

Bericht des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz unter Beteiligung der Staatsministerien für Gesundheit und Pflege sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, unter Mitwirkung der Bayerischen Landesämter für Umwelt, für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit sowie der Landesanstalt für Landwirtschaft gemäß LT-Beschluss Drs. 18/18848:

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in Bayern

– Bericht 09.2022 –

Anlage: PFAS-Fallliste

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Auftrag	5
1.2	Stoffgruppe, Verwendung, Eigenschaften	5
1.3	Eintragspfade in die Umwelt	7
2	Situation in Bayern	8
2.1	Erfassung von PFAS-Fällen – PFAS-Fallliste	8
2.2	Altlasten, schädliche Bodenveränderungen und Verdachtsflächen	11
2.3	Oberflächengewässer	12
2.3.1	Schadstoffuntersuchungen in Oberflächengewässern	12
2.3.2	Untersuchungen in wildlebenden Fischen – Fischeschadstoffmonitoring	19
2.4	Grundwasser	22
2.4.1	Flächendeckendes Grundwassermonitoring	22
2.4.2	Projekt „Klimaanpassung und Wasserversorgung in Bayern“ - Uferfiltratbeeinflusste Wassergewinnungen	24
2.5	Boden	25
2.6	Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze – Landwirtschaft und Gartenbau	29
2.7	Lebensmittel (ohne Trinkwasser) / Futtermittel	32
2.7.1	Einführung	32
2.7.2	Generelles Vorgehen bei der Beurteilung von Lebensmitteln	33
2.7.3	Eigene Untersuchungsprogramme des LGL	34
2.7.4	Vorgegebene Untersuchungsprogramme: Untersuchungen im Rahmen des bundesweiten Lebensmittelmonitorings	36
2.7.5	Risikoorientierte Probenahme	36
2.7.6	Futtermittel	37
2.8	Menschliche Gesundheit	38
2.8.1	Toxikokinetik von PFAS	38
2.8.2	Wirkungen auf die menschliche Gesundheit	38
2.8.3	Bayerische Initiativen zur Ermittlung der internen PFAS-Belastung der Bevölkerung	40

2.9	Trinkwasser	43
2.9.1	Gesetzliche Regelungen.....	43
2.9.2	Trinkwasseruntersuchungen.....	44
3	Nationale und internationale Regelungen	45
3.1	Nationale Regelungen	45
3.1.1	Boden, Altlasten und schädliche Bodenveränderungen	45
3.1.2	Grundwasser	45
3.1.3	Oberirdische Gewässer	46
3.1.4	Abwasser	46
3.1.5	Immissionsschutz	49
3.2	Internationale Regelungen.....	49
4	Wissenschaftlich-technischer Kenntnisstand, Forschungsbedarf	51
4.1	Sanierungsverfahren für PFAS-Schäden in Boden und Grundwasser (Nachsorge)	51
4.2	Technologien zur Vermeidung von PFAS-Einträgen (Vorsorge).....	52
5	Fazit / Zusammenfassung / Ausblick	53
	Quellen / Links / weiterführende Informationen.....	56

Vorbemerkung:

Die Staatsregierung nimmt das Thema PFAS (aktuelle Bezeichnung für PFC) und die Anliegen der Bürger und der Verantwortlichen sehr ernst. Der Schutz der Bevölkerung steht dabei im Mittelpunkt. Zahlreiche PFAS wurden in der Vergangenheit entsprechend der jeweils geltenden Rechtslage legal eingesetzt, beispielsweise in der Industrie oder als Löschschäume bei der Feuerwehr (z. B. auf zivilen und militärischen Flughäfen). Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) und Perfluoroktansäure (PFOA) sind über die europäische Verordnung zu persistenten Stoffen mittlerweile weitestgehend verboten. U. a. Deutschland treibt die Regulierung von PFAS stark voran.

Dem Verdacht auf Altlasten oder schädliche Bodenveränderungen durch PFAS wird im Einzelfall durch Untersuchungen vor Ort nachgegangen. Zuständige Behörde in Bayern für Boden, Wasser und Gesundheit sind zunächst die Kreisverwaltungsbehörden, unterstützt werden sie durch die Fachbehörden. Zudem wurden auch die jeweiligen Bezirksregierungen gebeten, die Kreisverwaltungsbehörden beim Thema PFAS zu unterstützen. Die Bearbeitung der Fälle richtet sich nach den bundes- und landesrechtlichen Vorgaben. Ziel ist es, weitere PFAS-Einträge durch den Boden in Grundwasser und Oberflächengewässer langfristig zu vermindern und bestenfalls zu verhindern.

Informationen zu den jeweiligen Einzelfällen erhalten Betroffene von den Kreisverwaltungsbehörden. Diese stellen auch transparent Informationen für die Öffentlichkeit zur Verfügung: Für allgemeine Fragen zu PFAS in Bezug auf Gesundheit, Trinkwasser und Lebensmittel sowie Wasser, Boden, Luft und Natur bieten das LfU und das LGL eine Anlaufstelle an. Die PFAS-Infoline ist für Bürger, Kommunen und Behörden erreichbar. Auch entsprechende FAQs sind für jedermann im Internet verfügbar.

1 Einleitung

1.1 Auftrag

Mit Beschluss vom 11.11.2021 (Drs. 18/18848) wird die Staatsregierung aufgefordert, dem Bayerischen Landtag einen Bericht über die aktuelle PFAS-Situation in Bayern alle zwei Jahre schriftlich vorzulegen. Es soll damit der Fachbericht des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) „Per- und polyfluorierte Chemikalien in Bayern – Untersuchungen 2006 – 2018“ [1], fortgeschrieben werden. Insbesondere soll der Bericht enthalten:

- eine Übersicht zu einer Auswahl an dem LfU bekannten PFAS-Fällen in Bayern, insbesondere mit den aktuellen Bearbeitungsständen
- eine Übersicht zu Belastungen von Lebensmitteln
- eine Übersicht zu den Themen menschliche Gesundheit und Trinkwasser
- den aktuellen fachlich-technischen Kenntnisstand
- aktuelle Informationen zu bundes- und EU-weiten Aktivitäten bei der Vor- und Nachsorge.

1.2 Stoffgruppe, Verwendung, Eigenschaften

Die Stoffgruppe der PFAS umfasst ca. 4.700 Einzelstoffe, von denen bis heute weniger als 1 % analytisch nachweisbar sind. Langlebigkeit und hohe Mobilität dieser Substanzen haben dazu geführt, dass sie mittlerweile weltweit und in den verschiedensten Umweltmatrices nachgewiesen werden können. PFAS sind definiert als fluorierte Stoffe, die mindestens ein vollständig fluoriertes Methyl- oder Methylen-Kohlenstoffatom (ohne daran gebundene H/Cl/Br/I-Atome) enthalten, d. h. bis auf wenige bekannte Ausnahmen ist jeder Stoff mit mindestens einer perfluorierten Methylgruppe ($-\text{CF}_3$) oder einer perfluorierten Methylengruppe ($-\text{CF}_2-$) ein PFAS [2].

Grundsätzlich wird zwischen Polymeren (z. B. Polytetrafluorethylen PTFE = Teflon) und Nicht-Polymeren unterschieden, bei Letzteren zusätzlich zwischen langkettigen (z. B. Perfluorooctansulfonsäure PFOS, Perfluorooctansäure PFOA) und kurzkettigen (z. B. Perfluor-

butansulfonsäure PFBS) Verbindungen, die unterschiedliche Umwelteigenschaften aufweisen. Die in diesem Bericht aufgeführten PFAS besitzen eine Mindestkettenlänge von 4 C-Atomen.

PFAS werden seit den 1950er Jahren hergestellt und seitdem aufgrund ihrer wasser-, schmutz- und ölabweisenden Eigenschaften in zahlreichen Industrie- und Konsumprodukten eingesetzt. So finden sich PFAS beispielsweise in

- Feuerlöschschäumen (filmbildende Schäume zum Löschen von Flüssigkeitsbränden)
- Teflonprodukten (Antihafbeschichtung von Pfannen, Backformen, Bügeleisen / hitzeabweisende Schilde und Kacheln)
- medizinischen Produkten (Dichtungen, Gefäßprothesen)
- Papier- und Druckerzeugnissen (Pizza- und Burgerkartons, Kaffeebecher)
- Textilien (wasserdichte und atmungsaktive Membranen in Outdoorbekleidung, öl- und schmutzabweisende Arbeitskleidung, Teppiche, Heimtextilien, technische Textilien wie Filtermatten, Autositze u.v.m.)
- Kälte- und Treibmitteln
- Galvaniken (Netzmittel).

Grundsätzlich verhalten sich PFAS – als typische Vertreter der persistenten organischen Schadstoffe (POP) – in der Umwelt persistent, d. h. sie werden dort nicht abgebaut („Ewigkeitschemikalien“). Erst bei einer Hochtemperaturbehandlung und bei langen Verweilzeiten können PFAS-Moleküle vollständig zerstört werden.

Manche PFAS reichern sich in Organismen und entlang der Nahrungskette an und können damit auch Auswirkungen auf den Menschen haben. Andere PFAS sind sehr mobil im Wasser und Boden, sie lösen sich gut in Wasser, werden vom Boden kaum zurückgehalten und erreichen damit schnell das Grundwasser [3].

Für weitergehende Informationen wird auf [1] und [4] verwiesen, für eine Zusammenfassung auf das Magazin 1/2020 des Umweltbundesamtes (UBA) „PFAS – Gekommen, um zu bleiben“ [3].

1.3 Eintragspfade in die Umwelt

PFAS können über verschiedene Pfade in die Umwelt gelangen (Abb. 1). Eine direkte Freisetzung der PFAS über den Luft- und Abwasserpfad in die Umwelt kann bei der industriellen Produktion und Nutzung stattfinden. Aber auch durch die Verwendung PFAS-haltiger Konsumprodukte im Privathaushalt wie Textilien, Imprägniersprays, Lebensmittelverpackungen, Kosmetika oder Reinigungsmittel, können PFAS in die Luft oder über das Abwasser in die Kläranlagen gelangen. In den Kläranlagen wird der Großteil der Substanzen aufgrund der hohen Persistenz nicht oder nur teilweise abgebaut und adsorbiert entweder an den Klärschlamm oder wird über das gereinigte Abwasser in die Oberflächengewässer eingeleitet. In Bayern ist aktuell jedoch kein Fall bekannt, wo durch Klärschlamm-aufbringung auf landwirtschaftlichen Flächen eine schädliche Bodenveränderung durch PFAS nachgewiesen wurde.

Punktquellen (z. B. schädliche Bodenveränderungen, Altlasten), die lokal zu hohen PFAS-Konzentrationen im Boden, Grundwasser und auch Oberflächengewässer führen, können in Bayern meist auf den Einsatz PFAS-haltiger Löschmittel bei Löschübungen oder Brandeinsätzen zurückgeführt werden (z. B. auf Militärflughäfen). Auch im Umfeld der Produktionsstandorte von Fluorpolymeren (z. B. in Gendorf, Lkr. Altötting) oder von metallbe- und verarbeitenden Betrieben (z. B. Galvaniken, Lkr. Nürnberger Land) können lokal hohe PFAS-Konzentrationen in der Umwelt auftreten.

Aufgrund der Persistenz können PFAS-Verbindungen oft weit entfernt vom Eintragungsort in Grund- und Oberflächenwasser nachgewiesen werden, eine Zuordnung zu einer Quelle (mit der grundsätzlichen Möglichkeit, diese zu sanieren) ist dann häufig schwierig bis unmöglich. Auch die weite Verbreitung von PFAS über die Nahrungskette erschwert ein zielgerichtetes Gegensteuern; so wurden bereits PFAS in Lebewesen der Arktis (Eisbären, Fischen, Vögeln u. a.) nachgewiesen [3].

Insbesondere die Verbreitung über den Luftweg stellt eine besondere, bisher kaum greifbare Problematik dar. So wurden bei Untersuchungen im bayerischen Alpenraum (fernab von Produktions- oder Einsatzstandorten) PFAS in verschiedenen Umweltkompartimenten (Niederschlag, Gewässer, Boden, Tiere) gefunden [5]. Erschwerend kommt hier hinzu, dass es bisher keine genormte Analytik für PFAS in der Luft gibt. Neuere Studien zeigen, dass PFOS und PFOA auch in weit entfernten, unbesiedelten oder wenig besiedelten Gebieten (Hochland von Tibet, Antarktis) im Regenwasser deutlich nachgewiesen wurde [6].

Sowohl der verantwortungsvolle Umgang mit PFAS im Rahmen der Vorsorge als auch die zielgerichtete Entfernung von PFAS aus den Umweltmedien im Rahmen der Nachsorge sind daher keine rein bayerischen, sondern ähnlich dem Klimawandel globale Aufgaben.

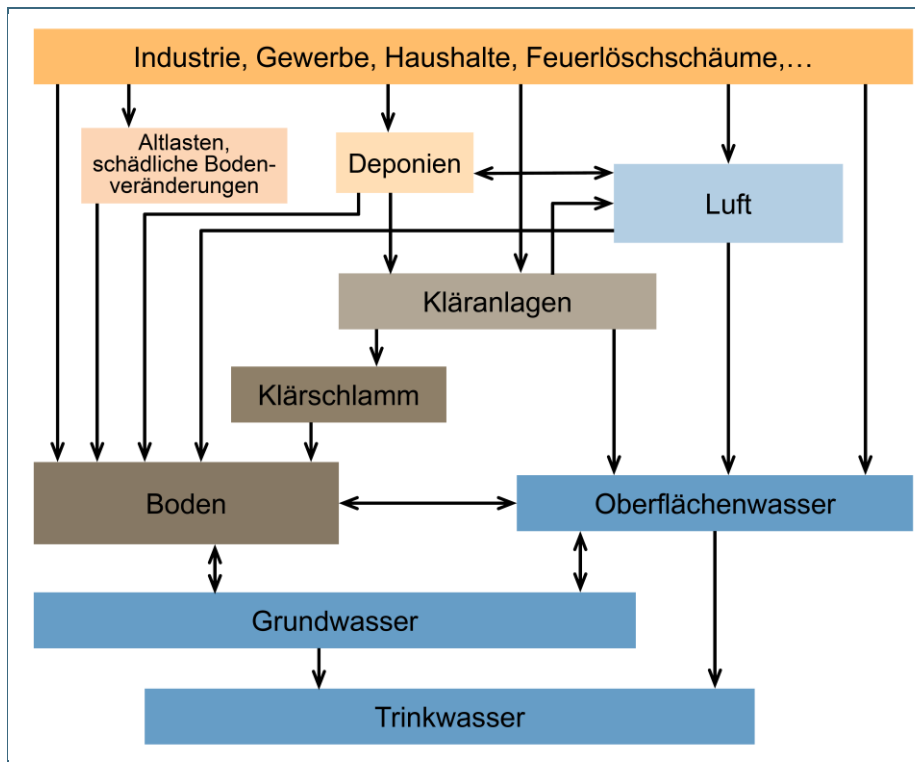


Abb. 1: Mögliche Eintragspfade von PFAS in die Umwelt

2 Situation in Bayern

2.1 Erfassung von PFAS-Fällen – PFAS-Fallliste

In der PFAS-Fallliste (Anlage) sind ergänzend zu den im Bodenschutzrecht definierten quellenbezogenen Altlasten (Altstandorte, Abtablagerungen) und schädlichen Bodenveränderungen (sB) mit den entsprechenden Verdachtsflächen auch Fälle mit unbekannter Quelle (Grund- und Oberflächenwasser, Boden) erfasst. Dies ist unverzichtbar im Hinblick auf die vernetzte fachübergreifende Nutzung der Informationen.

Die mit den verschiedenen berührten Fachdisziplinen im Rahmen der PFAS-Koordinierung konzipierte PFAS-Fallliste wurde durch das LfU erstellt und im Frühjahr 2022 durch die Regierungen in Zusammenarbeit mit den zuständigen Kreisverwaltungs- und Fachbehörden geprüft und ergänzt. Nach Auswertung der Rückmeldungen durch das LfU bildet die

Liste die Grundlage für die nachfolgenden Darstellungen der jeweiligen Situation in Bayern. Die Liste soll kontinuierlich fortgeschrieben und zu einem jährlichen Stichtag in Zusammenarbeit mit den Regierungen und den zuständigen Kreisverwaltungs- und Fachbehörden aktualisiert werden.

Die PFAS-Fallliste enthält aktuell 114 Fälle, die sich aufteilen in

- 32 Altlasten und schädliche Bodenveränderungen
- 58 Fälle mit Verdacht auf das Vorliegen einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung
- 24 Fälle mit unbekannter Quelle.

Die PFAS-Fälle sind über ganz Bayern verteilt (Tab. 1 und Abb. 2), wobei Fälle im urbanen Bereich gehäuft auftreten.

Tab. 1: Verteilung der PFAS-Fälle auf die Regierungsbezirke.

	Altlasten / sB	Verdachtsflächen auf das Vorliegen einer Altlast / sB	Fälle mit unbekannter Quelle	Summe
Bayern	32	58	24	114
Oberbayern	14	16	7	37
Niederbayern	1	3	3	7
Oberpfalz	2	2	2	6
Oberfranken	4	1	1	6
Mittelfranken	9	9	7	25
Unterfranken	0	11	2	13
Schwaben	2	16	2	20

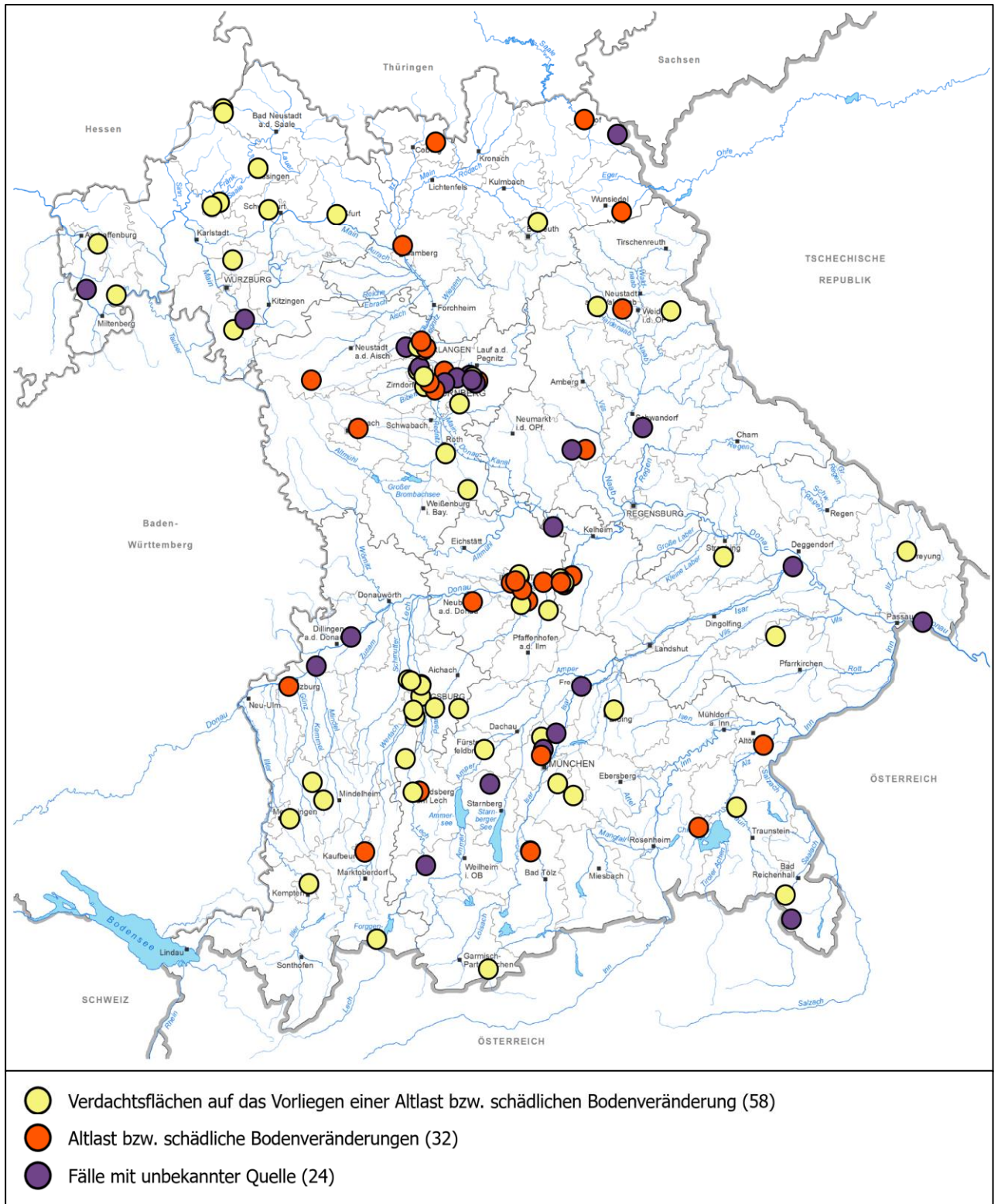


Abb. 2: Lage der Fälle der PFAS-Fallliste

2.2 Altlasten, schädliche Bodenveränderungen und Verdachtsflächen



Abb. 3: Stand der bodenschutzrechtlichen Bearbeitung bei den Fällen mit bekannter Quelle der PFAS-Fallliste (Stand: 19.08.2022).

Derzeit befinden sich alle bekannten PFAS-Fälle von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Verdachtsflächen in einer Phase der bodenschutzrechtlichen Bearbeitung (Abb. 3). Bei einzelnen Fällen liegen auf einer Fläche mehrere, voneinander getrennte Verdachtsbereiche vor; diese können sich in unterschiedlichen Bearbeitungsphasen befinden. Bei der Auswertung für Abb. 3 wurde in diesen Fällen der jeweils höchste Altlastenbearbeitungsschritt herangezogen.

Abb. 4 zeigt, dass der überwiegende Teil der bayerischen PFAS-Fälle mit bekannter Quelle auf den Umgang mit PFAS-haltigen Löschschaummitteln zurückgeht.

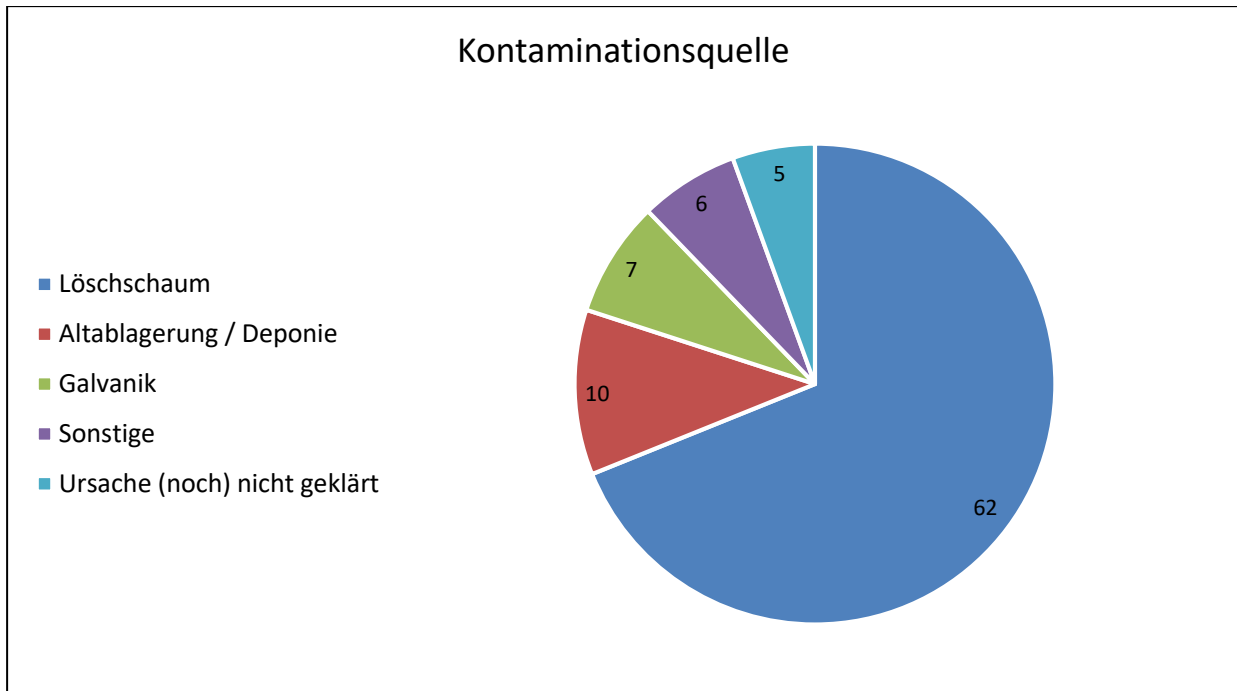


Abb. 4: Kontaminationsquelle

Grundsätzlich zählen PFAS-Fälle u. a. aufgrund ihrer fachlichen Komplexität (z. B. Stoffeigenschaften, hydrogeologische Verhältnisse, verschiedene betroffene Umweltmedien) und ihrer Größe (z. B. Flugplatz, Raffinerie, chemische Industrie) zu den bzgl. Untersuchung und Sanierung aufwändigsten Altlasten/sB. Damit verbunden ist zwangsläufig eine entsprechend lange Bearbeitungszeit. Man muss sich bewusst sein: Auch wenn der Nachschub an PFAS aus einer konkreten Quelle erfolgreich unterbunden wird (z. B. durch Sicherung der Quelle), ein Rückgang der Konzentrationen in den betroffenen Umweltmedien wird meistens erst deutlich verzögert erfolgen und kann sich ggf. über viele Jahre/Jahrzehnte hinziehen.

2.3 Oberflächengewässer

2.3.1 Schadstoffuntersuchungen in Oberflächengewässern

Die bayerischen Oberflächengewässer werden regelmäßig auf das Vorkommen von Schadstoffen, einschließlich diverser PFAS-Parameter, untersucht. Die Erkenntnisse zu

PFAS in den bayerischen Oberflächengewässern sind in den folgenden Abschnitten zusammengefasst, die Messdaten der einzelnen Beprobungen werden im Portal des Gewässerkundlichen Dienstes bereitgestellt [7].

Die folgenden Angaben beziehen sich i. W. auf den Zeitraum nach 2018; für vorhergehende Untersuchungen siehe [1].

Mit der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG) wird der Gewässerzustand in Europa vorrangig nach ökologischen Qualitätskomponenten und verschiedenen in den Tochterrichtlinien 2008/105/EG und 2013/39/EU festgelegten chemischen Parametern (prioritäre Stoffe) bewertet. Für die Beurteilung von Oberflächengewässern hinsichtlich ihres ökologischen und chemischen Zustands bezogen auf die Wasserkörperebene wurden für verschiedene Stoffe – darunter PFOS als einzigem Vertreter der Stoffgruppe PFAS – in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) vom 20. Juni 2016 Umweltqualitätsnormen (UQN) festgelegt. Für alle übrigen PFAS gibt es derzeit noch keine UQN. Dennoch werden die im Analysenumfang enthaltenen PFAS bei den Untersuchungen miterfasst.

Die Biota-UQN für PFOS und ihre Derivate beträgt für Oberflächengewässer 9,1 µg/kg und darf in Fischen (Biota) nicht überschritten werden. Der korrespondierende Wert für die Wasserphase beträgt 0,65 ng/L als Jahresdurchschnittswert (JD-UQN). Als zulässige Höchstkonzentration (ZHK-UQN) sind 36 µg/L (ZHK-UQN) festgelegt. Die Einhaltung der UQN ist über ein Biota-Monitoring nachzuweisen. Nur wenn dies nicht möglich ist, kann alternativ die JD-UQN in der Wasserphase verwendet werden.

Mit dem Messnetz der Überblicksüberwachung im Rahmen des Monitorings gemäß Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) werden die bayerischen Fließgewässer an 38 Messstellen untersucht (Abb. 5), deren Abfluss bezogen auf das Einzugsgebiet bedeutend ist. Da an diesen Messstellen die Belastungen des Einzugsgebietes integriert wiedergegeben werden, ist damit auch eine Einschätzung des oberhalb liegenden Bereiches möglich. Die Überblicksmessstellen sind dabei in drei Gruppen eingeteilt, die im Dreijahreszyklus untersucht werden.

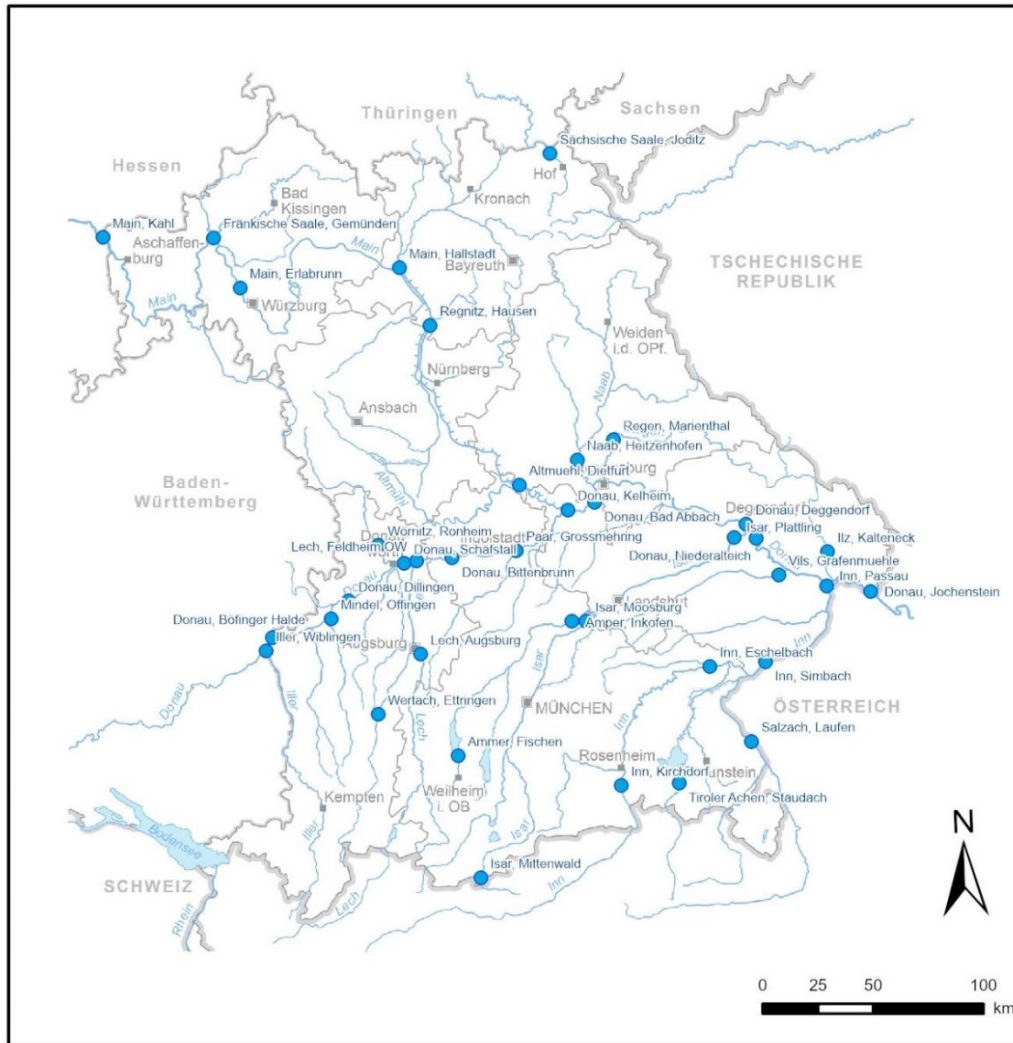


Abb. 5: Lage der 38 Überblicksmessstellen nach WRRL an den Fließgewässern, die im Dreijahreszyklus beprobt werden und an denen von 2015 bis 2020 vierteljährlich und seit 2021 monatlich PFAS in der Wasserphase untersucht werden.

2015 wurden die Untersuchungen an den Überblicksmessstellen der Fließgewässer um das PFAS-Spektrum erweitert, um einen Überblick über PFAS in der Wasserphase zu erhalten. Die Beprobung an den Messstellen innerhalb eines Jahres erfolgte bis zum Jahr 2020 vierteljährlich, seit 2021 werden die Messstellen an Fließgewässern monatlich über den Zeitraum eines Jahres beprobt.

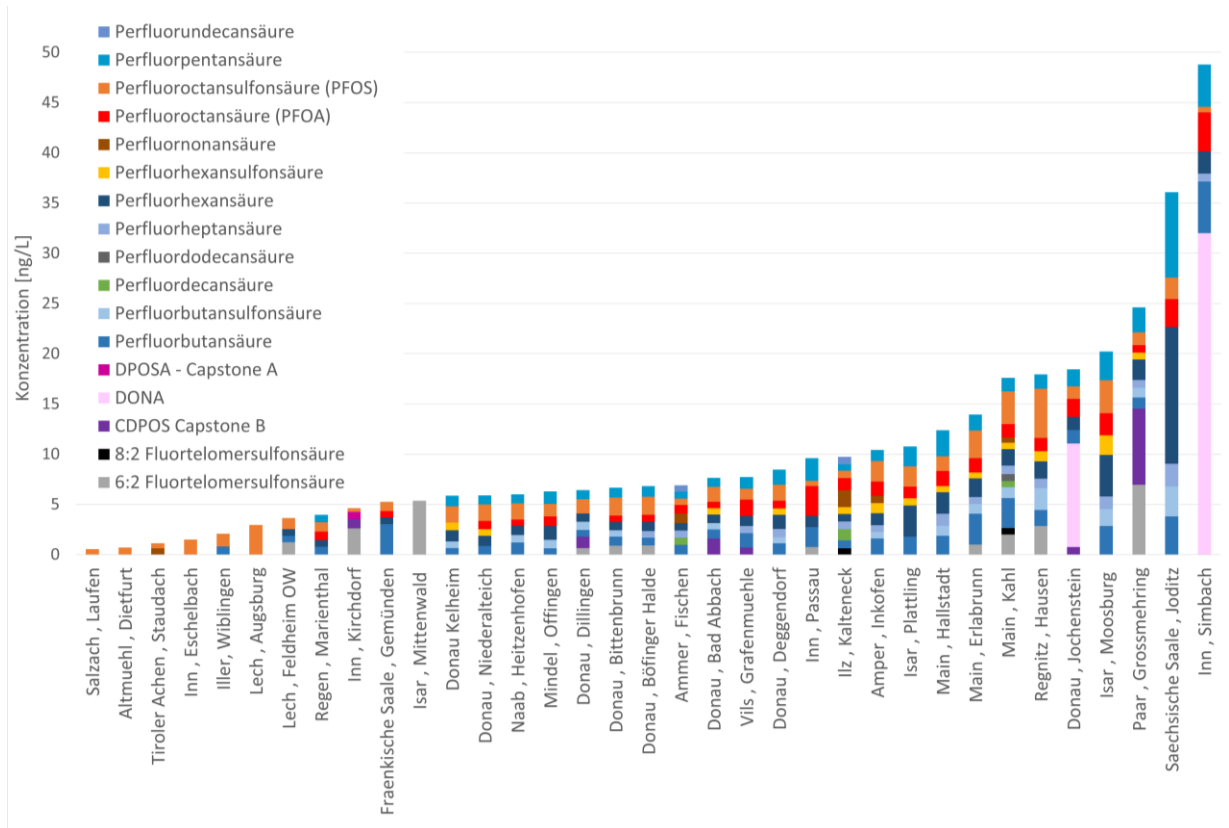


Abb. 6: Mittlere PFAS-Summenkonzentration in der Wasserphase der Fließgewässer, die 2018 bis 2020 beprobt wurden. Die Konzentrationen der Einzelverbindungen zeigen jeweils den aus drei bis vier einzelnen Untersuchungsergebnissen berechneten Mittelwert eines Jahres. Drei Überblicksmessstellen sind in der Grafik nicht dargestellt, da die Anzahl der erforderlichen Untersuchungen nicht ausreichte.

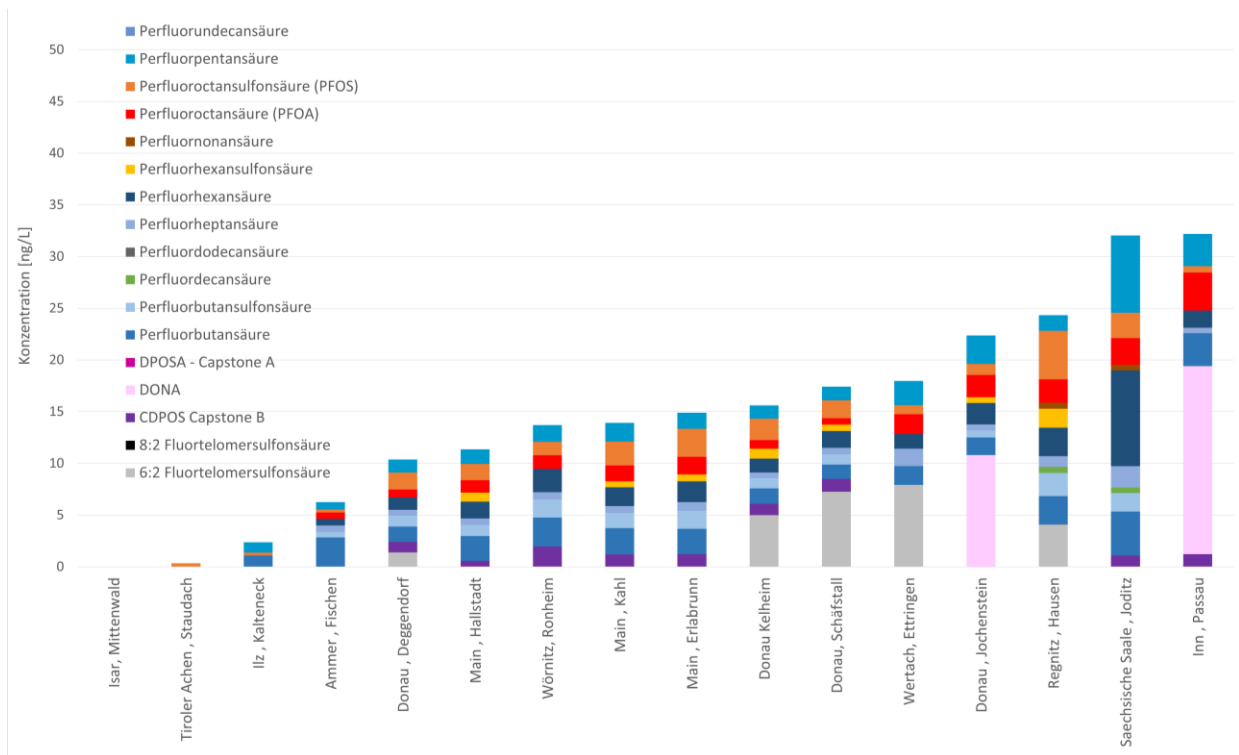


Abb. 7: Mittlere PFAS-Summenkonzentration in der Wasserphase der Fließgewässer, die 2021 beprobt wurden. Die Konzentrationen der Einzelverbindungen zeigen jeweils den aus zwölf einzelnen Untersuchungsergebnissen berechneten Mittelwert eines Jahres.

Abbildungen 6 und 7 fassen die Ergebnisse der von 2018 bis 2020 und 2021 durchgeführten Untersuchungen an den Überblicksmessstellen zusammen. Im Untersuchungszeitraum zwischen 2018-2020 wurde an allen untersuchten Messstellen mindestens ein Parameter größer der BG im Jahresmittel nachgewiesen (Abb. 6) und PFAS-Konzentrationen von bis zu 49 ng/L in der Summe erreicht (Inn, Simbach). Im Untersuchungsjahr 2021 wurden an 16 Überblicksmessstellen Beprobungen durchgeführt (Abb. 7), wobei mit Ausnahme der Isar (Mittenwald) an allen Messstellen mindestens ein Parameter größer der Bestimmungsgrenze gemessen wurde.

Die höchsten Jahresdurchschnittswerte treten in den Untersuchungszeiträumen 2018 bis 2020 und 2021 bei den PFAS-Parametern DONA, PFHxA und 6:2 Fluortelomersulfonsäure auf (Abb. 6 und 7), wohingegen 2015 bis 2017 PFOS, PFOA und PFHxA die höchsten Jahresdurchschnittskonzentrationen aufwiesen [1]. Anzumerken ist jedoch, dass DONA, Capstone A (DPOSA) und Capstone B (CDPOS) erst seit 2020 regelmäßig an den Überblicksmessstellen untersucht werden und DONA zwar in zum Teil hohen Konzentrationen nachgewiesen wird, jedoch nur an wenigen Messstellen im unteren Inn- und Donau-Einzugsgebiet über der Bestimmungsgrenze detektiert wurde.

Durch Projekte wie dem MOSAIC-Projekt (Monitoring Offensive Schadstoffe) und dem Projekt Uferfiltrat (Klimaanpassung und Wasserversorgung in Bayern) werden zusätzlich Wasserproben an weiteren bayerischen Standorten auf PFAS untersucht.

Ziel des MOSAIC-Projektes ist es, die bisherige Datengrundlage zur chemischen Belastungssituation in bayerischen Fließgewässern zu ergänzen. Hierfür werden in einem Zeitraum von 2018 bis 2023 etwa 90 Messstellen pro Jahr auf über 250 Parameter untersucht. Im Untersuchungsumfang sind hierbei auch zehn PFAS-Parameter und seit 2021 zusätzlich DONA, 6:2 FTSA, Capstone A (DPOSA) sowie Capstone B (CDPOS) enthalten (s. Tab. 2). Diese PFAS-Parameter werden an einer Messstelle jeweils für ein Jahr vierteljährlich untersucht. Bis einschließlich 2021 konnten so bisher 366 Messstellen an Fließgewässern beprobt werden.

Tab. 2: PFAS-Analytikspektrum im MOSAIC-Projekt mit Bestimmungsgrenzen (BG), Nachweishäufigkeiten in den Proben [%] (Proben mit Messwerten über der Bestimmungsgrenze) sowie Mittelwert und Maximalwert [ng/L] der einzelnen Substanzen bezogen auf alle Proben. Die Substanzen 6:2 FTSA, CDPOS, DONA und DPOSA werden im MOSAIC-Projekt seit 2021 routinemäßig untersucht.

Substanz	BG [ng/L]	Nachweishäufigkeit [%]	Mittelwert [ng/L]	Maximum [ng/L]
PFBA	1	52,5	3,0	710
PFBS	1	27,0	1,2	78
PFDA	1	1,6	0,5	6
PFHpA	1	12,7	1,0	71
PFHxA	1	36,4	2,3	160
PFHxS	1	12,6	1,6	360
PFNA	1	3,5	0,8	130
PFOA	1	32,0	3,5	650
PFOS	0,2	81,7	2,9	530
PFPeA	1	23,1	3,5	480
6:2 FTSA	1	5,6	0,6	12
CDPOS	1	20,6	1,5	49
DONA	1	5,3	41,0	2400
DPOSA	1	0,3	0,5	2,5

In den bisher untersuchten Gewässern konnten insgesamt 13 Messstellen identifiziert werden, deren PFAS-Konzentrationen deutlich erhöht waren (s. Abb. 8). In der Regel sind die Quellen bekannt. Bei unbekannter Quelle werden weiterführende Untersuchungen durchgeführt, um die Schadstoffquelle zu lokalisieren.

In den Jahren 2018-2021 konnten von den 14 im Rahmen des MOSAIC-Projektes untersuchten PFAS-Parameter folgende Verbindungen quantifiziert werden (s. a. Tab. 2):

- In weniger als 10 % der Proben wurden 6:2 FTSA, DONA, PFNA, PFDA und DPOSA (Capstone A) nachgewiesen.
- In 10 % bis 30 % der untersuchten Proben wurden PFBS, PFPeA, CDPOS (Capstone B), PFHxS und PFHpA nachgewiesen.
- In 30 % bis 82 % der Proben wurden PFOS, PFBA, PFHxA und PFOA detektiert, wobei PFOS mit der empfindlicheren Bestimmungsgrenze von 0,2 ng/L mit 81,7 % am häufigsten positive Befunde in den Proben aufwies.

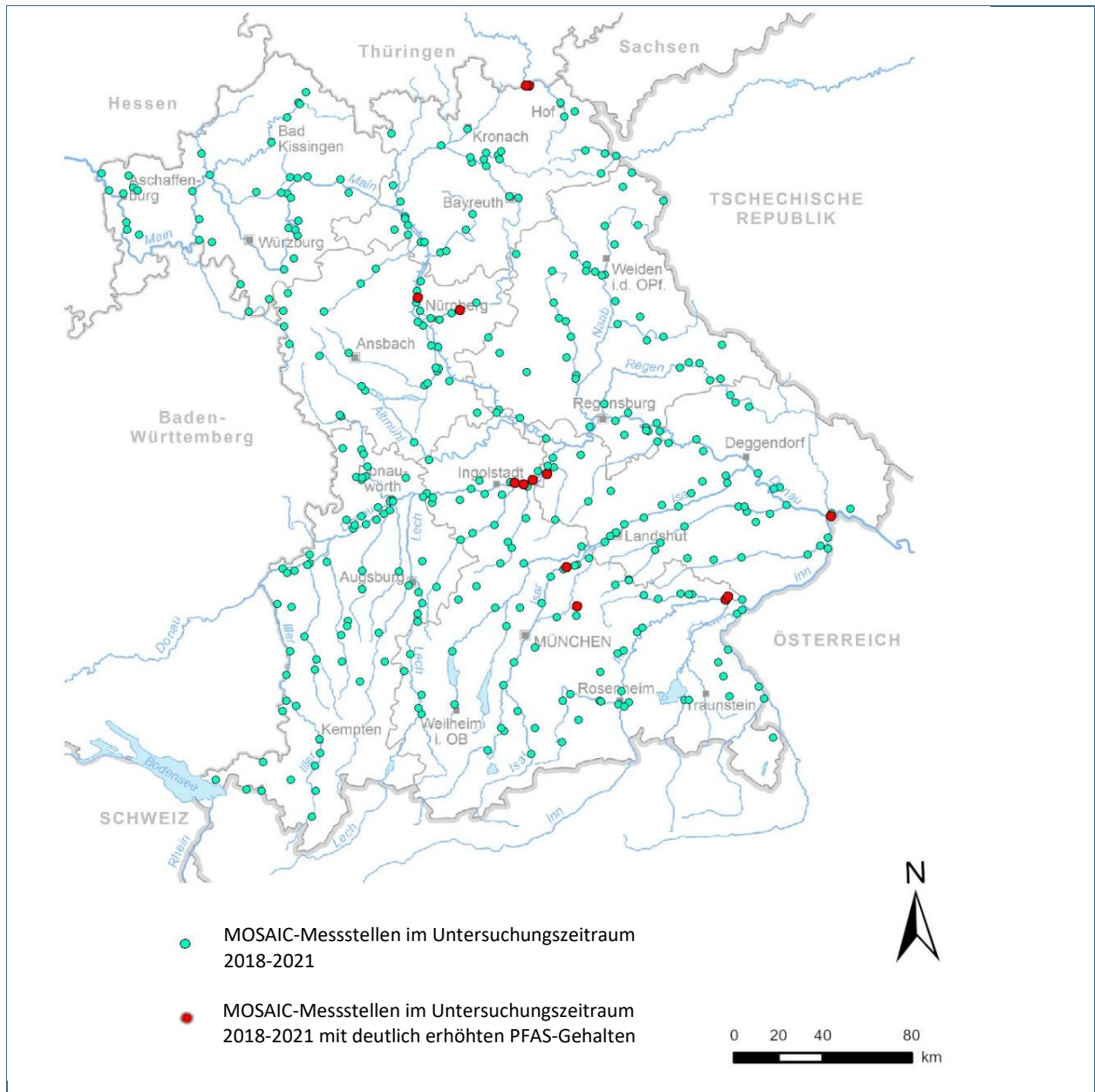


Abb. 8: Lage der MOSAIC-Messstellen, die zwischen 2018 und 2021 auf PFAS untersucht wurden.

Im Rahmen des Projektes Uferfiltrat (Klimaanpassung und Wasserversorgung in Bayern) wurden 157 Oberflächenwasserproben (Tages- bzw. Wochenmischproben) an 62 verschiedenen Standorten untersucht. Dabei wurde in 126 Proben mindestens eine PFAS-Verbindung oberhalb der Bestimmungsgrenze von 1 ng/L nachgewiesen, wobei die Gesamtkonzentration der PFAS im Mittel bei 13 ng/L (Median 4 ng/L) lag. Proben mit mehr als 100 ng/L PFAS traten im Umfeld bekannter Schadensfälle auf.

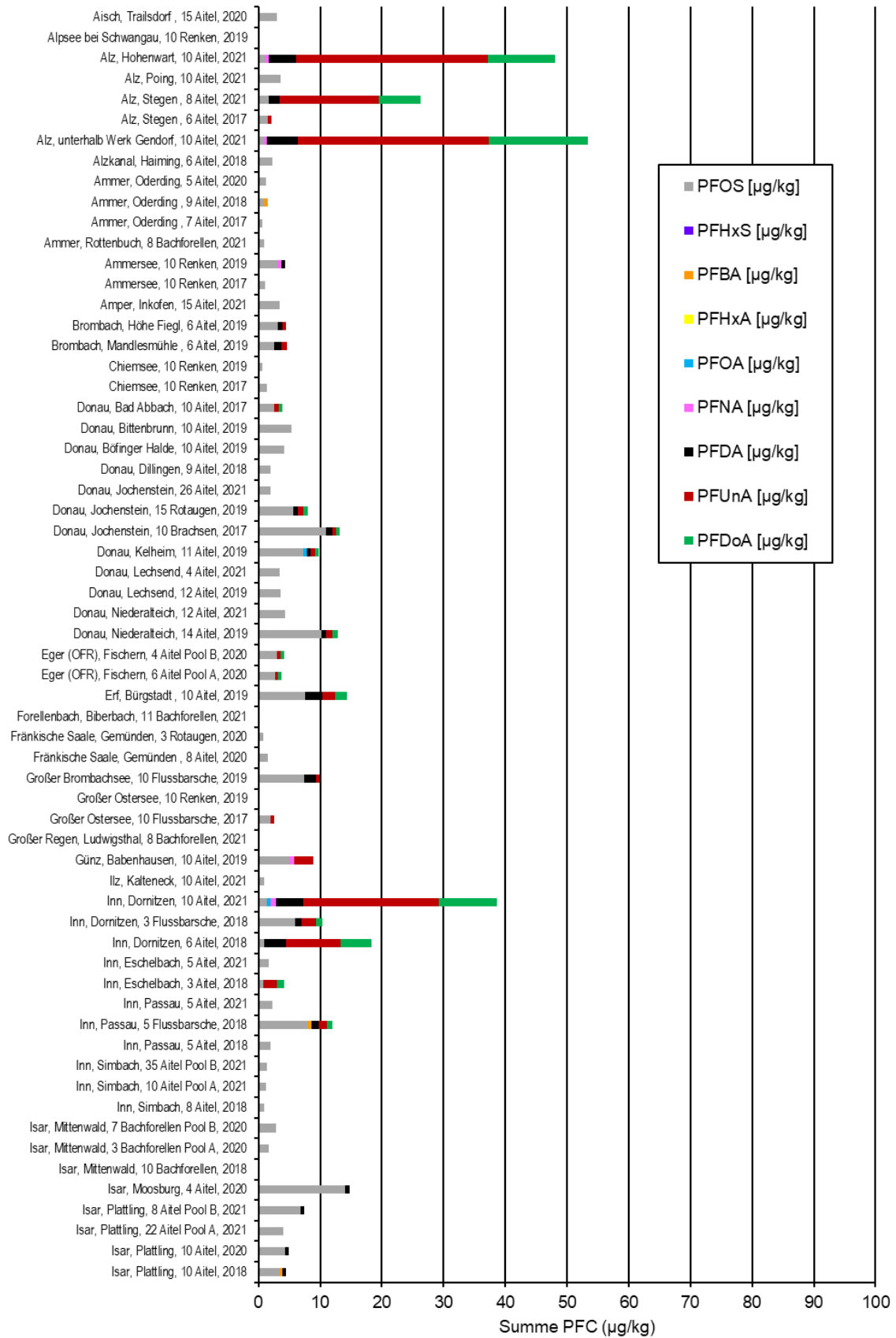
Nach der Häufigkeit ihres Auftretens wurden die Verbindungen PFOS, PFOA, PFHxA, PFBS, PFBA, PFHxS, PFPeA, H4PFOS und PFHpA in mehr als 10 Proben nachgewiesen. Keine Befunde gab es dagegen für PFDoA, H2PFDA und H4PFUnA. Weitere PFAS wurden in Einzelfällen detektiert.

Die größte Anzahl unterschiedlicher PFAS-Verbindungen in einer Probe wurden im Abstrom der Schadensfälle Flughafen Nürnberg (n = 11) bzw. Militärflughafen Ansbach (n = 10) nachgewiesen.

2.3.2 Untersuchungen in wildlebenden Fischen – Fischschadstoffmonitoring

Im Rahmen des bayerischen Fischschadstoffmonitorings werden jährlich an etwa 20 wechselnden Fließgewässerabschnitten und Seen wildlebende Fische entnommen, um u. a. die Umweltqualitätsnorm für PFOS zu überwachen. Im Zuge dieser Analysen werden seit 2012 weitere PFAS in den Muskulaturproben von Fischen untersucht. Hierzu werden in der Regel 10 Aitel, Rotaugen, Renken oder Bachforellen entnommen. Für die chemischen Analysen wird aus Muskulaturanteilen dieser Fische eine homogene Mischprobe/Poolprobe pro Stelle hergestellt und untersucht.

Die Ergebnisse der Jahre 2017 bis 2021 sind in Abb. 9 dargestellt. Messwerte kleiner der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/kg werden nicht dargestellt (s. a. [1] [8] [9]).



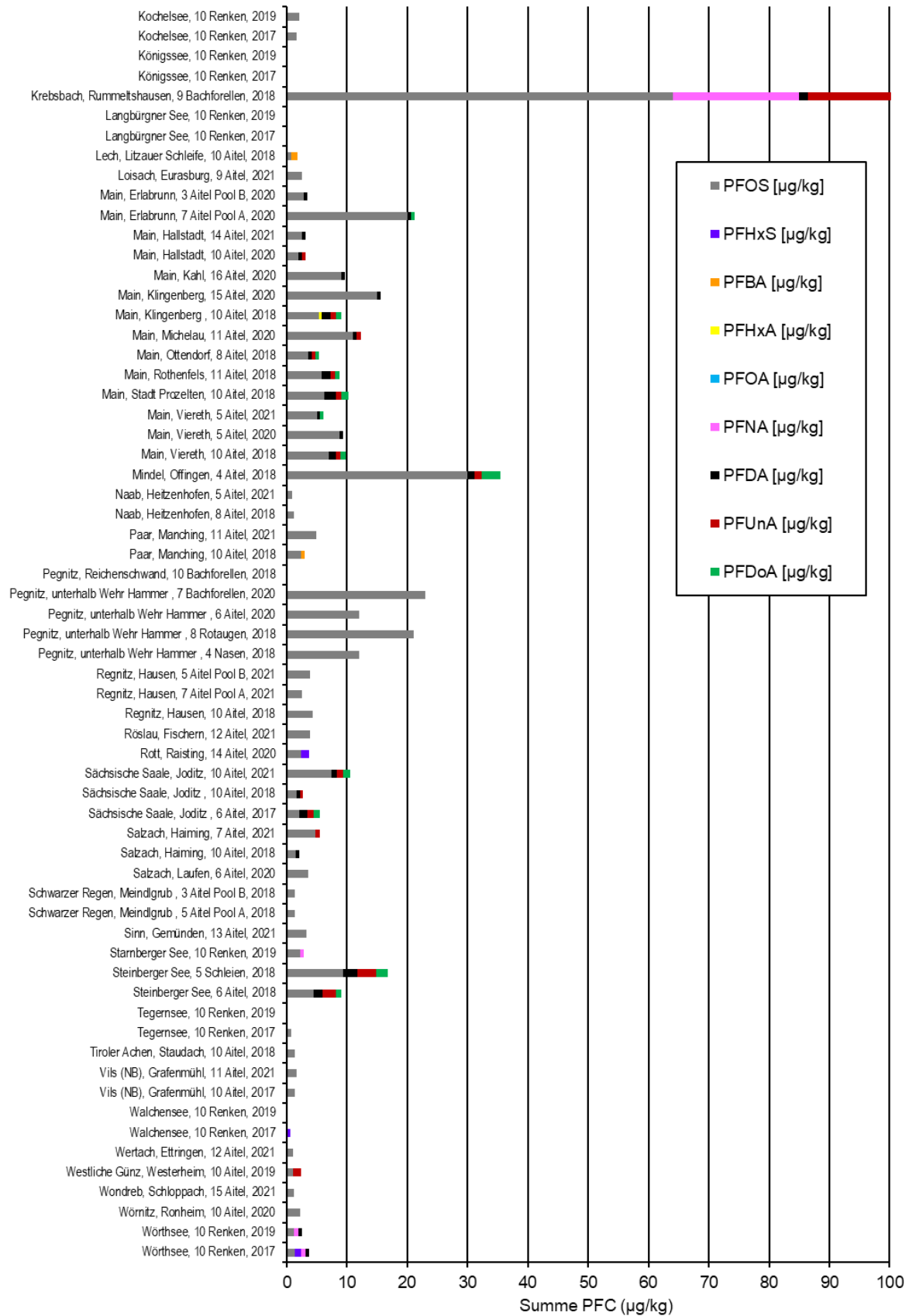


Abb. 9: PFAS-Konzentrationen in der Fischmuskulatur. Ergebnisse der in den Jahren 2017-21 untersuchten Poolproben aus bayerischen Gewässern.

In den Jahren 2017 bis 2021 konnten von den 15 vom LfU untersuchten PFAS-Verbindungen folgende Verbindungen quantifiziert werden:

- in keiner der 124 untersuchten Fischmuskulaturpoolproben, da nie Konzentrationen größer der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/kg gemessen wurden:
4:2 Fluortelomersulfonsäure, (4:2 FTS), 6:2 Fluortelomersulfonsäure (6:2 FTS), 8:2 Fluortelomersulfonsäure (8:2 FTSA), Perfluorbutansulfonsäure (PFBS), Perfluorpentansäure (PFPeA) und Perfluorheptansäure (PFHpA).
- in weniger als 10 % der untersuchten Proben:
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS), Perfluorbutansäure (PFBA), Perfluorhexansäure (PFHxA), Perfluoroctansäure (PFOA), Perfluornonansäure (PFNA).
- in 30% der Proben:
Perfluordecansäure (PFDA), Perfluorundecansäure (PFUnA), Perfluordodecansäure (PFDoA).
- in 90 % der untersuchten Proben:
Perfluoroctansulfonsäure (PFOS). In etwa 10 % der untersuchten Proben wurde die Umweltqualitätsnorm für PFOS von 9,1 µg/kg Frischgewicht in Fischmuskulatur überschritten.

2.4 Grundwasser

2.4.1 Flächendeckendes Grundwassermonitoring

Neben dem risikobasierten Ansatz (regelmäßige Untersuchung bekannter, belasteter Messstellen, sog. „Trendmessstellen“ mit einem PFAS-Einzelstoff > 10 ng/L) wurden die Untersuchungen seit 2019 auf ein flächendeckendes Monitoring erweitert (s. Abb. 10), wodurch schrittweise alle Messstellen des staatlichen Messnetzes (WRRL-Messnetz) auf PFAS untersucht werden sollen. Inzwischen umfasst das Parameterspektrum 27 PFAS (zzgl. vereinzelte Untersuchungen auf Perfluorpropansäure). Darunter befinden sich perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren (C4-C12) und GenX (HFPO-DA) sowie polyfluorierte Vorläufersubstanzen wie beispielsweise ADONA, Capstone und Fluortelomersulfonsäuren. Wegen der JD-UQN für PFOS von 0,65 ng/L gem. OGewV wurde die allgemeine PFAS-Bestimmungsgrenze von 1 ng/L für PFOS auf 0,2 ng/L gesenkt. Dies führt zu einer rund doppelt so hohen Nachweishäufigkeit von PFOS gegenüber der sonst am häufigsten

nachgewiesenen Perfluorbutansulfonsäure. Seit 2016 wurden bislang 353 ehemalige und aktuelle Messstellen des Messnetzes mindestens einmal und 21 Messstellen (davon 16 „Trendmessstellen“) mehrfach untersucht (Stand Juni 2022).

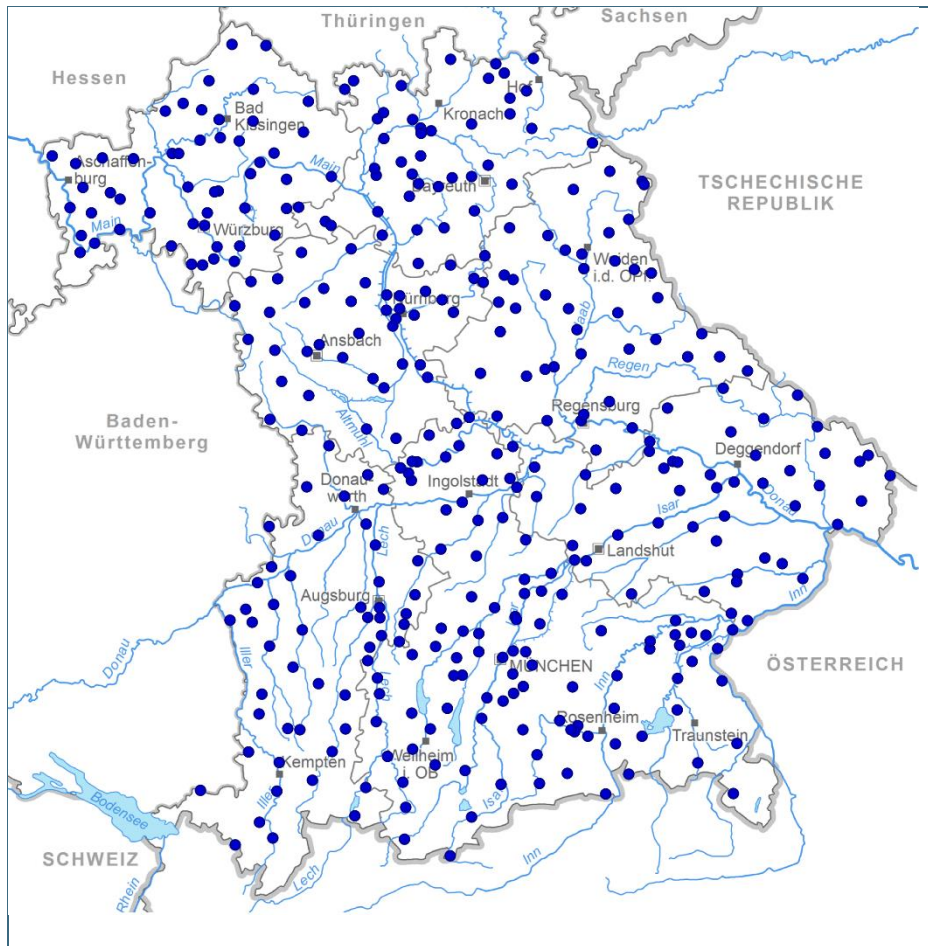


Abb. 10: Lage der Grundwassermessstellen im staatlichen Messnetz, die von 2016 bis 2022 beprobt wurden (Stand Juni 2022).

Als Ergebnis des bisherigen Grundwassermonitorings lässt sich festhalten:

- Allgemein geringe Fundhäufigkeit (Mediane aller PFAS unter der Bestimmungsgrenze)
- Erhöhte PFAS-Funde nur im nahen Umfeld bekannter Schadensfälle (z. B. Flughäfen, Industrieanlagen)
- PFOS in geringen Konzentrationen weitverbreitet, beispielsweise auch an als anthropogen unbeeinflusst anzunehmenden Messstellen ohne erkennbare, typische Eintragsquellen (z. B. Messstellen im Wald)

- Industrielle Hilfsstoffe DONA und GenX nur im Umfeld des Chemieparks Gendorf
- Bevorzugte Fundhäufigkeiten (abnehmend):
PFOS > PFBS > PFOA \approx PFBA \approx PFHxA > PFHxS \approx PFHpA \approx PFPeA; bis auf wenige Ausnahmen keine Nachweise für perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren > C9 sowie polyfluorierte Vorläuferverbindungen.

2.4.2 Projekt „Klimaanpassung und Wasserversorgung in Bayern“ – Uferfiltratbeeinflusste Wassergewinnungen

Die Stoffgruppe der PFAS wird neben weiteren Indikatorsubstanzen als Hinweis auf anthropogene Beeinflussung eines Wasserkörpers verwendet. Inwieweit Trinkwassergewinnungen aus Uferfiltrat qualitativ durch das angekoppelte Oberflächengewässer beeinflusst werden, untersuchte das Projekt „Klimaanpassung und Wasserversorgung in Bayern“ im Zeitraum 2015 – 2020. Insgesamt wurden neun Stoffgruppen mit anthropogenen Quellen untersucht, u. a. PFAS.

Regelmäßige Untersuchungen oder Stichtagsmessungen fanden nicht statt, vielmehr handelte es sich bei der Probenahme um bayernweite Stichproben an uferfiltratbeeinflussten Wassergewinnungsanlagen (Abb. 11) bei gleichzeitiger Registrierung der Abflussverhältnisse des Oberflächengewässers.

Bei nahe gelegenen Verdachts- bzw. Schadensfällen oder dem Nachweis von PFAS im Oberflächengewässer (OW) wurde das Rohwasser (RW) uferfiltratbeeinflusster Wassergewinnungsanlagen auf PFAS untersucht. Dies war bisher bei 77 Proben der Fall, davon 57 mit dem Nachweis von PFAS. Vereinzelt wurde auch Grundwasser (GW) beprobt.

Mit Ausnahme der Grundwasserproben aus dem Raum Gendorf lagen die maximalen Gehalte bei 143 ng/L und im Mittel bei 11 ng/L (Median 5 ng/L). Die Anzahl der PFAS-Verbindungen pro Probe variierte zwischen 1 und 10 Verbindungen und lag im Mittel bei 2.

Vergleicht man das Spektrum der auftretenden Gesamtkonzentration von PFAS der untersuchten Oberflächen- und Grundwasserproben, erstrecken sich die Gesamtkonzentrationen über den gleichen Wertebereich.



Abb. 11: Lage der Beprobungsstellen im Projekt Klimaanpassung und Wasserversorgung, Untersuchungszeitraum 2015 - 2020 (rot – OW, gelb – GW, orange – RW).

In der Betrachtung einzelner Standorte bleibt festzustellen, dass keine signifikante Konzentrationsminderung entlang des Fließpfades vom Gewässer in Richtung des unbeeinflussten Grundwassers zu beobachten war und das Stoffspektrum des Oberflächengewässers sich im Grundwasser wiederfindet.

2.5 Boden

In der PFAS-Fallliste sind 4 Fälle mit unbekannter Quelle enthalten, bei denen es sich um Bodendauerbeobachtungsflächen mit erhöhten PFAS-Gehalten im Oberboden handelt.

2019 wurden zwei Bodendauerbeobachtungsflächen vertiefend untersucht, die im Zusammenhang mit der PFOA-Belastung im Raum Gendorf und dem Einsatz des Ersatzstoffes ADONA stehen.

BDF Burghausen

An der Bodendauerbeobachtungsfläche (BDF) Burghausen wurden aufgrund der Lage im Immissionsbereich des Industrieparks Gendorf 2019 weitere vertiefende Untersuchungen vorgenommen.

Im Feststoff [$\mu\text{g}/\text{kg}$] wurden PFOA, ADONA, PFHxA, PFHpA sowie 6:2 Fluortelomersulfonsäure bis maximal 1 m Tiefe nachgewiesen (Tab. 3).

Tab. 3: PFAS-Bodenkonzentration [$\mu\text{g}/\text{kg}$] im Feststoff; BDF Burghausen, 2019.

Bodentiefe [cm]	-4.5 – 0	0 – 1	1 – 20	20 – 30	30 – 50	50 – 70	70 – 90	90 – 100
Perfluorbutansäure (PFBA)	2.4	2.6	<BG	<NWG	<NWG	<NWG	<BG	<NWG
Perfluorpentansäure (PFPeA)	6.9	5.1	0.9	<NWG	<NWG	<NWG	0.7	<BG
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	<BG	<BG	<BG	<BG	<NWG	<BG	<NWG	<BG
Perfluorhexansäure (PFHxA)	4.2	4.1	1.3	1.0	<NWG	1.0	1.3	<BG
Perfluorheptansäure (PFHpA)	4.7	3.1	0.7	0.6	<BG	0.6	0.6	<BG
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	<NWG	<BG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Perfluoroctansäure (PFOA)	220.0	220.0	38.6	23.7	15.0	22.0	14.2	9.6
Perfluorononansäure (PFNA)	12.5	6.9	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	8.5	4.3	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Perfluordecansäure (PFDA)	26.7	8.2	<BG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<BG
Perfluorundecansäure (PFUdA)	10.3	2.2	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Perfluordodecansäure (PFDoA)	11.0	2.3	<BG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
4:2 Fluortelomersulfonsäure	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
6:2 Fluortelomersulfonsäure	1.4	0.7	0.6	2.5	3.0	3.4	2.0	<BG
8:2 Fluortelomersulfonsäure	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
DONA	45.4	28.3	4.3	1.3	0.8	1.1	1.1	0.5

Im 10:1-Wassereluat [$\mu\text{g}/\text{L}$] zeigten die analysierten PFOA und DONA eine ähnliche Tiefenverteilung wie bei den Feststoffgehalten. PFOS wurde nicht nachgewiesen (Tab. 4).

Tab. 4: PFAS-Bodenkonzentration [$\mu\text{g}/\text{L}$] im 10:1-Eluat; BDF Burghausen, 2019

Bodentiefe [cm]	-4.5 – 0	0 – 1	1 – 20	20 – 30	30 – 50	50 – 70	70 – 90	90 – 100
Perfluoroctansäure (PFOA)	2.4	4.0	2.3	1.6	1.4	1.4	0.8	0.7
Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	0.014	0.009	0.007	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002
DONA	1.9	1.5	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	<NWG

Ab August 2023 wird das 2:1-Wassereluat [$\mu\text{g}/\text{L}$] im Bodenschutz bindend. Zu Vergleichszwecken wurde der 2019 beprobte Boden der BDF Burghausen bereits zusätzlich für dieses Extraktionsverfahren untersucht. Dabei zeigten sich ähnliche Tiefenverläufe für PFOA und DONA (Tab. 5). Die ermittelten PFAS-Konzentrationen fielen im Vergleich zum

10:1-Eluat höher aus. Im oberen Zentimeter und in der Waldauflage traten jedoch Minderbefunde auf, die vermutlich auf methodenbedingte Extraktionsverluste bei humusreichen Bodenproben zurückzuführen sind.

Tab. 5: PFAS-Bodenkonzentration [$\mu\text{g/L}$] im 2:1-Eluat; BDF Burghausen, 2019

Bodentiefe [cm]	-4.5 – 0	0 – 1	1 – 20	20 – 30	30 – 50	50 – 70	70 – 90	90 – 100
Perfluorooctansäure (PFOA)	1.9*	5.3	8.8	7.1	6.9	7.1	4.7	4.0
Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)	0.011*	0.007	0.007	0.003	0.002	0.002	0.003	0.004
DONA	1.8*	3.0	2.7	0.9	0.7	0.8	0.6	0.3

*Humusaufgabe mit 10:1-Verfahren eluiert

BDF Schönram/Freilassing

Seit 2008 wird ADONA von der Firma Dyneon als Ersatzstoff für PFOA eingesetzt, da er günstigere ökotoxikologische Eigenschaften aufweist. Allerdings ist er mobiler als PFOA. Um die räumliche Ausbreitung von ADONA zu kennzeichnen und Befunde der Jahre 2013 und 2016 an der BDF Schönram/Freilassing zu verifizieren, wurden 2019 drei Moorstandorte zwischen Gendorf und der BDF Freilassing und ein Moorstandort nordwestlich von Gendorf beprobt und die PFAS-Konzentration im Bodeneluat (10:1) bestimmt. Zusätzlich wurden eine Bodenprobe nahe der BDF Schönram/Freilassing (Fläche 1/Schönram/Freilassing) und eine Bodenprobe auf einer Fläche in Hauptwindrichtung des Industrieparks Gendorf (Fläche 6/Emmerting) sowie eine Bodenprobe entgegen der Hauptwindrichtung (Fläche 5/Schoßmühle) entnommen und analysiert (Abb. 12).

Beim entfernungsabhängigen Konzentrationsverlauf sticht der hohe PFOA-Gehalt der Fläche Schoßmühle in entgegengesetzter Hauptwindrichtung zum Chemiepark Gendorf heraus (Abb. 13). Möglicherweise ist dieser Gehalt auf einen zusätzlichen lokalen Emittenten zurückzuführen. Der ADONA-Gehalt zeigt dagegen eine kontinuierliche Abnahme mit zunehmender Entfernung zum Chemiepark Gendorf.

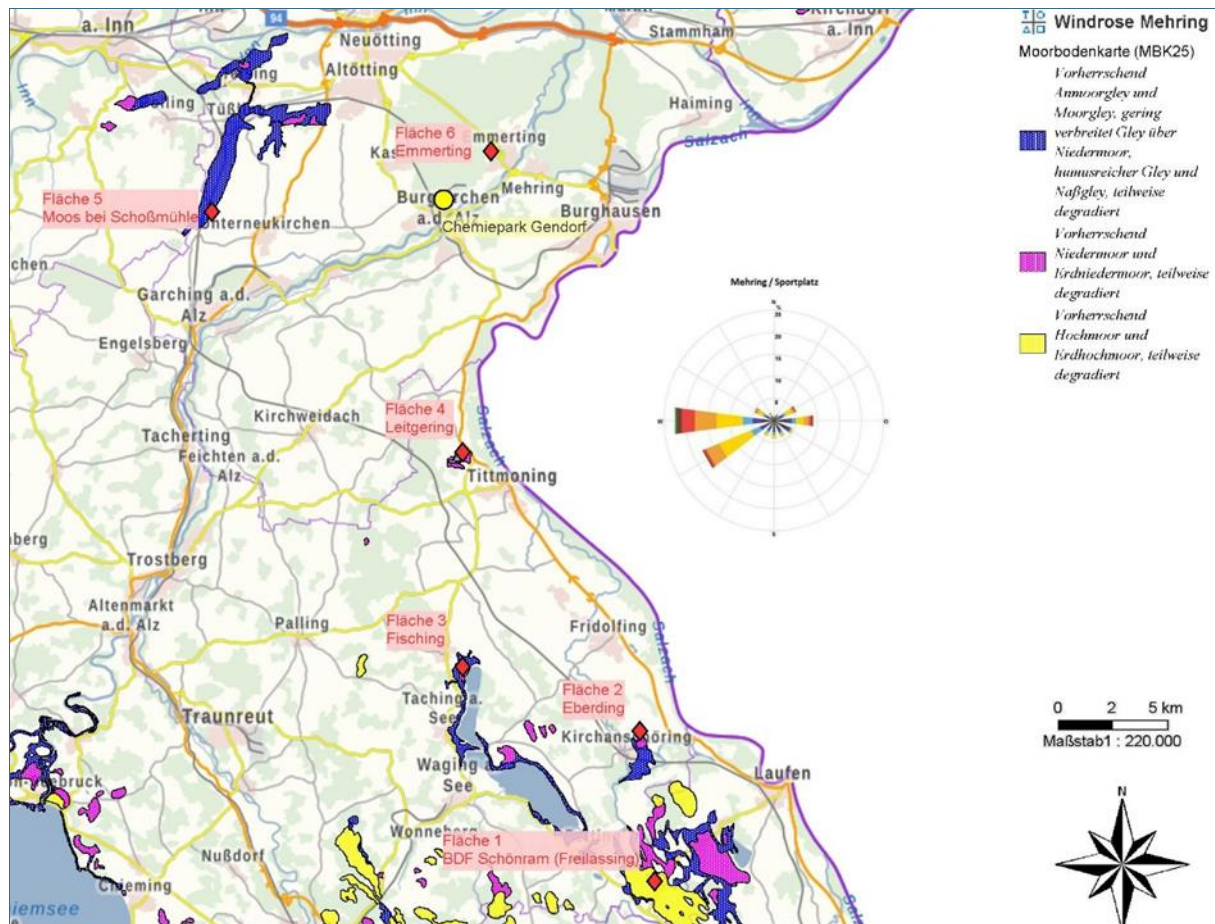


Abb. 12: Beprobungspunkte zwischen Chemiepark Gendorf und BDF Schönram.

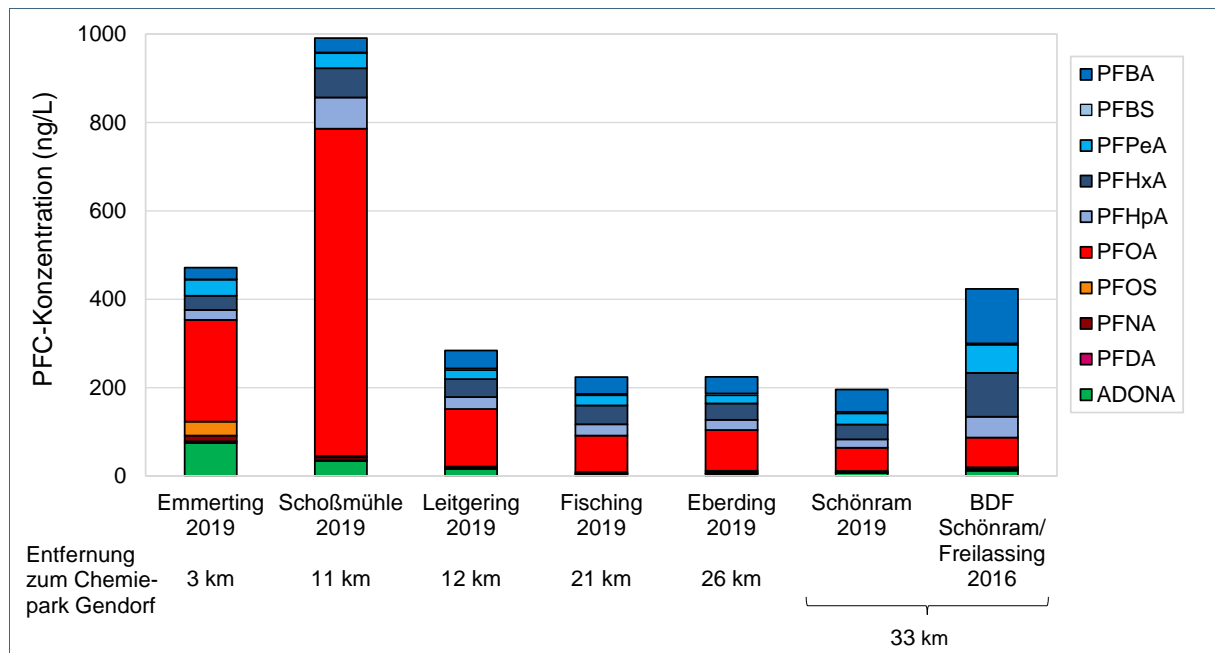


Abb. 13: PFAS-Bodenkonzentrationen des Jahres 2019 mit zunehmender Entfernung zum Chemiepark Gendorf ergänzt um Werte der BDF Schönram/Freilassing von 2016.

2.6 Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze – Landwirtschaft und Gartenbau

Bei PFAS-Nachweisen auf landwirtschaftlich und gartenbaulich genutzten Flächen (Erwerbsgartenbau, Haus- und Kleingärten) sind landwirtschaftliche Belange betroffen.

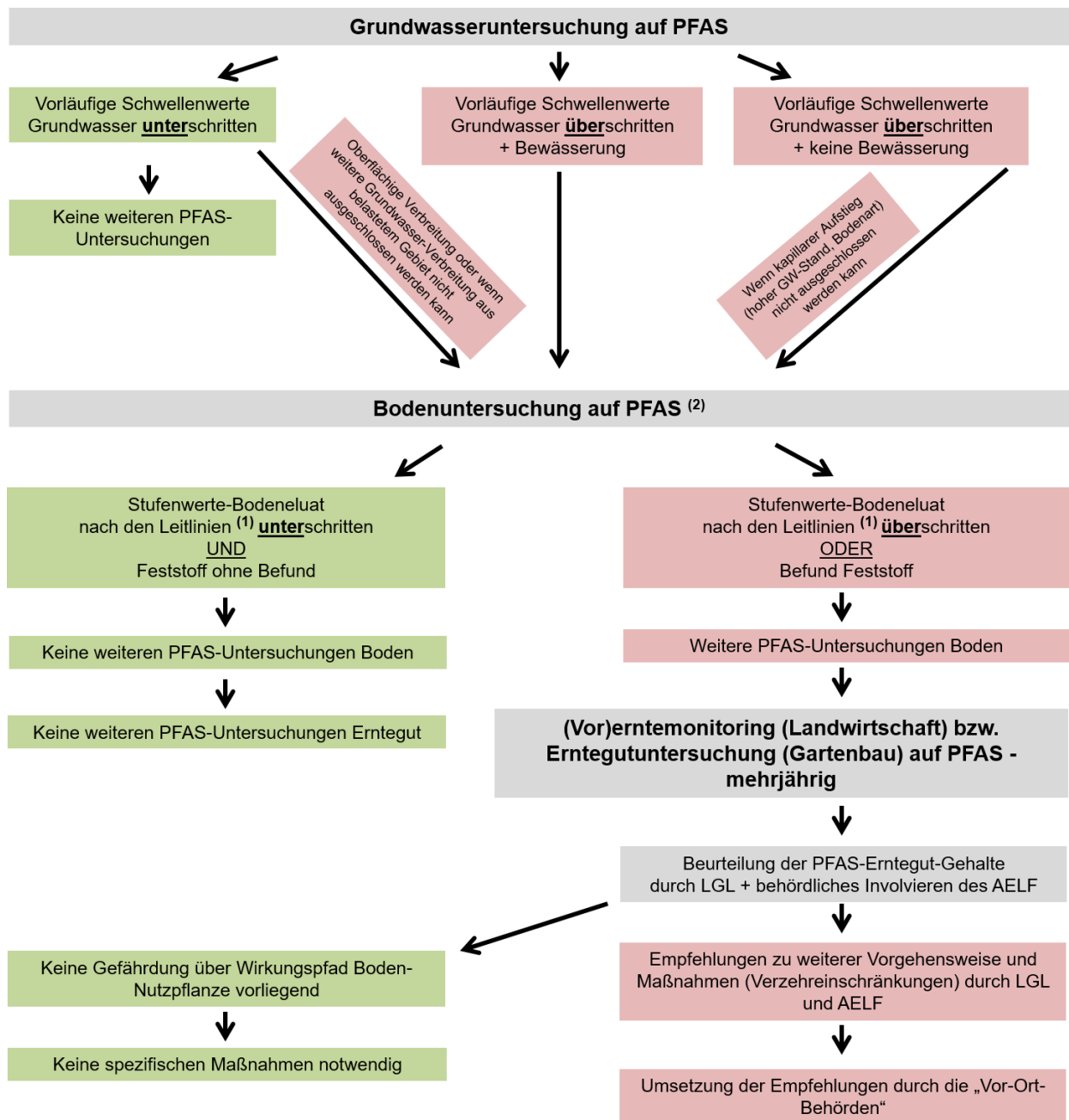
In der Zuständigkeit der Landwirtschaftsverwaltung (Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, AELF und Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL) liegt die Bewertung des Pfades Boden-Nutzpflanze (BBodSchV), der Einsatz von Bewässerungswasser bei PFAS-Belastungen (Grundwasser) sowie die Verwertung von Räumgut/Baggergut aus mit PFAS belasteten Oberflächengewässern auf landwirtschaftlich und gartenbaulich genutzten Flächen (§ 12 BBodSchV).

Die für einen PFAS-Fall jeweils zuständige Kreisverwaltungsbehörde erbittet vom AELF eine Stellungnahme i. d. R. zu folgenden Punkten:

- Untersuchungen von Brunnenwasser, welches für die Bewässerung von Haus- und Kleingärten und für landwirtschaftlich genutzte Flächen verwendet wird (Bewertung nach LfU-Leitlinie, Abstimmung mit WWA),
- Bodenuntersuchungen:
Parameter, Probenahmekonzept, Bewertung nach LfU-Leitlinie,
- Untersuchungen Erntegut:
Probenahmekonzept Vorerntemonitoring, Beurteilung der Erntegutergebnisse durch das Bayerische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) und anschließendes behördliches Involvieren des AELF zur konkreten flächenbezogenen Gefährdungsabschätzung,
- Beurteilung der weiteren Grundwasserverwendung im Hausgarten (z. B. Empfehlung für ein behördliches Untersagen der Brunnenwassernutzung),
- Grabenaushub bei Belastung eines Oberflächengewässers in einem PFAS-„Belastungsgebiet“.

Das Ablaufschema (Abb. 14) zeigt das Vorgehen bei PFAS-Kontaminationen für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze. Die PFAS-Fälle werden in Bayern nach diesem Schema einheitlich auf landwirtschaftlichen und gartenbaulich genutzten Flächen abgearbeitet.

Vorgehen bei PFAS-Kontaminationen Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze



(1) „Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden“ (Stand: April 2017)

(2) Unter Berücksichtigung der Vorgaben der BBodSchV zum Pfad Boden-Nutzpflanze (Probennahme, Beprobungstiefe)

Erstellung durch: Dr. Harald Hackl (Abt. Gartenbau, AELF Augsburg), Christa Müller (IAB, LfL), Dr. Holger Knapp (LGL)

Abb. 14: Vorgehen bei PFAS-Kontaminationen bzgl. des Wirkungspfads Boden-Nutzpflanze.

Weder von PFAS-Grundwasserergebnissen mit Angabe einer gewissen Bewässerungsintensität des verwendeten Grundwassers für Bewässerungszwecke noch von PFAS-Bodenergebnissen (Eluat, Feststoff) kann direkt auf die PFAS-Gehalte im Erntegut

geschlossen werden. Daher werden bei großräumigen PFAS-Nachweisen meist Vorerntemonitoring (Landwirtschaft) und Erntegutuntersuchungen (Erwerbsgartenbau, Haus- und Kleingärten) durchgeführt. Da sich die Erntegutergebnisse eines Jahres aufgrund von unterschiedlichen Witterungs- und folglich Bodenfeuchtebedingungen oft von Ergebnissen der Folgejahre unterscheiden sind meist mehrjährige Untersuchungen notwendig, um die mögliche Belastung verschiedener Fruchtarten zu erfassen.

Die Durchführung und Bewertung des Vorerntemonitoring und der Erntegutuntersuchungen sowie die Maßnahmenempfehlungen zur weiteren Nutzung der Flächen erfolgt in Zusammenarbeit von LGL und dem AELF/LfL.

Bisher wurden bei verschiedenen PFAS-Fällen mehrjährige Erntegutmonitorings auf landwirtschaftlich und gartenbaulichen genutzten Flächen und in Haus- bzw. Kleingärten durchgeführt, v. a. im Umkreis von Flugplätzen und bei großflächigeren PFAS-Fällen.

Beim Flugplatz Manching hat sich nach den Ergebnissen des 4-jährigen Erntemonitorings auf landwirtschaftlichen Nutzflächen (2018-2021) in dem untersuchten Gebiet der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung durch PFAS nicht bestätigt. Für den Pfad Boden-Nutzpflanze sind bei der Nutzung als Acker oder Grünland keine Einschränkungen der Bewirtschaftung der Flächen und zur Verwendung des Erntegutes erforderlich. In den am stärksten betroffenen Hausgärten in unmittelbarer Nähe zum Flugplatz Manching konnte über die Erntegutbewertung und aller darin einfließender Faktoren geschlussfolgert werden, dass zwar der Verzehr von Obst und Gemüse zu einer Aufnahme von PFAS führt, die über der üblichen Aufnahmemenge für diese Substanzen liegt, aber dass eine Überschreitung der TWI (tolerable weekly intake) nach den Richtlinien der EFSA (Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit) ausgeschlossen werden kann (zu Lebens- und Futtermitteln s. auch Kap. 2.7).

Beim Flugplatz Penzing werden derzeit Futtermitteluntersuchungen auf PFAS (Grünland) durchgeführt; je nach Ergebnissen von Grünland sind weitere Bodenuntersuchungen zu veranlassen.

Die LfL ist mit Boden-Dauerbeobachtungs-Flächen (Acker, Grünland) am UBA-Projekt "Hintergrundwerte für PFAS und (Mikro)Kunststoffe – bundesweit repräsentative Beprobung von landwirtschaftlich genutzten Böden" (FKZ 3720 72 2880) beteiligt.

2.7 Lebensmittel (ohne Trinkwasser) / Futtermittel

2.7.1 Einführung

Die durch Lebensmittel bedingte mittlere wöchentliche Gesamtaufnahme von PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS der Bevölkerung in Europa und in Deutschland liegt nach Einschätzung der EFSA und des BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung) derzeit bei Teilen der Bevölkerung auch außerhalb besonderer Schwerpunktgebiete über der von der EFSA abgeleiteten tolerierbaren wöchentlichen Aufnahmemenge. Der Schwerpunkt der PFAS-Minderungsmaßnahmen muss deshalb darauf liegen, das Einbringen von PFAS in die Umwelt und damit indirekt in Lebensmittel zu verringern. Beobachtungen des LGL aus verschiedenen Regionen legen allerdings nahe, dass für die PFAS-Aufnahme der Allgemeinbevölkerung Trinkwasser eine größere Rolle spielt als Lebensmittel pflanzlichen oder tierischen Ursprungs. Gleichwohl können Lebensmittel mit auffälligen PFAS-Gehalten durch ihren Verzehr ebenfalls erheblich zur PFAS-Gesamtbelastung einzelner Personen beitragen und müssen deshalb erkannt und ihr fortgesetzter Verzehr verhindert werden. Das LGL analysiert deshalb seit dem Jahr 2007 Lebensmittel auf PFAS und gehörte damit zu den ersten amtlichen Laboren der Lebensmittelüberwachung in Deutschland, die diese Analytik durchführten. Der Untersuchungsschwerpunkt lag zu Beginn auf der Region um den Chemiapark Gendorf, wurde aber sehr schnell auf Untersuchungen von Proben aus ganz Bayern ausgeweitet. Einen großen Anteil haben Proben, die auf Grund des Bekanntwerdens einer Umweltbelastung gezogen werden, um die Betroffenheit von Lebensmitteln zu überprüfen und Haupteintragspfade für die Bevölkerung möglichst schnell schließen zu können. Da es derzeit keine gesetzlich festgelegten Grenzwerte für PFAS in Lebensmitteln gibt, sind Maßnahmen jeweils nur nach individueller Bewertung möglicher gesundheitlicher Wirkungen der in den Proben nachgewiesenen Gehalte rechtlich durchsetzbar.

Die EFSA empfiehlt in ihrer aktuellen Stellungnahme aus dem Jahr 2020 eine maximale tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (TWI, tolerable weekly intake) für die Summe von vier perfluorierten Alkylsubstanzen, nämlich Perfluorooctansäure (PFOA), Perfluorooctansulfonsäure (PFOS), Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) und Perfluorononansäure (PFNA) in Höhe von 4,4 Nanogramm pro Kilogramm Körpergewicht pro Woche. Damit ist diese maximale Aufnahmemenge gegenüber der ersten Bewertung der EFSA aus dem Jahr 2008 stark abgesenkt worden. 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, bildet jedoch die Grundlage der Risikobewertung von festgestellten Gehalten bei Proben durch das LGL. Das LGL legte bereits seit dem Jahr 2016 eine strengere Bewertung der Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) aus den USA und seit 2018 die vorläufige Bewertung für PFOA und PFOS der EFSA den eigenen Bewertungen zu Grunde, so dass sich die Gehalte, ab denen Maßnahmen ergriffen wurden, ab dem Jahr 2016 jeweils alle zwei Jahre verringerten. Für die Analytik von PFAS sind derzeit aufgrund der im EFSA-Gutachten von 2020 vorgenommenen Absenkung der toxikologischen Referenzwerte geringere Bestimmungsgrenzen anzustreben. Hierfür müssen die analytischen Methoden in den Laboratorien weiter fortentwickelt werden.

Generell liegt ein Fokus des LGL weiterhin auf der Untersuchung von risikoorientierten Proben, das heißt gezielt entnommenen Proben, bei denen aufgrund von Hinweisen der Umweltbehörden ein Risiko für einen PFAS-Eintrag besteht. Außerdem untersucht das LGL durch verschiedene nationale Untersuchungsprogramme vorgegebene Proben, mit denen durch repräsentative Auswahl im Zufallsprinzip die Hintergrundbelastung der deutschen Bevölkerung durch PFAS abgebildet werden soll. Daneben erstellen die Sachverständigen am LGL eigene Programme, um Proben zu bestimmten fachlich wichtig erscheinenden Lebensmittelgruppen gezielt zu untersuchen.

2.7.2 Generelles Vorgehen bei der Beurteilung von Lebensmitteln

Aufgrund ihrer Auswirkung auf die Gesundheit sind perfluorierte Alkylsubstanzen in Lebensmitteln unerwünscht. Für Rückstände von PFAS in Lebensmitteln sind weder auf EU-Ebene Höchstwerte im Sinne von Art. 2 Abs. 3 der Verordnung (EWG) Nr. 315/93 noch national Grenz- oder Beurteilungswerte festgelegt worden. Die EU-Kommission bereitet derzeit gesetzliche Höchstgehalte für etliche Lebensmittel tierischen Ursprungs vor. Es ist zu erwarten, dass diese zum 1. Januar 2023 eingeführt werden. Zudem beteiligt sich Bayern an einer Arbeitsgruppe einiger Länder, die ein bundesweit abgestimmtes Beurteilungskonzept für alle Lebensmittel bis zur Einführung von EU-weiten Höchstgehalten erarbeitet. Bis das einheitliche Konzept erstellt und umgesetzt ist, legt das LGL für die Bewertung von PFAS-Gehalten in Lebensmitteln die aktuelle Bewertung der Substanzen durch die EFSA

zugrunde. Gemäß der Bewertung der EFSA kann die Menge von 4,4 Nanogramm pro Kilogramm Körpergewicht der vier genannten Substanzen jede Woche auch lebenslang aufgenommen werden, ohne dass gesundheitliche Beeinträchtigungen beim Menschen zu erwarten sind. Die Verzehrmenge, die lebenslang von einer Probe jede Woche aufgenommen werden kann, bis der TWI ausgeschöpft würde, wird für jede Probe berechnet und in Bezug zu den in Studien ermittelten durchschnittlichen Verzehrmenen für diese Lebensmittelmatrix gesetzt. Dabei wird aus Studien die durchschnittliche Verzehrmenge berücksichtigt, die 95% der Bevölkerung nicht überschreiten. Würden die im Lebensmittel festgestellten Gehalte dazu führen, dass bei dauerhaftem Verzehr dieses Lebensmittels in der ermittelten durchschnittlichen Verzehrmenge der EFSA-TWI-Wert überschritten werden würde, weist das LGL den Hersteller auf diese PFAS-Belastung hin und fordert ihn im Sinne von Art. 2 Abs. 2 der Verordnung (EWG) Nr. 315/93 dazu auf, mögliche Quellen zu ermitteln und zu eliminieren. Zudem führt das LGL eine toxikologische Risikobewertung durch. Wird dabei festgestellt, dass es bei üblichen Verzehrmenen des untersuchten Lebensmittels bei dauerhaftem Verzehr zu einer erheblichen Überschreitung der maximal empfohlenen Aufnahmemenge an PFAS kommen würde, welche unter den Bedingungen einer chronischen Aufnahme zu Gesundheitsschäden führt, wird dieses Lebensmittel als nicht geeignet zum Verzehr gemäß Art. 14 Abs. 2 Buchstabe b der Verordnung (EG) Nr. 178/2002 beurteilt. Dabei wird vorsorglich auch geprüft, ob Kinder oder Erwachsene die empfindlichere Verbrauchergruppe sind und die Bewertung auf die empfindlichere Bevölkerungsgruppe ausgerichtet. Sind die Gehalte im Lebensmittel so hoch, dass bereits bei einmaligem Verzehr negative gesundheitliche Wirkungen wahrscheinlich sind, erfolgt eine Bewertung als gesundheitsschädlich im Sinne von Art. 14 Abs. 2 Buchstabe a der Verordnung (EG) Nr. 178/2002.

2.7.3 Eigene Untersuchungsprogramme des LGL

Monitoring von PFAS in regional erzeugten Lebensmitteln in sechs ausgewählten Gebieten in Bayern

Siehe dazu auch Kap. 2.8.3 „Untersuchungen im Rahmen des One-Health-Ansatzes“.

Die Auswahl der Lebensmittel orientierte sich an dem in Ernährungsstudien ermittelten Warenkorb, darunter Milch, Hühnereier, Fleisch, Getreide, Kartoffeln, verschiedenes Gemüse, Obst, Bier, Honig.

Es konnte nur in zwei Einzelfällen in der Region Ansbach und in der Region Manching jeweils für Hühnereier PFOS nachgewiesen werden. In beiden Fällen wurden die Erzeuger darauf hingewiesen und zu Minimierungsmaßnahmen aufgefordert. Im Fall der Probe aus der Region Manching wurde der Verkauf auf Grund der Höhe des Gehaltes untersagt. In beiden Fällen sind die Gehalte durch die Änderung der Haltungsbedingungen bzw. den Einsatz von Trinkwasser als Tränkewasser bereits nach kurzer Zeit wieder gesunken. Insgesamt lassen die Zufallsstichproben keine besonderen PFAS-Werte in gewerblich erzeugten Lebensmitteln aus den hier untersuchten Regionen erkennen. Ein anderes Bild ergibt sich, wenn Proben gezielt auf Grund von Hinweisen z. B. durch Umweltdaten entnommen werden. So sind beispielsweise Fische aus Gewässern im Abstrombereich des Grundwassers vom Flugplatz Manching fast ausnahmslos und teilweise auch außergewöhnlich hoch mit PFAS, vor allem mit PFOS belastet. Ebenfalls erhöhte Gehalte sind in den untersuchten Wildschweinlebern zu finden.

Fische

Bei Fischen aus öffentlichen Gewässern, die nicht gewerblich gefischt und in Verkehr gebracht werden, handelt es sich nicht um Lebensmittelproben, die der amtlichen Lebensmittelüberwachung durch die Behörden unterliegen. Trotzdem untersucht das LGL in besonderen Fällen bei Vorliegen eines Verdachts auf PFAS im Auftrag der vor Ort zuständigen Behörden solche Fische im Sinne des Gemeinwohls. Auf Grund der dabei festgestellten Gehalte ist eine Empfehlung zum Fischverzehr z. B. für Angler durch die zuständige Vorort-Behörde möglich. Im ungünstigsten Fall wird völlig vom Verzehr abgeraten. Da diese Untersuchungen immer auf Grund eines konkreten Verdachtsfalles vorgenommen werden, sind die dabei erhaltenen Untersuchungsergebnisse nicht repräsentativ für Fisch in bayerischen Gewässern. Das LGL untersuchte so rund 200 Fischproben. Besonders hoch belastete Fische konnten dabei in einigen Weihern um Augsburg, in der Friedberger Ach sowie in Freising (Mieskanal und Moosach) festgestellt werden.

Wildschweine

Weitere PFAS-Untersuchungen betrafen Wildschweinproben. Es ist bekannt, dass Wildschweine aufgrund ihrer Lebensweise ein Indikator für Umweltbelastungen sein können. Nachdem bereits in den Vorjahren Wildschweinfleisch und die zugehörigen Lebern untersucht wurden, hat das LGL auch in den Jahren 2020 und 2021 Proben untersucht.

Auffällige Gehalte wurden dabei unter anderem in Altötting, Landsberg am Lech und im Landkreis Dillingen festgestellt. Während für Altötting und Landsberg am Lech PFAS-Kontaminationsquellen bekannt sind, wurden in Dillingen und dem angrenzenden Landkreis Günzburg aufgrund wiederholter erhöhter Gehalte in Wildschweinleber- und auch -fleischproben zur Ursachenforschung Proben von Wildschweinfleisch unter Angabe des genauen Erlegeorts untersucht. Die Fleischproben wiesen hier fast ausnahmslos hohe Gehalte an PFAS auf und wurden deshalb als nicht zum Verzehr geeignet gemäß Art. 14 Abs. 2 Buchst. b Verordnung (EG) Nr. 178/2002 beurteilt. Zur Ermittlung der Ursache arbeitet das LGL eng mit den Umweltbehörden wie dem LfU zusammen. Bislang konnte eine genaue Ursache nicht ermittelt werden. Die Jägerschaft vor Ort wurde durch die Behörden informiert und Wildschweinfleisch aus den betroffenen Jagdgebieten wird vorerst entsorgt und nicht als Lebensmittel verwertet.

2.7.4 Vorgegebene Untersuchungsprogramme: Untersuchungen im Rahmen des bundesweiten Lebensmittelmonitorings

Im Rahmen des bundesweiten Lebensmittelmonitorings wurden in den Jahren 2020 und 2021 verschiedene Probenmatrizes untersucht. Die Proben wurden dabei über Bayern verteilt entnommen. Es handelte sich um Rindfleisch, Kopfsalat, verschiedene Pilze (Steinpilze, Pfifferlinge, Maronen-Röhrling), Eier, Zander und Karpfen. In den Rindfleisch-, Pilz- und Kopfsalatproben wurden keine PFAS-Nachweise festgestellt. In zwei Proben Zander wurden auffällige PFAS-Gehalte mit 7,9 µg/kg bzw. 10,4 µg/kg PFOS festgestellt. Diese Proben wurden als nicht zum Verzehr geeignet gemäß Art. 14 Abs. 2 Buchst. b Verordnung (EG) Nr. 178/2002 beurteilt. In weiteren Zanderproben konnten teilweise PFAS unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden. In einer Karpfenprobe wurde PFOS mit einem Gehalt von 3,1 µg/kg nachgewiesen. Für diese Probe wurde eine Verzehrempfehlung abgegeben. In den weiteren Karpfenproben wurden weitgehend keine PFAS festgestellt, bzw. nur geringe Spuren unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/kg.

2.7.5 Risikoorientierte Probenahme

Im Rahmen der risikoorientierten Probenahme wurden Eier von regionalen Erzeugern aus Eiermobilen und Freilandhaltung untersucht. Die Eier stammten dabei aus Regionen, in denen eine PFAS-Belastung in der Umgebung bekannt war. Nur in wenigen Fällen wurden

Gehalte in den Eiern festgestellt, die zu einer Verzehrempfehlung oder zu einer Beurteilung als nicht zum Verzehr geeignet führten. Gemeinsam mit den Vor-Ort-Behörden wurde jeweils der möglichen Quelle nachgegangen und eine Verringerung der Gehalte durch Umstellung z. B. des Tränkewassers der Hühner erreicht.

Als risikoorientierte Proben wurden auch Rohmilchproben untersucht, die von Almen in Regionen stammten, in denen im Winter Skibetrieb herrscht. Grund hierfür war, dass Skiwachse in der Vergangenheit unter Zusatz von PFAS hergestellt werden durften und man ein höheres Risiko für PFAS-Kontaminationen der Milch ausschließen wollte. In keiner Rohmilchprobe konnten PFAS mit Gehalten über der aktuellen Nachweisgrenze von 0,1 µg/kg festgestellt werden.

2.7.6 Futtermittel

Für PFAS gibt es aktuell keine gesetzlichen Grenzwerte in Futtermitteln. Grundsätzlich gilt, dass Futtermittel nur dann in Verkehr gebracht oder an Tiere verfüttert werden dürfen, wenn sie sicher sind. Das heißt konkret, dass sie weder die Gesundheit von Mensch oder Tier beeinträchtigen dürfen, noch dazu führen dürfen, dass Lebensmittel, die von lebensmittelliefernden Tieren gewonnen werden, als nicht sicher für den Verzehr durch den Menschen anzusehen sind (vgl. Art. 15 Abs. 1 und 2 VO (EG) Nr. 178/2002). Somit stellen sichere Futtermittel und Tränkewässer die Grundlage für sichere Lebensmittel tierischen Ursprungs dar. Da noch nicht genügend Daten über die Hintergrundbelastung von PFAS in Futtermitteln vorliegen, nimmt das LGL an einer bundesweiten PFAS-Datenerhebung amtlich gezogener Proben bis Ende Oktober 2023 teil.

Im Rahmen der amtlichen Probenahme werden am LGL Einzelfuttermittel sowohl als Planproben, als auch als anlassbezogene Proben (Verfolgungsproben) auf PFAS untersucht. Im Jahr 2021 wurden insgesamt 18 Einzelfuttermittel auf PFAS untersucht, hierbei handelte es sich um fünf Planproben (Tränkewasser und Mais) und 13 Verfolgungsproben. Sieben dieser Verfolgungsproben waren dabei Grünfutterproben (Wiesengras und Maisaufwuchs), die weiteren sechs Proben setzten sich aus Einzelfuttermitteln wie Erbsen, Gerste, Rapssaat, Triticale, Zuckerrüben sowie Tränkewasser zusammen. In keiner der Proben konnten PFAS nachgewiesen werden.

In diesem Jahr wurden im Rahmen der anlassbezogenen Proben verschiedene Getreidesorten, Erbsen, Mais, Rapssaaten, Maissilage, Grünfutter sowie vier Tränkewasserproben

analysiert. In vier der gesamten Verfolgungsproben (Trinkwasser) konnten geringe Gehalte an PFAS mit einem maximalen Summengehalt von 0,0455 µg/L nachgewiesen werden. Diese Proben stammten aus der Region Königsbrunn, für die eine PFAS-Kontamination bekannt war. Die Gehalte lagen unter dem gemäß der Richtlinie (EU) 2020/2184 ab 2023 geltenden Parameterwert für Trinkwasser von 0,1 µg/L für die Summe der PFAS.

2.8 Menschliche Gesundheit

2.8.1 Toxikokinetik von PFAS

Nach dem weitgehenden Verbot von PFOS seit 2006 und von PFOA seit 2020 werden vermehrt andere PFAS eingesetzt. Über die meisten dieser neueren PFAS liegen nur begrenzt Informationen zu den Verwendungen, zum Verhalten der Stoffe in der Umwelt und zu den Wirkungen auf Mensch und Umwelt vor. Die Hauptvertreter der langkettigen PFAS, PFOS und PFOA sind aufgrund ihrer langjährigen Verwendung dagegen toxikologisch gut charakterisiert.

PFOS und PFOA gelangen hauptsächlich oral über den Lebensmittel-/Trinkwasserpfad in den Körper. Sie werden nahezu vollständig aus dem Magen-Darm-Trakt resorbiert und binden nach Übertritt in den Blutkreislauf unspezifisch an Serumproteine. Die Verbindungen verteilen sich im Blut und daneben bevorzugt in den inneren Organen wie Leber, Niere und Lunge, d. h. nicht vorrangig in fettreichen Geweben. Für beide PFAS wurde ein Übergang in die Muttermilch und aufgrund ihres Nachweises in Plazenta und Nabelschnurblut auch ein Übergang in den Fetus nachgewiesen. PFOS und PFOA werden im Körper nicht weiter verstoffwechselt, die Ausscheidung erfolgt in erster Linie über die Nieren und zu einem geringen Anteil über Fäzes. Die Halbwertszeit für die Elimination beim Menschen beträgt für PFOA ca. 3 bis 4 Jahre und für PFOS ca. 5 Jahre. Die langsame Ausscheidung beim Menschen ist ein kritischer Punkt für die toxikologische Bewertung der Stoffe.

2.8.2 Wirkungen auf die menschliche Gesundheit

Bei der Beurteilung möglicher gesundheitlicher Risiken für den Menschen steht die Toxizität aufgrund einer langfristigen Aufnahme und Anreicherung von PFAS im Vordergrund. Entsprechende Bewertungen wurden zuletzt im Jahr 2020 von der Kommission Human-

Biomonitoring (HBM-Kommission) des UBA und EFSA vorgenommen. Dabei wurden primär Daten von epidemiologischen Studien herangezogen, bei denen Assoziationen zwischen der Höhe der PFAS-Gehalte im Blut und Veränderungen biologischer Parameter beobachtet wurden, die möglicherweise langfristig zu einem stärkeren Auftreten bestimmter Erkrankungen in der Bevölkerung führen. 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.

Bewertung der HBM-Kommission

Die HBM-Kommission hat im Jahr 2016 einen Vorsorge- bzw. Zielwert für die lebenslange PFOA-/PFOS-Exposition (HBM-I-Wert, Vorsorge- oder Zielwert, bei dessen Einhaltung kein Handlungsbedarf besteht) festgelegt: 2 ng PFOA/ml Blutplasma; 5 ng PFOS/ml Blutplasma [10]. Mittlerweile stehen auch HBM-II-Werte zur Verfügung (Interventions- oder Maßnahmenwerte). Der HBM-II-Wert entspricht der Konzentration eines Stoffes in einem Körpermedium, bei dessen Überschreitung eine gesundheitliche Beeinträchtigung möglich ist, aber nicht auftreten muss; es besteht Handlungsbedarf zur Reduktion der Belastung. Er beträgt für die Allgemeinbevölkerung 10 µg/L für PFOA und 20 µg/L für PFOS sowie für Schwangere und Frauen im gebärfähigen Alter 5 µg/L für PFOA und 10 µg/L für PFOS [11]. Bei den HBM-I- und HBM-II-Werten handelt es sich nicht um rechtsverbindliche Grenzwerte, sondern um wissenschaftlich begründete Festlegungen.

Abgeleitet wurden die HBM-II-Werte für PFOA und PFOS aus Studien auf der Bevölkerungsebene. Betrachtet wurden dabei Dosis-Wirkungsbeziehungen für fünf Parameter: Geburtsgewicht, Fertilität, Antikörperbildung nach Impfungen, Cholesterin-Konzentration und Diabetes mellitus Typ II. Für Frauen im gebärfähigen Alter wurde ein im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung niedrigerer HBM-II-Wert gewählt, um den (tierexperimentellen) Hinweisen auf entwicklungstoxische Effekte sowie humanepidemiologischen Assoziationen zwischen PFOS/PFOA im Blut und verminderter Fertilität, sowie Hinweisen auf eine erhöhte Inzidenz von Schwangerschafts-Diabetes und Gestose Rechnung zu tragen. Die HBM-Kommission weist darauf hin, dass Unsicherheiten in Bezug auf die zugrundeliegenden Mechanismen und ihr Zusammenwirken und Probleme bei der kausalen Interpretation bestehen. Zudem sind Risikofaktoren wie Ernährung und Bewegungsmangel oder genetische Faktoren weitaus dominanter Einflussfaktoren auf die Parameter, wie z. B. auf den Cholesterin- oder Glukosespiegel im Blut. Das individuelle Risiko einer einzelnen Person,

eine Erkrankung zu erleiden, die auf eine PFOA- oder PFOS-induzierte Veränderung der genannten Wirkungsindikatoren kausal zurückzuführen ist, kann nach Ansicht der HBM-Kommission nicht sicher quantifiziert werden. Die HBM-Kommission wollte mit der Festlegung der HBM-II-Werte vor allem Orientierungspunkte für erforderliche bevölkerungsbezogene Maßnahmen setzen. Die HBM-II-Werte sind demzufolge v. a. als populationsbezogene Maßnahme- bzw. Interventionswerte zu verstehen, bei deren Überschreitung eine gesundheitliche Beeinträchtigung möglich ist, aber nicht auftreten muss [11].

Bewertung der EFSA

Die EFSA betrachtet bei der gesundheitlichen Bewertung von PFAS zur Ableitung des TWI-Werts aus dem Jahr 2020 (siehe Kap. 2.7.1) nicht mehr den Anstieg des Cholesterinspiegels als kritischen Endpunkt, sondern die verminderte Reaktion des Immunsystems auf Impfungen [12]. In wissenschaftlichen Studien wurden inverse Assoziationen zwischen der Antikörperkonzentration und einer hohen internen Exposition gegenüber PFAS beobachtet. Eine verminderte Bildung von Impfantikörpern ist grundsätzlich als unerwünscht anzusehen, auch wenn es durch die bestehenden Sicherheitsmargen bei Impfungen bei Beachtung der Impfeempfehlungen sehr wahrscheinlich nicht zu einem verminderten Impfschutz kommt. Ob es durch den Einfluss von PFAS auf das Immunsystem auch zu einem häufigeren Auftreten von Infektionen kommen kann, ist derzeit nicht geklärt. Das BfR kommt in seiner Bewertung zur aktuellen TWI-Ableitung der EFSA allerdings zu dem Schluss, dass die verfügbaren Studiendaten gegenwärtig nicht ausreichend aussagekräftig sind, um die Frage zu beantworten, ob es bei entsprechender Expositionshöhe bei Erwachsenen und Jugendlichen zu Auswirkungen auf die Konzentration der Impfantikörper im Blutserum kommen kann [13]. Aktuell gibt es keine wissenschaftlichen Belege dafür, dass beispielsweise die COVID-19-Schutzimpfung aufgrund einer PFOA- oder PFOS-Belastung weniger wirksam wäre.

2.8.3 Bayerische Initiativen zur Ermittlung der internen PFAS-Belastung der Bevölkerung

Untersuchungen im Rahmen des One-Health-Ansatzes

Das LGL führte im Zeitraum von September 2020 bis Dezember 2021 Untersuchungen im Rahmen eines Umweltmonitorings in sechs ausgewählten bayerischen Regionen durch, um die innere Belastungssituation der lokalen Bevölkerung mit PFOS und PFOA sowie sieben weiterer PFAS, darunter auch PFNA und PFHxS, näher zu untersuchen. Ziel dieser

Untersuchung war es, festzustellen, ob und in welchem Umfang eine erhöhte Umweltbelastung mit PFAS auch mit einer erhöhten inneren Exposition der dortigen Bevölkerung einhergeht. Dafür untersuchte das LGL im Rahmen des „One-Health-Ansatzes“ anonyme Blutspenderproben sowie auch Trinkwasser und Lebensmittel aus drei Gebieten mit bekanntem Eintrag von PFAS aus der Anwendung von PFOS-haltigen Löschschäumen auf Militärflughäfen und aus drei regionalen Kontrollgebieten ohne bekannten PFAS-Eintrag in die Umwelt, um mögliche Aufnahmepfade für die chemischen Substanzen zu identifizieren. Die Untersuchungen zeigen, dass es in Bezug auf die innere Belastung der Bevölkerung keinen Unterschied zwischen einer Untersuchungsregion mit PFAS-Eintrag in die Umwelt und der entsprechenden Kontrollregion gibt. Im Ergebnis kann daher nach derzeitigem Kenntnisstand eine flächendeckende Exposition der Bevölkerung mit PFAS über Trinkwasser oder Lebensmittel für alle untersuchten Regionen ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse stützen Beobachtungen aus anderen PFAS-belasteten Regionen, die zeigen, dass PFAS-Einträge in die Umwelt in erster Linie für die Schutzgüter Grundwasser, Pflanze und Tier relevant sind. Mit einer PFAS-Belastung auf Populationsebene ist im Allgemeinen erst dann zu rechnen, wenn PFAS-Einträge auch zu Kontaminationen der regionalen Trinkwasserversorgung führen. Dies ist in den untersuchten Gebieten mit bekannter PFAS-Belastung der Umwelt nicht der Fall. Im Trinkwasser der sechs Untersuchungsregionen waren PFAS jeweils nicht nachweisbar oder die geltenden Trinkwasser-Leitwerte wurden weit unterschritten. Ein ausführlicher Endbericht ist auf der LGL-Website veröffentlicht [14].

Humanbiomonitoring (HBM)-Untersuchungen im Landkreis Altötting

In Teilen des Landkreises Altötting gab es im Zeitraum von den 1960er Jahren bis 2008 einen großflächigen Eintrag von PFOA in die Umwelt, was zu im Blut nachweisbaren erhöhten PFOA-Werten in der Bevölkerung führte. Über Auswaschungen durch Niederschläge gelangte PFOA in das Grundwasser. In der Folge war auch die öffentliche Trinkwasserversorgung betroffen. Deshalb wurden seit dem Jahr 2009 Gegenmaßnahmen zur Sanierung der öffentlichen Trinkwasserversorgung, u. a. die Installation von Aktivkohlefilteranlagen, ergriffen. Die Aufnahme über das Trinkwasser war für die Bevölkerung in Teilen des Landkreises Altötting der weitaus bedeutsamste Aufnahmepfad für PFOA. Der Eintrag von PFOA über das Trinkwasser ist mittlerweile beseitigt. Alle im Landkreis Altötting gemessenen PFOA-Konzentrationen im Trinkwasser liegen seit 2018 deutlich unterhalb der gesundheitlich relevanten Leit- und Maßnahmenwerte.

Im Jahr 2018 wurde auf Veranlassung des Staatsministeriums für Gesundheit und Pflege (StMGP) durch das LGL in Zusammenarbeit mit dem Gesundheitsamt Altötting erstmals die interne Belastungssituation der Bevölkerung gegenüber PFOA und weiterer PFAS in dem betroffenen Bereich untersucht. Die PFOA-Gehalte im Blut der Studienpopulation aus dem Landkreis Altötting waren fast durchgehend höher (Mittelwert: 25 ng/ml, Median: 20 ng/ml, 95. Perzentil: 58 ng/ml) als in einer Vergleichsgruppe aus einer Gegend ohne eine spezielle Belastung mit PFOA (München: Median: 1,1 ng/ml). Im Ergebnis wurde bei der Studienpopulation aus dem Landkreis Altötting sowohl der HBM-I als auch der HBM-II-Wert für PFOA überschritten. Die gemäß der HBM-Kommission erforderlichen bevölkerungsbezogenen Maßnahmen zur Beseitigung der spezifischen Expositionsquelle wurden mit der Sanierung der Trinkwasserversorgung ergriffen (s. o.). Zudem wird der Bevölkerung eine umweltmedizinische Beratung angeboten (siehe Kapitel 5). Die Blutgehalte der anderen untersuchten PFAS, darunter auch PFNA und PFHxS, lagen im Vergleich zur Kontrollregion in einem ähnlichen Bereich und waren deshalb nicht als auffällig zu bewerten. Ein ausführlicher Endbericht ist auf der LGL-Website veröffentlicht [15].

Das LGL führt auf Veranlassung des StMGP im Jahr 2022 zusammen mit dem Gesundheitsamt Altötting die Folgeuntersuchung zur internen Belastung der Bevölkerung im Landkreis Altötting mit PFOA nach Ablauf einer Halbwertszeit durch. Ziel der Folgeuntersuchung ist es, den Rückgang der internen Belastung der Bevölkerung mit PFOA nach Ablauf einer Halbwertszeit (ca. 3-4 Jahre) zu untersuchen, um die Wirksamkeit der ergriffenen Maßnahmen zur Beseitigung der Expositionsquellen zu bestätigen.

Es werden dabei nur Personen einbezogen, die bereits im Jahr 2018 an der HBM-Studie teilgenommen haben, da nur für diese Studienteilnehmer Ausgangswerte existieren. In der Untersuchung sollen auch die Konzentrationen verschiedener impf- bzw. infektionsassoziierter Antikörper (u. a. gegen SARS-CoV-2) im Blut gemessen werden, um Hinweise zu einem möglichen Einfluss der PFOA-Belastung auf die Impfantwort zu erhalten.

2.9 Trinkwasser

2.9.1 Gesetzliche Regelungen

Für PFAS im Trinkwasser sind in der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) bislang keine verbindlichen Grenzwerte festgelegt. Grundsätzlich dürfen allerdings nach § 6 Abs. 1 TrinkwV im Trinkwasser chemische Stoffe nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen.

Nach einer gesundheitlichen Bewertung von für Trinkwasser relevanten PFAS-Verbindungen hat das UBA nach Anhörung der Trinkwasserkommission 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 [16]. 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 TrinkwV gegeben ist.

Das UBA hat im Dezember 2019 einen neuen „Vorsorge-Maßnahmenwert“ in Höhe von jeweils 50 ng/L für PFOA bzw. PFOS empfohlen [17]. Dieser Wert gilt nur für die besonders empfindlichen Bevölkerungsgruppen Schwangere, stillende Mütter, Säuglinge und Kleinkinder bis zu einem Alter von 24 Monaten.

Bei den Leitwerten, GOW und dem Vorsorge-Maßnahmenwert handelt sich nicht um rechtsverbindliche Grenzwerte, sondern um das Ergebnis wissenschaftlicher Bewertungen. Weitergehende Informationen finden sich unter [18].

Am 12. Januar 2021 ist die novellierte EU-Trinkwasserrichtlinie (Richtlinie (EU) 2020/2184) in Kraft getreten, welche erstmals Parameterwerte für PFAS vorsieht. Der Summenparameterwert für „PFAS gesamt“ (alle PFAS in der Trinkwasserprobe) beträgt 500 ng/L. Für die Summe 20 definierter PFAS mit einem perfluorierten Alkylanteil aus drei bis 13 Kohlenstoffatomen („Summe der PFAS“) beträgt der Parameterwert 100 ng/L. Die novellierte EU-Trinkwasserrichtlinie muss bis zum 12. Januar 2023 in nationales Recht, d. h. im Wesentlichen in der TrinkwV, umgesetzt werden. Ob es dabei aufgrund der beschriebenen toxikologischen Bewertungen zur Festlegung strengerer Grenzwerte, Leitwerte oder GOW für ausgewählte PFAS im Trinkwasser kommen wird, ist Gegenstand laufender Abwägungen.

2.9.2 Trinkwasseruntersuchungen

Da das Trinkwasser als wichtige Quelle für die menschliche PFAS-Aufnahme angesehen wird, untersucht das LGL seit dem Jahr 2006 gezielt bestimmte Trinkwasserproben auf den Gehalt an PFAS, obwohl aufgrund bislang fehlender gesetzlich festgelegter Grenzwerte die Stoffklasse kein Pflichtparameter für chemische Trinkwasseruntersuchungen der Wasserversorger ist (s. o.). Das LGL gehörte zu den ersten amtlichen Laboren in Deutschland, die diese Analytik durchführten.

In den vergangenen Jahren führte das LGL diverse Untersuchungsprogramme durch. Dabei zeigte sich, dass die Hintergrundbelastung des Trinkwassers in Bayern (ausgenommen in bestimmten Gebieten des Landkreises Altötting) weit unter dem von der Trinkwasserkommission empfohlenen Zielwert von 100 ng/L der Summe an PFAS lag.

In den Jahren 2018 und 2019 führte das LGL ein weiteres risikoorientiertes Sonderprogramm zur Untersuchung von PFAS in Trinkwasser durch. Im Fokus standen dabei Wasserversorgungsanlagen, für die in den vorangegangenen Untersuchungen des LGL Einträge von PFAS in das Trinkwasser detektiert worden waren. Zudem wurden Wasserversorgungsanlagen beprobt, bei denen ein Einfluss von bekannten oder vermuteten lokalen PFAS-Einträgen in der Umwelt auf das Trinkwasser nicht vollständig ausgeschlossen werden konnten. Insgesamt wies das LGL in den vorgelegten Trinkwasserproben von zentralen Wasserversorgungen keine oder nur sehr geringe Gehalte an PFAS nach, die jeweils deutlich unterhalb der derzeitigen Leitwerte bzw. GOW lagen. Die Ergebnisse sind als Bericht veröffentlicht [19].

Die Trinkwasseruntersuchungen wurden seitdem bei neuen Hinweisen auf PFAS oder auch zur Überprüfung der Veränderung bekannter Belastungen fortgesetzt. Im Trinkwasser von weiteren untersuchten, zentralen Wasserversorgungen wurden jeweils nur Gehalte deutlich unterhalb der gültigen Leitwerte bzw. GOW ermittelt. Auch der Vorsorge-Maßnahmenwert von jeweils 50 ng/L für PFOA und PFOS wird in allen untersuchten zentralen Wasserversorgungen eingehalten.

3 Nationale und internationale Regelungen

Im Folgenden werden nur nationale und internationale Regelungen aufgeführt, die nicht bereits in den jeweiligen Fachkapiteln erwähnt wurden.

3.1 Nationale Regelungen

3.1.1 Boden, Altlasten und schädliche Bodenveränderungen

- Grundsätzlich gelten die Regelungen des Bodenschutzrechts (BBodSchG [20]).
- In der Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (Art. 2 der Mantelverordnung [21], die am 21.08.2023 in Kraft tritt) sind erstmals Prüfwerte für sieben PFAS enthalten.
- In Ergänzung hierzu gelten die PFAS-Leitlinien des LfU [22], die derzeit u. a. an die Vorgaben der neuen BBodSchV angepasst werden. Der vom Bund zur Anwendung empfohlene PFAS-Leitfaden des Bundes wird in der jetzigen Form in Bayern nicht eingeführt, geeignete Passagen daraus werden in die Leitlinien übernommen.

3.1.2 Grundwasser

- Das Grundwasser ist gemäß § 47 Abs. 1 Nr. 2 WHG so zu bewirtschaften, dass alle signifikanten und anhaltenden Trends ansteigender Schadstoffkonzentrationen auf Grund der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten umgekehrt werden.
- Soweit es um das bewusste Einleiten bzw. Einbringen von PFAS in einen Grundwasserkörper geht, ist diese Nutzung (vgl. § 9 Abs. 1 Nr. 4 WHG) erlaubnispflichtig gemäß § 8 Abs. 1 WHG und muss den Anforderungen gemäß § 12 WHG genügen. Als absoluter Versagungsgrund (vgl. § 12 Abs. 1 WHG) gelten die Regelungen des § 48 WHG. Hiernach darf das Einbringen und Einleiten von Stoffen in das Grundwasser nur gestattet werden, wenn eine nachteilige Veränderung der Wasserbeschaffenheit nicht zu besorgen ist (§ 48 Abs. 1 Satz 1 WHG).
- Der Besorgnisgrundsatz gilt dabei als eingehalten, wenn insbesondere die Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) nicht überschritten werden. Zusätzlich können bei Grundwasser, das als Rohwasser für die Trinkwasserversorgung verwendet wird, auch die Gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) der Kleingruppe von LAWA/LABO (Bund/Länder-

Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz) Anhaltspunkte dafür geben, ob eine Nutzung versagt werden muss oder nicht.

- Sofern die PFAS noch nicht bewertet wurden, wird dabei empfohlen, hilfsweise einen Wert von 0,1 µg/L je Einzelsubstanz - orientierend am ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable) - zu verwenden.
- Soweit es um unbewusstes aber auf einen konkreten Fall bestimmbares Gelangen von PFAS in ein Grundwasser geht (z. B. durch falsche Lagerung), kommt § 48 Abs. 2 WHG in Betracht, wonach Stoffe nur so gelagert oder abgelagert werden dürfen, dass eine nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit nicht zu besorgen ist. Ein Verstoß hiergegen kann gewässeraufsichtsrechtliche Maßnahmen nach sich ziehen.

3.1.3 Oberirdische Gewässer

Oberirdische Gewässer sind gem. § 27 WHG so zu bewirtschaften, dass eine Verschlechterung ihres ökologischen und chemischen Zustands vermieden und ein guter ökologischer und chemischer Zustand erhalten oder erreicht wird. Für die Beurteilung von Oberflächengewässern hinsichtlich ihres ökologischen und chemischen Zustands bezogen auf die Wasserkörperebene wurden für verschiedene Stoffe – darunter PFOS als einzigem Vertreter der Stoffgruppe PFAS – in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) vom 20. Juni 2016 Umweltqualitätsnormen (UQN) festgelegt.

Für PFOS ist die Einhaltung der UQN mit Bezug auf den Oberflächenwasserkörper (OWK) von Bedeutung. Ein OWK ist ein einheitlicher und bedeutender Abschnitt eines oberirdischen Gewässers (§ 3 Nr. 6 WHG). Wird eine UQN in einem OWK überschritten, müssen geeignete Maßnahmen festgesetzt werden, um ihre Einhaltung bis zum 22. Dezember 2027 zu erreichen.

3.1.4 Abwasser

Eine wasserrechtliche Erlaubnis für die Einleitung von Abwasser in ein Gewässer darf nur erteilt werden, wenn schädliche Gewässerveränderungen nicht zu erwarten sind und andere Anforderungen nach öffentlich-rechtlichen Vorschriften nicht verletzt werden (§ 12 Abs. 1 WHG). Im Übrigen steht die Erteilung der Erlaubnis im pflichtgemäßen Ermessen der zuständigen Behörde (§ 12 Abs. 2 WHG).

Eine Abwassereinleitung in ein Gewässer darf dementsprechend insbesondere nur zugelassen werden, wenn die Voraussetzungen des § 12 Abs. 1 Nr. 1 i.V.m. § 57 WHG erfüllt sind. Danach sind insbesondere emissionsbezogene und weitergehende immissionsseitige Anforderungen zu prüfen und das Bewirtschaftungsermessen pflichtgemäß auszuüben:

a) Emissionsbezogene Anforderungen

§ 57 Absatz 1 Nummer 1 WHG fordert, bei Abwassereinleitungen die eingeleitete Schadstofffracht nach dem Stand der Technik (§ 3 Nummer 11 WHG) zu minimieren. In der Abwasserverordnung (AbwV) können vom Bund entsprechende Anforderungen festgelegt werden. Bislang wurde dies bzgl. PFAS in Form von allgemeinen Anforderungen im Teil B einiger Anhänge der Abwasserverordnung (AbwV) umgesetzt (z. B. Verzicht auf oder Minimierung bestimmter Einsatzstoffe), so z. B. im Anhang 28 AbwV für die Herstellung von Papier und Pappe. Solche Minimierungsanforderungen gelten dann auch für genehmigungspflichtige Indirekteinleiter, sofern im entsprechenden Anhang der AbwV auch Anforderungen für den Ort des Anfalls (Teil E) oder vor Vermischung (Teil D) gestellt werden. Anforderungen in Form von Grenzwerten für Konzentrationen oder Frachten für PFAS sind bislang in der AbwV nicht enthalten.

Sind entsprechende Festlegungen in einer wasserrechtlichen Zulassung aus anderen Gründen (vgl. nachfolgende Buchst. b und c) angezeigt, ist daher zu prüfen, welche Reinigungsleistungen im Einzelfall durch verfügbare Verfahren unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Nutzen erreicht werden können und ob die Einleitung auf dieser Grundlage zugelassen werden kann.

b) Immissionsbezogene Anforderungen auf Grundlage prognostizierbarer Auswirkungen auf Gewässereigenschaften

§ 57 Absatz 1 Nummer 2 WHG fordert bei Erteilung einer Erlaubnis zur Abwassereinleitung die Berücksichtigung der Anforderungen an die Gewässereigenschaften, also eine Prognose und Beurteilung der Auswirkungen auf das Gewässer infolge der Einleitung. Gemäß § 12 i. V. m. § 3 Nr. 10 WHG darf eine Erlaubnis nur erteilt werden, wenn keine schädlichen Gewässerveränderungen zu erwarten sind, die das Wohl der Allgemeinheit, insbesondere die öffentliche Wasserversorgung beeinträchtigen, oder die den sonstigen

wasserrechtlichen Vorschriften nicht entsprechen würden. Zu betrachten sind also insbesondere die Auswirkungen der Abwassereinleitung

- auf das Gewässer im Bereich der Einleitungsstelle; einschlägige Beurteilungswerte (z. B. $PNEC_{\text{aquat.}}$) sind dabei zu berücksichtigen, sofern vorhanden;
- auf die Bewirtschaftungsziele für die konkret betroffenen Wasserkörper (Verschlechterungsverbot und Zielerreichungsgebot gem. §§ 27 und 47 WHG); hier sind die Umweltqualitätsnormen der OGewV zu berücksichtigen sowie ggf. vorhandene Festlegungen eines Maßnahmenprogramms nach § 82 WHG;
- auf vorhandene Gewässernutzungen (z. B. Auswirkungen auf Uferfiltratentnahmen)
- auf Schutzziele anderer Rechtsvorschriften (z. B. gem. naturschutzfachlicher Prüfung).

Ist die Einleitung im Einzelfall nicht mit den Anforderungen an die Gewässereigenschaften vereinbar, ist die wasserrechtliche Erlaubnis zu versagen.

c) Anforderungen auf Grundlage des Bewirtschaftungsermessens

Ist eine konkrete schädliche Gewässerveränderung in einem überschaubaren Zeithorizont nicht zu erwarten und ergibt die Prüfung im Wasserrechtsverfahren ferner, dass keine weiteren zwingenden Ablehnungsgründe vorliegen, ist dennoch zu berücksichtigen, dass die Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis im pflichtgemäßen Ermessen der Wasserrechtsbehörde liegt (Bewirtschaftungsermessens gem. § 12 Abs. 2 WHG). Wegen der hohen Persistenz und Mobilität der PFAS ist grundsätzlich davon auszugehen, dass ihr Eintrag in ein Gewässer eine nachteilige Veränderung i. S. des § 5 Abs. 1 Nr. 1 WHG darstellt, die einer nachhaltigen Bewirtschaftung i. S. des § 6 Abs. 1 Nr. 1 (Erhaltung der Funktions- und Leistungsfähigkeit des Gewässers) und Nr. 4 (Erhalten bestehender und künftiger Nutzungsmöglichkeiten von Gewässern insbesondere für die öffentliche Wasserversorgung) entgegenstehen kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass längst nicht für alle PFAS gewässerbezogene Beurteilungswerte verfügbar sind und für Stoffe, die nach Chemikalienrecht (EG-REACH-Verordnung) als besonders besorgniserregend eingestuft sind, solche Beurteilungswerte auch nicht bestimmt werden, da ihre Herstellung und Anwendung grundsätzlich vermieden werden soll.

Auf dieser Grundlage können im Rahmen der Bewirtschaftung vorsorglich technisch realisierbare und verhältnismäßige Minimierungsmaßnahmen gefordert werden (s. o. unter a), die jedoch stets entsprechend für den Einzelfall zu begründen sind.

3.1.5 Immissionsschutz

- Immissionsschutzrechtliche Vorgaben, die im Zusammenhang mit PFAS zu beachten sind, finden sich in der Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft).
- Nach deren Nr. 5.2.7.1 gelten u. a. Stoffe als karzinogen, keimzellmutagen oder reproduktionstoxisch, wenn sie in eine der Kategorien Carc., Muta. oder Repr. 1A oder 1B im Anhang VI der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (sog. CLP Verordnung) eingestuft sind.
- Einige PFAS, sind i. d. S. eingestuft, so beispielsweise PFOA (CAS-Nr. 335-7-1) und ihr Ammoniumsalz (CAS-Nr. 3825-26-1), Perfluornonan-1-säure (CAS-Nr. 375-95-1) sowie ihr Natrium- (CAS-Nr. 21049-39-8) und Ammoniumsalz (CAS-Nr. 4149-60-4).
- Die Emissionen dieser Stoffe gilt es nach Nr. 5.2.7 der TA Luft unter Beachtung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit so weit wie möglich zu begrenzen (sog. Emissionsminderungsgebot).

3.2 Internationale Regelungen

Hinsichtlich PFAS bestehen auf europäischer Ebene derzeit die folgenden chemikalienrechtlichen Regelungen:

- PFOS ist seit 2010 über die europäische POP-Verordnung als Umsetzung der Stockholmer Konvention verboten. Die einzige Ausnahme besteht in der nicht dekorativen Hartverchromung unter Verwendung der besten verfügbaren Techniken zur Reduzierung der Emissionen.

- PFOA, ihre Salze und PFOA-verwandte Verbindungen sind seit 2020 in der europäischen POP-Verordnung geregelt. Ausnahmen bestehen zeitlich befristet u. a. für bestimmte textile Schutzausrüstungen, invasive und implantierbare Medizinprodukte sowie bestimmte Feuerlöschschäume.
- Fluorierte Carbonsäuren der Längen C₉-C₁₄ sind ab 25. Februar 2023 nach der REACH-Verordnung beschränkt. Zeitlich befristete Ausnahmen bestehen auch hier u. a. für bestimmte textile Schutzausrüstungen, invasive und implantierbare Medizinprodukte sowie bestimmte Feuerlöschschäume.

Neben den bestehenden Regulierungen sind weitere Verfahren zur Beschränkung der folgenden Stoffe eingeleitet:

- Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS), Perfluorhexansäure (PFHxA), PFAS in Feuerlöschschäumen sowie PFAS insgesamt mit einer breiten Anzahl an Verwendungen unterliegen unterschiedlich fortgeschrittenen Beschränkungsverfahren nach der REACH-VO.
- Für fluorierte Carbonsäuren der Längen C₉-C₂₁ und ihre Salze sowie verwandten Verbindungen ist eine Aufnahme in die POP-Verordnung vorgeschlagen.

Als besonders Besorgnis erregende Substanzen nach der REACH-Verordnung sind identifiziert: Perfluordecansäure (PFDA) und ihre Natrium- und Ammoniumsalze, Perfluorbutansäure (PFBS) und ihre Salze, Perfluortridecansäure, Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) und ihre Salze, Perfluornonansäure und ihre Natrium- und Ammoniumsalze, Perfluordodecansäure (PFDoA). Aus der Identifizierung leitet sich zunächst keine unmittelbare Beschränkung ab. Die Stoffe unterliegen jedoch einer verstärkten Prüfung hinsichtlich der Notwendigkeit regulativer Schritte.

Auf internationaler Ebene wird die Aufnahme von Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) sowie von fluorierten Carbonsäuren der Längen C₉-C₂₁ und ihren Salzen sowie verwandten Verbindungen in das Stockholmer Protokoll und damit eine globale Reduktion der Stoffe angestrebt. Die Umsetzung in Europa wird analog zu PFOS und PFOA in der europäischen POP-Verordnung erfolgen. Entsprechende Schritte sind bereits eingeleitet, siehe auch die vorstehend angeführten Aktivitäten.

4 Wissenschaftlich-technischer Kenntnisstand, Forschungsbedarf

4.1 Sanierungsverfahren für PFAS-Schäden in Boden und Grundwasser (Nachsorge)

Die Sanierung von durch PFAS verursachten Boden- und Grundwasserverunreinigungen beschränkt sich derzeit im Wesentlichen auf Sicherung (z. B. Sicherung des Grundwasserabstroms mit Hilfe von Brunnengalerien mit anschließender Abreinigung des geförderten Grundwassers / Versiegelung der Schadstoffquelle) und untergeordnet auf Dekontamination belasteten Bodens durch Auskoffnung mit anschließender Deponierung.

Die Entsorgung PFAS-belasteten Bodenmaterials auf Deponien ist aufgrund des bundesweit stark begrenzten Deponieraums nur sehr eingeschränkt möglich. Einzelne Alternativen zur Deponierung des Bodens, wie Bodenwäsche oder Hochtemperaturverbrennung besitzen zwar eine hohe Machbarkeit und Marktreife, eine Anwendung hängt jedoch stark von standörtlichen Gegebenheiten bzw. der anfallenden Bodenmenge sowie den Behandlungskosten ab und findet derzeit kaum statt.

Andere Verfahren (z. B. Vakuumthermische Desorption oder in-situ Immobilisierungstechniken) zeigen in der Forschung vielversprechende Ergebnisse, müssen allerdings erst ihre Praxistauglichkeit unter Beweis stellen und sind damit noch nicht Stand der Technik. Ähnlich sieht es bei der Sanierung belasteten Grundwassers aus. Neben der Abreinigung über Aktivkohle sind die Zugabe von Fällungsmitteln bei sehr hohen PFAS-Konzentrationen oder eine direkte Injektion von kolloidaler Aktivkohle in Grundwasserleiter mögliche Alternativen. Diese sind jedoch entweder nur für einen sehr begrenzten Bereich anwendbar oder/und noch nicht technisch ausgereift.

Darüber hinaus befinden sich zahlreiche weitere Verfahren, sowohl für die Sanierung von Boden als auch für Grundwasser, aktuell noch im Bereich der Forschung und Entwicklung. Hier ist in den nächsten Jahren mit einem Anstieg der zur Verfügung stehenden Sanierungsverfahren zu rechnen. Einen aktuellen Überblick über verfügbare und in der Entwicklung befindliche Sanierungsverfahren bietet die Arbeitshilfe „Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen, Anhang C“ [23].

Zusätzlich oder alternativ zu einer Sanierung (falls diese nicht oder nicht ausreichend möglich ist) können auch Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen (z. B. die Errichtung

von Trinkwasserreinigungsanlagen, Einschränkungen bei der Bewässerung von Hausgärten) erforderlich werden.

Insgesamt kommt die Nachsorge, d. h. die Beseitigung entstandener Schäden mit den derzeitigen technischen Möglichkeiten an ihre Grenzen. Ein Schwerpunkt der zukünftigen Anstrengungen muss daher auf der Vorsorge – also der Minimierung bzw. Vermeidung von PFAS-Einträgen in die Umwelt („Zero Emission“, „Zero Pollution“) – liegen.

4.2 Technologien zur Vermeidung von PFAS-Einträgen (Vorsorge)

PFAS-Einträge in Gewässer über den Abwasserpfad bei Industrie und Gewerbe können grundsätzlich über folgende Maßnahmen 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.

Einen Überblick dazu gibt Kap. 5.1 des LAWA/LABO Fachberichts [4].

Auf der Grundlage eines Landtagsbeschlusses (Drs. 17/24089) hat der Freistaat das Forschungsvorhaben „Geschlossener Wasserkreislauf in der Industrie“ finanziert. Es wurde von der TU München im Auftrag des Landesamtes für Umwelt durchgeführt. Der Schlussbericht sowie drei Leitfäden liegen mittlerweile vor [24].

Schwerpunkte der Untersuchungen waren ein zielgerichteter Überblick über Verfahren, Entwicklungsstände und Technologieanbietern für die Behandlung PFAS-haltiger Teilströme zur Begrenzung von Gewässereinträgen bzw. zur Etablierung weitgehend geschlossener Produktionsverfahren.

Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene kommerziell verfügbare (Vor)Behandlungsmethoden identifiziert. Darüber hinaus konnten noch weitere Verfahren ermittelt werden, die sich in verschiedenen Phasen der Entwicklung befinden. Grundsätzlich lässt sich dabei zwischen separativen Verfahren und destruktiven Verfahren unterscheiden. In aller

Regel wird eine Kombination von beiden Verfahren notwendig sein. Im separativen Schritt wird das PFAS-haltige Volumen reduziert und das übrige Abwasser kann in den Prozess zurückgeführt oder sicher in die Kanalisation eingeleitet werden. Im nachfolgenden destruktiven Schritt werden die PFAS dann zerstört.

Im Rahmen des Projektes wurde an einem realen Industriestandort auch untersucht, in wie weit sich diese Verfahren einbinden und umsetzen lassen. Dabei hat sich gezeigt, dass es keine pauschale Standardlösung gibt. Es muss immer im Einzelfall geprüft werden, welches Verfahren für die jeweiligen Standortbedingungen, wie z. B. Stoffspektrum, Abwassermatrix, Platzverhältnisse, geeignet ist.

Ein weiteres Ergebnis des Projektes ist ein „Leitfaden PFAS-haltige Abwässer“ [24], in dem die derzeit bekannten Methoden zur Vorbehandlung PFAS-haltiger Abwässer zusammengefasst sind und auch Anbieter genannt werden.

5 Fazit / Zusammenfassung / Ausblick

Allgemeines

- PFAS-Belastungen sind nicht nur ein bayernweites, sondern ein deutschland-, EU- und sogar weltweites Problem, wenngleich mit unterschiedlichen Betroffenheiten und Schwerpunkten; sie betreffen nicht nur Industrienationen, sondern u. a. aufgrund der ubiquitären Verbreitung letztendlich nahezu alle Staaten.
- Die funktionsbedingt gewünschte chemische Stabilität der PFAS führt zu einem persistenten Verbleib in der Umwelt; auch andere fluorhaltige Ersatzstoffe mit ähnlichen Eigenschaften werden absehbar vergleichbares Umweltverhalten zeigen.
- PFAS-Belastungen sind eine typische Erscheinung des Anthropozäns. Wir alle haben die Vorzüge von PFAS zu schätzen gewusst und lange entsprechende Produkte verwendet (und wir verwenden sie weiterhin).
- PFAS sind relativ „neue“ Umweltschadstoffe; d. h. hier liegt – im Vergleich zu „herkömmlichen“ Schadstoffen wie MKW, LHKW, PAK – weniger Erfahrung sowohl mit dem Verhalten und den Auswirkungen der Stoffe an sich als auch mit der Verhinderung der Ausbreitung bzw. Sanierung vor. Weltweit wird an dieser Thematik geforscht.

- Grundsätzlich zählen PFAS-Fälle u. a. aufgrund der Stoffeigenschaften, des Ausbreitungsverhaltens, der Verbreitung und der räumlichen Ausdehnung zu den komplexesten Altlasten/sB; dies bedingt zwangsläufig eine entsprechend lange Bearbeitungszeit.
- Die Sanierung von PFAS-Schäden läuft derzeit i. W. über Sicherung (z. B. Abstromsicherung, Abdeckung) oder/und Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen (z. B. Trinkwasserreinigung). Dekontaminationsmaßnahmen wie z. B. Auskoffierung hängen von den bundesweit knappen Deponiekapazitäten ab. Alternative Sanierungsmethoden sind meist noch nicht praxistauglich.
- Die Nachsorge, d. h. die Beseitigung entstandener Schäden kommt mit den derzeitigen technischen Möglichkeiten an ihre Grenzen; ein Schwerpunkt muss daher in der Vorsorge – also der Minimierung/Vermeidung von Einträgen („Zero Emission“, „Zero Pollution“) – liegen.
- Bei einer Überschreitung der HBM-II-Werte tritt nicht automatisch eine gesundheitliche Beeinträchtigung auf. Aufgrund der langen Halbwertszeiten von PFOS und PFOA kommt es jedoch in der Folge nur zu einer langsamen Ausscheidung aus dem Körper, die auch nicht durch individuelle Verhaltensmaßnahmen beschleunigt werden kann. Entscheidend ist hingegen, die spezifischen Expositionsquellen zu identifizieren und zu beseitigen, um eine weitere Aufnahme der Substanzen zu unterbinden.

PFAS-Bearbeitung in Bayern

- Bayern hat früh auf Einträge von PFAS in die Umwelt reagiert und verschiedene Bündelungs- und Koordinierungsstellen eingerichtet, um insbesondere die unverzichtbare Vernetzung der verschiedenen betroffenen Fachbereiche sicherzustellen.
- Meldeketten sind etabliert und haben sich bewährt.
- Erstmals wurde eine PFAS-Fallliste erstellt, in der verschiedene Fallkategorien in einer Liste gemeinsam dargestellt werden; diese wird kontinuierlich fortgeschrieben.
- Aktuell laufen eine Vielzahl von Monitoringmaßnahmen in verschiedenen Medien (z. B. Boden, Grund- und Oberflächenwasser, Lebensmittel, Trinkwasser, Humanbiomonitoring).
- Im Bereich der Nachsorge zeigt die Fallliste, dass sich alle bekannten bayerischen Fälle von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und entsprechenden Verdachtsflächen in einer Phase der bodenschutzrechtlichen Bearbeitung (Erfassung

bis Sanierung) befinden und dass z. T. – sofern erforderlich – bereits Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen erfolgen.

- Bayern forscht in mehreren Projekten sowohl selbst als auch in Zusammenarbeit mit dem Bund an verschiedenen offenen Fragen des Umgangs mit PFAS.
- Bayern unterstützt den Bund und die EU hinsichtlich Beschränkungs- und Verbotsvorgaben für PFAS.
- Seit 2018 sind zentrale PFAS-Infolines am LfU und LGL eingerichtet, an die sich Bürgerinnen und Bürger mit Fragen und Problemen zu PFAS telefonisch oder per E-Mail wenden können:
 - LfU (Tel. 0821 9071 - 5102, E-Mail pfc-umwelt@lfu.bayern.de): Themenbereiche Wasser, Boden, Luft, Abfall, Natur [25]
 - LGL (Tel. 09131 6808 - 2497, E-Mail pfc@lgl.bayern.de): Themenbereiche Gesundheit, Trinkwasser, Lebensmittel, umweltmedizinische Beratung [26].

Ausblick

- Die Entfernung sowohl der ubiquitären Verbreitung von PFAS als auch der punktuellen Einträge in Boden, Grund- und Oberflächenwasser ist eine Langzeitaufgabe. Auch bei einer sofortigen Sanierung der Quelle wird der Rückgang der Grund- und Oberflächenwasserkonzentrationen langsam und deutlich zeitversetzt erfolgen.
- Die Forschungsaktivitäten in allen Bereichen der PFAS-Thematik müssen fortgesetzt und intensiviert werden.
- Der interdisziplinäre Austausch von der kleinsten Verwaltungseinheit bis weltweit muss beibehalten und weiter intensiviert werden.
- Es muss weiterhin alles getan werden, um die Ausbreitung von bereits eingetretenen PFAS-Schäden soweit wie möglich zu stoppen oder zu minimieren.
- Ein Schwerpunkt muss zukünftig aber insbesondere auf Aspekte der Vorsorge bzgl. der Emissionen von PFAS in die Umwelt gelegt werden; dazu zählen sowohl Entwicklung, Einführung und Regelungen zu technischen Verfahren zur Emissionsminderung als auch gesetzliche Beschränkungen/Verbote der gesamten PFAS-Gruppe [6].

Siehe dazu auch Kap. 6 des LAWA/LABO Fachberichts [4].

Quellen / Links / weiterführende Informationen

- [1] [Per- und polyfluorierte Chemikalien in Bayern - Untersuchungen 2006 - 2018 - Publikationsshop der Bayerischen Staatsregierung](#)
- [2] [Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance](#)
- [3] [uba_sp_pfas_web_0.pdf \(umweltbundesamt.de\)](#)
- [4] [LAWA-LABO-Fachbericht UMK-Fassung 211125_2.pdf \(labo-deutschland.de\)](#)
- [5] [PureAlps – Monitoring von Schadstoffen in den Alpen](#)
- [6] [Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Polyfluoroalkyl Substances \(PFAS\) | Environmental Science & Technology \(acs.org\)](#)
- [7] [<https://www.gkd.bayern.de/de/fluesse/chemie>](#)
- [8] [GKD Bayern](#)
- [9] [Bayerisches Fischschadstoffmonitoring - Quecksilber und organische Verbindungen](#)
- [10] [\[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/dokumente/2018_stellungnahme_hbm-kom_zu_hbm-i-werten_fuer_pfoa_und_pfos.pdf\]\(https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/dokumente/2018_stellungnahme_hbm-kom_zu_hbm-i-werten_fuer_pfoa_und_pfos.pdf\)](#)
- [11] [\[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4031/dokumente/hbm_ii-werte_-_bundesgesundheitsbl_63-2020.pdf\]\(https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4031/dokumente/hbm_ii-werte_-_bundesgesundheitsbl_63-2020.pdf\)](#)
- [12] [<https://www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/pub/6223>](#)
- [13] [<https://www.bfr.bund.de/cm/343/pfas-in-lebensmitteln-bfr-bestaetigt-kritische-exposition-gegenueber-industriechemikalien.pdf>](#)
- [14] [\[https://www.lgl.bayern.de/downloads/lebensmittel/doc/abschlussbericht_pfas_monitoring.pdf\]\(https://www.lgl.bayern.de/downloads/lebensmittel/doc/abschlussbericht_pfas_monitoring.pdf\)](#)
- [15] [\[https://www.lgl.bayern.de/downloads/gesundheit/arbeitsplatz_umwelt/doc/bericht_hbm_altoetting_2018_07_11.pdf\]\(https://www.lgl.bayern.de/downloads/gesundheit/arbeitsplatz_umwelt/doc/bericht_hbm_altoetting_2018_07_11.pdf\)](#)

- [16] <https://link.springer.com/article/10.1007/s00103-016-2508-3>
- [17] <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/stellungnahme-zu-einem-voruebergehenden>
- [18] <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/grenzwerte-leitwerte-orientierungswerte>
- [19] https://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lgl_lms_00016.htm.
- [20] [BBodSchG - nichtamtliches Inhaltsverzeichnis \(gesetze-im-internet.de\)](#)
- [21] [Bundesgesetzblatt \(bgbl.de\)](#)
- [22] [Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFAS-Verunreinigungen in Wasser und Boden \(bayern.de\)](#)
- [23] www.umweltbundesamt.de/publikationen/sanierungsmanagement-fuer-lokale-flaechenhafte-pfas
- [24] <https://www.cee.ed.tum.de/swm/publikationen/forschungsberichte/>
- [25] [PFC-Infoline - LfU Bayern](#)
- [26] [Perfluorierte Chemikalien \(PFC\) – Infoline an Landesämtern \(bayern.de\)](#)