



Human-Biomonitoring von perfluorierten Substanzen in Teilen des Landkreises Altötting

Abschlussbericht

Bearbeiter im LGL:

H. Fromme, E. Roscher, W. Völkel, S. Dietrich, V. Fuchs, M. Wöckner,
L. Cursino Hron, L. Fembacher, W. Schober

Bayerisches Landesamt für
Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL)
Sachgebiet Chemikaliensicherheit und Toxikologie
Pfarrstraße 3, 80538 München

Im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Gesundheit und Pflege

Juli 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Hintergrund	6
2.1	Allgemeines	6
2.2	Kurze Darstellung der Bewertungsgrundlagen	9
3	Zielsetzung der Untersuchung	11
4	Methoden	12
4.1	Untersuchungsgebiet	12
4.2	Durchführung der Human-Biomonitorings	14
4.3	Untersuchungsparameter	15
4.4	Analytik	16
5	Ergebnisse	18
5.1	Charakterisierung der Untersuchungsgruppe	18
5.2	Blutergebnisse für das gesamte Untersuchungsgebiet	20
5.3	Ergebnisse für Altötting	25
5.4	Ergebnisse für Burgkirchen	26
5.5	Ergebnisse für Emmerting	27
5.6	Ergebnisse für Kastl und Tüßling	28
5.7	Ergebnisse für Neuötting und Winhöring	29
5.8	Ergebnisse für Marktl, Haiming, Stammham und Alzger (Inn-Salzach-Gruppe)	30
5.9	Ergebnisse der nicht für die allgemeine Auswertung berücksichtigten Personengruppen	31
6	Vergleich der internen Belastung in den Untersuchungsgebieten mit der Trinkwasserbelastung	33
6.1	Emmerting	33
6.2	Burgkirchen	34
6.3	Kastl und Markt Tüßling	35
6.4	Altötting, Neuötting und Winhöring	37
6.5	Marktl, Haiming, Stammham und Alzger	38
7	Vergleich der internen Belastung im Untersuchungsgebiet mit der Hintergrundbelastung in Bayern	40
8	Gesundheitliche Bewertung	42
9	Literatur	43

1 Zusammenfassung

In einem Industriebetrieb in Gendorf wurde PFOA zur Herstellung von Fluorpolymeren eingesetzt, wodurch es in Teilen des Landkreises Altötting zu einer großflächigen Kontamination der Umwelt und einer Belastung der Menschen gekommen ist.

Auf Veranlassung des Bayerischen Staatsministeriums für Gesundheit und Pflege und Wunsch des Landkreises Altötting haben das Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit und das Gesundheitsamt Altötting die aktuelle interne Belastungssituation der Bevölkerung (sogenanntes Human-Biomonitoring - HBM) mit perfluorierten Substanzen – insbesondere PFOA und ADONA - in dem betroffenen Bereich untersucht.

Mit Ausnahme von PFOA bewegten sich die Blutkonzentrationen im Bereich einer normal belasteten Vergleichsgruppe aus München. Bei ADONA lagen fast alle Ergebnisse unter oder im Bereich der Bestimmungsgrenze.

Die PFOA-Gehalte im Blut waren fast durchgehend höher als in der Vergleichsgruppe, lediglich bei sieben Personen wurde der HBM-I-Wert von 2 µg/l unterschritten. Der Median der 906 Personen, die eine berufliche Exposition verneint hatten, betrug 20 µg/l.

Der HBM-I-Wert stellt einen lebenslangen Vorsorgewert und Zielwert für die Allgemeinbevölkerung jeder Altersgruppe dar. Er definiert keine Schwelle zur gesundheitlichen Gefährdung. Eine Gefährdungsschwelle wird durch den sog. HBM-II-Wert beschrieben. Für PFOA konnte jedoch auf Basis der bestehenden wissenschaftlichen Datenlage bislang kein HBM-II-Wert festgelegt werden.

Für Beschäftigte, die direkt mit PFOA umgehen, liegt ein rechtlich bindender Grenzwert von 5000 µg/l vor. 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.

In den einzelnen Untersuchungsbereichen ergaben sich folgende Mediane: Altötting 7,4 µg/l, Burgkirchen 22,2 µg/l, Emmerting 28,2 µg/l, Kastl/Tüßling 22,3 µg/l, Neuötting/Winhöring 17,1 µg/l sowie in der Inn-Salzach-Gruppe (Marktl/Haiming/Stammham/Alzger) 11,9 µg/l. Vergleiche mit den Daten der Trinkwasserversorgung als Hauptaufnahmequelle für PFOA

zeigen, dass die vergleichsweise geringe Belastung von Personen aus Altötting wahrscheinlich auf die in der Vergangenheit nur geringen Trinkwasserkonzentrationen zurückzuführen sind. Personen im Bereich der Inn-Salzach-Gruppe weisen im Mittel ebenfalls niedrigere Belastungen auf, was auf die Trinkwasserfilterung seit 2010 zurückzuführen ist. In Emmerting, Burgkirchen und Neuötting liegen die Minderungsmaßnahmen noch zu kurz zurück, um einen Rückgang der Blutwerte zu erkennen. In Kastl/Tüßling sind entsprechende Maßnahmen in Umsetzung.

Bewertung:

Obwohl im Untersuchungsgebiet des Landkreises Altötting eine zum Teil deutliche Überschreitung des Vorsorgewertes (HBM-I-Wert) für PFOA im Blut gemessen werden konnte, besteht auf Grund der derzeitigen Belastung keine konkrete gesundheitliche Gefährdung.

Das Ergebnis der HBM-Untersuchung zeigt ferner, dass die bereits ergriffenen Sanierungsmaßnahmen wirksam sind und zu einer Absenkung des PFOA-Wertes im Blut geführt haben.

Gleichwohl sind weitere Anstrengungen erforderlich, um in allen Versorgungsgebieten den Vorsorge- und Zielbereich von 2 µg/l zu erreichen. Dies wird nur durch die Versorgung mit gänzlich unbelastetem oder mit aufbereitetem Trinkwasser nachhaltig möglich sein und auf Grund der langen Halbwertszeit einige Jahre in Anspruch nehmen. Individuelle Maßnahmen zur Beschleunigung dieses Prozesses sind nicht bekannt, aber auch nicht erforderlich.

2 Hintergrund

2.1 Allgemeines

Unter dem Begriff perfluorierte Kohlenwasserstoffe werden organische Verbindungen zusammengefasst, bei denen alle Wasserstoffatome am Kohlenstoffgerüst durch Fluoratome ersetzt sind. Hauptvertreter sind die Perfluoroctansäure (PFOA) und die Perfluoroctansulfonsäure (PFOS). Bei diesen perfluorierten Tensiden handelt es sich um Substanzen mit amphiphilem Charakter. Während die fluorierte Kohlenstoffkette lipophil ist, besitzt die Kopfgruppe hydrophile Eigenschaften. So sind diese Verbindungen wie andere Tenside in der Lage, die Oberflächenspannung einer Flüssigkeit oder die Grenzflächenspannung zwischen zwei Phasen herabzusetzen. Aufgrund ihrer thermischen und chemischen Stabilität, ihrer Beständigkeit gegenüber UV-Strahlung und Verwitterung sowie der schmutz-, farb-, fett-, öl-, und wasserabweisenden Eigenschaften fanden diese Verbindungen in einer Vielzahl von Industrie- und Konsumprodukten Anwendung, aber auch großtechnisch als Prozessierungshilfe (Emulgatoren) in der Herstellung von Fluorpolymeren. In der folgenden Abbildung sind die chemischen Strukturen der PFOA und PFOS dargestellt.

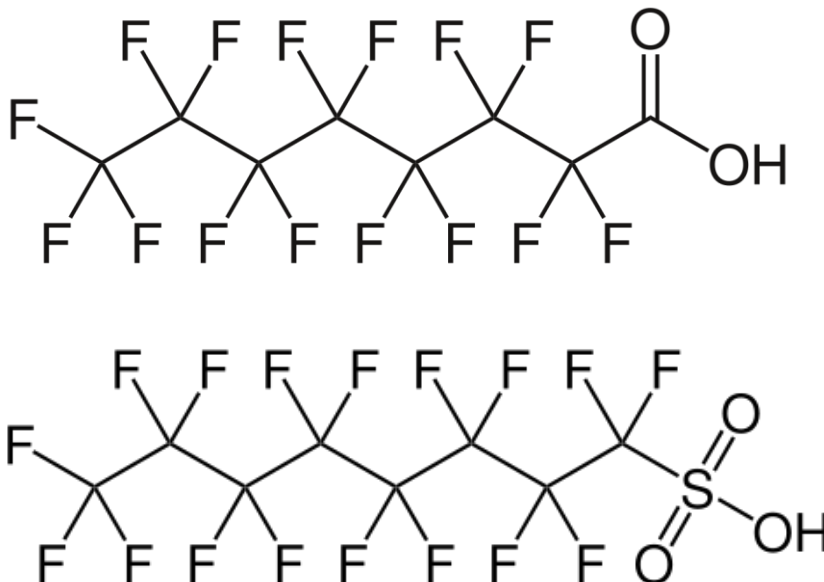


Abb. 1: Strukturformel der Perfluoroctansäure (PFOA) (oben) und der Perfluoroctansulfonsäure (PFOS) (unten)

In der wissenschaftlichen Literatur liegen vielfältig Studien zur internen Belastung des Blutes sowohl der allgemeinen Bevölkerung als auch von am Arbeitsplatz exponierten Personen vor (Zusammenfassungen in z.B. Andersen et al. 2008, Fromme et al. 2009, CDC 2018).

Zahlreiche Versuche an Ratten, Mäusen und Primaten deuten für PFOA sehr einheitlich dosisabhängig bei vergleichsweise hoher Exposition insbesondere auf ein leberschädigendes Potential sowie ein verringertes Körpergewicht und eine vermehrte Mortalität als wesentliche Wirkungen hin (Stahl et al. 2011). Fütterungsversuche mit Ratten kamen zu dem Ergebnis, dass PFOA ein kanzerogenes Potential besitzt, wobei ein vermehrtes Auftreten von Leber-, Hoden- und Pankreastumoren bei den männlichen Tieren beobachtet wurde. Als Mechanismus vermutet man keinen direkt tumorauslösenden, sondern einen das Tumorwachstum unterstützenden Effekt durch Aktivierung des PPAR α (Peroxisome Proliferator Activated Receptor α), die bei männlichen Ratten und Mäusen beiderlei Geschlechts zu beobachten war, jedoch nicht bei weiblichen Ratten oder Primaten. Der Mensch ist bezogen auf diesen Mechanismus als unempfindlicher einzustufen. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass PFOA keine Erbgutveränderungen (Mutationen, Chromosomenaberrationen und Zelltransformationen) auslöst, so dass von einem nicht-gentoxischen Mechanismus der Tumorentstehung auszugehen ist.

Die umfangreichste epidemiologische Untersuchung zu den gesundheitlichen Wirkungen von PFOA in der allgemeinen Bevölkerung (ca. 70.000 Probanden) wurde von 2005 bis 2013 im Tal des Ohio-Flusses (West Virginia, USA) im Umfeld eines Chemiebetriebs durchgeführt (z.B. Emmett et al. 2006, Frisbee et al. 2009, Steenland et al. 2010). Hier bestand eine sehr hohe PFOA-Umweltbelastung, die über das Trinkwasser zu einer erheblichen Belastung der Bevölkerung geführt hat. In der am stärksten belasteten Region im Umfeld der Firma wurden PFOA-Gehalte von 1,5 – 7,2 $\mu\text{g/l}$ im Trinkwasser gefunden. Die Forscher halten Wirkungen auf den Blutdruck während der Schwangerschaft, auf den Fettstoffwechsel (Anstieg des Cholesterins), auf immunologische Parameter (Impfantikörper) und auf die Schilddrüsenhormone für wahrscheinlich. Für nicht wahrscheinlich wurde ein Zusammenhang mit Fehlbildungen, vorzeitiger Geburt, Geburtsgewicht, Fehl- und Totgeburten, Infektionserkrankungen (einschließlich Influenza) bei Kindern und Erwachsenen, koronarer Herzerkrankung, Hypertonie, Diabetes und Atemwegserkrankungen gehalten. Da aber grundsätzlich vielfältige Ursachen für z. B. Veränderungen des Fettstoffwechsels und der Schilddrüsenhormone in Frage kommen können, ist das Ausmaß des PFOA-Einflusses im Einzelfall nicht abschätzbar.

Die internationale Krebsforschungsagentur der Weltgesundheitsorganisation (IARC) hat PFOA 2017 bei begrenzter Evidenz aus dem Tierversuch aufgrund von epidemiologischen Daten als „möglicherweise krebserregend“ (Gruppe 2B) eingestuft (IARC 2017). In der oben angesprochenen amerikanischen Studie wurde auch das Auftreten von Krebserkrankungen in der Bevölkerung untersucht (Barry et al. 2013). Die Autoren der Studie kommen zu dem Schluss, dass zwischen dem Neuauftreten von Hoden- und Nierentumoren und der Höhe der PFOA-Exposition ein wahrscheinlicher Zusammenhang besteht. Bisher wird davon ausgegangen, dass für die mögliche Krebsentstehung eine Wirkschwelle angenommen werden kann (keine erbgutschädigende Wirkung), über deren Höhe jedoch noch nichts bekannt ist. Das Zentrum für Krebsfrüherkennung und Krebsregistrierung am Bayerischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit hat für die Gemeinden Burgkirchen a. d. Alz, Emmerling, Haiming, Kastl, Marktl, Neuötting, Stammham, Tüßling sowie Winhöring eine Auswertung der Krebsdaten für den 12-Jahres-Zeitraum 2003 bis 2014 durchgeführt (LGL 2017). Zusammenfassend betrachtet ergeben sich bei der vorliegenden Belastung des Trinkwassers mit PFOA in Altötting derzeit keine Hinweise auf eine relevante Erhöhung des Risikos einer Neuerkrankung an Hoden- bzw. Nierenkrebs gegenüber dem bayerischen Durchschnittswert für die Bevölkerung in den Gemeinden des Untersuchungsgebietes.

PFOA wird aus dem Trinkwasser 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 Ausscheidung erfolgt, liegt beim Menschen bei ca. 3 bis 4 Jahren.

In einem Industriebetrieb in Gendorf im Landkreis Altötting wurde PFOA in den Jahren 1968 bis 2003 produziert und noch bis 2008 zur Herstellung von Fluorpolymeren eingesetzt. Im Rahmen dieser Anwendung ist es zu einer großflächigen Kontamination der Umwelt und einer Belastung der Menschen gekommen. Als wesentliche Quelle für die interne PFOA-Belastung der Bevölkerung in diesem Bereich gilt kontaminiertes Trinkwasser.

Seit dem Jahr 2008 wird statt PFOA ein Ersatzprodukt verwendet. Es handelt sich um das sogenannte ADONA (Ammoniumsalz der Perfluoro-4,8-dioxa-3H-nonansäure; siehe Abbildung 2), das von der Firma Dyneon in ihrem Werk im Landkreis Altötting seither als Hilfsstoff im Herstellungsprozess eingesetzt wird. Um zu klären, ob eine Exposition der Bevölkerung

gegenüber ADONA besteht, hat das LGL 2016 auch Blutproben aus der Region Altötting untersucht und in einem Sachstandsbericht veröffentlicht (LGL 2016).

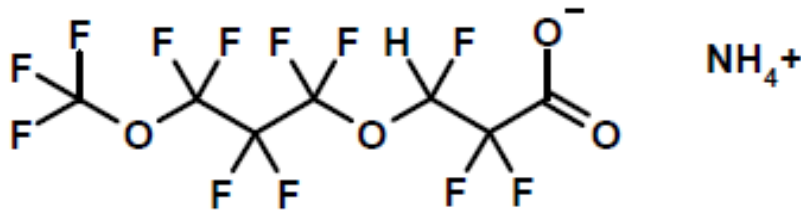


Abb. 2: Strukturformel des Ammoniumsalzes der Perfluoro-4,8-dioxa-3H-nonansäure (ADONA)

2.2 Kurze Darstellung der Bewertungsgrundlagen

Auf der Grundlage einer toxikologischen Risikobewertung leitet die Kommission Humanbiomonitoring beim Umweltbundesamt sogenannte Human-Biomonitoring-Werte (HBM-I-Wert und HBM-II-Wert) ab (HBM-K 2014). Die Ableitung stützt sich üblicherweise auf Studien, die einen Zusammenhang zwischen der Konzentration eines Stoffes (oder seiner Metaboliten) in menschlichen Körperflüssigkeiten und dem Auftreten adverser (gesundheitlich nachteiliger) Wirkungen nachweisen. In der Regel werden HBM-Werte für alle Bevölkerungsgruppen und eine angenommene lebenslange Belastung in der entsprechenden Größenordnung abgeleitet.

Im Rahmen einer Neubewertung von PFOS und PFOA durch die Kommission Humanbiomonitoring wurde für beide Substanzen aus einem möglichen Bereich von 1 bis 10 µg/l (PFOA) bzw. 1 bis 15 µg/l (PFOS) ein HBM-I-Wert festgelegt (PFOA 2 µg/l, PFOS 5 µg/l) (HBM-K 2018). Dabei kennzeichnet der HBM-I-Wert 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. Erst ab dem HBM-II-Wert schlägt die Kommission vor, Betroffenen eine umweltmedizinische Beratung anzubieten, da bei dessen Überschreitung der Sicherheitsabstand zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen verringert ist. Bei solchen Konzentrationen muss es aber auch nicht zwingend zu einer Beeinträchtigung der Gesundheit kommen. HBM-II-Werte sind für PFOA und PFOS nicht abgeleitet worden, da eine wissenschaftliche

Einschätzung über die Höhe aufgrund der unklaren Datenlage bisher nicht getroffen werden konnte.

In Deutschland liegt lediglich für Beschäftigte, die mit PFOA umgehen, ein rechtlich fixierter Grenzwert von 5000 µg/l vor. 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.

3 Zielsetzung der Untersuchung

Auf Wunsch des Bayerischen Staatsministeriums für Gesundheit und Pflege und des Landkreises Altötting sollten das Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit und das Gesundheitsamt Altötting die aktuelle interne Belastungssituation der Bevölkerung (sogenanntes Human-Biomonitoring) mit perfluorierten Substanzen – insbesondere PFOA und ADONA – in vorrangig von der Trinkwasserkontamination betroffenen Teilbereichen des Landkreises untersuchen. Vor diesem Hintergrund sollten Personen zur Teilnahme gewonnen werden, bei denen in unterschiedlicher Höhe und Dauer eine PFOA-Belastung über das Trinkwasser zu erwarten war. Ggf. sollen die Teilnehmer an der ersten Untersuchung zu einer späteren Folgeuntersuchung eingeladen werden. Wesentliches Ziel der Studie war es, neben der Feststellung der aktuellen Belastungssituation der Bevölkerung, den Erfolg der bereits eingeleiteten Maßnahmen zur Verringerung der Exposition der Bevölkerung zu überprüfen. Auf dieser Basis sollen dann ggf. weitere Maßnahmen eingeleitet werden.

4 Methoden

4.1 Untersuchungsgebiet

Die HBM-Untersuchung wurde in den folgenden sechs Untersuchungsbereichen des Landkreises Altötting durchgeführt:

- Altötting (hellrote Markierung in Abbildung 3)
- Burgkirchen a. d. Alz (violett)
- Emmerting (grün)
- Kastl und Markt Tüßling (dunkelrot)
- Neuötting und Winhöring (blau)
- Marktl, Haiming, Stammham und Alzger (schwarz)

Die Auswahl erfolgte nach dem Gesichtspunkt der Trinkwasserversorgung. Es handelt sich um Untersuchungsbereiche, in denen die Bevölkerung in unterschiedlicher Dauer und Höhe einer PFOA-Belastung ausgesetzt war. Die Lage der einzelnen Untersuchungsbereiche im Landkreis Altötting samt der primären Quelle ist in Abbildung 3 dargestellt:

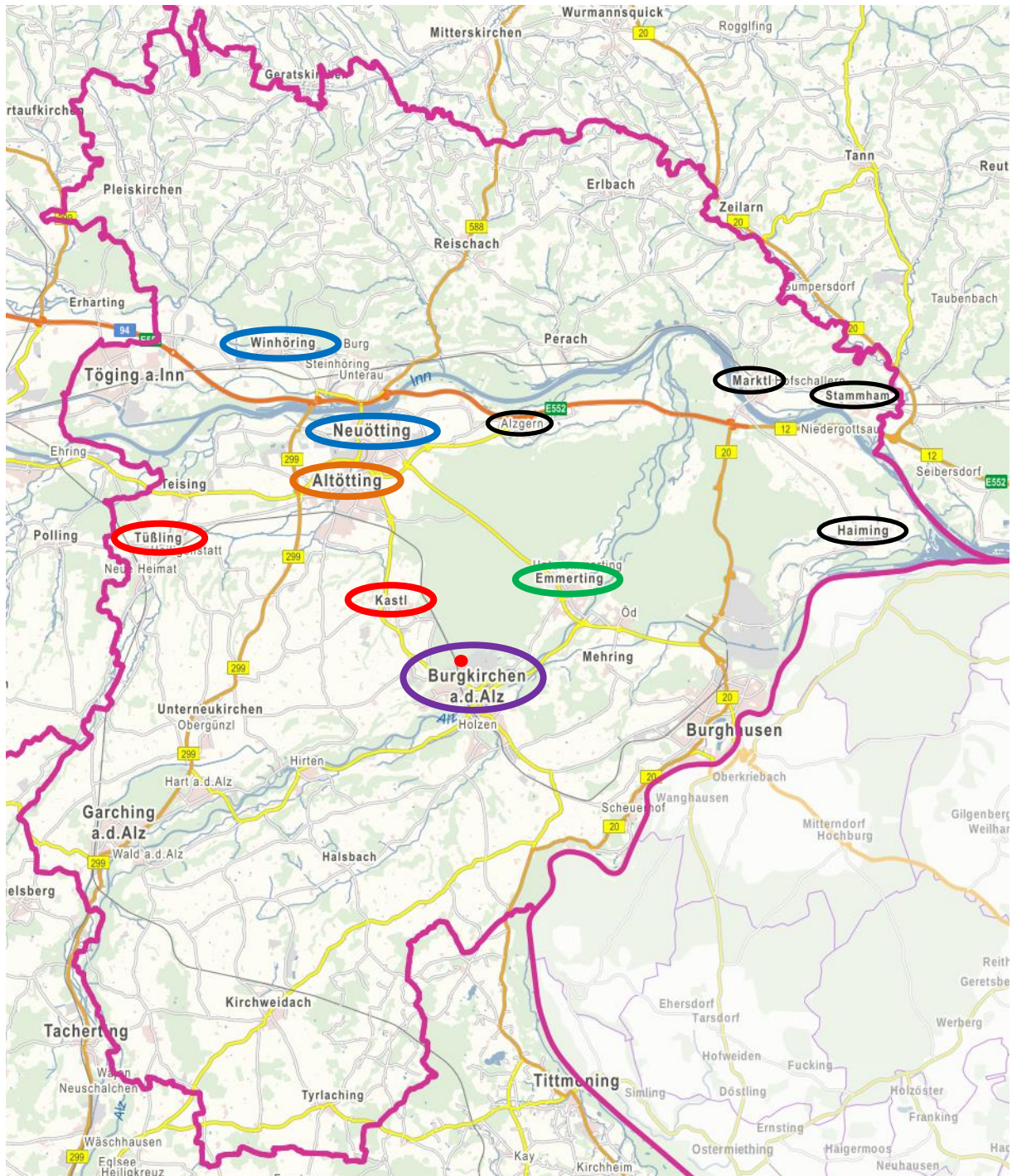


Abb. 3: Die Untersuchungsgebiete im Landkreis Altötting (roter Punkt: industrielle Quelle von PFOA)

4.2 Durchführung der Human-Biomonitorings

Über das Internet und öffentliche Medien wurde der Bevölkerung eine kostenfreie Blutuntersuchung angeboten. Alle Teilnehmer konnten telefonisch mit dem Gesundheitsamt einen Termin zur Blutentnahme absprechen.

Am vereinbarten Untersuchungstag wurden bei jedem Teilnehmer nach Punktion einer Vene je 7,5 ml Blut in 2 Serummonovetten abgenommen, zentrifugiert und das Serum gewonnen. Die Serumröhrchen wurden unter Einhaltung der Kühlkette aufbewahrt bzw. an das LGL geschickt. In einer Untergruppe wurden die Teilnehmer gebeten eine Morgenurinprobe abzugeben. Zu diesem Zweck erhielten diese Personen vorab per Post ein entsprechendes Probenahmegefäß, das sie am Tag der Blutentnahme mitbringen sollten.

Gleichzeitig wurden vom Gesundheitsamt die personenbezogenen Daten der Teilnehmer ermittelt, ein Informationsblatt über die Studie übergeben, die Einverständniserklärung entgegengenommen und gemeinsam mit den Probanden ein Fragebogen (z. B. zu soziodemographisch Daten, zur Arbeitssituation, sonstige Einflussfaktoren) ausgefüllt. Lediglich die Blutproben und die in eine Datei aufgenommenen Daten aus dem Fragebogen wurden in pseudonymisierter Form, das bedeutet nur mit einer eindeutigen Nummer versehen, an das LGL geschickt.

Die Blutentnahmen erfolgten vor Ort zwischen dem 30.1.2018 und dem 20.3.2018 durch Mitarbeiterinnen / Mitarbeiter des Gesundheitsamtes Altötting bzw. der Kreisklinik Altötting-Burghausen. In zwei internen Probeläufen wurden alle Abläufe, insbesondere die Blutentnahme, Probengewinnung und Probenhandhabung bzw. die weitere Verarbeitung getestet und optimiert. Ab dem 21.3.2018 lagen alle 965 Blutproben und 132 Urinproben im LGL vor.

4.3 Untersuchungsparameter

Für die Human-Biomonitoring-Studie im Landkreis Altötting wurden aufgrund der Kenntnisse zur Belastungssituation der primären Quelle und zur Hintergrundbelastung die in Tabelle 1 zusammengestellten Untersuchungsparameter ausgewählt.

Ergebnisse der Urinproben liegen noch nicht vor, da hier erst eine Methodenentwicklung durchgeführt werden muss. Darüber wird zu einem späteren Zeitpunkt berichtet.

Tab. 1: Zielparameter und Bestimmungsgrenzen in den Blutproben

Substanz	Abkürzung	Bestimmungsgrenze (µg/l)
Perfluorooctansäure	PFOA	0,25
Perfluorooctansulfonsäure	PFOS	0,25
Perfluorbutansulfonsäure	PFBS	0,25
Perfluorhexansäure	PFHxA	0,25
Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	0,25
Perfluornonansäure	PFNA	0,25
Perfluordecansäure	PFDA	0,25
Perfluordodecansäure	PFDoA	0,25
Perfluoro-4,8-dioxa-3H-nonansäure	ADONA	0,25

4.4 Analytik

Die Blutproben aus dem Landkreis Altötting wurden im DAkkS-akkreditierten Labor des Bayerischen Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit untersucht. Die Proben wurden bis zur Analyse bei -20°C aufbewahrt. Die chemische Analytik der in der Tabelle 1 gelisteten Verbindungen erfolgte mittels Flüssigchromatographie gekoppelt mit Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS) nach einer modifizierten AibM-Methode (DFG-Arbeitsgruppe Analysen im biologischen Material) aus dem Jahre 2003 (Link: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/3527600418.bi1763231e0010>).

Die Anzahl der Analyten (2 versus 9) und der Einsatz einer sogenannten Säulenschaltung stellen die Hauptmodifikationen dar. Das Labor nimmt als Referenzlabor für PFOA und PFOS halbjährlich an der externen Qualitätsüberprüfung teil, die im Rahmen der AibM-Qualitätssicherung durchgeführt wird. Damit sind die Modifikationen für PFOA und PFOS eindeutig verifiziert.

Die Analytik einer größeren Zahl von Zielparametern (insgesamt jeweils 9 in allen Proben) bei einer großen Anzahl von Proben (n = 965) ist sehr aufwendig, da es sich nicht um eine Routineanalytik handelt. Insgesamt müssen einschließlich der Proben zur Qualitätssicherung (dotierte Proben und Doppelbestimmungen) ca. 2000 Proben untersucht werden. Für alle in der Tabelle genannten Analyten außer PFBS liegen mit stabilen Isotopen markierte interne Standards vor. Die Anwendung dieser internen Standards sichert die eindeutige Zuordnung der Analyten und wird für die Quantifizierung der einzelnen Analyten herangezogen. Im Falle des PFBS wird der interne Standard von PFOS genutzt. Diese internen Standards ermöglichen 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 aufgearbeitet und anfangs auch doppelt ausgewertet, d.h. die automatische Integration der Software wurde für alle Analyten nochmals durch erfahrenes Personal überprüft. Da dies eine Verdoppelung der Auswertezeit bedeutet, wurde nach etwa der Hälfte der Proben nur noch einfach ausgewertet und nur im Falle unklarer Ergebnisse wurde die Zweitprobe noch zusätzlich geprüft. Dies war möglich, da die Schwankungen der Ergebnisse in Doppelbestimmungen bis dato gering waren und man damit keinen Verlust an Datensicherheit hat.

Die Angabe der Bestimmungsgrenze mit 0,25 µg/l Serum kann als konservativ bezeichnet werden, da für manche Analyten eine niedrigere Bestimmungsgrenze möglich wäre. Mit dem Wert von 0,25 µg/l kann aber garantiert werden, dass sowohl der zur Quantifizierung verwendete Massenübergang als auch ein Qualifier-Übergang zur Absicherung eindeutig nachweisbar sind. Mit einem Faktor von ca. 10 zum HBM I-Wert von 2 µg/l für PFOA ist auch eine ausreichend sensitive Bestimmung für alle Analyten möglich.

5 Ergebnisse

Insgesamt wurden von 965 Personen Blutproben abgenommen und untersucht. Zur Charakterisierung der Belastungssituation der allgemeinen, beruflich nicht exponierten Bevölkerung wurden zur weiteren Auswertung nur Personen einbezogen, die ausdrücklich angegeben haben, nicht in einem PFOA-verarbeitenden Betrieb zu arbeiten. Daher verringerte sich die Anzahl der Datensätze zur Charakterisierung der allgemeinen Belastungssituation auf insgesamt 906.

Für Personen, die bei der Frage „Haben Sie jemals in einem Betrieb gearbeitet, der perfluorierte Substanzen (z. B. PFOA) hergestellt oder verarbeitet hat?“ mit „Ja“ geantwortet haben (n = 33) sind die Auswertungen im Kapitel 5.9 getrennt zusammengefasst. Auch die Personen, die keine Angaben zu dieser Frage gemacht haben (n = 26), werden im Kapitel 5.9 behandelt.

Bei allen 965 Blutproben wurde eine vollständige Analytik durchgeführt und alle Personen erhalten einen individuellen Befundbericht vom Gesundheitsamt.

5.1 Charakterisierung der Untersuchungsgruppe

In Abbildung 4 ist die Anzahl der Teilnehmer bezogen auf das Lebensalter zusammengestellt. Insgesamt nahmen 906 Personen ohne berufliche PFOA-Belastung an der HBM-Untersuchung teil, deren Alter zwischen 7 und 85 Jahren lag (Median: 50 Jahre) und die ein Körpergewicht von 22 bis 172 kg (Median: 75 kg) hatten. Von ihnen waren 507 weiblich und 399 männlich. Insgesamt 88 Probanden gaben an aktiv zu rauchen.

Die Teilnehmer verteilen sich wie folgt auf die verschiedenen Untersuchungsbereiche:

Tab. 2: Anzahl der Teilnehmer je Untersuchungsbereich

Ort	Männliche Teilnehmer	Weibliche Teilnehmer	Insgesamt
Kastl und Markt Tüßling	122	154	276
Marktl, Haiming, Stammham und Alzger	57	53	110
Burgkirchen	51	61	112
Emmerting	97	119	216
Neuötting und Winhöring	42	62	104
Altötting	30	58	88

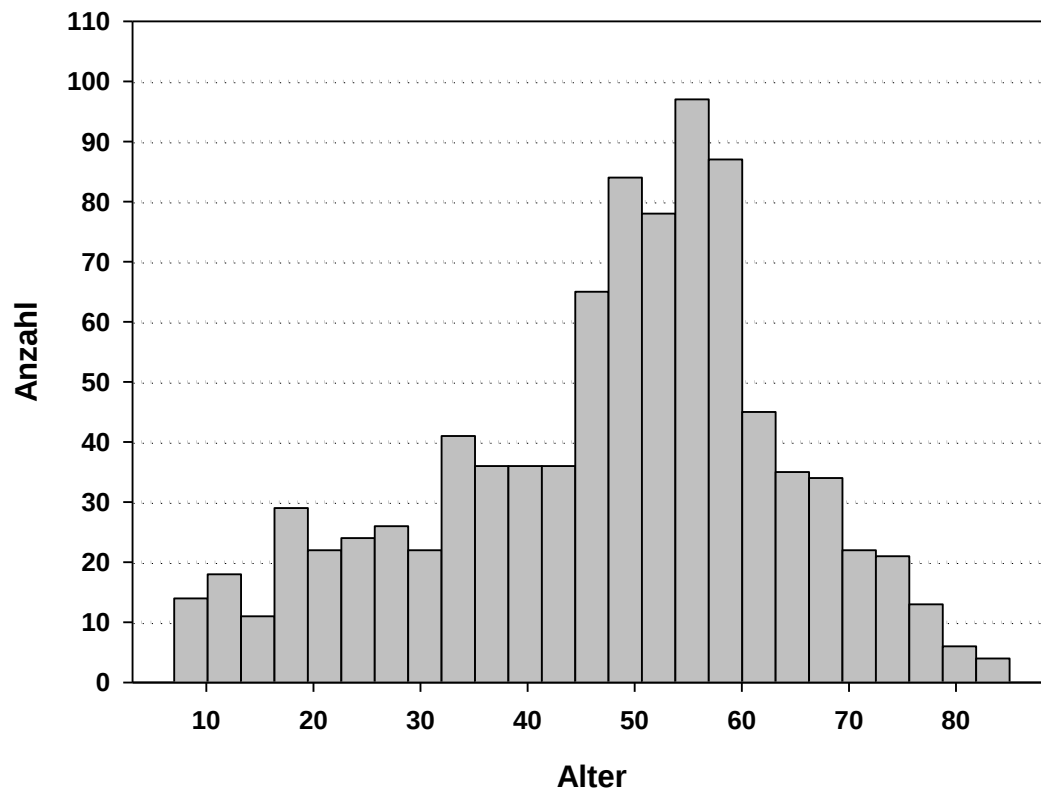


Abb. 4: Histogramm der Altersverteilung

5.2 Blutergebnisse für das gesamte Untersuchungsgebiet

Die statistischen Kenngrößen im Blut aus dem gesamten Untersuchungsgebiet des Landkreises Altötting sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Außerdem sind die Einzelergebnisse für PFOA in der Abbildung 5 grafisch dargestellt. Neben PFOS und PFOA konnten insbesondere PFNA und PFHxS oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden. Das höchste 95. Perzentil wurde mit 58 µg/l für PFOA gefunden, es folgten PFOS mit 6,2 µg/l sowie PFNA und PFHxS mit 1,5 µg/l und 1,3 µg/l. ADONA konnte überhaupt nur in drei Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze gefunden werden.

Wie aus der Abbildung 6 ersichtlich zeigen sich innerhalb des Untersuchungsgebietes erhebliche Unterschiede in der PFOA-Belastung zwischen den einzelnen Gemeinden / Trinkwasserversorgungsbereichen. Dies ist durch die Dauer und Höhe der zurückliegenden Belastung des Trinkwassers zu erklären. Zum Zusammenhang zwischen Trinkwasserbelastung und interner Belastung siehe Kapitel 6.

Tab. 3: Perfluorierte Substanzen in Blutproben aus dem gesamten Untersuchungsgebiet in µg/l

	PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDaA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl	906	906	906	906	906	906	906	906	906
Anzahl>BG	906	893	856	467	37	18	754	144	3
Mittelwert	24,64	2,40	0,69	0,37	0,14		0,59	0,16	
Median	20,06	1,78	0,54	0,25			0,50	<0,25	
95. Perzentil	58,46	6,21	1,48	1,09	<0,25	<0,25	1,30	0,36	
Maximum	159,39	18,60	15,06	7,53	0,70	1,88	9,06	0,98	1,01

BG: Bestimmungsgrenze; bei Werten unter der BG wurde die halbe BG für die Berechnungen verwendet.

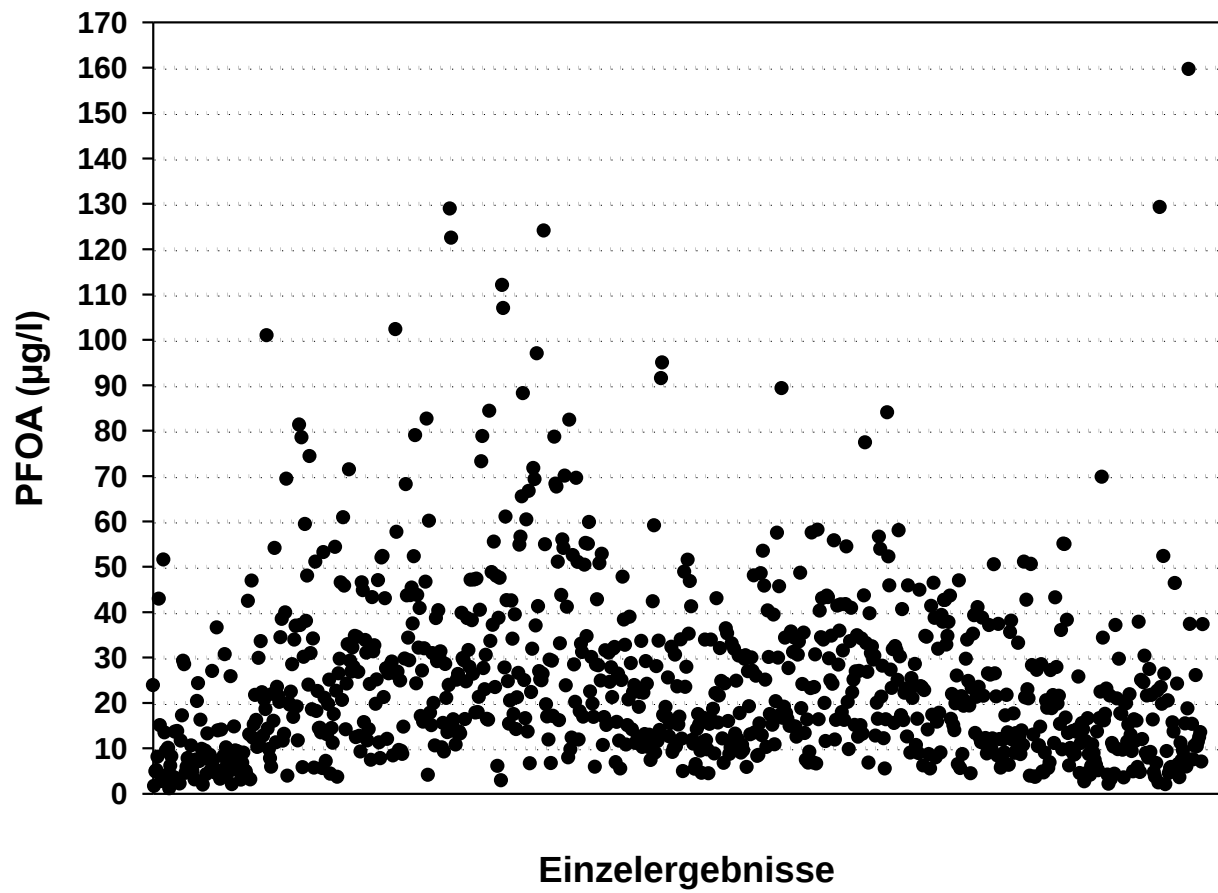


Abb. 5: Einzelmessergebnisse von PFOA in Blutproben aus dem gesamten Untersuchungsgebiet

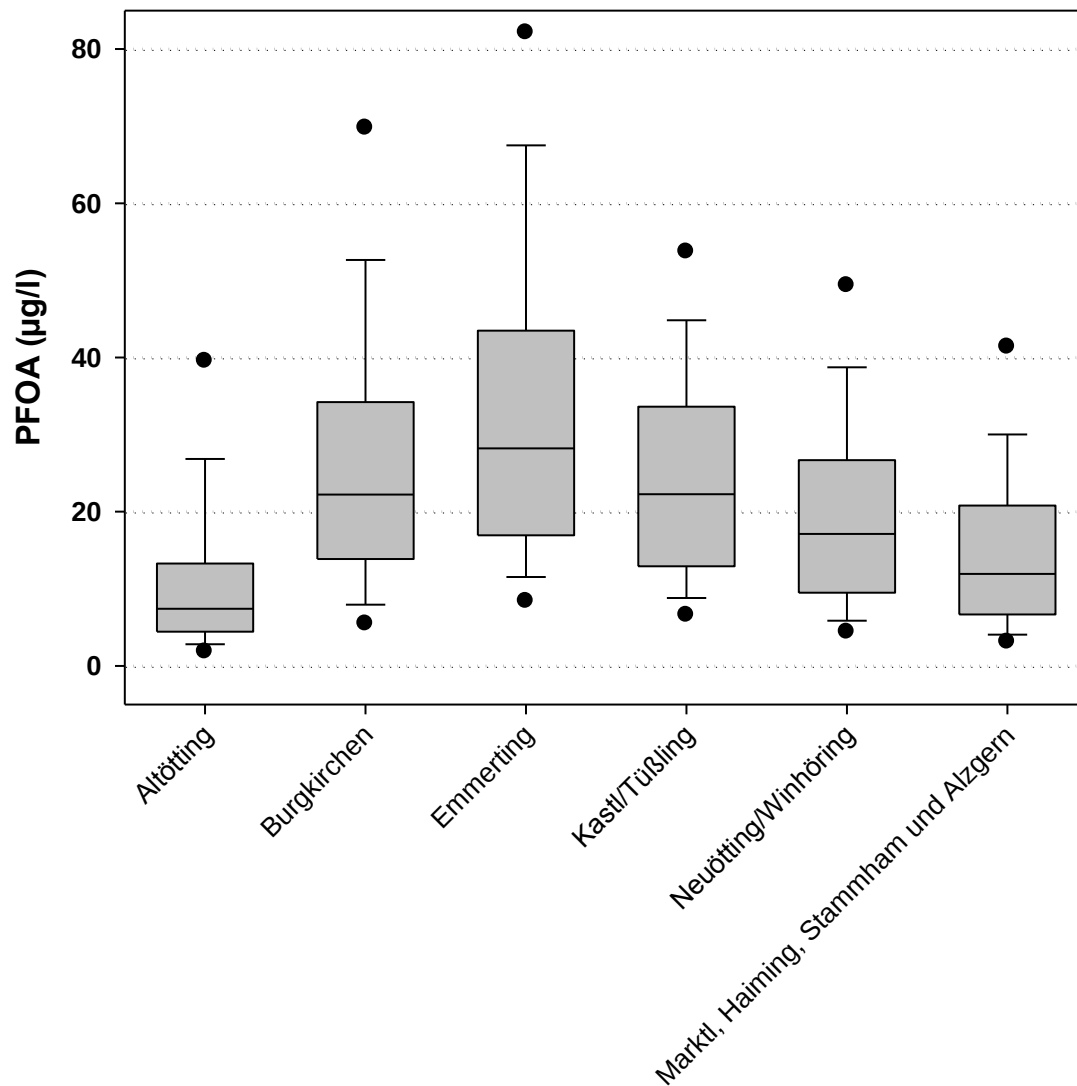


Abb. 6: Verteilungsparameter für PFOA in den einzelnen Untersuchungsbereichen (5., 10., 25., 50., 75., 90. und 95. Perzentil (Perzentil ist der Wert, unter dem x % der Ergebnisse liegen))

In den Abbildungen 7 und 8 ist die Altersabhängigkeit der internen Belastung mit PFOA und PFOS dargestellt. Es ergibt sich für beide Substanzen ein Anstieg mit dem Alter.

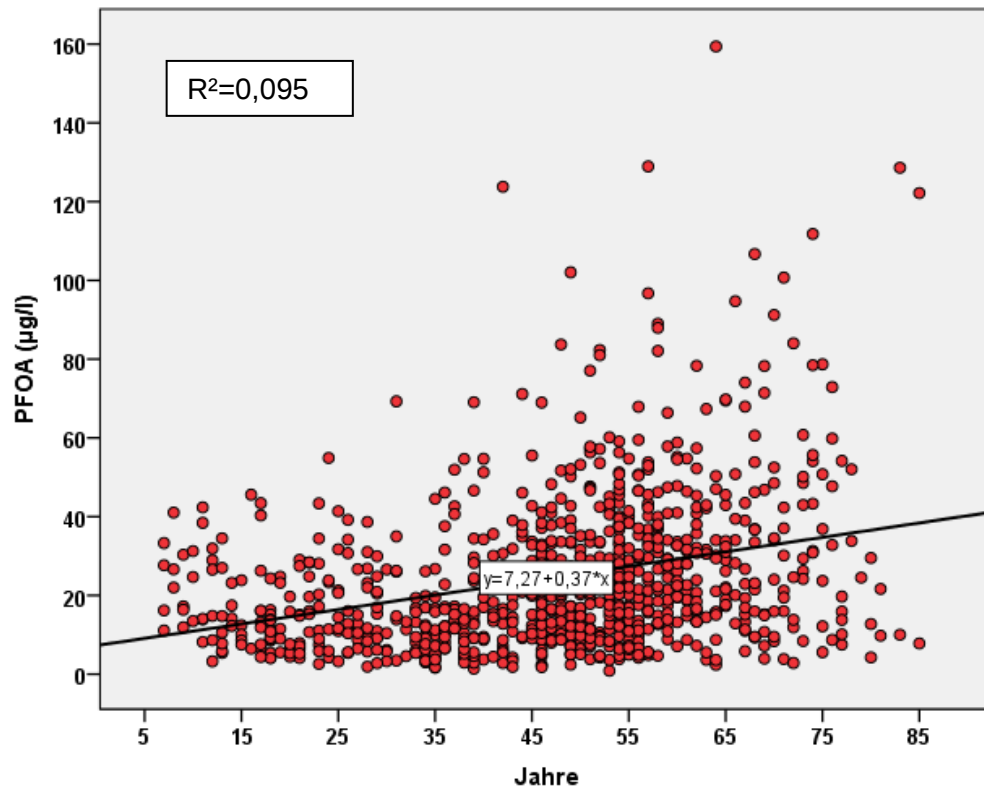


Abb. 7: Altersabhängigkeit der PFOA-Einzelergebnisse im Blut der Gesamtstichprobe

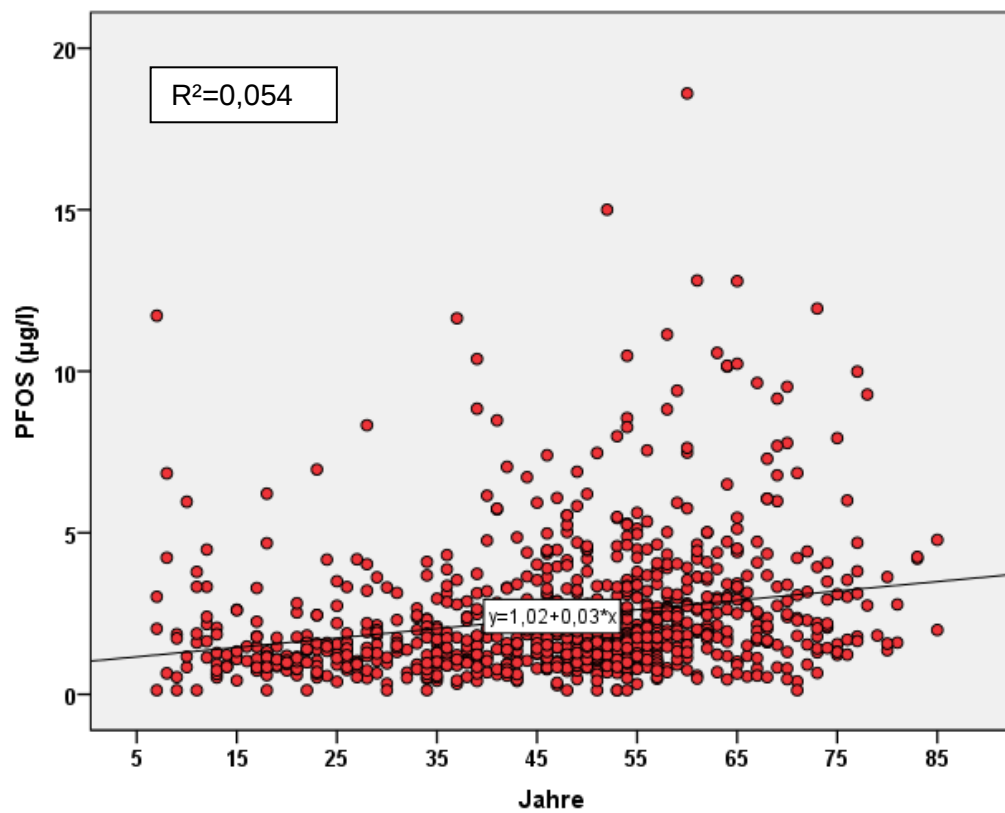


Abb. 8: Altersabhängigkeit der PFOS-Einzelergebnisse im Blut der Gesamtstichprobe

Die statistische Auswertung zeigt, dass erwartungsgemäß –aufgrund der besseren Ausscheidungsmöglichkeiten bei Frauen- die PFOA- und PFOS-Gehalte im Blut bei den männlichen Probanden signifikant höher ($p=0.004$ und $p<0.001$) liegen als bei den Frauen. Die Mittelwerte betragen für PFOA 26,2 µg/l bei den Männern und 23,5 µg/l bei den Frauen.

In dem die Studie begleitenden Fragebogen wurde auch nach möglichen Eintragsquellen der internen Belastung gefragt. Als wesentliche Quellen kommen neben dem Trinkwasser noch ein erhöhter Fischverzehr und von Wild- und Wildprodukten aus der Region in Frage. Sowohl für PFOA als auch für PFOS ergaben sich statistisch signifikant höhere Konzentrationen im Blut bei den Personen, die einmal pro Woche Fisch aus dem Landkreis Altötting verzehren, gegenüber Personen, die angeben dies nie zu tun (Mittelwerte PFOA: 43,9 µg/l zu 21,8 µg/l; Mittelwerte PFOS: 2,8 µg/l zu 1,9 µg/l). Allerdings ist die Anzahl der Personen in der ersten Gruppe mit 31 Personen klein. Ein vergleichbarer Zusammenhang für PFOA und PFOS ergab sich mit dem Verzehr von Wild und Wildprodukten aus dem Landkreis Altötting. Auch hier war die Anzahl der Teilnehmer mit Wildverzehr klein. Nur 3 Personen gaben an, einmal pro Woche Wild/Wildprodukte aus der Region zu verzehren, 36 weitere haben einen Verzehr von einmal pro Monat. Die interne PFOA-Belastung in diesen Gruppen lag bei 63,5 µg/l, 25,6 µg/l und 23,4 µg/l (nie Wildverzehr). Für PFOS bei 4,4 µg/l, 2,9 µg/l und 2,1 µg/l (nie Wildverzehr).

Bei den 846 Personen, die angegeben haben, das Leitungswasser auch als Trinkwasser zu nutzen, ergaben sich signifikant höhere Blutgehalte an PFOA ($p<0.001$) als bei den 59 Personen, die dies nicht taten. Die PFOA-Mittelwerte in beiden Gruppen betrugen 25,3 µg/l bzw. 15,0 µg/l. Für eine Person lag keine Angabe vor. Für PFOS wurde dieser Zusammenhang nicht beobachtet.

Die teilweise beobachteten Maximalwerte sind nicht ausschließlich durch die Belastung mit Trinkwasser erklärbar. Es wird vermutet, dass diese Probanden zusätzlich direkten oder indirekten PFOA Kontakt hatten.

5.3 Ergebnisse für Altötting

Die statistischen Kenngrößen im Blut aus dem Untersuchungsgebiet sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Außerdem sind die Einzelergebnisse für PFOA in Abbildung 9 grafisch dargestellt.

Das höchste 95. Perzentil wurde mit 40 µg/l für PFOA gefunden, es folgten PFOS mit 6,0 µg/l und PFNA und PFHxS mit 1,4 µg/l und 1,3 µg/l. ADONA konnte in keiner Probe oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden.

Tab. 4: Perfluorierte Substanzen in Blutproben aus Altötting in µg/l

	PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDaA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl	88	88	88	88	88	88	88	88	88
Anzahl>BG	88	87	82	31	2	0	69	12	0
Mittelwert	10,89	2,22	0,55	0,24			0,57	0,15	
Median	7,42	1,73	0,47	0,13			0,53		
95. Perzentil	39,52	5,86	1,41	0,72			1,29	0,38	
Maximum	51,27	9,64	1,48	1,45	0,53		2,32	0,43	

BG: Bestimmungsgrenze; bei Werten unter der BG wurde die halbe BG für die Berechnungen verwendet.



Abb. 9: Einzelmessergebnisse von PFOA in Blutproben aus Altötting

5.4 Ergebnisse für Burgkirchen

Die statistischen Kenngrößen im Blut aus dem Untersuchungsgebiet sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Außerdem sind die Einzelergebnisse für PFOA in Abbildung 10 grafisch aufgetragen.

Das höchste 95. Perzentil wurde mit 70 µg/l für PFOA gefunden, es folgten PFOS mit 6,8 µg/l und PFNA und PFHxS mit 1,6 µg/l und 1,3 µg/l. ADONA konnte nur in einer Probe oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden.

Tab. 5: Perfluorierte Substanzen in Blutproben aus Burgkirchen in µg/l

	PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDaA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl	112	112	112	112	112	112	112	112	112
Anzahl>BG	112	112	110	69	9	3	90	16	1
Mittelwert	27,29	2,45	0,80	0,45	0,14		0,57	0,16	
Median	22,22	1,83	0,58	0,34	0,13		0,48	0,13	
95. Perzentil	69,78	6,82	1,63	1,27	0,30		1,31	0,35	
Maximum	100,70	10,38	12,34	5,70	0,55	0,39	2,01	0,65	0,29

BG: Bestimmungsgrenze; bei Werten unter der BG wurde die halbe BG für die Berechnungen verwendet.

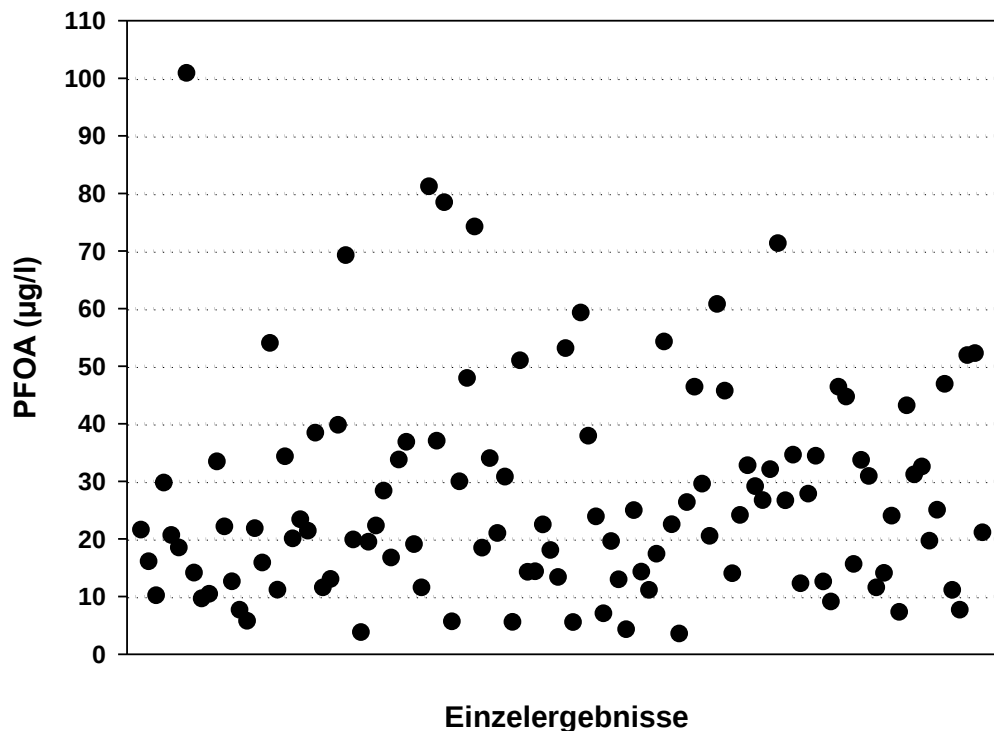


Abb. 10: Einzelmessergebnisse von PFOA in Blutproben aus Burgkirchen

5.5 Ergebnisse für Emmerting

Die statistischen Kenngrößen im Blut aus dem Untersuchungsgebiet sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Außerdem sind die Einzelergebnisse für PFOA in Abbildung 11 grafisch aufgetragen. Das höchste 95. Perzentil wurde mit 82 µg/l für PFOA gefunden, es folgten PFOS mit 6,1 µg/l sowie PFNA und PFHxS mit 1,4 µg/l und 1,4 µg/l. ADONA konnte nur in einer Probe oberhalb der Bestimmungsgrenze mit 1,01 µg/l nachgewiesen werden.

Tab. 6: Perfluorierte Substanzen in Blutproben aus Emmerting in µg/l

	PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDaA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Anzahl>BG	216	214	204	120	5	2	189	41	1
Mittelwert	34,39	2,38	0,67	0,40			0,65	0,17	
Median	28,22	1,76	0,53	0,26			0,55	0,13	
95. Perzentil	82,13	6,08	1,35	1,17			1,38	0,38	
Maximum	128,61	18,60	3,42	5,76	0,70	0,26	9,06	0,76	1,01

BG: Bestimmungsgrenze; bei Werten unter der BG wurde die halbe BG für die Berechnungen verwendet.



Abb. 11: Einzelmessergebnisse von PFOA in Blutproben aus Emmerting

5.6 Ergebnisse für Kastl und Tüßling

Die statistischen Kenngrößen im Blut aus dem Untersuchungsgebiet sind Tabelle 7 zusammengestellt. Außerdem sind die Einzelergebnisse für PFOA in Abbildung 12 grafisch dargestellt.

Das höchste 95. Perzentil wurde mit 54 µg/l für PFOA gefunden, es folgten PFOS mit 5,1 µg/l und PFNA und PFHxS mit 1,5 µg/l und 1,3 µg/l. ADONA konnte in keiner Probe oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden.

Tab. 7: Perfluorierte Substanzen in Blutproben aus Kastl und Tüßling in µg/l

	PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDaA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl	276	276	276	276	276	276	276	276	276
Anzahl>BG	276	270	263	154	10	7	235	57	0
Mittelwert	25,19	2,20	0,67	0,37	0,14		0,56	0,17	
Median	22,27	1,74	0,56	0,27			0,48	0,13	
95. Perzentil	53,69	5,05	1,48	1,28	<0,25		1,32	0,37	
Maximum	94,70	11,72	4,14	2,10	0,68	1,47	2,94	0,98	

BG: Bestimmungsgrenze; bei Werten unter der BG wurde die halbe BG für die Berechnungen verwendet.



Abb. 12: Einzelmessergebnisse von PFOA in Blutproben aus Kastl und Tüßling

5.7 Ergebnisse für Neuötting und Winhöring

Die statistischen Kenngrößen im Blut aus dem Untersuchungsgebiet sind in Tabelle 8 zusammengestellt. Außerdem sind die Einzelergebnisse für PFOA in Abbildung 13 grafisch aufgetragen.

Das höchste 95. Perzentil wurde mit 49 µg/l für PFOA gefunden, es folgten PFOS mit 6,1 µg/l und PFHxS und PFNA mit 1,2 µg/l und 1,0 µg/l. ADONA konnte in keiner Probe oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden.

Tab. 8: Perfluorierte Substanzen in Blutproben aus Neuötting und Winhöring in µg/l

	PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDaA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl	104	104	104	104	104	104	104	104	104
Anzahl>BG	104	100	92	29	1	1	76	8	0
Mittelwert	19,75	2,02	0,50	0,22			0,52	0,14	
Median	17,13	1,54	0,46	0,13			0,44	0,13	
95. Perzentil	49,31	6,10	1,02	0,56			1,23	0,28	
Maximum	54,77	12,81	2,09	1,94	0,29	1,04	2,96	0,41	

BG: Bestimmungsgrenze; bei Werten unter der BG wurde die halbe BG für die Berechnungen verwendet.

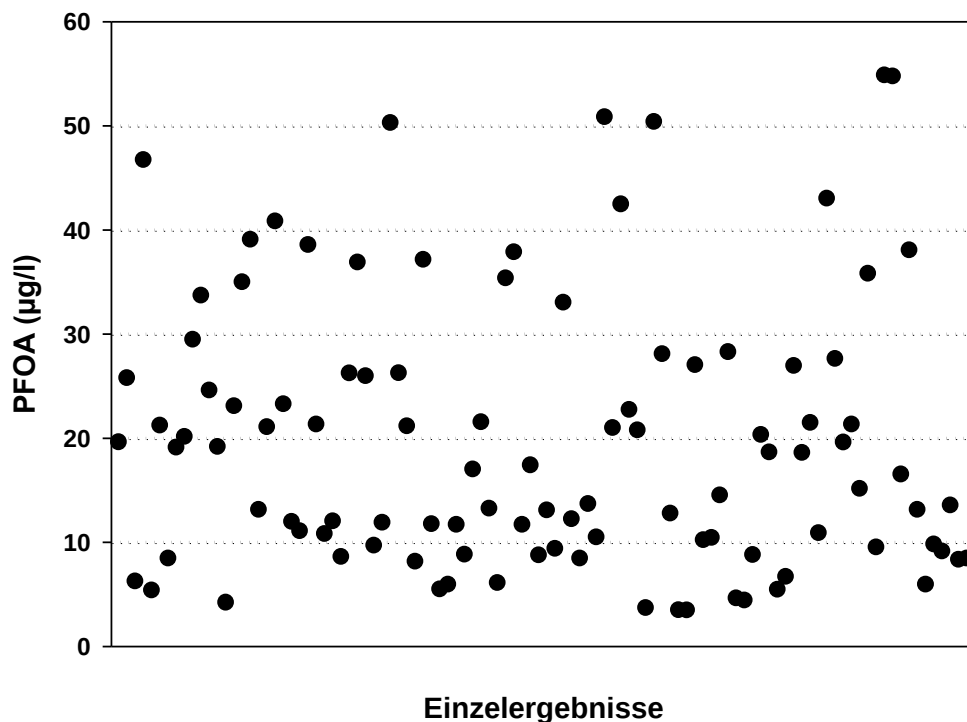


Abb. 13: Einzelmessergebnisse von PFOA in Blutproben aus Neuötting und Winhöring

5.8 Ergebnisse für Marktl, Haiming, Stammham und Alzgern (Inn-Salzach-Gruppe)

Die statistischen Kenngrößen im Blut aus dem Untersuchungsgebiet sind Tabelle 9 zusammengestellt. Außerdem sind die Einzelergebnisse für PFOA in Abbildung 14 grafisch aufgetragen.

Das höchste 95. Perzentil wurde mit 41,3 µg/l für PFOA gefunden, es folgten PFOS mit 9,4 µg/l und PFNA und PFHxS mit 2,0 µg/l und 1,3 µg/l. ADONA konnte nur in einer Probe oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden.

Tab. 9: Perfluorierte Substanzen in Blutproben aus Marktl, Haiming, Stammham und Alzgern in µg/l

	PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDaA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Anzahl>BG	110	110	105	64	10	5	95	10	1
Mittelwert	17,05	3,38	0,97	0,49	0,15	0,16	0,66	0,14	
Median	11,93	2,68	0,63	0,28	0,13		0,59		
95. Perzentil	41,38	9,39	1,98	1,26	0,30	0,22	1,31	0,28	
Maximum	159,39	15,00	15,06	7,53	0,66	1,88	3,41	0,48	0,36

BG: Bestimmungsgrenze; bei Werten unter der BG wurde die halbe BG für die Berechnungen verwendet.

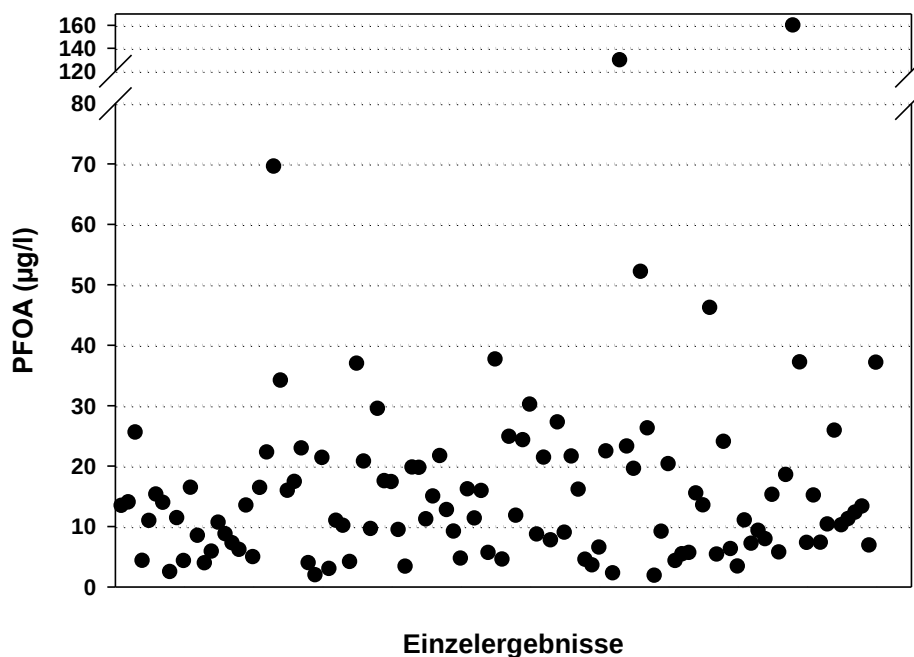


Abb. 14: Einzelmessergebnisse von PFOA in Blutproben aus dem Untersuchungsbereich

5.9 Ergebnisse der nicht für die allgemeine Auswertung berücksichtigten Personengruppen

Die deskriptiven Ergebnisse der Personen, bei denen ein beruflicher Bezug zu PFOA möglich ist oder die keine Angaben zu einer derartigen Exposition machten, sind in den Tabellen 10 und 11 zusammengestellt.

Auf die Frage „Haben Sie jemals in einem Betrieb gearbeitet, der perfluorierte Substanzen (z. B. PFOA) hergestellt oder verarbeitet hat?“ haben 33 Teilnehmerinnen / Teilnehmer mit „Ja“ geantwortet. Im Vergleich zu Personen, die einen derartigen Bezug verneinten, liegen die statistischen Kennwerte für PFOA deutlich höher. So lag der Median bei 34 µg/l im Vergleich zu 20 µg/l und das 95. Perzentil bei 103 µg/l im Vergleich zu 58 µg/l. Hingegen ergab sich zwischen den Personen, die keine Angaben zur vorgenannten Frage gemacht hatten (n = 26), und den Personen, die diese Frage verneint haben, kein wesentlicher Unterschied beim Median (17 bzw. 20 µg/l) und ein niedrigeres 95. Perzentil (31 bzw. 58 µg/l), was möglicherweise mit den Wohnorten oder der geringen Probenzahl zusammenhängen kann.

Tab. 10: Perfluorierte Substanzen in Blutproben von unter Umständen beruflich exponierten Personen (gesamter Untersuchungsbereich) in µg/l

	PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFDaA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Anzahl>BG	33	33	31	19	3	0	33	6	2
Mittelwert	42,07	3,28	0,94	0,57	0,16		1,29	0,15	0,15
Median	34,04	2,48	0,61	0,30			0,71	0,13	
95. Perzentil	103,07	9,56	2,15	2,01	0,34		3,19	0,29	0,25
Maximum	168,06	17,32	6,46	4,63	0,73		14,82	0,37	0,69

BG: Bestimmungsgrenze; bei Werten unter der BG wurde die halbe BG für die Berechnungen verwendet.

Tab. 11: Perfluorierte Substanzen in Blutproben von Personen, die keine Angaben zur beruflichen PFOA-Exposition gemacht haben (gesamter Untersuchungsbereich) in µg/l

	PFOA	PFOS	PFNA	PFDA	PFD_oA	PFHxA	PFHxS	PFBS	ADONA
Anzahl	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Anzahl>BG	26	26	25	17	1	0	20	1	1
Mittelwert	16,32	2,86	0,70	0,43			0,46		
Median	17,07	2,27	0,67	0,36			0,43		
95. Perzentil	31,04	6,96	1,59	1,14			1,17		
Maximum	36,06	8,14	1,70	1,28	0,27		1,91	0,33	2,18

BG: Bestimmungsgrenze; bei Werten unter der BG wurde die halbe BG für die Berechnungen verwendet.

6 Vergleich der internen Belastung in den Untersuchungsgebieten mit der Trinkwasserbelastung

Die Aufnahme von kontaminiertem Trinkwasser stellt in den Untersuchungsgebieten die wesentliche Aufnahmequelle dar. Vor diesem Hintergrund soll die Belastung dieses Mediums mit den gemessenen Daten der Blutbelastung in Beziehung gesetzt werden. Die Trinkwasserdaten stammen aus LGL-Messungen und Angaben der örtlichen Wasserversorger. Neben den Ergebnissen der Netzproben werden in den Abbildungen 15 - 19 zum Vergleich teilweise auch Roh- bzw. Brunnenwasserdaten aufgeführt.

6.1 Emmerting

Emmerting wurde überwiegend mit Trinkwasser aus dem Hochbehälter Eschelberg versorgt, teilweise auch direkt mit Wasser aus dem Brunnen III im Öttinger Forst, der seit November 2016 nicht mehr verwendet wird.

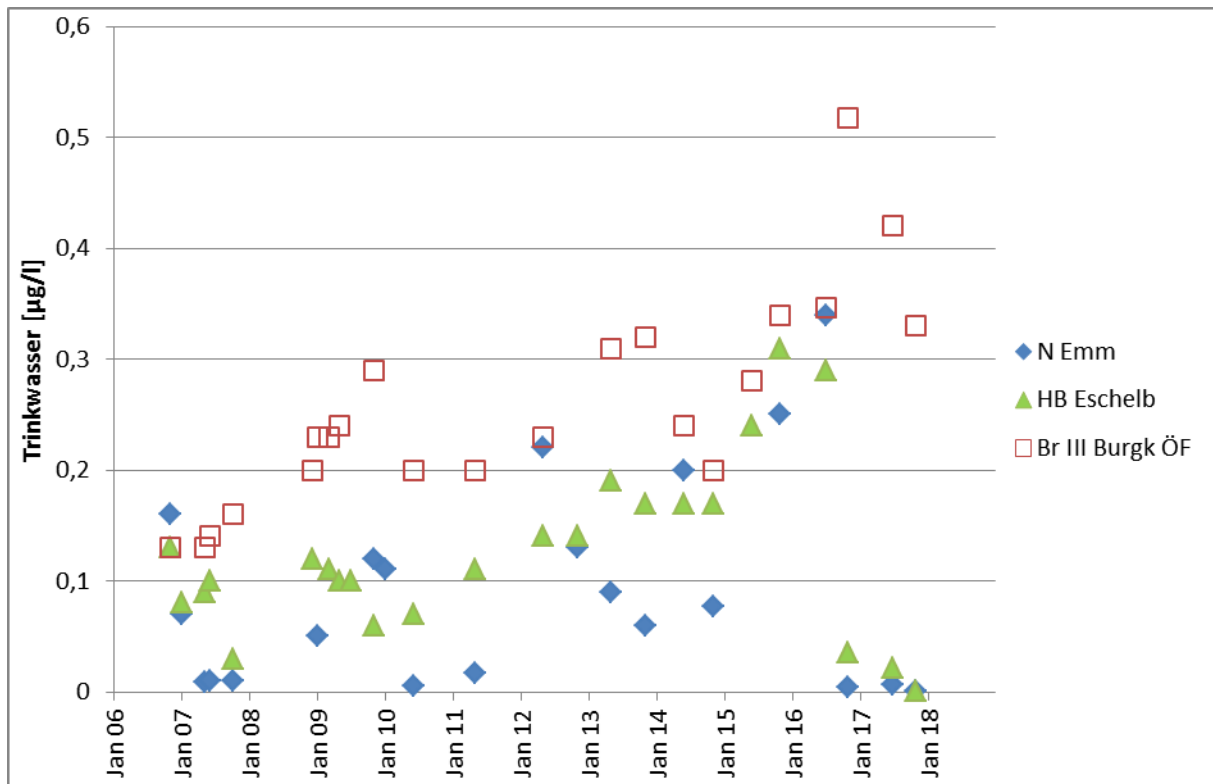


Abb. 15: Trinkwasserkonzentrationen in Emmerting, im Hochbehälter Eschelberg und im Brunnen III (N: Netzprobe; HB: Hochbehälter; Br: Brunnen; ÖF: Öttinger Forst)

Tab. 12: Trinkwasser- und Blutbelastungen in Emmerting

Zeitraum	TW Mittelwert (µg/l TW)	TW Maximum (µg/l TW)	Blut Median 2018 (µg/l Blut)
11.2006-11.2009	0,06	0,16	15,6 ^{a)}
01.2010-11.2015	0,12	0,25	20,2 ^{b)}
07.2016-11.2017	0,088	0,34	28,2

a) Proben des Bayerischen Roten Kreuzes (BRK) 2009; b) BRK-Proben 2015

Tabelle 12 enthält die Mittel- und Maximalwerte von PFOA im Trinkwasser sowie die Medianwerte im Blut aufgegliedert nach den HBM-Probenahmezeiten. Die Blutmesswerte korrelieren mäßig mit den Mittelwerten im Trinkwasser, was besonders im letzten Zeitraum damit zusammenhängt, dass der Maximalwert und die niedrigen Werte nach Umsetzen der Minde-rungsmaßnahmen in der gleichen Phase liegen. Ein klarerer Zusammenhang besteht dage-gen mit den Maximalwerten, bei denen sich in etwa das bekannte Blut-/Trinkwasser-Verhältnis von ca. 100 wiederfindet (Post et al. 2012).

Der Anstieg der Blutbelastung zwischen 2009 und 2015 lässt sich durch den Anstieg der Trinkwasserbelastung erklären, zum Teil eventuell auch die weitere Zunahme bis zur HBM-Probenahme 2018, da die Trinkwasserkonzentrationen erst im Jahr 2016 deutlich zurückgin-gen (07.2016: 0,34 µg/l TW zu 11.2016: 0,004 µg/l TW). Der Zeitraum nach den Minde-rungsmaßnahmen ist noch zu kurz, um einen merklichen Rückgang der Blutbelastung fest-stellen zu können.

6.2 Burgkirchen

Burgkirchen und Gendorf erhalten Trinkwasser aus dem Hochbehälter Eschlberg, dem aber anscheinend häufig wenig belastetes Wasser zugemischt wurde, da die PFOA-Konzentrationen der Netzproben fast durchgehend und oft deutlich unter denen des Wassers aus dem Hochbehälter lagen.

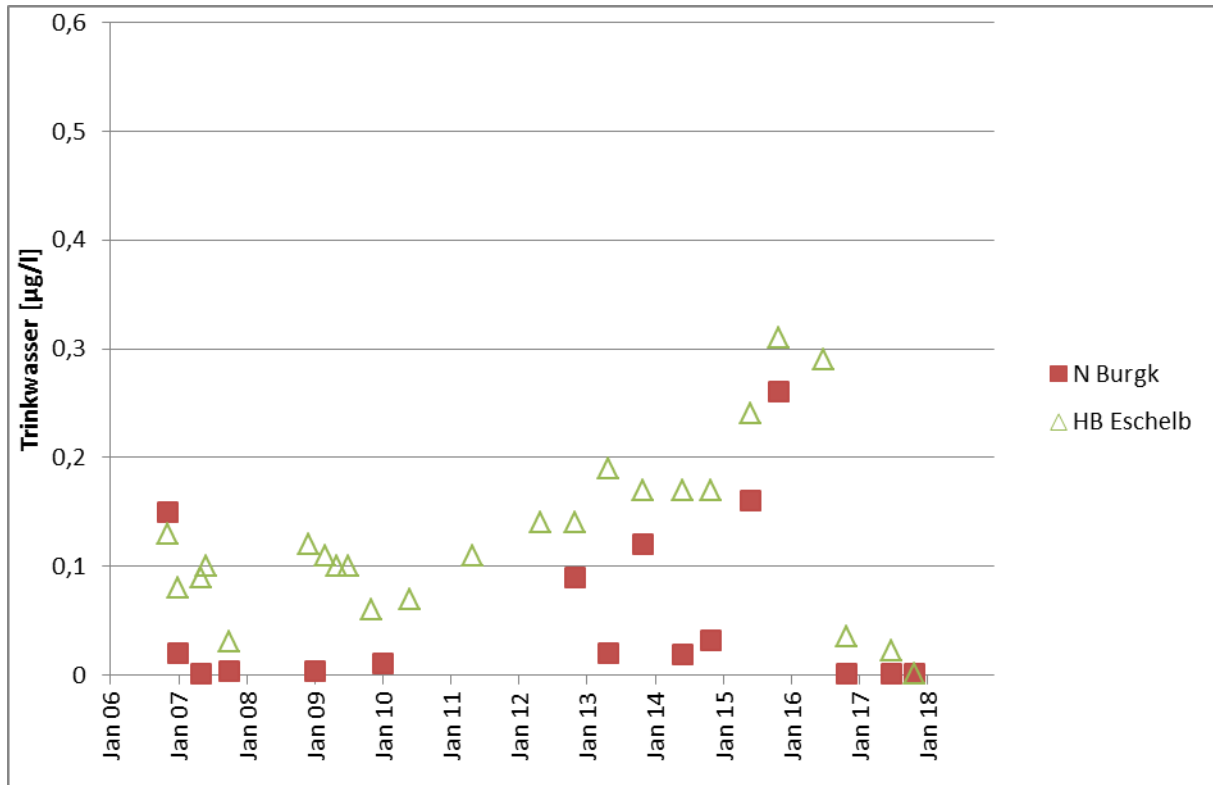


Abb. 16: Trinkwasserkonzentrationen in Burgkirchen und im Hochbehälter Eschelberg (N: Netzprobe; HB: Hochbehälter)

Tab. 13: Trinkwasser- und Blutbelastungen Burgkirchen

Zeitraum	TW Mittelwert (µg/l TW)	TW Maximum (µg/l TW)	Blut Median 2018 (µg/l Blut)
11.2006-11.2015	0,068	0,26	22,2

Der aktuelle Median von 22,2 µg/l Blut passt mit einem Faktor von ca. 100 (Post et al. 2012) gut zu den letzten beiden hohen Trinkwasserwerten von 0,16 und 0,26 µg/l im Jahr 2015 (siehe Abb. 16), weniger zu dem Langmittelzeitwert von 0,07 µg/l TW. Der Zeitraum nach den Minderungsmaßnahmen ist noch zu kurz, um einen merklichen Rückgang der Blutbelastung feststellen zu können.

6.3 Kastl und Markt Tüßling

Kastl hat sein Wasser früher aus zwei Brunnen gewonnen, wobei eine Mischung ungefähr im gleichen Verhältnis stattfand. Ab Anfang 2017 wurde Brunnen 1 nicht mehr verwendet. Die

PFOA-Konzentrationen der Netz- und Brunnenproben lagen bis ca. Mitte 2012 in einem ähnlichen Bereich, während Brunnen 1 ab ca. Mitte 2013 deutlich steigende Konzentrationen aufwies. Die Proben aus dem Netz und aus Brunnen 2 bewegten sich weiterhin auf einem ähnlichen Niveau, wobei möglicherweise seit 2015 in beiden Fällen ein Anstieg zu beobachten ist.

Kastl versorgt auch Tüßling und eine Reihe von Altöttinger Ortsteilen (Wallner an der Osterwies, Aigner, Graming, Ober- und Unterschlottham, Klausen, Winkler am Holz, Loha).

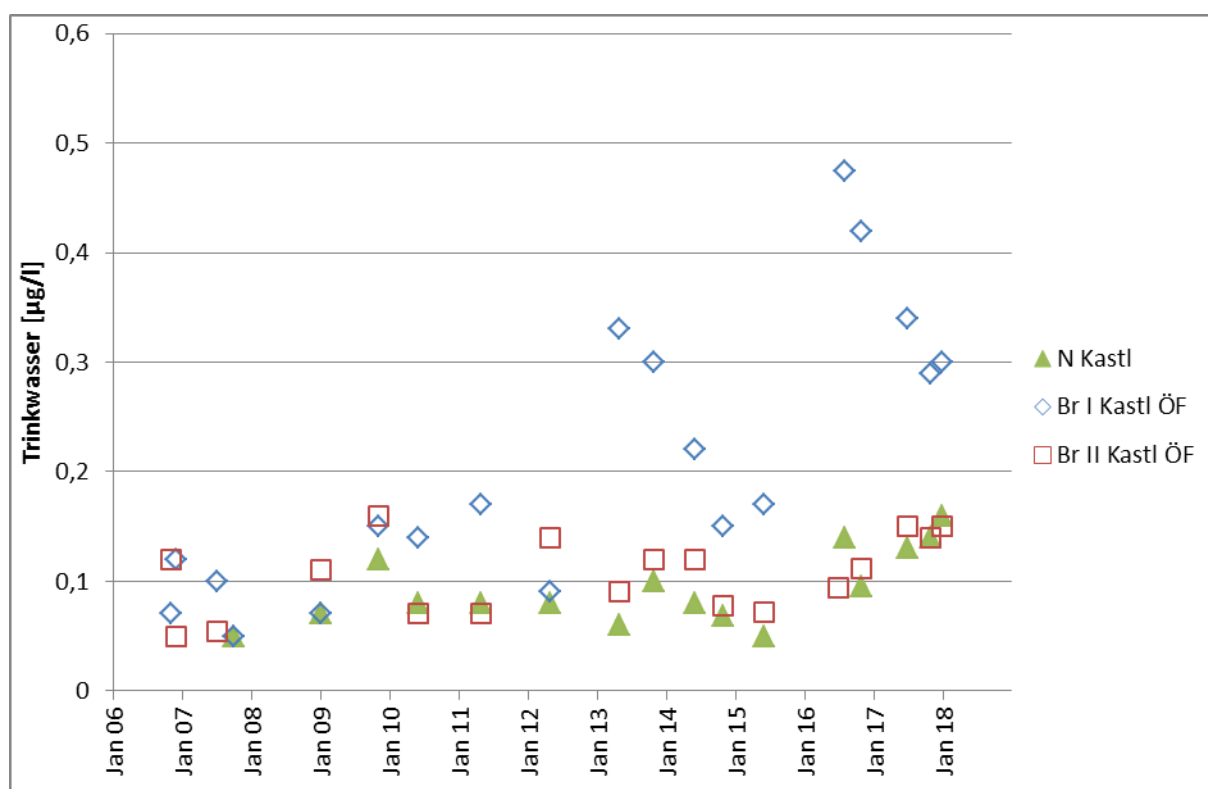


Abb. 17: Trinkwasserkonzentrationen in Kastl sowie in den Brunnen 1 und 2, Öttinger Forst (N: Netzprobe; Br: Brunnen; ÖF: Öttinger Forst)

Tab. 14: Trinkwasser- und Blutbelastungen in Kastl und Tüßling

Zeitraum	TW Mittelwert (µg/l TW)	TW Maximum (µg/l TW)	Blut Median 2018 (µg/l Blut)
10.2007-01.2018	0,094	0,16	22,3

Die aktuellen Blutwerte aus Kastl, Tüßling und den entsprechenden Altöttinger Ortsteilen liegen mit einem Median von 22,3 µg/l angesichts der Trinkwasserwerte im Netz etwas höher als erwartet und entsprechen bei einem Faktor von ca. 100 (Post et al. 2012) eher einem Mit-

telwert der Konzentrationen der Brunnen 1 und 2 von ca. 0,2-0,3 µg/l in den letzten fünf Jahren. Da noch keine weitergehende Reduzierung der PFOA-Gehalte im Trinkwasser erfolgt ist, ist auch bei den Blutwerten noch kein Rückgang zu erwarten.

6.4 Altötting, Neuötting und Winhöring

Altötting verfügt über drei unbelastete Tiefenbrunnen, Neuötting über zwei Brunnen, deren PFOA-Gehalt im Laufe der Jahre annähernd kontinuierlich ansteigt. Dem Altöttinger Trinkwasser wurde zeitweise Wasser aus den Neuöttinger Brunnen zugemischt, wobei der Anteil unter 30 % gelegen haben soll. Eine Zeitreihe liegt nicht vor, sondern nur Messwerte von 2007 und 2016 (0,02 bzw. < 0,001 µg/l). Eine Reihe von südlich gelegenen Altöttinger Orten wird mit Kastler Wasser versorgt (Wallner an der Osterwies, Aigner, Graming, Ober- und Unterschlottham, Klausen, Winkler am Holz, Loha), weshalb die von dort stammenden Blutproben gemeinsam mit den Kastler Proben ausgewertet wurden. Neuötting versorgt auch Winhöring mit Wasser aus den beiden Brunnen im Öttinger Forst.

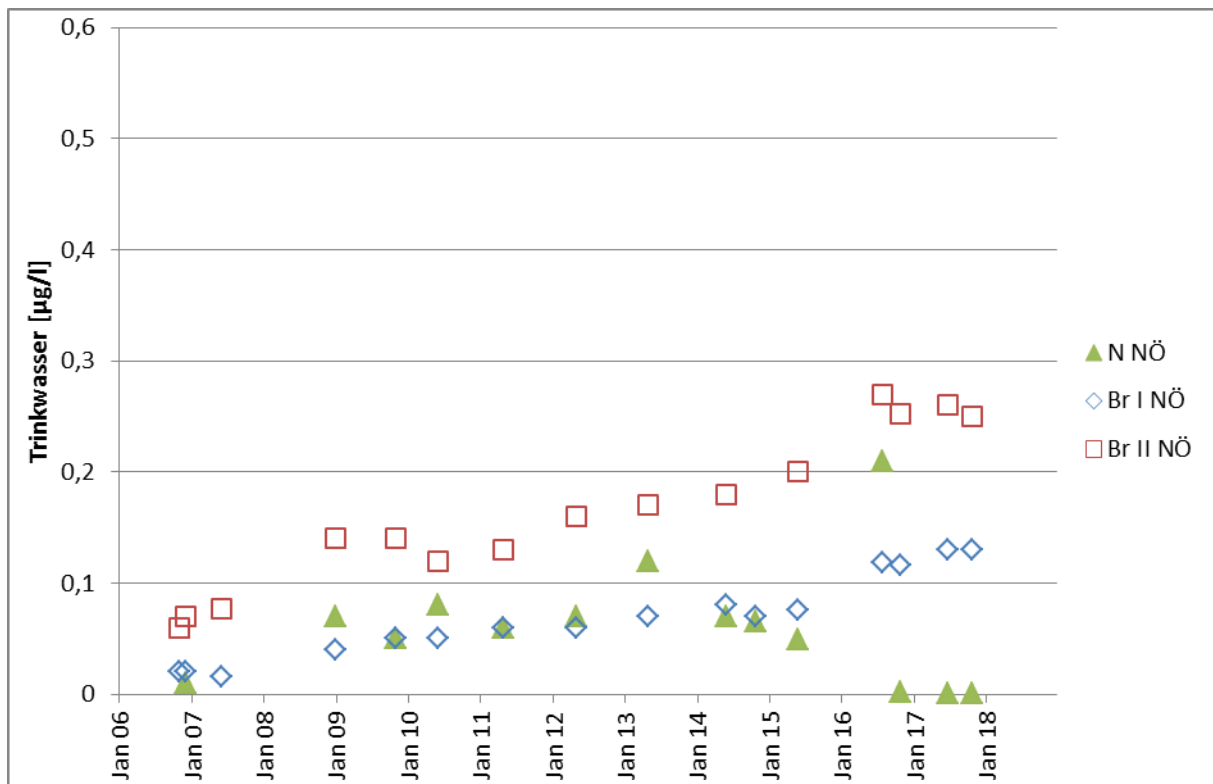


Abb. 18: Trinkwasserkonzentrationen in Neuötting sowie in den Brunnen I und II, Öttinger Forst (N: Netzprobe; Br: Brunnen; NÖ Neuötting)

Tab. 15: Trinkwasser- und Blutbelastungen in Neuötting und Winhöring

Zeitraum	TW Mittelwert (µg/l TW)	TW Maximum (µg/l TW)	Blut Median 2018 (µg/l Blut)
12.2006-08.2016	0,064	0,21	17,1

Die aktuellen Altöttinger Blutwerte liegen mit einem Median von 7,4 µg/l im Mittel niedriger als die aller anderen Orte bzw. Wasserversorgungen. Ein direkter Vergleich mit Trinkwasserwerten ist mangels Zeitreihe nicht möglich. Angesichts der beiden oben genannten Trinkwasserwerte erscheint die Blutbelastung eigentlich zu hoch, aber sie lässt sich vermutlich durch das zwischenzeitliche Zumischen von Neuöttinger Wasser erklären.

Die Blutwerte aus Neuötting liegen im Mittel bei 17,1 µg/l, was bei einem Faktor von ca. 100 (Post et al. 2012) in etwa zu dem Maximalwert im Trinkwasser von 0,21 µg/l oder auch dem Mittelwert der beiden Brunnen aus den letzten Jahren von ca. 0,15-0,20 µg/l (Abb. 18), aber wiederum weniger zum Mittelwert für die Jahre 2006-2016 von 0,06 µg/l TW passt. Der Zeitraum nach den Minderungsmaßnahmen ist noch zu kurz, um einen merklichen Rückgang der Blutbelastung feststellen zu können.

6.5 Marktl, Haiming, Stammham und Alzgern

Im Trinkwasser der Inn-Salzach-Gruppe traten 2007-2009 PFOA-Konzentrationen von ca. 0,2-0,4 µg/l auf, die durch Filterung ab 2010 auf Werte zwischen < 0,001-0,068 µg/l (Mittelwert 0,013 µg/l) gesenkt wurden. Die Inn-Salzach-Gruppe versorgt Haiming, Marktl, Stammham und Alzgern, mit Neuötting besteht ein Notverbund.

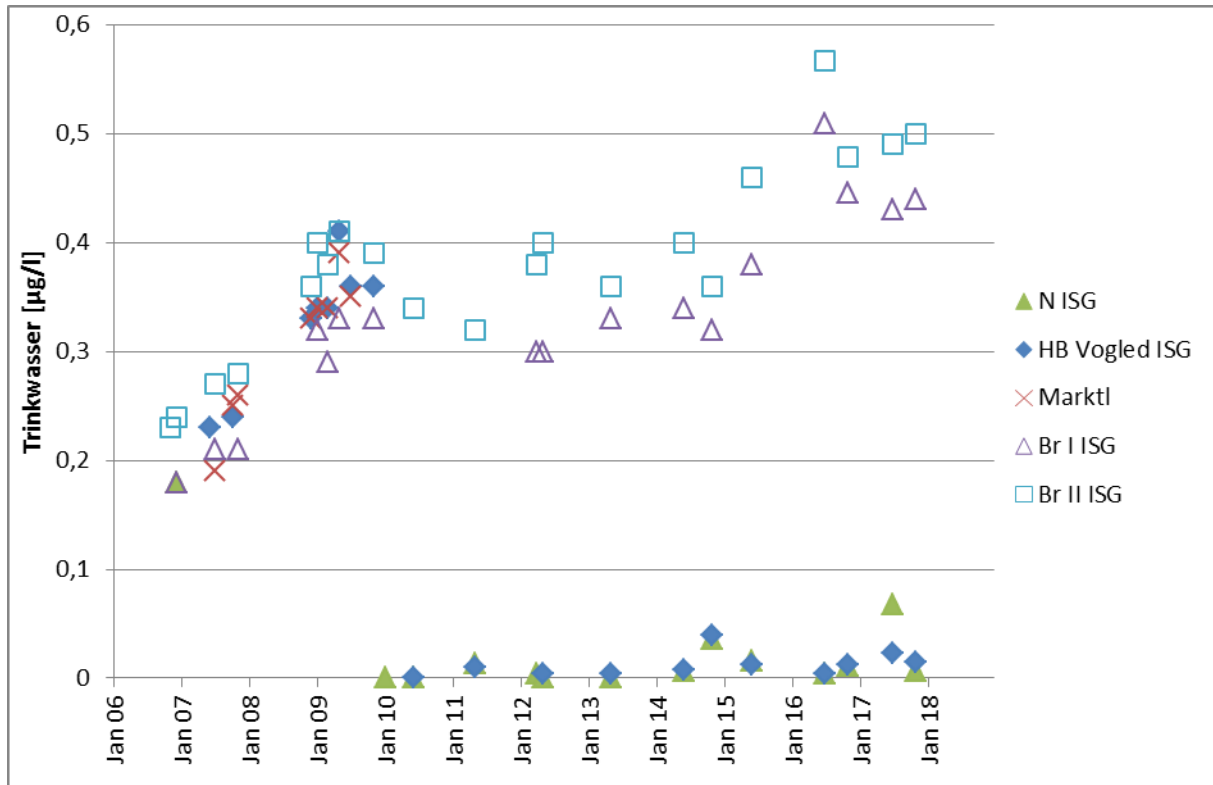


Abb. 19: Trinkwasserkonzentrationen der Inn-Salzach-Gruppe (N: Netzprobe; HB: Hochbehälter; Br: Brunnen; ISG: Inn-Salzach-Gruppe)

Tab. 16: Trinkwasser- und Blutbelastungen in MarktI, Haiming, Stammham und Alzger

Zeitraum	TW Mittelwert (µg/l TW)	TW Maximum (µg/l TW)	Blut Median 2018 (µg/l Blut)
06.2007-11.2009	0,33	0,41	35 ^{a)}
01.2010-11.2017	0,013	0,068	11,9

a) Schätzung für 2009

Die aktuelle Blutkonzentration von 11,9 µg/l liegt unter den Medianen der meisten anderen Orte bzw. Wasserversorgungsbereiche. Dies ist sehr wahrscheinlich auf die schon länger stattfindende Filterung zurückzuführen. Legt man für 2010 einen Ausgangswert von 35 µg/l Blut zugrunde (ungefähr Faktor 100 zu dem Mittel- bzw. Maximalwert aus dem Zeitraum 06.2007-11.2009), so errechnet sich für 2018 ein Wert von ca. 8,5 bzw. 11,4 µg/l (Halbwertszeit 3 bzw. 4 Jahre; <http://www.ics.uci.edu/~sbartell/pfoacalc.html>).

7 Vergleich der internen Belastung im Untersuchungsgebiet mit der Hintergrundbelastung in Bayern

Im Jahr 2016 wurden 158 Blutproben von Münchner Blutspendern auf perfluorierte Substanzen (PFAS) untersucht. Für München sind keine spezifischen PFAS-Quellen bekannt. Das Trinkwasser wurde wiederholt untersucht und war dabei unauffällig. Andere aktuelle Ergebnisse deutscher Untersuchungen liegen nicht vor. Ein ähnliches Belastungsniveau zeigen zwei neuere Studien aus den USA und Tschechien, in denen 616 Plasma- und 300 Serumproben auf mehrere PFAS untersucht wurden (Olsen et al. 2017; Sochorová et al. 2017).

Für alle PFAS - außer PFOA - liegen die statistischen Verteilungsparameter im Untersuchungsgebiet in einem ähnlichen Bereich wie die Münchner Blutproben und wie die der Studien aus USA und Tschechien. Zwar konnten in der aktuellen Studie einige längerkettige PFAS wie z. B. PFNA, PFDA und PFDoA deutlich häufiger oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden, allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass sich die Bestimmungsgrenzen der Münchner und der jetzigen Studie unterscheiden.

Auffällig ist der deutliche Unterschied der Belastungssituation in den beiden Gebieten für das PFOA. Während der Median in den Belastungsgebieten des Landkreises Altötting bei 20,1 µg/l liegt, ergab sich in München nur ein Median von 1,1 µg/l. Auch das 95. Perzentil der Belastung war mit 59 µg/l gegenüber 2,4 µg/l deutlich höher. Die beiden vorher genannten Studien finden für PFOA einen geometrischen Mittelwert von 1,1 µg/l (Olsen et al. 2017) und einen Median von 0,8 µg/l (Sochorová et al. 2017).

Tab. 17: Perfluorierte Substanzen in Blutproben aus dem Untersuchungsgebiet 2018 und aus München 2016 (in Klammern) in µg/l

	PFOA	PFOS	PFBS	PFHxA	PFHxS	PFNA	PFDA	PFDaA	ADONA
Anzahl	906 (158)	906 (158)	906 (158)	906 (-)	906 (158)	609 (158)	906 (158)	906 (158)	906 (158)
BG	0,25 (0,4)	0,25 (0,1)	0,25 (0,4)	0,25 (-)	0,25 (0,2)	0,25 (0,4)	0,25 (0,4)	0,25 (0,4)	0,25 (0,2)
Anzahl>BG	906 (158)	893 (158)	144 (0)	18 (-)	754 (155)	856 (89)	467 (3)	37 (0)	3 (0)
Mittelwert	24,6 (1,2)	2,4 (2,6)	0,16 (<0,4)	<0,25 (-)	0,6 (0,7)	0,7 (0,4)	0,4 (-)	<0,25 (-)	<0,25 (-)
Median	20,1 (1,1)	1,8 (2,1)	<0,25 (-)	<0,25 (-)	0,5 (0,5)	0,5 (0,4)	0,3 (-)	<0,25 (-)	<0,25 (-)
95. Perzentil	58,5 (2,4)	6,2 (6,4)	0,36 (-)	<0,25 (-)	1,3 (1,5)	1,5 (0,8)	1,1 (-)	<0,25 (-)	<0,25 (-)
Maximum	159 (3,7)	18,6 (17,9)	0,98 (<0,4)	1,9 (-)	9,1 (11,6)	15,1 (1,5)	7,5 (1,0)	0,7 (<0,4)	1,0 (<0,2)

BG: Bestimmungsgrenze

8 Gesundheitliche Bewertung

ADONA

Die aktuelle Belastungssituation für ADONA im Blut der Bevölkerung im Untersuchungsgebiet des Landkreises Altötting ist niedrig. Die Konzentrationen liegen im Bereich der Bestimmungsgrenze des analytischen Verfahrens und oft darunter. Im Vergleich zu der Voruntersuchung in der Gemeinde Emmerting im Jahr 2016 ist kein Anstieg der internen Belastung zu erkennen. Negative gesundheitliche Wirkungen, auch langfristige, sind somit nach derzeitigem Kenntnisstand nicht zu erwarten. Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) stuft ADONA bisher als Klasse-3-Stoff ein, für den keinen Wert für eine duldbare (akzeptable) tägliche Aufnahmemenge festgelegt werden kann (EFSA 2011). Das Gremium sieht bei den gegenwärtigen Anwendungen aber keine Sicherheitsbedenken für Verbraucher.

PFAS (außer PFOA und PFOS)

Für die untersuchten Substanzen PFBS, PFHxS, PFHxA, PFNA, PFDA und PFDoA liegen keine Bewertungsmaßstäbe vor, welche Gehalte im Blut gesundheitlich bedeutsam sind. Vor diesem Hintergrund ist nur ein Vergleich der internen Belastung mit einem normal belasteten Vergleichskollektiv möglich. Für alle vorgenannten PFAS liegen die statistischen Verteilungsparameter im Untersuchungsgebiet in einem ähnlichen Bereich verglichen mit denen von Münchner Blutproben (Kontrollbereich) bzw. denen aus internationalen Studien. Insgesamt ist die Belastung des Blutes mit diesen Substanzen niedrig.

PFOA und PFOS

Die Kommission Humanbiomonitoring beim Umweltbundesamt hat für PFOS und PFOA einen HBM-I-Wert von 5 µg/l bzw. 2 µg/l festgelegt. Der HBM-I-Wert für PFOA wird im Untersuchungsbereich von fast allen Personen überschritten, während dies im Kontrollbereich in München nur bei 11% der Bevölkerung der Fall ist. Dies belegt den Einfluss der Umweltbelastung im Landkreis Altötting.

Die PFOS-Belastung im Untersuchungsgebiet liegt im Hintergrundbereich anderer Regionen Bayerns oder Deutschlands. Ein kleiner Teil der allgemeinen Bevölkerung überschreitet dabei den HBM-I-Wert. Aufgrund des Verwendungsverbots von PFOS wird dieser Anteil im Laufe der Zeit abnehmen. Eine besondere gesundheitliche Gefährdung wird nicht gesehen.

9 Literatur

- Andersen, M.E., Butenhoff, J.L., Chang, S.C., Farrar, D.G., Kennedy, G.L., Lau, C., Olsen, G.W., Seed, J., Wallace, K.B. (2008). Perfluoroalkyl acids and related chemistries – toxicokinetics and modes of action. *Toxicol. Sci.* 102: 3–14.
- Barry, V., Winkquist, A., Steenland, K. (2013) Perfluorooctanoic acid (PFOA) exposures and incident cancers among adults living near a chemical plant. *Environ. Health Perspect.* 121: 1313-1318.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention) (2018) National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals. Update tables. Online:
<https://www.cdc.gov/exposurereport/>
- EFSA (European Food Safety Authority, Panel on food contact materials, enzymes, flavourings and processing aids) (2011) Scientific Opinion on the safety evaluation of the substance, 3H-perfluoro-3-[(3-methoxy-propoxy)propanoic acid], ammonium salt, CAS No. 958445-44-8, for use in food contact materials. *EFSA Journal* 9: 2182.
- Emmett, E.A., Shofer, F.S., Zhang, H., Freeman, D., Desai, C., Shaw, L.M. (2008) Community exposure to perfluorooctanoate: relationships between serum concentrations and exposure sources. *J. Occup. Environ. Med.* 48: 759-770.
- Frisbee, S.J., Brooks, A.P. Jr, Maher, A., Flensburg, P., Arnold, S., Fletcher, T., Steenland, K., Shankar, A., Knox, S.S., Pollard, C., Halverson, J.A., Vieira, V.M., Jin, C., Leyden, K.M., Ducatman, A.M. (2009) The C8 health project: design, methods, and participants. *Environ. Health Perspect.* 117: 1873-1882.
- Fromme, H., Tittlemier, S.A., Völkel, W., Wilhelm, M., Twardella, D. (2009) Perfluorinated compounds--exposure assessment for the general population in Western countries. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 212: 239-70.
- HBM-K (Kommission Human-Biomonitoring) (2014) Grundsatzpapier zur Ableitung von HBM-Werten. *Bundesgesundheitsbl.* 57: 138–147.
- HBM-K (Kommission Human-Biomonitoring) (2018) Ableitung von HBM-I-Werten für Perfluoroktansäure (PFOA) und Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) – Stellungnahme der Kommission „Humanbiomonitoring“ des Umweltbundesamts. *Bundesgesundheitsbl.* 1: 474-487.
- IARC (International Agency for Research on Cancer) (2017) Some Chemicals Used as Solvents and in Polymer Manufacture. Volume 110, Genf, Switzerland. Online:
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol110/index.php>

- LGL (Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit) (2016). ADONA und andere perfluorierte Substanzen in Blutproben – Human-Biomonitoring und Zeitverlauf in Südbayern. Online:
https://www.lgl.bayern.de/gesundheits/arbeitplatz_umwelt/projekte_a_z/hbm_adona_suedbayern.htm
- LGL (Zentrum für Krebsfrüherkennung und Krebsregistrierung am Bayerischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit) (2017). Perfluorierte Substanzen in Blutproben aus dem Landkreis Altötting: Beurteilung des Risikos für Hoden- und Nierenkrebs in den untersuchten Gemeinden. Online:
https://www.lgl.bayern.de/gesundheits/arbeitplatz_umwelt/chemische_umweltfaktoren/perfluorierte_substanzen_altoetting.htm
- Olsen, G. W., D. C. Mair, C. C. Lange, L. M. Harrington, T. R. Church, C. L. Goldberg, R. M. Herron, H. Hanna, J. B. Nobiletti, J. A. Rios, W. K. Reagen, Ley, C.A. (2017) Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in American Red Cross adult blood donors, 2000-2015. *Environ. Res.* 157: 87-95.
- Post, G.B., Cohn, P.D., Cooper, K.R. (2012) Perfluorooctanoic acid (PFOA), an emerging drinking water contaminant: a critical review of recent literature. *Environ. Res.* 116: 93-117.
- Sochorova, L., L. Hanzlikova, M. Cerna, A. Drgacova, A. Fialova, A. Svarcova, T. Gramblicka, Pulkrabova, J. (2017) Perfluorinated alkylated substances and brominated flame retardants in serum of the Czech adult population. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 220(2 Pt A): 235-243.
- Stahl, T., Mattern, D., Brunn, H. (2011) Toxicology of perfluorinated compounds. *Environ. Sci. Europe* 2011, 23:38.
- Steenland K, Fletcher T, Savitz DA. (2010) Epidemiologic evidence on the health effects of perfluorooctanoic acid (PFOA). *Environ. Health Perspect.* 118: 1100-1108.
- UBA (Umweltbundesamt) (2016) Fortschreibung der vorläufige Bewertung von Per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) im Trinkwasser. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission am 20.09.2016 Online:
http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/bewertung_der_konzentrationen_von_pfc_im_trinkwasser_-_endfassung.pdf