

Bericht des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz unter Beteiligung der Staatsministerien für Gesundheit, Pflege und Prävention sowie für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus, 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 09.2024 –

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	12
2.3	Oberflächengewässer	13
2.3.1	Schadstoffuntersuchungen in Oberflächengewässern	13
2.3.2	Untersuchungen in wildlebenden Fischen – Fischschadstoffmonitoring	20
2.4	Grundwasser	23
2.5	Abwasser und Klärschlamm	25
2.6	Boden	27
2.7	Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze – Landwirtschaft und Gartenbau	28
2.8	Lebensmittel (ohne Trinkwasser) / Futtermittel	31
2.8.1	Einführung	31
2.8.2	Generelles Vorgehen bei der Beurteilung von Lebensmitteln	33
2.8.3	Eigene Untersuchungsprogramme des LGL	34
2.8.4	Vorgegebene Untersuchungsprogramme: Untersuchungen im Rahmen des bundesweiten Lebensmittelmonitorings	38
2.8.5	Risikoorientierte Probenahme	40
2.8.6	Futtermittel	41
2.8.6.1	Generelles Vorgehen bei der Beurteilung von Futtermitteln	42
2.8.6.2	Amtliche Futtermittelproben	43
2.9	Menschliche Gesundheit	44
2.9.1	Toxikokinetik von PFAS	44
2.9.2	Wirkungen auf die menschliche Gesundheit	44
2.9.3	Bayerische Initiativen zur Ermittlung der internen PFAS-Belastung der Bevölkerung	46

2.10	Trinkwasser	50
2.10.1	Gesetzliche Regelungen.....	50
2.10.2	Trinkwasseruntersuchungen.....	50
3	Nationale und europäische Regelungen.....	52
3.1	Nationale Regelungen	52
3.1.1	Boden, Altlasten und schädliche Bodenveränderungen	52
3.1.2	Grundwasser	53
3.1.3	Oberirdische Gewässer	54
3.1.4	Abwasser	54
3.1.5	Immissionsschutz	57
3.2	Europäische Regelungen.....	57
4	Wissenschaftlich-technischer Kenntnisstand, Forschungsbedarf	59
4.1	Sanierungsverfahren für PFAS-Schäden in Boden und Grundwasser (Nachsorge)	59
4.2	Technologien zur Vermeidung von PFAS-Einträgen (Vorsorge).....	60
5	Fazit / Zusammenfassung / Ausblick	61
	Quellen / Links / weiterführende Informationen.....	65

Vorbemerkung:

Die Staatsregierung nimmt das Thema PFAS 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 und unterstützt auch ein Beschränkungs-dossier für PFAS auf EU-Ebene, welches bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) eingereicht wurde. Derzeit findet eine Bewertung dieses Beschränkungs-vorschlags durch wissenschaftliche Ausschüsse bei der ECHA statt.

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 Bürgerinnen und Bürger, Kommunen und Behörden erreichbar. Auch entsprechende FAQs sind 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. Dieser Bericht ist eine Aktualisierung des Berichtes vom September 2022; zur besseren Lesbarkeit wurden im Bericht 2024 Teile des Berichts 2022 beibehalten und aktualisiert. Gemäß dem LT-Beschluss soll der Bericht insbesondere 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 aktuell ca. 10.000 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. Perfluorbutansulfonsäure 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
- Solaranlagen, Windrädern und Wärmepumpen
- 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. 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 und lösen sich gut in Wasser [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 und von dort in den Boden und die Oberflächengewässer 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 Klärschlammaufbringung 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 atmosphärischen Eintrag 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].

Derzeit werden in Bayern ebenfalls Untersuchungen durchgeführt, welche aufzeigen sollen, ob und in welcher Größenordnung ubiquitäre PFAS-Einträge vorliegen.

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.

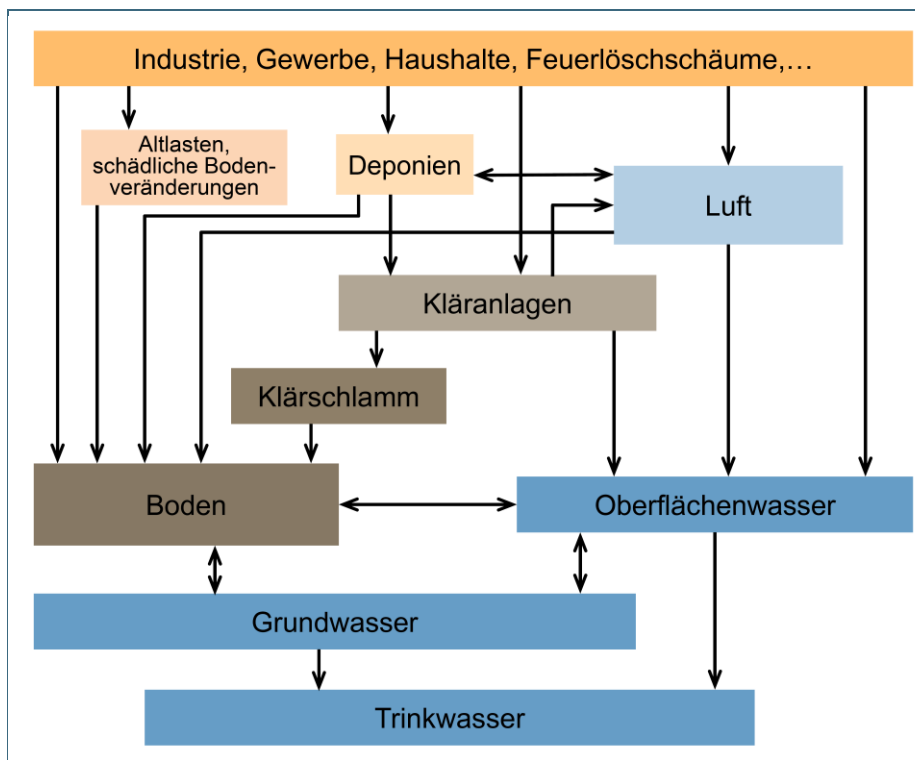


Abb. 1: Mögliche Eintragspfade von PFAS in die Umwelt

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, Altablagerungen) 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. Ende 2023 wurde die PFAS-Fallliste durch die genannten Behörden aktualisiert. Nach Auswertung der Rückmeldungen durch das LfU bildet die Liste die Grundlage für die nachfolgenden Darstellungen der jeweiligen Situation in Bayern. Die Liste wird kontinuierlich fortgeschrieben und zu einem jährlichen Stichtag in Zusammenarbeit mit den Regierungen und den zuständigen Kreisverwaltungs- und Fachbehörden aktualisiert.

Die PFAS-Fallliste enthält aktuell 132 Fälle, die sich aufteilen in

- 31 Altlasten und schädliche Bodenveränderungen
- 68 Fälle mit Verdacht auf das Vorliegen einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung
- 30 Fälle mit unbekannter Quelle
- Drei Fälle mit abgeschlossener Bearbeitung. Hierbei handelt es sich um Fälle, bei denen die Altlastenbearbeitung nach einer Sanierung abgeschlossen wurde.

Acht Fälle aus der PFAS-Fallliste 2022 wurden gestrichen. Dabei handelt es sich um zwei Altlasten bzw. schädliche Bodenveränderungen, vier Verdachtsflächen auf das Vorliegen einer Altlast bzw. schädlichen Bodenveränderung und zwei Fälle mit unbekannter Quelle. Für die beiden Fälle mit unbekannter Quelle sowie eine der Verdachtsflächen wurde die Quelle vom WWA identifiziert. In den übrigen Fällen konnte der Altlastverdacht ausgeräumt werden.

Es sind 26 Fälle hinzugekommen. In zwei Fällen wurde die Kategorie aufgrund einer verbesserten Datenlage von Altlast bzw. schädliche Bodenveränderung auf Verdachtsfläche geändert (bisherige Angabe des Verfahrensschritts bezog sich nicht auf PFAS).

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 abgeschlossener Bearbeitung	Fälle mit unbekannter Quelle	Summe
Bayern	31	68	3	30	132
Oberbayern	16	19	0	9	44
Niederbayern	1	3	0	5	9
Oberpfalz	2	3	0	3	8
Oberfranken	1	4	0	2	7
Mittelfranken	9	11	3	6	29
Unterfranken	0	12	0	2	14
Schwaben	2	16	0	3	21

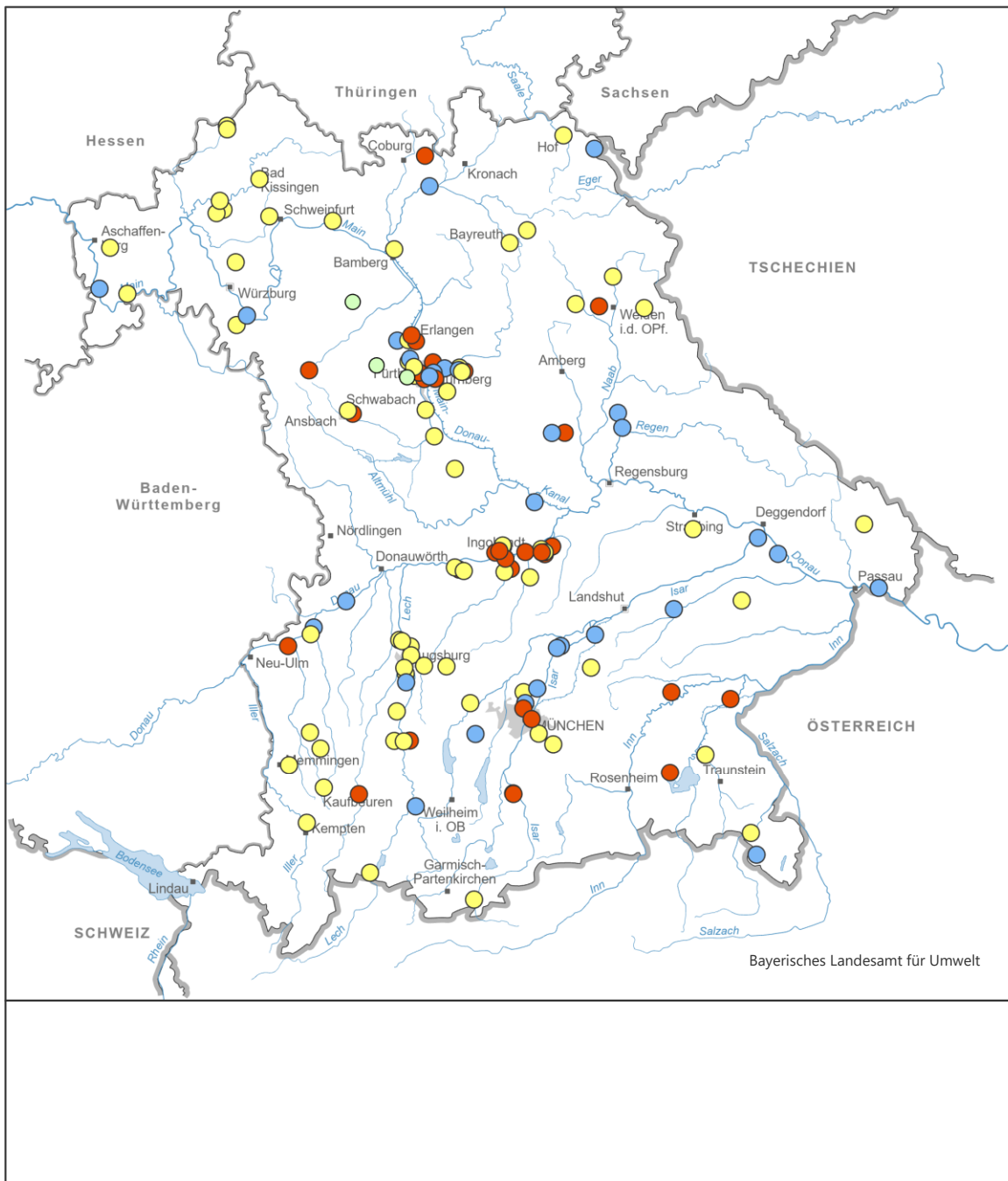


Abb. 2: Lage der Fälle der PFAS-Fallliste

2.2 Altlasten, schädliche Bodenveränderungen und Verdachtsflächen

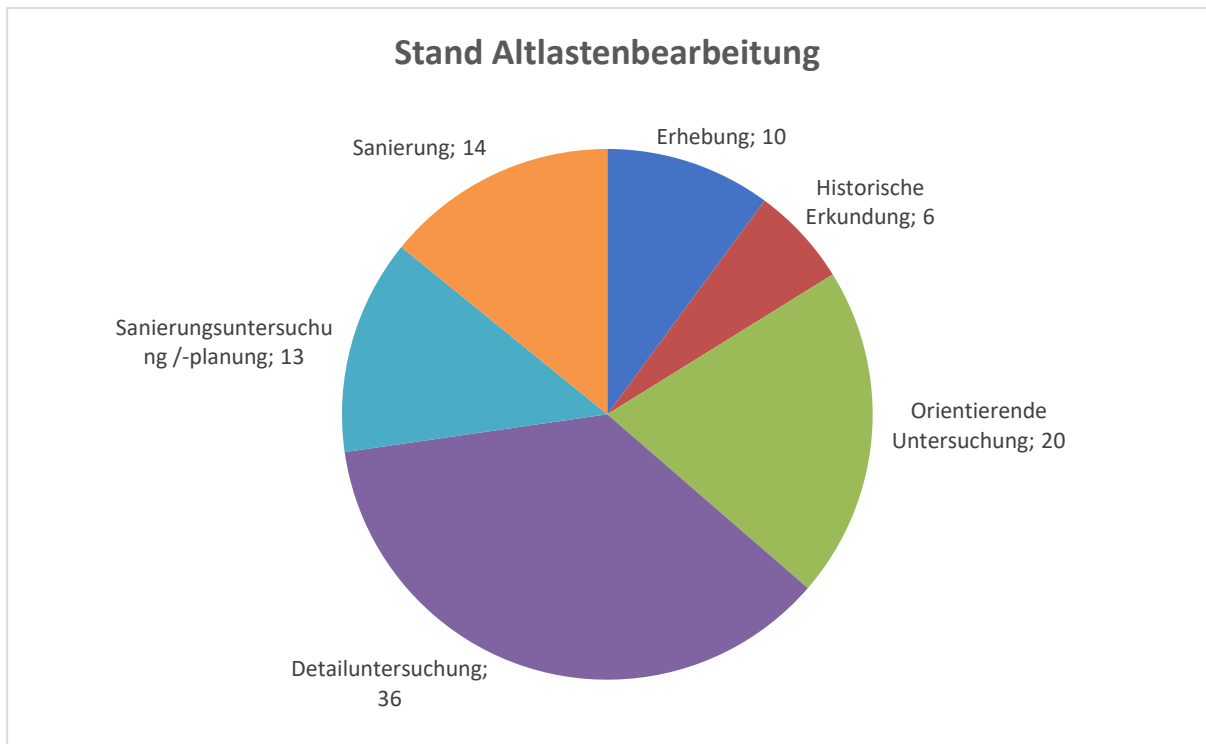


Abb. 3: Stand der bodenschutzrechtlichen Bearbeitung bei den Fällen mit bekannter Quelle der PFAS-Fallliste (Stand: 29.11.2023).

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.

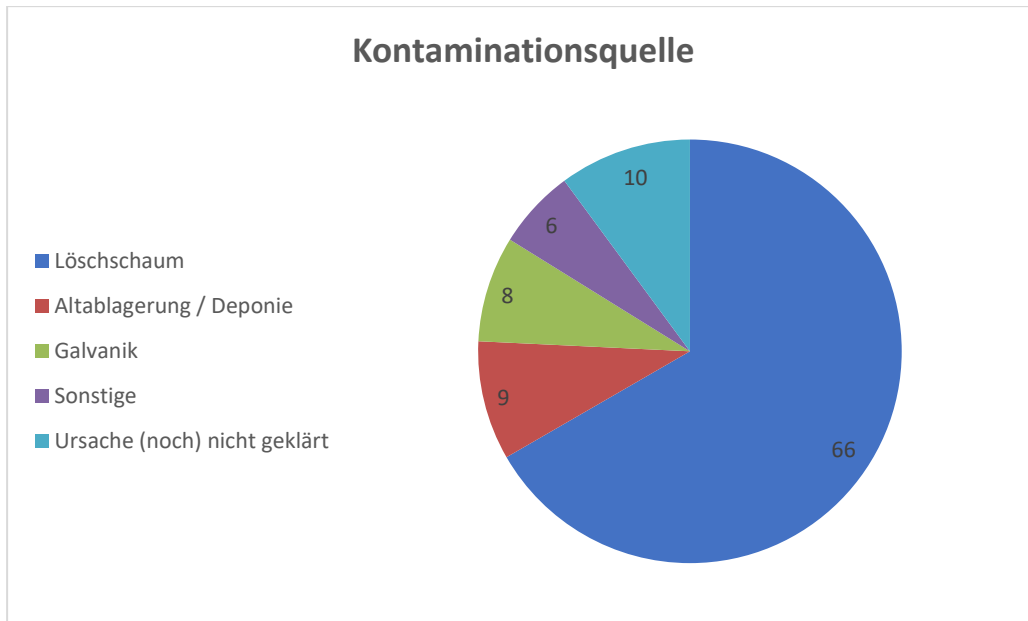


Abb. 4: Kontaminationsquelle

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 bzw. schädlichen Bodenveränderungen. Damit verbunden ist zwangsläufig eine entsprechend lange Bearbeitungszeit. Denn auch wenn der Nachschub an PFAS aus einer konkreten Quelle erfolgreich unterbunden wird (z. B. durch Sicherung der Quelle), wird ein Rückgang der Konzentrationen in den betroffenen Umweltmedien meistens erst deutlich verzögert erfolgen und 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 EG-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.

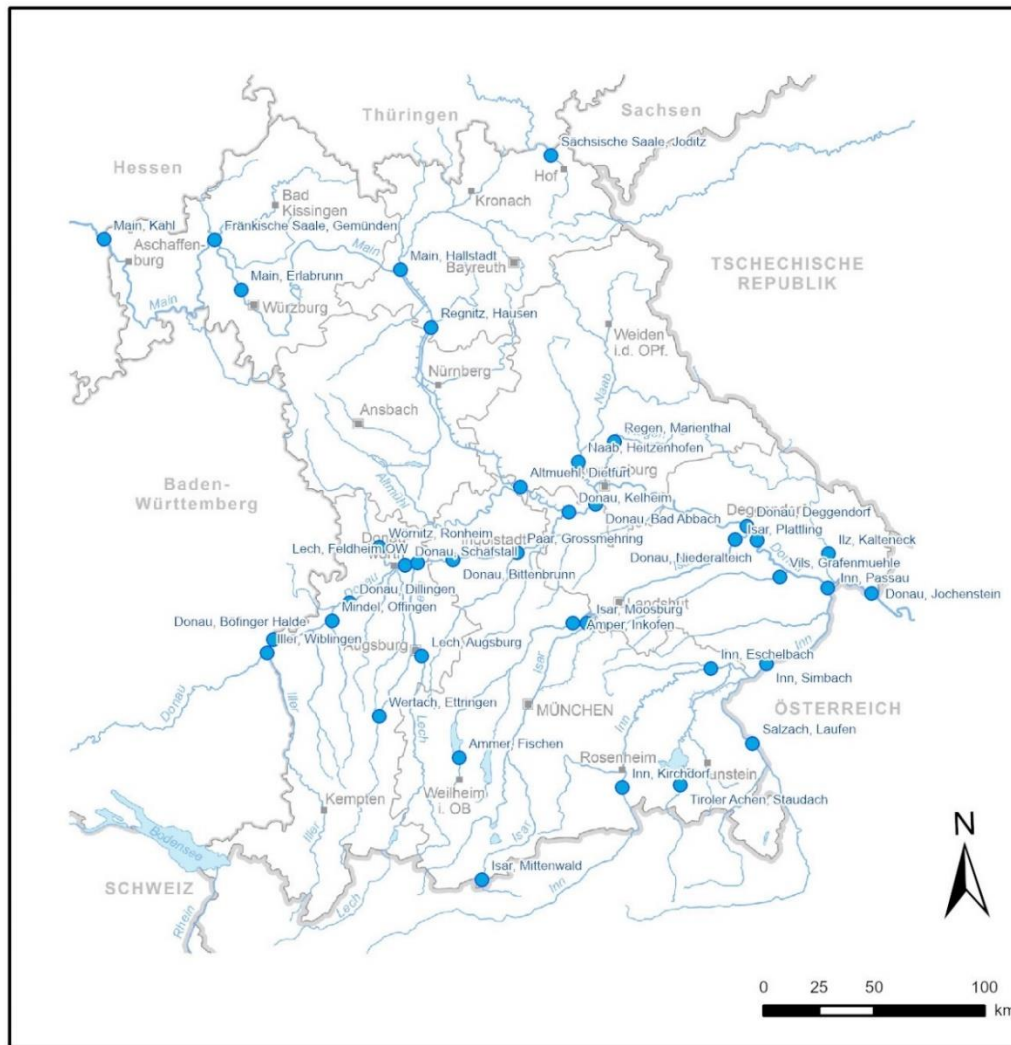


Abb. 5: Lage der 38 Überblicksmessstellen nach WRRL an den Fließgewässern, die im Dreijahreszyklus beprobt werden und an denen von 2015 bis 2020 vierteljährlich und seit 2021 monatlich PFAS in der Wasserphase untersucht werden.

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.

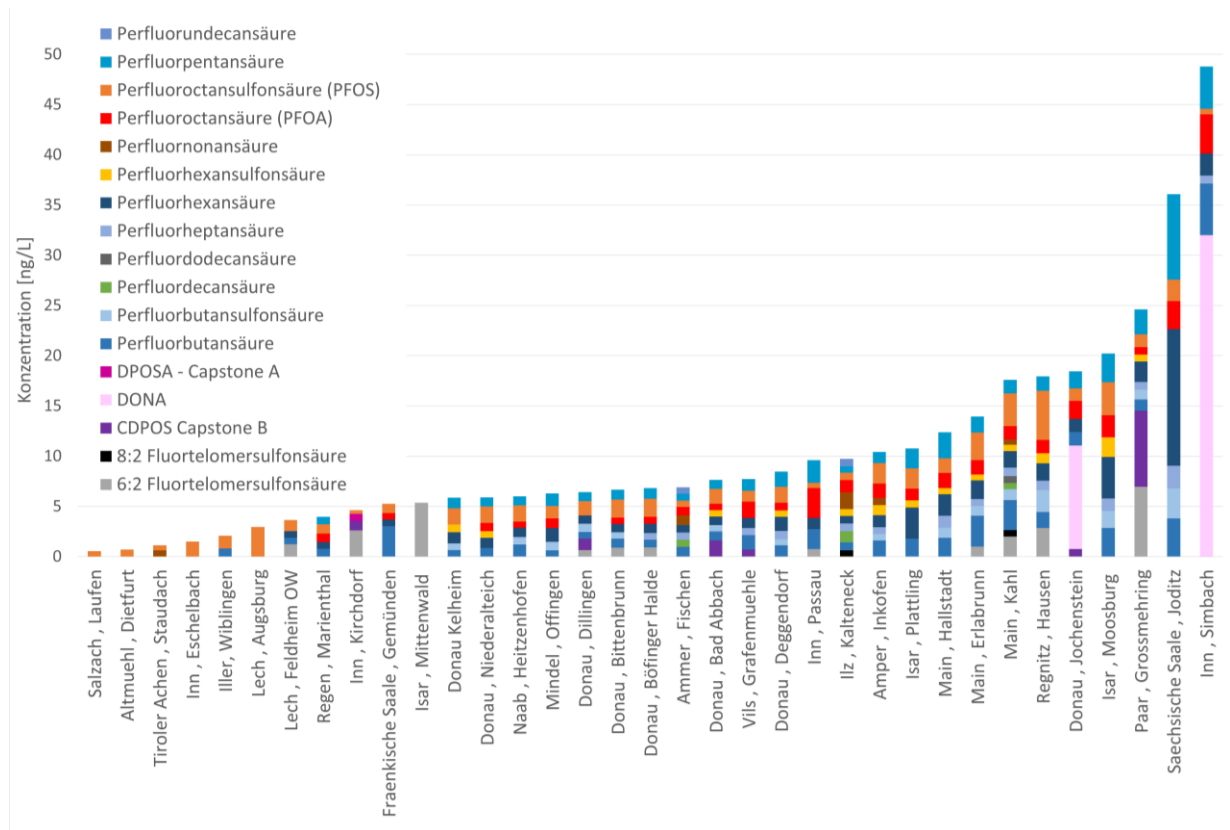


Abb. 6: Mittlere PFAS-Summenkonzentration in der Wasserphase der Fließgewässer, die 2018 bis 2020 beprobt wurden. Die Konzentrationen der Einzelverbindungen zeigen jeweils den aus drei bis vier einzelnen Untersuchungsergebnissen berechneten Mittelwert eines Jahres. Drei Überblicksmessstellen sind in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

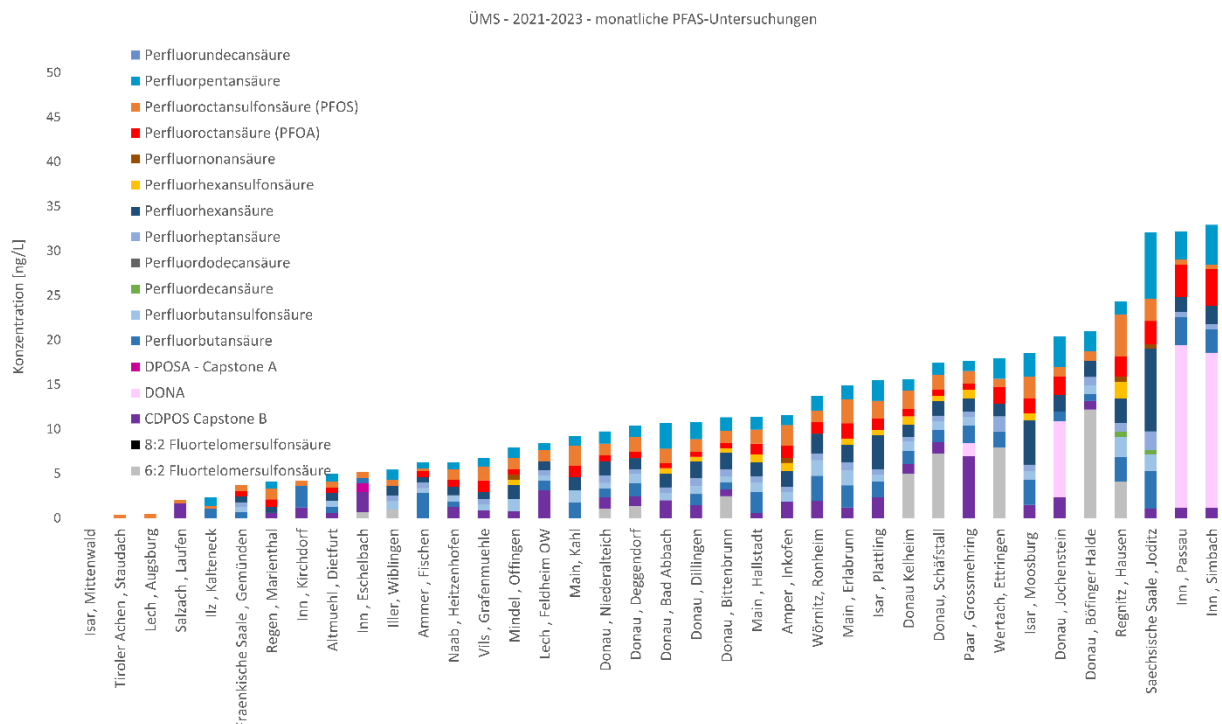


Abb. 7: Mittlere PFAS-Summenkonzentration in der Wasserphase der Fließgewässer, die 2021 bis 2023 beprobt wurden. Die Konzentrationen der Einzelverbindungen zeigen jeweils den aus zwölf einzelnen Untersuchungsergebnissen berechneten Mittelwert eines Jahres.

Abbildungen 6 und 7 fassen die Ergebnisse der von 2018 bis 2023 durchgeführten Untersuchungen an den Überblicksmessstellen zusammen. Im Untersuchungszeitraum zwischen 2018-2020 wurde an allen untersuchten Messstellen mindestens eine PFAS-Einzelverbindung größer der Bestimmungsgrenze (BG) im Jahresmittel nachgewiesen (Abb. 6) und PFAS-Konzentrationen von bis zu 49 ng/L in der Summe erreicht (Inn, Simbach). In den Untersuchungsjahren 2021 bis 2023 wurde an allen Überblicksmessstellen mindestens eine PFAS-Einzelverbindung größer der BG gemessen bis auf eine Ausnahme an der Isar (Mittenwald). Es wurden PFAS-Konzentrationen in der Summe bis zu 33 ng/L (Inn, Simbach) nachgewiesen (Abb. 7).

Die höchsten Jahresdurchschnittswerte treten in den Untersuchungszeiträumen 2018 bis 2023 bei den PFAS-Parametern DONA, PFHxA, CDPOS 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.

Im Rahmen der Monitoring Offensive Schadstoffe (MOSAIC) wurden im Zeitraum von 2018 bis 2023 etwa 90 Messstellen pro Jahr auf zehn PFAS-Parameter und seit 2021 zusätzlich vier weitere PFAS-Einzelsubstanzen untersucht (Tab. 2). Diese PFAS-Parameter wurden an einer Messstelle jeweils für ein Jahr vierteljährlich untersucht. Bis einschließlich 2023 konnten so 545 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. 6:2 FTSA, CDPOS, DONA und DPOSA werden im MOSAIC-Projekt seit 2021 routinemäßig untersucht.

Substanz	BG [ng/L]	Nachweis- häufigkeit [%]	Mittelwert [ng/L]	Maximum [ng/L]
PFBA	1	50,1	2,4	710
PFBS	1	27,3	1,1	78
PFDA	1	1,1	< BG	6,2
PFHpA	1	12,3	< BG	71
PFHxA	1	37,3	2	160
PFHxS	1	13,2	1,5	360
PFNA	1	4,1	< BG	130
PFOA	1	32,8	2,7	650
PFOS	0,2	80,8	2,6	530
PFPeA	1	27,5	2,7	480
6:2 FTSA	1	4,7	< BG	28
CDPOS	1	19,8	3,6	1000
DONA	1	2,1	14,4	2400
DPOSA	1	0,5	0,5	10

In den bisher untersuchten Gewässern konnten insgesamt 16 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 2018-2023 konnten von den 14 im Rahmen des MOSAIC-Projektes untersuchten PFAS-Parametern 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 81 % der Proben wurden PFOS, PFBA, PFHxA und PFOA detektiert, wobei PFOS mit einer im Vergleich zu den anderen Parametern sehr niedrigen Bestimmungsgrenze von 0,2 ng/L mit 81 % am häufigsten positive Befunde in den Proben aufwies.

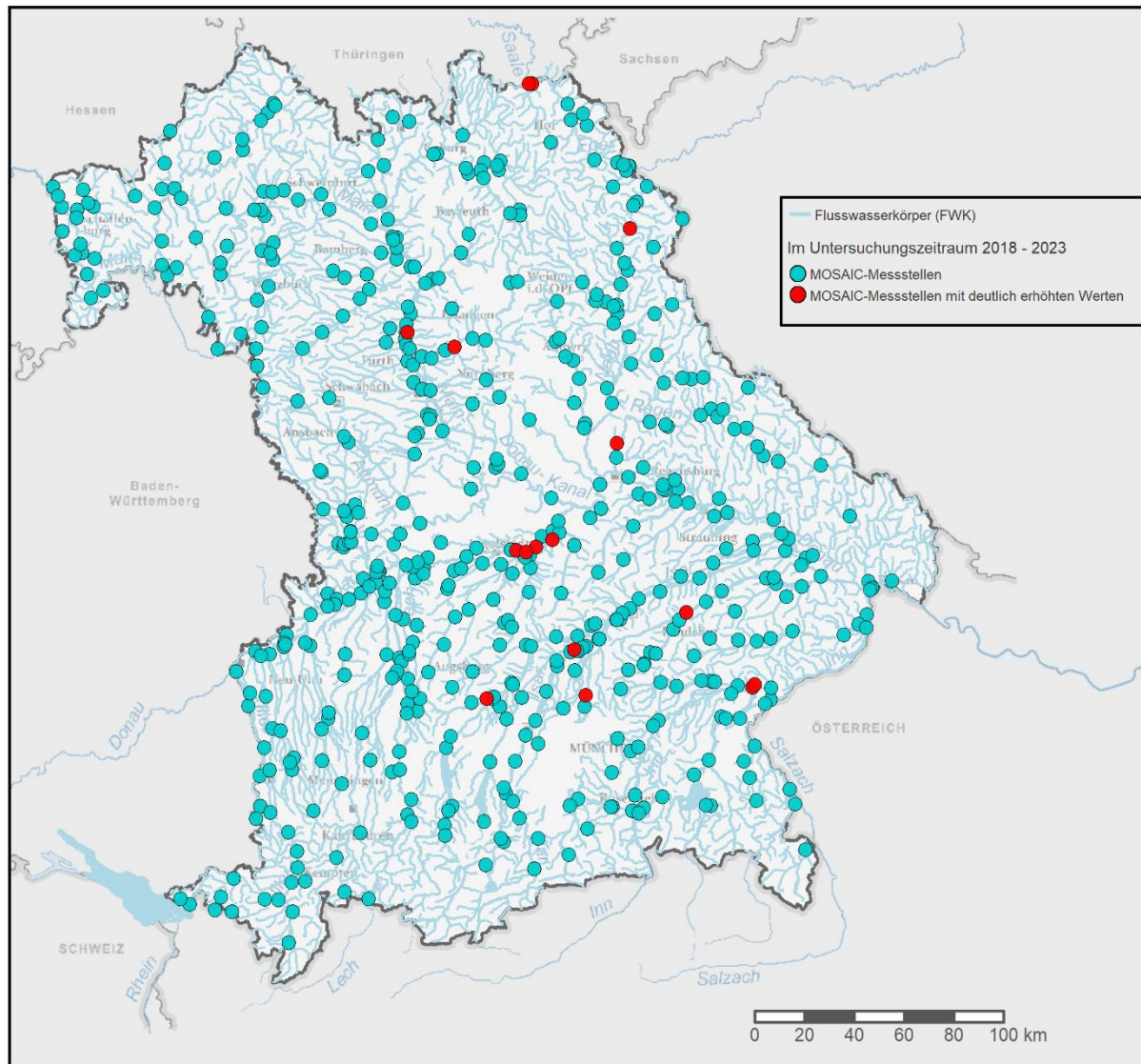
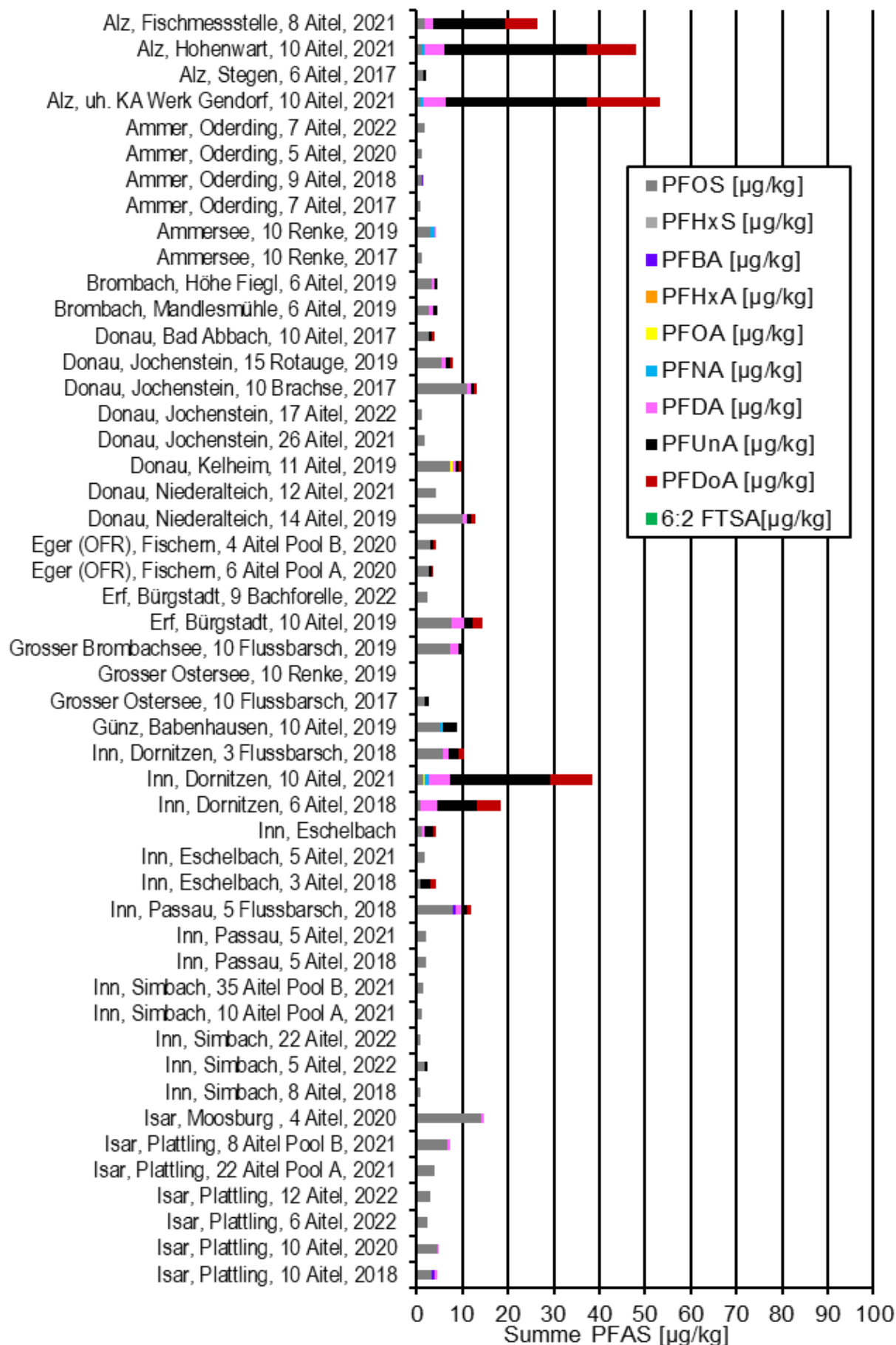


Abb. 8: Lage der MOSAIC-Messstellen, die zwischen 2018 und 2023 auf PFAS untersucht wurden.

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 Zeitraum 2017 bis 2022 wurden 150 Fischmuskulaturproben auf PFAS untersucht. In 73, also etwa der Hälfte dieser Proben, wurde nur PFOS und keine der weiteren untersuchten PFAS-Verbindungen mit Gehalten größer der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/kg nachgewiesen. In 12 der untersuchten Fischproben waren auch die PFOS-Gehalte in der Fischmuskulatur geringer als 0,5 µg/kg. Die Ergebnisse der Jahre 2017 bis 2022 sind in Abb. 9 dargestellt, sofern mindestens bei einer Untersuchung an der jeweiligen Stelle nicht nur PFOS größer der Bestimmungsgrenze war. Messwerte kleiner der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/kg werden nicht dargestellt (s. a. [1] [8] [9]).



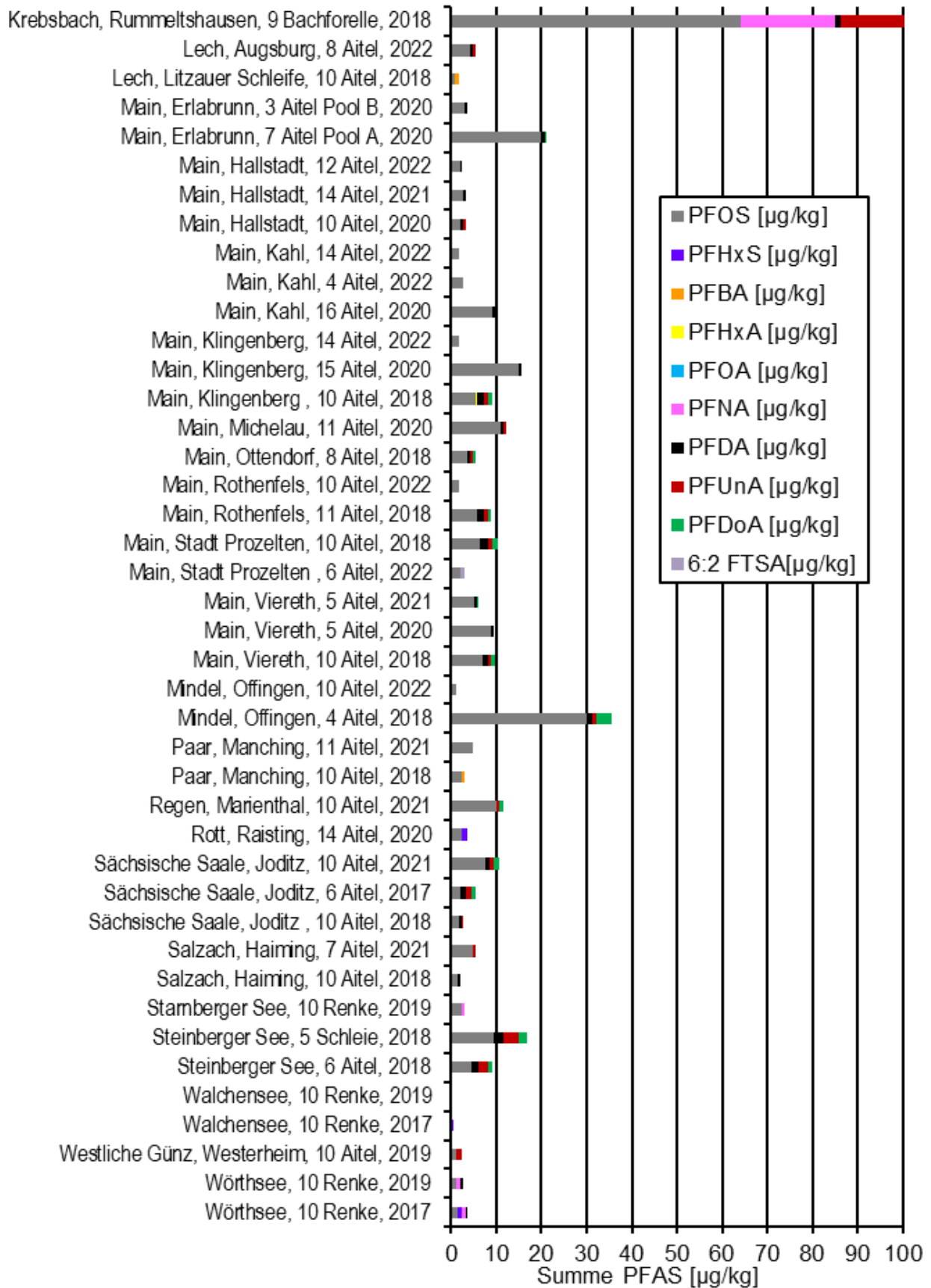


Abb. 9: PFAS-Konzentrationen in der Fischmuskulatur. Ergebnisse der in den Jahren 2017-22 untersuchten Poolproben aus bayerischen Gewässern, sofern an einer Probestelle mindestens in einem Untersuchungsjahr nicht nur PFOS größer der Bestimmungsgrenze war.

In den Jahren 2017 bis 2022 konnten von den 15 vom LfU untersuchten PFAS-Verbindungen folgende Verbindungen quantifiziert werden:

- in keiner der 150 untersuchten Fischmuskulaturpoolproben, da nie Konzentrationen größer der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/kg gemessen wurden:
4:2 Fluortelomersulfonsäure, (4:2 FTS), 8:2 Fluortelomersulfonsäure (8:2 FTSA), Perfluorbutansulfonsäure (PFBS), Perfluorpentansäure (PFPeA) und Perfluorheptansäure (PFHpA)
- in weniger als 10 % der untersuchten Proben:
6:2 Fluortelomersulfonsäure (6:2 FTS), Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS), Perfluorbutansäure (PFBA), Perfluorhexansäure (PFHxA), Perfluoroctansäure (PFOA), Perfluornonansäure (PFNA)
- in 20 - 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

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. Aktuell umfasst das Parameterspektrum standardmäßig 29 PFAS. Darunter befinden sich 20 perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren (C4-C13) gem. Trinkwasserverordnung (TrinkwV) sowie HFPO-DA („GenX“), DONA (aus ADONA) und andere Vorläuferverbindungen wie 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. Seit 2016 wurden bislang 853 ehemalige und aktuelle Messstellen des behördlichen Monitorings untersucht, davon 326

einmalig und 527 Messstellen mehrmalig (aktuell 12 „Trendmessstellen“ mit jährlicher Be-
probung in bis zu 5 aufeinanderfolgenden Jahre, Stand Juni 2024).

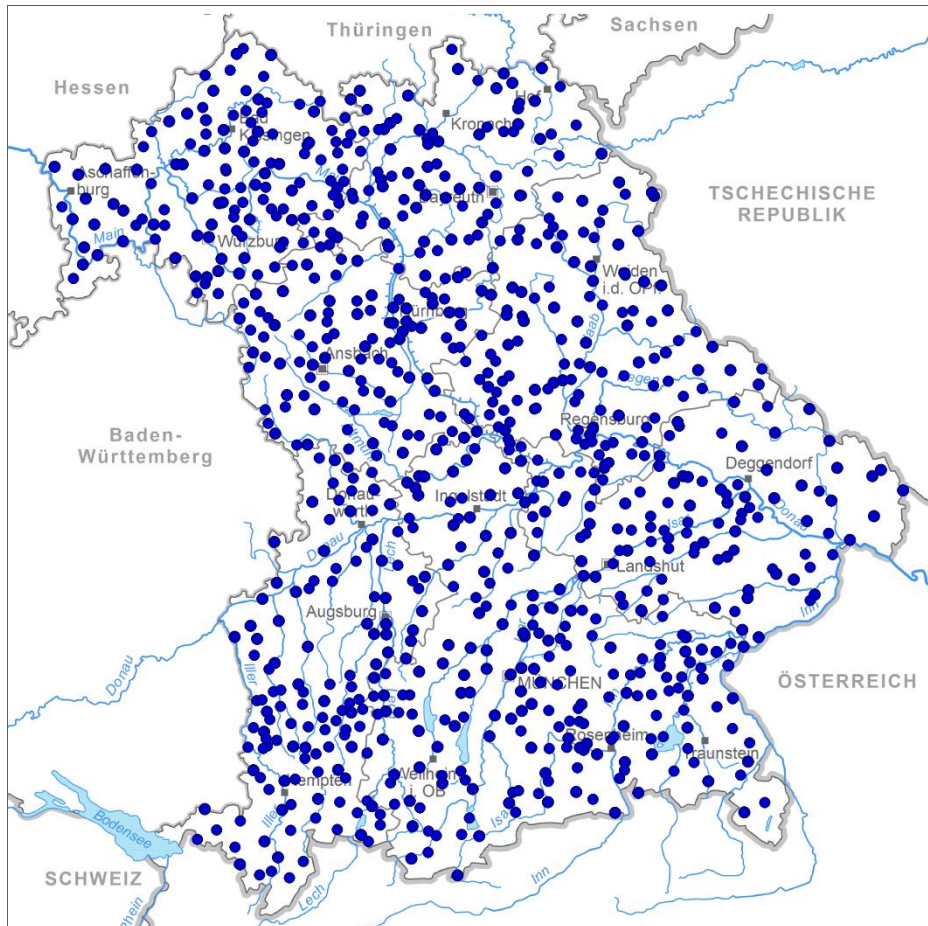


Abb. 10: Lage der Grundwassermessstellen im staatlichen Messnetz, die von 2016 bis 2024 beprobt wurden (Stand Juni 2024).

Als Ergebnis des bisherigen Grundwassermonitorings lässt sich festhalten:

- Allgemein geringe Fundhäufigkeit (Mediane der Konzentrationen 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)

- In industriellen Prozessen auftretende Stoffe wie DONA und HFPO-DA sind nur im Umfeld des Chemieparks Gendorf relevant, vereinzelte Nachweise auch im Grundwasser unterstromig entlang Alz und Inn
- Allgemeine Fundhäufigkeiten (ohne bekannte Schadensfälle):
PFBS > PFOS (mit angepasster Bestimmungsgrenze von 1 ng/L) > PFBA > PFOA > PFHxA > PFHxS > PFHpA > PFPeA; bis auf vereinzelte Ausnahmen (PFNA, PFDA, 6:2 FTSA, Capstone) keine Nachweise für perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren > C8 sowie polyfluorierte Vorläuferverbindungen.

2.5 Abwasser und Klärschlamm

Aufgrund des vielfältigen Einsatzes von PFAS in Industrie- und Konsumprodukten gelangen diese bei der Herstellung und Anwendung in das Abwasser. Während der Abwasserreinigung werden PFAS nicht vollständig abgebaut, sondern adsorbieren an den Klärschlamm oder gelangen über den Kläranlagenablauf in die Oberflächengewässer. Kläranlagenabläufe stellen damit eine Punktquelle für PFAS-Einträge in die aquatische Umwelt dar. Auch PFAS-belastete Klärschlämme, die landwirtschaftlich oder landschaftsbaulich verwendet werden, können zur Verbreitung von PFAS beitragen. Um Informationen zur aktuellen Belastung zu erhalten, wurden in den Jahren 2021 bis 2022 insgesamt 36 kommunale Kläranlagen untersucht. An sechs Kläranlagen wurden sowohl Kläranlagenablauf als auch Klärschlamm untersucht, an 25 Kläranlagen wurde nur der Ablauf untersucht und an fünf Kläranlagen nur der Klärschlamm.

Die Untersuchung der Kläranlagenabläufe zeigte folgendes:

- In 30 der 31 untersuchten Kläranlagenabläufe konnten PFAS nachgewiesen werden (Abb. 11)
- statt der sonst vorherrschenden langkettigen PFOA und PFOS werden hier vermehrt die kürzerkettigen C4-C6 PFCA, 6:2 FTS und 6:2 FTAB nachgewiesen
- PFPeA, PFHxA, 6:2 FTS und 6:2 FTAB wurden in den höchsten Konzentrationen nachgewiesen
- Trotz der Beschränkungs- und Regulierungsmaßnahmen für die langkettigen PFAS auf nationaler und internationaler Ebene, konnten PFOA und PFOS im Großteil der Abwasserproben noch immer detektiert werden
- Das PFAS-Spektrum in den verschiedenen Kläranlagen unterscheidet sich deutlich voneinander.

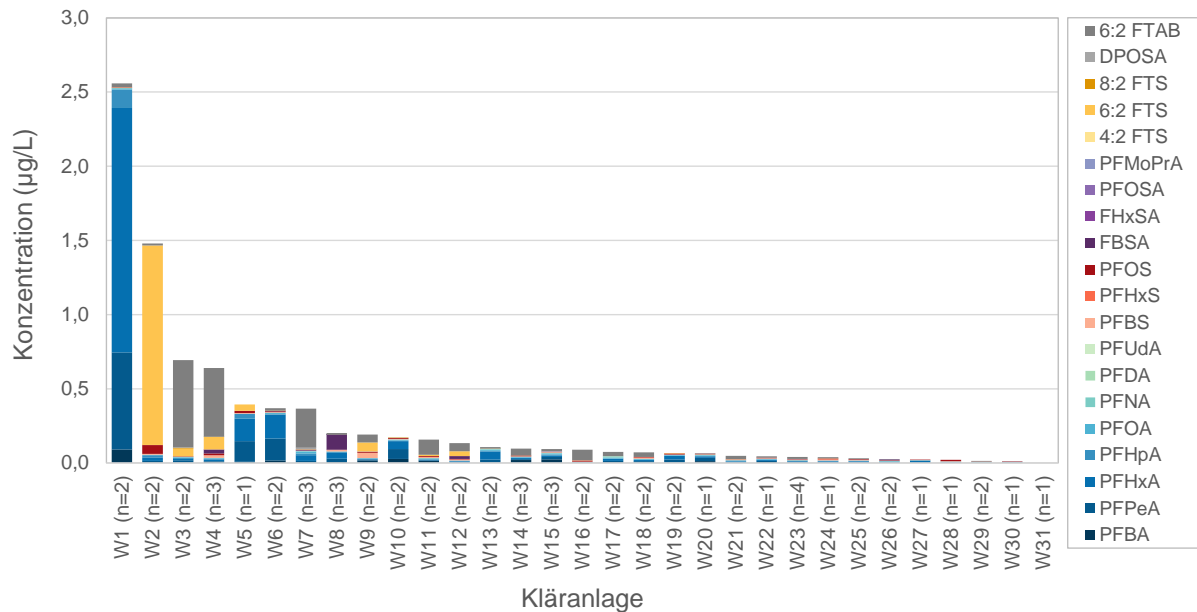


Abb. 11: Mittlere PFAS-Konzentration im Ablauf der 31 kommunalen Kläranlagen, die zwischen 2021 und 2022 untersucht wurden. Abgebildet sind die PFAS, die mindestens einmal in einer Konzentration größer der Bestimmungsgrenze detektiert wurden. Die Anzahl an Einzeluntersuchungen (n) ist in der Klammer hinter der Kläranlagenabkürzung angegeben.

Die Untersuchungsergebnisse der Klärschlammuntersuchungen zeigten:

- In keiner der untersuchten Klärschlammproben wurde der derzeit geltende Grenzwert für die Summe von PFOA und PFOS von 100 µg/kg Trockensubstanz (TS) der Düngemittelverordnung überschritten
- In allen Klärschlammproben waren PFAS in mittleren Konzentrationen zwischen 75 und 262 µg/kg TS detektierbar
- Von den analysierten PFAS konnten 27 mindestens einmalig in einer Konzentration größer der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden (Abb. 12)
- In den höchsten Konzentrationen wurden 5:3 PFCA mit 140 µg/kg TS, 6:2 FTAB mit 54 µg/kg TS und PFOS mit 27 µg/kg TS gemessen.

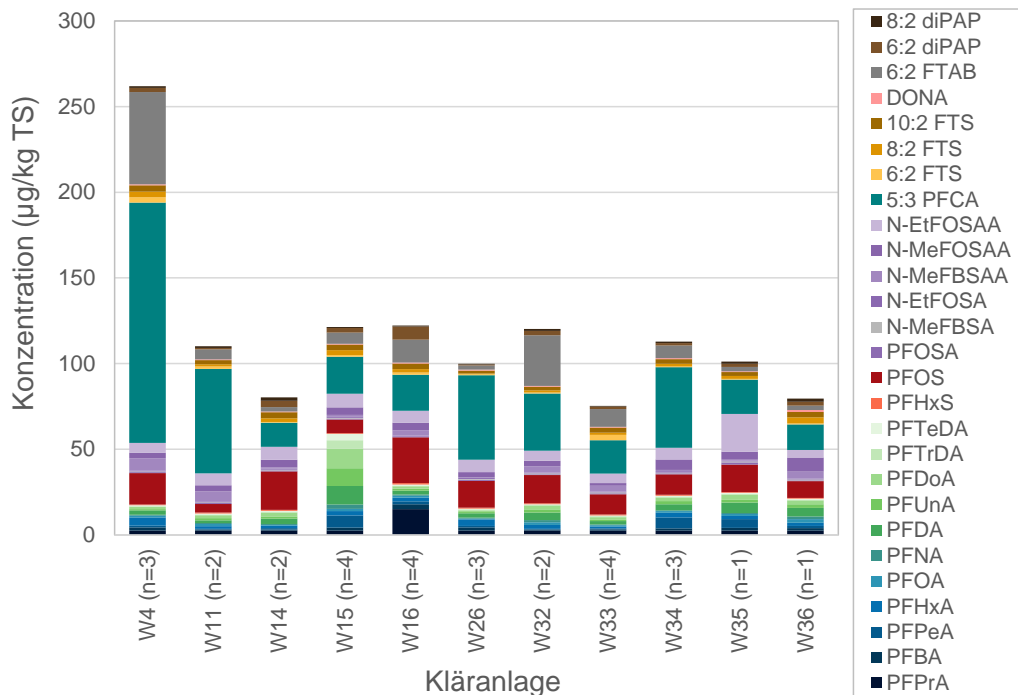


Abb. 12: Mittlere PFAS-Konzentration im Klärschlamm kommunaler Kläranlagen im Untersuchungsjahr 2022. Abgebildet sind die PFAS, die mindestens einmal in einer Konzentration größer der Bestimmungsgrenze detektiert wurden. Die Anzahl an Einzeluntersuchungen (n) ist in der Klammer hinter der Kläranlagenabkürzung angegeben.

2.6 Boden

Seit dem letzten Bericht 2022 sind für die Bodendauerbeobachtung keine neuen Erkenntnisse hinzugekommen, da die Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) im Turnus von 3 Jahren untersucht werden und die nächste Probenahmekampagne in 2025 stattfinden wird. Dies betrifft auch die vertiefenden Untersuchungen im Zusammenhang mit der PFOA-Belastung im Raum Gendorf (BDF Burghausen und Schönram/Freilassing), wo nach derzeitigem Stand vorerst keine zukünftige Probenahmen geplant sind.

Zur Erfassung der ubiquitären Verbreitung von PFAS in Böden ermittelt das Umweltbundesamt (UBA) von 2021 bis Anfang 2025 im Projekt „Hintergrundwerte für PFAS und (Mikro)Kunststoffe – bundesweit repräsentative Beprobung von landwirtschaftlich genutzten Böden“ (FKZ 3720 72 288 0) an 600 Standorten bundesweite Hintergrundwerte. Für die ca. 110 bayerischen Standorte des Projekts wurden noch keine Ergebnisse übermittelt.

Aufbauend auf diesen Daten werden vom LfU bayernspezifische Hintergrundwerte bestimmt, indem im Projekt „Ermittlung von Hintergrundwerten für PFAS in bayerischen Böden für die Ableitung von Richtwerten zur Bewertung“ von 2023 bis Ende 2025 zusätzlich 200 Standorte untersucht werden.

Analog zum LfU betreibt im Bereich Landwirtschaft auch die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) seit 1985 ein Bodendauerbeobachtungsprogramm (BDF). Derzeit werden auf ca. 120 praxisüblich bewirtschafteten Flächen in Bayern (Acker, Grünland, Sonderkulturen wie Hopfen und Wein) in regelmäßigen Abständen Bodenproben gezogen und u.a. auch der Regenwurmbestand erfasst. Auf den von der LfL betriebenen BDF sind PFAS bislang nicht untersucht worden. Für 2025 ist jedoch geplant, auf ausgewählten LfL-BDF auch PFAS im Boden zu untersuchen (Probenahme und Untersuchungen erfolgen in Anlehnung an die vom LfU verwendeten Methoden).

Die LfL ist mit ihren Boden-Dauerbeobachtungs-Flächen (Acker, Grünland) auch am UBA-Projekt beteiligt.

2.7 Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze – Landwirtschaft und Gartenbau

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

Die Bewertung des Pfades Boden-Nutzpflanze gemäß Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV [10]) liegt in der Zuständigkeit der Landwirtschaftsverwaltung (Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, AELF und Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL) - siehe Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Bodenschutz- und Altlastenrechts in Bayern [11]. Die Landwirtschaftsverwaltung ist auch dann durch die zuständige KVB zu beteiligen, wenn PFAS-belastetes Bodenmaterial oder Räumgut/Baggergut aus mit PFAS belasteten Oberflächengewässern auf landwirtschaftlich und gartenbaulich genutzten Flächen (§§ 6-7 BBodSchV) verwertet werden soll. Zum Einsatz von PFAS-haltigem Bewässerungswasser z.B. bei PFAS-Belastungen des (Grundwassers oder von Oberflächengewässern) ist Kap. 3.3.5 der LfU-PFAS-Leitlinien zu beachten (s. a. Kap. 3 dieses Landtagsberichts).

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

- Bodenuntersuchungen:
Parameter, Probenahmekonzept und -umfang, Bewertung der Untersuchungsergebnisse nach LfU-Leitlinie
- Untersuchungen von Aufwuchs und 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
- Untersuchungen von Brunnen-, Grund- und Oberflächenwasser auf PFAS, welches für die Bewässerung von Haus- und Kleingärten sowie landwirtschaftlich genutzter Flächen verwendet wird (Bewertung nach LfU-Leitlinie, ggf. in Abstimmung mit WWA)
- Beurteilung der weiteren Verwendung des Bewässerungswassers (z. B. Empfehlung für ein behördliches Untersagen der Brunnenwassernutzung im Hausgarten oder Reduzierung der maximal jährlich zulässigen Bewässerungsmenge in der Landwirtschaft)
- Verwertung von PFAS-haltigem Bodenmaterial oder Grabenaushub in Landwirtschaft und Gartenbau bei Belastung eines Oberflächengewässers in einem PFAS-„Belastungsgebiet“.

In der aktuellen Fassung der BBodSchV sind für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze jedoch keine Prüfwerte (weder Feststoffgehalte noch Eluatwerte) für PFAS festgelegt.

Deshalb ist bei Vorliegen von PFAS-Kontaminationen für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze nach dem Ablaufschema in Abb. 13 vorzugehen. Es gilt einheitlich für PFAS-Fälle auf landwirtschaftlich und gartenbaulich genutzten Flächen in Bayern.

Vorgehen bei PFAS-Kontaminationen für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze

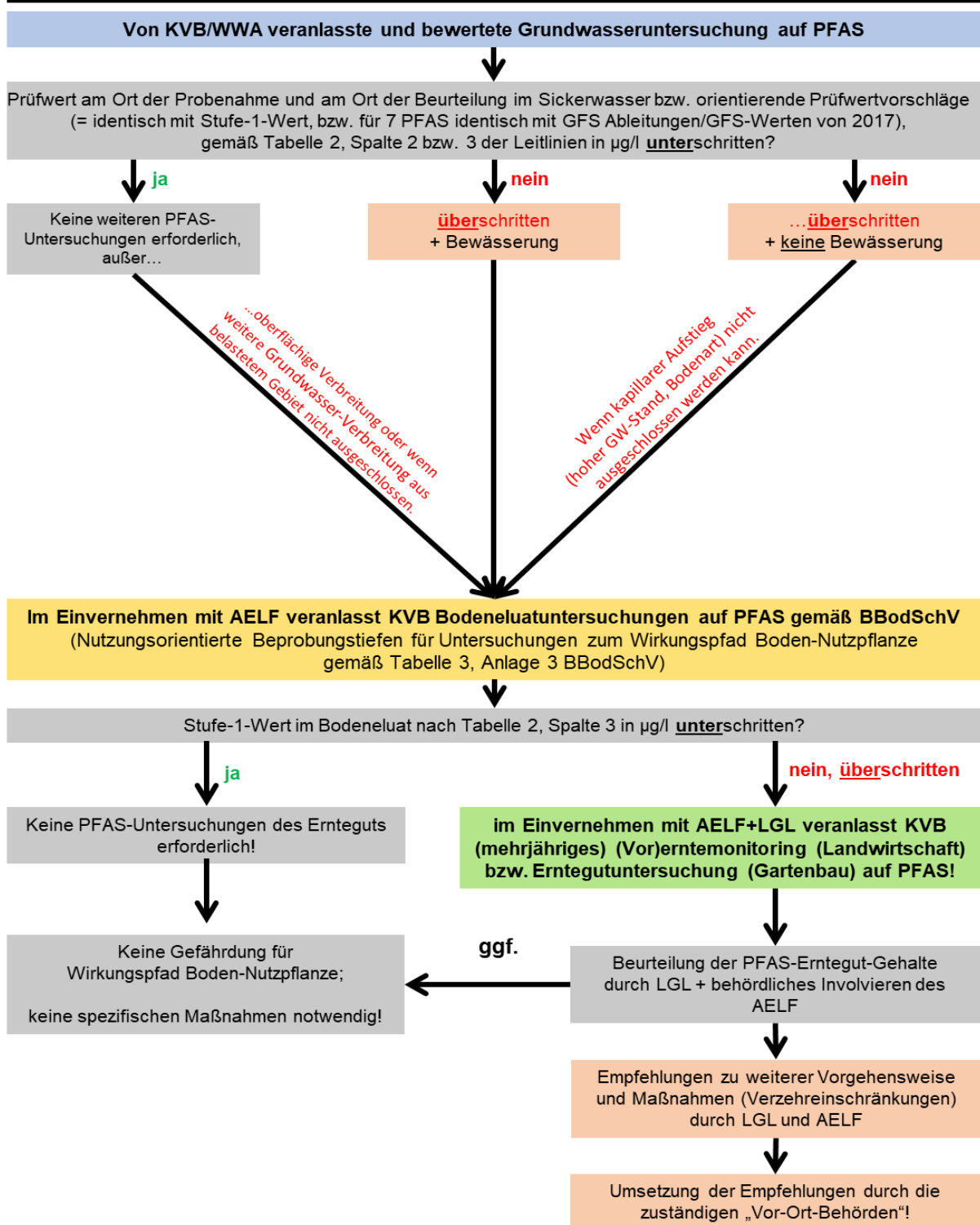


Abb. 13: Vorgehen bei PFAS-Kontaminationen für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze.

Da weder von PFAS-Grundwasserergebnissen mit Angabe einer gewissen Bewässerungsintensität des verwendeten Grundwassers für Bewässerungszwecke noch von PFAS-Bodenergebnissen (Eluat, Feststoff) direkt auf die PFAS-Gehalte im Erntegut geschlossen werden kann, werden bei großräumigen PFAS-Nachweisen daher meist ein

Vorerntemonitoring (Landwirtschaft) und Erntegutuntersuchungen (Erwerbsgartenbau, Haus- und Kleingärten) veranlasst. 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.

Liegen also Hinweise auf PFAS-Kontaminationen des Bodens auf landwirtschaftlich und gartenbaulich genutzten Flächen vor, entscheidet die KVB im Einvernehmen mit dem AELF aufgrund von Grundwasseruntersuchungen und Überschreitungen des Stufe-1-Wertes ob weitere Untersuchungen des Bodeneluats in den für Acker, Nutz- und Hausgärten bzw. für Grünland festgelegten nutzungsorientierten Beprobungstiefen gemäß Tab. 3, Anl. 3 BBodSchV auf PFAS erforderlich sind. Diese Untersuchungen werden bei Bedarf von Seiten der KVB veranlasst und die Ergebnisse im Einvernehmen mit dem AELF bewertet. Werden dabei Stufe-1-Werte für PFAS überschritten, ergibt sich das Erfordernis, Vorerntuntersuchungen (i.d.R. mehrjährig) durchzuführen und durch das LGL beurteilen zu lassen. Durchführung und Bewertung des Vorerntemonitorings bzw. der Erntegutuntersuchungen sowie die sich aus den Untersuchungsergebnissen ableitenden Maßnahmenempfehlungen zur weiteren Nutzung der Flächen, erfolgen in Zusammenarbeit von LGL und dem zuständigen AELF bzw. der LfL.

2.8 Lebensmittel (ohne Trinkwasser) / Futtermittel

2.8.1 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 Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) und des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) derzeit bei Teilen der Bevölkerung auch außerhalb besonderer Schwerpunktgebiete über der von der EFSA abgeleiteten tolerierbaren wöchentlichen Aufnahmemenge [12, 13]. 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, sofern es PFAS-Einträge aufweist, 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 Chemiepark 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.

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 Perfluornonansäure (PFNA) in Höhe von 4,4 Nanogramm pro Kilogramm Körpergewicht pro Woche [12]. Damit ist diese maximale Aufnahmemenge seit 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 dient als 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. Seit dem 01.01.2023 gelten in der Europäischen Union (EU) Höchstgehalte für PFAS in Lebensmitteln tierischen Ursprungs. Diese sind für Fleisch und Innereien von Schafen, Geflügel, Schweinen, Rindern und Wild, für Fischereierzeugnisse und Muscheln sowie für Eier in die Verordnung (EU) 2023/915 aufgenommen worden. Die Höchstgehalte wurden für die vier einzelnen von der EFSA bewerteten PFAS sowie für den Summengehalt dieser vier PFAS festgelegt. Zudem empfiehlt die Europäische Kommission, in den Jahren 2022 bis 2025 Lebensmittel auf das Vorkommen von PFAS zu überwachen und dabei die Lebensmittel auch auf weitere als die vier von der EFSA bewerteten PFAS zu analysieren. In der entsprechenden Empfehlung (EU) 2022/1431 legt

die Kommission zudem Richtwerte für Lebensmittel pflanzlichen Ursprungs sowie für Beikost und Milch fest. Bei Überschreitung der Richtwerte soll eine weitergehende Untersuchung der Ursache der Kontamination durchgeführt werden. Da die Richtwerte sehr niedrig festgelegt sind, werden entsprechend niedrige Bestimmungsgrenzen für die Analytik der PFAS notwendig. Hierfür müssen die analytischen Methoden in den Laboratorien weiter fortentwickelt werden, und auch das LGL hat die Nachweisempfindlichkeit seiner Bestimmungsmethoden seit dem letzten Bericht verbessert.

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 durchschnittliche Exposition 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.

2.8.2 Generelles Vorgehen bei der Beurteilung von Lebensmitteln

Aufgrund ihrer Auswirkung auf die Gesundheit sind perfluorierte Alkylsubstanzen in Lebensmitteln unerwünscht. Sofern für ein Lebensmittel in der Verordnung (EU) 2023/915 ein PFAS-Höchstgehalt festgelegt ist, wird dieser zur Beurteilung der festgestellten Gehalte und hinsichtlich der Prüfung der Verkehrsfähigkeit des Lebensmittels herangezogen. Zudem berücksichtigt das LGL für die Bewertung von PFAS-Gehalten in Lebensmitteln die aktuelle Stellungnahme der EFSA zu PFAS [12]. Gemäß dieser Stellungnahme 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 die oben genannte tolerierbare Aufnahme erreicht werden würde, wird für jede Probe berechnet und in Bezug zu den in Verzehrstudien ermittelten Verzehrmenngen für diese Lebensmittelmatrix gesetzt. Dabei wird aus Studien die 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 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. Wird dabei festgestellt, dass es bei üblichen Verzehrsmengen 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 werden die PFAS-Aufnahmen sowohl durch Kinder wie auch Erwachsene betrachtet und bewertet. 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.

2.8.3 Eigene Untersuchungsprogramme des LGL

Monitoring von PFAS in regional erzeugten Lebensmitteln in 14 ausgewählten Gebieten in Bayern

Siehe dazu auch Kap. 2.9.3 „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. Für diese Lebensmittel forderte das LGL Zufallsstichproben aus regionaler Erzeugung in den Untersuchungsregionen an.

Insgesamt lassen die 246 Zufallsstichproben im Rahmen dieses Projekts keine besonderen PFAS-Belastungen in gewerblich erzeugten Lebensmitteln aus den hier untersuchten Regionen erkennen. Die Nachweise von PFAS in Lebensmittelproben verteilten sich sowohl auf Regionen mit bekannten PFAS-Einträgen als auch auf die Kontrollregionen. 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.

Zudem konnte das LGL bei zwei Schweinefleischproben, die in den Regionen Giebelstadt

und Bamberg erzeugt wurden, die kurzkettinge PFBA quantitativ bestimmen. Die festgestellten Gehalte im Fleisch sind gesundheitlich unbedenklich. Da Höchstgehalte für PFBA im Lebensmittelrecht nicht festgelegt sind, waren keine regulatorischen Maßnahmen erforderlich. Bei weiteren sieben Proben wies das LGL Gehalte an unterschiedlichen PFAS nach, die jedoch so gering waren, dass ein genauer Wert nicht mit ausreichender statistischer Sicherheit angegeben werden konnte. Die Nachweise wurden jedoch zum Anlass genommen, Futtermittel oder Tränkwasser zu beproben, sofern es sich um Lebensmittel tierischen Ursprungs handelte, um dadurch möglicherweise Hinweise auf die Ursache für die Befunde zu erhalten (s. Kap. 2.8.6).

Ein anderes Bild ergibt sich, wenn Proben gezielt auf Grund von Hinweisen z. B. durch Umweltdaten entnommen werden. So wurden beispielsweise bei Fischen aus Gewässern im Abstrombereich des Grundwassers vom Flugplatz Manching fast ausnahmslos und teilweise auch außergewöhnlich hohe PFAS-Werte festgestellt, in diesem Fall vor allem PFOS. Ebenfalls erhöhte Gehalte sind in den untersuchten Wildschweinlebern zu finden [15].

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 in diesem Rahmen seit dem Jahr 2016 bis Ende 2023 rund 270 Fischproben. Fische mit PFAS-Gehalten über den in Lebensmitteln zulässigen Höchstgehalten konnten dabei in einigen Weihern um Augsburg, in der Friedberger Ach sowie in Freising (Mieskanal und Moosach) insbesondere in Barsch und Aal festgestellt werden. Erhöhte Gehalte wiesen weiterhin Forellen aus dem Verlorenen Bach, dem Oberlauf der Friedberger Ach, auf. Zudem untersuchte das LGL im Jahr 2023 Fische aus

Oberflächengewässern in der Nähe des Flughafens Neuburg-Zell, die vom dort ansässigen Fischereiverein genutzt werden. In einigen davon lagen die PFAS-Gehalte über den seit 01.01.2023 geltenden Höchstgehalten. Zudem wiesen etliche Fischarten aus diesen Gewässern Gehalte auf, die eine Einschränkung der üblichen Verzehrgeohnheiten notwendig machen, damit die Exposition nicht den TWI für die vier EFSA-PFAS von 4,4 ng/kg KG überschreitet. Eine entsprechende Verzehrempfehlung für betroffene Angelnde hat das LGL erstellt. Im Landkreis Altötting wies das LGL bei einer Wildforelle aus einem Gewässer nördlich des Öttinger Forstes einen Gehalt an PFOA in Höhe von 0,33 µg/kg nach, der unter dem in diesem Fall zulässigen Höchstgehalt für Lebensmittel von 1,0 µg/kg liegt. Weiterhin deuten Ergebnisse für Fischteiche von Angelvereinen aus der Nähe des Standortübungsplatzes Grafenwöhr darauf hin, dass diese nicht in besonderem Maße von der PFAS-Belastung einiger Oberflächengewässer innerhalb des Standortübungsplatzes betroffen sind. Dies trifft jedoch nach ersten Ergebnissen nicht für den Fluss Creußen zu, da die dort in den Fischen nachgewiesenen PFAS-Gehalte z.T. die Höchstgehalten überschreiten bzw. bei üblichen Verzehrmenen über dem TWI liegende PFAS-Gehalte aufgenommen werden. Hingegen lagen die Gehalte verschiedener Fische (Aal, Hecht und Karpfen), die aus Oberflächengewässern in der Nähe des Fliegerhorstes Erding stammten, in einem Bereich, der lediglich eine geringfügige Anpassung der Verzehrgeohnheiten notwendig macht, um unterhalb der Exposition in Höhe des TWI zu bleiben.

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 Erleogeorts 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. Durch die Analyse von Boden- und Grundwasserproben konnte der betroffene Bereich inzwischen eingegrenzt werden. Eine genaue Ursache für die PFAS-Gehalte in der Umwelt konnte jedoch nicht ermittelt werden. Das LGL untersuchte auch regional erzeugte Lebensmittel pflanzlichen Ursprungs und konnte nur in einer Probe Kartoffeln leicht erhöhte PFAS-Gehalte feststellen, die jedoch keine regulatorischen Maßnahmen notwendig machten. Der Erzeuger wurde jedoch trotzdem informiert und angehalten, im Rahmen seiner Sorgfaltspflicht nach den Ursachen der Gehalte zu suchen und diese soweit möglich zu reduzieren. Bei der Untersuchung von Bodenproben des Kartoffelackers durch das WWA wurden erhöhte PFAS-Gehalte, insbesondere für PFOS bei der Untersuchung im Eluat (2,0 µg/l im Oberboden, 3,5 µg/l in 30 bis 60 cm Tiefe), festgestellt. Die Ursachenermittlung für den erhöhten PFAS Gehalt ist noch nicht abgeschlossen. An den Acker angrenzend befindet sich ein Waldstück, ein Zusammenhang zu den hohen PFAS-Gehalten in den Wildschweinen ist denkbar. Die Jägerschaft vor Ort wurde durch die Behörden informiert, Wildschweinfleisch aus den betroffenen Jagdgebieten wird vorerst entsorgt und nicht als Lebensmittel verwertet.

Im Jahr 2023 wurde die Untersuchung von Wildschweinfleisch bundesweit im Rahmen des Lebensmittelmonitorings durchgeführt. Das LGL hat dazu 16 Proben aus Bayern untersucht und in allen Proben PFAS-Gehalte ermittelt. Dabei wurden die höchsten Gehalte für PFOS mit Werten zwischen 0,31 µg/kg und 4,8 µg/kg bestimmt. Für PFOA lagen die bestimmten Gehalte zwischen 0,34 µg/kg und 1,5 µg/kg. Zudem stellte das LGL in einer Probe PFHxS und in zwei anderen Proben PFHpA mit Gehalten jeweils unter 0,5 µg/kg fest. In vier weiteren Wildschweinfleischproben wurden PFTTrDA und PTeDA ebenfalls mit Gehalten unter 0,5 µg/kg nachgewiesen. Die Höchstgehalte gemäß Verordnung (EU) 2023/915 wurden in allen Proben eingehalten. Somit waren keine regulatorischen Maßnahmen erforderlich. Da sich die festgestellten PFAS wegen ihrer langsamen Ausscheidung im Menschen anreichern können, riet das LGL jedoch in Sachverständigenäußerungen vom übermäßigen Verzehr von Wildschweinfleisch mit derartigen PFAS-Gehalten ab, auch wenn dadurch keine akute Gesundheitsgefahr gegeben ist.

2.8.4 Vorgegebene Untersuchungsprogramme: Untersuchungen im Rahmen des bundesweiten Lebensmittelmonitorings

In den Jahren 2022 und 2023 wurden im Rahmen des bundesweiten Lebensmittelmonitorings neben den bereits unter Kap. 2.8.3 beschriebenen Proben Wildschweinfleisch, Proben von Vollmilch, Lamm- und Schafleber, Lachs (aus Zucht, auch tiefgefroren), Aal bzw. Aal geräuchert, Thunfisch in eigenem Saft, Weiß- und Rotwein, Rinderleber, Dorsch/Kabeljau, Riesengarnele (Gamba, King Prawn), Miesmuschel/-erzeugnisse, Blumenkohl, Vollbier untergärig sowie getrocknete Algen aus dem Handel oder von Erzeugern in ganz Bayern entnommen. Insgesamt untersuchte das LGL in diesem Programm 194 Proben auf PFAS. Aufgrund nun empfindlicherer Analyseverfahren wies das LGL bei den Zufallsstichproben häufiger als in der Vergangenheit PFAS nach. Die Gehalte lagen in allen Proben unter den Anfang 2023 neu eingeführten Höchstgehalten, regulatorische Maßnahmen waren nicht erforderlich.

Keine PFAS-Nachweise stellte das LGL in den Bier-, Vollmilch-, Garnelen-, Thunfisch-, Lachsfilet- sowie in den Weiß- und Rotweinproben fest.

Da sich PFAS in Innereien anreichern, wies das LGL diese vor allem in den Leberproben nach. In allen untersuchten 15 Rinderleberproben stellte das LGL PFOS mit Gehalten zwischen 0,32 und 1,4 µg/kg fest. In zwei Proben wurde zusätzlich PFDA mit Gehalten von 0,31 bzw. 0,38 µg/kg bestimmt. In fünf von neun Schafsleberproben lagen die festgestellten PFAS-Gehalte unter der Bestimmungsgrenze von 0,3 µg/kg. In den übrigen vier Proben ermittelte das LGL PFOS-Gehalte zwischen 0,4 und 0,9 µg/kg. Der Höchstgehalt gemäß Verordnung (EU) 2023/915 war damit jeweils eingehalten. Vermutlich sind die festgestellten Gehalte in den meisten Fällen nicht auf eine lokale PFAS-Kontamination, sondern auf die weltweit in der Umwelt verbreiteten geringen Gehalte an PFAS zurückzuführen.

Auch Fisch weist häufig geringe Gehalte an PFAS auf. So waren nur in zwei von 17 untersuchten Kabeljauproben keine PFAS nachweisbar, in elf Proben lagen die nachgewiesenen PFAS-Gehalte (PFOS, PFDA, PFUnA, PFTeDA) jeweils unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,3 µg/kg. In vier Kabeljauproben ermittelte das LGL PFOS-Gehalte zwischen 0,33 und 0,47 µg/kg. In zwei Proben stellte das LGL noch Gehalte von einem bzw. zwei zusätzlichen PFAS fest. Keiner der bestimmten Gehalte führte zu regulatorischen Maßnahmen. Die PFOS-Gehalte lagen jeweils unterhalb des Höchstgehalts von 2,0 µg/kg. In allen sieben untersuchten Proben Räucheraal wies das LGL jeweils PFOS nach, in vier

Fällen lag der Gehalt unter der Bestimmungsgrenze von 0,3 µg/kg, bei den anderen drei Proben zwischen 4,1 µg/kg und 6,9 µg/kg. Zum Teil wurden noch geringe Gehalte weiterer PFAS festgestellt. Die PFAS-Gehalte lagen unterhalb der zulässigen Höchstgehalte. Die Erzeuger wurden jedoch informiert und aufgefordert, im Rahmen ihrer Sorgfaltspflicht nach den Ursachen der Gehalte zu suchen und diese soweit möglich zu reduzieren.

Auffällig bei der Untersuchung von Mieschmuschelerzeugnissen war, dass das LGL in vier von sieben Proben den Analyt 6:2-Fluortelomersulfonamidalkylbetain (Capstone B, CDPOS) nachwies, einmal unterhalb der Bestimmungsgrenze und in den drei übrigen Proben mit Gehalten zwischen 0,64 und 4,5 µg/kg. Es handelt sich dabei um ein PFAS, das in speziellen Feuerlöschschäumen das in der Vergangenheit eingesetzte PFOS ersetzt. Zudem wurden in diesen drei Proben Perfluoroctansulfonamid (FOSA)-Gehalte zwischen 0,33 und 0,77 µg/kg bestimmt. Für beiden Analyten gibt es bislang keine festgelegten Höchstgehalte. Die ermittelten Gehalte erforderten auch nach einer Risikobewertung keine regulatorischen Maßnahmen. Die Inverkehrbringer wurden jedoch trotzdem informiert und angehalten, im Rahmen ihrer Sorgfaltspflicht nach den Ursachen der Gehalte zu suchen und diese soweit möglich zu reduzieren.

Pflanzliche Proben weisen wegen der schlechteren Aufnahme von PFAS in der Regel keine oder nur sehr geringe PFAS-Gehalte auf. So konnten in 16 von 17 Proben Blumenkohl und in elf von zwölf Proben getrocknete Algen keine PFAS nachgewiesen werden. In einer Probe Blumenkohl wurden jedoch PFBA unterhalb der Bestimmungsgrenze sowie geringe Gehalte an PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnA und PFDDA zwischen 0,035 µg/kg und 0,2 µg/kg ermittelt. Ebenso war eine Probe Algen auffällig mit Gehalten von 0,76 µg/kg PFOA, 0,047 µg/kg PFNA, 0,085 µg/kg PFHxA und 0,035 µg/kg PFHpA. Die Gehalte an PFOA und PFNA beim Blumenkohl sowie von PFOA in der Algenprobe lagen damit deutlich über den Richtwerten der Empfehlung (EU) 2022/1431 in Höhe von 0,010 µg/kg für PFOA bzw. 0,005 µg/kg für PFNA in Gemüse. Die Gehalte erfordern gemäß EU-Vorgaben keine regulatorischen Maßnahmen, aber der Erzeuger wurde informiert und wie in der Empfehlung vorgesehen aufgefordert, eine Ursachenermittlung durchzuführen und die Gehalte zukünftig soweit möglich zu reduzieren.

2.8.5 Risikoorientierte Probenahme

Die risikoorientierte Probenahme macht nach wie vor einen Großteil der vom LGL auf PFAS untersuchten Proben aus. Im Jahr 2023 waren ca. 70 % der 373 PFAS-Proben aus der Lebensmittelüberwachung risikoorientiert vorgelegt oder angefordert worden, weil z. B. auf Grund der Probenart oder einer bekannten Umweltkontamination in der Region eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für PFAS-Gehalte im Lebensmittel bestand (230 Proben) oder ein konkreter Verdacht auf eine Kontamination vorlag (36 Proben). Bei den risikoorientiert angeforderten oder vorgelegten Lebensmittelproben des Jahres 2023 beanstandete das LGL 4,5 % wegen Überschreitung der gesetzlichen PFAS-Höchstgehalte. Diese Lebensmittel durften nicht weiter vermarktet werden. Für 12,4 % der Proben stufte das LGL die Gehalte als auffällig erhöht ein, was Folgeuntersuchungen bzw. Maßnahmen zur Ursachenermittlung auslöste. So konnte beispielsweise für Schweinefleisch durch Abgleich der Haltungsformen mit den ermittelten Gehalten an PFAS die Freilandhaltung als die wahrscheinlich entscheidende Ursache für die PFAS-Kontamination identifiziert werden. In anderen Fällen belegten die Untersuchungen das Tränkewasser als Ursache für erhöhte Gehalte im Lebensmittel, etwa bei einer Hühner- und einer Rinderhaltung. Durch Umstellung auf Leitungswasser wurde daraufhin eine Reduktion der Gehalte in den Eiern und für das Rindfleisch erreicht. Auch als Resultat der Abfrage der Ernährungsgewohnheiten im Rahmen der umweltmedizinischen Beratung des LGL für Personen mit auffälligen PFAS-Gehalten beim Human-Biomonitoring (HBM) in Altötting untersuchte das LGL Lebensmittelproben. In den meisten Fällen konnte keine eindeutige Ursache gefunden werden. In einem Fall wiesen jedoch die Eier einer privaten Hühnerhaltung, die zu einem großen Anteil verzehrt wurden, stark erhöhte PFOA-Gehalte auf, sodass sie als wahrscheinliche PFOA-Quelle identifiziert und zukünftig als Lebensmittel vermieden werden konnten.

Die risikoorientiert untersuchten Proben sind meistens sehr heterogen. Im Jahr 2022 untersuchte das LGL jedoch in diesem Rahmen gezielt Hühnereierproben aus mobilen Hühnerhaltungen, die in einem bundesweiten Programm auf Flammschutzmittel, Dioxine und PCBs analysiert werden sollten, zusätzlich auf PFAS. In 14 von 19 Proben wurde eine Reihe an PFAS detektiert, darunter auch langkettige wie PFUnA, PFDDA, PFTrDA und PFTeDA, jedoch lagen die Gehalte jeweils unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,3 µg/kg. In fünf Proben wurden PFOS-Gehalte zwischen 0,4 und 1,1 µg/kg bestimmt. Der mittlerweile gültige PFOS-Höchstgehalt in Hühnereiern liegt bei 1,0 µg/kg PFOS.

Die Erzeuger wurden informiert und angehalten, im Rahmen ihrer Sorgfaltspflicht nach den Ursachen der Gehalte zu suchen und diese soweit möglich zu reduzieren. Zudem wurden bei diesen Proben, bei denen für Durchschnittsverzehrer und insbesondere für Kinder der TWI bei einem regelmäßigen Verzehr der Eier überschritten wäre, entsprechende Hinweise und Verzehrsmengenberechnungen übermittelt. Bei dem Gehalt von 1,1 µg/kg PFOS riet das LGL vorsorglich vom übermäßigen Verzehr derartiger Eier ab, auch wenn dadurch keine akute Gesundheitsgefahr gegeben war.

Ab Ende des Jahres 2022 untersuchte das LGL zudem risikoorientiert Fleisch-, Leber- und Eierproben, die in der Region um Gendorf erzeugt worden waren. In elf Proben Rindfleisch waren keine PFAS nachweisbar, während bei 13 Proben Schweinefleisch vereinzelt PFAS nachweisbar waren, wobei die Gehalte jedoch unter den Höchstgehalten lagen. In den zugehörigen zwölf Schweine- und zehn Rinderleberproben waren PFAS häufiger nachweisbar und bei jeweils zwei Proben Rinder- sowie Schweineleber waren ein oder mehrere PFAS-Höchstgehalte nicht eingehalten. Da jeweils die ganze Leber am LGL als Probe vorgelegt worden war, gelangte keine kontaminierte Leber in den Verkauf. Bei zwei von zwölf am LGL untersuchten Proben Hühnereiern stellte das LGL eine sichere Überschreitung des PFOA-Höchstgehaltes fest. Eine davon stammte aus einer privaten Haltung und wies zudem auch einen Gehalt an PFOS über dem Höchstgehalt auf. Die betroffene Person wurden informiert, vom Eigenverzehr der Eier wegen der PFAS-Gehalte abgeraten und darauf hingewiesen, dass die Eier nicht an Dritte als Lebensmittel abgegeben werden dürfen. Bei der anderen Probe forderte das LGL Maßnahmen zur Reduzierung des Gehaltes und eine Nachprobe. Nach Umstellung des Tränkwassers auf PFAS-freies Trinkwasser lag in der ca. zwei Monate später entnommenen Nachprobe der Gehalt an PFOA unter der Bestimmungsgrenze und damit unter dem zulässigen Höchstgehalt.

2.8.6 Futtermittel

Als Expositionsquelle für das Lebensmittel liefernde Tier sollten u.a. der Boden, Einstreumaterial, Umgebungsluft und Futtermittel genannt werden. Bei Futtermitteln (hierunter fällt auch das Tränkwasser) spielt, vergleichbar zum Menschen, die Aufnahme von PFAS über belastetes Tränkwasser i.d.R. eine größere Rolle als über belastete Futtermittel, da hier im Verhältnis zur Körpermasse relativ viel aufgenommen wird. Wie im Falle von Lebensmitteln sind PFAS auch im Futtermittel unerwünscht. Im Gegensatz zum Lebensmittelbereich existieren für Futtermittel bis Dato jedoch keine gesetzlich bindenden Grenzwerte.

Auch Richtwerte gibt es nicht. 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 Lebensmittel liefernden 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 Tränkwässer die Grundlage für sichere Lebensmittel tierischen Ursprungs dar.

2.8.6.1 Generelles Vorgehen bei der Beurteilung von Futtermitteln

Die Ergebnisse der durch das LGL untersuchten Futtermittel werden der für den Vollzug zuständigen Behörde übermittelt und bei Bedarf Stellungnahmen zur Futtermittelsicherheit in Bezug auf die Tiergesundheit und Lebensmittelsicherheit, inklusive entsprechender Empfehlungen von Seiten des LGLs durchgeführt.

Bei PFAS spielt insbesondere die chronische Exposition eine Rolle für die Gesundheit (beim Tier, wie beim Menschen). Für Nutztiere fehlen toxikologische Daten jedoch nahezu gänzlich.

Nach Ableitung der täglichen Dosis können in Anlehnung an tierexperimentelle toxikologische Daten unter Einbeziehung von Sicherheitsfaktoren Aussagen zur Gefährdung der Tiergesundheit getroffen werden. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass das Leben landwirtschaftlicher Nutztiere abhängig von der Tierart und der Nutzungsrichtung weit unter der Lebenserwartung des Menschen liegt. Hier in Bayern spielte bei den bisher untersuchten Futtermitteln der Einfluss auf die Tiergesundheit nahezu keine Rolle.

Anschließend wird der Transfer für die einzelnen nachgewiesenen PFAS in das Lebensmittel tierischen Ursprungs in Abhängigkeit davon, ob spezifische Daten für Ihren Übertrag ins tierische Lebensmittel vorliegen oder nicht, abgeschätzt. Die berechneten Konzentrationen werden mit den Höchstgehalten im Lebensmittel verglichen und entsprechende Empfehlungen gegeben, wie z. B. die Versorgung mit Tränkwasser von Brunnenwasser auf Trinkwasser umzustellen oder eine möglichst geringe Ration in der täglichen Fütterung der Tiere zu verwenden.

Zuletzt wird die tägliche bzw. wöchentliche Aufnahme für Vielverzehrer (P95%) und Kinder, bei ausschließlicm Konsum von so belasteten Lebensmitteln entsprechend des

Vorgehens für die Risikobewertung bei Lebensmitteln errechnet. Diese Werte werden anschließend mit der tolerablen wöchentlichen Aufnahme (TWI) von 4,4 ng/kg/Woche in der aktuellen Stellungnahme der EFSA verglichen. Anschließend werden entsprechende Hinweise und Empfehlungen für die Vollzugsbehörde formuliert.

2.8.6.2 Amtliche Futtermittelproben

Im Rahmen der amtlichen Probenahme werden am LGL Einzelfuttermittel sowohl als Planproben, als auch als anlassbezogene Proben (Verfolgspalten) auf PFAS untersucht.

Das LGL beteiligte sich zudem am bundesweiten PFAS-Monitoring der Jahre 2022 und 2023 zur Ermittlung der Hintergrundbelastung von PFAS in Futtermitteln. Hierfür wurden jedes Jahr 18 Einzelfuttermittel beprobt. Dabei lag der Untersuchungsschwerpunkt im Jahr 2022 auf Grünfütter bzw. Aufwuchsproben, im Jahr 2023 auf Einzelfuttermitteln wie Raps oder Weizen.

Weiterhin wurden im Jahr 2022 und 2023 projektbezogene Futtermittelproben im Rahmen des One-Health-Projektes des LGL auf PFAS untersucht (s. Kap. 2.9.3)

Insgesamt untersuchte das LGL seit Beginn des Jahres 2022 125 Futtermittelproben (darunter 22 Tränkwasserproben) auf ihre PFAS-Gehalte (Stichtag 30.06.2024). Im Jahr 2022 wies das LGL in vier amtlichen Proben (zwei Monitoringproben und zwei Verfolgspalten) PFAS nach, darunter drei Futtermittel und ein Tränkwasser. Im Jahr 2023 wies das LGL in einer von 18 Monitoringproben messbare PFAS-Gehalte nach. Weiterhin ermittelte das LGL bei vier von 12 Verfolgspalten (2 Tränkwasserproben und 2 Wiesengrassproben) PFAS-Gehalte oberhalb der Bestimmungsgrenze, wobei bei jeder dieser Proben sechs bis sieben verschiedene Einzelsubstanzen festgestellt wurden. Es wurden kurzkettige, wie auch langkettige PFAS nachgewiesen - einige davon oberhalb, andere unterhalb der Bestimmungsgrenze. In 18 von 45 projektbezogenen Futtermitteln und Tränkwasser-Proben wies das LGL ebenfalls PFAS nach (siehe hierfür auch [14] und [15]). Die Gehalte bewegten sich bis auf wenige Ausnahmen bei den anlassbezogenen Proben im Spurenbereich.

Im ersten Halbjahr 2024 wurden fünf Tränkwasserproben im Rahmen der Planprobenziehung untersucht. In keiner der Proben wurden PFAS nachgewiesen.

In allen Fällen wurde die zuständige Behörde informiert und, wo notwendig, Risikobewertungen mit den entsprechenden Empfehlungen durch das LGL verfasst.

2.9 Menschliche Gesundheit

2.9.1 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.

2.9.2 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 der 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 [16]. 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 [17]. 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 [17].

Bewertung der EFSA

Die EFSA betrachtet bei der gesundheitlichen Bewertung von PFAS zur Ableitung des TWI-Werts aus dem Jahr 2020 (s. Kap. 2.8.1) 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.

2.9.3 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 und im Zeitraum von Januar 2022 bis Mai 2023 Untersuchungen im Rahmen eines Umweltmonitorings in 14 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, lokal produzierte Lebensmittel und Tränkwasser und Futtermittelproben, um mögliche Aufnahmepfade für die chemischen Substanzen zu identifizieren. Die Proben stammten aus sieben Gebieten mit bekanntem Eintrag von PFAS, mehrheitlich aus der Anwendung von PFOS-haltigen Löschschäumen auf Militärflughäfen, und aus sieben regionalen

Kontrollgebieten ohne bekannten PFAS-Eintrag in die Umwelt. 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 14 Untersuchungsregionen waren PFAS jeweils nicht nachweisbar oder die geltenden Trinkwasser-Leitwerte sowie auch die ab den Jahren 2026 und 2028 gültigen Grenzwerte der TrinkwV für PFAS wurden weit unterschritten. Der ausführliche Endbericht zum ersten Teil der Studie ist auf der LGL-Website veröffentlicht [15], der Endbericht zum zweiten Teil wird bis Ende des Jahres veröffentlicht werden.

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 sowie der ab den Jahren 2026 und 2028 gültigen Grenzwerte der TrinkwV.

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 µg/l, Median: 20 µg/l, 95. Perzentil: 58 µg/l) als in einer Vergleichsgruppe aus einer Gegend ohne eine spezielle Belastung mit PFOA (München: Median: 1,1 µg/l). 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 (s. Kap. 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 [18].

Das LGL führte 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 war 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 wurden 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 wurden auch die Konzentrationen verschiedener impf- bzw. infektionsassoziierter Antikörper (Tetanus, Diphtherie, SARS-CoV-2) im Blut gemessen, um Hinweise zu einer möglichen Assoziation der PFOA-Belastung auf die Immunantwort zu erhalten.

Im Jahr 2020 wurde der HBM-II-Wert zur gesundheitlichen Bewertung einer inneren PFOA-Belastung abgeleitet. Da er sich wie oben erwähnt für die Allgemeinbevölkerung und für Frauen im gebärfähigen Alter unterscheidet, wurden die Ergebnisse der Folgeuntersuchung für beide Gruppen getrennt ausgewertet. Die PFOA-Gehalte im Blut der Teilnehmenden aus der Allgemeinbevölkerung verringerten sich nach Ablauf einer Halbwertszeit um 56,9 %. Der Median von 23,2 µg/l Blut im Jahr 2018 sank auf 10,0 µg/l Blut im Jahr 2022. Bei Frauen im gebärfähigen Alter zwischen 15 und 49 Jahren fielen die PFOA-Gehalte um 59,6 %. Der Median reduzierte sich von 10,9 µg/l im Jahr 2018 auf 4,4 µg/l

Blut im Jahr 2022. Alle weiteren vom LGL untersuchten PFAS im Blut der Probanden lagen auf dem Niveau der allgemeinen Hintergrundbelastung ohne bekannte Expositionsquellen [19].

Die Ausprägung des Immunschutzes in Bezug auf Tetanus und Diphtherie zeigte keinen Zusammenhang mit den PFOA-Gehalten im Blut. Ein ausreichender Immunschutz lag bei 92 % der untersuchten Personen für Tetanus vor. Für Diphtherie war jedoch nur bei 48 % der Personen ein ausreichender Immunschutz nachweisbar. Generell sinkt der Diphtherie-Immunschutz mit steigendem Alter. Die Resultate stimmen mit Ergebnissen aus anderen Studien überein, die ebenfalls von einer Abnahme der Leistungsfähigkeit des Immunsystems mit zunehmendem Alter berichten. Personen mit einem zu geringen Diphtherie-Immunschutz wurden vom Gesundheitsamt Altötting durch ein Befundschreiben darüber informiert, ob im Einzelfall nach Rücksprache mit dem Hausarzt eine Auffrischungsimpfung zu empfehlen ist. Im Fall von SARS-CoV-2 zeigte sich bei nahezu allen untersuchten Personen ein hoher Antikörperspiegel. Die Höhe des Antikörperspiegels steht vermutlich im Wesentlichen im Zusammenhang mit der zeitlichen Nähe zwischen der Blutentnahme und der COVID-19-Impfung bzw. -Infektion. Die Ausprägung des Immunschutzes gegen SARS-CoV-2 war ebenfalls nicht mit der inneren PFOA-Belastung assoziiert.

Die Folgeuntersuchung des LGL im Landkreis Altötting belegt, dass die ergriffenen Maßnahmen zur Sanierung der Trinkwasserversorgung wirksam sind. Der Hauptaufnahmepfad für PFOA ist durch den Einbau von Aktivkohlefiltern seit 2018 für alle öffentlichen Trinkwasserversorger in der betroffenen Region beseitigt. Die PFOA-Gehalte im Blut der Bevölkerung sind seitdem durchschnittlich um mehr als die Hälfte gesunken. Die Antikörperuntersuchungen des LGL zeigen, dass die innere PFOA-Belastung nicht mit der Immunantwort assoziiert ist. Ein ausführlicher Zwischenbericht zu den Ergebnissen der HBM-Untersuchungen auf PFAS ist auf der LGL-Website veröffentlicht [19]. Ein Endbericht wird zum Abschluss des noch laufenden Projektes veröffentlicht werden. Informationen zu Untersuchungen des LGL im Landkreis Altötting in Zusammenhang mit PFOA und PFAS allgemein sind ebenfalls auf der LGL-Website zu finden [20].

2.10 Trinkwasser

2.10.1 Gesetzliche Regelungen

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

Um den toxikologischen Erkenntnissen der EFSA Rechnung zu tragen, wurde im Rahmen der nationalen Umsetzung der TW-RL in der TrinkwV neben der Übernahme des Wertes für *Summe PFAS-20* in Höhe von 0,000 10 mg/l ein zusätzlicher Grenzwert für die Summe der Konzentrationen von PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS (bezeichnet als *Summe PFAS-4*) in Höhe von 0,000 020 mg/l für Trinkwasser eingeführt. Diese vier PFAS machen ca. 50% der PFAS in der menschlichen Nahrungsaufnahme bzw. 90% der internen Körperbelastung aus und sind von besonderer toxikologischer Besorgnis.

Die Grenzwerte für den Parameter PFAS gelten gemäß TrinkwV ab 12.01.2026 (*Summe PFAS-20*) bzw. ab 12.01.2028 (*Summe PFAS-4*). Zusätzlich hat das UBA toxikologisch begründete Konzentrationen für die Einzelverbindungen der PFAS-20 festgelegt, die bei der Bewertung von PFAS-Gehalten im Trinkwasser herangezogen werden können [21]. Grundsätzlich dürfen allerdings nach § 7 Abs. 1 TrinkwV im Trinkwasser chemische Stoffe nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen.

Bei den toxikologisch begründeten Konzentrationen handelt es sich nicht um rechtsverbindliche Grenzwerte, sondern um das Ergebnis wissenschaftlicher Bewertungen.

2.10.2 Trinkwasseruntersuchungen

Da im Fall einer Kontamination 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. Das LGL gehörte damit zu den ersten amtlichen Laboren in Deutschland, die diese Analytik durchführten.

Am LGL wurden seit Beginn des Jahres 2022 insgesamt 295 Trinkwasserproben untersucht (Stichtag: 30.06.2024). Dabei handelte es sich zu einem Teil um Proben zur Überwachung bereits bekannter PFAS-Kontaminationen und der eingesetzten Aufbereitungsmaßnahmen sowie um Kontrolluntersuchungen beim Vorliegen von Hinweisen auf eine mögliche PFAS-Kontamination (z. B. PFAS-Befunde im Grundwasser, auffällige Ergebnisse bei Eigenkontrollen der Wasserversorger oder PFAS-Schadensfälle in der Umgebung). Zudem wurden einige Wasserversorger im Rahmen einer risikoorientierten Probenplanung untersucht. Unter den angegebenen Proben sind auch die Trinkwasserproben, die quartalsweise im Landkreis Altötting entnommen und am LGL analysiert werden. Die Ergebnisse werden fortlaufend im Internet veröffentlicht [22]. Neben dem Trinkwasser wurden teilweise die zugehörigen Rohwässer ebenfalls analysiert. Diese sind in der oben angegebenen Anzahl an Trinkwasserproben nicht enthalten. Mehr als 90 % der Proben stammte aus zentralen Wasserversorgungsanlagen, ein geringer Teil war aus Einzelwasserversorgungen entnommen worden.

Neben den in der TrinkwV mit einem Grenzwert belegten 20 PFAS-Verbindungen nahm das LGL vorsorglich auch weitere PFAS ins Analysenspektrum auf, die z. B. als Ersatzstoffe eingesetzt werden und zukünftig eine Relevanz in Trinkwasser erlangen könnten wie u. a. DONA (Perfluoro-4,8-dioxa-3H-nonansäure), HFPO-DA (auch als „GenX“ bezeichnet) und das DONA-Abbauprodukt PFMOPrA (Perfluor-3-methoxypropansäure). Das LGL setzt das neue Messverfahren mit dem erweiterten Substanzspektrum seit Anfang des Jahres 2023 ein und hat Anfang 2024 noch eine nachweisstärkere Variante etabliert, um die von der TrinkwV geforderten Vorgaben an die Bestimmungsgrenze vollumfänglich zu erfüllen.

Werden Gehalte an PFAS im Trinkwasser festgestellt, die nicht vom Grenzwert der Trinkwasserverordnung erfasst sind, prüft das LGL diese unter toxikologischen Gesichtspunkten hinsichtlich möglicher negativer gesundheitlicher Wirkungen bei Aufnahme durch den Menschen. Auf Basis des Besorgnisgrundsatzes könnten so – sofern nötig – regulatorische Maßnahmen getroffen werden.

In allen im Berichtszeitraum untersuchten zentralen Wasserversorgungsanlagen wurden die zukünftig geltenden Grenzwerte *Summe PFAS-20* und *Summe PFAS-4* eingehalten. Auch bei den Einzelwasserversorgungen liegen die gemessenen Gehalte größtenteils unter den Grenzwerten. Lediglich in drei Einzelwasserversorgungen (aus zwei Landkreisen)

wird jeweils der ab 2028 geltende Grenzwert *Summe PFAS-4* von 20 ng/l überschritten. Der PFAS-Schaden war in diesen Landkreisen bereits bekannt. Die betroffenen Betreiber sind über die Untersuchungsergebnisse informiert und müssen jetzt Maßnahmen prüfen und ergreifen, um den Grenzwert spätestens mit dessen Inkrafttreten einzuhalten. Für alle Nachweise von weiteren, nicht in den Grenzwerten der TrinkwV enthaltenen PFAS waren bisher auf Grund der niedrigen Gehalte jeweils keine gesundheitlichen Risiken zu erwarten.

Auch bei den im Jahr 2018/2019 im Rahmen des LGL-Sonderprogramms für PFAS in Trinkwasser untersuchten Proben waren meistens keine und nur gelegentlich geringe PFAS-Gehalte in den Trinkwasserproben der zentralen Wasserversorgungsanlagen nachweisbar. Zieht man retrospektiv die zukünftig geltenden PFAS-Grenzwerte für die Bewertung der damaligen Ergebnisse heran, kommt es zu einem ähnlichen Bild: In allen im Rahmen des Sonderprogramms untersuchten Trinkwasserproben aus zentralen Wasserversorgungen werden die zukünftigen Grenzwerte eingehalten.

Obwohl die Grenzwerte erst 2026 bzw. 2028 in Kraft treten, ist den Wasserversorgern die Untersuchung auf PFAS im Rahmen ihrer Eigenkontrollen bereits jetzt zu empfehlen, damit ggf. rechtzeitig Maßnahmen zur Reduktion der PFAS-Gehalte getroffen werden können. Das LGL unterstützt die Gesundheitsämter durch Beratung und ggf. auch durch die Untersuchung von Kontrollproben. Für die Kontaktaufnahme besteht weiterhin die PFAS-Infoline (Tel.: 09131 6808 2497) bzw. das Funktionspostfach PFC@lgl.bayern.de.

3 Nationale und europäische Regelungen

Im Folgenden werden nur nationale und internationale Regelungen aufgeführt, die nicht bereits in den jeweiligen Fachkapiteln erwähnt wurden. Detaillierte Informationen und Hinweise zur Bewertung von PFAS-Belastungen in Boden, Grundwasser, Oberflächengewässer, Abwasser, Klärschlamm und Bewässerungswasser finden sich in den „Leitlinien zur Bewertung von PFAS (Stand: März 2024)“ des LfU [23].

3.1 Nationale Regelungen

3.1.1 Boden, Altlasten und schädliche Bodenveränderungen

- Grundsätzlich gelten die Regelungen des Bodenschutzrechts (BBodSchG [24]).
- In der Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (Art. 2 der Mantelverordnung [10], die am 21.08.2023 in Kraft getreten ist) sind erstmals Prüfwerte für sieben PFAS enthalten.
- In Ergänzung hierzu gelten die PFAS-Leitlinien des LfU [23]. Der vom Bund zur Anwendung empfohlene PFAS-Leitfaden des Bundes wurde in der jetzigen Form in Bayern nicht eingeführt, geeignete Passagen daraus wurden in die Leitlinien übernommen.

3.1.2 Grundwasser

- Das Grundwasser ist gemäß § 47 Abs. 1 Nr. 2 Wasserhaushaltsgesetz (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 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 Indirekt-einleiter, 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 Um-

weltqualitätsnormen 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. So sind nach der REACH-VO bereits mehrere PFAS als besonders besorgniserregend eingestuft, für die keine PNEC-Werte festgelegt werden können und für die EU-weite Beschränkungen bestehen.

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 Europäische Regelungen

Völkerrechtliche Übereinkommen, wie die Stockholmer Konvention, werden aufgrund ihrer Umsetzungen in europäisches Recht nicht näher betrachtet.

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 zeitlich befristete 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.

- Perfluorierte Carbonsäuren der Längen C₉-C₁₄ sind seit dem 25. Februar 2023 nach der REACH-Verordnung beschränkt. Zeitlich befristete Ausnahmen bestehen auch hier u. a. für invasive und implantierbare Medizinprodukte sowie bestimmte Feuerlöschschäume.
- Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) ist seit August 2023 über die POP-Verordnung beschränkt. Eine 2026 zur Überprüfung anstehende Ausnahme besteht für konzentrierte Feuerlöscherschäumgemische.

Als besonders besorgnis-erregende Substanzen (SVHC) nach der REACH-Verordnung sind in deren Kandidatenliste weitere PFAS aufgeführt (Stand Juni 2024):

- Perfluordecansäure (PFDA) und ihre Natrium- und Ammoniumsalze
- Perfluorbutansäure (PFBS) und ihre Salze
- Perfluortridecansäure
- Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) und ihre Salze
- Perfluorheptansäure und ihre Salze
- Perfluorononansäure und ihre Natrium- und Ammoniumsalze
- Perfluorundecansäure
- Perfluordodecansäure (PFDoA)
- Perfluortetradecansäure
- 2,3,3,3-Tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propionsäure, ihre Salze und Säurehalogenide (GenX-Prozess)

Aus der Aufnahme eines Stoffes in die Kandidatenliste leitet sich keine unmittelbare Zulassungspflicht nach der REACH-VO ab. Es ergeben sich jedoch umfangreiche Informationspflichten in der Lieferkette. So müssen Lieferanten von Stoffen der Kandidatenliste ein Sicherheitsdatenblatt mitliefern bzw. unterliegen Produzenten oder Importeure von Erzeugnissen, die besonders besorgniserregende Stoffe in einer Konzentration von mehr als 0,1 % Massenprozent enthalten, Melde- und Auskunftspflichten. Ferner wird für diese Stoffe eine regulatorische Maßnahmenoptionsanalyse durchgeführt, um die bestmögliche Vorgehensweise in Hinblick auf ihre Regulierung festzulegen.

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 findet aufgrund des bundesweit begrenzten Deponieraums in Verbindung mit spezifischen technischen Anforderungen an die Deponierung nur sehr eingeschränkt statt. Die regelmäßige Entsorgung von Bodenmaterial in thermischen Abfallbehandlungsanlagen ist allein aufgrund des hohen Energiebedarfs nicht darstellbar. Vereinzelt konnten PFAS erfolgreich und großmaßstäblich mittels Bodenwäsche aus dem Boden entfernt werden. Die technische Realisierbarkeit hängt dabei vor allem von Art und Menge des Bodenmaterials und bei in-Situ-Sanierungen von den jeweiligen standörtlichen Gegebenheiten ab.

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.

Zur Sanierung belasteten Grundwassers kommen neben der Abreinigung über Aktivkohle z. T. auch Ionenaustauscher sowie bei sehr hohen PFAS-Konzentrationen die Zugabe von Fällungsmitteln, i. d. R. als Vorbehandlungsschritt, zur Anwendung. Die Schaumfraktionierung stellt ein zusätzliches Verfahren, besonders bei erhöhten PFAS-Konzentrationen, dar. Dieses Verfahren wird derzeit im Technikumsmaßstab getestet und befindet sich kurz vor der Marktreife. Weitere Verfahren zur Dekontamination PFAS-belasteten Grundwassers (z. B. Sonolyse, Plasmabehandlung) befinden sich in Entwicklung, sind jedoch aktuell technisch noch nicht ausgereift. Die direkte Injektion von kolloidaler Aktivkohle in Grundwasserleiter stellt eine der wenigen in-situ anwendbaren Alternativen dar. In Deutschland wurde dieses Verfahren bisher kaum eingesetzt, v. a. wegen Bedenken hinsichtlich der Langzeitwirksamkeit.

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. Der Fokus liegt dabei zunehmend auf Verfahrenskombinationen, an deren Ende die endgültige Zerstörung und damit Entfernung der PFAS aus der Umwelt steht. Einen aktuellen Überblick über verfügbare und in der Entwicklung befindlichen Sanierungsverfahren bietet die Arbeitshilfe „Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen, Anhang C“ [25].

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 [26].

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“ [26], 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 eine bayernweite, sondern eine deutschland-, EU- und sogar weltweite Herausforderung, 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“. Die Vorteile von PFAS wurden von allen zu schätzen gewusst und lange wurden entsprechende Produkte verwendet (und auch weiterhin verwendet).
- 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 bzw. schädlichen Bodenveränderungen; 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 begrenzten 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.
- Meldekettens sind etabliert und haben sich bewährt.

- Es wurde eine PFAS-Fallliste etabliert, 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. In einigen Fällen konnte die Bearbeitung auch abgeschlossen werden.
- 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 [27]
 - LGL (Tel. 09131 6808 - 2497, E-Mail pfc@lgl.bayern.de): Themenbereiche Gesundheit, Trinkwasser, Lebensmittel, umweltmedizinische Beratung [28].

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 Emissionsmin- derung als auch gesetzliche Beschränkungen/Verbote der gesamten PFAS- Gruppe.
- Vor diesem Hintergrund muss insbesondere auch die Entwicklung neuer und die Weiterentwicklung vorhandener PFAS-freier Ersatzstoffe intensiv gefördert und vor- angetrieben werden.

Quellen / Links / weiterführende Informationen

- [1] [Per- und polyfluorierte Chemikalien in Bayern - Untersuchungen 2006 - 2018 - Publikationsshop der Bayerischen Staatsregierung](#)
- [2] [https://www.oecd-ilibrary.org/reconciling-terminology-of-the-universe-of-per-and-polyfluoroalkyl-substances_e458e796-en.pdf?itemId=%2Fcontent%2Fpublication%2F458e796-en&mimeType=pdf](#)
- [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] [Bundesgesetzblatt \(bgbl.de\)](#)
- [11] [baymbi-2023-476.pdf \(verkuendung-bayern.de\)](#)
- [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/publikationen/doc/lgl_jahresbericht_2021_2022.pdf](#)
- [15] [https://www.lgl.bayern.de/downloads/lebensmittel/doc/abschlussbericht_pfas_monitoring.pdf](#)

- [16] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/dokumente/2018_stellungnahme_hbm-kom_zu_hbm-i-werten_fuer_pfoa_und_pfos.pdf
- [17] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4031/dokumente/hbm_ii-werte_-_bundesgesundheitsbl_63-2020.pdf
- [18] https://www.lgl.bayern.de/downloads/gesundheit/arbeitsplatz_umwelt/doc/be-richt_hbm_altoetting_2018_07_11.pdf
- [19] https://www.lgl.bayern.de/publikationen/doc/zwischenbericht_folgeuntersuchung_hbm_pfoa_altoetting.pdf
- [20] https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/kontaminanten/pfas/et_ueber-sicht_pfoa_aoe.htm
- [21] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/13195/dokumente/empfehlung_des_umweltbundesamtes_-_bewertung_der_pfas-20_aus_der_trinkwasserverordnung.pdf
- [22] https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/warengruppen/wc_59_trinkwasser/ue_2023_trinkwasser_pft_messwerte.htm
- [23] [Leitlinien zur Bewertung von PFAS](#)
- [24] [BBodSchG - nichtamtliches Inhaltsverzeichnis \(gesetze-im-internet.de\)](#)
- [25] www.umweltbundesamt.de/publikationen/sanierungsmanagement-fuer-lokale-flaechenhafte-pfas
- [26] <https://www.cee.ed.tum.de/sww/publikationen/forschungsberichte/>
- [27] [PFC-Infoline - LfU Bayern](#)
- [28] [Perfluorierte Chemikalien \(PFC\) – Infoline an Landesämtern \(bayern.de\)](#)