



Human-Biomonitoring-Folgeuntersuchung zur Belastung der Bevölkerung im Landkreis Altötting mit Perfluorooctansäure (PFOA) nach Ablauf einer Halbwertszeit

Zweiter Zwischenbericht

Berichtszeitraum: 16.05.2022 – 31.12.2023

Bayerisches Landesamt für
Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL)
Sachgebiet Arbeits- und Umweltbezogener Gesundheitsschutz
Sachgebiet Infektionsepidemiologie und Surveillance, Daten- und Modellierungsunit
Sachgebiet Public Health Mikrobiologie

Im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Gesundheit, Pflege und Prävention

Februar 2024

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	4
Zusammenfassung.....	7
Hintergrund.....	10
Teil I: Ergebnisse des Human-Biomonitoring 2022 und Vergleich mit 2018	14
1. Darstellung der Bewertungsgrundlagen (HBM-I- und HBM-II-Wert).....	14
2. Methoden.....	15
2.1 Durchführung des Human-Biomonitorings (HBM)	15
2.2 Analytik.....	16
2.3 Datenauswertung.....	18
3. Ergebnisse und Vergleich mit der ersten HBM-Untersuchung 2018	18
3.1 Charakterisierung der Untersuchungsgruppe	18
3.1.1 Teilnehmende	18
3.1.2 Weitere Personengruppen.....	20
3.2 Ergebnisse für das gesamte Untersuchungsgebiet	20
3.2.1 Ergebnisse für die Gruppe der Allgemeinbevölkerung	20
3.2.2 Ergebnisse für weitere Untersuchungsgruppen	22
3.2.2.1 Ergebnisse für die Gruppe der Kinder unter 12 Jahren	22
3.2.2.2 Ergebnisse für die Gruppe der Frauen im gebärfähigen Alter	24
3.3 PFAS-Gehalte ausgewertet nach einzelnen Trinkwasserversorgungsgebieten im Landkreis Altötting	25
3.3.1 Interne PFAS-Belastung im Versorgungsgebiet Altötting	25
3.3.2 Interne PFAS-Belastung im Versorgungsgebiet Burgkirchen.....	28
3.3.3 Interne PFAS-Belastung im Versorgungsgebiet Emmerting.....	31
3.3.4 Interne PFAS-Belastung im Versorgungsgebiet Kastl und Markt Tüßling.....	34
3.3.5 Interne PFAS-Belastung im Versorgungsgebiet Neuötting und Winhöring	37

3.3.6	Interne PFAS-Belastung im Versorgungsgebiet Marktl, Haiming, Stammham und Alzgern (Inn-Salzach-Gruppe)	40
3.3.7	Statistischer Vergleich des Rückgangs der internen PFOA-Belastung in den einzelnen Trinkwasserversorgungsgebieten bezogen auf den Median	43
4.	Bewertung der Ergebnisse.....	45
Teil II: Ergebnisse der Antikörper-Analysen		47
1.	Methoden.....	47
1.1	Analytik.....	47
1.2	Datenauswertung.....	48
2.	Ergebnisse der Antikörperuntersuchung	50
2.1	Charakterisierung der Untersuchungsgruppen	50
2.1.1	Gruppe der Erwachsenen.....	50
2.1.2	Gruppe der Kinder und Jugendlichen.....	51
2.2	Ergebnisse für die Gruppe der Erwachsenen.....	52
2.2.1	Diphtherie	52
2.2.2	Tetanus	53
2.2.3	SARS-CoV-2	54
2.2.4	Immunglobuline: ein aktuelles Forschungsfeld	57
2.3	Ergebnisse für die Gruppe der Kinder und Jugendlichen	58
2.3.1	Diphtherie	58
2.3.2	Tetanus	59
2.3.3	SARS-CoV-2.....	61
3.	Bewertung der Ergebnisse.....	64
Teil III: Ergebnisse der Auswertungen zu COVID-19-assoziierten Impfdurchbrüchen im Landkreis Altötting (IfSG-Daten)		66
1.	Daten und Methoden.....	66
2.	Ergebnisse.....	67
3.	Bewertung der Ergebnisse.....	71

Abkürzungsverzeichnis	73
Abbildungsverzeichnis	74
Tabellenverzeichnis	75
Literaturverzeichnis	80

Zusammenfassung

Im Rahmen der Produktion von Perfluorooctansäure (PFOA) in den Jahren 1968 bis 2003 und dessen Verwendung zur Herstellung von Fluorpolymeren bis 2008 in einem Industriebetrieb in Gendorf im Landkreis Altötting kam es zu einer großflächigen Kontamination der Umwelt und einer Belastung der dort lebenden Bevölkerung, wobei das Trinkwasser als wesentliche Quelle gilt. Bei einem Human-Biomonitoring im Jahr 2018 wurden erhöhte PFOA-Werte im Blut der teilnehmenden Personen festgestellt. Nach Ablauf einer Halbwertszeit von vier Jahren wurde im Jahr 2022 erneut ein Human-Biomonitoring im Landkreis Altötting durchgeführt. Zusätzlich wurden verschiedene Antikörperspiegel (Diphtherie, Tetanus, SARS-CoV-2) im Blut der teilnehmenden Personen untersucht, um Hinweise auf einen möglichen Einfluss der PFOA-Belastung auf die Immunantwort zu erhalten.

PFOA-Belastung im Blut

Als Bewertungsgrundlage wurde wie in der Untersuchung im Jahr 2018 der Human-Biomonitoring-I-Wert (HBM-I-Wert) herangezogen, der einen Vorsorge- bzw. Zielwert für die lebenslange PFOA-Exposition für die Allgemeinbevölkerung jeder Altersgruppe beschreibt. Eine Überschreitung des HBM-I-Wertes stellt keine Schwelle für eine gesundheitliche Gefährdung dar. Zusätzlich wurde der Human-Biomonitoring-II-Wert (HBM-II-Wert), der im Jahr 2020 eingeführt wurde, für die Bewertung verwendet. Dieser gilt als Interventions- bzw. Maßnahmenwert. Er unterscheidet sich für die Allgemeinbevölkerung und für Frauen im gebärfähigen Alter bzw. Schwangere. Aus diesem Grund wurden die Analyseergebnisse getrennt für beide Gruppen ausgewertet. In beiden Untersuchungsgruppen zeigte sich eine deutliche Reduktion der PFOA-Konzentrationen im Blut: Beim Vergleich der Teilnehmenden aus der Allgemeinbevölkerung reduzierten sich die PFOA-Gehalte um 56,9 %¹ (Median von 23,18 µg/L Blut im Jahr 2018 auf 10,00 µg/L Blut im Jahr 2022), bei Frauen im gebärfähigen Alter zwischen 15 und 49 Jahren sanken sie um 59,5 %² (Median von 10,93 µg/L Blut im Jahr 2018 auf 4,43 µg/L Blut im Jahr 2022).

¹ In der Pressemitteilung des LGL vom 28.12.2022 wurde an dieser Stelle keine Nachkommazahl ausgewiesen.

² Da im vorliegenden Bericht im Unterschied zur Pressemitteilung des LGL vom 28.12.2022 mit zwei Nachkommastellen gerechnet wurde, unterscheiden sich die Mediane marginal in ihrer Nachkommastelle.

Die PFOA-Gehalte im Blut lagen 2022 nur noch bei 280 von 559 untersuchten Personen (50,1 %) aus der Allgemeinbevölkerung über dem entsprechenden HBM-II-Wert von 10 µg/L Blutplasma, 2018 war dies bei 475 Personen (85,0 %) der Fall. Bei den Frauen im gebärfähigen Alter lagen 2022 die PFOA-Gehalte im Blut in 51 Fällen (n=117, 43,6 %) über dem HBM-II-Wert von 5 µg/L Blutplasma für gebärfähige Frauen, 2018 waren es noch 95 Fälle (n=117, 81,2 %). Die Konzentrationen der weiteren untersuchten perfluorierten Substanzen bewegten sich im Bereich der allgemeinen Hintergrundbelastung ohne bekannte Expositionsquellen.

In der Allgemeinbevölkerung der einzelnen Trinkwasserversorgungsgebiete ergaben sich folgende Rückgänge der Mediane für PFOA: Altötting 45,0 % (von 8,24 µg/L auf 4,53 µg/L), Burgkirchen 54,1 % (von 23,94 µg/L auf 11,00 µg/L), Emmerting 56,9 % (von 30,50 µg/L auf 13,15 µg/L), Kastl/Markt Tüßling 57,4 % (von 24,75 µg/L auf 10,54 µg/L), Neuötting/Winhöring 58,7 % (von 21,07 µg/L auf 8,70 µg/L), Inn-Salzach-Gruppe (Markt/Haiming/ Stammham/Alzger) 41,6 % (von 15,20 µg/L auf 8,88 µg/L).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die ergriffenen Maßnahmen zur Sanierung der Trinkwasserversorgung wirksam waren und zu einer deutlichen Reduktion der PFOA-Gehalte im Blut der Bevölkerung geführt haben.

Bestimmung der Antikörperspiegel (Diphtherie, Tetanus und SARS-CoV-2)

Die Untersuchung der Antikörper gegen Diphtherie, Tetanus und SARS-CoV-2 im Rahmen des zweiten Human-Biomonitorings im Jahr 2022 ergab keine verringerte Impfantikörperbildung bei Personen mit erhöhten PFOA-Gehalten im Blut. Bei der Auswertung wurden die untersuchten Personen anhand des HBM-II-Wertes in zwei Gruppen unterteilt: Untersuchungsteilnehmende mit PFOA-Werten unter und über dem HBM-II-Wert. Während es bei der Diphtherie- und Tetanusimpfung bereits etablierte Werte für Antikörper im Blut gibt, bei denen von einem bestehenden Immunschutz ausgegangen werden kann, liegt für SARS-CoV-2 derzeit kein solcher Schwellenwert vor. Somit konnte bei SARS-CoV-2 nur die Menge der Antikörper erfasst und unter den beiden Probandengruppen verglichen werden.

Die Ausprägung der Immunantwort in Bezug auf Tetanus und Diphtherie zeigte keinen Zusammenhang mit den PFOA-Gehalten im Blut. Hingegen sank die Diphtherie-Immunantwort mit steigendem Alter deutlich über beide Gruppen hinweg betrachtet.

Zudem zeigten die Antikörper-Analysen, dass ein ausreichender Immunschutz bei 91,9 % der untersuchten Personen für Tetanus vorlag, jedoch konnte dieser nur bei 48,1 % der Personen hinsichtlich Diphtherie nachgewiesen werden. Es zeigte sich somit, dass die Diphtherie-Impfquoten im Landkreis noch verbesserungswürdig sind.

Bei den Betrachtungen zu SARS-CoV-2 zeigte sich bei nahezu allen Teilnehmenden grundsätzlich ein hoher Antikörperspiegel. Hierbei dürfte die Höhe des Antikörperspiegels im Wesentlichen mit der zeitlichen Nähe zwischen Blutentnahme und COVID-19-Impfung bzw. -Infektion stehen. Signifikante Unterschiede bei der Menge der Antikörper zwischen Teilnehmenden mit PFOA-Gehalten unter und über dem HBM-II-Wert wurden hingegen nicht festgestellt. Ein Zusammenhang zwischen der Höhe der PFOA-Gehalte im Blut und negativen Auswirkungen auf die Immunantwort war auch hier nicht erkennbar. Wie bei der Betrachtung der Diphtherie-Immunantwort nahm die Immunantwort gegen SARS-CoV-2 mit steigendem Alter deutlich ab.

Auswertungen der bayerischen nach IfSG erhobenen COVID-19-Meldedaten von 2021 und 2022 bezüglich Impfdurchbrüche im Landkreis Altötting

Zusätzlich zur vorliegenden Studie wurde eine möglicherweise reduzierte Wirksamkeit des Impfschutzes in Bezug auf COVID-19-Impfungen untersucht. Hierfür wurden die nach Infektionsschutzgesetz (IfSG) routinemäßig erhobene Daten zu COVID-19-Meldungen in Bayern hinsichtlich des Auftretens von Impfdurchbrüchen im Landkreis Altötting mit denen von Rest-Bayern verglichen. Dabei wurden die Auswertungen separat für die Jahre 2021 und 2022 durchgeführt, um den Wechsel der dominierenden Virusvarianten zu berücksichtigen.

Insgesamt zeigten die Ergebnisse keine Häufung von Impfdurchbrüchen (d. h. symptomatische Erkrankung trotz vollständiger Impfung) nach einer Impfung mit einem der in der EU zugelassenen Impfstoffe gegen COVID-19. Eine reduzierte Wirksamkeit der COVID-19-Impfungen durch eine mutmaßlich erhöhte PFOA-Exposition im Landkreis Altötting besteht daher nicht.

Hintergrund

In einem Industriebetrieb in Gendorf im Landkreis Altötting wurde PFOA von 1968 bis 2003 produziert und noch bis 2008 zur Herstellung von Fluorpolymeren eingesetzt. Im Rahmen dieser Anwendung kam es zu einer großflächigen Kontamination der Umwelt und einer Belastung der dort lebenden Bevölkerung. Die wesentliche Quelle für die interne PFOA-Belastung der Bevölkerung in weiten Teilen des Landkreises Altötting war kontaminiertes Trinkwasser. Zur Reduktion der PFOA-Gehalte im Trinkwasser der öffentlichen Trinkwasserversorgung wurde die Trinkwasserversorgung seit 2007 mit Aktivkohlefilteranlagen ausgestattet und zeitweise auf unbelastete Brunnen umgestellt. Alle im Landkreis Altötting gemessenen Trinkwasserwerte liegen seit Dezember 2018 deutlich unter dem seit 2019 vom Umweltbundesamt empfohlenen Maßnahmenwert (0,05 µg/L) für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen wie Schwangere, Säuglinge und Kleinkinder. Damit ist die Aufnahme von PFOA über die bisher wichtigste Quelle, das Trinkwasser, im Landkreis Altötting nicht mehr relevant. Um die Wirksamkeit der ergriffenen Maßnahmen zur Sanierung der Trinkwasserversorgung zu belegen, wurde im Jahr 2018 auf Veranlassung des Bayerischen Staatsministeriums für Gesundheit und Pflege (StMGP) und auf Wunsch des Landkreises Altötting durch das Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) und das Gesundheitsamt Altötting die interne Belastungssituation der Bevölkerung (sogenanntes Human-Biomonitoring – HBM) gegenüber PFOA und weiteren PFAS (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen) in dem betroffenen Gebiet untersucht. Insgesamt nahmen 965 Personen an der Untersuchung teil. Bei der Mehrheit der teilnehmenden Personen wurden erhöhte PFOA-Werte im Blut festgestellt. Im Jahr 2022 wurde eine HBM-Folgeuntersuchung an 764 Personen durchgeführt, um den Rückgang der internen PFOA-Belastung der Bevölkerung nach Ablauf einer Halbwertszeit (ca. 2-4 Jahre) zu untersuchen. Dabei wurden nur Personen einbezogen, die bereits 2018 an der HBM-Untersuchung teilgenommen hatten.

PFOA ist ein Hauptvertreter aus der Stoffgruppe der PFAS. Aufgrund der schmutz-, wasser- und ölabweisenden Eigenschaften wurde PFOA beispielsweise bei der Herstellung von Textilien oder zur Veredelung von Papier verwendet. Die thermische und chemische Stabilität macht PFOA zu einem langlebigen und schwer abbaubaren Stoff, der sich dadurch auch in Lebewesen anreichert (Umweltbundesamt, 2017). PFOA wird vom Körper sehr gut aufgenommen und bindet im Blut an die dort vorkommenden Eiweißbestandteile, hauptsächlich Albumin. Im Menschen findet sich PFOA überwiegend im Blut, aber auch in der Leber und in geringerem Umfang in anderen Organen. PFOA wird im menschlichen Organismus nicht abgebaut, sondern unverändert über die Nieren wieder ausgeschieden. Die Halbwertszeit, mit der diese Aus-

scheidung erfolgt, liegt beim Menschen bei ca. zwei bis vier Jahren. Aufgrund dieser Eigenschaften wurde PFOA im Jahr 2013 auf Initiative des Umweltbundesamtes als sogenannte besonders besorgniserregende Chemikalie eingestuft. Im Jahr 2020 wurde die Verwendung der Substanz in der EU verboten (Umweltbundesamt, 2017).

Nach Festlegung des Vorsorge- bzw. Zielwertes für die lebenslange Exposition (HBM-I-Wert: 2 ng PFOA/mL Blutplasma) im Jahr 2016 hat die HBM-Kommission im März 2020 einen HBM-II-Wert in Höhe von 5 ng PFOA/mL Blutplasma für Frauen im gebärfähigen Alter und in Höhe von 10 ng/mL für alle übrigen Bevölkerungsgruppen veröffentlicht. Erklärungen der beiden HBM Werte finden sich in [Teil I Kapitel 1](#).

Die HBM-II-Werte für PFOA beruhen auf einer Beurteilung des populationsbezogenen Risikos für Veränderungen von fünf ausgewählten Wirkungsindikatoren: Fertilität, Geburtsgewicht, Cholesterin-Konzentration, Diabetes mellitus Typ II und Antikörperbildung.

In einer aktuellen Studie an historischen Proben von 101 gesunden Kindern (21 Kinder ungestillt, 80 Kinder ≥ 4 Monate gestillt) im Alter von einem Jahr wurden zahlreiche Parameter des Immunsystems und die Gehalte der PFAS im Blut bestimmt (Abraham et al., 2020). Die ursprünglich auf Dioxine und PCB ausgerichtete Studie, die bereits vor 20 Jahren durchgeführt wurde, konnte durch neue Analysen retrospektiv auch in Bezug auf PFAS ausgewertet werden. Die in den rückgestellten Proben vorgenommenen PFAS-Analysen ergaben mittlere Plasmaspiegel von 3,8 $\mu\text{g/L}$ PFOA bzw. 6,8 $\mu\text{g/L}$ PFOS (Perfluorooctansulfonsäure) bei den nicht gestillten Kindern und von 16,8 $\mu\text{g/L}$ PFOA bzw. 15,2 $\mu\text{g/L}$ PFOS bei den lange gestillten Kindern. Dabei zeigten sich inverse Assoziationen zwischen den PFOA-Gehalten (aber nicht den PFOS-Gehalten) und den für die Zeit seit der letzten Impfung adjustierten Titern an Antikörpern gegen *Haemophilus influenzae* Typ b (Hib), Tetanus und Diphtherie, mit einer Verringerung der Antikörper-Titer um 86 %, 54 % bzw. 53 %. Die Studie zeigte keinen Einfluss von PFOA und PFOS auf das Vorkommen der betrachteten Infektionskrankheiten im 1. Lebensjahr. Bei dieser wie auch bei anderen Laborstudien 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 Impfempfehlungen nicht zu einem verminderten Impfschutz kommt.

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) hat 2020 auf Basis dieser „Schlüsselstudie“ von Abraham et al. einen neuen Schwellenwert für die tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge der vier wichtigsten PFAS (PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS), die sich bevorzugt im menschlichen Körper anreichern, abgeleitet. Die Ableitung eines sogenannten TWI-

Wertes (tolerable weekly intake) von 4,4 ng/kg Körpergewicht basiert auf Beobachtungen von negativen Zusammenhängen zwischen der Höhe der PFAS-Gehalte im Blut und den Gehalten von Impfantikörpern. Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) kommt in seiner Bewertung zur aktuellen TWI-Ableitung der EFSA hingegen 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.

Aktuell gibt es keine wissenschaftlichen Belege dafür, dass die COVID-19-Schutzimpfung aufgrund einer PFOA-Belastung weniger wirksam wäre. So zeigen beispielsweise die Ergebnisse einer aktuellen Studie (Bailey et al., 2023), dass die PFAS-Konzentrationen im Blutserum nicht mit der Antikörperreaktion auf die mRNA-Impfung gegen COVID-19 in einer stark exponierten Bevölkerung von Jugendlichen und Erwachsenen in Verbindung stehen. Daher ist ein ähnliches Ergebnis in der Allgemeinbevölkerung und bei denjenigen zu erwarten, bei denen die PFAS-Serumkonzentrationen niedriger sind. Die Autoren sehen aber weiteren Forschungsbedarf, um ihre Ergebnisse zu bestätigen.

Ziel der vorliegenden HBM-Folgeuntersuchung ist es, den Rückgang der internen Belastung der Bevölkerung im Landkreis Altötting mit PFOA nach Ablauf einer Halbwertszeit zu untersuchen. Es sollen dabei nur Personen einbezogen werden, die bereits im Jahr 2018 an der HBM-Studie oder an der im selben Jahr durchgeführten Untersuchung der Kinder unter 7 Jahren teilgenommen haben, um die Wirksamkeit der ergriffenen Maßnahmen zur Sanierung der Trinkwasserversorgung zu belegen. Die HBM-Folgeuntersuchung soll auch die Messung von verschiedenen Antikörpern (u. a. gegen SARS-CoV-2, siehe Tab. 47) im Blut einschließen, um Hinweise auf einen möglichen Einfluss der PFOA-Belastung auf die Immunantwort zu erhalten.

Im Jahr 2018 zeigte sich bei den Teilnehmenden der HBM-Untersuchung ein breites Verteilungsspektrum der internen PFOA-Belastung (minimaler Wert: 0,86 µg/L, maximaler Wert: 168,1 µg/L). Ein vergleichbares Verteilungsspektrum bei deutlich reduzierten PFOA-Konzentrationen war auch bei der HBM-Folgeuntersuchung zu erwarten. Aus diesem Grund wird davon ausgegangen, dass Assoziationen zwischen PFOA und der Immunantwort betrachtet werden können.

Die HBM-Folgeuntersuchung bietet die besondere Gelegenheit, in einem Kollektiv neben dem PFOA-Gehalt auch die Höhe der Antikörperkonzentration nach einer COVID-19-Impfung bzw. einer SARS-CoV-2-Infektion zu bestimmen. Die Ergebnisse werden zwar keine Aussage zur Bedeutung auf Individualebene zulassen, könnten aber relevante Ansatzpunkte zur Beurteilung eines populationsbezogenen Risikos liefern.

Ergänzend zur HBM-Folgeuntersuchung wurde anhand der gemäß Infektionsschutzgesetz (IfSG) gemeldeten Fälle, das Risiko für COVID-19-Impfdurchbrüche im Landkreis Altötting in Folge einer zeitweise erhöhten PFOA-Belastung im Trinkwasser untersucht.

Teil I: Ergebnisse des Human-Biomonitoring 2022 und Vergleich mit 2018

1. Darstellung der Bewertungsgrundlagen (HBM-I- und HBM-II-Wert)

Auf der Grundlage einer toxikologischen Risikobewertung hat die Kommission Humanbiomonitoring (HBM-Kommission) beim Umweltbundesamt zur Bewertung der Konzentrationen von PFOA im Blut toxikologisch begründete Beurteilungswerte, sogenannte Human-Biomonitoring-Werte (den HBM-I-Wert (HBM-K, 2018) und den HBM-II-Wert (Umweltbundesamt, 2020) abgeleitet. Der HBM-I-Wert wurde im Jahr 2016 als Vorsorge- bzw. Zielwert für die lebenslange PFOA-Exposition festgelegt und beträgt für die Allgemeinbevölkerung jeder Altersgruppe 2 µg PFOA/L Blutplasma. Er kennzeichnet die Konzentration eines Stoffes in einem Körpermedium, bei deren Unterschreitung nach dem aktuellen Stand der Bewertung nicht mit einer gesundheitlichen Beeinträchtigung zu rechnen ist. Dieser Wert stellt nach Einschätzung der Kommission eine Grenze dar, ab der vermehrte Vorsorgeanstrengungen angezeigt sind. Eine Überschreitung des HBM-I-Wertes stellt keine Gesundheitsgefahr dar, sondern sollte Anlass sein, die Ursache der Belastung zu ermitteln und sie unter Wahrung der Verhältnismäßigkeit zu minimieren.

Im Jahr 2020 wurde von der HBM-Kommission der HBM-II-Wert als Interventions- und Maßnahmenwert in Höhe von 5 µg PFOA/L Blutplasma für Frauen im gebärfähigen Alter und in Höhe von 10 µg PFOA/L Blutplasma für alle übrigen Bevölkerungsgruppen veröffentlicht. Die HBM-II-Werte beschreiben die Konzentration, bei deren Überschreitung eine gesundheitliche Beeinträchtigung möglich ist, aber nicht auftreten muss. Laut HBM-Kommission sollten Maßnahmen zur Reduktion der Belastung durchgeführt und es muss den Betroffenen eine umweltmedizinische Beratung angeboten werden. Die HBM-II-Werte sind deshalb als populationsbezogene Interventions- bzw. Maßnahmenwerte zu verstehen.

Davon klar abzugrenzen sind Arbeitsplatzgrenzwerte. Für Beschäftigte, die in direktem Kontakt mit PFOA sind, liegt ein rechtlich bindender biologischer Grenzwert (BGW) von 5000 µg/L vor (BAT-Wert). Auch wenn dieser Wert hier nicht unmittelbar zur Bewertung der internen Belastung herangezogen werden kann, verdeutlicht er doch den Abstand zu gesundheitlichen Effekten, die in anderen Rechtsbereichen als relevant angesehen werden.

2. Methoden

2.1 Durchführung des Human-Biomonitorings (HBM)

Die Personen, die bereits an der HBM-Untersuchung 2018 teilgenommen hatten, erhielten vom Gesundheitsamt Altötting per Post eine Einladung zur erneuten Teilnahme. Dies waren 965 Personen im Alter von mindestens 12 Jahren (2018 mindestens 8 Jahre), 47 Kinder im Alter von unter 12 Jahren (2018 unter 8 Jahre) sowie 12 Mütter, von denen 2018 zusätzlich Muttermilchproben untersucht wurden. Die Einladungen für diese 1.024 Personen enthielten ein Einladungsschreiben, eine Teilnehmerinformation, eine Einwilligungserklärung für die Teilnahme sowie einen Fragebogen, in dem u. a. soziodemographische Merkmale, der Gesundheitszustand, das Ernährungsverhalten sowie weitere Faktoren zu den Lebensumständen der Personen abgefragt wurden.

Da das Gesundheitsamt Altötting mit dem Impfzentrum des Landkreises Altötting zusammenarbeitete und dort sowohl räumliche als auch personelle Kapazitäten für die Blutentnahmen zur Verfügung standen, fanden die Blutentnahmen im Impfzentrum statt. Alle Teilnehmenden konnten telefonisch mit dem Impfzentrum einen Termin zur Blutentnahme vereinbaren. Die Blutentnahmen wurden im Zeitraum von Juni bis August 2022 durch medizinische Fachangestellte des Impfzentrums bzw. bei Kindern bis einschließlich 14 Jahren durch einen Kinderarzt durchgeführt. Um ein standardisiertes Vorgehen bei der Datenerhebung zu gewährleisten, wurden die Mitarbeitenden des Impfzentrums vor Beginn der Datenerhebung in zwei Online-Terminen zum Ablauf der Untersuchungstermine durch Fachleute des LGL geschult. Am vereinbarten Untersuchungstag musste sich jede teilnehmende Person mittels Lichtbildausweis ausweisen und den Impfpass vorlegen. Die unterschriebene Einverständniserklärung (bei Kindern: Einverständniserklärung der Sorgeberechtigten) sowie der ausgefüllte Fragebogen des LGL wurden vor Ort auf Vollständigkeit geprüft. Im Fragebogen wurden neben soziodemographischen Fragen u.a. auch Fragen zu Impfungen und SARS-CoV-2-Infektionen gestellt. Bei allen Fragen konnte das geschulte Fachpersonal vor Ort gezielte Hilfestellung leisten.

Anschließend wurde jedem Teilnehmenden durch eine Blutentnahme dreimal jeweils ca. 5 mL Blut abgenommen (drei Serumröhrchen für PFAS- bzw. Antikörperbestimmung). Die Blutproben der Probanden wurden am Ende jedes Untersuchungstages in Kühlboxen ins Labor des InnKlinikums Altötting transportiert und dort zentrifugiert, um das Serum zu gewinnen. Anschließend wurden die Serumröhrchen unter Einhaltung der Kühlkette aufbewahrt und mittels Kurier ans LGL transportiert.

Personenbezogene Daten lagen nur dem Gesundheitsamt sowie dem Impfzentrum, nicht jedoch dem LGL, vor. Sowohl die Serumröhrchen als auch die Fragebögen wurden durch das Gesundheitsamt Altötting pseudonymisiert, d. h. mit einer eindeutigen Nummer versehen. Serumproben und Fragebögen wurden in regelmäßigen Abständen (etwa zweimal pro Woche) mittels Kurier ans LGL gebracht.

Nach Auswertung der Blutproben in Bezug auf PFAS wurde allen Teilnehmenden eine Befundmitteilung mit den individuellen Ergebnissen zugeschickt. Zudem wurde den Teilnehmerinnen und Teilnehmern eine umweltmedizinische Beratung zum Thema PFAS durch die Info-line für Perfluorierte Chemikalien (PFC-Infoline) angeboten.

Die Studie wurde nach den Richtlinien der Deklaration von Helsinki (*Deklaration von Helsinki - Ethische Grundsätze für die medizinische Forschung am Menschen*) durchgeführt. Es liegt ein positives Votum durch die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München vor.

2.2 Analytik

Gemäß der Untersuchung im Jahr 2018 wurden die folgenden neun Parameter im Blut untersucht:

- Perfluorooctansäure (PFOA)
- Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)
- Perfluornonansäure (PFNA)
- Perfluordecansäure (PFDA)
- Perfluordodecansäure (PFDoA)
- Perfluorhexansäure (PFHxA)
- Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)
- Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)
- Perfluoro-4,8-dioxa-3H-nonansäure (ADONA)

Die Blutproben wurden gekühlt ins Labor transportiert, aliquotiert und bis zur weiteren Aufarbeitung eingefroren. Die Aufarbeitung der Seren erfolgte nach einer hausinternen Qualitätssicherungs-Arbeitsanweisung. In einem Mikroreaktionsgefäß wurden 200 µL der auf Raumtemperatur gebrachten Probe mit dem internen Standardmix sowie 200 µL Acetonitril versetzt. Die hierdurch ausgefällten Proteine wurden durch Zentrifugation abgetrennt. Der Überstand wurde

abpipettiert und in ein neues Mikroreaktionsgefäß mit 200 µL Acetonitril übertragen. Anschließend wurden die Proben bei -20 °C gelagert. Nach einer Stunde wurden die Proben erneut zentrifugiert, um anschließend den Überstand abzunehmen, und mit 350 µL 2 mM Ammoniumacetat (2 mM NH₄Ac)-Puffer gemischt, um sie nacheinander mittels Flüssigchromatographie gekoppelt mit Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS) zu analysieren. Alle Proben wurden doppelt aufgearbeitet und analysiert.

Für die Kalibrierung wurden native Standards, interner Standardmix mit Acetonitril und 2 mM NH₄Ac-Puffer (Volumenverhältnis wie bei Proben) gemischt. Die Konzentrationen der Substanzen für die Kalibrierreihe lagen zwischen 0 bis 20 pg/µL. Jeder Kalibrierpunkt wurde doppelt erstellt. Als Qualitätskontrolle wurden mit Standards versetzte (dotierte) Kontrollproben aus gemischten Seren (sog. Poolseren) hergestellt und bei jeder Analysenserie mitgeführt. Durch dieses Vorgehen können Wiederfindungen (Verhältnis zwischen gemessener und tatsächlicher Konzentration) und Hintergrundkonzentrationen ermittelt werden. Die Wiederfindung soll idealerweise zwischen 80 % und 120 % liegen (Food and Drug Administration, 2018).

Die chemische Analytik der zu untersuchenden Verbindungen erfolgte mittels LC-MS/MS nach einer modifizierten AibM-Methode (DFG-Arbeitsgruppe Analysen im biologischen Material) aus dem Jahr 2003 (Leng & Willmersdorf, 2006). Die Anzahl der Analyten und der Einsatz einer sogenannten Säulenschaltung stellen die Hauptmodifikationen dar. Verwendet wurde eine Ultimate 3000 (Thermo Fisher) Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)-Anlage gekoppelt mit dem Massenspektrometer QTrap 5500 (Sciex) im negativen Modus. Die Gradientenelution erfolgte mit den Eluenten 2 mM Ammoniumacetat und Methanol über eine Trapsäule (Oasis HLB, 20 x 2,1 mm, 25 µm) und eine analytische Säule (Material Reprosil-Pur C18 AQ, 33 x 3 mm, 5 µm). Das Injektionsvolumen betrug 50 µL. Die Säulenofentemperatur betrug 35 °C.

Das Labor des LGL nimmt als Referenzlabor für PFOA und PFOS halbjährlich an der externen Qualitätsüberprüfung teil, die im Rahmen der AibM-Qualitätssicherung durchgeführt wird (<https://www.g-equas.de/>). Die Nutzung interner Standards ermöglicht die empfindliche Analytik aller Analyten in komplexer Matrix, da die nachgewiesene Menge an Analyten auf den jeweiligen internen Standard bezogen wird. Jede einzelne Probe wurde doppelt ausgewertet, für die Integration wurde die Software MultiQuant (Sciex) verwendet. Für die Kalibrierung wurde eine Wichtung mit dem Faktor 1/x angewandt. Zur Standardisierung der Angabe auf einen Milliliter wurde die erhaltene Konzentration mit dem Faktor 5 (1000 µL/200 µL) multipliziert. Als Bestimmungsgrenze wurde mittels konservativer Abschätzung ein Wert von 0,25 /L µg/L für alle neun untersuchten Analyten ermittelt.

2.3 Datenauswertung

Die Auswertung der Messergebnisse erfolgte deskriptiv. Für jede Untersuchungsgruppe (Allgemeinbevölkerung ab 12 Jahren, Frauen im gebärfähigen Alter zwischen 15 und 49 Jahren, Kinder unter 12 Jahren sowie Mütter) wurden jeweils der Mittelwert, der Median, das 95. Perzentil, das Minimum sowie das Maximum für PFOA und die weiteren untersuchten PFAS dargestellt. Bei Werten unter der Bestimmungsgrenze (BG) (0,25 µg/L) wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in Kapitel 5 dargestellten Maßzahlen verwendet. Bei der Analyse kam die Statistik Software SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) zum Einsatz. Die Auswertungen erfolgten zum einen für das gesamte Untersuchungsgebiet separat nach verschiedenen Untersuchungsgruppen und zum anderen für die Gruppe der Allgemeinbevölkerung ab 12 Jahren in den einzelnen Trinkwasserversorgungsgebieten.

3. Ergebnisse und Vergleich mit der ersten HBM-Untersuchung 2018

3.1 Charakterisierung der Untersuchungsgruppe

3.1.1 Teilnehmende

Um die Wirksamkeit der ergriffenen Maßnahmen zur Sanierung der Trinkwasserversorgung belegen zu können, wurden nur Personen einbezogen, die bereits 2018 an der HBM-Untersuchung teilgenommen hatten. Die Teilnamequote lag bei den Personen ≥ 12 Jahren bei 75,8 % (2022 n=731; 2018 n=965), bzw. bei allen teilnehmenden Personen bei 74,6 % (2022 n=764; 2018 n=1.024). Zur Abbildung der Belastungssituation der allgemeinen, beruflich nicht exponierten Bevölkerung und zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit denen aus dem Jahr 2018 wurden Personen mit Angabe einer beruflichen Exposition nicht in die Analyse eingeschlossen. In diese Gruppe fielen Personen, die entweder 2018 oder 2022 oder in beiden Jahren im Fragebogen angegeben haben, jemals in einem PFOA-verarbeitenden Betrieb gearbeitet zu haben (n=51). Ebenso wurden Personen, die weder 2018 noch 2022 Angaben zur beruflichen Exposition gemacht haben (n=4), nicht in die Auswertungen eingeschlossen. Des Weiteren

wurden die Frauen im gebärfähigen Alter (15-49 Jahre)³ (n=117) nicht in die Auswertung für die Allgemeinbevölkerung einbezogen, da für diese Personengruppe ein eigener HBM-II-Wert als Bewertungsgrundlage vorliegt (im Jahr 2018 war dies noch nicht der Fall). Die Anzahl der Datensätze zur Charakterisierung der Belastungssituation für die Allgemeinbevölkerung verringerte sich daher auf 559 Personen (siehe Abb. 1). Die Ergebnisse der übrigen Personengruppen werden in Kapitel 5.2.2 separat dargestellt.

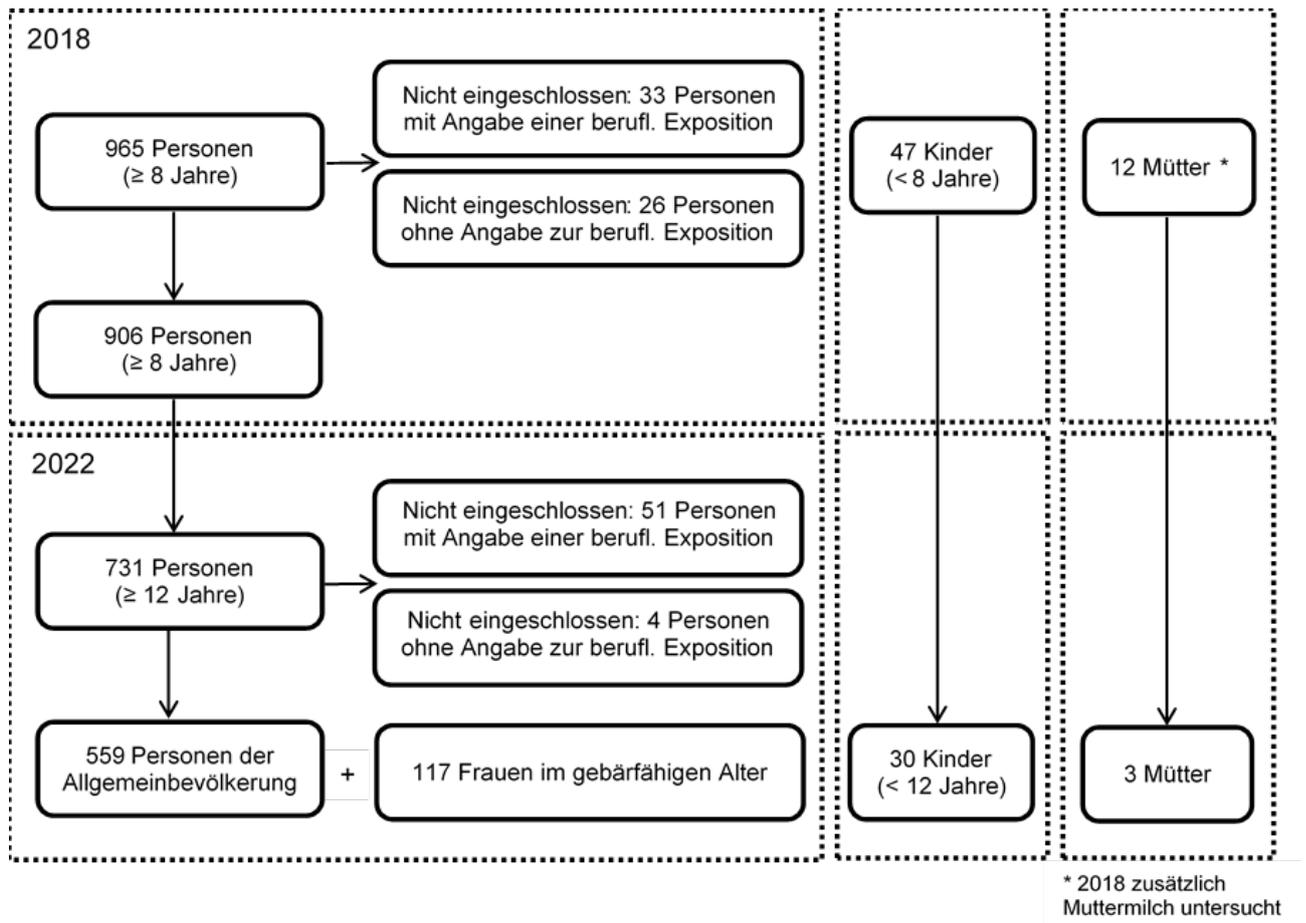


Abb. 1: Flussdiagramm der Teilnehmenden an der HBM-Untersuchung 2018 und 2022

Die Teilnehmenden der Allgemeinbevölkerung verteilten sich 2022 wie folgt auf die verschiedenen Trinkwasserversorgungsgebiete:

³ Als Referenz für diese Altersspanne wurde die Geburtenstatistik des Statistischen Bundesamtes herangezogen, in der für die Abgrenzung des gebärfähigen Alters die Altersspanne von 15 bis 49 verwendet wird.

Tab. 1: Anzahl der Teilnehmenden der Allgemeinbevölkerung (n=559) nach Geschlecht je Trinkwasserversorgungsgebiet

Trinkwasserversorgungsgebiet	Männer	Frauen	Gesamt
Altötting	21	34	55
Burgkirchen	37	34	71
Emmerting	77	71	148
Kastl und Markt Tüßling	88	66	154
Neuötting und Winhöring	26	34	60
Marktl, Haiming, Stammham und Alzger (Inn-Salzach-Gruppe)	44	27	71
Gesamt	293	266	559

3.1.2 Weitere Personengruppen

An der Folgeuntersuchung 2022 haben drei der 12 im Jahr 2018 nachträglich untersuchten Mütter teilgenommen, die aufgrund der fehlenden Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit der Untersuchung 2018 nicht in die Analyse der Frauen im gebärfähigen Alter aufgenommen wurden. Des Weiteren nahmen 30 der 47 im Jahr 2018 untersuchten Kinder unter 12 Jahren (die 2018 unter 8 Jahren waren) teil (Teilnahmequote: 63,8 %).

3.2 Ergebnisse für das gesamte Untersuchungsgebiet

3.2.1 Ergebnisse für die Gruppe der Allgemeinbevölkerung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Allgemeinbevölkerung (n=559) aus dem gesamten Untersuchungsgebiet des Landkreises Altötting dargestellt und mit den Ergebnissen der HBM-Untersuchung aus dem Jahr 2018 verglichen. Die Altersspanne der Personen der Allgemeinbevölkerung im gesamten Untersuchungsgebiet lag zwischen 12 und 87 Jahren, das mediane Alter betrug 58 Jahre. Das Geschlechterverhältnis fiel mit 47,6 % Frauen (n=266) und 52,4 % Männern (n=293) annähernd gleich aus.

Im Vergleich zur HBM-Untersuchung im Jahr 2018 ist der Median für den PFOA-Gehalt in der Allgemeinbevölkerung 2022 von 23,18 µg/L auf 10,00 µg/L gesunken, was einem Rückgang von 56,9 % entspricht.

Die weiteren Ergebnisse für die verschiedenen perfluorierten Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem gesamten Untersuchungsgebiet im Vergleich der beiden Jahre sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Tab. 2: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem gesamten Untersuchungsgebiet in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=559 (ohne die Frauen im gebärfähigen Alter (n=117) und ohne Personen mit Angabe einer beruflichen Exposition (n=51))

		PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDaA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl>BG* (n)	2018	559	553	540	306	20	9	492	80	2
	2022	559	559	419	235	8	1	463	1	2
Mittelwert (µg/L)	2018	27,43	2,63	0,75	0,38	-	-	0,66	-	-
	2022	12,84	2,18	0,50	0,34	-	-	0,53	-	-
Median (µg/L)	2018	23,18	1,95	0,59	0,27	-	-	0,57	-	-
	2022	10,00	1,63	0,38	-	-	-	0,48	-	-
95. Perzentil (µg/L)	2018	66,38	7,47	1,64	1,21	-	-	1,41	0,35	-
	2022	39,49	5,20	1,28	1,03	-	-	1,10	-	-
Minimum (µg/L)	2018	0,86	-**	-	-	-	-	-	-	-
	2022	0,68	0,29	-	-	-	-	-	-	-
Maximum (µg/L)	2018	159,39	18,60	12,34	5,76	0,70	1,11	9,06	0,76	0,36
	2022	151,65	19,45	6,80	3,25	0,62	0,28	6,18	0,26	0,50

*BG: Bestimmungsgrenze (0,25 µg/L); bei Werten unter der BG wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in der Tabelle gezeigten Maßzahlen verwendet.

** diese Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/L

Beim Vergleich der PFOA-Werte mit dem HBM-I- und HBM-II-Wert zeigt sich, dass nur noch bei 280 Personen (50,1 %) aus der Gruppe der Allgemeinbevölkerung die PFOA-Gehalte im Blut über dem HBM-II-Wert von 10 µg/L Blutplasma liegen. 2018 war dies bei 475 Personen (85,0 %) der Fall (siehe Tab. 3).

Tab. 3: Allgemeinbevölkerung (n=559), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA

Unter HBM-I-Wert (Wert < 2 µg/L)		Zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert (Wert ≥ 2 µg/L und < 10 µg/L)		Über HBM-II-Wert (Allgemeinbevölkerung: Wert ≥ 10 µg/L)	
2018	2022	2018	2022	2018	2022
2 (0,4 %)	8 (1,4 %)	82 (14,6 %)	271 (48,5 %)	475 (85,0 %)	280 (50,1 %)

3.2.2 Ergebnisse für weitere Untersuchungsgruppen

3.2.2.1 Ergebnisse für die Gruppe der Kinder unter 12 Jahren

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Kinder unter 12 Jahren (n=30) aus dem gesamten Untersuchungsgebiet des Landkreises Altötting dargestellt und mit den Ergebnissen der HBM-Untersuchung aus dem Jahr 2018 verglichen. Die Altersspanne dieser Kinder lag 2022 zwischen vier und elf Jahren, das mediane Alter betrug acht Jahre. Die Untersuchungsgruppe setzte sich aus 66,7 % (n=20) Mädchen und 33,3 % (n=10) Jungen zusammen.

Der Median für PFOA bei den Kindern unter 12 Jahren ist von 20,71 µg/L im Jahr 2018 auf 5,50 µg/L im Jahr 2022 gesunken. Dies entspricht einem Rückgang von 73,4 %.

Die weiteren Ergebnisse für die verschiedenen perfluorierten Substanzen in den Serumproben der Kinder unter 12 Jahren aus dem gesamten Untersuchungsgebiet im Vergleich der beiden Jahre sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tab. 4: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Kinder unter 12 Jahren aus dem gesamten Untersuchungsgebiet in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=30)

		PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFD _o A	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl>BG* (n)	2018	30	29	19	8	0	1	24	0	0
	2022	30	30	8	7	1	0	12	0	0
Mittelwert (µg/L)	2018	22,41	1,50	0,40	-	-	-	0,42	-	-
	2022	6,13	0,95	0,25	-	-	-	-	-	-
Median (µg/L)	2018	20,71	1,40	0,28	-	-	-	0,37	-	-
	2022	5,50	0,72	-	-	-	-	-	-	-
95. Perzentil (µg/L)	2018	48,84	3,52	1,26	0,85	-	-	0,89	-	-
	2022	14,17	2,03	0,80	0,62	-	-	0,50	-	-
Minimum (µg/L)	2018	2,60	-**	-	-	-	-	-	-	-
	2022	1,20	0,33	-	-	-	-	-	-	-
Maximum (µg/L)	2018	71,22	3,52	1,70	1,01	-	0,28	1,78	-	-
	2022	18,93	3,11	1,45	0,84	0,43	-	0,78	-	-

* BG: Bestimmungsgrenze (0,25 µg/L); bei Werten unter der BG wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in der Tabelle gezeigten Maßzahlen verwendet.

** diese Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/L

Die PFOA-Gehalte im Blut der Kinder unter 12 Jahren lagen nur noch bei sechs Kindern (20,0 %) über dem HBM-II-Wert von 10 µg/L Blutplasma, während dies im Jahr 2018 noch bei 23 Kindern (76,7 %) der Fall war (siehe Tab. 5).

Tab. 5: Vergleich der Erhebungszeiträume 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA bei Kindern unter 12 Jahren (n=30)

Unter HBM-I-Wert (Wert < 2 µg/L)		Zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert (Wert ≥ 2 µg/L und < 10 µg/L)		Über HBM-II-Wert (Allgemeinbevölkerung: Wert ≥ 10 µg/L)	
2018	2022	2018	2022	2018	2022
0 (0 %)	6 (20,0 %)	7 (23,3 %)	18 (60,0 %)	23 (76,7 %)	6 (20,0 %)

3.2.2.2 Ergebnisse für die Gruppe der Frauen im gebärfähigen Alter

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Frauen im gebärfähigen Alter (n=117) aus dem gesamten Untersuchungsgebiet des Landkreises Altötting dargestellt und mit den Ergebnissen der HBM-Untersuchung aus dem Jahr 2018 verglichen. Die Altersspanne der Frauen im gebärfähigen Alter im gesamten Untersuchungsgebiet lag zwischen 15 und 49 Jahren, das mediane Alter betrug 38 Jahre.

Der Median für die interne PFOA-Belastung bei den Frauen im gebärfähigen Alter ist von 10,93 µg/L im Jahr 2018 auf 4,43 µg/L im Jahr 2022 gesunken, was einem Rückgang von 59,5 % entspricht.

Die weiteren Ergebnisse für die verschiedenen perfluorierten Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem gesamten Untersuchungsgebiet im Vergleich der beiden Jahre sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tab. 6: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter (15-49 Jahre) aus dem gesamten Untersuchungsgebiet in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=117)

		PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDoA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl>BG* (n)	2018	117	115	99	43	6	0	59	7	1
	2022	117	117	60	47	1	0	41	0	0
Mittelwert (µg/L)	2018	14,80	1,78	0,48	0,30	-	-	0,27	-	-
	2022	6,00	1,63	0,36	0,34	-	-	-	-	-
Median (µg/L)	2018	10,93	1,21	0,39	-	-	-	0,26	-	-
	2022	4,43	1,06	0,26	-	-	-	-	-	-
95. Perzentil (µg/L)	2018	37,89	5,75	1,16	0,89	0,26	-	0,60	0,27	-
	2022	18,60	4,68	1,15	1,24	-	-	0,47	-	-
Minimum (µg/L)	2018	1,38	-**	-	-	-	-	-	-	-
	2022	0,76	0,32	-	-	-	-	-	-	-
Maximum (µg/L)	2018	55,51	8,48	1,63	1,77	0,68	-	1,00	0,61	1,01
	2022	32,04	10,03	1,77	1,83	0,64	-	0,78	-	-

* BG: Bestimmungsgrenze (0,25 µg/L); bei Werten unter der BG wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in der Tabelle gezeigten Maßzahlen verwendet.

** diese Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/L

Um auch die in Kapitel 3.1.2 genannten drei Mütter zu berücksichtigen, wurde in einer Sensitivitätsanalyse die Gruppe der 117 Frauen im gebärfähigen Alter mit der Gruppe der drei Mütter plus der Gruppe der Frauen im gebärfähigen Alter verglichen (n=120). Dabei zeigte sich in letzterer Gruppe eine Reduktion im Median für den PFOA-Gehalt von 2018 zu 2022 von 10,76 µg auf 4,33 µg/L (Reduktion des Medians für den PFOA-Gehalt von 2018 zu 2022 in der Gruppe der Frauen im gebärfähigen Alter ohne die drei Mütter (n=117) von 10,93 µg auf 4,43 µg/L), ein statistisch signifikanter Unterschied beider Gruppen lag nicht vor.

In der Gruppe der Frauen im gebärfähigen Alter lagen die PFOA-Gehalte im Blut nur noch bei 51 Frauen (43,6 %) über dem HBM-II-Wert von 5 µg/L Blutplasma, während dies im Jahr 2018 noch bei 95 Frauen (81,2 %) der Fall war (siehe Tab. 7).

Tab. 7: Frauen im gebärfähigen Alter (n=117), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA

Unter HBM-I-Wert (Wert < 2 µg/L)		Zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert (Wert ≥ 2 µg/L und < 5 µg/L)		Über HBM-II-Wert (Frauen im gebärfähigen Alter: Wert ≥ 5 µg/L)	
2018	2022	2018	2022	2018	2022
2 (1,7 %)	18 (15,4 %)	20 (17,1 %)	48 (41,0 %)	95 (81,2 %)	51 (43,6 %)

3.3 PFAS-Gehalte ausgewertet nach einzelnen Trinkwasserversorgungsgebieten im Landkreis Altötting

3.3.1 Interne PFAS-Belastung im Versorgungsgebiet Altötting

Allgemeinbevölkerung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Altötting (n=55) dargestellt und mit den Ergebnissen der HBM-Untersuchung aus dem Jahr 2018 verglichen. Die Altersspanne der Personen der Allgemeinbevölkerung in diesem Versorgungsgebiet lag zwischen 21 und 82 Jahren, das mediane Alter betrug 58 Jahre. Die Untersuchungsgruppe setzte sich aus 61,8 % Frauen (n=34) und 38,2 % Männern (n=21) zusammen.

Im Vergleich zur HBM-Untersuchung im Jahr 2018 ist in der Gruppe der Allgemeinbevölkerung im Versorgungsgebiet Altötting der Median für den PFOA-Gehalt im Blut im Jahr 2022 von 8,24 µg/L auf 4,53 µg/L gesunken, was einem Rückgang von 45,0 % entspricht.

Die weiteren Ergebnisse für die verschiedenen perfluorierten Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Versorgungsgebiet Altötting im Vergleich der beiden Jahre sind Tabelle 8 zu entnehmen.

Tab. 8: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Altötting in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=55)

		PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDoA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl>BG* (n)	2018	55	54	53	19	2	0	45	7	0
	2022	55	55	37	22	0	0	43	0	0
Mittelwert (µg/L)	2018	12,93	2,39	0,61	0,27	-	-	0,63	-	-
	2022	6,15	1,94	0,40	0,29	-	-	0,49	-	-
Median (µg/L)	2018	8,24	1,68	0,47	-	-	-	0,60	-	-
	2022	4,53	1,51	0,35	-	-	-	0,48	-	-
95. Perzentil (µg/L)	2018	42,16	7,69	1,43	0,87	-	-	1,34	0,38	-
	2022	18,63	4,78	1,03	0,83	-	-	0,93	-	-
Minimum (µg/L)	2018	0,86	-**	-	-	-	-	-	-	-
	2022	0,68	0,46	-	-	-	-	-	-	-
Maximum (µg/L)	2018	51,27	9,64	1,48	1,45	0,53	-	2,32	0,43	-
	2022	21,58	5,42	1,57	2,03	-	-	1,45	-	-

*BG: Bestimmungsgrenze (0,25 µg/L); bei Werten unter der BG wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in der Tabelle gezeigten Maßzahlen verwendet.

** diese Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/L

Beim Vergleich der PFOA-Werte mit dem HBM-I- und HBM-II-Wert zeigt sich, dass die PFOA-Gehalte im Blut 2022 nur noch bei neun untersuchten Personen (16,4 %) aus der Gruppe der Allgemeinbevölkerung über dem entsprechenden HBM-II-Wert von 10 µg/L Blutplasma liegen. 2018 war dies bei 21 Personen (38,2 %) der Fall (siehe Tab. 9).

Tab. 9: Allgemeinbevölkerung des Trinkwasserversorgungsgebiets Altötting (n=55), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA

Unter HBM-I-Wert (Wert < 2 µg/L)		Zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert (Wert ≥ 2 µg/L und < 10 µg/L)		Über HBM-II-Wert (Allgemeinbevölkerung: Wert ≥ 10 µg/L)	
2018	2022	2018	2022	2018	2022
2 (3,6 %)	5 (9,1 %)	32 (58,2 %)	41 (74,5 %)	21 (38,2 %)	9 (16,4 %)

Frauen im gebärfähigen Alter

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Frauen im gebärfähigen Alter (15-49 Jahre) aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Altötting (n=11) dargestellt und mit den Ergebnissen der HBM-Untersuchung aus dem Jahr 2018 verglichen.

Im Vergleich zur HBM-Untersuchung im Jahr 2018 ist in der Gruppe der Frauen im gebärfähigen Alter im Versorgungsgebiet Altötting der Median für den PFOA-Gehalt im Blut im Jahr 2022 von 3,25 µg/L auf 1,68 µg/L gesunken, was einem Rückgang von 48,3 % entspricht.

Die weiteren Ergebnisse für die verschiedenen perfluorierten Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Versorgungsgebiet Altötting im Vergleich der beiden Jahre sind Tabelle 10 zu entnehmen.

Tab. 10: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Altötting in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=11)

		PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDoA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl>BG* (n)	2018	11	11	10	5	0	0	4	1	0
	2022	11	11	5	3	0	0	3	0	0
Mittelwert (µg/L)	2018	3,44	1,73	0,42	-	-	-	-	-	-
	2022	1,83	1,64	0,31	0,25	-	-	-	-	-
Median (µg/L)	2018	3,25	1,44	0,41	-	-	-	-	-	-
	2022	1,68	1,15	-**	-	-	-	-	-	-
95. Perzentil (µg/L)	2018	7,90	4,10	0,62	0,51	-	-	0,44	0,27	-
	2022	3,15	4,68	0,73	0,63	-	-	0,36	-	-
Minimum (µg/L)	2018	1,38	0,41	-	-	-	-	-	-	-
	2022	0,76	0,39	-	-	-	-	-	-	-
Maximum (µg/L)	2018	7,90	4,10	0,62	0,51	-	-	0,44	0,27	-
	2022	3,15	4,68	0,73	0,63	-	-	0,36	-	-

*BG: Bestimmungsgrenze (0,25 µg/L); bei Werten unter der BG wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in der Tabelle gezeigten Maßzahlen verwendet.

** diese Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/L

Beim Vergleich der PFOA-Werte mit dem HBM-I- und HBM-II-Wert zeigt sich, dass die PFOA-Gehalte im Blut 2022 bei keiner der untersuchten Frauen im gebärfähigen Alter über dem entsprechenden HBM-II-Wert von 5 µg/L Blutplasma liegen. 2018 war dies bei einer Frau der Fall (siehe Tab. 11).

Tab. 11: Frauen im gebärfähigen Alter im Trinkwasserversorgungsgebiet Altötting (n=11), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA

Unter HBM-I-Wert (Wert < 2 µg/L)		Zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert (Wert ≥ 2 µg/L und < 5 µg/L)		Über HBM-II-Wert (Frauen im gebärfähigen Alter: Wert ≥ 5 µg/L)	
2018	2022	2018	2022	2018	2022
2 (18,2 %)	7 (63,6 %)	8 (72,7 %)	4 (36,4 %)	1 (9,1 %)	0 (0 %)

3.3.2 Interne PFAS-Belastung im Versorgungsgebiet Burgkirchen

Allgemeinbevölkerung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Burgkirchen (n=71) dargestellt und mit den Ergebnissen der HBM-Untersuchung aus dem Jahr 2018 verglichen. Die Altersspanne der Personen der Allgemeinbevölkerung in diesem Versorgungsgebiet lag zwischen 15 und 87 Jahren, das mediane Alter betrug 59 Jahre. Die Untersuchungsgruppe setzte sich aus 47,9 % Frauen (n=34) und 52,1 % Männern (n=37) zusammen.

Im Vergleich zur HBM-Untersuchung im Jahr 2018 ist in der Gruppe der Allgemeinbevölkerung im Versorgungsgebiet Burgkirchen der Median für den PFOA-Gehalt 2022 von 23,94 µg/L auf 11,00 µg/L gesunken, was einem Rückgang von 54,1 % entspricht.

Die weiteren Ergebnisse für die verschiedenen perfluorierten Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Burgkirchen im Vergleich der beiden Jahre sind Tabelle 12 zu entnehmen.

Tab. 12: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Burgkirchen in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=71)

		PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDoA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl>BG* (n)	2018	71	71	70	51	6	1	59	10	1
	2022	71	71	59	37	5	0	59	0	1
Mittelwert (µg/L)	2018	30,80	2,68	0,92	0,52	-	-	0,61	-	-
	2022	14,21	2,32	0,65	0,48	-	-	0,50	-	-
Median (µg/L)	2018	23,94	2,12	0,72	0,39	-	-	0,52	-	-
	2022	11,00	2,00	0,45	0,28	-	-	0,50	-	-
95. Perzentil (µg/L)	2018	74,04	6,06	1,67	1,39	0,36	-	1,29	0,34	-
	2022	32,19	5,07	1,44	1,85	0,36	-	1,00	-	-
Minimum (µg/L)	2018	3,62	0,49	**	-	-	-	-	-	-
	2022	2,10	0,64	-	-	-	-	-	-	-
Maximum (µg/L)	2018	100,70	10,38	12,34	5,70	0,55	0,39	2,01	0,49	0,29
	2022	50,90	9,17	6,80	2,62	0,59	-	1,35	-	0,50

*BG: Bestimmungsgrenze (0,25 µg/L); bei Werten unter der BG wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in der Tabelle gezeigten Maßzahlen verwendet.

** diese Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/L

Beim Vergleich der PFOA-Werte mit dem HBM-I- und HBM-II-Wert zeigt sich, dass die PFOA-Gehalte im Blut im Jahr 2022 nur noch bei 41 untersuchten Personen (57,7 %) aus der Gruppe der Allgemeinbevölkerung über dem entsprechenden HBM-II-Wert von 10 µg/L Blutplasma liegen. 2018 war dies bei 68 Personen (95,8 %) der Fall (siehe Tab. 13).

Tab. 13: Allgemeinbevölkerung des Trinkwasserversorgungsgebiets Burgkirchen (n=71), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA

Unter HBM-I-Wert (Wert < 2 µg/L)		Zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert (Wert ≥ 2 / µg/L und < 10 µg/L)		Über HBM-II-Wert (Allgemeinbevölkerung: Wert ≥ 10 µg/L)	
2018	2022	2018	2022	2018	2022
0 (0 %)	0 (0 %)	3 (4,2 %)	30 (42,3 %)	68 (95,8 %)	41 (57,7 %)

Frauen im gebärfähigen Alter

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Burgkirchen (n=11) dargestellt und mit den Ergebnissen der HBM-Untersuchung aus dem Jahr 2018 verglichen.

Im Vergleich zur HBM-Untersuchung im Jahr 2018 ist in der Gruppe der Frauen im gebärfähigen Alter im Versorgungsgebiet Burgkirchen der Median für den PFOA-Gehalt im Blut im Jahr 2022 von 14,18 µg/L auf 6,40 µg/L gesunken, was einem Rückgang von 54,9 % entspricht.

Die weiteren Ergebnisse für die verschiedenen perfluorierten Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Versorgungsgebiet Burgkirchen im Vergleich der beiden Jahre sind Tabelle 14 zu entnehmen.

Tab. 14: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Burgkirchen in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=11)

		PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDoA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl>BG* (n)	2018	11	11	11	7	1	0	4	0	0
	2022	11	11	7	7	0	0	5	0	0
Mittelwert (µg/L)	2018	15,35	1,26	0,48	0,39	0,14	-	0,25	-	-
	2022	7,47	1,81	0,62	0,77	-	-	0,21	-	-
Median (µg/L)	2018	14,18	1,23	0,39	0,33	-	-	-	-	-
	2022	6,40	1,95	0,48	0,58	-	-	-	-	-
95. Perzentil (µg/L)	2018	30,71	1,77	0,86	1,05	0,27	-	1,00	-	-
	2022	18,61	3,81	1,77	1,83	-	-	0,34	-	-
Minimum (µg/L)	2018	4,10	0,86	0,29	-	-	-	-	-	-
	2022	1,76	0,48	**	-	-	-	-	-	-
Maximum (µg/L)	2018	30,71	1,77	0,86	1,05	0,27	-	1,00	-	-
	2022	18,61	3,81	1,77	1,83	-	-	0,34	-	-

*BG: Bestimmungsgrenze (0,25 µg/L); bei Werten unter der BG wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in der Tabelle gezeigten Maßzahlen verwendet.

** diese Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/L

Beim Vergleich der PFOA-Werte mit dem HBM-I- und HBM-II-Wert zeigt sich, dass die PFOA-Gehalte im Blut 2022 nur noch bei sieben untersuchten Frauen im gebärfähigen Alter (63,6 %) über dem entsprechenden HBM-II-Wert von 5 µg/L Blutplasma liegen. 2018 war dies bei zehn Frauen (90,9 %) der Fall (siehe Tab. 15).

Tab. 15: Frauen im gebärfähigen Alter im Trinkwasserversorgungsgebiet Burgkirchen (n=11), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA

Unter HBM-I-Wert (Wert < 2 µg/L)		Zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert (Wert ≥ 2 µg/L und < 5 µg/L)		Über HBM-II-Wert (Frauen im gebärfähigen Alter: Wert ≥ 5 µg/L)	
2018	2022	2018	2022	2018	2022
0 (0 %)	2 (18,2 %)	1 (9,1 %)	2 (18,2 %)	10 (90,9 %)	7 (63,6 %)

3.3.3 Interne PFAS-Belastung im Versorgungsgebiet Emmerting

Allgemeinbevölkerung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Emmerting (n=148) aus dem Jahr 2022 dargestellt und mit den Ergebnissen der HBM-Untersuchung aus dem Jahr 2018 verglichen. Die Altersspanne der Personen der Allgemeinbevölkerung dieses Versorgungsgebiets lag zwischen 14 und 81 Jahren, das mediane Alter betrug 59 Jahre. Die Untersuchungsgruppe setzte sich aus 48,0 % Frauen (n=71) und 52,0 % Männern (n=77) zusammen.

Im Vergleich zur HBM-Untersuchung im Jahr 2018 ist in der Gruppe der Allgemeinbevölkerung im Versorgungsgebiet Emmerting der Median für den PFOA-Gehalt im Jahr 2022 von 30,50 µg/L auf 13,15 µg/L gesunken, was einem Rückgang von 56,9 % entspricht.

Die weiteren Ergebnisse für die verschiedenen perfluorierten Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Versorgungsgebiet Emmerting im Vergleich der beiden Jahre sind Tabelle 16 zu entnehmen.

Tab. 16: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Emmerting in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=148)

	PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDoA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA

Anzahl>BG* (n)	2018	148	147	144	86	2	1	134	25	0
	2022	148	148	116	50	0	0	129	1	0
Mittelwert (µg/L)	2018	36,08	2,72	0,72	0,38	-	-	0,73	-	-
	2022	15,84	1,96	0,43	-	-	-	0,59	-	-
Median (µg/L)	2018	30,50	2,01	0,60	0,28	-	-	0,58	-	-
	2022	13,15	1,57	0,37	-	-	-	0,49	-	-
95. Perzentil (µg/L)	2018	78,47	7,63	1,27	1,10	-	-	1,48	0,38	-
	2022	34,30	4,78	1,00	0,63	-	-	1,19	-	-
Minimum (µg/L)	2018	3,80	-**	-	-	-	-	-	-	-
	2022	2,13	0,29	-	-	-	-	-	-	-
Maximum (µg/L)	2018	111,79	18,60	3,42	5,76	0,70	0,26	9,06	0,76	-
	2022	73,13	10,95	1,88	1,95	-	-	6,18	0,26	-

*BG: Bestimmungsgrenze (0,25 µg/L); bei Werten unter der BG wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in der Tabelle gezeigten Maßzahlen verwendet.

** diese Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/L

Beim Vergleich der PFOA-Werte mit dem HBM-I- und HBM-II-Wert zeigt sich, dass die PFOA-Gehalte im Blut 2022 nur noch bei 95 untersuchten Personen (64,2 %) aus der Gruppe der Allgemeinbevölkerung über dem entsprechenden HBM-II-Wert von 10 µg/L Blutplasma liegen. 2018 war dies bei 141 Personen (95,3 %) der Fall (siehe Tab. 17).

Tab. 17: Allgemeinbevölkerung des Trinkwasserversorgungsgebiets Emmerting (n=148), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA

Unter HBM-I-Wert (Wert < 2 µg/L)		Zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert (Wert ≥ 2 µg/L und < 10 µg/L)		Über HBM-II-Wert (Allgemeinbevölkerung: Wert ≥ 10 µg/L)	
2018	2022	2018	2022	2018	2022
0 (0 %)	0 (0 %)	7 (4,7 %)	53 (35,8 %)	141 (95,3 %)	95 (64,2 %)

Frauen im gebärfähigen Alter

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Emmerting (n=22) dargestellt und mit den Ergebnissen der HBM-Untersuchung aus dem Jahr 2018 verglichen.

Im Vergleich zur HBM-Untersuchung im Jahr 2018 ist in der Gruppe der Frauen im gebärfähigen Alter im Versorgungsgebiet Emmerting der Median für den PFOA-Gehalt im Blut im Jahr 2022 von 23,78 µg/L auf 7,52 µg/L gesunken, was einem Rückgang von 68,4 % entspricht.

Die weiteren Ergebnisse für die verschiedenen perfluorierten Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Versorgungsgebiet Emmerting im Vergleich der beiden Jahre sind Tabelle 18 zu entnehmen.

Tab. 18: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Emmerting in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=22)

		PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDoA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl>BG* (n)	2018	22	22	18	6	0	0	14	1	1
	2022	22	22	13	3	0	0	9	0	0
Mittelwert (µg/L)	2018	22,74	1,38	0,42	-	-	-	0,31	-	-
	2022	8,25	1,18	0,29	-	-	-	-	-	-
Median (µg/L)	2018	23,78	1,13	0,40	-	-	-	0,26	-	-
	2022	7,52	0,99	0,28	-	-	-	-	-	-
95. Perzentil (µg/L)	2018	54,65	2,66	0,76	0,75	-	-	0,60	-	-
	2022	17,58	2,39	0,58	0,33	-	-	0,46	-	-
Minimum (µg/L)	2018	5,58	0,41	-**	-	-	-	-	-	-
	2022	2,40	0,34	-	-	-	-	-	-	-
Maximum (µg/L)	2018	54,9	4,39	1,16	1,02	-	-	0,60	0,30	1,01
	2022	19,93	2,72	0,74	0,60	-	-	0,54	-	-

*BG: Bestimmungsgrenze (0,25 µg/L); bei Werten unter der BG wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in der Tabelle gezeigten Maßzahlen verwendet.

** diese Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/L

Beim Vergleich der PFOA-Werte mit dem HBM-I- und HBM-II-Wert zeigt sich, dass die PFOA-Gehalte im Blut 2022 nur noch bei 14 untersuchten Frauen im gebärfähigen Alter (63,6 %) über dem entsprechenden HBM-II-Wert von 5 µg/L Blutplasma liegen. 2018 war dies noch bei allen 22 Frauen (100 %) der Fall (siehe Tab. 19).

Tab. 19: Frauen im gebärfähigen Alter im Trinkwasserversorgungsgebiet Emmerting (n=22), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA

Unter HBM-I-Wert (Wert < 2 µg/L)		Zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert (Wert ≥ 2 /µg/L und < 5 µg/L)		Über HBM-II-Wert (Frauen im gebärfähigen Alter: Wert ≥ 5 µg/L)	
2018	2022	2018	2022	2018	2022
0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	8 (36,4 %)	22 (100 %)	14 (63,6 %)

3.3.4 Interne PFAS-Belastung im Versorgungsgebiet Kastl und Markt Tüßling

Allgemeinbevölkerung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Gruppe der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Kastl und Markt Tüßling (n=154) aus dem Jahr 2022 dargestellt und mit den Ergebnissen der HBM-Untersuchung aus dem Jahr 2018 verglichen. Die Altersspanne der Personen der Allgemeinbevölkerung in diesem Versorgungsgebiet lag zwischen 11 und 84 Jahren, das mediane Alter betrug 55 Jahre. Die Untersuchungsgruppe setzte sich aus 42,9 % Frauen (n=66) und 57,1 % Männern (n=88) zusammen.

Im Vergleich zur HBM-Untersuchung 2018 ist in der Gruppe der Allgemeinbevölkerung im Versorgungsgebiet Kastl und Markt Tüßling der Median für den PFOA-Gehalt 2022 von 24,75 µg/L auf 10,54 µg/L gesunken, was einem Rückgang von 57,4 % entspricht.

Die weiteren Ergebnisse für die verschiedenen perfluorierten Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Versorgungsgebiet Kastl und Markt Tüßling im Vergleich der beiden Jahre sind Tabelle 20 zu entnehmen.

Tab. 20: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Kastl und Markt Tüßling in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=154)

	PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDoA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA

Anzahl>BG* (n)	2018	154	153	149	86	4	4	140	26	0
	2022	154	154	107	64	2	1	124	0	0
Mittelwert (µg/L)	2018	27,85	2,21	0,70	0,37	-	-	0,62	-	-
	2022	12,71	1,92	0,47	0,35	-	-	0,50	-	-
Median (µg/L)	2018	24,75	1,79	0,59	0,28	-	-	0,55	-	-
	2022	10,54	1,63	0,38	-	-	-	0,45	-	-
95. Perzentil (µg/L)	2018	57,19	5,24	1,64	1,28	-	-	1,41	0,36	-
	2022	27,40	5,01	1,31	1,11	-	-	1,10	-	-
Minimum (µg/L)	2018	6,31	-**	-	-	-	-	-	-	-
	2022	0,93	0,35	-	-	-	-	-	-	-
Maximum (µg/L)	2018	89,01	10,57	4,14	2,10	0,57	0,45	2,94	0,54	-
	2022	78,93	8,68	1,97	2,05	0,62	0,28	2,05	-	-

*BG: Bestimmungsgrenze (0,25 µg/L); bei Werten unter der BG wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in der Tabelle gezeigten Maßzahlen verwendet.

** diese Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/L

Beim Vergleich der PFOA-Werte mit dem HBM-I- und HBM-II-Wert ist zu sehen, dass die PFOA-Gehalte im Blut 2022 nur noch bei 83 untersuchten Personen (53,9 %) aus der Gruppe der Allgemeinbevölkerung über dem HBM-II-Wert von 10 µg/L Blutplasma lagen. 2018 war dies bei 140 Personen (90,9 %) der Fall (siehe Tab. 21).

Tab. 21: Allgemeinbevölkerung des Trinkwasserversorgungsgebiets Kastl und Markt Tüßling (n=154), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA

Unter HBM-I-Wert (Wert < 2 µg/L)		Zwischen HBM-I- und HBM-II- Wert (Wert ≥ 2 µg/L und < 10 µg/L)		Über HBM-II-Wert (Allgemeinbevölkerung: Wert ≥ 10 µg/L)	
2018	2022	2018	2022	2018	2022
0 (0 %)	1 (0,6 %)	14 (9,1 %)	70 (45,5 %)	140 (90,9 %)	83 (53,9 %)

Frauen im gebärfähigen Alter

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Kastl und Markt Tüßling (n=41) dargestellt und mit den Ergebnissen der HBM-Untersuchung aus dem Jahr 2018 verglichen.

Im Vergleich zur HBM-Untersuchung im Jahr 2018 ist in der Gruppe der Frauen im gebärfähigen Alter im Versorgungsgebiet Kastl und Markt Tüßling der Median für den PFOA-Gehalt im Blut im Jahr 2022 von 14,92 µg/L auf 5,10 µg/L gesunken, was einem Rückgang von 65,8 % entspricht.

Die weiteren Ergebnisse für die verschiedenen perfluorierten Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Versorgungsgebiet Kastl und Markt Tüßling im Vergleich der beiden Jahre sind Tabelle 22 zu entnehmen.

Tab. 22: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Kastl und Markt Tüßling in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=41)

		PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDoA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl>BG* (n)	2018	41	40	35	15	2	0	22	5	0
	2022	41	41	17	18	1	0	15	0	0
Mittelwert (µg/L)	2018	18,00	1,65	0,47	0,29	-	-	0,27	-	-
	2022	6,32	1,45	0,31	0,32	-	-	-	-	-
Median (µg/L)	2018	14,92	1,18	0,38	-	-	-	0,26	-	-
	2022	5,10	1,08	-	-	-	-	-	-	-
95. Perzentil (µg/L)	2018	46,13	4,48	1,08	0,62	-	-	0,52	0,30	-
	2022	15,94	3,04	1,04	1,15	-	-	0,40	-	-
Minimum (µg/L)	2018	4,23	**	-	-	-	-	-	-	-
	2022	0,99	0,50	-	-	-	-	-	-	-
Maximum (µg/L)	2018	55,51	5,75	1,38	1,77	0,68	-	0,54	0,61	-
	2022	18,89	5,16	1,48	1,34	0,64	-	0,65	-	-

*BG: Bestimmungsgrenze (0,25 µg/L); bei Werten unter der BG wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in der Tabelle gezeigten Maßzahlen verwendet.

** diese Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/L

Beim Vergleich der PFOA-Werte mit dem HBM-I- und HBM-II-Wert zeigt sich, dass die PFOA-Gehalte im Blut 2022 nur noch bei 21 untersuchten Frauen im gebärfähigen Alter (51,2 %)

über dem entsprechenden HBM-II-Wert von 5 µg/L Blutplasma liegen. 2018 war dies bei 39 Frauen (95,1 %) der Fall (siehe Tab. 23).

Tab. 23: Frauen im gebärfähigen Alter im Trinkwasserversorgungsgebiet Kastl und Markt Tüßling (n=41), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA

Unter HBM-I-Wert (Wert < 2 µg/L)		Zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert (Wert ≥ 2 µg/L und < 5 µg/L)		Über HBM-II-Wert (Frauen im gebärfähigen Alter: Wert ≥ 5 µg/L)	
2018	2022	2018	2022	2018	2022
0 (0 %)	1 (2,4 %)	2 (4,9 %)	19 (46,4 %)	39 (95,1 %)	21 (51,2 %)

3.3.5 Interne PFAS-Belastung im Versorgungsgebiet Neuötting und Winhöring

Allgemeinbevölkerung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Gruppe der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Neuötting und Winhöring (n=60) aus dem Jahr 2022 dargestellt und mit den Ergebnissen der HBM-Untersuchung aus dem Jahr 2018 verglichen. Die Altersspanne der Personen der Allgemeinbevölkerung in diesem Versorgungsbereich lag zwischen 14 und 84 Jahren, das mediane Alter betrug 60 Jahre. Die Untersuchungsgruppe setzte sich aus 56,7 % Frauen (n=34) und 43,3 % Männern (n=26) zusammen.

Im Vergleich zur HBM-Untersuchung im Jahr 2018 ist der Median für den PFOA-Gehalt in der Gruppe der Allgemeinbevölkerung 2022 von 21,07 µg/L auf 8,70 µg/L gesunken, was einem Rückgang von 58,7 % entspricht.

Die weiteren Ergebnisse für die verschiedenen perfluorierten Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus diesem Versorgungsgebiet im Vergleich der beiden Jahre sind Tabelle 24 zu entnehmen.

Tab. 24: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Neuötting und Winhöring in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=60)

		PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFD _o A	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl>BG* (n)	2018	60	57	55	17	1	0	49	6	0
	2022	60	60	38	22	1	0	45	0	0
Mittelwert (µg/L)	2018	23,60	2,15	0,55	-	-	-	0,57	-	-
	2022	10,58	2,03	0,38	0,26	-	-	0,47	-	-
Median (µg/L)	2018	21,07	1,63	0,50	-	-	-	0,51	-	-
	2022	8,70	1,38	0,32	-	-	-	0,41	-	-
95. Perzentil (µg/L)	2018	50,54	7,04	1,07	0,59	-	-	1,20	0,29	-
	2022	25,93	6,92	1,02	0,75	-	-	1,01	-	-
Minimum (µg/L)	2018	5,87	-**	-	-	-	-	-	-	-
	2022	2,20	0,33	-	-	-	-	-	-	-
Maximum (µg/L)	2018	54,77	12,81	2,09	1,94	0,29	-	2,84	0,41	-
	2022	27,20	9,57	1,18	0,94	0,33	-	2,13	-	-

*BG: Bestimmungsgrenze (0,25 µg/L); bei Werten unter der BG wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in der Tabelle gezeigten Maßzahlen verwendet.

** diese Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/L

Beim Vergleich der PFOA-Werte mit dem HBM-I- und HBM-II-Wert ist zu sehen, dass die PFOA-Gehalte im Blut 2022 nur noch bei 24 untersuchten Personen (40,0 %) aus der Gruppe der Allgemeinbevölkerung über dem HBM-II-Wert von 10 µg/L Blutplasma lagen. 2018 war dies bei 52 Personen (86,7 %) der Fall (siehe Tab. 25).

Tab. 25: Allgemeinbevölkerung des Trinkwasserversorgungsgebiets Neuötting und Winhöring (n=60), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA

Unter HBM-I-Wert (Wert < 2 µg/L)		Zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert (Wert ≥ 2 / µg/L und < 10 µg/L)		Über HBM-II-Wert (Allgemeinbevölkerung: Wert ≥ 10 µg/L)	
2018	2022	2018	2022	2018	2022
0 (0 %)	0 (0 %)	8 (13,3 %)	36 (60,0 %)	52 (86,7 %)	24 (40,0 %)

Frauen im gebärfähigen Alter

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Neuötting und Winhöring (n=14) dargestellt und mit den Ergebnissen der HBM-Untersuchung aus dem Jahr 2018 verglichen.

Im Vergleich zur HBM-Untersuchung im Jahr 2018 ist in der Gruppe der Frauen im gebärfähigen Alter im Versorgungsgebiet Neuötting und Winhöring der Median für den PFOA-Gehalt im Blut im Jahr 2022 von 6,02 µg/L auf 2,30 µg/L gesunken, was einem Rückgang von 61,8 % entspricht.

Die weiteren Ergebnisse für die verschiedenen perfluorierten Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Versorgungsgebiet Neuötting und Winhöring im Vergleich der beiden Jahre sind Tabelle 26 zu entnehmen.

Tab. 26: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Neuötting und Winhöring in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=14)

		PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDoA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl>BG* (n)	2018	14	13	8	1	0	0	3	0	0
	2022	14	14	4	3	0	0	1	0	0
Mittelwert (µg/L)	2018	8,04	1,07	0,32	-	-	-	-	-	-
	2022	2,55	1,10	-	-	-	-	-	-	-
Median (µg/L)	2018	6,02	0,96	0,32	-	-	-	-	-	-
	2022	2,30	0,90	-	-	-	-	-	-	-
95. Perzentil (µg/L)	2018	20,99	2,10	1,09	0,70	-	-	0,33	-	-
	2022	5,98	3,98	0,55	0,51	-	-	0,30	-	-
Minimum (µg/L)	2018	3,39	-**	-	-	-	-	-	-	-
	2022	1,07	0,32	-	-	-	-	-	-	-
Maximum (µg/L)	2018	20,99	2,10	1,09	0,70	-	-	0,33	-	-
	2022	5,98	3,98	0,55	0,51	-	-	0,30	-	-

*BG: Bestimmungsgrenze (0,25 µg/L); bei Werten unter der BG wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in der Tabelle gezeigten Maßzahlen verwendet.

** diese Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/L

Beim Vergleich der PFOA-Werte mit dem HBM-I- und HBM-II-Wert zeigt sich, dass die PFOA-Gehalte im Blut 2022 nur noch bei zwei untersuchten Frauen im gebärfähigen Alter (14,2 %) über dem entsprechenden HBM-II-Wert von 5 µg/L Blutplasma liegen. 2018 war dies bei neun Frauen (64,3 %) der Fall (siehe Tab. 27).

Tab. 27: Frauen im gebärfähigen Alter im Trinkwasserversorgungsgebiet Neuötting und Winhöring (n=14), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA

Unter HBM-I-Wert (Wert < 2 µg/L)		Zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert (Wert ≥ 2 µg/L und < 5 µg/L)		Über HBM-II-Wert (Frauen im gebärfähigen Alter: Wert ≥ 5 µg/L)	
2018	2022	2018	2022	2018	2022
0 (0 %)	6 (42,9 %)	5 (35,7 %)	6 (42,9 %)	9 (64,3 %)	2 (14,2 %)

3.3.6 Interne PFAS-Belastung im Versorgungsgebiet Markt, Haiming, Stammham und Alzger (Inn-Salzach-Gruppe)

Allgemeinbevölkerung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Gruppe der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Markt, Haiming, Stammham und Alzger (Inn-Salzach-Gruppe) (n=71) aus dem Jahr 2022 dargestellt und mit den Ergebnissen der HBM-Untersuchung aus dem Jahr 2018 verglichen. Die Altersspanne der Personen der Allgemeinbevölkerung in diesem Versorgungsgebiet lag zwischen 17 und 83 Jahren, das mediane Alter betrug 57 Jahre. Die Untersuchungsgruppe setzte sich aus 38,0 % Frauen (n=27) und 62,0 % Männern (n=44) zusammen.

Im Vergleich zur HBM-Untersuchung im Jahr 2018 ist in der Gruppe der Allgemeinbevölkerung im Versorgungsgebiet der Inn-Salzach-Gruppe der Median für den PFOA-Gehalt im Jahr 2022 von 15,20 µg/L auf 8,88 µg/L gesunken, was einem Rückgang von 41,6 % entspricht.

Die weiteren Ergebnisse für die verschiedenen perfluorierten Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung dieses Untersuchungsgebiets im Vergleich der beiden Jahre sind Tabelle 28 zu entnehmen.

Tab. 28: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet der Inn-Salzach-Gruppe in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=71)

		PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDoA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl>BG* (n)	2018	71	71	69	47	5	3	65	6	1
	2022	71	71	62	40	0	0	63	0	1
Mittelwert (µg/L)	2018	19,57	3,93	1,01	0,51	-	-	0,73	-	-
	2022	12,63	3,36	0,76	0,49	-	-	0,60	-	-
Median (µg/L)	2018	15,20	3,36	0,71	0,32	-	-	0,66	-	-
	2022	8,88	2,51	0,52	0,33	-	-	0,58	-	-
95. Perzentil (µg/L)	2018	46,07	10,17	2,03	1,31	0,30	-	1,44	0,29	-
	2022	31,62	9,85	2,10	1,32	-	-	1,28	-	-
Minimum (µg/L)	2018	2,15	0,46	**	-	-	-	-	-	-
	2022	0,88	0,30	-	-	-	-	-	-	-
Maximum (µg/L)	2018	159,39	15,00	7,97	3,97	0,54	1,11	2,13	0,35	0,36
	2022	151,65	19,45	4,86	3,25	-	-	1,68	-	0,26

*BG: Bestimmungsgrenze (0,25 µg/L); bei Werten unter der BG wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in der Tabelle gezeigten Maßzahlen verwendet.

** diese Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/L

Beim Vergleich der PFOA-Werte mit dem HBM-I- und HBM-II-Wert zeigt sich, dass die PFOA-Gehalte im Blut 2022 nur noch bei 28 untersuchten Personen (39,4 %) aus der Gruppe der Allgemeinbevölkerung über dem HBM-II-Wert von 10 µg/L Blutplasma lagen. 2018 war dies bei 53 Personen (74,6 %) der Fall (siehe Tab. 29).

Tab. 29: Allgemeinbevölkerung des Trinkwasserversorgungsgebiets der Inn-Salzach-Gruppe (n=71), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA

Unter HBM-I-Wert (Wert < 2 µg/L)		Zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert (Wert ≥ 2 µg/L und < 10 µg/L)		Über HBM-II-Wert (Allgemeinbevölkerung: Wert ≥ 10 µg/L)	
2018	2022	2018	2022	2018	2022
0 (0 %)	2 (2,8 %)	18 (25,4 %)	41 (57,8 %)	53 (74,6 %)	28 (39,4 %)

Frauen im gebärfähigen Alter

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Markt, Haiming, Stammham und Alzger (Inn-Salzach-Gruppe) (n=18) dargestellt und mit den Ergebnissen der HBM-Untersuchung aus dem Jahr 2018 verglichen.

Im Vergleich zur HBM-Untersuchung im Jahr 2018 ist in der Gruppe der Frauen im gebärfähigen Alter im Versorgungsgebiet der Inn-Salzach-Gruppe der Median für den PFOA-Gehalt im Blut im Jahr 2022 von 7,55 µg/L auf 4,54 µg/L gesunken, was einem Rückgang von 39,9 % entspricht.

Die weiteren Ergebnisse für die verschiedenen perfluorierten Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Versorgungsgebiet der Inn-Salzach-Gruppe im Vergleich der beiden Jahre sind Tabelle 30 zu entnehmen.

Tab. 30: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Markt, Haiming, Stammham und Alzger (Inn-Salzach-Gruppe) in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=18)

		PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDoA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl>BG* (n)	2018	18	18	17	9	3	0	12	0	0
	2022	18	18	14	13	0	0	8	0	0
Mittelwert (µg/L)	2018	9,65	3,45	0,73	0,45	-	-	0,37	-	-
	2022	6,84	2,86	0,56	0,48	-	-	0,29	-	-
Median (µg/L)	2018	7,55	2,49	0,62	0,34	-	-	0,32	-	-
	2022	4,54	2,64	0,48	0,41	-	-	-	-	-
95. Perzentil (µg/L)	2018	30,08	8,48	1,63	1,22	0,31	-	0,99	-	-
	2022	32,04	10,03	1,48	1,45	-	-	0,78	-	-
Minimum (µg/L)	2018	3,28	0,93	-**	-	-	-	-	-	-
	2022	1,68	0,52	-	-	-	-	-	-	-
Maximum (µg/L)	2018	30,08	8,48	1,63	1,22	0,31	-	0,99	-	-
	2022	32,04	10,03	1,48	1,45	-	-	0,78	-	-

*BG: Bestimmungsgrenze (0,25 µg/L); bei Werten unter der BG wurde die halbe BG (0,125 µg/L) für die Berechnungen der in der Tabelle gezeigten Maßzahlen verwendet.

** diese Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/L

Beim Vergleich der PFOA-Werte mit dem HBM-I- und HBM-II-Wert zeigt sich, dass die PFOA-Gehalte im Blut 2022 nur noch bei sieben untersuchten Frauen im gebärfähigen Alter (38,9 %) über dem entsprechenden HBM-II-Wert von 5 µg/L Blutplasma liegen. 2018 war dies bei 14 Frauen (77,8 %) der Fall (siehe Tab. 31).

Tab. 31: Frauen im gebärfähigen Alter im Trinkwasserversorgungsgebiet Markt, Haiming, Stammham und Alzger (Inn-Salzach-Gruppe) (n=18), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA

Unter HBM-I-Wert (Wert < 2 µg/L)		Zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert (Wert ≥ 2 µg/L und < 5 µg/L)		Über HBM-II-Wert (Frauen im gebärfähigen Alter: Wert ≥ 5 µg/L)	
2018	2022	2018	2022	2018	2022
0 (0 %)	2 (11,1 %)	4 (22,2 %)	9 (50,0 %)	14 (77,8 %)	7 (38,9 %)

3.3.7 Statistischer Vergleich des Rückgangs der internen PFOA-Belastung in den einzelnen Trinkwasserversorgungsgebieten bezogen auf den Median

Allgemeinbevölkerung

In Tabelle 32 ist eine Übersicht der Mediane sowie der prozentualen Rückgänge der PFOA-Gehalte der Allgemeinbevölkerung in den einzelnen Trinkwasserversorgungsgebieten dargestellt.

Tab. 32: Personenanzahl, Mediane und prozentuale Rückgänge der PFOA-Belastung in der Gruppe der Allgemeinbevölkerung der einzelnen Trinkwasserversorgungsgebiete sowie für das gesamte Untersuchungsgebiet in den Erhebungsjahren 2018 und 2022

Trinkwasserversorgungsgebiet	Anzahl an Personen	Median für PFOA 2018 (µg/L)	Median für PFOA 2022 (µg/L)	Rückgang in %
Altötting	55	8,24	4,53	45,0
Burgkirchen	71	23,94	11,00	54,1
Emmerting	148	30,50	13,15	56,9
Kastl und Markt Tüßling	154	24,75	10,54	57,4
Neuötting und Winhöring	60	21,07	8,70	58,7
Markt, Haiming, Stammham und Alzger (Inn-Salzach-Gruppe)	71	15,20	8,88	41,6
Gesamtes Untersuchungsgebiet	559	23,18	10,00	56,9

Der stärkste Rückgang des Medians der internen PFOA-Belastung in der Gruppe der Allgemeinbevölkerung ist im Trinkwasserversorgungsgebiet Neuötting/Winhöring mit 58,7 % zu verzeichnen, den geringsten Rückgang gab es im Zweckverband der Inn-Salzach-Gruppe mit 41,6 %. Werden die prozentualen Rückgänge des PFOA-Gehaltes in den einzelnen Gebieten miteinander verglichen, ist auffällig, dass der Rückgang in der Inn-Salzach-Gruppe im Vergleich zum Rückgang in den Gebieten Burgkirchen, Emmerting, Kastl/Markt Tüßling, Neuötting/Winhöring ($p < 0,0001$) bzw. Altötting ($p = 0,025$) statistisch signifikant geringer ist (siehe hierzu [Kap. 4 „Bewertung der Ergebnisse“](#)). Beim Vergleich der prozentualen Rückgänge des PFOA-Gehaltes der Gebiete Burgkirchen, Emmerting, Kastl/Markt Tüßling, Neuötting/Winhöring und Altötting miteinander gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Frauen im gebärfähigen Alter

In Tabelle 33 werden die Mediane sowie die prozentualen Rückgänge der PFOA-Gehalte der Frauen im gebärfähigen Alter in den einzelnen Trinkwasserversorgungsgebieten dargestellt:

Tab. 33: Personenanzahl, Mediane und prozentuale Rückgänge der PFOA-Belastung in der Gruppe der Frauen im gebärfähigen Alter der einzelnen Trinkwasserversorgungsgebiete sowie für das gesamte Untersuchungsgebiet in den Erhebungsjahren 2018 und 2022

Trinkwasserversorgungsgebiet	Anzahl an Personen	Median für PFOA 2018 ($\mu\text{g/L}$)	Median für PFOA 2022 ($\mu\text{g/L}$)	Rückgang in %
Altötting	11	3,25	1,68	48,3
Burgkirchen	11	14,18	6,40	54,9
Emmerting	22	23,78	7,52	68,4
Kastl und Markt Tüßling	41	14,92	5,10	65,8
Neuötting und Winhöring	14	6,02	2,30	61,8
Markt, Haiming, Stammham und Alzgem (Inn-Salzach-Gruppe)	18	7,55	4,54	39,9
Gesamtes Untersuchungsgebiet	117	10,93	4,43	59,5

Der stärkste Rückgang des Medians der internen PFOA-Belastung in der Gruppe der Frauen im gebärfähigen Alter ist im Trinkwasserversorgungsgebiet Emmerting mit 68,4 % zu verzeichnen, den geringsten Rückgang gab es im Zweckverband der Inn-Salzach-Gruppe mit 39,9 %. Da es sich bei den Frauen im gebärfähigen Alter um eine kleinere Untersuchungsgruppe han-

delt und daher die Zahl der Frauen in dieser Altersgruppe in den einzelnen Trinkwasserversorgungsgebieten sehr gering ist, wurden hier keine Untersuchungen zum statistischen Vergleich der einzelnen Gebiete durchgeführt.

4. Bewertung der Ergebnisse

Die gesundheitliche Bewertung der internen PFOA-Belastung erfolgt auf Grundlage der von der HBM-Kommission festgelegten HBM-Werte.

Der HBM-I-Wert als Vorsorge- bzw. Zielwert für die lebenslange PFOA-Exposition beträgt für die Allgemeinbevölkerung jeder Altersgruppe $2 \mu\text{g PFOA/L}$ Blutplasma. Nach dem aktuellen Stand der Bewertung ist bei der Unterschreitung dieses Wertes nicht von einer gesundheitlichen Beeinträchtigung auszugehen. Der Wert stellt eine Grenze dar, ab der vermehrt Vorsorgemaßnahmen erfolgen sollten. Eine Überschreitung des HBM-I-Wertes stellt keine Gesundheitsgefahr dar, sondern sollte Anlass sein, die Ursache der Belastung zu ermitteln und sie unter Wahrung der Verhältnismäßigkeit zu minimieren.

Der HBM-II-Wert als Interventions- und Maßnahmenwert in Höhe von $5 \mu\text{g PFOA/L}$ Blutplasma für Frauen im gebärfähigen Alter und in Höhe von $10 \mu\text{g PFOA/L}$ Blutplasma für alle übrigen Bevölkerungsgruppen beschreibt die Konzentration, bei deren Überschreitung eine gesundheitliche Beeinträchtigung möglich ist, aber nicht auftreten muss. Laut HBM-Kommission sollten Maßnahmen zur Reduktion der Belastung durchgeführt werden. Zudem muss den Betroffenen eine umweltmedizinische Beratung angeboten werden.

Für Beschäftigte, die in direktem Kontakt mit PFOA sind, liegt ein rechtlich bindender biologischer Grenzwert (BGW) von $5000 \mu\text{g/L}$ vor (BAT-Wert). Auch wenn dieser Wert hier nicht unmittelbar zur Bewertung der internen Belastung herangezogen werden kann, verdeutlicht er doch den Abstand zu gesundheitlichen Effekten, die in anderen Rechtsbereichen als relevant angesehen werden.

Der HBM-II-Wert für PFOA wird zwar noch von ca. der Hälfte der an der Folgeuntersuchung teilnehmenden Personen überschritten, bei 40 % der Personen ist jedoch nach Ablauf einer Halbwertszeit die interne PFOA-Belastung unter den HBM-II-Wert abgesunken, was belegt, dass die Sanierung der Trinkwasserversorgung als erfolgreich zu werten ist.

Die Halbwertszeit für PFOA unterliegt natürlichen individuellen Schwankungen. Deshalb sind auch bei Personen aus einem Versorgungsgebiet Unterschiede beim Rückgang der im HBM festgestellten PFOA-Gehalte zu erwarten. Für einen Vergleich der Versorgungsgebiete wird deshalb in den Tabellen 32 und 33 jeweils der mediane Rückgang der PFOA-Gehalte von

Personen der entsprechenden Gruppe (Tabelle 32: Allgemeinbevölkerung, Tabelle 33: Frauen im gebärfähigen Alter) bezogen auf das jeweilige Versorgungsgebiet angegeben. Die Mediane des Rückgangs liegen für alle Versorgungsgebiete innerhalb der zu erwartenden Schwankungsbreite. Den geringsten Rückgang weist der Median von Personen aus dem Versorgungsgebiet Inn-Salzach auf, der leicht unter dem mittleren Rückgang der insgesamt untersuchten Bevölkerung liegt. Zu berücksichtigen ist dabei, dass bereits bei dem HBM im Jahr 2018 der Median für PFOA im Versorgungsgebiet der Inn-Salzach-Gruppe deutlich niedriger war als in den meisten anderen Versorgungsgebieten, so dass der bei der Untersuchung im Jahr 2022 erhaltene Median für PFOA weiterhin unter dem Durchschnitt aller Versorgungsgebiete liegt. Zu der geringeren Reduktion des Medians für PFOA im Versorgungsgebiet der Inn-Salzach-Gruppe könnte beigetragen haben, dass auch nach dem ersten HBM im Jahr 2018 im Trinkwasser des Zweckverbands Inn-Salzach zum Teil noch niedrige Gehalte von PFOA nachweisbar waren. Diese lagen jeweils weit unter den entsprechenden fachlichen Vorgaben. So wurde seit April 2020 ein Gehalt von 0,01 µg/l, d. h. ein Zehntel des derzeit noch gültigen Trinkwasserleitwertes des Umweltbundesamtes für PFOA, nicht mehr überschritten. Damit wurde auch jeweils bereits der Grenzwert für die Summe der vier EFSA-PFAS (PFAS-4: PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS) von 0,02 µg/L eingehalten, der mit der Verabschiedung der neuen Trinkwasserverordnung erst Mitte 2023 eingeführt und ab 12. Januar 2028 Gültigkeit erlangen werden wird. Bei den zuletzt sanierten Trinkwasserversorgungen (Burgkirchen-Kastl bzw. Neuötting-Altötting) ist PFOA seit Dezember 2018 bei den Kontrolluntersuchungen des LGL in dem vom Wasserwerk abgegebenen Trinkwasser nicht mehr nachweisbar (LGL, 2023).

Teil II: Ergebnisse der Antikörper-Analysen

1. Methoden

Die Beschreibung der Durchführung des Human-Biomonitorings wird in [Teil I Kapitel 2.1](#) erläutert.

Zusätzlich zu den Ergebnissen bezüglich der PFAS-Exposition wurden die Untersuchungsteilnehmerinnen und -teilnehmer durch ein Befundschreiben über ihren Antikörperstatus (Diphtherie, Tetanus und SARS-CoV-2) informiert, ob im Einzelfall nach Rücksprache mit dem Hausarzt, eine Auffrischungsimpfung empfohlen wird. Weiterhin wurde eine umweltmedizinische Beratung durch die PFC-Infoline des LGL angeboten.

1.1 Analytik

Die Konzentration der impf- bzw. infektionsassoziierten Antikörper im Blut wurden durch spezifische Antikörper-Tests gegen Tetanus, Diphtherie und SARS-CoV-2 (Anti-N, Anti-S, Surrogat-Neutralisationstests) bestimmt. Zusätzlich wurden in den Blutproben die Spike-spezifischen IgG-Subklassen IgG1, IgG2 und IgG3 mittels fluoreszenzmarkierter FACS-Analyse quantifiziert. SARS-CoV-2-Antikörper sind frühestens nach ca. sieben bis zehn Tagen nach Impfung und dann über mindestens 6 Monate bei abfallender Höhe nachweisbar. Die Bestimmung der Immunparameter wurde am LGL und am Virologischen Institut des Universitätsklinikums Erlangen durchgeführt.

Tab. 34: Zusammenstellung der Antikörper-Testparameter und Ziel-Antigene

Antikörper-Test	Firma	Ziel-Antigen	Test-volumen	Bemerkungen
Tetanus	Euro-Immun	Toxoid	10 µL	Impf-Antikörper, ggf. geboostert durch Kontakt
Diphtherie	Euro-Immun	Toxoid	10 µL	Impf-Antikörper, ggf. geboostert durch Kontakt
SARS-N	Roche	Nukleokapsid	10 µL	Derzeit nur durch natürliche Infektion → Diff. Impfung vs. natürliche Infektion (Cave: „Tot“-Impfstoffe vor Zulassung → N evtl. auch durch Impfung)
SARS-S	Roche	Spike	10 µL	Anti-S Antikörper durch Impfung oder/und natürliche Infektion induziert
Spike-spezifische IgG-Subklassen	Bio-Legend	IgG1, IgG2, IgG3	10 µL	Antikörper durch Impfung oder/und natürliche Infektion
Surrogat-Neutralisations-tests	Genscript, Shenzhen Yhlo	RBD/ ACE2	10 µL	Antikörper durch Impfung oder/und natürliche Infektion

1.2 Datenauswertung

Die Auswertung der PFAS- und Antikörper-Daten erfolgte deskriptiv, getrennt für Erwachsene und Kinder. Hinsichtlich des Impfstatus wurden sowohl bei den Erwachsenen als auch bei den Kindern und Jugendlichen alle Teilnehmenden, die keine Impfung angegeben hatten oder keine Angaben zum Impfstatus im Fragebogen des LGL machten, bei der Auswertung der Diphtherie- und Tetanus-Antikörper-Analysen nicht berücksichtigt. Da eine natürliche Exposition gegen Diphtherie bzw. Tetanus in unserem Probandenkollektiv sehr unwahrscheinlich ist, war in diesen Fällen davon auszugehen, dass keine Antikörper vorliegen. Der Einschluss dieser Personen in die Auswertungen hätte somit die Ergebnisse verfälscht.

Im Gegensatz zu Diphtherie und Tetanus war bei der SARS-CoV-2 eine natürliche Exposition möglich. Deshalb wurden auch die Personen, die keine Angaben zum Impfstatus im Fragebogen machten oder angegeben hatten nicht geimpft worden zu sein, in die Analyse eingeschlossen.

Die Diphtherie- und die Tetanus-Antikörperkonzentrationen im Blut wurden entsprechend den Referenzbereichen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) in drei Kategorien eingeteilt

(siehe Tabelle 35). Diese Kategorien geben Auskunft über den Wirkungsgrad des Immunschutzes.

Tab. 35: Referenzbereiche der Weltgesundheitsorganisation für Diphtherie- und Tetanus-Antikörperkonzentrationen im Blut

Diphtherie-Antikörper (IU/mL*)	Tetanus-Antikörper (IU/mL*)
≤ 0,01: kein Immunschutz	< 0,1: kein Immunschutz
0,01-0,09: kein verlässlicher Immunschutz	0,1-0,5: vorhandener Immunschutz
≥ 0,1: vollständiger Immunschutz	> 0,5: ausreichender Immunschutz

* International Units per Millimeter

Im Gegensatz zu der Diphtherie- und Tetanusimpfung liegt für SARS-CoV-2 derzeit kein Schwellenwert vor, ab dem von einem bestehenden Immunschutz ausgegangen werden kann. Somit konnte bei SARS-CoV-2 nur die Menge der Antikörper erfasst und unter den beiden Probandengruppen verglichen werden.

Bei der Analyse der Assoziation zwischen der PFOA-Konzentration und dem SARS-CoV-2 Antikörperstatus erfolgte eine Differenzierung im Hinblick auf die Immunantwort durch Impfung (S-Antikörper) und durch natürliche Infektion (N-Antikörper).

Tab. 36: Interpretation der Grenzwerte für N- und S-SARS-CoV-2 Werte im Blutplasma:

Interpretation der Ergebnisse	
N < 1,0 COI*	negativ
N ≥ 1,0 COI*	positiv durch natürliche Infektion
S < 0,8 U/mL**	negativ
S ≥ 0,8 U/mL**	positiv durch Impfung / natürliche Infektion

* Cut-Off Index

** Units per Milliliter

2. Ergebnisse der Antikörperuntersuchung

Um eine Assoziation zwischen der PFOA-Belastung und der Antikörperantwort zu prüfen, wurden die Blutproben der Teilnehmenden in der HBM-Folgeuntersuchung 2022 zusätzlich auf die Antikörperspiegel hinsichtlich Diphtherie, Tetanus und SARS-CoV-2 untersucht. Im Folgenden werden die Untersuchungsgruppen charakterisiert.

2.1 Charakterisierung der Untersuchungsgruppen

2.1.1 Gruppe der Erwachsenen

Die teilnehmenden Personen (n=764) wurden entsprechend der Empfehlungen der Ständigen Impfkommission am Robert Koch-Institut (STIKO) in zwei Gruppen eingeteilt: Personen älter als 18 Jahre (Erwachsene n=717) und jünger als 18 Jahre (Kinder n=47) (im Gegensatz zu Teil I mit einer Altersschwelle ≥ 12 Jahren). Die Gruppe der Erwachsenen (n=717) verringerte sich um diejenigen mit Angabe einer beruflichen Exposition (n=51), sowie die Personen ohne Angaben zu einer beruflichen Exposition (n=4) auf 662 Personen (siehe Abb. 2). Die Ergebnisse der Kinder und Jugendlichen werden in [Kapitel 2.3](#) separat dargestellt.

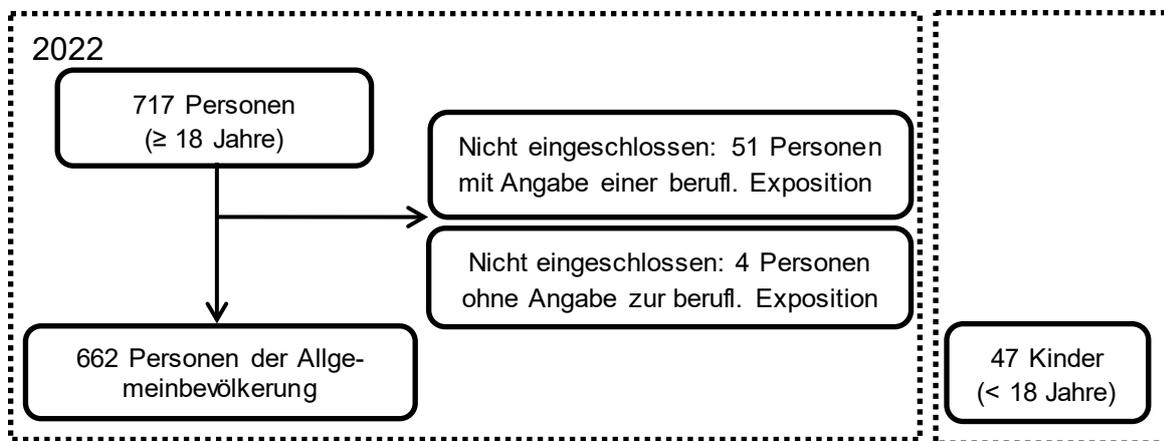


Abb. 2: Flussdiagramm der Teilnehmenden an der Antikörper-Analyse 2022

Die Untersuchungsgruppe der Erwachsenen setzte sich aus 378 Frauen (57,1 %) und 284 Männern (42,9 %) zusammen. Sie wurde bei den Erwachsenen in drei Altersgruppen unterteilt: 18- bis 40-Jährige, 40- bis 60-Jährige und über 60-Jährige. Die Aufteilung der Erwachsenen nach Geschlecht und Altersgruppen ist in Tabelle 37 dargestellt.

Tab. 37: Anzahl (Anteil in %) an Erwachsenen nach Geschlecht in den verschiedenen Altersgruppen

Alter	Geschlecht				N (Gesamt)
	Weiblich		Männlich		
18-40	63	55,8 %	50	44,2 %	113
40-60	189	61,8 %	117	38,2 %	306
≥ 60	126	51,9 %	117	48,1 %	243
Gesamt	378	57,1 %	284	42,9 %	662

2.1.2 Gruppe der Kinder und Jugendlichen

Die Untersuchungsgruppe der Kinder und Jugendlichen unter 18 Jahren (n=47) unterteilte sich nach Geschlecht in 28 Mädchen (59,6 %) und 19 Jungen (40,4 %). Ihre Aufteilung nach Geschlecht und Altersgruppe ist in Tabelle 38 dargestellt.

Nach dem Impfkalender (STIKO, 2023) erfolgt nach der Grundimmunisierung gegen Tetanus und Diphtherie im ersten Lebensjahr eine erste Auffrischimpfung im Alter zwischen fünf und sechs Jahren und eine zweite Auffrischimpfung im Alter zwischen neun und 16 Jahren. Bei Einhaltung des Impfkalenders ist zu erwarten, dass mit zunehmendem Alter die Immunität gegen Tetanus und Diphtherie erhalten bleibt bzw. erhöht wird. Basierend auf der Einteilung des Impfkalenders und der geringen Anzahl der Kinder in den einzelnen Gruppen, wurden unter der Annahme, dass die Impfempfehlungen entsprechend des Impfkalenders eingehalten wurden, zwei Untersuchungsgruppen gebildet (< 9 Jahre, und ≥ 9 Jahre).

Tab. 38: Anzahl (Anteil in %) an Kindern und Jugendlichen nach Geschlecht in den verschiedenen Altersgruppen

Alter	Geschlecht				N (Gesamt)
	Weiblich		Männlich		
< 9	14	60,9 %	9	39,1 %	23
≥ 9	14	58,3 %	10	41,7 %	24
Gesamt	28	59,6 %	19	40,4 %	47

2.2 Ergebnisse für die Gruppe der Erwachsenen

2.2.1 Diphtherie

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Antikörper-Analysen für die Gruppe der Erwachsenen hinsichtlich der Ausprägung des Immunschutzes gegen Diphtherie dargestellt. Im Fragebogen des LGL (Impfangaben wurden während der Untersuchung mit dem Impfpass verglichen) gaben von 662 Teilnehmenden aus dem Landkreis Altötting 645 (97,4 %) an, jemals eine Diphtherie-Impfung erhalten zu haben. Von den restlichen 17 Teilnehmenden hatten fünf Teilnehmende keine Impfung erhalten und zwölf Teilnehmende im Fragebogen keine Angabe zu ihrem Impfstatus gemacht. Daher wurden diese Personen im Folgenden nicht mehr in der Diphtherie-Antikörper-Analyse berücksichtigt.

Von den 645 geimpften Personen gaben 434 (67,3 %) im Fragebogen zusätzlich an, innerhalb der letzten zehn Jahre geimpft worden zu sein.

Die Ergebnisse der Antikörperuntersuchung zeigten, dass 310 von 645 Erwachsenen (48,1 %) in Altötting entsprechend der Referenzbereiche der WHO für Diphtherie einen vollständigen Immunschutz aufwiesen, 239 Personen keinen verlässlichen Immunschutz vorweisen konnten und 96 Personen keinen Immunschutz hatten (siehe Tabelle 39).

Tab. 39: Übersicht über die für die Antikörper-Kategorien berücksichtigte Untersuchungsgruppe der Erwachsenen (n=645)

Diphtherie-Antikörper (IU/mL)	N=645
≤ 0,01: kein Immunschutz	96 (14,9 %)
0,01-0,09: kein verlässlicher Immunschutz	239 (37,0 %)
≥ 0,1: vollständiger Immunschutz	310 (48,1 %)

Die Analyse des Diphtherie-Antikörperstatus stratifiziert nach Alter und PFOA-Gehalt zeigte, dass der prozentuale Anteil der Personen die keinen Immunschutz vorweisen konnte, mit zunehmendem Alter stark anstieg, wobei, in den einzelnen Altersgruppen nur geringe Unterschiede in den Diphtherie-Antikörperspiegeln zwischen Teilnehmenden mit PFOA-Gehalten unter und über dem HBM-II-Wert zu beobachten waren (siehe Tabelle 40).

Tab. 40: Anzahl (Anteil in %) der Erwachsenen in den verschiedenen Diphtherie-Antikörper-Kategorien nach Alter und PFOA-Gehalt 2022

Alter	PFOA ($\mu\text{g/L}$) (HBM-II-Wert)	Diphtherie-Antikörper (IU/mL)			N (Gesamt)
		$\leq 0,01$ kein Immunschutz	0,01-0,09 kein verlässlicher Immunschutz	$\geq 0,1$ vollständiger Immunschutz	
18-40	< 10	4 (4,7 %)	31 (36,0 %)	51 (59,3 %)	86
	≥ 10	0 (0 %)	10 (38,5 %)	16 (61,5 %)	26
40-60	< 10	18 (9,8 %)	65 (35,5 %)	100 (54,6 %)	183
	≥ 10	11 (9,4 %)	40 (34,2 %)	66 (56,4 %)	117
≥ 60	< 10	19 (21,3 %)	36 (40,4 %)	34 (38,2 %)	89
	≥ 10	44 (30,6 %)	57 (39,6 %)	43 (29,9 %)	144

Diese Ergebnisse zeigen, dass nicht der PFOA-Gehalt im Blut, sondern das Alter eine entscheidende Rolle spielte: Je älter eine Person war, desto geringer fiel die Immunantwort auf die Diphtherie-Impfung aus.

2.2.2 Tetanus

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Antikörper-Analysen für die Gruppe der Erwachsenen hinsichtlich der Ausprägung des Immunschutzes gegen Tetanus dargestellt.

Im Fragebogen des LGL gaben von 662 Teilnehmenden aus dem Landkreis Altötting 651 (98,3 %) an, jemals eine Tetanus-Impfung erhalten zu haben. Von den restlichen elf Teilnehmenden hatte eine Teilnehmende keine Impfung erhalten, fünf Teilnehmende gaben an sich nicht mehr zu erinnern und weitere fünf Teilnehmende machten im Fragebogen keine Angabe zum Impfstatus. Daher wurden diese Personen im Folgenden nicht mehr in der Tetanus-Antikörper-Analyse berücksichtigt. Von den 651 geimpften Personen gaben 469 (72,0 %) zusätzlich an, innerhalb der letzten zehn Jahre geimpft worden zu sein.

Die Ergebnisse der Antikörperbestimmung ergaben entsprechend der Referenzbereiche der WHO für Tetanus, bei 598 Personen (91,9 %), einen ausreichenden Tetanus-Immunschutz (siehe Tabelle 41).

Tab. 41: Übersicht über die für die Antikörper-Kategorien berücksichtigte Untersuchungsgruppe der Erwachsenen (n=651)

Tetanus-Antikörper (IU/mL)	N=651
<0,1: Kein Immunschutz	17 (2,6 %)
0,1-0,5: vorhandener Immunschutz	36 (5,5 %)
>0,5: ausreichender Immunschutz	598 (91,9 %)

Die Analyse des Tetanus-Antikörperstatus stratifiziert nach Alter und PFOA-Gehalt zeigte, dass die Höhe der Tetanus-Antikörper altersunabhängig war. Unterschiede in der Höhe der Tetanus-Antikörperspiegel zwischen den Teilnehmenden mit PFOA-Gehalten unter und über dem HBM-II-Wert waren nicht zu beobachten (siehe Tabelle 42).

Tab. 42: Anzahl (Anteil in %) der Erwachsenen in den verschiedenen Tetanus-Antikörper-Kategorien nach Alter und PFOA-Gehalt 2022 (n=651)

Alter	PFOA (µg/L) (HBM-II-Wert)	Tetanus-Antikörper (IU/mL)			N (Gesamt)
		< 0,1 kein Immunschutz	0,1-0,5 vorhandener Immunschutz	≥ 0,5 ausreichender Immunschutz	
18-40	< 10	3 (3,5 %)	13 (15,1 %)	70 (81,4 %)	86
	≥ 10	0 (0 %)	4 (15,4 %)	22 (84,6 %)	26
40-60	< 10	5 (2,7 %)	8 (4,4 %)	170 (92,9 %)	183
	≥ 10	0 (0 %)	4 (3,4 %)	114 (96,6 %)	118
≥ 60	< 10	5 (5,6 %)	5 (5,6 %)	80 (88,9 %)	90
	≥ 10	4 (2,7 %)	2 (1,4 %)	142 (95,9 %)	148

2.2.3 SARS-CoV-2

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Antikörper-Analysen für die Gruppe der Erwachsenen hinsichtlich der Ausprägung des Immunschutzes gegen SARS-CoV-2 dargestellt.

Wie der Tabelle 43 zu entnehmen ist, hatten 609 (92 %) von 662 Teilnehmenden im Fragebogen angegeben, eine SARS-CoV-2-Impfung erhalten zu haben. 49 Personen (7,4 %) gaben

an, nicht gegen SARS-CoV-2 geimpft worden zu sein und bei vier Personen (0,6 %) lag keine Angabe vor.

Tab. 43: SARS-CoV-2-Impfstatus der Erwachsenen (Angaben entsprechend Fragebogen und Impfpasdaten)

Impfung gegen SARS-CoV-2	N (%)
ja	609 (92,0 %)
nein	49 (7,4 %)
fehlend	4 (0,6 %)

Insgesamt machten 645 Teilnehmende im Fragebogen Angaben, ob sie gegen SARS-CoV-2 geimpft waren und/oder eine SARS-CoV-2-Infektion durchgemacht hatten. Von diesen 645 Teilnehmenden gaben 41,4 % (n=267) an, sowohl geimpft zu sein als auch eine Infektion durchgemacht zu haben. 51,3 % Personen (n=331) gaben an, keine SARS-CoV-2-Infektion durchgemacht zu haben. Die Anzahl der nicht geimpften Personen mit durchgemachter SARS-CoV-2-Infektion lag bei 5 % (n=32) und ohne eine SARS-CoV-2-Infektion bei 2,3 % (n=15) (siehe Tabelle 44).

Tab. 44: Anzahl (Anteil in %) der Erwachsenen nach SARS-CoV-2-Impfstatus, die eine SARS-CoV-2-Infektion hatten (Angaben entsprechend Fragebogen und Impfpasdaten)

SARS-CoV-2-Impfung	SARS-CoV-2-Infektion		Gesamt
	ja	nein	
ja	267 (41,4 %)	331 (51,3 %)	598
nein	32 (5 %)	15 (2,3 %)	47
Gesamt	299	346	645

In den vorliegenden Ergebnissen der Antikörper-Analysen für die Gruppe der Erwachsenen hinsichtlich der Ausprägung des Immunschutzes gegen SARS-CoV-2 zeigte sich kein Zusammenhang zwischen der Höhe der PFOA-Gehalte im Blut und der Immunantwort gegen SARS-CoV-2. Die Immunantwort hing dagegen maßgeblich vom Alter ab: je älter die Person, desto schwächer die Immunantwort.

Durch die verwendeten Analysemethoden (siehe [Teil II Kapitel 1.1](#)) war es möglich nachzuweisen, ob die Antikörper gegen SARS-CoV-2 durch eine Impfung oder durch eine natürliche Infektion gebildet wurden: Nur bei einer natürlichen Infektion sind neben Antikörpern gegen

das Spikeprotein (S-Antikörper) auch Antikörper gegen das Nukleokapsid (N-Antikörper) des Virus nachweisbar.

Von insgesamt 662 Personen wiesen 356 (53,8 %) N-Antikörper gegen SARS-CoV-2 auf, 638 Personen (96,4 %) wiesen S-Antikörper gegen SARS-CoV-2 auf. Bei 648 Personen (97,9 %) wurden N- und/oder S-Antikörper gegen SARS-CoV-2 festgestellt (Antikörpern durch Impfung und/oder durch eine natürliche Infektion, siehe Tabelle 45).

Tab. 45: Anzahl (Anteil in %) Erwachsenen, mit N- und/oder S- Antikörpern

	N-positiv (durch Infektion)	S-positiv (durch Impfung oder Infektion)	N- und/oder S-positiv (durch Impfung oder Infektion)
N (%)	356 (53,8 %)	638 (96,4 %)	648 (97,9 %)

Betrachtet man im Folgenden die Gesamtzahl der Teilnehmenden (n=662) in den verschiedenen Antikörperkategorien (SARS-CoV-2-S-Antikörper und SARS-CoV-2-N-Antikörper) stratifiziert nach Alter und PFOA-Gehalt, ist Folgendes festzustellen (siehe Tabelle 46):

Tab. 46: Erwachsene N- und S-Antikörper-stratifiziert nach Alter und PFOA-Gehalt 2022 (n=662)

Alter	PFOA (µg/L) (HBM-II- Wert)	SARS-CoV-2-S-Antikörper (COI)		SARS-CoV-2-N-Antikörper (U/mL)		N (Gesamt)
		< 0,8 negativ	≥ 0,8 positiv durch Impfung/ natürl. Infektion	< 1 negativ	≥ 1 positiv durch natürl. Infektion	
18-40	< 10	2 (2,3 %)	85 (97,7 %)	22 (25,3 %)	65 (74,7 %)	87
	≥ 10	0 (0 %)	26 (100 %)	4 (15,4 %)	22 (84,6 %)	26
40-60	< 10	7 (3,8 %)	178 (96,2 %)	80 (43,2 %)	105 (56,8 %)	185
	≥ 10	6 (5,0 %)	115 (95,0 %)	50 (41,3 %)	71 (58,7 %)	121
≥ 60	< 10	5 (5,5 %)	86 (94,5 %)	61 (67,0 %)	30 (33,0 %)	91
	≥ 10	4 (2,6 %)	148 (97,4 %)	89 (58,6 %)	63 (41,4 %)	152
N (Gesamt)		24	638	306	356	

Bei 638 von 662 Personen waren S-Antikörper gegen SARS-CoV-2 über alle Altersgruppen hinweg unabhängig vom PFOA-Gehalt im Blut nachweisbar.

Bei 356 von 662 Personen waren N-Antikörper gegen SARS-CoV-2 über alle Altersgruppen hinweg nachweisbar. Der prozentuale Anteil der Personen mit positiven N-Antikörperspiegeln

war unabhängig vom PFOA-Gehalt bei den beiden jüngeren Altersgruppen höher als in der Gruppe der über 60-Jährigen.

Diese Ergebnisse zeigten, dass die SARS-CoV-2-Antikörperkonzentration im Blut mit steigendem Alter sank. Unterschiede bei der Höhe der Antikörperspiegel zwischen Teilnehmenden mit PFOA-Gehalten unter und über dem HBM-II-Wert wurden nicht festgestellt.

Bei den Betrachtungen zu SARS-CoV-2 zeigte sich bei nahezu allen Teilnehmenden grundsätzlich ein hoher S-Antikörperspiegel. Hierbei dürfte die Höhe des Antikörperspiegels im Wesentlichen mit der zeitlichen Nähe zwischen Blutentnahme und COVID-19-Impfung bzw. SARS-CoV-2-Infektion stehen. Ein Zusammenhang zwischen der Höhe der PFOA-Gehalte im Blut und der Immunantwort ist daher nicht erkennbar.

2.2.4 Immunglobuline: ein aktuelles Forschungsfeld

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Analysen der SARS-CoV-2-S-Antikörper und den SARS-CoV-2-N-Antikörper wurde eine IgG-Subklassenanalyse am Virologischen Institut des Universitätsklinikums Erlangen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden im Rahmen der vorliegenden HBM-Folgeuntersuchung auf ihren Zusammenhang mit dem im Fragebogen erhobenen Impfstatus untersucht. Neutralisierende Antikörper bestehen hauptsächlich aus IgG, IgA und IgM, wobei IgG die am häufigsten vorkommende und vielseitigste Kategorie von neutralisierenden Antikörpern ist (Chen et al., 2020; Robbiani et al., 2020). IgG besteht aus vier verschiedenen Subklassen, die durch die Struktur ihrer konstanten Regionen definiert sind, darunter IgG1, IgG2, IgG3 und IgG4. Die durch die Impfung induzierten IgG-Subklassen können als wichtige Determinanten der Impfstoffwirksamkeit dienen (Chen et al., 2020).

Mehrere Studien haben gezeigt, dass die Antikörperantwort nach einer dritten Immunisierung im Hinblick auf ihre Neutralisierungskapazität gegen ein breites Spektrum bedenklicher SARS-CoV-2-Varianten besser war als die Antikörperantwort nach der ersten Zweidosisimpfung (Bellusci et al., 2022; Chen et al., 2022; Ruhl et al., 2023).

In der HBM-Folgeuntersuchung war die Zahl der im Fragebogen berichteten Infektionen und Impfungen signifikant mit der Höhe der IgG1- und IgG4-Antikörperspiegel assoziiert. Das Verhältnis von IgG4/IgG1 war signifikant mit der Anzahl der berichteten Impfungen, jedoch nicht mit der Anzahl der berichteten Infektionen verbunden. Ähnlich wie in anderen Studien hatten die meisten Erwachsenen in unserer Studie nach der dritten Impfung hohe oder sehr hohe IgG4-Antikörperspiegel (Buhre et al., 2022; Irrgang et al., 2023).

Aktuelle Studien untersuchen gegenwärtig den Grundmechanismus und die Rolle, die ein hoher IgG4-Spiegel neben dem schützenden Mechanismus bzw. der Verhinderung einer Immunüberreaktion spielen kann (Irrgang et al., 2023; Pillai, 2023; Uversky et al., 2023; Wang et al., 2023). Dies verdeutlicht die Notwendigkeit weiterer Studien und Untersuchungen zu den langfristigen Auswirkungen dieser Reaktion des Immunsystems auf die wiederholte Impfung oder Infektion mit SARS-CoV-2.

2.3 Ergebnisse für die Gruppe der Kinder und Jugendlichen

2.3.1 Diphtherie

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Antikörper-Analysen für die Gruppe der Kinder und Jugendlichen hinsichtlich der Ausprägung des Immunschutzes gegen Diphtherie dargestellt. Im Fragebogen des LGL (Impfdaten wurden während der Untersuchung mit dem Impfpass verglichen) gaben die Eltern der Kinder und Jugendlichen aus dem Landkreis Altötting an, dass 45 (95,7 %) von 47 Kindern und Jugendlichen jemals gegen Diphtherie geimpft worden seien. Nur zwei Kinder und Jugendliche (4,3 %) hatten keine Diphtherie-Impfung erhalten und wurden deshalb nicht in die Analyse eingeschlossen.

Mit Blick auf die Wirkung des Immunschutzes entsprechend der drei Antikörper-Kategorien der WHO für Diphtherie (siehe Tabelle 35) wurde festgestellt, dass 30 Kinder und Jugendliche (66,7 %) einen vollständigen Immunschutz aufwiesen. Die Anzahl der Kinder und Jugendliche, die keinen verlässlichen Immunschutz vorweisen konnte, lag bei 15 (33,3 %). Keines der geimpften 45 Kinder und Jugendlichen verfügte über keinen nachweisbaren Immunschutz ($\leq 0,01$ IU/mL) (siehe Tabelle 47).

Tab. 47: Übersicht über die für die Antikörper-Kategorien berücksichtigte Untersuchungsgruppe für Kinder und Jugendliche (n=45)

Diphtherie-Antikörper (IU/mL)	N=45
≤ 0,01: kein Immunschutz	0 (0 %)
0,01-0,09: kein verlässlicher Immunschutz	15 (33,3 %)
≥ 0,1: vollständiger Immunschutz	30 (66,7 %)

Der prozentuale Anteil der Kinder und Jugendlichen mit einem vollständigen Diphtherie-Immunschutz wuchs mit steigendem Alter, unabhängig von der Höhe des PFOA-Gehalts im Blut (siehe Tabelle 48).

Tab. 48: Anzahl (Anteil in %) an Kindern und Jugendlichen in den verschiedenen Diphtherie-Antikörper-Kategorien nach Alter und PFOA-Gehalt 2022

Alter	PFOA (µg/L) (HBM-II-Wert)	Diphtherie-Antikörper (IU/mL)			N (Gesamt)
		≤ 0,01 kein Immunschutz	0,01-0,09 kein verlässlicher Immunschutz	≥ 0,1 vollständiger Immunschutz	
< 9	< 10	0 (0 %)	9 (52,9 %)	8 (47,1 %)	17
	≥ 10	0 (0 %)	1 (20,0 %)	4 (80,0 %)	5
≥ 9	< 10	0 (0 %)	4 (18,2 %)	18 (81,8 %)	22
	≥ 10	0 (0 %)	1 (100 %)	0 (0 %)	1

Ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Diphtherie-Antikörper und den PFOA-Gehalten im Blut war nicht festzustellen. Allerdings sollte bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden, dass die Untersuchungsgruppe relativ klein war.

2.3.2 Tetanus

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Antikörper-Analysen für die Gruppe der Kinder und Jugendlichen unter 18 Jahren hinsichtlich der Ausprägung des Immunschutzes gegen Tetanus dargestellt.

Basierend auf den Impfpasdaten und laut Angaben der Eltern im Fragebogen, hatten 45 (95,7 %) von 47 Kindern und Jugendlichen aus dem Landkreis Altötting jemals eine Tetanus-Impfung erhalten und zwei Teilnehmende (4,3 %) nicht.

Im Folgenden werden die zwei ungeimpften Kinder und Jugendlichen, wie auch bei der Diphtherie-Antikörper-Analyse, aufgrund ihrer fehlenden Impfung nicht in die Analyse eingeschlossen.

Bei der Antikörper-Blutuntersuchung wurde bei 45 Kindern und Jugendlichen festgestellt, dass 27 Kinder und Jugendliche (60,0 %) einen ausreichenden Immunschutz hatten, bei zwölf Kindern und Jugendlichen (26,7 %) ein Immunschutz vorhanden war und sechs Kinder und Jugendliche (13,3 %) über keinen Immunschutz ($< 0,1$ IU/mL) gegen Tetanus verfügten. Somit waren über die Hälfte der Kinder und Jugendlichen ausreichend gegen Tetanus geschützt (siehe Tabelle 49).

Tab. 49: Übersicht über die für die Antikörper-Kategorien berücksichtigte Untersuchungsgruppe der Kinder und Jugendlichen (n=45)

Tetanus-Antikörper (IU/mL)	N=45
$< 0,1$: kein Immunschutz	6 (13,3 %)
0,1-0,5: vorhandener Immunschutz	12 (26,7 %)
$> 0,5$: ausreichender Immunschutz	27 (60,0 %)

Aus Tabelle 50 wird ersichtlich, dass mit zunehmendem Alter mehr Kinder und Jugendliche eine höhere Immunität gegen Tetanus aufwiesen und zwar, unabhängig davon, ob der PFOA-Gehalt im Blut über oder unter dem HBM-II-Wert lag. Die Höhe der Tetanus-Antikörper war unabhängig vom PFOA-Gehalt im Blut.

Tab. 50: Anzahl (Anteil in %) an Kindern und Jugendlichen in den verschiedenen Tetanus-Antikörper-Kategorien nach Alter und PFOA-Gehalt 2022

Alter	PFOA ($\mu\text{g/L}$) (HBM-II-Wert)	Tetanus-Antikörper (IU/mL)			N (Gesamt)
		< 0,1 kein Immunschutz	0,1-0,5 vorhandener Immunschutz	$\geq 0,5$ ausreichender Immunschutz	
< 9	< 10	4 (23,5 %)	4 (23,5 %)	9 (52,9 %)	17
	≥ 10	1 (20,0 %)	3 (60,0 %)	1 (20,0 %)	5
≥ 9	< 10	1 (4,5 %)	5 (22,7 %)	16 (72,7 %)	22
	≥ 10	0 (0 %)	0 (0 %)	1 (100 %)	1

2.3.3 SARS-CoV-2

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Antikörper-Analysen für die Gruppe der Kinder und Jugendlichen unter 18 Jahren hinsichtlich der Ausprägung des Immunschutzes gegen SARS-CoV-2 dargestellt.

Von den 47 Kindern und Jugendlichen hatten laut Angaben der Eltern im Fragebogen (Impfangaben wurden während der Untersuchung mit dem Impfpass verglichen) 15 Kinder und Jugendliche (31,9 %), eine SARS-CoV-2-Impfung erhalten. Bei 32 Kinder und Jugendlichen (68,1 %) gaben die Eltern an, dass ihre Kinder nicht geimpft worden seien (siehe Tabelle 51). Somit war der Großteil der Kinder und Jugendlichen nicht gegen SARS-CoV-2 geimpft.

Tab. 51: Anzahl (Anteil in %) an Kindern und Jugendlichen, entsprechend ihrem SARS-CoV-2- Impfstatus (Angaben entsprechend Fragebogen und Impfpassdaten)

Impfung gegen SARS-CoV-2	N (%)
ja	15 (31,9 %)
nein	32 (68,1 %)
fehlend	0 (0,0 %)

Des Weiteren hatten nach Angaben im Fragebogen und Impfpass neun von 15 geimpften Kindern und Jugendlichen (60,0 %) trotz Impfung eine Infektion durchgemacht und sechs Kinder und Jugendliche (40,0 %) nicht. Von den 32 nicht geimpften Kindern und Jugendlichen hatten

16 Kinder und Jugendliche (50,0 %) wiederum eine Infektion durchgemacht und 16 Kinder und Jugendliche (50,0 %) nicht (siehe Tabelle 52).

Tab. 52: Anzahl (Anteil in %) an Kindern und Jugendlichen nach SARS-CoV-2-Impfstatus, die eine SARS-CoV-2-Infektion hatten (Angaben entsprechend Fragebogen und Impfpassdaten)

SARS-CoV-2-Impfung	SARS-CoV-2-Infektion		Gesamt
	ja	nein	
ja	9 (60,0 %)	6 (40,0 %)	15
nein	16 (50,0 %)	16 (50,0 %)	32
Gesamt	25	22	47

Bei Betrachtung aller in die Studie eingeschlossenen Teilnehmenden (unter Einbezug der beiden gegen Diphtherie und Tetanus nicht geimpften Kindern und Jugendlichen) ist zu sehen, dass bei 39 Kindern und Jugendlichen (83,0 %) N- und/ oder S-Antikörper gegen SARS-CoV-2 nachgewiesen werden konnten (siehe Tabelle 53). Folglich hatten die meisten Kinder und Jugendliche eine natürliche Infektion durchlaufen oder waren geimpft.

Tab. 53: Anzahl (Anteil in %) an Kindern und Jugendlichen, mit N- und/oder S-Antikörpern

	N-positiv	S-positiv	N- und / oder S-positiv
N (%)	33 (70,2 %)	33 (70,2 %)	39 (83,0 %)

Mit Blick auf die Gesamtzahl der teilnehmenden Kinder und Jugendlichen (n=47) in den verschiedenen Antikörper-Kategorien (SARS-CoV-2-S-Antikörper und SARS-CoV-2-N-Antikörper), ist hinsichtlich des Alters und des PFOA-Gehaltes Folgendes festzustellen (siehe Tabelle 54):

Bei 33 von 47 Kindern und Jugendlichen sind S-Antikörper gegen SARS-CoV-2 nachweisbar. Dies betrifft 14 Kinder in der Altersgruppe der unter Neunjährigen und 19 Kinder und Jugendliche in der Altersgruppe der über Neunjährigen. Bei 14 von 47 Teilnehmenden sind N-Antikörper gegen SARS-CoV-2 nachweisbar, davon acht Kinder unter neun Jahren und sechs Kinder und Jugendliche über neun Jahre.

In der Gruppe der unter Neunjährigen, die N-Antikörper haben (n=15), befinden sich 11 Kinder mit einem PFOA-Wert unter 10 µg/L und vier Kinder mit einem PFOA-Wert über 10 µg/L. In

der Altersgruppe der über Neunjährigen mit N-Antikörpern befinden sich 17 Kinder und Jugendliche mit einem PFOA-Gehalt unter 10 µg/L und ein*e Teilnehmende*r mit einem PFOA-Gehalt über 10 µg/L.

Ein Zusammenhang zwischen der Höhe der SARS-CoV-2-Antikörper und den PFOA-Gehalten im Blut war nicht festzustellen. Allerdings sollte bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden, dass die Untersuchungsgruppe relativ klein war.

Tab. 54: Kinder und Jugendliche N- und S-Antikörper-stratifiziert nach Alter und PFOA-Gehalt 2022 (n=47)

Alter	PFOA (µg/L) (HBM-II- Wert)	SARS-CoV-2-S-Antikörper (COI)		SARS-CoV-2-N-Antikörper (U/mL)		N Gesamt
		< 0,8 negativ	≥ 0,8 positiv durch Impfung/ natürl. Infektion	< 1 negativ	≥ 1 positiv durch natürl. Infektion	
< 9	< 10	6 (35,3 %)	11 (64,7 %)	6 (35,3 %)	11 (64,7 %)	17
	≥ 10	3 (50,0 %)	3 (50,0 %)	2 (33,3 %)	4 (66,7 %)	6
≥ 9	< 10	5 (21,7 %)	18 (78,3 %)	6 (26,1 %)	17 (73,9 %)	23
	≥ 10	0 (0 %)	1 (100 %)	0 (0 %)	1 (100 %)	1
N (Gesamt)		14	33	14	33	

3. Bewertung der Ergebnisse

Insgesamt zeigten die Fragebogenangaben bzw. Impfpassdaten der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer aus dem Landkreis Altötting eine höhere Diphtherie- bzw. Tetanus Impfquote (67,3 % bzw. 70,2 %) im Vergleich zu den Daten des Robert Koch-Instituts. So lag im deutschlandweiten Vergleich die Diphtherie-Impfung in den letzten zehn Jahren laut den Daten des Robert Koch-Instituts bei 53,4 % und in den westlichen Bundesländern bei 50,0 % (Rieck et al., 2022). Für Tetanus lagen die Impfquoten bei 54,4% (deutschlandweit) bzw. 51,2% (westliche Bundesländer).

Zudem zeigten die Antikörper-Analysen, dass ein ausreichender Immunschutz bei 91,9 % der untersuchten Personen für Tetanus vorlag. Dieser konnte jedoch nur bei 48,1% der Personen hinsichtlich Diphtherie nachgewiesen werden. Die STIKO empfiehlt in Bezug auf Tetanus und Diphtherie neben der Grundimmunisierung auch regelmäßige Auffrischungsimpfungen im Erwachsenenalter. Die Untersuchungsteilnehmerinnen und -teilnehmer sind bereits durch ein Befundschreiben darüber informiert worden, ob im Einzelfall nach Rücksprache mit dem Hausarzt, eine Auffrischungsimpfung empfohlen wird.

Bei den Betrachtungen zu SARS-CoV-2 zeigte sich bei nahezu allen Teilnehmenden ein hoher S-Antikörperspiegel. Hierbei dürfte die Höhe des Antikörperspiegels im Wesentlichen mit der zeitlichen Nähe zwischen Blutentnahme und COVID-19-Impfung bzw. SARS-CoV-2-Infektion stehen.

Die Ausprägung des Immunschutzes in Bezug auf Diphtherie und Tetanus zeigte keinen Zusammenhang mit den PFOA-Gehalten im Blut. Hingegen sank der Diphtherie-Immunschutz mit steigendem Alter. Diese Resultate stimmen mit Ergebnissen aus Studien zur Diphtherie- und Tetanus Immunität überein (di Giovine et al., 2013; Edmunds et al., 2000; McQuillan et al., 2002), die ebenfalls von einer Abnahme der Leistungsfähigkeit des Immunsystems mit zunehmendem Alter berichten. Bei der Höhe der SARS-CoV-2-Antikörperspiegel zwischen Teilnehmenden mit PFOA-Gehalten unter oder über dem HBM-II-Wert wurden hingegen keine signifikanten Unterschiede festgestellt; ein Zusammenhang zwischen der Höhe der PFOA-Gehalte im Blut und Auswirkungen auf die Höhe der SARS-CoV-2-Antikörperspiegel ist nicht erkennbar.

Bei den Kindern unter neun Jahren, die in die Analyse einbezogen wurden, d. h. bei etwa der Hälfte der teilnehmenden Kinder im Jahr 2022, wurden möglicherweise noch nicht alle empfohlenen Impfungen durchgeführt, so dass der Antikörperstatus gegen Diphtherie und Tetanus noch nicht vollständig entwickelt war.

Bei der gesamten Gruppe der Kinder und Jugendlichen zeigten die Ergebnisse der Diphtherie-Antikörper-Analyse, dass ein Großteil der Teilnehmenden (66,7 %) einen vollständiger Immunschutz vorweisen konnte. Der Prozentsatz der Kinder und Jugendlichen mit nachweisbaren SARS-CoV-2-S- oder -N-Antikörpern war im Vergleich zu den Erwachsenen niedriger (83,0 % im Vergleich zu 97,9 %).

Es zeigte sich, dass die Höhe der Diphtherie-Antikörper nicht vom PFOA-Gehalt im Blut abhängig war. Mit Blick auf die Tetanus-Antikörper zeigten die Ergebnisse, dass mit zunehmendem Alter mehr Kinder eine höhere Immunität gegen Tetanus aufwiesen, unabhängig davon, ob sie den HBM-II-Wert für PFOA überschritten oder nicht. Folglich war die Höhe der Tetanus-Antikörper nicht vom PFOA-Gehalt im Blut abhängig. Dennoch sollten die Ergebnisse dieser Studie angesichts der geringen Anzahl der Teilnehmenden unter 18 Jahren vorsichtig interpretiert werden.

Die Höhe der SARS-CoV-2-Antikörper wurde nicht durch den PFOA-Gehalt im Blut beeinflusst. Die Ergebnisse der Gruppe der Kinder und Jugendlichen sollten auch hier mit Vorsicht interpretiert werden, da es in jeder Untergruppe nur eine kleine Anzahl von Teilnehmern unter 18 Jahren gab.

Die Höhe der Antikörperspiegel wurde nicht nur in Bezug auf die PFOA-Werte aus dem Jahr 2022, sondern auch in Bezug auf die PFOA-Werte aus dem Jahr 2018 analysiert. Dies war von Interesse, da im Jahr 2018 die PFOA-Werte noch deutlich höher waren als im Jahr 2022, nach Ablauf einer Halbwertszeit. Hier zeigte sich kein Zusammenhang der PFOA-Gehalte aus dem Jahr 2018 mit der Höhe der Antikörperspiegel für Diphtherie, Tetanus und SARS-CoV-2 aus dem Jahr 2022.

Teil III: Ergebnisse der Auswertungen zu COVID-19-assoziierten Impfdurchbrüchen im Landkreis Altötting (IfSG-Daten)

1. Daten und Methoden

Als Datengrundlage für die Analyse der COVID-19-assoziierten Impfdurchbrüche dienten alle durch einen positiven PCR-Test bestätigten COVID-19-Fälle, die zwischen dem 01.01.2021 und 31.12.2022 in einem der 96 bayerischen Land- oder Stadtkreise gemäß Infektionsschutzgesetz (IfSG) gemeldet wurden. Diese Falldaten wurden dem LGL pseudonymisiert übermittelt und enthielten Informationen zum Alter und Geschlecht des Meldefalls, dem Meldedatum, den verabreichten Impfungen (mit den Teilangaben geimpft ja/nein, Anzahl der Impfungen und verwendete Impfstoffe) und den früher durchgemachten COVID-19-Infektionen.

Als Impfdurchbruch zählten diejenigen COVID-19-Fälle, für die eine klinische Symptomatik (d.h. akute respiratorische Symptome, Geschmacksverlust, Herzrhythmusstörungen, etc.) und eine Grundimmunisierung und/oder Boosterung vorlagen. Meldefälle mit widersprüchlichen Angaben zum Immunisierungsstatus (Anzahl der Impfungen unbekannt, obwohl gleichzeitig die Angabe vorlag, dass die Person geimpft worden war) wurden ebenfalls als Impfdurchbruch bewertet.

COVID-19 erkrankte Personen galten als grundimmunisiert, wenn in den übermittelten Falldaten mindestens eine Impfdose und eine vorangegangene Infektion angegeben war, unabhängig davon ob die Infektion oder die Impfung zuerst erfolgte oder wenn mindestens zwei Impfdosen angegeben waren und das Datum der letzten Impfung mindestens 14 Tage vor dem Erkrankungsbeginn, Diagnosedatum bzw. Meldedatum lag. COVID-19 erkrankte Personen galten als geboostert wenn in den übermittelten Falldaten mindestens drei Impfdosen angegeben waren oder mindestens zwei Impfdosen und eine vorangegangene Infektion. Die zeitlichen Abstände zwischen früheren Infektionen und erster Impfung bzw. zwischen erster Infektion und Reinfektion wurden nicht berücksichtigt.

Im Rahmen des Impfmonitorings des Robert Koch-Instituts (RKI) wurde die Anzahl der verabreichten Impfdosen pro Impfstelle und nicht Anzahl der pro Wohnort geimpften Person erhoben. Daher war die Berechnung von bevölkerungsspezifischen Impfquoten für den Landkreis Altötting nicht möglich. Stattdessen wurde der Anteil der Impfdurchbrüche unter den Meldefällen zwischen dem Landkreis Altötting und dem restlichen Bayern verglichen. Dieser Vergleich

schloss jegliche Impfdurchbrüche, auch jene mit klinischer Symptomatik bzw. mit Hospitalisierung (Krankenhauseinweisung), mit ein.

Neben den deskriptiven Analysen wurde mit Hilfe statistischer Modelle die Wahrscheinlichkeit berechnet, ob im Landkreis Altötting mehr Impfdurchbrüche auftraten als im Rest Bayerns. Hierfür wurden auf der Basis logistischer Regressionsmodelle Risikoschätzer (sog. Odds Ratio) mit den dazugehörigen 95%-Konfidenzintervallen berechnet.

Die Datenauswertung wurde für die Jahre 2021 und 2022 separat durchgeführt um den Wechsel der dominierenden Virusvariante zu berücksichtigen. Die Auswertung erfolgte dabei mit und ohne Adjustierung für Alter und Geschlecht des individuellen Meldedatums sowie für die Impfquote (bezogen auf Grundimmunisierung) und 7-Tage-Inzidenz zum Meldedatum des COVID-19-Falls in Bayern. Die Auswertungen wurden mit dem statistischen Programmpaket R (<https://cran.r-project.org/>) durchgeführt.

2. Ergebnisse

Wie erwähnt beziehen sich die Impfquoten des RKI auf den Ort, an dem die Impfung erfolgte und nicht auf den Wohnort der geimpften Person. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde der Verlauf der COVID-19-Impfquoten im Landkreis Altötting und den angrenzenden Landkreisen mit jenem in den restlichen bayerischen Kreisen verglichen. Hierfür zeigten sich keine wesentlichen Unterschiede (Abb. 3).

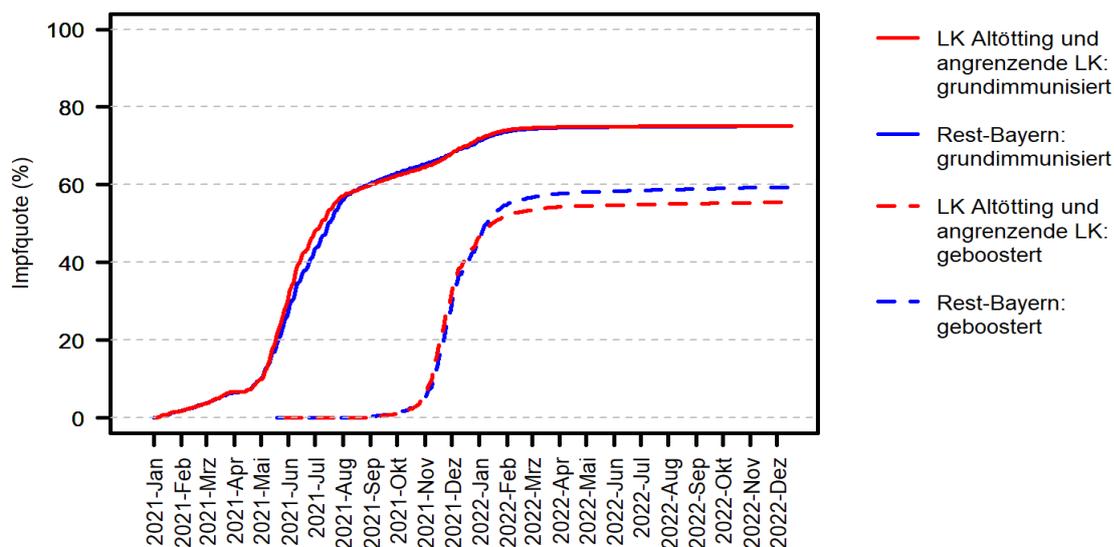


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der Impfquoten im Landkreis Altötting und den angrenzenden Landkreisen (Mühldorf, Traunstein und Rottal/Inn) im Vergleich zum restlichen Bayern (RKI, 2023)

Auch die 7-Tage-Inzidenz der COVID-19-Meldefälle entwickelte sich im Landkreis Altötting sehr ähnlich wie in ganz Bayern, abgesehen von ein paar kurzzeitig etwas ausgeprägteren Spitzen (Abb. 4), die auf lokale Ausbrüche oder auf eine zeitweise etwas bessere Fallerausfassung als im bayerischen Schnitt zurückzuführen sein könnten.

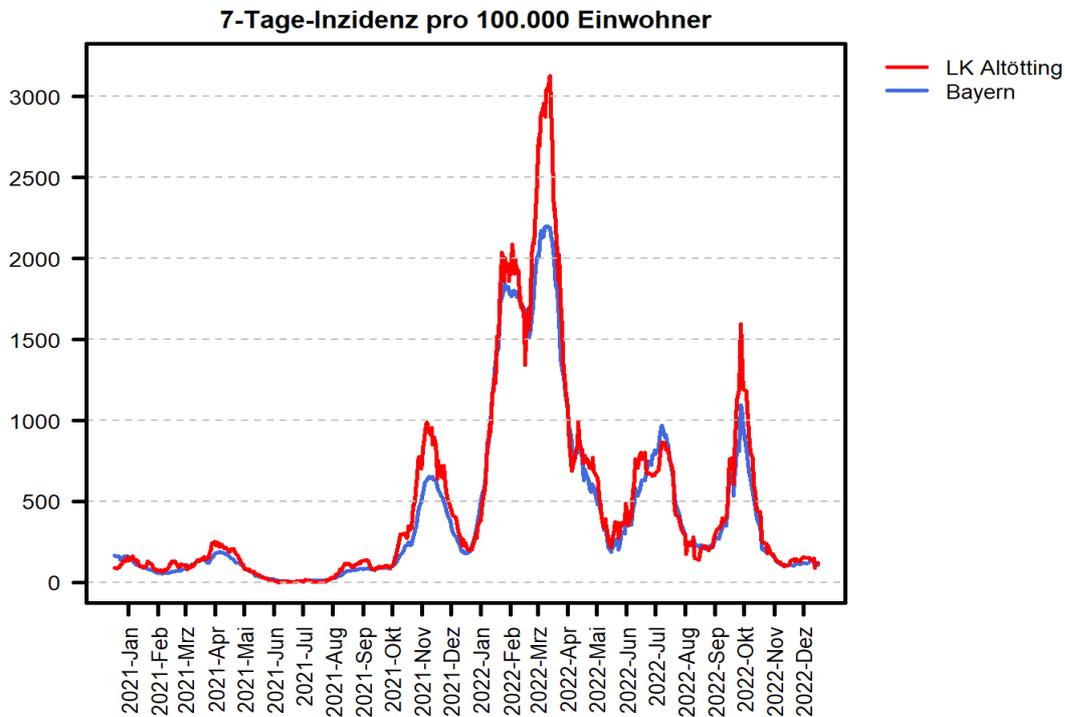


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der 7-Tage-Inzidenz der COVID-19-Meldefälle im Landkreis Altötting im Vergleich zu ganz Bayern (RKI, 2023)

Insgesamt wurden für das Jahr 2021 im Landkreis Altötting 10.748 und im restlichen Bayern 992.281 Meldefälle registriert. Im Jahr 2022 stieg die Anzahl der Meldefälle auf 46.804 im Landkreis Altötting sowie auf 5.120.403 im restlichen Bayern. Sowohl im Landkreis Altötting als auch im restlichen Bayern war etwas mehr als die Hälfte der COVID-19-Meldefälle in den Jahren 2021 und 2022 weiblich und knapp 40% im Alter von 35-59 Jahren, bei einem sehr geringen Anteil fehlender Werte für Geschlecht und Alter (Tabelle 55).

Tab. 55: Deskription der COVID-19-Meldefälle in Bayern in den Jahren 2021 und 2022. Die Prozentangaben stellen Spaltenprozentage dar

	LK Altötting	Rest-Bayern
Gesamt	57.552 (100 %)	6.112.684 (100 %)
Jahr 2021	10.748 (18,7 %)	992.281 (16,2 %)
Jahr 2022	46.804 (81,3 %)	5.120.403 (83,8 %)
Geschlecht weiblich	29.628 (51,5 %)	3.138.445 (51,3 %)
Geschlecht männlich	27.676 (48,1 %)	2.932.029 (48,0 %)
Geschlecht divers	2 (0,0 %)	599 (0,0 %)
Geschlecht unbekannt	246 (0,4 %)	41.611 (0,7 %)
Alter 0-19 Jahre	12.534 (21,8 %)	1.337.216 (21,9 %)
Alter 20-34 Jahre	12.569 (21,8 %)	1.452.577 (23,8 %)
Alter 35-59 Jahre	22.303 (38,8 %)	2.352.009 (38,5 %)
Alter 60-79 Jahre	7.762 (13,5 %)	762.515 (12,5 %)
Alter 80+ Jahre	2.361 (4,1 %)	206.402 (3,4 %)
Alter unbekannt	23 (0,0 %)	1.965 (0,0 %)

Die Vollständigkeit und Qualität der Daten zu COVID-19-Meldefällen können sowohl zeitlich als auch regional variieren, je nach unterschiedlichen Bedingungen wie z. B. vorübergehender Personalknappheit in den örtlichen Gesundheitsämtern. So war im Jahr 2021 für 26,6 % und im Jahr 2022 sogar für 60,8 % der bayerischen Meldefälle unbekannt, ob sie eine COVID-19-Schutzimpfung erhalten hatten oder nicht. Insgesamt gelang im Landkreis Altötting jedoch fast durchweg eine vollständigere Erfassung des Impfstatus als im restlichen Bayern (Abb. 5).

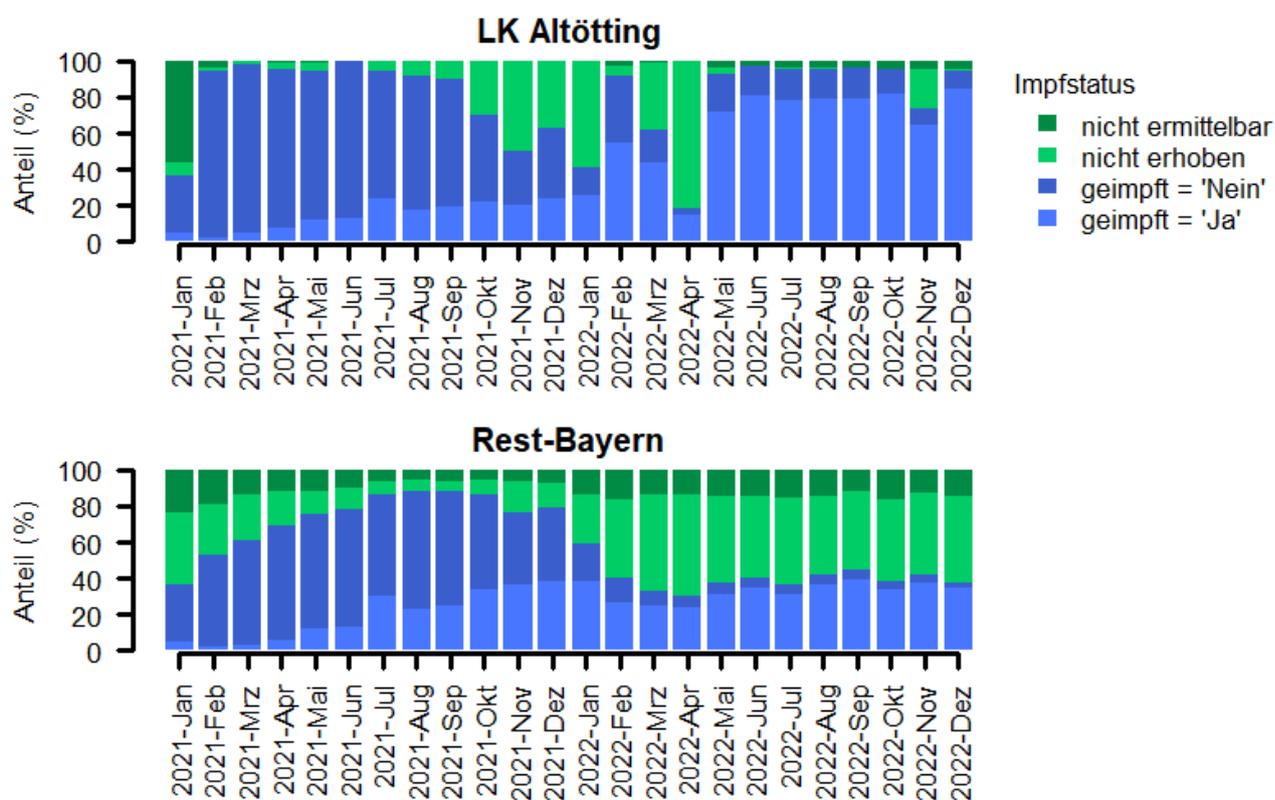


Abb. 5: Angaben zum Impfstatus im Landkreis Altötting und Rest-Bayern im Zeitverlauf

Im Allgemeinen lag der Anteil der Impfdurchbrüche an den COVID-19-Meldefällen im Landkreis Altötting sowohl im Jahr 2021 als auch 2022 etwas niedriger als in Rest-Bayern (Tabelle 56). Ein vergleichbarer Trend ergab sich auch für den vergleichsweise geringen Anteil der Meldefälle mit klinischer Symptomatik bzw. mit Hospitalisierung.

Tab. 56: Anteile der Impfdurchbrüche unter den COVID-19-Meldefällen mit bekanntem Immunisierungsstatus. Die Prozentangaben beziehen sich jeweils auf die Gesamtzahl der Impfdurchbrüche im Landkreis Altötting bzw. in Rest-Bayern im jeweiligen Jahr

Jahr	Definition	Landkreis Altötting	Rest-Bayern
2021	jegliche Impfdurchbrüche	1.406 (19,3 %)	204.876 (28,2 %)
2021	mit klinischer Symptomatik	111 (1,6 %)	24.938 (3,6 %)
2021	mit Hospitalisierung	157 (3,1 %)	18.696 (3,2 %)
2022	jegliche Impfdurchbrüche	23.283 (68,6 %)	1.377.780 (69,7 %)
2022	mit klinischer Symptomatik	2.427 (10,0 %)	188.388 (10,5 %)
2022	mit Hospitalisierung	159 (0,8 %)	13.781 (0,9 %)

Im Jahr 2021 zeigte sich im Landkreis Altötting ein fast um die Hälfte reduziertes Risiko für Impfdurchbrüche im Vergleich zu Rest-Bayern, sowohl ohne als auch mit Berücksichtigung von Faktoren wie Alter, Geschlecht und Meldesoftware. Für das Jahr 2022 ergab sich ebenfalls eine geringere Wahrscheinlichkeit für Impfdurchbrüche im Landkreis Altötting, wenn auch weit weniger ausgeprägt. Bei der Betrachtung der Impfdurchbrüche mit Hospitalisierung konnte ebenfalls weder ohne noch mit Berücksichtigung der genannten Faktoren ein erhöhtes Risiko für den Landkreis Altötting beobachtet werden, allerdings waren diese Zusammenhänge nur im Jahr 2022 und unter Berücksichtigung der genannten Faktoren statistisch bedeutsam.

3. Bewertung der Ergebnisse

Aus den vorliegenden Auswertungen ergibt sich für keinen Zeitpunkt innerhalb der Kalenderjahre 2021 und 2022 eine statistische Evidenz für eine erhöhte Rate an COVID-19-assoziierten Impfdurchbrüchen im Landkreis Altötting im Vergleich zu Rest-Bayern.

Schwer zu erklären scheint jedoch die insbesondere für das Jahr 2021 beobachtete sehr ausgeprägte geringere Wahrscheinlichkeit bzgl. Impfdurchbrüchen im Landkreis Altötting (zumal diese bei Impfdurchbrüchen mit Hospitalisierung eher für 2022 beobachtet wurde). Als möglicher Grund könnte vermutet werden, dass die Dokumentation der Impfungen im Landkreis Altötting – ggf. auch zeitlich variierend – von der Mehrzahl der anderen Kreise Bayerns abwich, wofür der deutlich höhere Anteil als ungeimpft (statt mit unbekanntem Impfstatus) dokumentierter Meldefälle in diesem Zeitraum spricht.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass die PFOA-Belastung im Landkreis Altötting vor 2018 mutmaßlich regional variierte, was in den vorliegenden Auswertungen mangels individueller PFOA-Messungen bzw. genauer Zuordnung der Meldefälle zum (ggf. früheren) Wohnort auf Basis der IfSG-Daten nicht abgebildet werden kann. Des Weiteren befand sich die Trinkwasser-Belastung mit PFOA im Landkreis Altötting im Jahr 2018 bereits flächendeckend unter anerkannten Schwellenwerten und Großteils sogar unter der Nachweisgrenze. Somit lag im Beobachtungszeitraum 2021-2022 nur noch eine langfristig erworbene, aber keine akute PFOA-Belastung im Landkreis Altötting mehr vor.

Weiterhin ist auf die eingeschränkte Datenqualität der IfSG-Daten hinzuweisen. Das primäre Ziel der Datenerhebung war die Infektionsüberwachung, so dass gerade in Zeiten hoher Inzidenzen (wie während der Omikron-Welle) die Erfassung von Kontaktdaten, des Meldedatums oder auch zeitweise der Virusvariante eine höhere Priorität hatten als die Ermittlung weiterer

zugehöriger Informationen, wie insbesondere der Impfhistorie und der klinischen Symptomatik. Für die Angaben zum Impfstatus zeigte sich dementsprechend ein großer und über die Zeit hinweg variierender Anteil fehlender Werte. Zudem spricht der vermutete Mechanismus für das Zustandekommen fehlender Werte zum Impfstatus nicht für ein "systematisches" Fehlen in Bezug auf die Charakteristika der Fälle selbst, das hinsichtlich des Auftretens von Bias problematisch sein könnte. Gleichzeitig ermöglichten aber die IfSG-Daten den Einschluss aller in Bayern nach IfSG gemeldeten COVID-19-Fälle der Jahre 2021 und 2022 und stellte somit die Untersuchung der Impfdurchbrüche auf eine solide Datenbasis. Zudem lagen Individualdaten vor, die eine Berücksichtigung von Alter und Geschlecht der Meldedefälle sowie eine gezielte Betrachtung unterschiedlicher Definitionen von Impfdurchbrüchen erlaubten.

Abkürzungsverzeichnis

ADONA	Perfluoro-4,8-dioxa-3H-nonansäure
AiBM	Analysen in biologischem Material
BAT-Wert	Biologischer Arbeitsstoff-Toleranzwert
BG	Bestimmungsgrenze
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BGW	Biologischer Grenzwert
COVID-19	Coronavirus Disease 19
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
FACS	Fluorescence-activated cell sorting
HBM	Human-Biomonitoring
HBM-II-Wert	Interventionswert, dessen Überschreitung Maßnahmen erforderlich macht, da gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht auszuschließen sind.
HBM-I-Wert	Vorsorge- bzw. Zielwert für die lebenslange PFOA-Exposition für die Allgemeinbevölkerung jeder Altersgruppe
HMB-K	Kommission Human-Biomonitoring am Umweltbundesamt
IfSG	Infektionsschutzgesetz
IgG	Immunglobulin G
IgG1- IgG4	IgG-Subklassen
LGL	Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
mRNA	Boten Ribonukleinsäure
N-Antikörper	Nukleokapsid-Protein
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PFC	Perfluorierte Chemikalien
PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure
PFDA	Perfluordecansäure
PFDoA	Perfluordodecansäure
PFHxA	Perfluorhexansäure
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure
PFNA	Perfluornonansäure
PFOA	Perfluorooctansäure
PFOS	Perfluorooctansulfonsäure
S-Antikörper	Spike-Protein; Immunantwort durch die Impfung

SARS-CoV-2	Schweres Akutes Respiratorisches Syndrom Coronavirus 2
STIKO	Ständigen Impfkommision am Robert Koch-Institut
StMGP	Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit und Pflege
TWI	Tolerable Weekly Intake
UBA	Umweltbundesamt
WHO	Weltgesundheitsorganisation

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Flussdiagramm der Teilnehmenden an der HBM-Untersuchung 2018 und 2022	19
Abb. 2: Flussdiagramm der Teilnehmenden an der Antikörper-Analyse 2022	50
Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der Impfquoten im Landkreis Altötting und den angrenzenden Landkreisen (Mühldorf, Traunstein und Rottal/Inn) im Vergleich zum restlichen Bayern (RKI, 2023)	67
Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der 7-Tage-Inzidenz der COVID-19-Meldefälle im Landkreis Altötting im Vergleich zu ganz Bayern (RKI, 2023)	68
Abb. 5: Angaben zum Impfstatus im Landkreis Altötting und Rest-Bayern im Zeitverlauf	70

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Anzahl der Teilnehmenden der Allgemeinbevölkerung (n=559) nach Geschlecht je Trinkwasserversorgungsgebiet.....	20
Tab. 2: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem gesamten Untersuchungsgebiet in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=559 (ohne die Frauen im gebärfähigen Alter (n=117) und ohne Personen mit Angabe einer beruflichen Exposition (n=51)).....	21
Tab. 3: Allgemeinbevölkerung (n=559), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA.....	22
Tab. 4: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Kinder unter 12 Jahren aus dem gesamten Untersuchungsgebiet in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=30).....	23
Tab. 5: Vergleich der Erhebungszeiträume 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA bei Kindern unter 12 Jahren (n=30)....	23
Tab. 6: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter (15-49 Jahre) aus dem gesamten Untersuchungsgebiet in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=117).....	24
Tab. 7: Frauen im gebärfähigen Alter (n=117), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA.....	25
Tab. 8: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Altötting in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=55).....	26
Tab. 9: Allgemeinbevölkerung des Trinkwasserversorgungsgebiets Altötting (n=55), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA.....	26
Tab. 10: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Altötting in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=11).....	27
Tab. 11: Frauen im gebärfähigen Alter im Trinkwasserversorgungsgebiet Altötting (n=11), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA.....	28

Tab. 12: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Burgkirchen in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=71).....	28
Tab. 13: Allgemeinbevölkerung des Trinkwasserversorgungsgebiets Burgkirchen (n=71), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I bzw. -II-Werte für PFOA	29
Tab. 14: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Burgkirchen in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=11).....	30
Tab. 15: Frauen im gebärfähigen Alter im Trinkwasserversorgungsgebiet Burgkirchen (n=11), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I bzw. -II-Werte für PFOA	31
Tab. 16: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Emmerting in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=148).....	31
Tab. 17: Allgemeinbevölkerung des Trinkwasserversorgungsgebiets Emmerting (n=148), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I bzw. -II-Werte für PFOA.....	32
Tab. 18: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Emmerting in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=22).....	33
Tab. 19: Frauen im gebärfähigen Alter im Trinkwasserversorgungsgebiet Emmerting (n=22), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I bzw. -II-Werte für PFOA	34
Tab. 20: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Kastl und Markt Tüßling in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=154).....	34
Tab. 21: Allgemeinbevölkerung des Trinkwasserversorgungsgebiets Kastl und Markt Tüßling (n=154), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I bzw. -II-Werte für PFOA.....	35

Tab. 22: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Kastl und Markt Tüßling in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=41).....	36
Tab. 23: Frauen im gebärfähigen Alter im Trinkwasserversorgungsgebiet Kastl und Markt Tüßling (n=41), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA.....	37
Tab. 24: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Neuötting und Winhöring in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=60).....	38
Tab. 25: Allgemeinbevölkerung des Trinkwasserversorgungsgebiets Neuötting und Winhöring (n=60), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA.....	38
Tab. 26: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Neuötting und Winhöring in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=14).....	39
Tab. 27: Frauen im gebärfähigen Alter im Trinkwasserversorgungsgebiet Neuötting und Winhöring (n=14), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA.....	40
Tab. 28: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Allgemeinbevölkerung aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet der Inn-Salzach-Gruppe in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=71).....	41
Tab. 29: Allgemeinbevölkerung des Trinkwasserversorgungsgebiets der Inn-Salzach-Gruppe (n=71), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA.....	41
Tab. 30: Perfluorierte Substanzen in den Serumproben der Frauen im gebärfähigen Alter aus dem Trinkwasserversorgungsgebiet Marktl, Haiming, Stammham und Alzgern (Inn-Salzach-Gruppe) in den Erhebungsjahren 2018 und 2022 in µg/L (n=18).....	42
Tab. 31: Frauen im gebärfähigen Alter im Trinkwasserversorgungsgebiet Marktl, Haiming, Stammham und Alzgern (Inn-Salzach-Gruppe) (n=18), Vergleich der Erhebungsjahre 2018 und 2022 in Bezug auf die Unter- und Überschreitung der HBM-I- bzw. -II-Werte für PFOA43	

Tab. 32: Personenanzahl, Mediane und prozentuale Rückgänge der PFOA-Belastung in der Gruppe der Allgemeinbevölkerung der einzelnen Trinkwasserversorgungsgebiete sowie für das gesamte Untersuchungsgebiet in den Erhebungsjahren 2018 und 2022.....	43
Tab. 33: Personenanzahl, Mediane und prozentuale Rückgänge der PFOA-Belastung in der Gruppe der Frauen im gebärfähigen Alter der einzelnen Trinkwasserversorgungsgebiete sowie für das gesamte Untersuchungsgebiet in den Erhebungsjahren 2018 und 2022	44
Tab. 34: Zusammenstellung der Antikörper-Testparameter und Ziel-Antigene	48
Tab. 35: Referenzbereiche der Weltgesundheitsorganisation für Diphtherie- und Tetanus-Antikörperkonzentrationen im Blut.....	49
Tab. 36: Interpretation der Grenzwerte für N- und S-SARS-CoV-2 Werte im Blutplasma:....	49
Tab. 37: Anzahl (Anteil in %) an Erwachsenen nach Geschlecht in den verschiedenen Altersgruppen	51
Tab. 38: Anzahl (Anteil in %) an Kindern und Jugendlichen nach Geschlecht in den verschiedenen Altersgruppen	51
Tab. 39: Übersicht über die für die Antikörper-Kategorien berücksichtigte Untersuchungsgruppe der Erwachsenen (n=645)	52
Tab. 40: Anzahl (Anteil in %) der Erwachsenen in den verschiedenen Diphtherie-Antikörper-Kategorien nach Alter und PFOA-Gehalt 2022	53
Tab. 41: Übersicht über die für die Antikörper-Kategorien berücksichtigte Untersuchungsgruppe der Erwachsenen (n=651)	54
Tab. 42: Anzahl (Anteil in %) der Erwachsenen in den verschiedenen Tetanus-Antikörper-Kategorien nach Alter und PFOA-Gehalt 2022 (n=651)	54
Tab. 43: SARS-CoV-2-Impfstatus der Erwachsenen (Angaben entsprechend Fragebogen und Impfpasdaten).....	55
Tab. 44: Anzahl (Anteil in %) der Erwachsenen nach SARS-CoV-2-Impfstatus, die eine SARS-CoV-2-Infektion hatten (Angaben entsprechend Fragebogen und Impfpasdaten).....	55
Tab. 45: Anzahl (Anteil in %) Erwachsenen, mit N- und/oder S- Antikörpern	56
Tab. 46: Erwachsene N- und S-Antikörper-stratifiziert nach Alter und PFOA-Gehalt 2022 (n=662).....	56

Tab. 47: Übersicht über die für die Antikörper-Kategorien berücksichtigte Untersuchungsgruppe für Kinder und Jugendliche (n=45)	59
Tab. 48: Anzahl (Anteil in %) an Kindern und Jugendlichen in den verschiedenen Diphtherie-Antikörper-Kategorien nach Alter und PFOA-Gehalt 2022	59
Tab. 49: Übersicht über die für die Antikörper-Kategorien berücksichtigte Untersuchungsgruppe der Kinder und Jugendlichen (n=45)	60
Tab. 50: Anzahl (Anteil in %) an Kindern und Jugendlichen in den verschiedenen Tetanus-Antikörper-Kategorien nach Alter und PFOA-Gehalt 2022	61
Tab. 51: Anzahl (Anteil in %) an Kindern und Jugendlichen, entsprechend ihrem SARS-CoV-2- Impfstatus (Angaben entsprechend Fragebogen und Impfpasdaten)	61
Tab. 52: Anzahl (Anteil in %) an Kindern und Jugendlichen nach SARS-CoV-2-Impfstatus, die eine SARS-CoV-2-Infektion hatten (Angaben entsprechend Fragebogen und Impfpasdaten)	62
Tab. 53: Anzahl (Anteil in %) an Kindern und Jugendlichen, mit N- und/oder S-Antikörpern	62
Tab. 54: Kinder und Jugendliche N- und S-Antikörper-stratifiziert nach Alter und PFOA-Gehalt 2022 (n=47)	63
Tab. 55: Deskription der COVID-19-Meldefälle in Bayern in den Jahren 2021 und 2022. Die Prozentangaben stellen Spaltenprozentage dar	69
Tab. 56: Anteile der Impfdurchbrüche unter den COVID-19-Meldefällen mit bekanntem Immunisierungsstatus. Die Prozentangaben beziehen sich jeweils auf die Gesamtzahl der Impfdurchbrüche im LK Altötting bzw. in Rest-Bayern im jeweiligen Jahr	70

Literaturverzeichnis

- Abraham, K., Mielke, H., Fromme, H., Völkel, W., Menzel, J., Peiser, M., Zepp, F., Willich, S. N., & Weikert, C. (2020). Internal exposure to perfluoroalkyl substances (PFASs) and biological markers in 101 healthy 1-year-old children: associations between levels of perfluorooctanoic acid (PFOA) and vaccine response. *Arch Toxicol*, *94*(6), 2131-2147. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02715-4>
- Bailey, J. M., Wang, L., McDonald, J. M., Gray, J. S., Petrie, J. G., Martin, E. T., Savitz, D. A., Karrer, T. A., Fisher, K. A., Geiger, M. J., & Wasilevich, E. A. (2023). Immune response to COVID-19 vaccination in a population with a history of elevated exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) through drinking water. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*. <https://doi.org/10.1038/s41370-023-00564-8>
- Bellusci, L., Grubbs, G., Zahra, F. T., Forgacs, D., Golding, H., Ross, T. M., & Khurana, S. (2022). Antibody affinity and cross-variant neutralization of SARS-CoV-2 Omicron BA.1, BA.2 and BA.3 following third mRNA vaccination. *Nat Commun*, *13*(1), 4617. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32298-w>
- Buhre, J. S., Pongracz, T., Künsting, I., Lixenfeld, A. S., Wang, W., Nouta, J., Lehrian, S., Schmelter, F., Lunding, H. B., Dühring, L., Kern, C., Petry, J., Martin, E. L., Föh, B., Steinhaus, M., von Kopylow, V., Sina, C., Graf, T., Rahmüller, J., . . . Ehlers, M. (2022). mRNA vaccines against SARS-CoV-2 induce comparably low long-term IgG Fc galactosylation and sialylation levels but increasing long-term IgG4 responses compared to an adenovirus-based vaccine. *Front Immunol*, *13*, 1020844. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1020844>
- Chen, W., Zhang, L., Li, J., Bai, S., Wang, Y., Zhang, B., Zheng, Q., Chen, M., Zhao, W., & Wu, J. (2022). The kinetics of IgG subclasses and contributions to neutralizing activity against SARS-CoV-2 wild-type strain and variants in healthy adults immunized with inactivated vaccine. *Immunology*, *167*(2), 221-232. <https://doi.org/10.1111/imm.13531>
- Chen, X., Li, R., Pan, Z., Qian, C., Yang, Y., You, R., Zhao, J., Liu, P., Gao, L., Li, Z., Huang, Q., Xu, L., Tang, J., Tian, Q., Yao, W., Hu, L., Yan, X., Zhou, X., Wu, Y., . . . Ye, L. (2020). Human monoclonal antibodies block the binding of SARS-CoV-2 spike protein to angiotensin converting enzyme 2 receptor. *Cell Mol Immunol*, *17*(6), 647-649. <https://doi.org/10.1038/s41423-020-0426-7>
- Deklaration von Helsinki - Ethische Grundsätze für die medizinische Forschung am Menschen.* (Deutsche Fassung Oktober 2013). Retrieved 20.10.23 from https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/old-files/downloads/pdf-Ordner/International/Deklaration_von_Helsinki_2013_20190905.pdf
- di Giovine, P., Kafatos, G., Nardone, A., Andrews, N., Ölander, R. M., Alfaroni, G., Broughton, K., Cohen, D., Kriz, B., Mikova, I., O'Flanagan, D., Schneider, F., Selga, I., Valinsky, L., Velicko, I., Karacs, I., Pebody, R., & von Hunolstein, C. (2013). Comparative seroepidemiology of diphtheria in six European countries and Israel. *Epidemiol Infect*, *141*(1), 132-142. <https://doi.org/10.1017/s0950268812000210>
- Edmunds, W. J., Pebody, R. G., Aggerback, H., Baron, S., Berbers, G., Conyn-van Spaendonck, M. A., Hallander, H. O., Olander, R., Maple, P. A., Melker, H. E., Olin, P., Fievet-Groynne, F., Rota, C., Salmaso, S., Tischer, A., von-Hunolstein, C., & Miller, E.

- (2000). The sero-epidemiology of diphtheria in Western Europe. ESEN Project. European Sero-Epidemiology Network. *Epidemiol Infect*, 125(1), 113-125. <https://doi.org/10.1017/s0950268899004161>
- Food and Drug Administration (FDA) (2018). Bioanalytical Method Validation. Guidance for Industry. <https://www.fda.gov/media/70858/download>
- HBM-K, K. H.-B. (2018). Ableitung von HBM-I-Werten für Perfluoroktansäure (PFOA) und Perfluoroktansulfon-säure (PFOS) – Stellungnahme der Kommission „Humanbiomonitoring“ des Umwelt-bundesamts. *Bundesgesundheitsbl*, 1, 471-487.
- Irrgang, P., Gerling, J., Kocher, K., Lapuente, D., Steininger, P., Habenicht, K., Wytopil, M., Beileke, S., Schäfer, S., Zhong, J., Ssebyatika, G., Krey, T., Falcone, V., Schüle, C., Peter, A. S., Nganou-Makamdop, K., Hengel, H., Held, J., Bogdan, C., . . . Tenbusch, M. (2023). Class switch toward noninflammatory, spike-specific IgG4 antibodies after repeated SARS-CoV-2 mRNA vaccination. *Sci Immunol*, 8(79), eade2798. <https://doi.org/10.1126/sciimmunol.ade2798>
- Leng, G., & Willmersdorf, K. (2006). Perfluoroktän-/Perfluorbutansulfonsäure (PFOS/PFBs) [Biomonitoring Methods in German language, 2006]. In *The MAK-Collection for Occupational Health and Safety* (pp. 1-19). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/3527600418.bi176323d0017>
- LGL, B. L. f. G. u. L. (2023). *Messwerte des LGL zu per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen in Trinkwasser, Landkreis Altötting, 2016 - 2022*. Retrieved 04.10.2023 from https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/warengruppen/wc_59_trinkwasser/ue_2016_trinkwasser_pft_messwerte.htm
- McQuillan, G. M., Kruszon-Moran, D., Deforest, A., Chu, S. Y., & Wharton, M. (2002). Serologic immunity to diphtheria and tetanus in the United States. *Ann Intern Med*, 136(9), 660-666. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-136-9-200205070-00008>
- Pillai, S. (2023). Is it bad, is it good, or is IgG4 just misunderstood? *Sci Immunol*, 8(81), eadg7327. <https://doi.org/10.1126/sciimmunol.adg7327>
- Rieck, T., Steffen, A., Feig, M., & Siedler, A. (2022). Impfquoten bei Erwachsenen in Deutschland – Aktuelles aus der KV-Impfsurveillance. *Epid Bull*, 49, 3-23. <https://doi.org/10.25646/10855>
- RKI. (2023). *Digitales Impfquotenmonitoring des Robert-Koch-Instituts zur COVID-19-Impfung* https://github.com/robert-koch-institut/COVID-19-Impfungen_in_Deutschland
- Robbiani, D. F., Gaebler, C., Muecksch, F., Lorenzi, J. C. C., Wang, Z., Cho, A., Agudelo, M., Barnes, C. O., Gazumyan, A., Finkin, S., Hägglöf, T., Oliveira, T. Y., Viant, C., Hurley, A., Hoffmann, H. H., Millard, K. G., Kost, R. G., Cipolla, M., Gordon, K., . . . Nussenzweig, M. C. (2020). Convergent antibody responses to SARS-CoV-2 in convalescent individuals. *Nature*, 584(7821), 437-442. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2456-9>
- Ruhl, L., Kühne, J. F., Beushausen, K., Keil, J., Christoph, S., Sauer, J., & Falk, C. S. (2023). Third SARS-CoV-2 vaccination and breakthrough infections enhance humoral and cellular immunity against variants of concern. *Front Immunol*, 14, 1120010. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1120010>

- STIKO. (2023). *Impfkalender - Empfehlungen der Ständigen Impfkommission (STIKO)* https://www.rki.de/DE/Content/Kommissionen/STIKO/Empfehlungen/Aktuelles/Impfkalender.pdf?__blob=publicationFile
- Umweltbundesamt. (2017). *EU verbietet PFOA. Verfügbar unter*. Retrieved 14.03.2023 from <https://www.umweltbundesamt.de/themen/eu-verbietet-pfoa#:~:text=In%20der%20EU%20ist%20ab,giftig%20und%20sch%C3%A4dlich%20die%20Fortpflanzung>
- Umweltbundesamt. (2020, 01.03.2020). *Human-Biomonitoring von perfluorierten Chemikalien – Erarbeitung eines Vorschlags zur Ableitung je eines HBMII- Wertes für PFOA und PFOS.* Retrieved 14.03.2020 from <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/human-biomonitoring-von-perfluorierten-chemikalien>
- Uversky, V. N., Redwan, E. M., Makis, W., & Rubio-Casillas, A. (2023). IgG4 Antibodies Induced by Repeated Vaccination May Generate Immune Tolerance to the SARS-CoV-2 Spike Protein. *Vaccines (Basel)*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/vaccines11050991>
- Wang, W., Li, Y., & Feng, H. (2023). The Significance of Serum IgG4/IgG and IgG4/IgG1 Ratio in the Diagnosis Value of IgG4-Related Diseases. *Discov Med*, 35(177), 476-482. <https://doi.org/10.24976/Discov.Med.202335177.48>