werden, insbesondere für vielverzehrte Lebensmittel.
- Zu kurzkettingen und anderen langkettingen PFAS, die nicht von der EFSA bewertet wurden, gibt es derzeit keine allgemein akzeptierte toxikologische Bewertung und im Rahmen der amtlichen Lebensmittelüberwachung keine einheitlich vereinbarte Beurteilungsgrundlage.
- Aus Verbraucherschutzgründen sollte der Verzehr von Lebensmitteln, bei denen generell hohe Gehalte festgestellt werden, eingeschränkt werden. Hierzu wären entsprechende Verzehrsempfehlungen sinnvoll.

### **Immissionen von PFAS in Futtermittel und Transfer in Lebensmittel tierischen Ursprungs**

Bei Aufwuchs von Futterpflanzen auf PFAS-haltigen Böden kommt es zu einem Transfer von PFAS in verschiedene Pflanzenteile. Gefäß- und Feldversuche zeigen, dass eine Anreicherung insbesondere in den vegetativen Pflanzenteilen (z. B. Blätter, Stängel) und im geringeren

Maße in den generativen Pflanzenteilen (z. B. Körner, Früchte) stattfindet. Durch die Verfütterung von PFAS-haltigen Futterpflanzen an landwirtschaftliche Nutztiere kommt es ferner zu einem Transfer in Lebensmittel tierischer Herkunft. Transferstudien an landwirtschaftlichen Studien zeigen, dass infolge der längeren Halbwertszeit bevorzugt langkettige PFAS in den tierischen Geweben bioakkumulieren oder von milchgebenden oder eierlegenden Nutztieren über Milch bzw. Eier ausgeschieden werden.

Zum Schutz von Verbraucherinnen und Verbrauchern gegenüber PFAS in Lebensmitteln erarbeitet derzeit die EU-Kommission Vorschläge für PFAS-Höchstgehalte in verschiedenen Lebensmitteln tierischer Herkunft. Es ergibt sich daraus Regelungsbedarf im Futtermittelbereich, um Grenzwerte für PFAS in Futtermitteln zu etablieren, die unter Berücksichtigung des Transfergeschehens im landwirtschaftlichen Nutztier am Ende nicht zu einer Überschreitung von Höchstgehalten in tierischen Lebensmitteln führen. Umgekehrt besteht zudem die Herausforderung darin, dass sich bei der Einführung von Höchstgehalten für PFAS in tierischen Lebensmitteln aufgrund der Transferproblematik maximal tolerierbare PFAS-Gehalte in Futtermitteln ergeben, die mit den derzeitigen Analysemethoden nicht erfasst werden können und/oder die Nutzung von Futtermitteln von bestimmten landwirtschaftlichen Flächen einschränken würde. Darüber hinaus sind hinsichtlich der PFAS-Aufnahme durch landwirtschaftliche Nutztiere weitere Quellen zu berücksichtigen (z. B. Tränkwasser und Boden), für die bei der Ableitung von PFAS-Grenzwerten unter Berücksichtigung der Einhaltung der vorgeschlagenen Höchstgehalte in tierischen Lebensmitteln und des Transfers eine ähnliche Problematik zu erwarten ist.

Dies könnte sich unter Umständen auch auf Haltungformen von landwirtschaftlichen Nutztieren (Weidehaltung von Rindern, Freilandhaltung von Geflügel) auswirken.

## 6 Fazit

Anlass für den vorliegenden Bericht ist die gesundheitliche Neubewertung von PFAS durch die EFSA, die zu einer Verschärfung umwelt- und gesundheitsbezogener Anforderungswerte (Immission) führen wird.

PFAS in der Umwelt sind ein weltweites Problem, wenn auch mit unterschiedlicher regionaler Betroffenheit. PFAS werden in vielen Branchen und tausenden Produkten eingesetzt. Es gibt bislang kein genaues Gesamtbild der PFAS-Emittenten und ihren Beiträgen zu PFAS-Gehalten in der Umwelt und im Menschen.

Die ubiquitären PFAS-Belastungen sind eine typische Erscheinung des Anthropozäns. Wir haben die Gebrauchseigenschaften von Produkten mit dieser Stoffgruppe geschätzt, sie über einen langen Zeitraum verwendet und so unbewusst an der globalen Verteilung der PFAS mitgewirkt. Und wir verwenden sie noch immer.

Die in diesem Bericht vorgestellten Wirkungen und Auswirkungen von PFAS-Belastungen hinsichtlich der hier betrachteten Emissionsquellen und Immissionsmedien, die auch im Beschluss der 95. UMK, TOP 32 thematisiert werden [1], lassen sich in folgenden Defiziten und Forderungen zusammenfassen:

1. *Bemühungen zur Neutralisierung vorhandener Folgeschäden kommen an ihre Grenzen. Künftig muss vor allem die PFAS-Freisetzung minimiert werden. Gebrauchte werden Emissionsstandards, um die Einhaltung strengerer Immissionsziele zumindest langfristig sicherzustellen. Darüber hinaus ist der Verzicht auf den Einsatz von PFAS im Sinne des Zero-Pollution-Ansatzes anzustreben.*
2. *Die PFAS-emittierenden Branchen sind zu identifizieren und ihr Beitrag zu PFAS-Gehalten in der Umwelt und den Menschen zu quantifizieren.*
3. *Umweltrechtliche Maßnahmen müssen durch chemikalienrechtliche Herstellungs- und Anwendungsbeschränkungen im Rahmen der EU-Chemikalienstrategie unterstützt werden. Eine Regulierung der gesamten Stoffgruppe der PFAS ist erforderlich – möglichst durch internationale Vereinbarungen.*
4. *Die vorhandene Datenbasis reicht nicht zur sicheren wirkungspfadbezogenen Feststellung von Gefahren sowie zur Abschätzung der Umweltbelastungen aus und ist daher dringend zu erweitern.*
5. *Die Bewertungskriterien für alle betroffenen Umweltbereiche und Nutzungsarten müssen aneinander angepasst und aktualisiert werden.*
6. *Das gesundheitliche Risikopotenzial vorhandener PFAS-Belastungen muss der Öffentlichkeit verständlich dargestellt werden.*
7. *Notwendige Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung*
  - a. *Landes-, Bundes- und EU-Forschung sind stärker vernetzt und fachübergreifend voranzutreiben.*
  - b. *Verbreitungs- und Wirkungsmechanismen von PFAS in der Umwelt sind zu untersuchen.*
  - c. *Sinnvolle Summenparameter für die Emissionen aller relevanten PFAS-Verbindungen und die betroffenen Umweltbereiche sowie für alle Nutzungsarten von Wasser und Boden einschließlich rechtssicherer Analysenverfahren sind weiter zu entwickeln.*
  - d. *Der Stand der Technik ist fortzuentwickeln für Verfahren zur*
    - i. *Verminderung und Vermeidung von Emissionen über den Luft- und Abwasserpfad,*
    - ii. *Sanierung von Boden- und Grundwasserschäden,*
    - iii. *Aufbereitung von Trinkwasser.*
8. *Der Eintrag von PFAS in Lebensmittel muss deutlich verringert werden, da die mittlere wöchentliche Gesamtaufnahme von PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS der Bevölkerung in Europa und in Deutschland derzeit bei Teilen der Bevölkerung über dem von der EFSA abgeleiteten TWI-Wert liegt.*
9. *Die Behebung der dargestellten Defizite erfordert die Bereitstellung zusätzlicher Mittel für Forschung und Vollzug auf Bundes- und Landesebene.*

## Quellen

### Kapitel 1

- [1] 93. UMK, TOP 38: [endgueltiges-protokoll-93-umweltministerkonferenz\\_1575983525.pdf](#)

### Kapitel 2

- [1] <https://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/>
- [2] <https://www.efsa.europa.eu/de/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>

### Kapitel 3

- [1] <https://echa.europa.eu/de/-/five-european-states-call-for-evidence-on-broad-pfas-restriction>

### Kapitel 4

- [1] Umweltbundesamt (2017): Empfehlung des Umweltbundesamtes Fortschreibung der vorläufigen Bewertung von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) im Trinkwasser. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission Bundesgesundheitsblatt 2017, 60:350–352.
- [2] Umweltbundesamt (2020): Empfehlung des Umweltbundesamtes; Umgang mit per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) im Trinkwasser; Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission.
- [3] Zitat: When both PFOA and PFOS are found in drinking water, the combined concentrations of PFOA and PFOS should be compared with the 70 parts per trillion health advisory level. Vgl.:
- [https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-06/documents/drinkingwaterhealthadvisories\\_pfoa\\_pfos\\_updated\\_5.31.16.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-06/documents/drinkingwaterhealthadvisories_pfoa_pfos_updated_5.31.16.pdf)
- [4] [https://www.nj.gov/health/ceohs/documents/pfas\\_drinking%20water.pdf](https://www.nj.gov/health/ceohs/documents/pfas_drinking%20water.pdf)
- [5] [https://www.waterboards.ca.gov/pfas/drinking\\_water.html](https://www.waterboards.ca.gov/pfas/drinking_water.html)
- [6] Umweltbundesamt (2020): Bekanntmachung des Umweltbundesamtes HBM-II-Werte für Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) in Blutplasma – Stellungnahme der Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsblatt 63, 356–360.
- [7] Bundesgesundheitsblatt 2020 63:356–360  
<https://doi.org/10.1007/s00103-020-03101-2>

- [8] [https://www.lawa.de/documents/03\\_anlage\\_3\\_bericht\\_gfs\\_fuer\\_pfc\\_endfassung\\_22\\_11\\_2017\\_2\\_1552302208.pdf](https://www.lawa.de/documents/03_anlage_3_bericht_gfs_fuer_pfc_endfassung_22_11_2017_2_1552302208.pdf)

## Kapitel 5

- [1] <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/prioritaere-stoffe-in-kommunalen-klaanlagen>, UBA-Text 173/2020)
- [2] <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10193>:
- [3] Bund/Länder-Fachgruppe PFC (2020): PFC-Forschungsbedarf in Deutschland (unveröffentlicht).
- [4] Länderfinanzierungsprogramm (2015): Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen - Arbeitshilfe zur flächendeckenden Erfassung, standortbezogenen historischen Erkundung und zur Orientierenden Untersuchung (Projektstufe 1). Projekt-Nr. B 4.14. <http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/projektberichte/labo/>
- [5] LANUV NRW (2019): Fälle mit PFC-Belastungen im Boden und Grundwasser in Nordrhein-Westfalen. Bestandsaufnahme 2019. [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/altlast/20190709\\_ENDVERSION\\_Bericht\\_PFC\\_Bestandsaufnahme\\_2019\\_LOGO.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/altlast/20190709_ENDVERSION_Bericht_PFC_Bestandsaufnahme_2019_LOGO.pdf)
- [6] DESTATIS 2021: Wasserwirtschaft: Klärschlamm Entsorgung aus der öffentlichen Abwasserbehandlung <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Tabellen/ks-014-klarschlamm-verwert-art-2019.html>
- [7] Ulrich et. al. 2016: Entwicklung der PFC-Belastung in kommunalen Klärschlämmen in Bayern [https://www.lfu.bayern.de/analytik\\_stoffe/per\\_polyfluorierte\\_chemikalien/pfc\\_belastung\\_abwasser\\_klaerschlam/doc/entwicklung\\_pfc\\_belastung\\_ks.pdf](https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/per_polyfluorierte_chemikalien/pfc_belastung_abwasser_klaerschlam/doc/entwicklung_pfc_belastung_ks.pdf)
- [8] NRW 2010: Verbreitung von PFT in der Umwelt, LANUV-Fachbericht 34 [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3\\_fachberichte/30034.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30034.pdf)
- [9] BW 2007: Perfluorierte Tenside (PFT) im Klärschlamm in Baden-Württemberg [https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/Altdaten/202/Anlage\\_Klaerschlam.pdf](https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/Altdaten/202/Anlage_Klaerschlam.pdf)
- [10] ST 2008: Hintergrundbelastung kommunaler Kläranlagen mit perfluorierten Tensiden im Land Sachsen-Anhalt 2008 [https://lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik\\_und\\_Verwaltung/MLU/LAU/Abfallwirtschaft/Klaerschlam/Dateien/PFT\\_Bericht.pdf](https://lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Abfallwirtschaft/Klaerschlam/Dateien/PFT_Bericht.pdf)
- [11] Stahl 2015: Verbreitet, aber kaum bewertet – perfluorierte Alkylsubstanzen <https://doi.org/10.1002/nadc.201590174>
- [12] Sprösser et al. 2017: PFC-Einträge in Böden durch Kompost und Klärschlamm <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/58207>
- [13] Leitfaden (Entwurf) zur PFAS-Bewertung: Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFC-haltigen Bodenmaterials.

- [14] [https://www.landkreis-rastatt.de/site/kreis-rastatt/get/documents\\_E-1768307567/kreis-rastatt/Objekte/03\\_Aktuelles/PFC/Oberfl%C3%A4chengew%C3%A4sser-Monitoring\\_PFC\\_2020.pdf](https://www.landkreis-rastatt.de/site/kreis-rastatt/get/documents_E-1768307567/kreis-rastatt/Objekte/03_Aktuelles/PFC/Oberfl%C3%A4chengew%C3%A4sser-Monitoring_PFC_2020.pdf)
- [15] Joerss, H., Schramm, T.-R., Sun, L., Guo, C., Tang, J., & Ebinghaus, R. (2020). Per- and polyfluoroalkyl substances in Chinese and German river water – Point source- and country-specific fingerprints including unknown precursors. *Environmental Pollution*, 267. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115567>
- [16] Göckener, Bernd, Annette Fliedner, Heinz Rüdell, Ina Fettig, and Jan Koschorreck. 2021. "Exploring Unknown Per- and Polyfluoroalkyl Substances in the German Environment – The Total Oxidizable Precursor Assay as Helpful Tool in Research and Regulation." *Science of the Total Environment* 782 (August). [doi:10.1016/j.scitotenv.2021.146825](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146825).
- [17] [https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/Broschuere\\_NRW\\_ReineRuhr.pdf](https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/Broschuere_NRW_ReineRuhr.pdf)) oder [Bericht Rheinwasserqualität \(iksr.org\)](https://www.iksr.org/)
- [18] PFAS – Gekommen um zu bleiben, Schwerpunkt, Das Magazin des Umweltbundesamtes, UBA, 2020
- [19] [Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food – 2020 – EFSA Journal – Wiley Online Library](https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/5242/full)
- [20] [PFAS in Lebensmitteln: BfR bestätigt kritische Exposition gegenüber Industriechemikalien – Stellungnahme Nr. 020/2021 des BfR vom 28. Juni 2021 \(bund.de\)](https://www.bfr.bund.de/DE/News/Pressemitteilungen/2021/06/21_020_2021_Pfas_in_Lebensmitteln_bfr_bestaetigt_kritische_exposition_gegenueber_industriechemikalien.html)
- [21] <https://www.bfr.bund.de/cm/343/pfas-in-lebensmitteln-bfr-bestaetigt-kritische-exposition-gegenueber-industriechemikalien.pdf>
- [22] BVL-Report 15.3: Berichte zur Lebensmittelsicherheit 2019 – Monitoring Gemeinsamer Bericht des Bundes und der Länder, [https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/01\\_Lebensmittel/01\\_Im\\_mon\\_dokumente/01\\_Monitoring\\_Berichte/2019\\_Im\\_monitoring\\_bericht.pdf? blob=publicationFile&v=4](https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/01_Lebensmittel/01_Im_mon_dokumente/01_Monitoring_Berichte/2019_Im_monitoring_bericht.pdf?blob=publicationFile&v=4)
- [23] [https://www.ua-bw.de/pub/bei-trag.asp?subid=3&Thema\\_ID=5&ID=3061&lang=DE&Pdf=No](https://www.ua-bw.de/pub/bei-trag.asp?subid=3&Thema_ID=5&ID=3061&lang=DE&Pdf=No)
- [24] [Lebensmittel: Untersuchung von Lebensmitteln tierischen Ursprungs auf PFT \(bayern.de\)](https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/kontaminanten/pfas/index.htm)
- [25] <https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/kontaminanten/pfas/index.htm>
- [26] [https://www.ua-bw.de/pub/bei-trag.asp?subid=3&Thema\\_ID=7&ID=3344&Pdf=No&lang=DE](https://www.ua-bw.de/pub/bei-trag.asp?subid=3&Thema_ID=7&ID=3344&Pdf=No&lang=DE)

## Kapitel 6

- [1] 95. UMK, TOP 32: [endqueltiges-ergebnisprotokoll\\_95\\_umk\\_2\\_1608714572.pdf \(umweltministerkonferenz.de\)](https://www.umweltministerkonferenz.de/UMK/Dateien/2021/95 UMK TOP 32 endqueltiges-ergebnisprotokoll_95_umk_2_1608714572.pdf)