

Ergebnisse der PFAS-Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt 2023

Abschlussbericht



Baden-Württemberg
Ministerium für Soziales,
Gesundheit und Integration



Landesgesundheitsamt
Baden-Württemberg

Wir danken allen an der Blutkontrolluntersuchung teilnehmenden Personen für ihre Bereitschaft, diese Untersuchung zu unterstützen. Ein besonderer Dank gebührt auch den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Gesundheitsamtes Rastatt, der PFAS-Geschäftsstelle im Landratsamt Rastatt, Frau Margarita Beresowski und ihren Kolleginnen im Labor des Landesgesundheitsamtes für die Aufbereitung der Blutproben, sowie den ehemaligen Mitarbeiterinnen und dem ehemaligen Mitarbeiter des Landesgesundheitsamtes Frau Prof. Dr. Zöllner, Frau Horras-Hun und Herrn Brosch. Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Labors des Instituts für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin in Erlangen danken wir für die sorgfältige Analyse der Blutproben. Allen Expertinnen und Experten, die das Landesgesundheitsamt bei der Planung, Durchführung und Auswertung der Blutkontrolluntersuchungen im Landkreis sachkundig und engagiert beraten haben, gilt ebenfalls ein besonderer Dank.

Impressum

Ministerium für Soziales, Gesundheit und Integration
Baden-Württemberg
Landesgesundheitsamt
Nordbahnhofstraße 135
70191 Stuttgart
<https://www.gesundheitsamt-bw.de/>

Januar 2026

Projektleitung: Dr. Elisabeth Aichinger

Bericht: Dr. Katharina Schmid, Dr. Iris Kompauer, Dominik Krüger und Prof. Dr. Thomas Göen (IPASUM Erlangen)

Haftungsausschluss

Die Broschüre wurde nach bestem Wissen und Gewissen sorgfältig zusammengestellt und geprüft. Es wird jedoch keine Gewähr – weder ausdrücklich noch stillschweigend – für die Vollständigkeit, Richtigkeit, Aktualität und Qualität der Informationen Dritter in der Broschüre selbst oder ggf. für Verweise bzw. Inhalte auf verlinkte Internetseiten einschließlich deren Verfügbarkeit übernommen. In keinem Fall wird für Schäden, die sich aus der Verwendung der abgerufenen Informationen ergeben, eine Haftung übernommen. Mit den Verweisen bzw. Links auf Internetseiten Dritter wird lediglich der Zugang zur Nutzung von Inhalten vermittelt. Für fehlerhafte, unvollständige oder illegale Inhalte und für Schäden, die aus der Nutzung entstehen, haftet allein der Anbieter der Seite, auf welche verwiesen wurde.

Mitglieder des Expertenkreises zur Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt

(in alphabetischer Reihenfolge)

Dr. Klaus Abraham	Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin
Andreas Adam	Bürgerinitiative „ <i>Sauberes Trinkwasser für Kuppenheim</i> “
Stefan Brockmann	Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg (seit 2019)
Prof. Dr. Hermann Fromme	Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, München
Prof. Dr. Matthias Greiner	Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin
PD Dr. Jürgen Hölzer	Ruhr-Universität Bochum, Bochum
Bernd Haller	Regierungspräsidium Karlsruhe, Stabsstelle PFAS
Prof. Dr. Gottfried Roller	Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg (seit 2021)
Dr. Peter Schäfer	Fachbereich Gesundheit, Mannheim
Dr. Eva Schultz	Gesundheitsamt, Landratsamt Rastatt (seit 2020)
Dr. Ulrich Schumann	Bürgerinitiative „ <i>Sauberes Trinkwasser für Kuppenheim</i> “
Reiner Söhlmann	Landratsamt Rastatt, Rastatt

Inhalt

Mitglieder des Expertenkreises zur Blutkontrolluntersuchung im Landkreis

	Rastatt	3
1	Hintergrund der Untersuchung	6
1.1	Ausgangssituation	6
1.2	Was sind PFAS?	8
1.3	Bewertungsgrundlagen - HBM-Werte, Referenzwerte und BAT-Werte	10
1.3.1	Was versteht man unter Humanbiomonitoring-Werten (HBM-I-Wert und HBM-II-Wert)?	10
1.3.2	Was bedeutet eine Überschreitung von HBM-Werten bei PFOA und PFOS?	11
1.3.3	Was sind Referenzwerte?	11
1.3.4	Was bedeutet eine Überschreitung von Referenzwerten bei PFOA und PFOS?	12
1.3.5	Was ist ein BAT-Wert?	13
2	Untersuchungsplan und Methodik.....	14
2.1	Ziele der PFAS-Blutkontrolluntersuchungen 2018, 2020 und 2023	14
2.2	Untersuchungsdesign	15
2.3	Ablauf der Untersuchungen	17
2.4	Labormethoden	19
2.5	Statistische Methoden	21
3	Ergebnisse.....	23
3.1	Beschreibung der untersuchten Gruppen nach Alter und Geschlecht.....	24
3.2	Auswertung der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma	28
3.2.1	Beschreibung der PFOA-Konzentrationen in den Gruppen A, B und C	28
3.2.2	Vergleich der Histogramme der PFOA-Konzentrationen in den drei Gruppen.....	34
3.2.3	PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit vom früheren Trinkwasserkonsum und von der untersuchten Gruppe.....	36
3.2.4	Vergleich der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht.....	39
3.2.5	Vergleich des Trinkwasserkonsums zwischen Männern und Frauen	45
3.2.6	Analyse der individuellen Veränderungen der PFOA-Konzentrationen von Personen, die an zwei oder drei Untersuchungen teilgenommen haben.....	48
3.3	Auswertung der PFOS-Konzentrationen im Blutplasma nach Gruppen	52
3.4	Auswertung weiterer PFAS im Blutplasma	58
4	Diskussion	62
4.1	Vergleich mit anderen PFAS-Schadensfällen und Hintergrundbelastungen.....	64

4.1.1	PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit vom früheren Trinkwasserkonsum und von der untersuchten Gruppe.....	70
4.1.2	Vergleich der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht.....	70
4.1.3	Auswertung der PFOS- und weiterer PFAS-Konzentrationen im Blutplasma nach Gruppen	73
5	Zusammenfassung	75
6	Literatur.....	77
7	Abkürzungsverzeichnis	80
8	Anhang	81
8.1	PFOA-Konzentrationen von Teilnehmern, die an zwei oder drei Untersuchungen teilgenommen haben	81
8.2	Vergleich der Histogramme der PFOA-Konzentrationen in den drei Gruppen.....	83
8.3	PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit vom früheren Trinkwasserkonsum und von der untersuchten Gruppe.....	86
8.4	PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht	89
8.5	Scattergramme.....	92
8.6	PFOS-Konzentrationen im Blutplasma	96
8.7	Vergleich der Histogramme der PFOS-Konzentrationen in den drei Gruppen	98
8.8	Weitere PFAS	103
8.8.1	Perfluorheptansäure (PFHpA)	104
8.8.2	Perfluornonansäure (PFNA)	106
8.8.3	Perfluordecansäure (PFDA).....	108
8.8.4	Perfluorundecansäure (PFUnA).....	110
8.8.5	Perfluorunhexansulfonsäure (PFHxS).....	112
8.8.6	Perfluorunheptansulfonsäure (PFHpS)	114
8.9	Fragebogen	116
8.10	Wohnortprotokoll	122

1 Hintergrund der Untersuchung

1.1 Ausgangssituation

Im Raum Rastatt und dem Stadtkreis Baden-Baden wurden bis 2008 mit per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS; siehe Kapitel 1.2) belastete Komposte auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht. Dies führte zu einer Belastung der Böden, des Grund- und damit auch des Trinkwassers. Die Trinkwasserbelastung wurde nach Bekanntwerden im Jahr 2013 durch weitreichende Maßnahmen wie etwa die Außerbetriebnahme einzelner Brunnen, spezifische Aufbereitung des Trinkwassers sowie die Entwicklung eines neuen Entnahmemanagements mit dem Aufbau neuer Verbundlösungen und der Erschließung neuer, unbelasteter Brunnen deutlich gesenkt. Die quartalsmäßig in öffentlichen Wasserversorgungen gemessenen PFAS-Konzentrationen liegen derzeit bis auf ein Wasserwerk, in dem bis Ende 2025 eine Aktivkohlereinigung etabliert wurde, unterhalb der neuen Grenzwerte der Trinkwasserverordnung für PFAS-Verbindungen. Die Regelungen zu PFAS in der Trinkwasserverordnung sind am 24. Juni 2023 in Kraft getreten. Auch wenn die neuen Grenzwerte erst ab dem 12. Januar 2026 bzw. ab dem 12. Januar 2028 gelten, empfiehlt das Umweltbundesamt seit Juni 2024 die genannten Grenzwerte sowie weitere Konzentrationen für einzelne PFAS-Verbindungen zur Bewertung von Trinkwasser (UBA, 2024).

In den Jahren 2015 und 2016 wurden bei einigen Personen aus dem betroffenen Gebiet Blutkonzentrationen von Perfluorooctansäure (PFOA) zwischen 12 und 64 µg/l gemessen. Da im Rahmen dieser von der Bürgerinitiative „*Sauberes Trinkwasser für Kuppenheim e.V.*“ in Auftrag gegebenen Blutuntersuchungen auf PFAS nur wenige Blutproben untersucht wurden, konnte die Verteilung der PFOA-Werte in der betroffenen Bevölkerung auf dieser Basis nicht zuverlässig eingeschätzt und bewertet werden.

Das Landesgesundheitsamt wurde vor diesem Hintergrund im Jahr 2017 vom Ministerium für Soziales und Integration Baden-Württemberg (zwischenzeitlich Ministerium für Soziales, Gesundheit und Integration) beauftragt, eine Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt zu konzipieren und in Kooperation mit dem Gesundheitsamt Rastatt durchzuführen. Das Studiendesign wurde vor Beginn der Untersuchung mit einem Expertenkreis abgestimmt und konsentiert. Aufgrund einer Umstrukturierung ist das Landesgesundheitsamt seit 1. Januar

2022 als Abteilung 7 in das Ministerium für Soziales, Gesundheit und Integration Baden-Württemberg eingegliedert. Die dritte und finale Blutkontrolluntersuchung wurde wie geplant in Kooperation mit dem Gesundheitsamt Rastatt durchgeführt.

Wie bereits bei der zweiten PFAS-Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt im Jahr 2020 (LGA BW, 2021) erfolgt auch bei der dritten PFAS-Blutkontrolluntersuchung 2023 eine Beurteilung im Hinblick auf mögliche Folgen für die Gesundheit anhand der von der Kommission Human-Biomonitoring (HBM-Kommission) des Umweltbundesamtes festgelegten HBM-I- und HBM-II-Werte für PFOA und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) (UBA, 2020a; UBA, 2018). Grundlage für die Ableitung der HBM-II-Werte für PFOA und PFOS waren Effekte auf Geburtsgewicht, Fertilität, Antikörperbildung, Cholesterin-Konzentration und Diabetes mellitus Typ 2.

Um eine breitere Übersicht über die Belastung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer mit PFAS zu erhalten, wurden in allen drei PFAS-Blutkontrolluntersuchungen 2018, 2020 und 2023 neben PFOA und PFOS auch weitere PFAS-Verbindungen untersucht: Perfluorpentansäure (PFPeA), Perfluorhexansäure (PFHxA), Perfluorheptansäure (PFHpA), Perfluornonansäure (PFNA), Perfluordekansäure (PFDA) Perfluorundekansäure (PFUnA), Perfluordodekansäure (PFDoA), Perfluorbutansulfonsäure (PFBS), Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) und Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS) (siehe Abbildung 1.1 in Kapitel 1.2). Für diese PFAS-Verbindungen liegen derzeit keine Referenzwerte und keine Humanbiomonitoring-Werte im menschlichen Blutplasma vor.

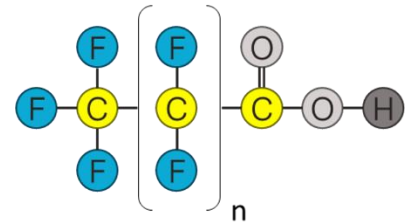
In den letzten Jahren hat sich die Abkürzung „PFAS“ sowohl in der deutschsprachigen Literatur als auch beim behördlichen Handeln in Bezug auf den Schadensfall im Raum Rastatt durchgesetzt. Um mögliche Irritationen oder Verwechslungen zu vermeiden, wird im Gegensatz zu den ersten beiden Berichten der „PFC-Blutkontrolluntersuchungen“ (LGA BW, 2019 und LGA BW, 2021) in diesem Bericht die Abkürzung „PFAS“ statt „PFC“ (per- und polyfluorierte Chemikalien) verwendet.

1.2 Was sind PFAS?

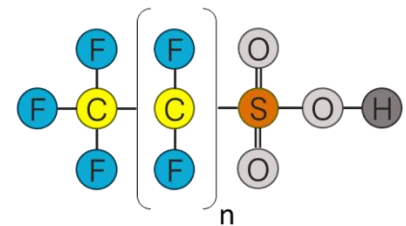
Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen sind industriell hergestellte organische Verbindungen, welche aufgrund ihrer technischen Eigenschaften (z.B. wasser-, fett- und schmutzabweisend) in vielen industriellen Prozessen und Verbraucherprodukten eingesetzt werden. Bei diesen Verbindungen sind die am Kohlenstoff gebundenen Wasserstoffatome vollständig (perfluoriert) oder teilweise (polyfluoriert) durch Fluoratome ersetzt (siehe Abbildung 1.1; BfR, 2023; UBA, 2020b; Marquardt et al. 2019). Diese Kohlenstoff-Fluor-Verbindung ist äußerst stabil. Diese Stabilität ist einerseits sehr attraktiv für die Anwendung in Produkten, andererseits führt sie dazu, dass sich PFAS in der Umwelt und im Menschen anreichern können. In der Stoffgruppe der per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen gibt es mehr als 10.000 verschiedene Verbindungen, von denen bei 4730 Verbindungen die chemische Struktur bekannt ist (BfR, 2023). Es wird zwischen kurzkettigen PFAS (weniger als sechs bis sieben Kohlenstoffatome z. B. Perfluorbutansulfonsäure [PFBS], Perfluorhexansäure [PFHxA]) und langkettigen PFAS (z. B. PFOS, PFOA) unterschieden. Zu den bekanntesten Verbindungen zählen PFOA und PFOS, welche seit den 1950er Jahren hergestellt und verwendet wurden (UBA, 2020b).

Verschiedene PFAS werden unter anderem in der EU-Verordnung 2019/1021 (EU-POP-Verordnung; englisch: *persistent organic pollutants* - persistente organische Schadstoffe) und der Stockholm-Konvention (Übereinkunft über völkerrechtlich bindende Verbots- und Beschränkungsmaßnahmen für bestimmte langlebige organische Schadstoffe) reguliert. So wurden beispielsweise PFOA, ihre Salze und Vorläuferverbindungen im Mai 2019 in den Anhang A der Stockholm-Konvention aufgenommen, wodurch die Verwendung bis auf bestimmte Ausnahmen Ende 2020 weltweit verboten wurde. Die Umsetzung des Verbots in Europäisches Recht erfolgte in der EU-Verordnung 2020/784 vom 8. April 2020 (UBA, 2025a; EU-Verordnung 2020/784, 2020). Bereits 2010 wurde PFOS in die Verbotsliste der Stockholm-Konvention aufgenommen. Bis auf bestimmte Ausnahmen ist die Verwendung von PFOS gemäß der EU-Verordnung 2019/1021 verboten (UBA, 2025a; EU-Verordnung 2019/1021, 2019).

Perfluorcarbonsäuren	Anzahl C- Atome	Anzahl (n) der CF ₂ -Gruppen
Perfluorpentansäure (PFPeA)	5	3
Perfluorhexansäure (PFHxA)	6	4
Perfluorheptansäure (PFHpA)	7	5
Perfluoroctansäure (PFOA)	8	6
Perfluornonansäure (PFNA)	9	7
Perfluordekansäure (PFDA)	10	8
Perfluorundekansäure (PFUnA)	11	9
Perfluordodekansäure (PFDoA)	12	10



Perfluorsulfonsäuren	Anzahl C- Atome	Anzahl (n) der CF ₂ - Gruppen
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	4	3
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	6	5
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	7	6
Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	8	7



Beispiele:

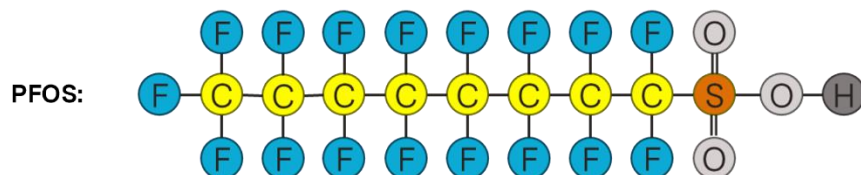
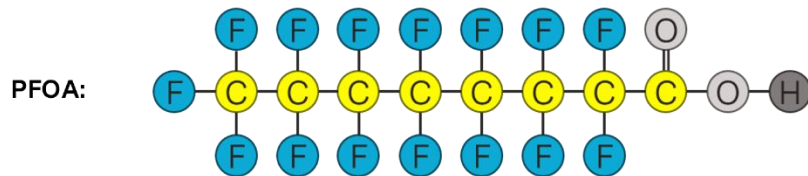


Abbildung 1.1: Überblick über die untersuchten PFAS mit vereinfachter Strukturformel. Aufgeführt sind die Perfluorcarbonsäuren und Perfluorsulfonsäuren, welche im Blutplasma der Untersuchungsteilnehmer analysiert wurden.

1.3 Bewertungsgrundlagen - HBM-Werte, Referenzwerte und BAT-Werte

Zur Erleichterung der Einordnung der in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse werden die Begriffe Humanbiomonitoring-Werte (HBM-I-Wert und HBM-II-Wert), Referenzwert und Biologischer Arbeitsstoff-Toleranzwert (BAT-Wert) in Tabelle 1.1 zusammengefasst und anschließend kurz erläutert.

Tabelle 1.1: Überblick über Beurteilungswerte für den Menschen

Beurteilungswert	Population	PFOA	PFOS	Untersuchungsmedium	Literatur
HBM-I (2018)	Allgemeinbevölkerung	2 µg/l	5 µg/l	Blutplasma	UBA, 2018
HBM-II (2020)	Allgemeinbevölkerung	10 µg/l	20 µg/l	Blutplasma	UBA, 2020a
	Frauen im gebärfähigen Alter	5 µg/l	10 µg/l	Blutplasma	
Referenzwert (Bezugsjahr 2003-2007)	Frauen	10 µg/l	20 µg/l	Blutplasma	UBA, 2021
	Männer	10 µg/l	25 µg/l	Blutplasma	
Referenzwert (Bezugsjahr 2014-2017)	Kinder (Jungen und Mädchen 3-17 Jahre)	3 µg/l	5 µg/l	Blutplasma	UBA, 2021
BAT-Wert	Beschäftigte	5 mg/l	15 mg/l	Serum	DFG, 2025

HBM-I und HBM-II = Humanbiomonitoring-Werte I und II

BAT = Biologischer Arbeitsstoff-Toleranzwert

1.3.1 Was versteht man unter Humanbiomonitoring-Werten (HBM-I-Wert und HBM-II-Wert)?

Der **HBM-I-Wert** entspricht der Konzentration eines Stoffes in einem Körpermedium, bei deren Unterschreitung nach dem aktuellen Stand der Bewertung durch die HBM-Kommission nicht mit einer gesundheitlichen Beeinträchtigung zu rechnen ist. Der HBM-I-Wert stellt einen lebenslangen Vorsorgewert dar. Er definiert jedoch keine Schwelle zur gesundheitlichen Gefährdung. Die Kommission Human-Biomonitoring am Umweltbundesamt hat folgende HBM-I-Werte festgelegt (UBA, 2018): für PFOA 2 µg/l Blutplasma und für PFOS 5 µg/l Blutplasma.

Der **HBM-II-Wert** entspricht der Konzentration eines Stoffes in einem Körpermedium, bei deren Überschreitung nach Einschätzung der HBM-Kommission eine für die Betroffenen als relevant anzusehende gesundheitliche Beeinträchtigung grundsätzlich möglich ist. Bezüglich der Überschreitung von HBM-II-Werten für PFOA- und PFOS hat die HBM-Kommission noch

den folgenden Zusatz formuliert: *"Es muss aber nicht unbedingt bei solchen Konzentrationen zu einer gesundheitlichen Beeinträchtigung kommen."* (UBA, 2020a).

Die Kommission Human-Biomonitoring am Umweltbundesamt hat für PFOA und PFOS folgende HBM-II-Werte festgelegt (UBA, 2020a): für PFOA 10 µg/l Blutplasma und für PFOS 20 µg/l Blutplasma. Für Frauen im gebärfähigen Alter liegen die HBM-II-Werte für PFOA bei 5 µg/l Blutplasma und für PFOS bei 10 µg/l.

1.3.2 Was bedeutet eine Überschreitung von HBM-Werten bei PFOA und PFOS?

Bei einer Überschreitung des HBM-I-Wertes ist noch keine unmittelbare Gesundheitsgefährdung anzunehmen. Bei PFOA wird eine Überschreitung des HBM-I-Wertes auch in Gruppen ohne zusätzliche PFAS-Belastung bei vielen Personen beobachtet, da der HBM-I-Wert in der Größenordnung des Medians der Verteilung in nichtexponierten Bevölkerungsgruppen liegt.

Bei einer Überschreitung des HBM-II-Wertes wird empfohlen, eine Kontrollmessung vorzunehmen und gegebenenfalls spezifische Expositionsquellen zu erfassen und zu reduzieren, soweit diese erkennbar sind. Laut HBM-Kommission besteht *"kein Anlass, bei Überschreitungen des HBM-II-Wertes ohne Vorliegen weiterer Risikofaktoren oder Vorerkrankungen die Bestimmung klinisch-chemischer Messgrößen zu empfehlen. Versuche, die Ausscheidung der Verbindungen PFOA oder PFOS zu beschleunigen, sollten aufgrund fehlender geeigneter Methoden und mangels medizinischer Begründung unterbleiben."* (UBA, 2020a)

1.3.3 Was sind Referenzwerte?

Referenzwerte für chemische Stoffe im Blut sind Werte, die durch Auswertung einer größeren Stichprobe von entsprechenden Messwerten aus einer bestimmten Bevölkerungsgruppe mit Hilfe statistischer Kennwerte (häufig 95. Perzentile) ermittelt werden. Es handelt sich dabei um rein statistisch definierte Werte, welche die höchste Konzentration dieses Stoffes im Blut

für 95 % dieser Bevölkerungsgruppe zum Zeitpunkt der Durchführung der Untersuchung beschreiben. Höherliegende Werte treten bei 5 % der Bevölkerung auf.

Die Referenzwerte spiegeln die Hintergrundbelastung in der Allgemeinbevölkerung wider, die keiner beruflichen Schadstoffexposition ausgesetzt ist.

Die Referenzwerte für PFOA und PFOS im Blutplasma von Erwachsenen in Deutschland wurden vom Umweltbundesamt basierend auf Daten aus dem Zeitraum 2003-2007 ermittelt (UBA, 2021, UBA, 2009). Die Referenzwerte liegen für PFOA bei 10 µg/l Blutplasma (Männer und Frauen) und für PFOS bei 20 µg/l Blutplasma (Frauen) bzw. bei 25 µg/l Blutplasma (Männer). Für Kinder (Jungen und Mädchen, 3 - 17 Jahre) in Deutschland wurden auf Basis der aktuellen Daten der GerES V-Studie des Umweltbundesamtes (Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen) neue Referenzwerte abgeleitet: PFOA (3 µg/l) und PFOS (5 µg/l) (UBA, 2021).

1.3.4 Was bedeutet eine Überschreitung von Referenzwerten bei PFOA und PFOS?

Die Überschreitung eines Referenzwertes bedeutet eine im Vergleich zur Referenzpopulation erhöhte Konzentration eines Stoffes. Da es sich bei Referenzwerten für chemische Stoffe in einem Körpermedium (z. B. im Blut oder Urin) im Allgemeinen um rein statistisch definierte Werte handelt (siehe Kapitel 1.2.3), kommt diesen Werten per se noch keine gesundheitliche Bedeutung zu.

Das heißt, eine Überschreitung von Referenzwerten ist nicht notwendigerweise mit einer gesundheitlichen Gefährdung verbunden und eignet sich nicht zur toxikologischen Beurteilung. Eine Überschreitung des Referenzwertes ist jedoch ein Hinweis, dass eine individuelle Belastung vorliegen könnte und daher (nach einer Wiederholungsmessung) nach den Ursachen gesucht werden sollte. In der zur Definition der Referenzwerte untersuchten (Normal-)Bevölkerung liegt die Wahrscheinlichkeit für eine Überschreitung in den meisten Fällen bei etwa fünf Prozent. Auch bezüglich der Referenzwerte für Kinder schreibt zusätzlich das UBA:

„Wichtig ist hierbei, dass Referenzwerte statistisch abgeleitet sind und keine Aussage über die Wirkung gemessener Stoffe oder deren Metaboliten zulassen.“ (UBA, 2025b).

1.3.5 Was ist ein BAT-Wert?

Der Biologische Arbeitsstoff-Toleranzwert (BAT-Wert) ist ein Grenzwert und stellt die mittlere arbeitsmedizinisch-toxikologisch abgeleitete Konzentration eines Arbeitsstoffes im biologischen Material (z. B. Blut oder Urin) dar, bei der im Allgemeinen die Gesundheit einer beschäftigten Person auch bei wiederholter und langfristiger Exposition nicht beeinträchtigt wird. In der Regel wird dabei eine Arbeitsstoffbelastung über die Lebensarbeitszeit zugrunde gelegt (DFG, 2025). Die BAT-Werte gelten nur für gesunde und im erwerbsfähigen Alter befindliche Personen und berücksichtigen keine besonders sensiblen Personengruppen.

Die BAT-Werte liegen für PFOA bei 5 mg/l Blutserum (d.h. bei 5000 µg/l) und für PFOS bei 15 mg/l Blutserum (DFG, 2025).

2 Untersuchungsplan und Methodik

2.1 Ziele der PFAS-Blutkontrolluntersuchungen 2018, 2020 und 2023

Hauptziel der Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt war die Erhebung und vergleichende Beschreibung von PFOA- und anderen PFAS-Konzentrationen im Blutplasma bei drei Personengruppen:

- **Gruppe A:** zufällig ausgewählte Personen aus Orten, die vor 2014 einer PFAS-Exposition über Trinkwasser ausgesetzt waren
- **Gruppe B:** zufällig ausgewählte Personen aus Orten mit PFAS-Exposition über Belastungen im Boden und Grundwasser, ohne Exposition über Trinkwasser aus der öffentlichen Wasserversorgung
- **Gruppe C:** zufällig ausgewählte Personen aus Orten ohne zusätzliche PFAS-Belastung im Boden oder Trinkwasser.

Hauptzielgröße der Untersuchung war die Konzentration von PFOA im Blutplasma. Neben PFOA wurden auch folgende PFAS im Blutplasma analysiert:

- Perfluorooctansulfonsäure (PFOS),
- Perfluoropentansäure (PFPeA),
- Perfluorhexansäure (PFHxA),
- Perfluorheptansäure (PFHpA),
- Perfluornonansäure (PFNA),
- Perfluordekansäure (PFDA),
- Perfluorundekansäure (PFUnA),
- Perfluordodekansäure (PFDoA),
- Perfluorbutansulfonsäure (PFBS),
- Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS),
- Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS).

Folgende Hauptfragestellungen sollten bei den PFAS-Blutkontrolluntersuchungen 2018, 2020 und 2023 untersucht werden:

1. Wie hoch ist die interne PFAS-Belastung in den drei Gruppen?
2. Kann bei der internen Schadstoffbelastung eine Abhängigkeit von der untersuchten Gruppe festgestellt werden?
3. Wie haben sich die PFOA-Konzentrationen im Blutplasma von 2018 bis 2023 verändert?

2.2 Untersuchungsdesign

Die Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt wurde in drei Gruppen mit je circa 100 zufällig ausgewählten Personen durchgeführt. Die erste Untersuchung fand im Jahr 2018 statt. Um die weitere zeitliche Entwicklung der PFAS-Konzentrationen im Blut der an der Untersuchung teilnehmenden Personen beschreiben und einschätzen zu können, wurde eine zweite Untersuchung im Jahr 2020 und eine letzte Untersuchung im Jahr 2023 durchgeführt. Die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer, die bereits an einer oder zwei Untersuchungen teilgenommen haben, wurden erneut um Teilnahme gebeten (siehe Kapitel 2.3).

Als Studienpopulation waren in allen drei Blutkontrolluntersuchungen die in Kapitel 2.1 genannten drei Gruppen A, B und C vorgesehen. Folgende Untersuchungsorte wurden unter Berücksichtigung der vorliegenden Informationen zur PFAS-Belastung im Trinkwasser, Boden und Grundwasser im Landkreis Rastatt für die drei Gruppen ausgewählt.

- **Gruppe A:** Kuppenheim und Gernsbach-Kernstadt
- **Gruppe B:** Bühl-Weitenung, Sinzheim-Müllhofen, Sinzheim-Halberstung, Sinzheim-Schiftung
- **Gruppe C:** Bietigheim, Durmersheim, Ötigheim, Steinmauern, Au am Rhein, Elchesheim-Illingen

Abbildung 2.1 bietet einen Überblick über die Untersuchungsgebiete im Landkreis Rastatt.

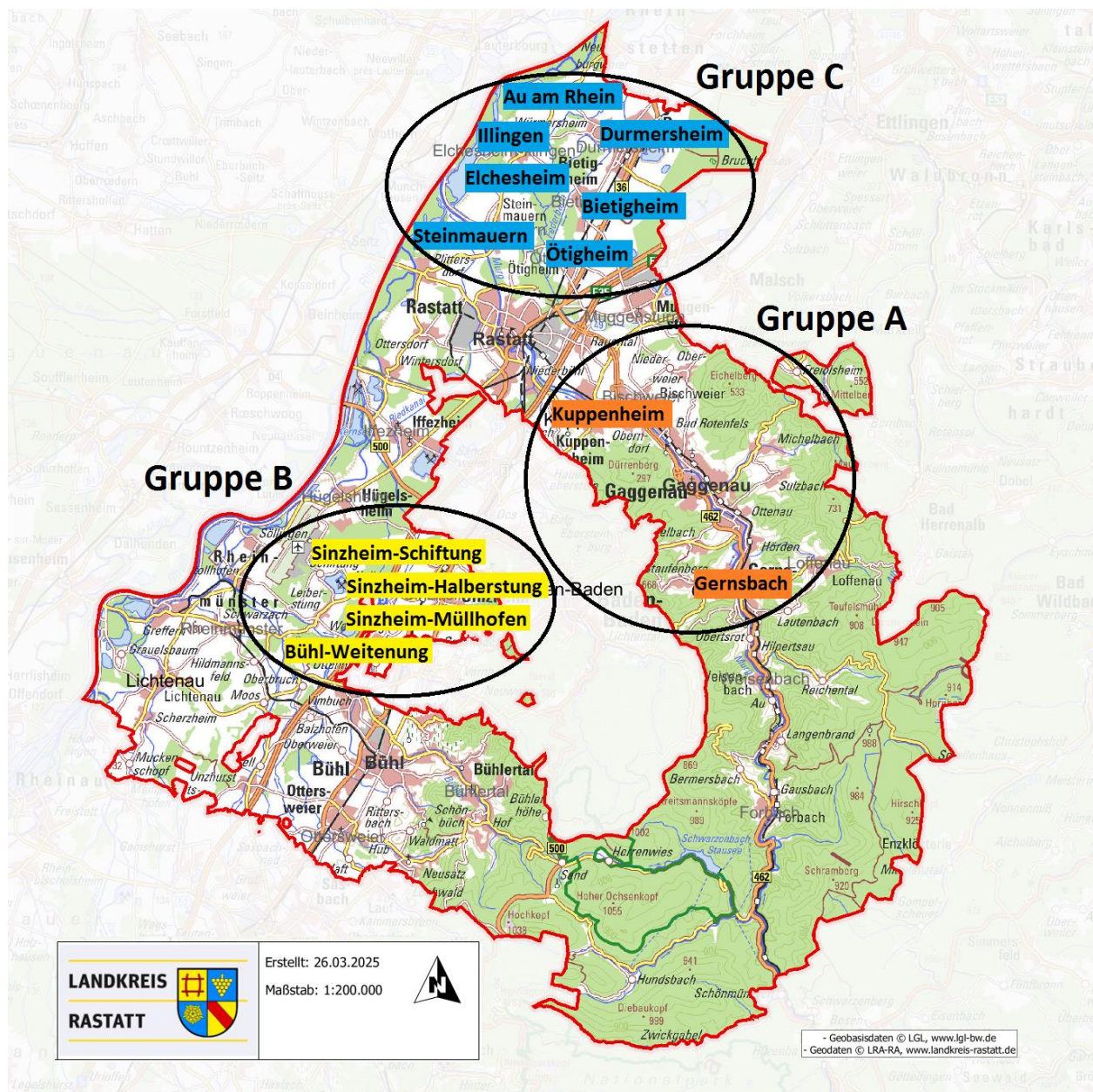


Abbildung 2.1: Karte der Untersuchungsgebiete der Gruppen A, B und C. Hervorgehoben ist der Landkreis Rastatt sowie die Wohnorte der Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Blutkontrolluntersuchungen.

Tabelle 2.1 gibt eine zusammenfassende Übersicht über die Studienpopulation und die Untersuchungsorte.

Tabelle 2.1: Übersicht über die Studienpopulation und die Untersuchungsorte

Studienpopulation		Untersuchungsorte
Gruppe	Definition der Gruppe	
Gruppe A	zufällig ausgewählte Personen aus Orten, die vor 2014 einer PFAS-Exposition über Trinkwasser ausgesetzt waren	Kuppenheim und Gernsbach-Kernstadt
Gruppe B	zufällig ausgewählte Personen aus Orten mit PFAS-Exposition über Belastungen im Boden und Grundwasser, ohne Exposition über Trinkwasser aus der öffentlichen Wasserversorgung	Bühl-Weitenung, Sinzheim-Müllhofen, Sinzheim-Halberstung, Sinzheim-Schiftung
Gruppe C	zufällig ausgewählte Personen aus Orten ohne zusätzliche PFAS-Belastung im Boden oder Trinkwasser	Bietigheim, Durmersheim, Ötigheim, Steinmauern, Au am Rhein, Elchesheim-Illingen

Für die Blutkontrolluntersuchungen wurden Zufallsstichproben aus den Einwohnermelderegistern mit folgenden Kriterien gezogen: Vor Beginn der ersten Untersuchungsrunde 2018 sollten die ausgewählten Personen seit mindestens zehn Jahren im jeweiligen Untersuchungsort wohnen. Das Alter der Teilnehmerinnen und Teilnehmer sollte zwischen 30 und 60 Jahren liegen. Durch die Zufallsauswahl wurden repräsentative Stichproben angestrebt, da die Untersuchungsergebnisse auf die entsprechenden Bevölkerungsgruppen übertragbar sein sollten.

Die Teilnahme an der Blutkontrolluntersuchung erfolgte freiwillig. Bei Teilnahmebereitschaft wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer gebeten, in einem Fragebogen unter anderem Angaben zu Alter und Geschlecht sowie Fragen zur Ernährung und zum Trinkwasserkonsum auszufüllen (siehe Anhang 8.9). In einem Wohnortprotokoll wurden Angaben zum Wohnort am Untersuchungstag sowie die Wohndauer abgefragt (siehe Anhang 8.10).

2.3 Ablauf der Untersuchungen

Vor Beginn der Untersuchung 2018 wurde die Zustimmung der ausgewählten Gemeinden zur Ziehung der Zufallsstichproben aus den Einwohnermelderegistern schriftlich eingeholt. Die zufällige Auswahl aus der Bevölkerung in den für die Untersuchung festgelegten Orten wurde

vom Zweckverband Kommunale Informationsverarbeitung Baden-Franken (KIVBF) vorgenommen. Die ausgewählten Adressen wurden von dort an das Gesundheitsamt Rastatt geschickt, das die Einladungen zur Untersuchung mit den Fragebögen per Post versandte und bei Teilnahmebereitschaft die Termine zur Blutabnahme organisierte. Im Jahr 2020 wurden alle Personen, die 2018 an der Blutkontrolluntersuchung teilgenommen und ihr Einverständnis zur erneuten Kontaktaufnahme gegeben hatten, erneut um ihre Teilnahme gebeten. Um Teilnahmeausfälle auszugleichen, wurden 2020 nochmals Zufallsstichproben aus den Einwohnermeldeeregistern der in Tabelle 2.1 genannten Orte gezogen und die entsprechenden Personen zur Teilnahme an der Blutkontrolluntersuchung eingeladen. Bedingt durch Lockdown-Maßnahmen während der COVID-19-Pandemie war der mögliche Untersuchungszeitraum im Jahr 2020 für die zweite Blutkontrolluntersuchung sehr stark eingeschränkt. Für die Blutkontrolluntersuchung 2023 wurden wiederum alle Personen, die an den Blutkontrolluntersuchungen in den Jahren 2018 und/oder 2020 teilgenommen und einer erneuten Kontaktaufnahme zugestimmt hatten, erneut zur Teilnahme eingeladen. Da eine ausreichende Teilnehmerzahl erreicht werden konnte, wurde keine erneute Zufallsstichprobe gezogen.

Der Ablauf der Blutkontrolluntersuchungen war in allen drei Untersuchungen identisch: Die Abnahme der Blutproben erfolgte durch Mitarbeiterinnen des Gesundheitsamtes Rastatt. Die Proben wurden an das Landesgesundheitsamt geschickt, wo die Zentrifugierung (Auftrennung in feste und flüssige Bestandteile), die Aliquotierung (die Aufteilung der Proben in Teilmengen) für die Laboranalysen und die Rückstellproben sowie der Versand an das beauftragte Labor in Erlangen erfolgte. Im Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin (I-PASUM) der Universität Erlangen-Nürnberg wurden die Analysen der Proben und die Bestimmung der im Untersuchungsplan festgelegten Laborparameter (siehe Kapitel 2.4) durchgeführt.

Am Tag der Blutabnahme wurden von den Mitarbeiterinnen des Gesundheitsamtes Angaben zum Wohnort am Untersuchungstag und die Wohndauer in einem Wohnortprotokoll abgefragt. Die Fragebögen wurden von den an der Untersuchung teilnehmenden Personen im Gesundheitsamt Rastatt abgegeben und von dort an das Landesgesundheitsamt geschickt. Im Landesgesundheitsamt erfolgte die elektronische Erfassung und Plausibilitätsprüfung der Fragebogendaten sowie die Auswertung aller Untersuchungsdaten. Der Versand der

Blutproben, Fragebögen und Wohnortprotokolle der Teilnehmer erfolgte pseudonymisiert. Hierzu wurde jeder Person vom Gesundheitsamt Rastatt eine ID-Nummer zugeordnet, unter welcher die Proben und Daten dann verarbeitet wurden. So wurde sichergestellt, dass Ergebnisse weder im Labor noch im Landesgesundheitsamt mit Einzelpersonen in Verbindung gebracht werden konnten.

Nach abgeschlossener Laboranalyse wurden den Teilnehmerinnen und Teilnehmern ihre persönlichen Ergebnisse über das Gesundheitsamt Rastatt schriftlich und ohne Kenntnisnahme der Ergebnisse seitens des Gesundheitsamtes mitgeteilt und anhand der HBM-Werte eingeordnet.

2.4 Labormethoden

Die Analysen der Blutproben erfolgten sowohl bei den Blutkontrolluntersuchungen 2018 und 2020 als auch bei der Blutkontrolluntersuchung 2023 im Labor des Institutes für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Im Blutplasma wurden die Konzentrationen von PFOA, PFOS, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFDaA, PFBS, PFHxS, PFHpS bestimmt.

Die Bestimmung der PFAS im Blutplasma erfolgte in Anlehnung an ein bereits publiziertes Analysenverfahren (Gledhill et al., 2006) auf Basis der Kopplung von Hochleistungsflüssigkeitschromatographie und Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS). Dabei wurden 500 µl Blutplasma mit einer Lösung, die Isotopen-markierte PFAS als interne Standardverbindungen enthält, dotiert und anschließend die Plasmaproteine durch Zugabe von 50 %iger Ameisensäure gefällt.

Danach wurden die PFAS auf einer vorkonditionierten Oasis WAX-Säule extrahiert. Nach Elution mittels methanolischer Ammoniak-Lösung erfolgten eine Volumenkonzentration im Stickstoffstrom und eine Aufnahme der Konzentrate im Laufmittel des LC-MS/MS-Verfahrens (20 mM Ammoniumacetat-Lösung/Methanol 25/75 v/v). Die analytische Bestimmung erfolgte

nach Trennung auf einer Phenomenex Kinetex C18-Säule (2,6 µm Partikel, 150 mm x 4 mm) im API 4000 Triple Quadrupol-Detektor nach Elektrospray-Ionisation im negativen MRM-Modus.

Das Verfahren wurde für die untersuchten Parameter umfassend validiert. Die Angaben zu den diesbezüglichen Bestimmungsgrenzen (LOQ, englisch für *limit of quantification*) und Präzisionsdaten sind in Tabelle 2.2 dargestellt.

Die Qualitätssicherung erfolgte für alle Parameter durch die Mitführung von Qualitätskontrollproben in jeder Analysenserie und Bewertung der Ergebnisse anhand von Qualitätskontrollkarten sowie für die Parameter PFOS und PFOA durch die erfolgreiche Teilnahme am German External Quality Assessment Scheme G-EQUAS (Göen et al., 2012).

Tabelle 2.2: Liste der in der Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt vom Labor bestimmten Parameter mit den jeweiligen Bestimmungsgrenzen [$\mu\text{g/l}$] von 2018, 2020 und 2023 und Präzisionsangaben

Laborparameter	Bestimmungsgrenze Limit of quantification (LOQ)			Präzision von Tag zu Tag
	2018	2020	2023	
Primärvariable:				
Perfluorooctansäure (PFOA)	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	8,4 %* 3,2 %**
Sekundärvariablen:				
Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	5,3 %* 1,7 %**
Perfluoropentansäure (PFPeA)	0,4 $\mu\text{g/l}$	0,3 $\mu\text{g/l}$	0,3 $\mu\text{g/l}$	12,2 %* 2,8 %**
Perfluorhexansäure (PFHxA)	0,4 $\mu\text{g/l}$	0,3 $\mu\text{g/l}$	0,3 $\mu\text{g/l}$	8,7 %* 2,6 %**
Perfluorheptansäure (PFHpA)	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	6,1 %* 4,7 %**
Perfluornonansäure (PFNA)	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	8,8 %* 7,9 %**
Perfluordekansäure (PFDA)	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	8,0 %* 5,4 %**
Perfluorundekansäure (PFUnA)	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	10,1 %* 7,0 %**
Perfluordodekansäure (PFDoA)	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	11,2 %* 11,7 %**
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	k.A. 4,8 %**
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	7,5 %* 3,3 %**
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	0,1 $\mu\text{g/l}$	7,3 %* 8,3 %**

* Präzision für die in den Untersuchungsrounden 2018 und 2020 eingesetzte Analysenmethode

** Präzision für die in der Untersuchungsrunde 2023 eingesetzten Analysenmethode

LOQ = limit of quantification (Bestimmungsgrenze)

2.5 Statistische Methoden

Ziele der statistischen Auswertung waren die Deskription der Verteilungen der PFAS-Konzentrationen in den drei Gruppen sowie die Beantwortung der in Abschnitt 2.1 aufgeführten Fragen, soweit dies anhand der vorliegenden Daten möglich war.

Die Verteilungen der Zielgrößen (PFAS-Konzentrationen) wurden für die gesamte Stichprobe, für jede der drei Gruppen getrennt sowie stratifiziert nach weiteren Einflussgrößen anhand verschiedener Lagemaße charakterisiert: Minimum, Maximum, Quartile (einschließlich des Medians = 2. Quartil) und Mittelwert. Diese Lagemaße werden in Tabellen, Boxplots und weiteren Abbildungen grafisch dargestellt. Zur genaueren Darstellung der Verteilung wurden die bei den Studienteilnehmern gemessenen PFAS-Konzentrationen im Blut in Histogrammen dargestellt. Der vorgesehene Stichprobenumfang sollte gewährleisten, dass die Lage und Streuung der Verteilungen der PFOA-Konzentrationen in den drei Gruppen anhand von Medianen und anderen Quartilen (1. und 3. Quartil) mit einer der Hauptfragestellung zu Gruppenunterschieden entsprechenden Genauigkeit schätzbar sind.

Im Sinne eines explorativen Vorgehens wurden bei den im Blut bestimmten PFAS-Konzentrationen zweiseitige Gruppenvergleiche (Gruppe A vs. C und Gruppe B vs. C) mit dem Wilcoxon-Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Die Aussagekraft dieser Tests ist jedoch begrenzt, da bei der Vielzahl der Vergleiche auch zufallsbedingte ("falsch-positive") Ergebnisse zu erwarten waren.

Mit den PFOA-Konzentrationen wurden geschichtete Analysen in Abhängigkeit von Gruppe, Geschlecht und Alter und der Menge des Trinkwasserkonsums durchgeführt. Bei weiteren Einflussfaktoren wie Gemüse-, Obst-, Fisch- und Wildverzehr oder Kaffeekonsum war die Streuung der meisten Antworten relativ gering und die Besetzungen mehrerer Antwortkategorien zu klein für belastbare geschichtete Auswertungen getrennt nach den drei Gruppen.

Um zeitliche Veränderungen der PFOA-Konzentrationen im Plasma darzustellen, wurden die Konzentrationen aller Teilnehmerinnen und Teilnehmer der jeweiligen Studienabschnitte sowie die Konzentrationen von Teilnehmerinnen und Teilnehmern, die an zwei oder allen drei Abschnitten teilnahmen, deskriptiv miteinander verglichen.

Mit Hilfe des Vorzeichen-Rang-Tests nach Wilcoxon für verbundene Stichproben wurde geprüft, ob sich die PFOA-Konzentrationen im Blut der Teilnehmer im zweiten und dritten Abschnitt der Studie signifikant veränderten.

Alle Analysen wurden mit der Software SAS, Version 9.4 (TS1M8) durchgeführt.

3 Ergebnisse

Die statistische Analyse der Laborergebnisse im Hinblick auf die Hauptfragestellungen (siehe Kapitel 2.1) werden in den folgenden Kapiteln wie folgt dargestellt:

In **Kapitel 3.1** werden zunächst die untersuchten Gruppen A, B und C nach Alter und Geschlecht beschrieben.

Kapitel 3.2 umfasst die Auswertungen mit Schwerpunkt auf den Laborergebnissen zu **PFOA** im Blutplasma (Hauptzielparameter). Hierbei werden zunächst in Kapitel 3.2.1 die PFOA-Konzentrationen in den Gruppen A, B und C sowie deren Änderungen zwischen 2018 bis 2023 beschrieben (Kapitel 3.2.1.1). Anschließend werden die Ergebnisse aller Teilnehmerinnen und Teilnehmer mit den Ergebnissen derjenigen Teilnehmerinnen und Teilnehmer verglichen, die an zwei oder drei Untersuchungen teilgenommen haben (Kapitel 3.2.1.2). Zur näheren Betrachtung der Verteilungen werden die Histogramme der PFOA-Konzentrationen in Kapitel 3.2.2 verglichen. Weiterhin werden die PFOA-Konzentrationen nach der früheren häuslichen Trinkwassermenge getrennt für die drei Gruppen A, B und C analysiert (siehe Kapitel 3.2.3), um zu untersuchen, inwiefern sich ein stärkerer Trinkwasserkonsum auf die PFOA-Blutkonzentrationen ausgewirkt hat. Außerdem werden die individuellen Veränderungen der PFOA-Konzentrationen von Personen, die an zwei oder drei Untersuchungen teilgenommen haben, untersucht (Kapitel 3.2.6). Durch diese Analyse soll ausgeschlossen werden, dass die beobachteten Änderungen der PFOA-Blutkonzentrationen während des Untersuchungszeitraums aufgrund von Wechseln im Teilnehmerkollektiv zustande kamen. Über die Untersuchungsfragen hinaus werden zudem die PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht (Kapitel 3.2.4) sowie der Trinkwasserkonsum zwischen Männern und Frauen verglichen (siehe Kapitel 3.2.5).

In den **Kapiteln 3.3 und 3.4** werden die Konzentrationen von **PFOS** und den **weiteren analysierten PFAS** im Blutplasma nach den drei Gruppen ausgewertet. Für PFOS werden die Ergebnisse zusätzlich mit den Teilnehmerinnen und Teilnehmern verglichen, die an zwei oder drei Untersuchungen teilgenommen haben (siehe Kapitel 3.3.1.1). Zudem werden die Verteilungen der PFOS-Konzentrationen in Histogrammen dargestellt (siehe Kapitel 3.3.1.2).

Der Fokus im vorliegenden Bericht bezieht sich auf die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der dritten Untersuchungsrunde U3 (2023). Zur Beurteilung der Entwicklung der PFOA-Konzentrationen und der weiteren PFAS-Konzentrationen im Blut werden die Ergebnisse mit denjenigen der Untersuchungsunden U1 und U2 (2018 und 2020) verglichen. Ein zusätzlicher Vergleich erfolgt mit den Ergebnissen derjenigen Teilnehmerinnen und Teilnehmer, die an allen drei Untersuchungen ($n_{2018, 2020, 2023}$) oder an zwei Untersuchungen ($n_{2018 \text{ und } 2023}$ sowie $n_{2020 \text{ und } 2023}$) teilgenommen haben (siehe auch Tabelle 3.1 in Kapitel 3.1). Die Ergebnisse der Personen, die an den Untersuchungen in den Jahren 2018 und 2020 teilgenommen haben, wurden in den Berichten „*Ergebnisse der PFC-Blutkontrolluntersuchungen im Landkreis Rastatt 2018*“ und „*Ergebnisse der PFC-Blutkontrolluntersuchungen im Landkreis Rastatt 2020*“ ausführlich diskutiert (LGA BW, 2021; LGA BW, 2019).

3.1 Beschreibung der untersuchten Gruppen nach Alter und Geschlecht

An der dritten Blutkontrolluntersuchung im Jahr 2023 haben insgesamt 266 Personen teilgenommen. Nachdem die Teilnehmerzahl im Jahr 2020 (249 Teilnehmer) aufgrund der COVID-19-Pandemie im Vergleich zur ersten Untersuchungsrunde im Jahr 2018 (insgesamt 348 Teilnehmer) gesunken war, zeigte sich bei der dritten Untersuchungsrunde 2023 wieder ein leichter Anstieg (siehe Tabelle 3.1). Bei der Untersuchung 2023 gehörten 102 Personen zu Gruppe A, 87 Personen zur Gruppe B und 77 Personen zur Gruppe C.

Sechs Personen aus Gruppe A und eine Person aus Gruppe B gaben im Wohnortprotokoll 2023 einen Wohnort außerhalb der drei Untersuchungsgebiete an. Eine Person aus Gruppe B machte 2023 keine Angabe zum Wohnort und eine Person, die 2018 im Untersuchungsgebiet der Gruppe A wohnte, gab 2023 einen Wohnort im Untersuchungsgebiet C an. Ein Ausschluss dieser Personen aus der Untersuchung wurde diskutiert. Da ein Umzug in ein anderes Gebiet aber keine Auswirkungen auf die vergangene PFAS-Exposition hat und der Fokus der dritten Blutkontrolluntersuchung auf der Beobachtung der Veränderung der inneren Belastung nach Abstellen der Trinkwasserexposition lag, wurde auf einen Ausschluss dieser Personen verzichtet. Die betroffenen Teilnehmer wurden bei der Auswertung der dritten Untersuchungsrunde 2023 in der jeweiligen Gruppe belassen, der sie in der ersten Untersuchungsrunde 2018

angehört hatten. Eine gesonderte statistische Auswertung zeigte, dass ein Ausschluss dieser Personen aus der jeweiligen Gruppe keinen nennenswerten Einfluss auf die Gruppenergebnisse hatte.

Insgesamt war die Anzahl der vorliegenden Untersuchungsergebnisse in allen drei Untersuchungsrunden für die Bestimmung des Medians und der anderen Quartile pro Gruppe ausreichend, um relevante Unterschiede zwischen den Gruppen zu beschreiben und darzustellen.

Tabelle 3.1 gibt einen Überblick über die Anzahl der untersuchten Personen in den drei Untersuchungsgruppen in den Jahren 2018, 2020 und 2023 sowie die jeweilige Anzahl von Personen, die nur an einer, an zwei oder an allen drei Untersuchungen teilgenommen haben.

Tabelle 3.1: Anzahl (N_{2018} , N_{2020} , oder N_{2023}) der Personen in den Gruppen A, B und C, die an den Untersuchungen 2018, 2020 und 2023 teilgenommen haben sowie Anzahl (n_x) der Personen, die an einer, zwei oder allen drei Untersuchungen teilgenommen haben.

Teilnehmerzahl	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	insgesamt
N_{2018} gesamt	120	137	91	348
N_{2020} gesamt	101	79	69	249
N_{2023} gesamt	102	87	77	266
$n_{2018, 2020, 2023}$	63	51	44	158
$n_{2018 \text{ und } 2020}$	75	62	47	184
$n_{2018 \text{ und } 2023}$	80	75	62	217
$n_{2020 \text{ und } 2023}$	85	63	59	207
$n_{\text{nur } 2018}$	28	51	26	105
$n_{\text{nur } 2020}$	4	5	7	16
$n_{\text{nur } 2023}$	-	-	-	0

Insgesamt haben an allen drei Untersuchungen (2018, 2020 und 2023) 158 Personen teilgenommen, davon 63 Personen in der Gruppe A, 51 Personen in der Gruppe B und 44 Personen in der Gruppe C (siehe Tabelle 3.1). Die "Wiederteilnahmequoten" an allen drei Untersuchungen lagen bei 63/120 (53 %) in Gruppe A, 51/137 (37 %) in Gruppe B, 44/91 (48 %) in Gruppe C und insgesamt bei 158/348 (45 %). Alle Untersuchungsteilnehmerinnen und -teilnehmer der dritten PFAS-Blutkontrolluntersuchung haben an mindestens einer weiteren PFAS-Blutkontrolluntersuchung teilgenommen. Durch die erneute Teilnahme von Personen

aus den ersten beiden PFAS-Blutkontrolluntersuchungen 2018 und 2020 lagen im Jahr 2023 in den Gruppen A, B und C ausreichend Blutproben vor, um die Zielparameter (Median, 1. und 3. Quartil) mit einer entsprechenden Datenbasis und ausreichenden Anzahl an Beobachtungen zu schätzen. Da für die dritte Untersuchungsrunde keine erneuten Zufallsstichproben gezogen wurden (siehe Kapitel 2.3), gab es keine Personen, die ausschließlich an der dritten Untersuchungsrunde teilgenommen hatten.

Tabelle 3.2 zeigt die Geschlechtsverteilung der Personen, welche an den Untersuchungen 2018, 2020 und 2023 teilgenommen haben. Bei allen drei Blutkontrolluntersuchungen waren insgesamt etwa 60 % der Personen weiblich und 40 % männlich. Genauere Informationen zur Geschlechtsverteilung in den einzelnen Gruppen und Untersuchungsrunden sind in Tabelle 3.2 aufgeführt.

Tabelle 3.2: Geschlechtsverteilung der Personen, die an den Untersuchungen 2018, 2020 und 2023 in den Gruppen A, B und C teilgenommen haben.

Geschlecht	männlich	weiblich
	Anzahl n	Anzahl n
U1 (2018¹)		
Gruppe A	52 (43 %)	68 (57 %)
Gruppe B	54 (39 %)	83 (61 %)
Gruppe C	32 (36 %)	58 (64 %)
Insgesamt	138 (40 %)	209 (60 %)
U2 (2020)		
Gruppe A	39 (39 %)	62 (61 %)
Gruppe B	33 (42 %)	46 (58 %)
Gruppe C	22 (32 %)	47 (68 %)
Insgesamt	94 (38 %)	155 (62 %)
U3 (2023)		
Gruppe A	40 (39 %)	62 (61 %)
Gruppe B	35 (40 %)	52 (60 %)
Gruppe C	25 (32 %)	52 (68 %)
Insgesamt	100 (38 %)	166 (62 %)

¹ eine fehlende Angabe zum Geschlecht bei der Untersuchung 2018

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

In Tabelle 3.3 ist die Verteilung der untersuchten Personen in den Gruppen A, B und C nach Geburtsjahrgängen dargestellt. Entgegen der bisherigen Kategorisierung in die Altersintervalle „30-40 Jahre“, „41-50 Jahre“ und „51-60+ Jahre“, wie dies in den ersten beiden Berichten der Fall war (LGA BW, 2021; LGA BW, 2019), erfolgt die Alterskategorisierung im vorliegenden Bericht nach Jahrgängen: „Jahrgang 1978 und jünger“, „Jahrgänge 1968 bis 1977“ und „Jahrgang 1967 und älter“. Durch diese Art der Kategorisierung findet im Verlauf der drei Untersuchungsrounden aufgrund der Alterung der Kohorte kein Wechsel in höhere Alterskategorien statt, sondern die Teilnehmerinnen und Teilnehmer bleiben aufgrund ihres Geburtsjahrgangs in der gleichen Alterskategorie. Im Verlauf der Untersuchungsrounden ist damit die Verteilung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer in ihrer Alterskategorie sowohl innerhalb der Untersuchungsrounden als auch in den Gruppen A, B und C relativ konstant: ca. 60 % der Teilnehmerinnen und Teilnehmer gehörten zu den „Jahrgängen 1967 und älter“, ca. 30 % zu den „Jahrgängen 1968 bis 1977“ und ca. 10 % zu den „Jahrgängen 1978 und jünger“.

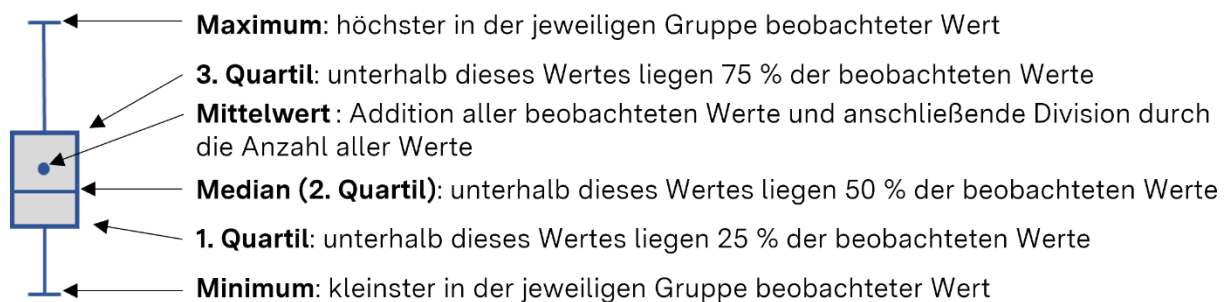
Tabelle 3.3: Verteilung der 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen in den Gruppen A, B und C nach Geburtsjahrgängen

Geburtsjahrgänge	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
	Anzahl n	Anzahl n	Anzahl n
U1 (2018)			
Jahrgang 1978 und jünger	14 (12 %)	18 (13 %)	10 (11 %)
Jahrgänge 1968 bis 1977	35 (29 %)	39 (29 %)	27 (30 %)
Jahrgang 1967 und älter	71 (59 %)	80 (58 %)	54 (59 %)
Insgesamt	120	137	91
U2 (2020)			
Jahrgang 1978 und jünger	13 (13 %)	10 (13 %)	6 (9 %)
Jahrgänge 1968 bis 1977	30 (30 %)	20 (25 %)	21 (30 %)
Jahrgang 1967 und älter	58 (57 %)	49 (62 %)	42 (61 %)
Insgesamt	101	79	69
U3 (2023)			
Jahrgang 1978 und jünger	11 (11 %)	10 (11 %)	9 (12 %)
Jahrgänge 1968 bis 1977	29 (28 %)	19 (22 %)	22 (29 %)
Jahrgang 1967 und älter	62 (61 %)	58 (67 %)	46 (60 %)
Insgesamt	102	87	77

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

3.2 Auswertung der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma

In den folgenden Tabellen und Abbildungen wird die Verteilung der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma durch Lageparameter (Median bzw. zweites Quartil sowie Mittelwert) und Kenngrößen zur Streuung der Einzelwerte (Minimum, Maximum, erstes und drittes Quartil) charakterisiert. Zum besseren Verständnis werden die Fachbegriffe kurz erläutert, welche in den Abbildungen als Boxplot dargestellt werden:



3.2.1 Beschreibung der PFOA-Konzentrationen in den Gruppen A, B und C

Dieser Abschnitt enthält die Ergebnisse der Auswertung zu Verteilungsparametern der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma der im Jahr 2023 untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C im Vergleich zu den Ergebnissen aus den ersten beiden Blutkontrolluntersuchungen 2018 und 2020.

3.2.1.1 Wie hoch war 2023 die interne PFOA-Belastung in den Gruppen A, B und C und wie haben sich die PFOA-Konzentrationen im Blutplasma zwischen 2018 und 2023 verändert?

Abbildung 3.1 veranschaulicht die Mediane, Mittelwerte, Quartile, Minima und Maxima der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma der Teilnehmerinnen und Teilnehmer der drei Untersuchungsrunden 2018, 2020 und 2023. Bereits auf den ersten Blick wird deutlich, dass die PFOA-Konzentrationen in Gruppe A in allen drei Untersuchungsrunden höher liegen als in den Gruppen B und C und dass diese im Vergleich zu 2018 und 2020 weiter deutlich gesunken sind.

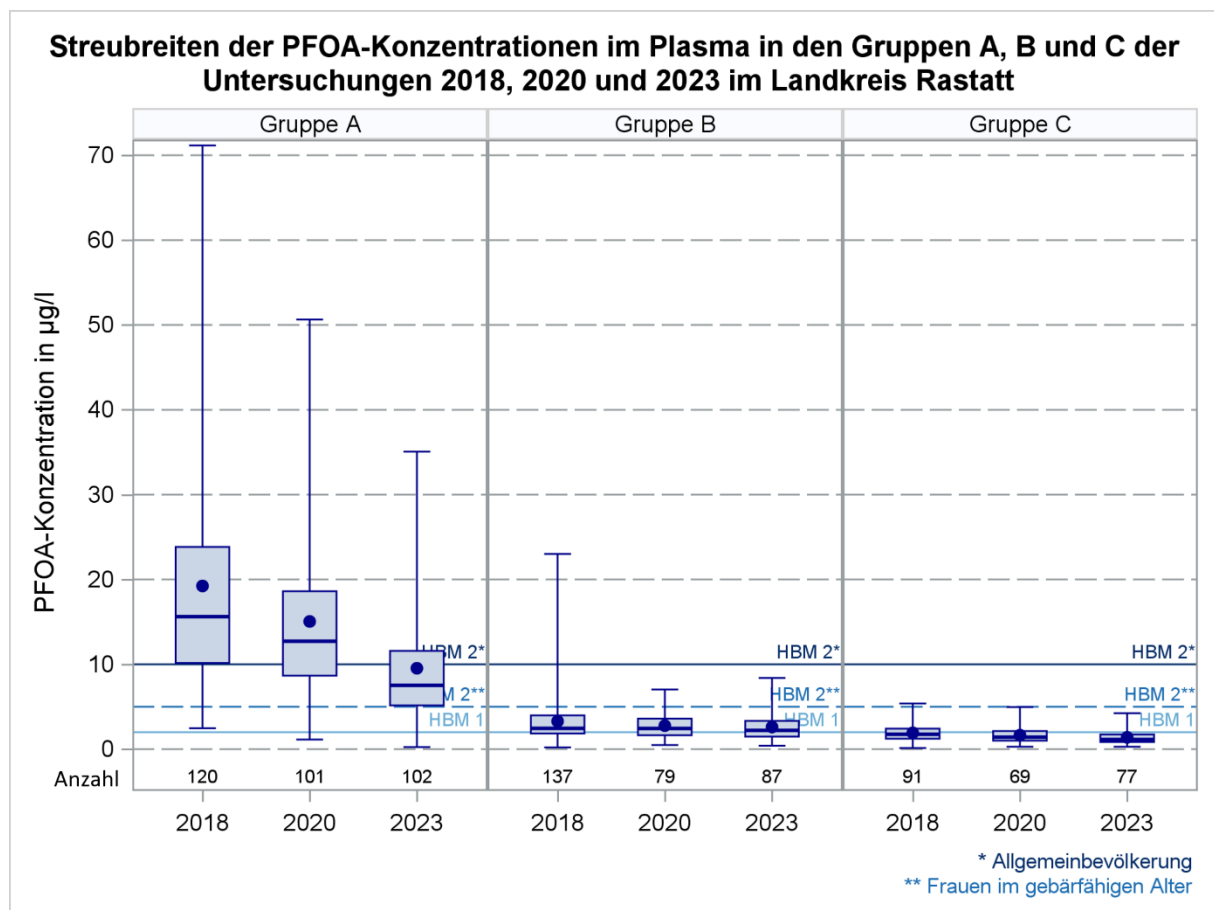


Abbildung 3.1: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma [$\mu\text{g/l}$] von 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C. Hervorgehoben sind der HBM-I-Wert ($2 \mu\text{g PFOA/l}$), der HBM-II-Wert für die Allgemeinbevölkerung ($10 \mu\text{g PFOA/l}$ Blutplasma) sowie der HBM-II-Wert für Frauen im gebärfähigen Alter ($5 \mu\text{g PFOA/l}$ Blutplasma).

Tabelle 3.4 fasst die Ergebnisse der PFOA-Konzentrationen der Blutkontrolluntersuchungen 2018, 2020 und 2023 getrennt nach den einzelnen Gruppen A, B und C zusammen.

Tabelle 3.4: Minima, Maxima, Quartile der PFOA-Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] im Blutplasma bei Studienteilnehmern in den Gruppen A, B und C*.

Untersuchung und Teilnehmer	Minimum			1. Quartil			Median			Mittelwert			3. Quartil			Maximum			
	Anzahl	µg/l	Vergleich zu 2018	µg/l	Vergleich zu 2018	µg/l	µg/l	Vergleich zu 2018	µg/l	Vergleich zu 2018	µg/l	Vergleich zu 2018	µg/l	Vergleich zu 2018	µg/l	Vergleich zu 2018			
		µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%			
Gruppe A																			
U1 (2018)	120	2,46			10,17			15,62			19,24			23,83		71,16			
U2 (2020)	101	1,14	-1,32	-53,7	8,66	-1,51	-14,8	12,72	-2,90	-18,6	15,05	-4,19	-21,8	18,62	-5,22	-21,8	50,63	-20,53	-28,9
U3 (2023)	102	0,24	-2,22	-90,2	5,15	-5,01	-49,3	7,52	-8,11	-51,9	9,54	-9,70	-50,4	11,58	-12,26	-51,4	35,08	-36,08	-50,7
Gruppe B																			
U1 (2018)	137	0,20			1,84			2,45			3,29			3,99			23,00		
U2 (2020)	79	0,49	0,29	142,4	1,64	-0,20	-10,9	2,44	-0,01	-0,5	2,77	-0,52	-15,8	3,61	-0,38	-9,6	7,02	-15,98	-69,5
U3 (2023)	87	0,40	0,20	99,4	1,47	-0,36	-19,8	2,21	-0,24	-9,9	2,61	-0,68	-20,7	3,32	-0,66	-16,6	8,39	-14,61	-63,5
Gruppe C																			
U1 (2018),	91	0,14			1,23			1,75			1,93			2,42			5,38		
U2 (2020)	69	0,29	0,15	110,4	1,01	-0,22	-18,0	1,42	-0,33	-18,8	1,65	-0,27	-14,2	2,13	-0,28	-11,7	4,95	-0,43	-7,9
U3 (2023)	77	0,29	0,15	108,6	0,84	-0,39	-31,6	1,13	-0,62	-35,4	1,39	-0,53	-27,7	1,73	-0,69	-28,4	4,24	-1,13	-21,1

* Die Prozentzahlen basieren auf den nicht gerundeten Werten. Daher können sie sich von den gerundeten Konzentrationsangaben unterscheiden.
U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

Bei den im Jahr 2023 untersuchten Personen aus Orten mit einer früheren PFAS-Belastung über das Trinkwasser (Gruppe A) lag die mediane Konzentration von PFOA im Blutplasma bei 7,52 $\mu\text{g/l}$. In Gruppe B lag der Median 2023 bei 2,21 $\mu\text{g/l}$ und in Gruppe C bei 1,13 $\mu\text{g/l}$. Damit lagen die PFOA-Konzentrationen 2023 in Gruppe A im Mittel etwa 5 $\mu\text{g/l}$ höher als bei Personen aus der Gruppe B und etwa 6 $\mu\text{g/l}$ höher als bei Personen aus der Gruppe C. In den Jahren 2018 und 2020 lagen die Differenzen der Mediane der Gruppe A zu den beiden anderen Gruppen noch bei 13 bzw. 10 $\mu\text{g/l}$ (Gruppe B) und bei 14 bzw. 11 $\mu\text{g/l}$ (Gruppe C). Der Unterschied zwischen den Medianen der PFOA-Konzentrationen in den Gruppen B und C lag 2023, 2020 sowie 2018 bei etwa 1 $\mu\text{g/l}$. Das bedeutet, Personen aus Orten mit einer möglichen PFAS-Exposition über Belastungen im Boden und Grundwasser, ohne Exposition über Trinkwasser aus der öffentlichen Wasserversorgung (Gruppe B), hatten PFOA-Konzentrationen im Blutplasma, die im Mittel um etwa 1 $\mu\text{g/l}$ höher lagen als in der Kontrollgruppe C. Die PFOA-Konzentrationen in Gruppe A bzw. Gruppe B wurden mit denen in Gruppe C (Kontrollgruppe) mit Hilfe des Wilcoxon-Mann-Whitney-U-Tests für unverbundene Stichproben verglichen. Die Unterschiede zur Kontrollgruppe ließen sich statistisch sichern, d.h. die PFOA-Konzentrationen im

Blutplasma zeigten sowohl 2018 und 2020 als auch 2023 einen Zusammenhang mit der untersuchten Gruppe.

In Gruppe A ist die mediane PFOA-Konzentration seit 2018 um etwa 8 µg/l zurückgegangen. Das entspricht etwa 52 % der medianen PFOA-Konzentration von 2018. In den beiden anderen Gruppen B und C lagen die PFOA-Konzentrationen schon 2018 insgesamt deutlich niedriger und der mittlere Rückgang der PFOA-Konzentrationen seit 2018 betrug für Gruppe B ca. 0,2 µg/l Blutplasma und für Gruppe C ca. 0,6 µg/l. Das entspricht 10 % der medianen PFOA-Konzentration von 2018 in der Gruppe B bzw. 35 % in Gruppe C.

In Gruppe A wurde der Rückgang der PFOA-Konzentrationen 2023 auch bei der Streuung der Einzelwerte (Minima, Maxima, erste und dritte Quartile) deutlich. Im Vergleich zu 2018 sind die maximale PFOA-Konzentration (von 71,16 µg/l auf 35,08 µg/l) sowie das erste Quartil (von 10,17 µg/l auf 5,15 µg/l) und das dritte Quartil (von 23,83 µg/l auf 11,58 µg/l) um etwa 50 % gesunken. Die minimale Konzentration ist um etwa 90 % von 2,46 µg/l auf 0,24 µg/l zurückgegangen.

Auch in den Gruppen B und C ist ein Rückgang der PFOA-Konzentrationen beim Maximalwert (von 23,0 µg/l auf 8,39 µg/l bzw. 5,38 µg/l auf 4,24 µg/l), dem ersten Quartil (von 1,84 µg/l auf 1,47 µg/l bzw. 1,23 µg/l auf 0,84 µg/l) und dem dritten Quartil (von 3,99 µg/l auf 3,32 µg/l bzw. 2,42 auf 1,73 µg/l) zu erkennen. In Gruppe B hat die minimale Konzentration von 0,2 µg/l auf 0,4 µg/l und in Gruppe C von 0,14 µg/l auf 0,29 µg/l zugenommen.

Insgesamt lässt sich sagen, dass eine deutliche Abnahme der PFOA-Blutkonzentrationen vor allem in Gruppe A aber auch in den Gruppen B und C zu beobachten war.

Ein Vergleich mit dem HBM-II-Wert zeigt, dass in Gruppe A 2023 bei ca. 38 % der Teilnehmerinnen und Teilnehmer die PFOA-Konzentrationen oberhalb des HBM-II-Wertes lagen (ca. 82 % in 2018; siehe Tabelle 3.5). In Gruppe C wurden 2018, 2020 und 2023 keine PFOA-Konzentrationen oberhalb des HBM-II-Wertes beobachtet und in Gruppe B nur eine geringfügige Anzahl. Auch die Anzahl der Teilnehmerinnen und Teilnehmer, deren PFOA-Konzentrationen im Blutplasma unterhalb des HBM-I-Wertes (< 2 µg/l) lagen, ist in allen drei Gruppe gestiegen

(in Gruppe A von 0 % auf ca. 7 %, in Gruppe B von 34 % auf ca. 40 % und in Gruppe C von 58 % auf 84 %).

Tabelle 3.5: Vergleich der gemessenen PFOA-Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] mit den HBM-I- und HBM-II-Werten. Dargestellt ist, wie viele der Werte unterhalb des HBM-I-Wertes ($< 2 \mu\text{g/l}$), oberhalb des HBM-II-Wertes oder im Bereich zwischen den beiden Werten liegen. Für die Allgemeinbevölkerung beträgt der HBM-II-Wert $10 \mu\text{g/l}$, für Frauen im gebärfähigen Alter (15-49 Jahre) $5 \mu\text{g/l}$.

Gruppe	Untersuchungs-jahr	Anzahl	unterhalb HBM-I-Wert		zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert		oberhalb HBM-II-Wert	
			Anzahl (Wert $< 2 \mu\text{g/l}$)	%	Anzahl (Wert $\geq 2 \mu\text{g/l}$ und $\leq 10 \mu\text{g/l}$ (bzw. $5 \mu\text{g/l}^*$))	%	Anzahl (Wert $> 10 \mu\text{g/l}$ (bzw. $5 \mu\text{g/l}^*$))	%
Gruppe A	2018	120	0	0,0	22	18,3	98	81,7
	2020	101	≤ 3	2,0	29	28,7	70	69,3
	2023	102	7	6,9	56	54,9	39	38,2
Gruppe B	2018	137	46	33,6	86	62,8	5	3,7
	2020	79	28	35,4	50	63,3	≤ 3	1,3
	2023	87	35	40,2	51	58,6	≤ 3	1,2
Gruppe C	2018	91	53	58,2	38	41,8	0	0
	2020	69	48	69,6	21	30,4	0	0
	2023	77	65	84,4	12	15,6	0	0

* HBM-II-Wert für Frauen im gebärfähigen Alter (15-49 Jahre)

3.2.1.2 Vergleich mit Teilnehmerinnen und Teilnehmern, die an zwei oder drei Untersuchungen teilgenommen haben

Um sicherzustellen, dass der Rückgang der PFOA-Konzentrationen zwischen 2018 und 2023 in den Gruppen A, B und C aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer nicht zufällig war, wurden die Ergebnisse zusätzlich mit den Ergebnissen derjenigen Teilnehmerinnen und Teilnehmer verglichen, welche an allen drei Untersuchungen (2018, 2020 und 2023), an den Untersuchungen 2018 und 2023 oder an den Untersuchungen 2020 und 2023 teilgenommen haben. In Abbildung 3.2 sind diese Ergebnisse zusammengefasst. Die Daten zu den ermittelten Perzentilen, Minima, Maxima und Mittelwerten sind im Anhang 8.1 in den Tabellen 8.1 bis 8.3 aufgeführt.

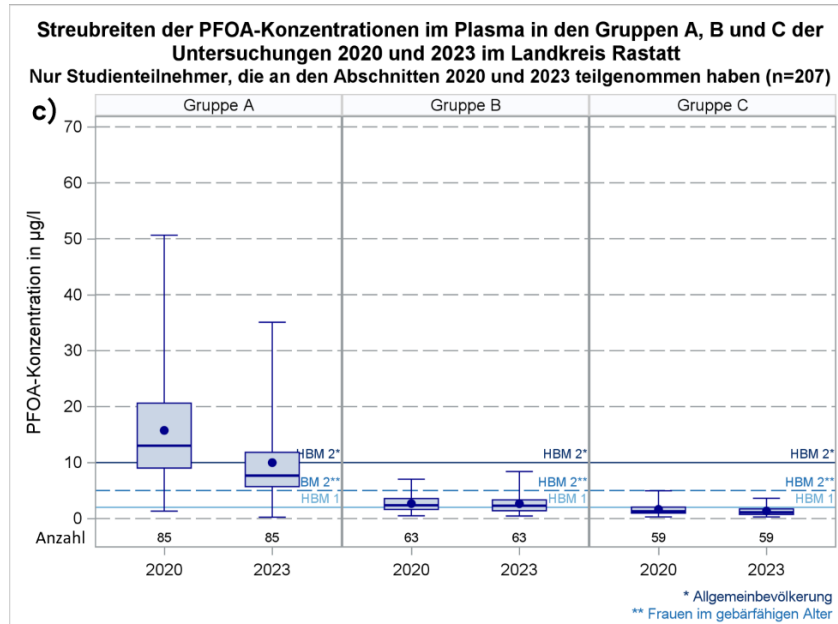
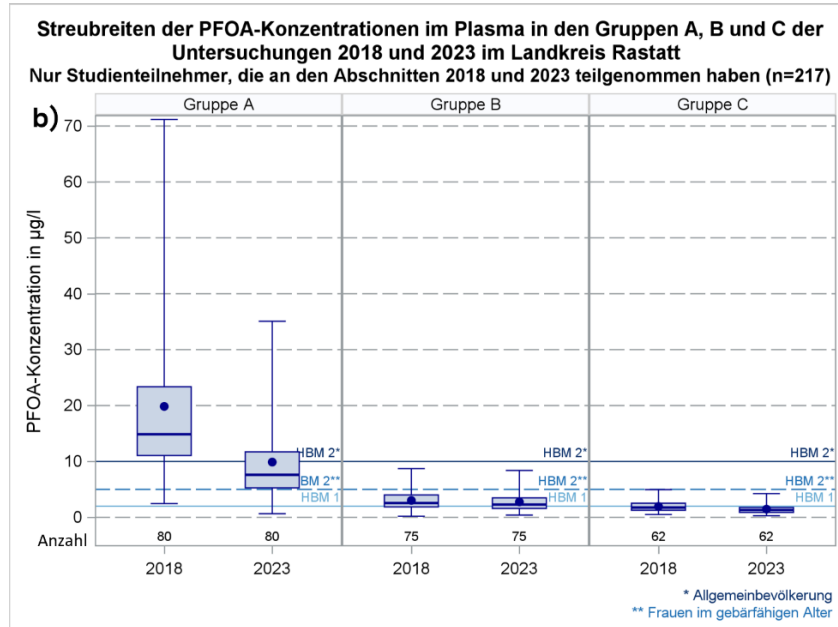
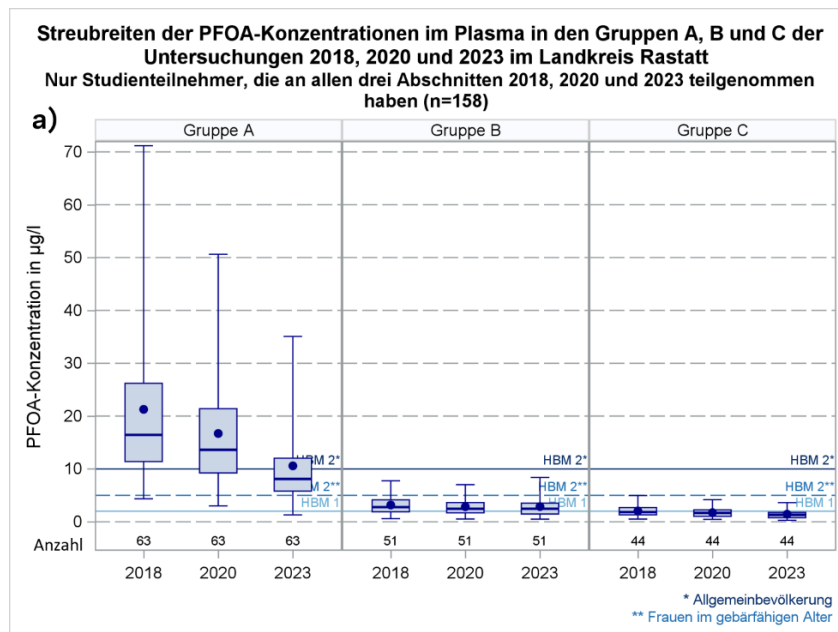


Abbildung 3.2: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma [µg/l] von Teilnehmern aus den drei Gruppen A, B und C:
a) Teilnahme an allen drei Abschnitten 2018, 2020 und 2023,
b) Teilnahme an den Abschnitten 2018 und 2023 oder
c) Teilnahme an den Abschnitten 2020 und 2023
Hervorgehoben sind der HBM-I-Wert (2 µg PFOA/l), HBM-II-Wert (10 µg PFOA/l Blutplasma) sowie der HBM-III-Wert für Frauen im gebärfähigen Alter (5 µg PFOA/l Blutplasma).

Auch bei Personen in Gruppe A, die an allen drei Untersuchungsrounden 2018, 2020 und 2023 teilgenommen haben, liegt der Rückgang der medianen PFOA-Konzentration im Blutplasma zwischen 2018 und 2023 bei etwa 50 % (von 16,44 µg/l auf 8,1 µg/l). Ein ähnlicher Rückgang wird auch bei Personen in Gruppe A festgestellt, welche nur 2018 und 2023 teilgenommen haben (von 14,86 µg/l auf 7,6 µg/l). Bei Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern aus Gruppe A, die nur an den Untersuchungsrounden 2020 und 2023 teilgenommen haben, beträgt der Rückgang der medianen PFOA-Konzentration etwa 40 % (von 13,01 µg/l auf 7,67 µg/l). Damit liegen die Rückgänge in ähnlichen Bereichen wie bei der Betrachtung aller Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Gruppe A (siehe Kapitel 3.2.1.1).

Ähnliches gilt auch für die Gruppen B und C. In Gruppe B wird wie bei den Untersuchungsteilnehmerinnen und Teilnehmern 2023 (Kapitel 3.2.1.1) ein Rückgang der medianen Konzentration von etwa 10 % im Vergleich zur Untersuchung 2018 bei Personen festgestellt, welche an allen drei Untersuchungsrounden teilgenommen haben (von 2,77 µg/l auf 2,46 µg/l) und welche an den Untersuchungen 2018 und 2023 teilgenommen haben (von 2,56 µg/l auf 2,29 µg/l). Bei Personen in Gruppe C, die an allen drei Untersuchungen (2018, 2020 und 2023), und bei Personen, die nur an zwei Untersuchungen (2018 und 2023) teilgenommen haben, wird eine Verringerung der medianen Konzentration von 25-28 % festgestellt.

Somit konnte gezeigt werden, dass die beobachteten zeitlichen Veränderungen auf tatsächliche Abnahmen der PFOA-Konzentrationen zurückzuführen sind und nicht durch die unterschiedliche Zusammensetzung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer in den einzelnen Untersuchungsrounden zustande kam.

3.2.2 Vergleich der Histogramme der PFOA-Konzentrationen in den drei Gruppen

Zur näheren Betrachtung der Verteilungen werden in diesem Abschnitt die Histogramme der PFOA-Konzentrationen getrennt nach den drei Untersuchungsgruppen A, B und C in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023 dargestellt (siehe Abbildung 3.3). Ein Histogramm ist eine graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung von Beobachtungswerten einer gemessenen Größe. Die x-Achse (Abszisse) zeigt dabei den Wertebereich der gemessenen

Größe, unterteilt in Intervalle. Auf der y-Achse (Ordinate) sind die relativen Häufigkeiten der Beobachtungswerte in den einzelnen Intervallen bezogen auf den jeweiligen Gesamtstichprobenumfang – in Prozent – ablesbar und in Form von Balken in entsprechender Höhe über den Intervallen dargestellt.

Zur besseren Vergleichbarkeit werden die Histogramme der Gruppen A, B und C in den jeweiligen Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023 in einer Abbildung dargestellt und hierbei einheitliche Skaleneinteilungen auf den x- und y-Achsen verwendet. In den Histogramm-Darstellungen (Abbildung 3.3) zeigt sich der Unterschied zwischen den Verteilungen der PFOA-Konzentrationen in der Gruppe A und den Verteilungen in den Gruppen B und C in allen drei Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023. Es ist auch ein kleinerer Unterschied zwischen den Verteilungen der PFOA-Konzentrationen in der Gruppe B und der Gruppe C erkennbar, aber deutlich geringer ausgeprägt. Insbesondere in Gruppe A ist zu erkennen, dass der Anteil der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer mit hohen PFOA-Konzentrationen im Blut innerhalb des Untersuchungszeitraums 2018 bis 2023 abgenommen und damit der Anteil der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer mit niedrigeren PFOA-Konzentrationen zugenommen hat.

Eine vergleichbare Verteilung der PFOA-Konzentrationen innerhalb der drei Untersuchungsjahre oder im Vergleich zwischen den drei Gruppen A, B und C wurde auch in den Histogrammen von Teilnehmern festgestellt, die an allen drei Untersuchungsrunden (2018, 2020 und 2023) oder an zwei Untersuchungsrunden (2018 und 2023 bzw. 2020 und 2023) teilgenommen haben. Diese Histogramme sind im Anhang 8.2 in den Abbildungen 8.1, 8.2 und 8.3 dargestellt.

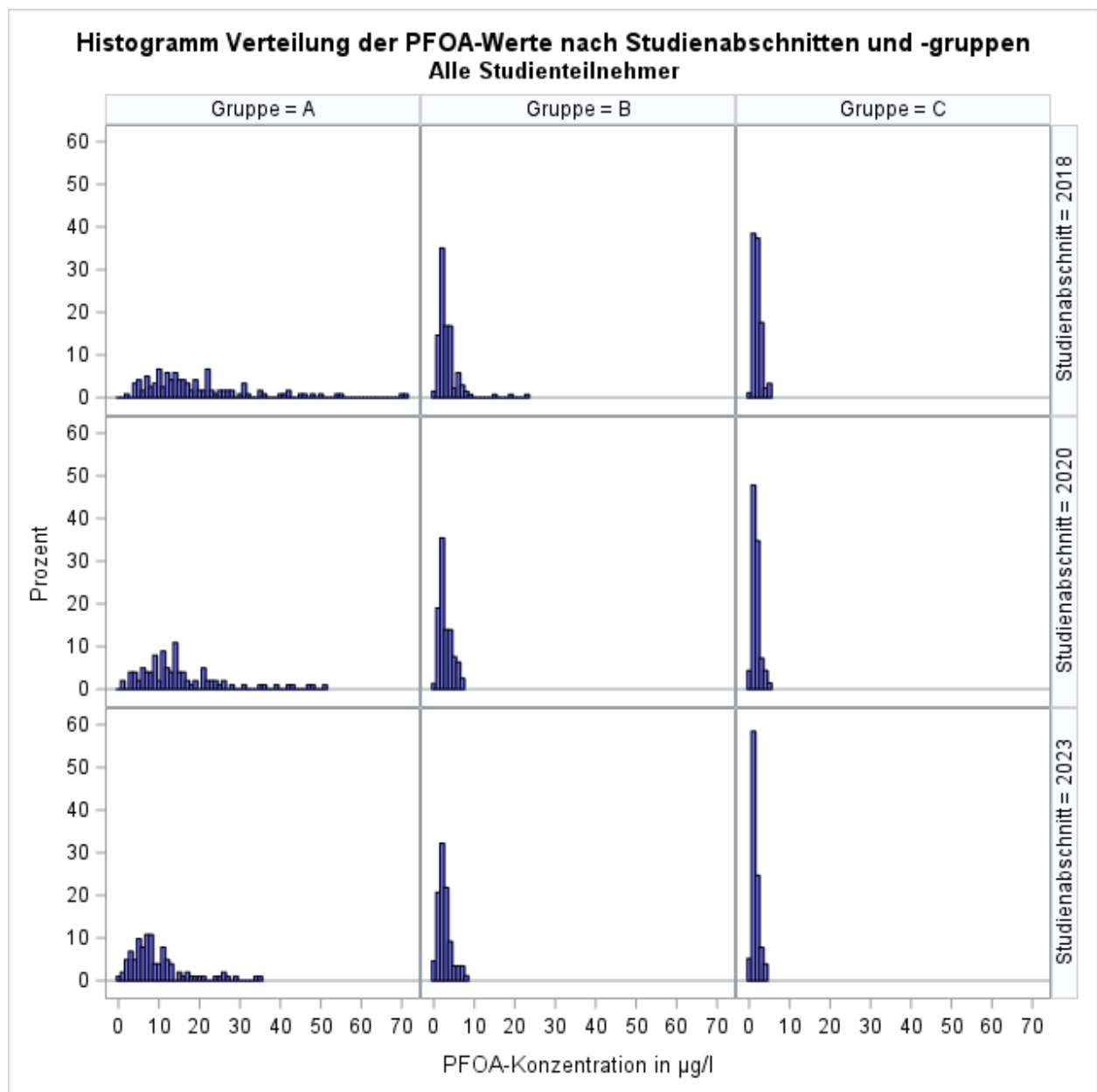


Abbildung 3.3: Darstellung der Verteilungen der PFOA-Konzentrationen im Blut der Untersuchungsteilnehmer in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023 getrennt nach den Gruppen A, B und C (Intervall = 1 µg/l).

3.2.3 PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit vom früheren Trinkwasserkonsum und von der untersuchten Gruppe

Wie im Bericht 2020 (LGA BW, 2021) wurden die PFOA-Konzentrationen getrennt nach den Gruppen A, B und C sowie nach dem früheren täglichen Trinkwasserkonsum (zu Hause) analysiert. Bei Personen, die im Fragebogen (siehe Anhang 8.9) angaben, ihren Trinkwasserkonsum geändert zu haben, wurden für diese Auswertung die Antworten auf die Frage 14 zur Menge des früheren Trinkwasserkonsums verwendet: *"Wie groß war in etwa die*

Trinkwassermenge aus Ihrer häuslichen Wasserleitung, die Sie vor der Änderung täglich zu sich nahmen? (1 Glas = ca. 200 ml)" Ankreuzbar waren die fünf Antwortkategorien: „0 Gläser“, „1-2 Gläser“, „3-5 Gläser“, „6-8 Gläser“ oder „mehr“. In den Untersuchungsjahren 2018 und 2020 entsprach dies der Frage 13 (siehe Fragebogen aus diesen Untersuchungsjahren LGA BW, 2021 und LGA BW, 2019). Bei allen anderen Personen dienten die Antworten zur Menge des Trinkwasserkonsums zum Zeitpunkt der Befragung (siehe Frage 11 im Fragebogen im Anhang 8.9) als annähernde Schätzung für den früheren Trinkwasserkonsum.

In Abbildung 3.4 sind die Ergebnisse dieser Auswertung für die drei Untersuchungsjahre getrennt nach den drei Gruppen A, B und C graphisch dargestellt. Wie in den Untersuchungsjahren 2018 und 2020 ist auch in 2023 in Gruppe A ein Zusammenhang zwischen der Menge des früheren häuslichen Trinkwasserkonsums und der medianen PFOA-Konzentration im Sinne einer Dosis-Wirkungsbeziehung erkennbar. Beim Vergleich der Boxplots der Untersuchungsjahre 2018, 2020 und 2023 ist ein Rückgang der medianen PFOA-Konzentration in allen Trinkwasserkategorien („0 Gläser“ bis „> 8 Gläser“) erkennbar. In der höchsten Antwortkategorie („> 8 Gläser“) sank beispielsweise die mediane PFOA-Konzentration von ca. 24 µg/l (2018) auf ca. 10 µg/l (2023). Die Daten zu den ermittelten Perzentilen, Minima, Maxima und Mittelwerten sind im Anhang 8.3 in den Tabellen 8.4 bis 8.6 aufgeführt.

Bei den PFOA-Konzentrationen in den Gruppen B und C findet sich dagegen keine solche Abhängigkeit von der Trinkwassermenge aus der häuslichen Wasserleitung. Dies wurde auch in den Untersuchungsjahren 2018 und 2020 beobachtet.

Weiteren Auswertungen des Fragebogens im Bezug auf die Ernährung oder weitere Variablen erbrachten für die Gruppen A, B und C keine zusätzlichen Erkenntnisse. Darum wird auf eine weitere Darstellung der Analysen verzichtet.

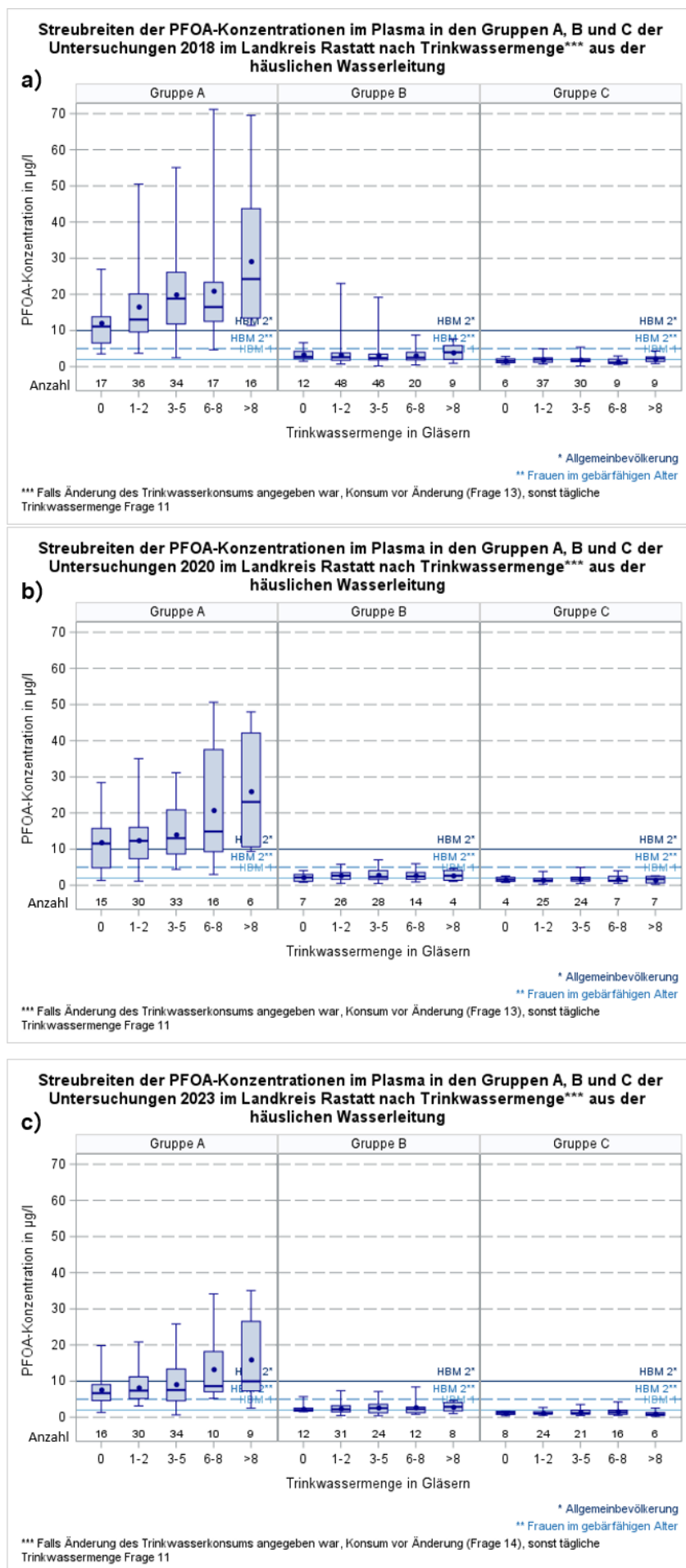


Abbildung 3.4: Minima, Maxima, Mediane Mittelwerte und Quartile der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma der im Jahr 2018 (a), 2020 (b) oder 2023 (c) untersuchten Personen aus den Gruppen A, B und C getrennt nach der Menge des Trinkwasserkonsums in Gläsern (ein Glas entspricht ca. 200 ml). Falls in den Fragebögen eine Änderung des Trinkwasserkonsums angegeben war, wurde bei der Auswertung der Konsum vor der Änderung (Frage 13 bzw. 14) berücksichtigt, ansonsten die tägliche Trinkwassermenge (Frage 11).

3.2.4 Vergleich der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht

Über den ursprünglichen Auswertungsplan hinausgehend werden die PFOA-Konzentrationen im Blutplasma der in den Jahren 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C in Abhängigkeit vom Geschlecht (Kapitel 3.2.4.1) bzw. vom Alter (Kapitel 3.2.4.2) ausgewertet. Eine weitere Auswertung erfolgt für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Gruppe A nach Alter und Geschlecht (Kapitel 3.2.4.3).

3.2.4.1 Vergleich der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit vom Geschlecht

In Abbildung 3.5 sind die Streubreiten der PFOA-Konzentration getrennt nach Frauen (a) und Männern (b) in den Gruppen A, B und C der Untersuchungen 2018, 2020 und 2023 dargestellt. Bei allen drei Blutkontrolluntersuchungen waren insgesamt etwa 60 % der Personen weiblich und 40 % männlich (siehe Kapitel 3.1). Wie bei den Gesamtteilnehmerinnen und -teilnehmern (Abbildung 3.1 in Kapitel 3.2.1) ist auch bei Männern und Frauen in Gruppe A die Abnahme der PFOA-Konzentration im Verlauf der Gesamtuntersuchung zu erkennen. Während die mediane PFOA-Konzentration bei den Frauen 2018 (18,59 µg/l) im Vergleich zu den Männern höher war (11,77 µg/l), ist sie bei den Frauen stärker abgefallen (um ca. 58 % auf 7,88 µg/l) als bei den Männern (um ca. 37 % auf 7,4 µg/l). Die Daten zu Abbildung 3.5 finden sich in Anhang 8.4 in Tabelle 8.7.

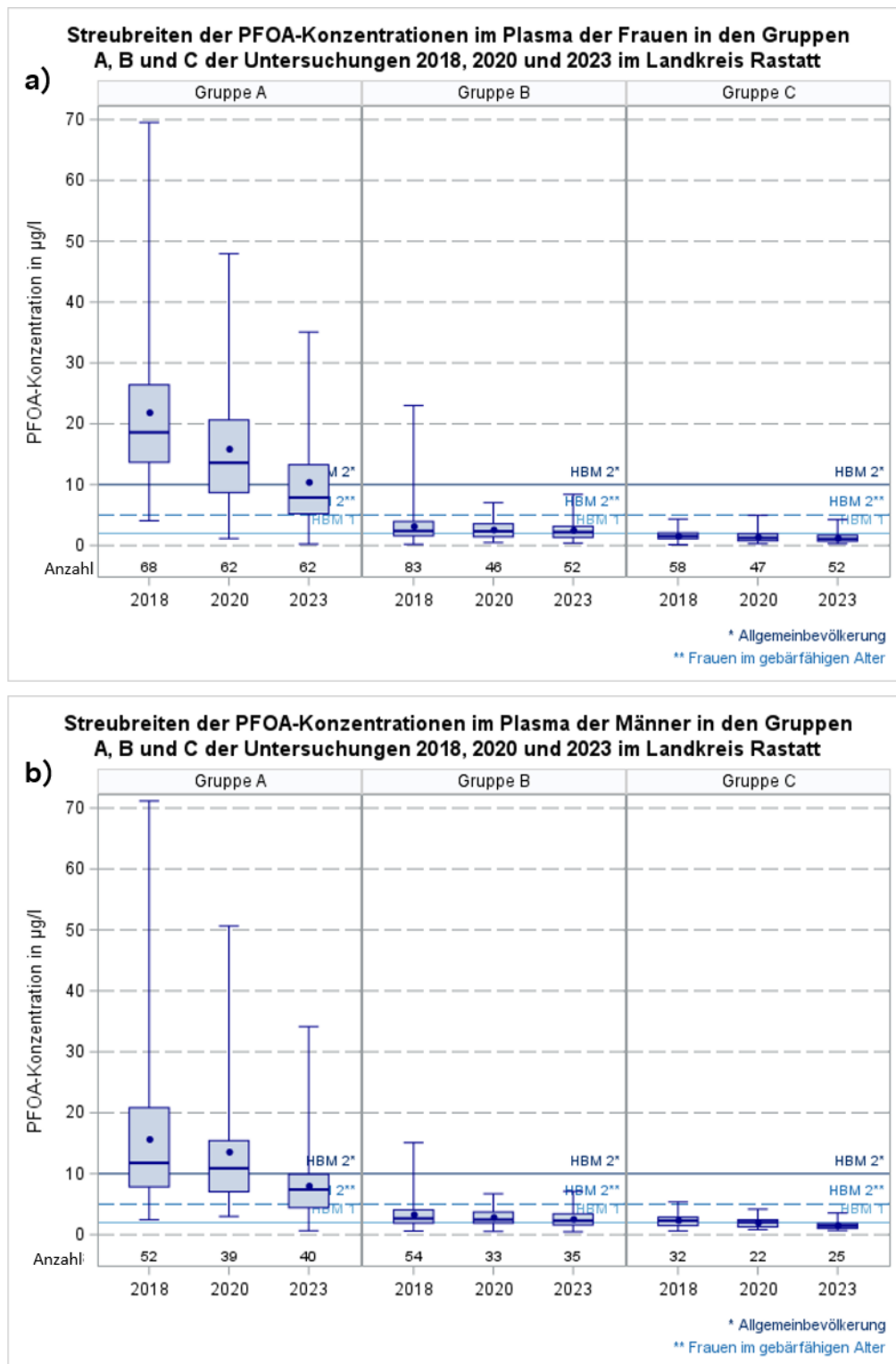


Abbildung 3.5: Vergleich der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit vom Geschlecht
a) Frauen, b) Männer: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma [$\mu\text{g/l}$] von 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C. Hervorgehoben sind der HBM-I-Wert (2 μg PFOA/l), HBM-II-Wert (10 μg PFOA/l Blutplasma) sowie der HBM-II-Wert für Frauen im gebärfähigem Alter (5 μg PFOA /l Blutplasma).

3.2.4.2 Vergleich der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit vom Alter

In Abbildung 3.6 sind die Minima, Maxima, Perzentile und Mittelwerte der PFOA-Konzentrationen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer in den Gruppen A, B und C der Untersuchungen 2018, 2020 und 2023 getrennt nach Alter dargestellt. Die Darstellung erfolgt entsprechend der in Abschnitt 3.1 beschriebenen Kategorisierung. Die Daten zur Abbildung 3.6 sind in Anhang 8.4. in Tabelle 8.8 aufgeführt.

Für Gruppe A zeigt die Analyse getrennt nach den Geburtsjahrgängen, dass in allen drei Untersuchungsrunden die mediane PFOA-Konzentration im Blutplasma bei der ältesten Jahrgangskategorie („*Jahrgang 1967 und älter*“) im Vergleich zu den anderen beiden Kategorien jeweils am höchsten war und bei der jüngsten Jahrgangskategorie am geringsten („*Jahrgang 1978 und jünger*“). In der Kategorie „*Jahrgang 1967 und älter*“ sank die PFOA-Konzentration im Blutplasma zwischen 2018 und 2023 um etwa 57 % von 19,24 µg/l auf 8,27 µg/l, in der Kategorie „*Jahrgänge 1968 bis 1977*“ um etwa 47 % von 13,8 µg/l auf 7,31 µg/l und in Kategorie „*Jahrgang 1978 und jünger*“ um etwa 44 % von 7,68 µg/l auf 4,27 µg/l.

Auch in den Gruppen B und C hatten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Kategorie „*Jahrgang 1967 und älter*“ im Vergleich zu den beiden jüngeren Kategorien jeweils die höchsten medianen PFOA-Konzentrationen (siehe Tabelle 8.8 in Anhang 8.4).

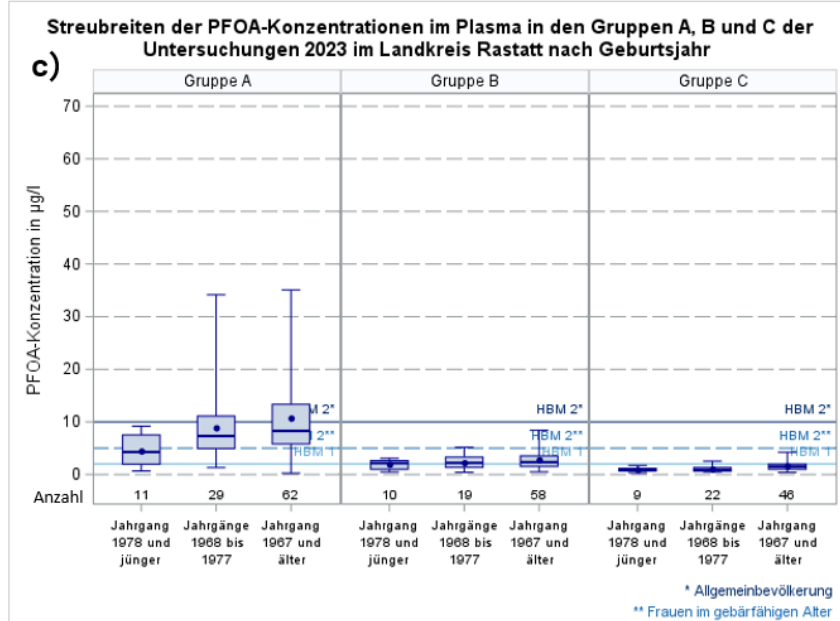
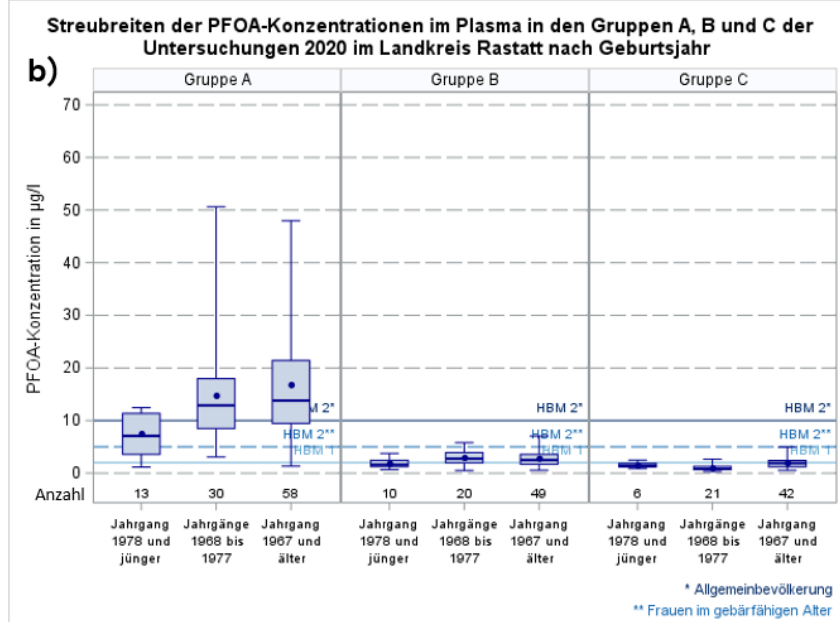
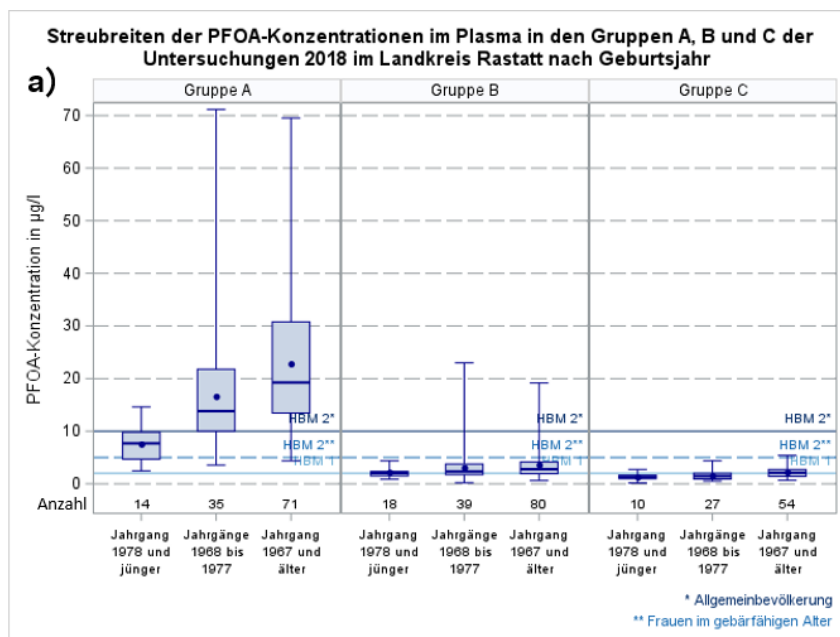


Abbildung 3.6: Vergleich der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit vom Geburtsjahrgang während der drei Untersuchungsrounden a) 2018, b) 2020 und c) 2023. Dargestellt sind die Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma [µg/l]. Hervorgehoben sind der HBM-I-Wert (2 µg PFOA/l), HBM-II-Wert (10 µg PFOA/l Blutplasma) sowie der HBM-II-Wert für Frauen im gebärfähigen Alter (5 µg PFOA/l Blutplasma).

3.2.4.3 Vergleich der PFOA-Konzentrationen von Personen in Gruppe A in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht

In Abbildung 3.7 sind die Minima, Maxima, Perzentile und Mittelwerte der PFOA-Konzentrationen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Gruppe A nach Alter und Geschlecht in den Untersuchungen 2018, 2020 und 2023 dargestellt. Die Daten zu Abbildung 3.7 sind in Tabelle 8.9 in Anhang 8.4 zusammengefasst.

Bei der gesonderten Betrachtung in Gruppe A ist erkennbar, dass bei der Alterskategorie „*Jahrgang 1967 und älter*“ die mediane PFOA-Konzentration im Blutplasma bei den Frauen jeweils höher war (2018: 21,54 µg/l; 2020: 14,36 µg/l; 2023: 10,68 µg/l) als bei den Männern (2018: 13,48 µg/l; 2020: 12,04 µg/l; 2023: 6,59 µg/l). Wie auch bei den anderen Auswertungen deutlich wurde, ist bei beiden Geschlechtern die mediane PFOA-Konzentration von 2018 bis 2023 gesunken.

In den Alterskategorien „*Jahrgänge 1968 bis 1977*“ und „*Jahrgänge 1978 und jünger*“ waren die medianen PFOA-Konzentrationen im Jahr 2018 bei Frauen mit 16,12 µg/l bzw. 7,71 µg/l höher als bei Männern (10,17 µg/l bzw. 6,31 µg/l). Bis 2023 nahmen die medianen PFOA-Konzentrationen bei Frauen mit 55 % bzw. 51 % stärker ab („*Jahrgänge 1968 bis 1977*“ 7,2 µg/l und „*Jahrgänge 1978 und jünger*“ 3,75 µg/l) als bei den Männern („*Jahrgänge 1968 bis 1977*“ Abnahme um ca. 25 % auf 7,59 µg/l und „*Jahrgänge 1978 und jünger*“ Abnahme um ca. 19 % auf 5,09 µg/l). Zu beachten ist hier allerdings, dass insbesondere in den jüngeren beiden Kategorien die Anzahl der Teilnehmerinnen und Teilnehmer relativ niedrig sind (zwischen fünf und 19 Personen).

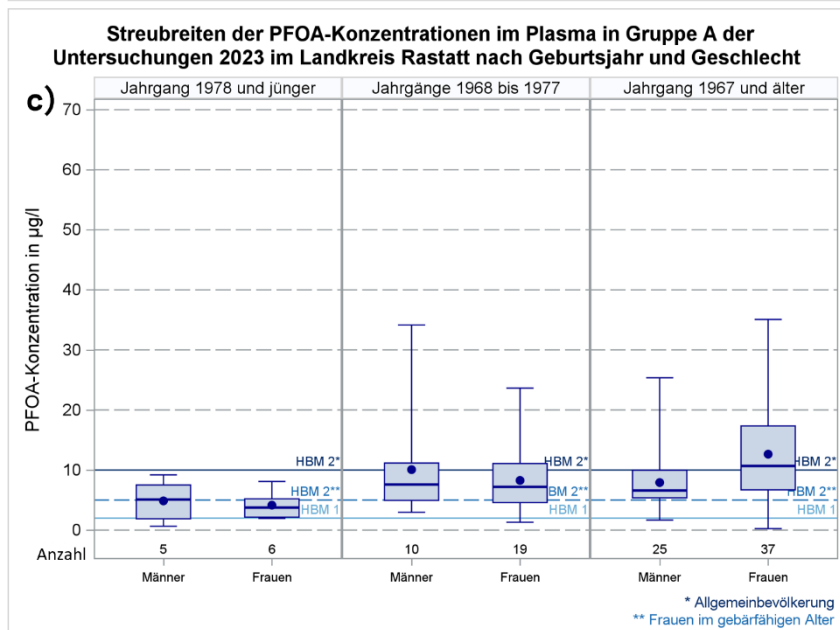
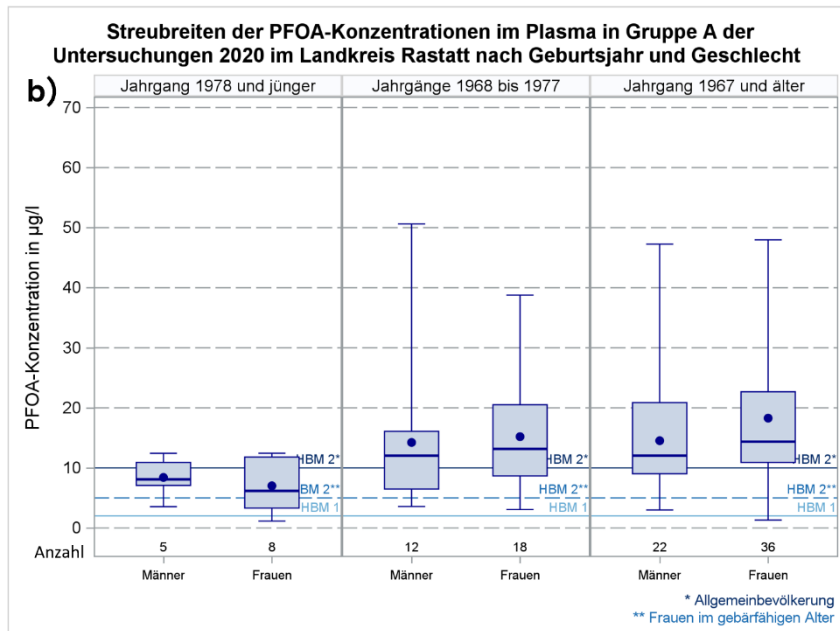
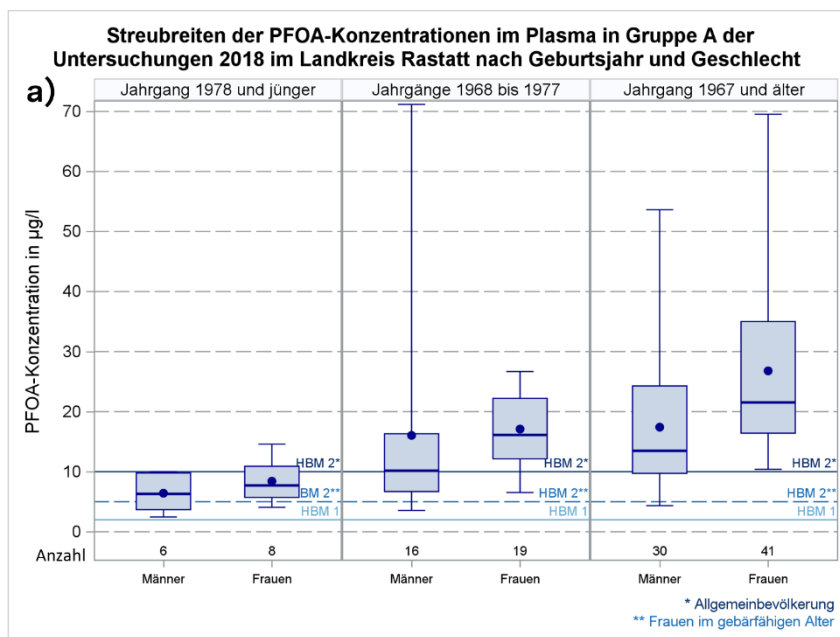


Abbildung 3.7: PFOA-Konzentrationen im Blutplasma der Personen in Gruppe A nach Alter und Geschlecht a) 2018, b) 2020 und c) 2023. Dargestellt sind die Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma [µg/l]. Hervorgehoben sind der HBM-I-Wert (2 µg PFOA/l), HBM-II-Wert (10 µg PFOA/l Blutplasma) sowie der HBM-II-Wert für Frauen im gebärfähigen Alter (5 µg PFOA /l Blutplasma).

3.2.5 Vergleich des Trinkwasserkonsums zwischen Männern und Frauen

Zur Einordnung der Ergebnisse aus Abschnitt 3.2.4 hinsichtlich der PFOA-Konzentrationen in Abhängigkeit vom Geschlecht, werden in diesem Abschnitt die Angaben der Teilnehmerinnen und Teilnehmer zum Trinkwasserkonsum verglichen.

Wie bereits bei der Auswertung der PFOA-Konzentration im Blutplasma in Abhängigkeit vom früheren Trinkwasserkonsum und von der untersuchten Gruppe (siehe Kapitel 3.2.3) wurden die Antworten auf Frage 14 (2023) bzw. Frage 13 (2018 und 2020) verwendet, wenn die Personen angaben, ihren Trinkwasserkonsum geändert zu haben. Bei allen anderen Personen dienten die Antworten zur Menge des Trinkwasserkonsums zum Zeitpunkt der Befragung (siehe Frage 11 im Fragebogen in Anhang 8.9) als annähernde Schätzung für den früheren Trinkwasserkonsum.

In Abbildung 3.8 sind die Angaben zum Trinkwasserkonsum für Männer und Frauen entsprechend den Kategorien im Fragebogen dargestellt. Die darauffolgende Abbildung 3.9 zeigt diese Auswertung für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Gruppe A. In allen drei Untersuchungsjahren hatten Frauen im Vergleich zu Männern einen etwas höheren Trinkwasserkonsum, der Unterschied war im letzten Studienabschnitt mit $p=0,0057$ signifikant. In dem Fragebogen gaben Frauen häufiger die Antworten „6-8 Gläser“ oder „mehr“ an als Männer (siehe Abbildung 3.8). Ein ähnlicher Trend ist auch in Gruppe A zu erkennen. Hier gaben Frauen öfter die oberste Antwortkategorie „mehr“ (entspricht >8 Gläser) an als Männer.

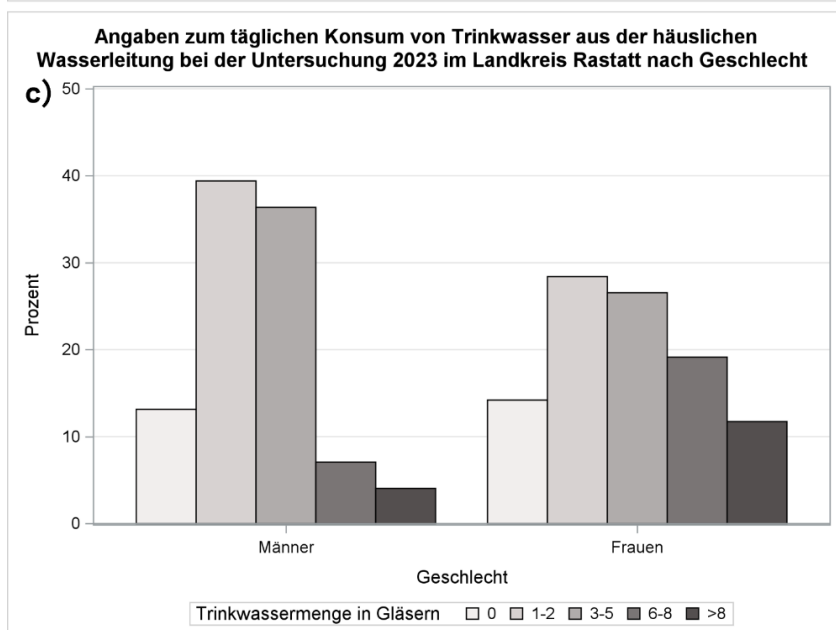
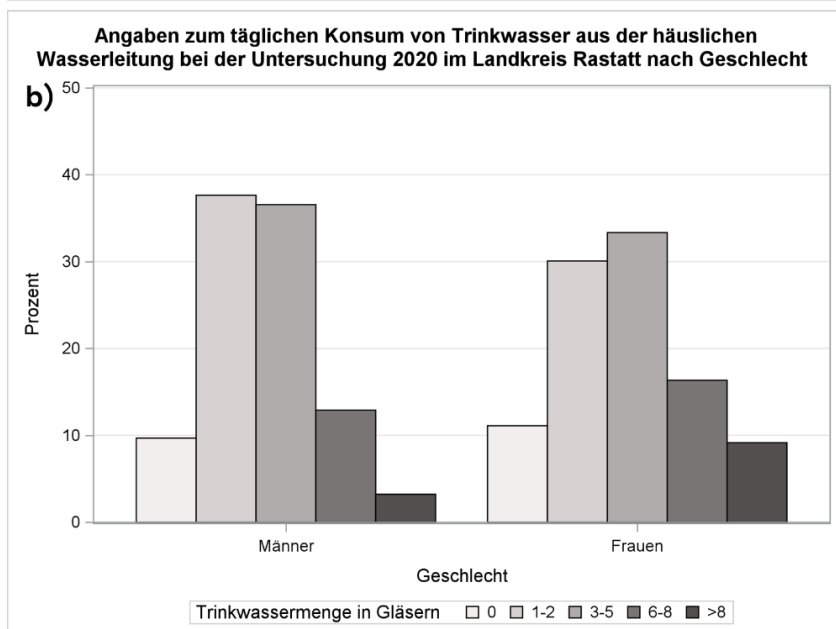
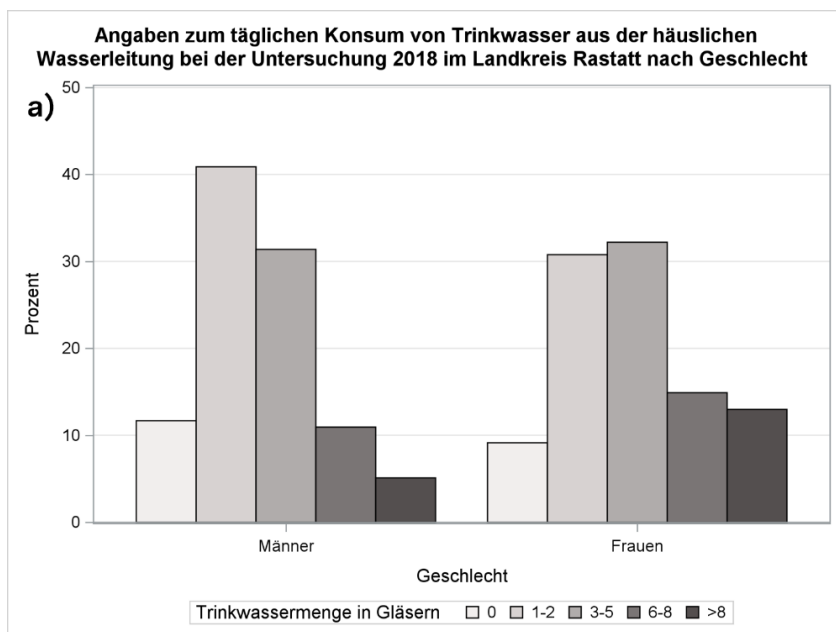


Abbildung 3.8: Angaben der Teilnehmerinnen und Teilnehmer zum täglichen Trinkwasserkonsum aus der häuslichen Wasserleitung in den Untersuchungsjahren 2018 (a), 2020 (b) und 2023 (c). Menge des Trinkwasserkonsums in Gläsern (ein Glas entspricht ca. 200 ml), Falls in den Fragebögen eine Änderung des Trinkwasserkonsums angegeben war, wurde bei der Auswertung der Konsum vor der Änderung (Frage 13 bzw. 14) berücksichtigt, ansonsten die tägliche Trinkwassermenge (Frage 11).

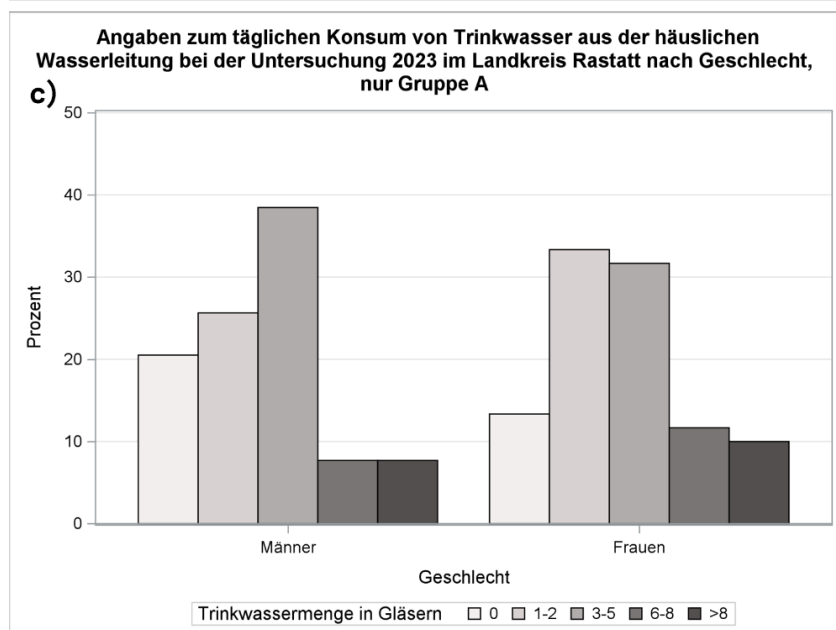
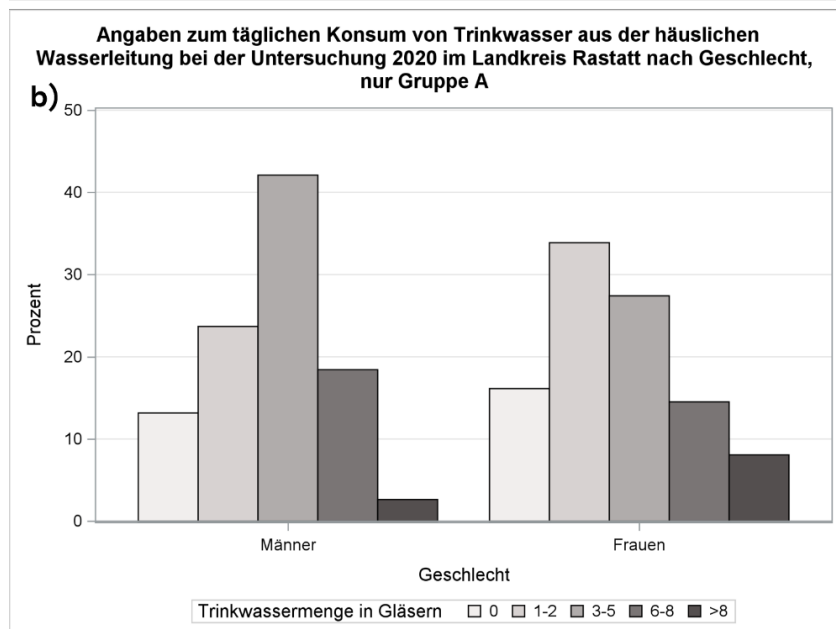
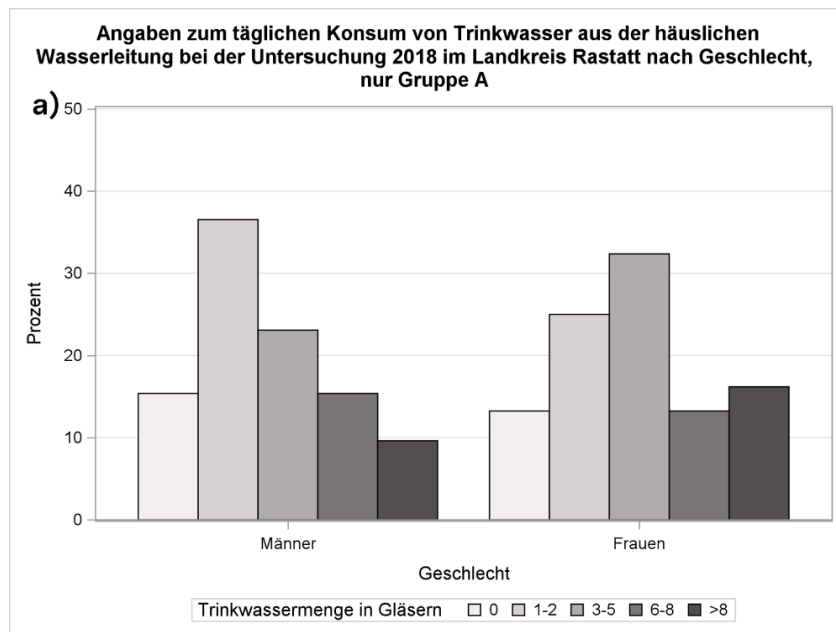


Abbildung 3.9: Angaben der Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Gruppe A zum täglichen Trinkwasserkonsum aus der häuslichen Wasserleitung in den Untersuchungsjahren 2018 (a), 2020 (b) und 2023 (c). Menge des Trinkwasserkonsums in Gläsern (ein Glas entspricht ca. 200 ml), Falls in den Fragebögen eine Änderung des Trinkwasserkonsums angegeben war, wurde bei der Auswertung der Konsum vor der Änderung (Frage 13 bzw. 14) berücksichtigt, ansonsten die tägliche Trinkwassermenge (Frage 11).

3.2.6 Analyse der individuellen Veränderungen der PFOA-Konzentrationen von Personen, die an zwei oder drei Untersuchungen teilgenommen haben

In diesem Kapitel werden die individuellen Veränderungen der PFOA-Konzentrationen von Personen, die an zwei oder drei Untersuchungen teilgenommen haben, näher betrachtet. Abbildung 3.10 veranschaulicht die individuelle Zunahme oder Abnahme der PFOA-Konzentration [$\mu\text{g/l}$ Blutplasma] von Teilnehmerinnen und Teilnehmern aus dem Jahr 2023 im Vergleich zum Messwert aus dem Jahr 2018. Hierbei zeigt ein Balken die Änderung bei einer Person.

In Gruppe A haben die Messwerte zwischen 2018 und 2023 bis auf eine Ausnahme bei allen Personen abgenommen. Die Veränderungen lagen hier zwischen $-1,23$ bis $-47,88 \mu\text{g PFOA/l}$ Blutplasma. Bei einer Person wurde eine Zunahme von ca. $+11 \mu\text{g PFOA/l}$ Blutplasma beobachtet. In den Gruppen B und C waren die Änderungen geringer (Gruppe B: zwischen $-0,08 \mu\text{g/l}$ und $-2,37 \mu\text{g/l}$; Gruppe C: zwischen $-0,003 \mu\text{g/l}$ und $-0,28 \mu\text{g/l}$). Es wurde zudem in Gruppe B und C bei 21 bzw. acht Personen eine leichte Zunahme der PFOA-Konzentration im Blutplasma (zwischen ca. $0,001 \mu\text{g/l}$ und $5,47 \mu\text{g/l}$ [Gruppe B] und zwischen $0,12 \mu\text{g/l}$ bis $1,2 \mu\text{g/l}$ [Gruppe C]) innerhalb des Untersuchungszeitraums festgestellt.

In Abbildung 3.11 sind analog zu Abbildung 3.10 die individuellen Veränderungen der PFOA-Konzentrationen von Personen dargestellt, deren Blutplasma in den Jahren 2020 und 2023 untersucht wurde. In Gruppe A haben die PFOA-Konzentrationen bis auf eine Ausnahme ($+0,03 \mu\text{g PFOA/l}$, in Abb. 3.11 nicht erkennbar) bei allen untersuchten Personen abgenommen (zwischen $-0,33 \mu\text{g/l}$ und $-21,9 \mu\text{g/l}$). Die Differenzen zwischen beiden Untersuchungsjahren waren bei Personen aus den Gruppen B und C geringer als in Gruppe A (zwischen $-0,006 \mu\text{g/l}$ und $-1,15 \mu\text{g/l}$ in Gruppe B und zwischen $-0,009 \mu\text{g/l}$ und $-1,94 \mu\text{g/l}$ in Gruppe C). Auch hier wurden wie beim Vergleich der Gesamtteilnehmerinnen und -teilnehmer an den Untersuchungen 2018 und 2023 (siehe Abbildung 3.10) minimale Zunahmen bei einigen Personen in den Gruppen B ($n = 19$) und C ($n = 11$) registriert (zwischen $0,05 \mu\text{g/l}$ und $4,78 \mu\text{g/l}$ [Gruppe B] und $0,02 \mu\text{g/l}$ bis $0,27 \mu\text{g/l}$ [Gruppe C]).

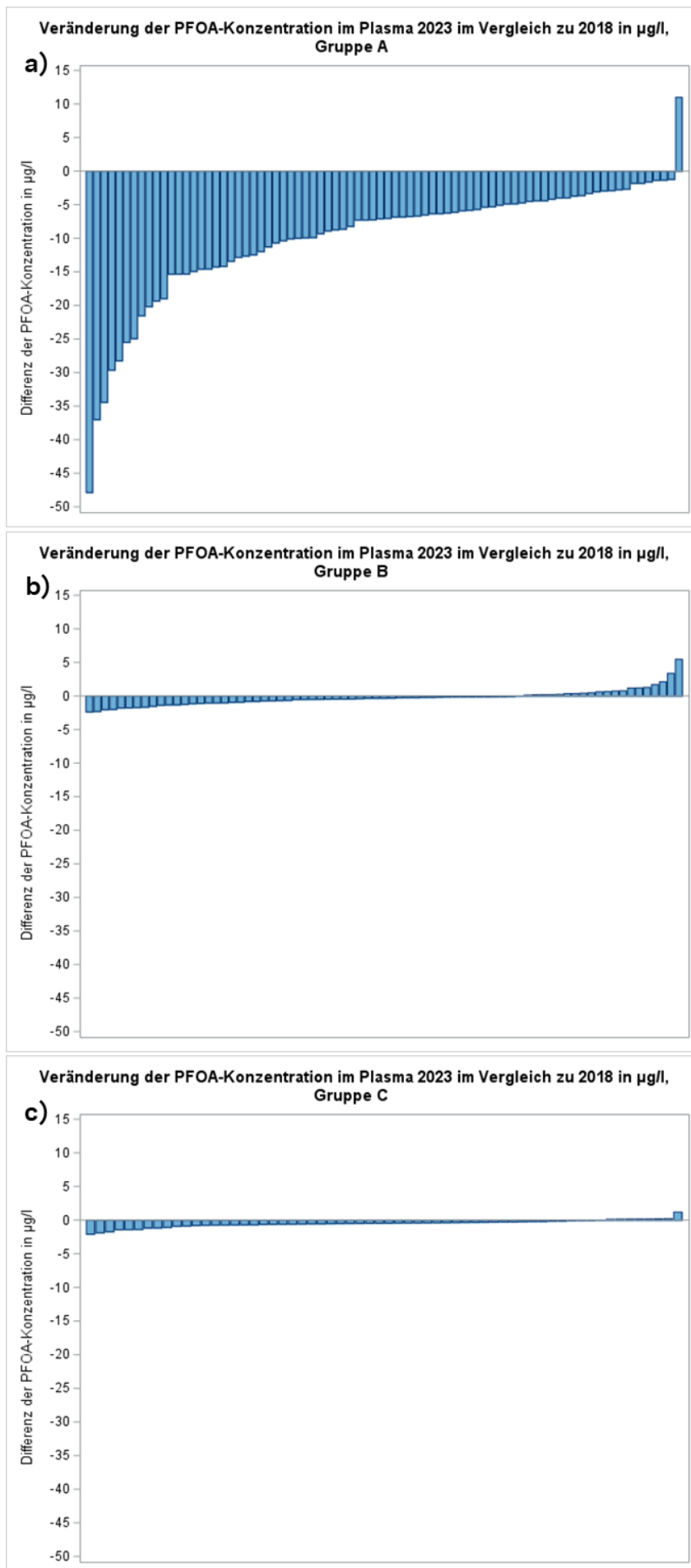


Abbildung 3.10: Veränderung der PFOA-Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] im Blutplasma 2023 im Vergleich zu 2018 von Personen, deren Blutplasma in den Jahren 2018 und 2023 untersucht wurde. a) Gruppe A, b) Gruppe B, c) Gruppe C.

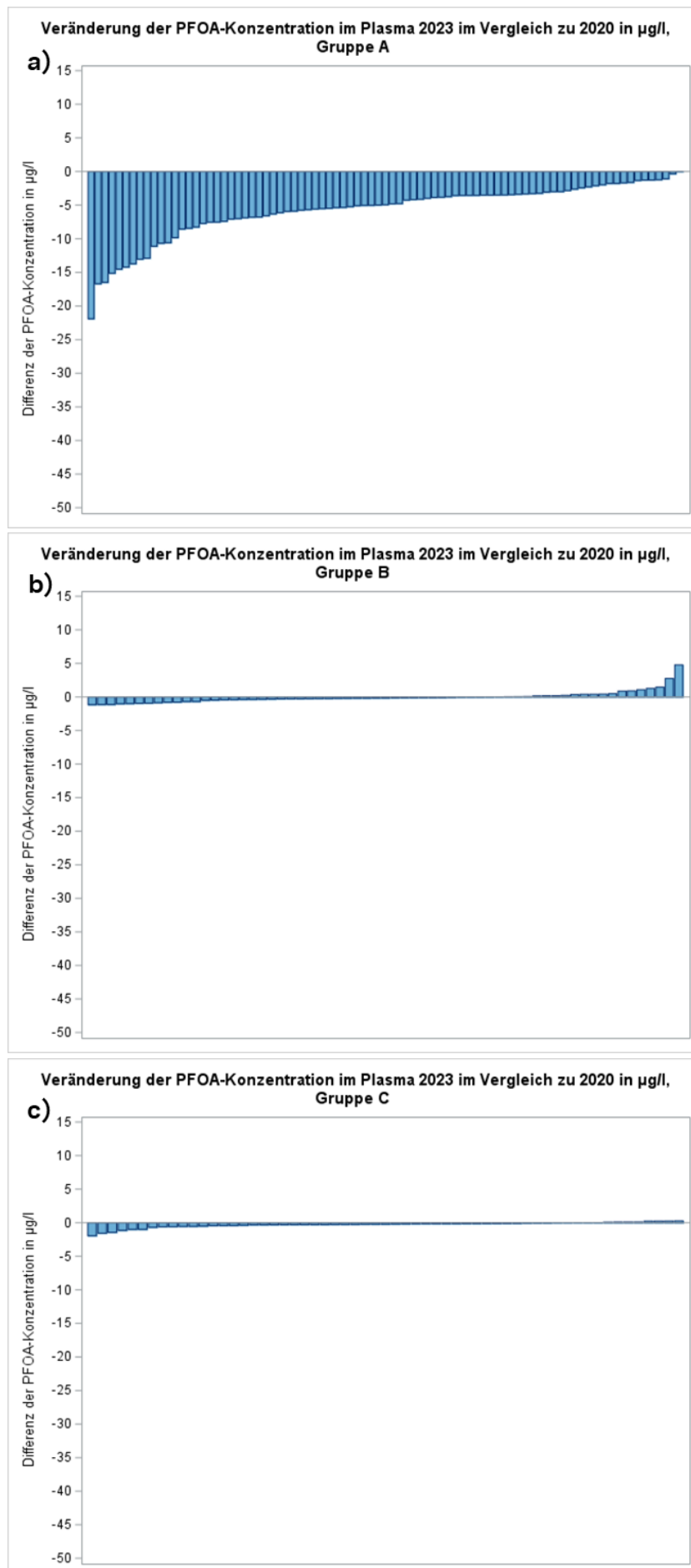


Abbildung 3.11: Veränderung der PFOA-Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] im Blutplasma 2023 im Vergleich zu 2020 von Personen, deren Blutplasma in den Jahren 2020 und 2023 untersucht wurde. a) Gruppe A, b) Gruppe B, c) Gruppe C.

3.2.6.1 Korrelation zwischen PFOA-Werten von 2018 bzw. 2020 und 2023

Zur Veranschaulichung der Korrelationen zwischen den PFOA-Konzentrationen von 2018 bzw. 2020 und 2023 wurden Scattergramme (Punktdiagramme) getrennt nach den Gruppen erstellt und die entsprechenden Korrelationskoeffizienten berechnet. Der Korrelationskoeffizient nach Spearman ist ein Maß für den monotonen Zusammenhang zwischen zwei Größen. Je näher der Wert bei 1 liegt, umso stärker ist der (positive) Zusammenhang zwischen den PFOA-Konzentrationen von 2018 bzw. 2020 und 2023.

Für den Vergleich der Jahre 2018 und 2023 lagen die Spearmanschen Korrelationskoeffizienten für alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer bei 0,92, für Gruppe A bei 0,87, für Gruppe B bei 0,77 und für Gruppe C bei 0,82 und für den Vergleich der Jahre 2020 und 2023 für alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer bei 0,97, für Gruppe A bei 0,96, für Gruppe B bei 0,9 und für Gruppe C bei 0,86. Dies deutet darauf hin, dass für Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer, die 2018 höhere PFOA-Konzentrationen im Blut aufwiesen, dies auch in den Jahren 2020 bzw. 2023 der Fall war.

Im Anhang 8.5 sind die Scattergramme in den Abbildungen 8.4.1, 8.4.2, 8.5.1 und 8.5.2 dargestellt.

3.3 Auswertung der PFOS-Konzentrationen im Blutplasma nach Gruppen

Dieser Abschnitt enthält die Ergebnisse der Auswertungen zur Verteilung des Untersuchungsparameters PFOS im Blutplasma der im Jahr 2023 untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C im Vergleich zu den Ergebnissen aus den ersten beiden Blutkontrolluntersuchungen 2018 und 2020.

Die Verteilung der PFOS-Konzentrationen in den drei untersuchten Gruppen A, B und C ist anhand von Medianen, Mittelwerten, Minima, Maxima, ersten und dritten Quartilen in Abbildung 3.12 und Tabelle 3.6 dargestellt. Bei den im Jahr 2023 untersuchten Personen aus Gruppe A lag die mediane Konzentration von PFOS im Blutplasma bei 2,17 µg/l. In den Gruppen B und C lagen die Mediane 2023 bei 2,84 µg/l bzw. 2,35 µg/l. Damit lag die mediane PFOS-Konzentration in Gruppe A wie schon 2018 und 2020 etwas unterhalb der Mediane von Gruppe B und C. Im Gruppenvergleich war dieser Unterschied jedoch nicht signifikant.

In Gruppe A ist die mediane PFOS-Konzentration im Blutplasma seit 2018 um ca. 0,2 µg/l Blutplasma zurückgegangen. Das entspricht etwa 10 % der medianen PFOS-Konzentration von 2018. In Gruppe B stieg die mediane PFOS-Konzentration im Blutplasma seit 2018 um 0,07 µg/l und in Gruppe C ging sie um ca. 0,3 µg/l zurück. Das entspricht einer Zunahme von 2,5 % der medianen PFOS-Konzentration von 2018 in Gruppe B und einer Abnahme von ca. 10 % in der Gruppe C.

Insgesamt betrachtet waren die medianen PFOS-Konzentrationen innerhalb der drei Untersuchungsjahre und innerhalb der drei Gruppen sehr ähnlich und lagen zwischen 2,17 µg/l und 2,84 µg/l.

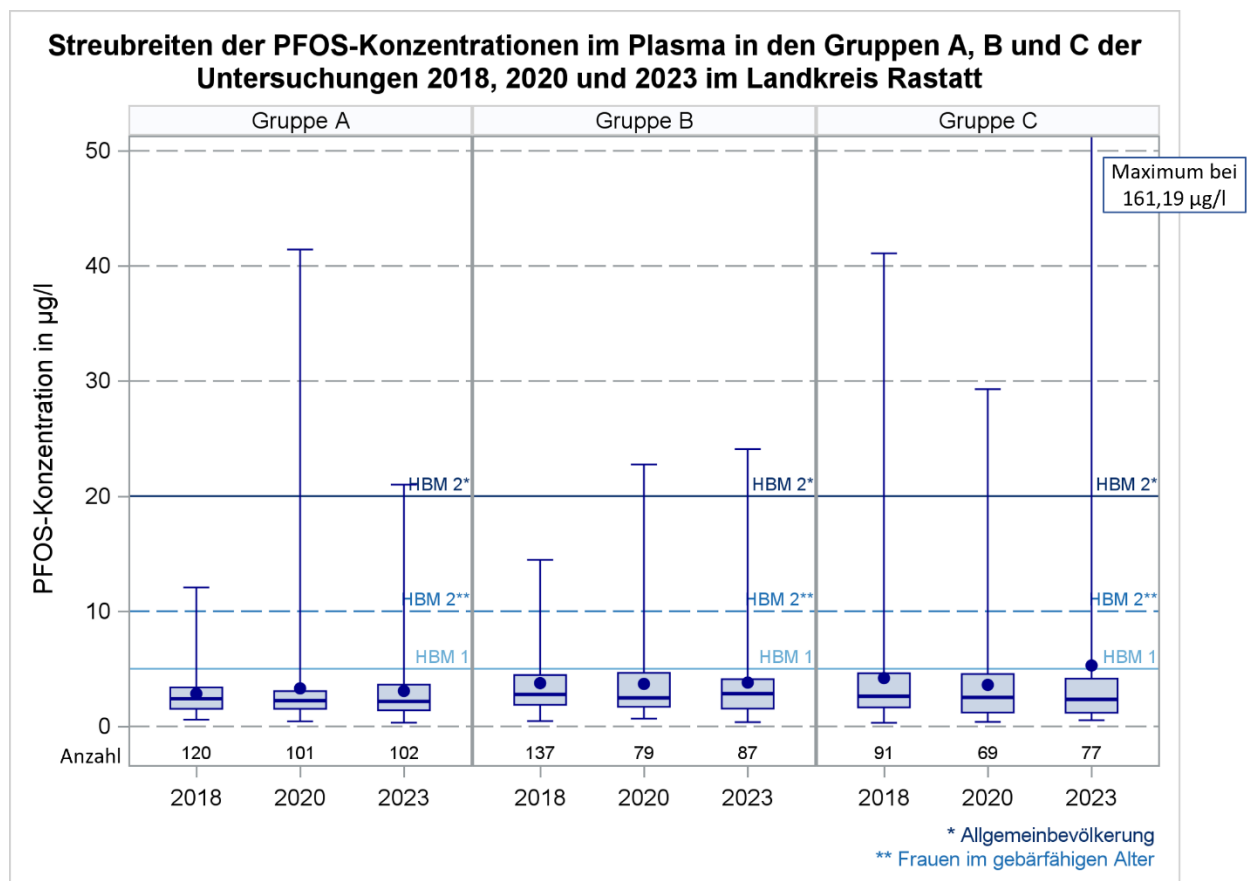


Abbildung 3.12: Minima, Maxima, Mediane, Quartile und Mittelwerte der PFOS-Konzentration im Blutplasma von 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C. Hervorgehoben sind der HBM-I-Wert (5 µg PFOS/l), der HBM-II-Wert für die Allgemeinbevölkerung (20 µg PFOS/l Blutplasma) sowie der HBM-II-Wert für Frauen im gebärfähigen Alter (10 µg PFOS/l Blutplasma).

Tabelle 3.6: Minima, Maxima, Quartile und Mittelwert [$\mu\text{g/l}$] der PFOS-Konzentration im Blutplasma nach Untersuchungsjahr und Gruppe*.

Untersuchung und Teilnehmer	Anzahl	Minimum			1. Quartil			Median			Mittelwert			3. Quartil			Maximum		
		$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	%	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	%	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	%	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	%	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	%	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	%
Gruppe A																			
U1 (2018)	120	0,59			1,53			2,40			2,84			3,39			12,07		
U2 (2020)	101	0,44	-0,15	-26,1	1,52	0,00	-0,1	2,23	-0,17	-7,0	3,30	0,46	+16,2	3,06	-0,33	-9,7	41,42	29,35	+243,2
U3 (2023)	102	0,32	-0,27	-45,8	1,39	-0,13	-8,7	2,17	-0,23	-9,7	3,07	0,23	+8,3	3,62	0,23	+6,8	21,00	8,93	+74,0
Gruppe B																			
U1 (2018)	137	0,46			1,88			2,77			3,76			4,46			14,47		
U2 (2020)	79	0,67	0,21	+45,6	1,70	-0,18	-9,7	2,47	-0,30	-10,8	3,69	-0,07	-1,8	4,65	0,19	+4,3	22,75	8,29	+57,3
U3 (2023)	87	0,36	-0,09	-20,5	1,54	-0,34	-18,1	2,84	0,07	+2,5	3,80	0,05	+1,3	4,09	-0,36	-8,1	24,08	9,61	+66,5
Gruppe C																			
U1 (2018)	91	0,31			1,65			2,61			4,20			4,61			41,09		
U2 (2020)	69	0,38	0,07	+24,0	1,20	-0,45	-27,2	2,52	-0,09	-3,6	3,60	-0,59	-14,1	4,55	-0,06	-1,4	29,29	-11,80	-28,7
U3 (2023)	77	0,53	0,22	+70,4	1,18	-0,47	-28,3	2,35	-0,26	-10,1	5,29	1,09	+26,0	4,15	-0,46	-9,9	161,19	120,10	+292,3

* Die Prozentzahlen basieren auf den nicht gerundeten Werten. Daher können sie sich von den gerundeten Konzentrationsangaben unterscheiden.

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

Im Untersuchungsjahr 2023 lagen die PFOS-Konzentrationen in Gruppe A bei ca. 86 % der Teilnehmerinnen und Teilnehmer, in den Gruppen B und C bei ca. 81 bzw. 83 % der Teilnehmerinnen und Teilnehmer unterhalb des HBM-I-Wertes. Nur etwa 1 % der PFOS-Werte lagen in allen drei Gruppen oberhalb des HBM-II-Wertes (siehe Tabelle 3.7).

Tabelle 3.7: Vergleich der gemessenen PFOS-Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] mit den HBM-I- und HBM-II-Werten. Dargestellt ist, wie viele der Werte unterhalb des HBM-I-Wertes ($< 5 \mu\text{g/l}$), oberhalb des HBM-II-Wertes oder im Bereich zwischen den beiden Werten liegen. Für die Allgemeinbevölkerung beträgt der HBM-II-Wert $20 \mu\text{g/l}$, für Frauen im gebärfähigen Alter (15-49 Jahre) $10 \mu\text{g/l}$.

Gruppe	Untersuchungs-jahr	Anzahl	unterhalb HBM-I-Wert		zwischen HBM-I- und HBM-II-Wert		oberhalb HBM-II-Wert	
			Anzahl (Wert $< 5 \mu\text{g/l}$)	%	Anzahl (Wert $\geq 5 \mu\text{g/l}$ und $\leq 20 \mu\text{g/l}$ (bzw. $\leq 10 \mu\text{g/l}^*$)	%	Anzahl (Wert $> 20 \mu\text{g/l}$ (bzw. $> 10 \mu\text{g/l}^*$)	%
Gruppe A	2018	120	109	90,8	11	9,2	0	0,0
	2020	101	89	88,1	10	9,9	≤ 3	2,0
	2023	102	88	86,3	13	12,7	≤ 3	1,0
Gruppe B	2018	137	110	80,3	26	19,0	≤ 3	0,7
	2020	79	64	81,0	14	17,7	≤ 3	1,3
	2023	87	70	80,5	16	18,4	≤ 3	1,1
Gruppe C	2018	91	71	78,0	18	19,8	≤ 3	3,3
	2020	69	52	75,4	16	23,2	≤ 3	1,4
	2023	77	64	83,1	12	15,6	≤ 3	1,3

* HBM-II-Wert für Frauen im gebärfähigen Alter (15-49 Jahre)

3.3.1.1 Vergleich mit Teilnehmerinnen und Teilnehmern, die an zwei oder drei Untersuchungen teilgenommen haben

Wie auch für PFOA wurden die PFOS-Ergebnisse aller Teilnehmerinnen und Teilnehmer der drei Untersuchungen (Abbildung 3.12 und Tabelle 3.6) mit den Ergebnissen derjenigen Teilnehmerinnen und Teilnehmer verglichen, die an allen drei Untersuchungen (2018, 2020 und 2023), an den Untersuchungen 2018 und 2023 oder an den Untersuchungen 2020 und 2023 teilgenommen hatten. Diese Ergebnisse sind in Abbildung 3.13 zusammengefasst. Die entsprechenden Quartile, Minima, Maxima und Mittelwerte sind in den Tabellen 8.10 bis 8.12 in Anhang 8.6 aufgeführt.

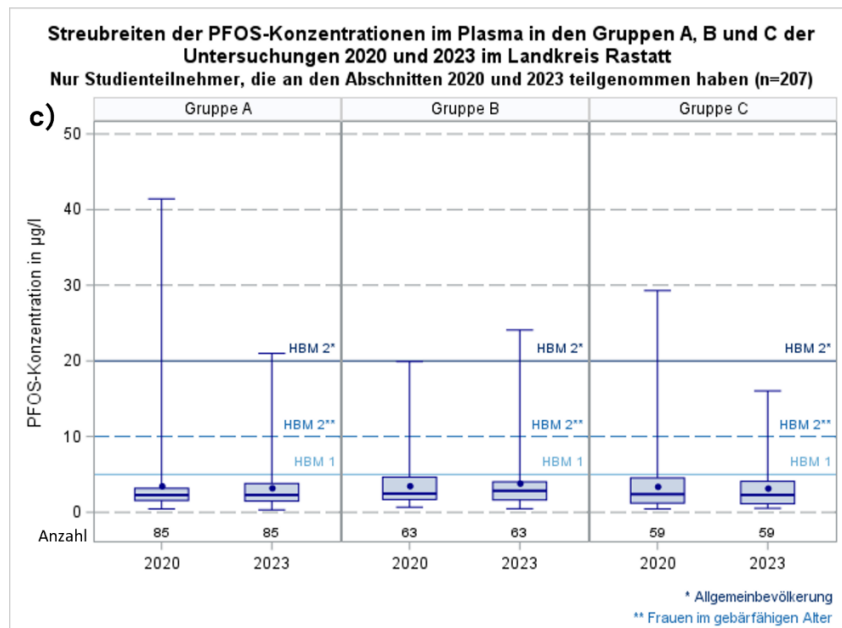
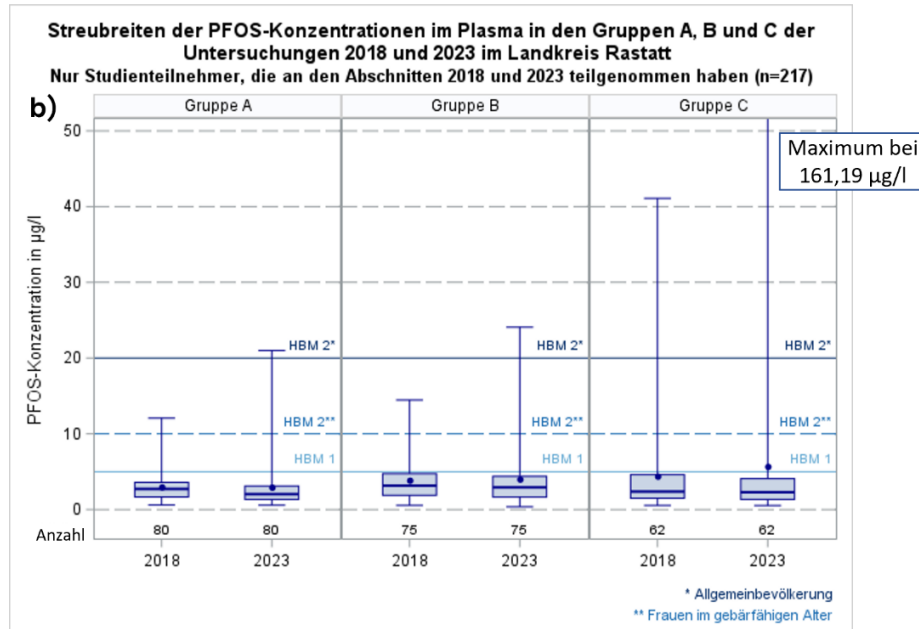
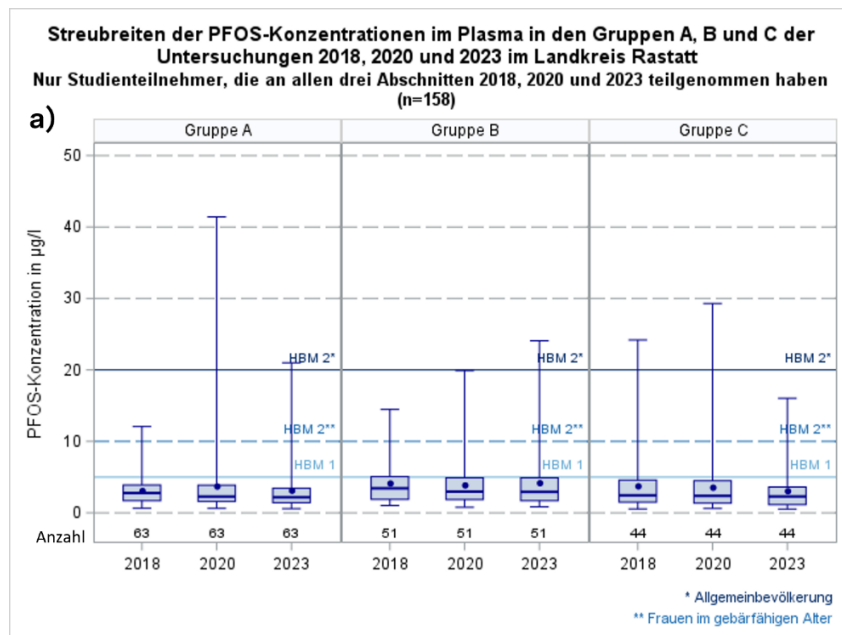


Abbildung 3.13: Minima, Maxima, Mediane, Quartile und Mittelwerte der PFOS-Konzentration im Blutplasma von untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C. a) bei Teilnehmern, die an den Untersuchungen 2018, 2020 und 2023 teilgenommen haben. b) bei Teilnehmern, die an den Untersuchungen 2018 und 2020 teilgenommen haben. c) bei Teilnehmern, die an den Untersuchungen 2020 und 2023 teilgenommen haben.

Bei Personen in Gruppe A, die an allen drei Untersuchungsrounden 2018, 2020 und 2023 teilgenommen haben, betrug der Rückgang der medianen PFOS-Konzentrationen im Blutplasma etwa 22 % (von 2,77 µg/l auf 2,17 µg/l), bei Personen, welche nur 2018 und 2023 teilgenommen haben, ca. 25 % (von 2,72 µg/l auf 2,03 µg/l). Ein ähnlicher Rückgang (ca. 10 %) wurde auch bei der Gruppe aller Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Gesamtuntersuchung (Abbildung 3.12 und Tabelle 3.6) beobachtet. Dagegen wurde bei Personen, welche nur 2020 und 2023 teilgenommen haben, eine minimale Zunahme von etwa 0,6 % festgestellt (von 2,27 µg/l auf 2,29 µg/l).

In Gruppe B wurde im Vergleich zur Untersuchung 2018 ein Rückgang der medianen PFOS-Konzentration von etwa 15 % bzw. 7 % bei Personen festgestellt, welche an allen drei Untersuchungsrounden teilgenommen haben (von 3,43 µg/l auf 2,93 µg/l) und bei Personen, welche an den Untersuchungen 2018 und 2023 teilgenommen haben (von 3,16 µg/l auf 2,93 µg/l). Dagegen wurde eine Zunahme der medianen PFOS-Konzentration von etwa 15 % bei Personen festgestellt, welche 2020 und 2023 teilgenommen haben (von 2,47 µg/l auf 2,84 µg/l). Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, wurde auch bei allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern (Gruppe B) der Gesamtuntersuchung eine minimale Zunahme der PFOS-Konzentration (um etwa 2,5 %) festgestellt (Abbildung 3.12 und Tabelle 3.6). Bei Personen in Gruppe C, die an allen drei Untersuchungen (2018, 2020 und 2023), und bei Personen, die an zwei Untersuchungen teilgenommen haben (Teilnahme 2018 und 2023 bzw. Teilnahme 2020 und 2023), wurde eine Verringerung der medianen Konzentration von etwa 4-7 % festgestellt. Eine ähnliche Abnahme der medianen PFOS-Konzentration zwischen 2018 und 2023 wurde auch bei den allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern in Gruppe C festgestellt (Abbildung 3.12 und Tabelle 3.6).

3.3.1.2 Vergleich der Histogramme der PFOS-Konzentrationen in den drei Gruppen

Die Histogramme der beobachteten PFOS-Konzentrationen sowohl für alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer als auch für diejenigen Personen, die an zwei oder allen drei Untersuchungen teilgenommen haben, sind im Anhang 8.7 in den Abbildungen 8.6 bis 8.10 wiedergegeben.

3.4 Auswertung weiterer PFAS im Blutplasma

Neben PFOA und PFOS wurden auch die Untersuchungsparameter PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFDaA, PFBS, PFHxS und PFHpS in den Blutplasmaproben analysiert. Dieser Abschnitt enthält die Ergebnisse der Auswertungen zur Verteilung der genannten Untersuchungsparameter im Blutplasma der im Jahr 2023 untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C im Vergleich zu den Ergebnissen der ersten beiden Blutkontrolluntersuchungen 2018 und 2020. Diese Ergebnisse sind in den Tabellen 3.8 bis 3.10 zusammengefasst. Die analysierten Lageparameter und Streuungen der Einzelwerte beziehen sich hierbei auf die Gesamtzahl N der Teilnehmerinnen und Teilnehmer einer Untersuchungsrunde. Da es für die genannten PFAS keine Beurteilungswerte gibt, können die ermittelten Konzentrationen toxikologisch nicht eingeordnet werden.

Im Vergleich zu PFOA und PFOS wird bei den Laborparametern dieses Kapitels auf eine zweite Auswertung mit einem Teilkollektiv der untersuchten Personen wegen der geringeren Streuungen der Messwerte und der bei einigen PFAS hohen Zahl von Messwerten unterhalb der Bestimmungsgrenze verzichtet, da hierdurch kaum zusätzliche Informationen zu erwarten sind.

Die Auswertungen ergaben, dass die PFHxA-Konzentrationen in allen Blutproben 2018, 2020 und 2023 unterhalb der Bestimmungsgrenze (LOQ; 0,3 µg/l) lagen. PFPeA-, PFDaA- und PFBS-Konzentrationen konnten nur in wenigen Blutproben oberhalb der Bestimmungsgrenze detektiert werden. Aufgrund der geringen Anzahl wurden die Ergebnisse der Auswertungen für PFPeA-, PFHxA-, PFDaA- und PFBS für alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer nach Untersuchungsjahren, allerdings ohne gesonderte Auswertung für die drei Gruppen A, B und C in Tabelle 3.8 zusammengefasst.

Tabelle 3.8: Minima, Maxima, Mittelwerte und Quartile [$\mu\text{g/l}$] (bezogen auf die Teilnehmer N) folgender PFAS-Konzentrationen im Blutplasma nach Untersuchungsjahr ohne Unterteilung in Gruppen: PFPeA, PFHxA, PFDoA und PFBS. LOQ = 0,3 $\mu\text{g/l}$ für PFPeA bzw. PFHxA; LOQ = 0,1 $\mu\text{g/l}$ für PFDoA bzw. PFBS.

Untersuchung	Variable	Anzahl N	n > LOQ	Minimum	1. Quartil	Median	3. Quartil	Maximum
				$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
U1 (2018)	PFPeA	348	7	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,58
U2 (2020)	PFPeA	249	76	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,33	3,70
U3 (2023)	PFPeA	266	0	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
U1 (2018)	PFHxA	348	0	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
U2 (2020)	PFHxA	249	0	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
U3 (2023)	PFHxA	266	0	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
U1 (2018)	PFDoA	348	23	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	6,52
U2 (2020)	PFDoA	249	21	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	6,39
U3 (2023)	PFDoA	266	20	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,47
U1 (2018)	PFBS	348	≤ 3	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,28
U2 (2020)	PFBS	249	≤ 3	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,73
U3 (2023)	PFBS	266	≤ 3	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,34

LOQ = Bestimmungsgrenze, N = Gesamtzahl, n = Anzahl

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

Die Konzentrationen der weiteren untersuchten PFAS bewegten sich allgemein meist im niedrigen einstelligen Mikrogrammbereich oder darunter. Eine Übersicht über die ermittelten Minima, Maxima, Mittelwerte und Quartile der PFHpA-, PFNA-, PFDA-, PFUnA-, PFHxS-, PFHpS-Konzentrationen in den Blutplasmaproben getrennt nach den Gruppe A, B und C zeigen die Tabellen 3.9 und 3.10. Im Jahr 2023 wurden PFNA und PFHxS in fast allen Proben nachgewiesen (ca. 99 %), PFDA in ca. 85 % der Proben, PFHpS in ca. 58 % der Proben, PFUnA in ca. 26 % der Proben und PFHpA in ca. 23 % der Proben. Auf eine detailliertere Beschreibung der Werte wird an dieser Stelle verzichtet.

Tabelle 3.9: Minima, Maxima, Mittelwerte und Quartile [$\mu\text{g/l}$] (bezogen auf die Teilnehmer N) folgender PFAS-Konzentrationen im Blutplasma nach Untersuchungsjahr und Gruppe: PFHpA, PFNA, PFDA, PFUnA; LOQ = 0,1 $\mu\text{g/l}$ für PFHpA, PFNA, PFDA, PFUnA.

Gruppe	Untersuchung	Variable	Anzahl N	n > LOQ	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
					$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
Gruppe A	U1 (2018)	PFHpA	120	91	<LOQ	0,10	0,29	0,53	0,59	10,34
	U2 (2020)	PFHpA	101	36	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,22	0,15	6,37
	U3 (2023)	PFHpA	102	23	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,10	<LOQ	2,62
Gruppe B	U1 (2018)	PFHpA	137	29	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,08	<LOQ	0,76
	U2 (2020)	PFHpA	79	18	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,08	<LOQ	0,52
	U3 (2023)	PFHpA	87	33	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,14	0,16	1,17
Gruppe C	U1 (2018)	PFHpA	91	5	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,06	<LOQ	0,18
	U2 (2020)	PFHpA	69	6	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,07	<LOQ	0,69
	U3 (2023)	PFHpA	77	5	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,06	<LOQ	0,15
Gruppe A	U1 (2018)	PFNA	120	120	0,14	0,35	0,51	0,69	0,69	6,91
	U2 (2020)	PFNA	101	100	<LOQ	0,32	0,43	0,79	0,62	14,25
	U3 (2023)	PFNA	102	101	<LOQ	0,29	0,40	0,63	0,58	7,61
Gruppe B	U1 (2018)	PFNA	137	136	<LOQ	0,37	0,51	0,63	0,74	4,02
	U2 (2020)	PFNA	79	79	0,12	0,32	0,45	0,57	0,64	4,45
	U3 (2023)	PFNA	87	86	<LOQ	0,27	0,44	0,54	0,63	2,28
Gruppe C	U1 (2018)	PFNA	91	88	<LOQ	0,34	0,49	0,56	0,65	2,37
	U2 (2020)	PFNA	69	67	<LOQ	0,26	0,37	0,44	0,55	2,16
	U3 (2023)	PFNA	77	77	0,12	0,26	0,35	0,43	0,53	2,16
Gruppe A	U1 (2018)	PFDA	120	110	<LOQ	0,14	0,21	0,52	0,34	23,47
	U2 (2020)	PFDA	101	93	<LOQ	0,14	0,19	0,70	0,29	22,16
	U3 (2023)	PFDA	102	84	<LOQ	0,12	0,18	0,35	0,28	4,61
Gruppe B	U1 (2018)	PFDA	137	128	<LOQ	0,17	0,24	0,34	0,40	1,95
	U2 (2020)	PFDA	79	74	<LOQ	0,16	0,23	0,36	0,34	5,28
	U3 (2023)	PFDA	87	78	<LOQ	0,14	0,24	0,35	0,35	2,56
Gruppe C	U1 (2018)	PFDA	91	84	<LOQ	0,13	0,19	0,26	0,28	2,29
	U2 (2020)	PFDA	69	57	<LOQ	0,12	0,17	0,22	0,24	1,30
	U3 (2023)	PFDA	77	63	<LOQ	0,11	0,17	0,23	0,27	1,62
Gruppe A	U1 (2018)	PFUnA	120	36	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,14	0,11	4,32
	U2 (2020)	PFUnA	101	31	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,16	0,12	3,81
	U3 (2023)	PFUnA	102	25	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,09	<LOQ	0,50
Gruppe B	U1 (2018)	PFUnA	137	43	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,09	0,12	0,41
	U2 (2020)	PFUnA	79	26	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,09	0,12	0,78
	U3 (2023)	PFUnA	87	24	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,09	0,10	0,76
Gruppe C	U1 (2018)	PFUnA	91	23	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,08	0,10	0,43
	U2 (2020)	PFUnA	69	21	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,09	0,11	0,38
	U3 (2023)	PFUnA	77	19	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,07	<LOQ	0,26

LOQ = Bestimmungsgrenze, N = Gesamtzahl, n = Anzahl

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

Tabelle 3.10: Minima, Maxima, Quartile [$\mu\text{g/l}$] (bezogen auf die Teilnehmer N) folgender PFAS-Konzentrationen im Blutplasma nach Untersuchungsjahr und Gruppe: PFHxS, PFHpS. LOQ = 0,1 $\mu\text{g/l}$ für PFHxS und, PFHpS

Gruppe	Untersuchung	Variable	Anzahl N	n > LOQ	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
					$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
Gruppe A	U1 (2018)	PFHxS	120	120	0,14	0,58	0,85	0,95	1,24	3,87
	U2 (2020)	PFHxS	101	100	<LOQ	0,61	0,83	1,08	1,20	18,82
	U3 (2023)	PFHxS	102	101	<LOQ	0,57	0,91	1,11	1,20	20,51
Gruppe B	U1 (2018)	PFHxS	137	136	<LOQ	0,48	0,82	0,98	1,36	4,01
	U2 (2020)	PFHxS	79	79	0,23	0,50	0,84	1,12	1,64	5,43
	U3 (2023)	PFHxS	87	87	0,14	0,50	0,83	1,05	1,46	3,84
Gruppe C	U1 (2018)	PFHxS	91	90	<LOQ	0,50	0,79	0,96	1,16	4,29
	U2 (2020)	PFHxS	69	69	0,11	0,45	0,63	0,89	1,14	4,91
	U3 (2023)	PFHxS	77	77	0,15	0,47	0,74	0,94	1,10	3,88
Gruppe A	U1 (2018)	PFHpS	120	72	<LOQ	<LOQ	0,13	0,14	0,21	0,61
	U2 (2020)	PFHpS	101	64	<LOQ	<LOQ	0,15	0,16	0,20	0,99
	U3 (2023)	PFHpS	102	64	<LOQ	<LOQ	0,13	0,14	0,18	0,82
Gruppe B	U1 (2018)	PFHpS	137	80	<LOQ	<LOQ	0,13	0,16	0,24	0,55
	U2 (2020)	PFHpS	79	48	<LOQ	<LOQ	0,13	0,16	0,22	0,63
	U3 (2023)	PFHpS	87	49	<LOQ	<LOQ	0,11	0,15	0,21	0,54
Gruppe C	U1 (2018)	PFHpS	91	57	<LOQ	<LOQ	0,13	0,17	0,20	1,35
	U2 (2020)	PFHpS	69	37	<LOQ	<LOQ	0,11	0,14	0,19	0,97
	U3 (2023)	PFHpS	77	42	<LOQ	<LOQ	0,11	0,15	0,18	1,08

LOQ = Bestimmungsgrenze, N = Gesamtzahl, n = Anzahl

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

In den Anhängen 8.8.1 bis 8.8.6 sind für PFHpA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFHxS, PFHpS zusätzliche Auswertungen für die Anzahl „n“ der Teilnehmerinnen und Teilnehmer zusammengefasst, deren Plasmakonzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze LOQ gemessen wurden. Die für dieses Teilkollektiv ermittelten Minima, Maxima, Mittelwerte und Perzentile werden als Boxplot dargestellt sowie in einer Tabelle zusammengefasst. Zusätzlich werden die Häufigkeitsverteilungen der jeweiligen PFAS-Konzentrationen in Histogrammen nach Untersuchungsjahr und Gruppe veranschaulicht. Auf eine detaillierte Beschreibung der Untersuchungsergebnisse für die weiteren PFAS wird verzichtet. Signifikante Unterschiede bei den einzelnen Gruppen wurden untersucht, ergaben aber keine Hinweise für weitere Auswertungen. Die beobachtbaren Unterschiede zwischen den Untersuchungsjahren bzw. zwischen den Gruppen werden dominiert von den Ergebnissen einzelner Teilnehmerinnen und Teilnehmer.

4 Diskussion

Nach einem Schadensfall mit PFAS im Landkreis Rastatt hat das Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg in Kooperation mit dem Gesundheitsamt Rastatt in den Jahren 2018, 2020 und 2023 PFAS-Blutkontrolluntersuchungen in der Bevölkerung durchgeführt. Hauptziel der Blutkontrolluntersuchungen war die Erhebung und vergleichende Beschreibung von PFOA- und anderen PFAS-Konzentrationen im Blutplasma bei drei Personengruppen (Gruppe A, B und C) in festgelegten Untersuchungsgebieten im Landkreis Rastatt (vgl. Kapitel 2.2):

- **Gruppe A:** zufällig ausgewählte Personen aus Orten, die vor 2014 einer PFAS-Exposition über Trinkwasser ausgesetzt waren
- **Gruppe B:** zufällig ausgewählte Personen aus Orten mit PFAS-Exposition über Belastungen im Boden und Grundwasser, ohne Exposition über Trinkwasser aus der öffentlichen Wasserversorgung
- **Gruppe C:** zufällig ausgewählte Personen aus Orten ohne zusätzliche PFAS-Belastung im Boden oder Trinkwasser.

Die Blutkontrolluntersuchung wurde in den drei genannten Gruppen mit je circa 100 zufällig ausgewählten Personen durchgeführt. Neben der Konzentration von PFOA im Blutplasma wurden auch folgende PFAS analysiert: PFOS, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFDoA, PFBS, PFHxS und PFHpS. Die Teilnahme an der Blutkontrolluntersuchung erfolgte freiwillig. Bei der Untersuchung wurden zusätzlich Angaben zu Alter und Geschlecht, Fragen zur Ernährung und zum Trinkwasserkonsum sowie zu Wohnort und Wohndauer abgefragt.

Bei den drei PFAS-Blutkontrolluntersuchungen 2018, 2020 und 2023 wurde das Blutplasma von 348, 249 bzw. 266 Teilnehmerinnen und Teilnehmern untersucht. Bei allen drei Blutkontrolluntersuchungen waren insgesamt etwa 60 % der Personen weiblich und 40 % männlich. Im Verlauf der Gesamtuntersuchung war zudem die Verteilung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer in ihrer Alterskategorie sowohl innerhalb der Untersuchungsrounden als auch in den Gruppen A, B und C relativ konstant: ca. 60 % der Personen gehörten zu den „Jahrgängen 1967 und älter“, ca. 30 % zu den „Jahrgängen 1968 bis 1977“ und ca. 10 % zu den „Jahrgängen 1978 und jünger“.

Im Rahmen der Blutkontrolluntersuchungen wurden bei den untersuchten Personen aus Orten mit einer früheren PFAS-Belastung über das Trinkwasser (Gruppe A) höhere

Konzentrationen von PFOA im Blutplasma festgestellt als bei Personen aus den anderen beiden Untersuchungsgruppen B und C. In der Gruppe A ist die mediane PFOA-Konzentration im Blutplasma seit der ersten Untersuchungsrunde von 15,62 µg/l auf 7,52 µg/l zurückgegangen. Dieser PFOA-Konzentrationsrückgang um etwa 52 % liegt in dem zu erwartenden Bereich (Halbwertszeit 2 bis 4 Jahre) und deutet darauf hin, dass im Untersuchungszeitraum keine weitere relevante PFOA-Anreicherung erfolgte. Die Ergebnisse der Blutkontrolluntersuchung bestätigen zudem die Resultate anderer Studien, in denen bei PFOA Halbwertszeiten von mehreren Jahren beobachtet wurden. Beispielsweise beträgt die Halbwertszeit beim Menschen nach Angaben des Umweltbundesamtes 2,3 bis 3,8 Jahre (UBA, 2018) und nach Angaben der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (*European Food Safety Authority*, EFSA; EFSA, 2018) etwa 2 bis 4 Jahre.

In Gruppe B (PFAS-Exposition über Belastungen im Boden und Grundwasser) und Gruppe C (Kontrollgruppe ohne zusätzliche PFAS-Belastung im Boden, Trink- oder Grundwasser) waren die PFOA-Konzentrationen niedriger als in Gruppe A. Die medianen PFOA-Konzentrationen nahmen in Gruppe B von 2,45 µg/l auf 2,21 µg/l um etwa 10 % und in Gruppe C von 1,75 µg/l auf 1,13 µg/l um etwa 35 % ab. Personen aus Gruppe B hatten PFOA-Konzentrationen im Blut, die im Median um etwa 1 µg/l höher lagen als in Gruppe C. Diese Rückgänge lassen sich mit einer generell niedrigeren Exposition gegenüber PFOA nach der Aufnahme in eine EU-weite Regulierung und damit einem weitestgehenden Verbot des Stoffes erklären.

Ein Vergleich mit dem HBM-II-Wert (10 µg PFOA/l Blutplasma für die Allgemeinbevölkerung bzw. 5 µg/l für Frauen im gebärfähigen Alter) zeigte, dass in Gruppe A bei ca. 38 % der Teilnehmerinnen und Teilnehmer die PFOA-Werte oberhalb des HBM-II-Wertes lagen (ca. 82 % in 2018). In den drei Untersuchungsjahren lagen in der Gruppe B nur einzelne PFOA-Konzentrationen über dem HBM-II-Wert und in Gruppe C keine PFOA-Konzentrationen oberhalb des HBM-II-Wertes. Der Biologische Arbeitsstoff-Toleranzwert (BAT-Wert, vgl. Kapitel 1.2) als Grenzwert für die Konzentration eines Arbeitsstoffes in biologischem Material (z. B. Blut oder Urin) von Beschäftigten, die beruflich direkt mit PFOA umgehen, liegt für PFOA bei 5000 µg/l Serum. Dieser Grenzwert wurde in den vorliegenden Blutkontrolluntersuchungen bei keiner der untersuchten Blutproben überschritten.

Der HBM-II-Wert entspricht der Konzentration eines Stoffes in einem Körpermedium, bei deren Überschreitung nach Einschätzung durch Experten der HBM-Kommission eine für die Betroffenen als relevant anzusehende gesundheitliche Beeinträchtigung grundsätzlich möglich ist. Es muss allerdings nicht unbedingt bei solchen Konzentrationen zu einer gesundheitlichen Beeinträchtigung kommen (UBA, 2020a). Die HBM-Kommission empfiehlt, dass eine weitere Belastung durch die Beseitigung von spezifischen Expositionsquellen umgehend verringert werden solle. Nach Bekanntwerden der Trinkwasserbelastung im Landkreis Rastatt im Jahr 2013 wurde die PFAS-Belastung durch weitreichende Maßnahmen deutlich gesenkt (z.B. Außerbetriebnahme einzelner Brunnen, Aufbereitung des Trinkwassers sowie die Entwicklung eines neuen Entnahmemanagements mit dem Aufbau neuer Verbundlösungen und der Erschließung neuer, unbelasteter Brunnen). Wie oben ausgeführt, deutet der Rückgang der PFOA-Konzentration in Gruppe A darauf hin, dass es innerhalb des Untersuchungszeitraums zu keiner weiteren relevanten PFOA-Anreicherung im Blutplasma kam und somit die Maßnahmen zur PFAS-Reduktion im Trinkwasser Erfolg zeigen.

4.1 Vergleich mit anderen PFAS-Schadensfällen und Hintergrundbelastungen

Ein Vergleich der vorliegenden Ergebnisse aus den drei untersuchten Gruppen mit anderen PFAS-Untersuchungen in der Bevölkerung ist in den folgenden Abbildungen 4.1 und 4.2 dargestellt.

Neben dem Landkreis Rastatt sind in Deutschland zwei weitere Schadensfälle bekannt, bei denen das Trinkwasser mit PFAS belastet wurde. In Arnsberg im Hochsauerlandkreis wurden 2006 erhöhte PFOA-Gehalte im Trinkwasser festgestellt. Die dortige großflächige Kontamination entstand, da über mehrere Jahre PFAS-belastete Industrieabfälle auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht wurden. Dies führte zu einer Belastung von Böden und Oberflächengewässern. Im Landkreis Altötting wurde in einem Industriebetrieb in Gendorf 1968 bis 2003 PFOA produziert und bis 2008 zur Herstellung von Fluorpolymeren verwendet. Es kam zu einer großflächigen Kontamination der Umwelt und des Trinkwassers.

In Arnsberg wurde über mehrere Jahre hinweg die innere Belastung von Mutter-Kind-Paaren und Männern in Gebieten mit erhöhter PFAS-Belastung des Trinkwassers untersucht (RUB, 2019; RUB, 2015; RUB, 2008; RUB 2007). Gemäß den Untersuchungsergebnissen betrugen die medianen PFOA-Konzentrationen im Jahr 2007 für die Mütter 24,93 µg/l und für die Männer 27,44 µg/l, im Jahr 2017 dagegen noch 2,9 µg/l bei den Frauen und 6,3 µg/l bei den Männern (RUB, 2019 und RUB, 2007). Dies entspricht einem Rückgang der medianen PFOA-Konzentration von ca. 88 % bei den Frauen und 77 % bei den Männern. Innerhalb der ersten vier Untersuchungsjahre (zwischen 2006 und 2010) verringerten sich die medianen Konzentrationen bei den Männern von 27,44 µg/l auf 15,7 µg/l (ca. 43 %) und bei Frauen von 24,93 µg/l auf 8,3 µg/l (ca. 67 %) (RUB, 2015 und RUB, 2007).

Im Landkreis Altötting nahm innerhalb des Untersuchungszeitraums 2018 bis 2022 die mediane PFOA-Konzentration in der Allgemeinbevölkerung um ca. 57 % (von 23,18 µg/l auf 10,00 µg/l) und bei Frauen im gebärfähigen Alter zwischen 15 und 49 Jahren um 59,5 % (von 10,93 µg/l auf 4,43 µg/l) ab (LGL, 2024a).

Die im Rahmen der Blutkontrolluntersuchungen im Landkreis Rastatt gemessenen PFOA-Konzentrationen im Blutplasma und der Rückgang von 2018 bis 2023 in Gruppe A um ca. 52 % lagen insgesamt in einem Bereich, der vergleichbar mit den Untersuchungsergebnissen der beiden anderen PFAS-Schadensfälle ist (vergleiche Abbildung 4.1).

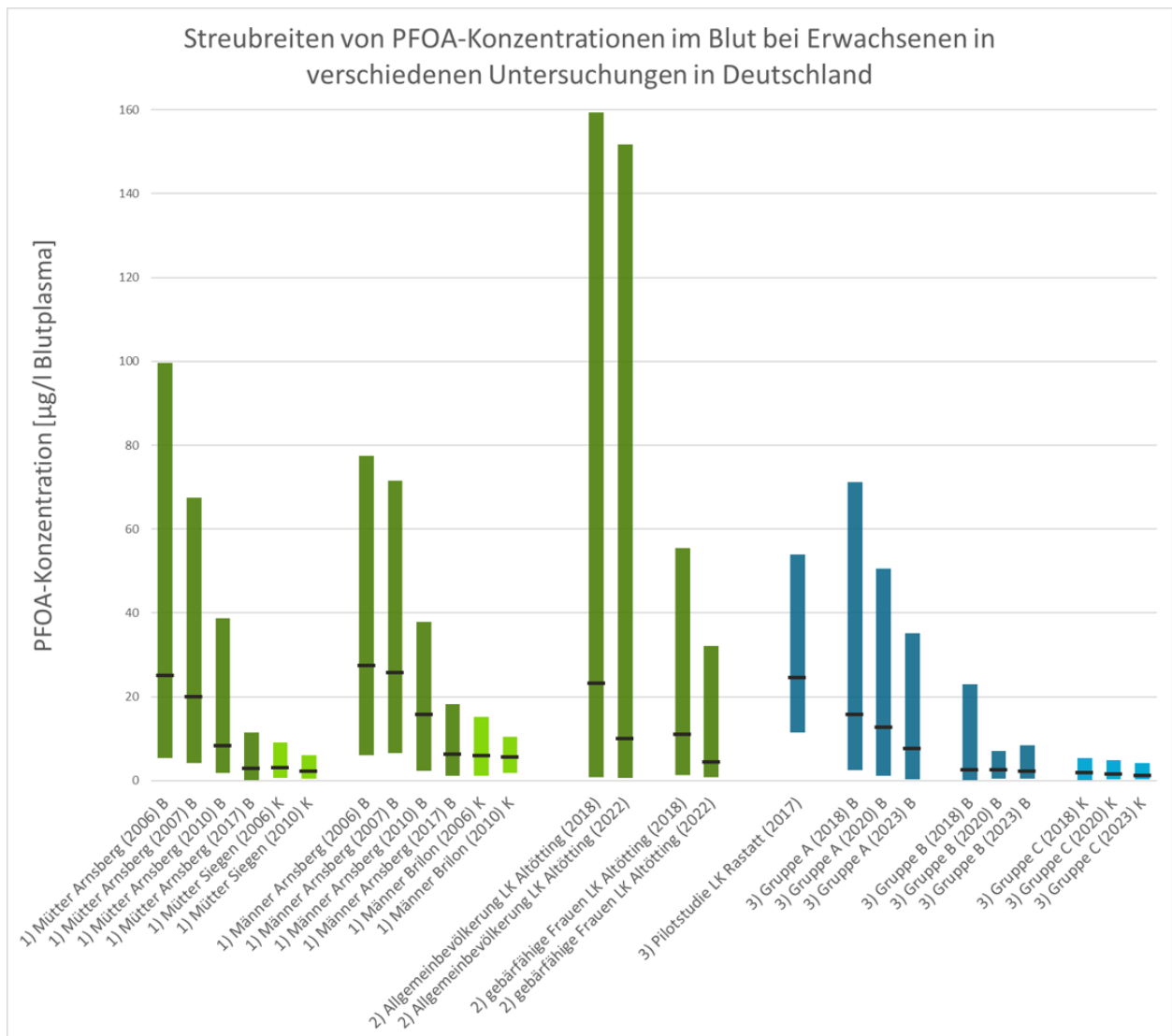


Abbildung 4.1: Spannweiten (Minima bis Maxima) und Median (—) von PFOA-Konzentrationen im Blut bei Erwachsenen, die in Deutschland erhöhten PFOA-Konzentrationen im Trinkwasser ausgesetzt waren, einschließlich der Ergebnisse für die drei Gruppen A, B und C aus der Blutkontrolluntersuchung 2018, 2020 und 2023 im Landkreis Rastatt. B = PFAS-belastete Gruppe (dunkelgrün bzw. dunkelblau), K = Kontrollgruppe (hellgrün bzw. hellblau)

Verwendete Studiendaten:

- 1) PFAS-Trinkwasserbelastung in Arnberg in Nordrhein-Westfalen; Humanbiomonitoring 2006, 2007, 2010 und 2017 (RUB, 2019, RUB, 2015, RUB, 2008, RUB, 2007)
 - belastete Gruppe in Arnberg: Mütter (n = 164, n = 138, n = 117 bzw. n = 77) und Männer (n = 101, n = 82, n = 79 bzw. n = 59) (2006, 2007, 2010 und 2017),
 - unbelastete Kontrollgruppe (2006 und 2010): Mütter in Siegen (n = 153, n = 18) und Männer in Brilon (n = 103, n = 20),
- 2) Trinkwasserbelastung mit PFOA im Landkreis Altötting; Humanbiomonitoring 2018 und 2020 (LGL, 2024a):
 - Allgemeinbevölkerung (n=559),
 - Frauen im gebärfähigen Alter (n=117)
- 3) Pilotstudie LK Rastatt (2017) (n=13)
PFAS-Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt 2018, 2020 und 2023:
 - PFAS-Belastung über Trinkwasser (Gruppe A) (n = 120, 101 bzw. 102)
 - PFAS-Belastung über Boden/Grundwasser (Gruppe B) (n = 137, 79 bzw. 87)
 - Kontrollgruppe (Gruppe C) (n = 91, 69 bzw. 77)

In den letzten Jahren wurden einige Studien zur inneren PFAS-Belastung der Allgemeinbevölkerung (Hintergrundbelastung), von Personen, die regional belastet sind, sowie von beruflich exponierten Personen durchgeführt. Generell zeigen Humanbiomonitoring-Studien, dass Menschen weltweit und regional unterschiedlich stark exponiert sind (UBA, 2018). Für die Allgemeinbevölkerung wurden in europäischen Studien PFOA-Konzentrationen in Serum und Plasma zwischen 0,5 und 40 µg/l festgestellt, während in den USA PFOA-Konzentrationen bis 88 µg/l festgestellt wurden. Die medianen PFOA-Konzentrationen waren in Studien in der nordamerikanischen Bevölkerung etwas höher als in den europäischen, asiatischen und australischen Bevölkerungen (Fromme et al., 2009).

Abbildung 4.2 zeigt die Streubreiten von PFOA-Konzentrationen in Blutproben (teils Blutspendeproben) von Erwachsenen in verschiedenen Untersuchungen in Deutschland (insbesondere zur Hintergrundbelastung) im Vergleich zu den PFOA-Ergebnissen der PFAS-Blutkontrolluntersuchungen im Raum Rastatt. In einer Studie von Fromme et al. (2007) wurden Plasmaproben von Männern und Frauen in Südbayern aus dem Jahr 2005 untersucht, die zu einem Teil aus Blutspendeproben sowie von Blutproben einer weiteren Studie stammten. Für Frauen wurde eine mediane PFOA-Konzentration von 4,8 µg/l und für Männer von 5,7 µg/l festgestellt (siehe Abbildung 4.2). In einer Studie mit Nichtraucherinnen und Nichtrauchern wurde eine mediane PFOA-Konzentration von 6,8 µg/l in Plasmaproben aus den Jahren 2003 und 2004 beobachtet (Midasch et al., 2006). Auf Grundlage der 95. Perzentile verschiedener Humanbiomonitoring-Studien wurde durch die HBM-Kommission im Jahr 2009 ein Referenzwert für PFOA von 10 µg/l für Männer und für Frauen abgeleitet, welcher die Hintergrundbelastung in der Allgemeinbevölkerung widerspiegelt, die keiner beruflichen Schadstoffexposition ausgesetzt ist (siehe auch Kapitel 1.2.3; UBA, 2009).

Zur Untersuchung des zeitlichen Verlaufes von PFAS wurden in Studien von Schröter-Kermani et al. (2013) und von Göckener et al. (2020) menschliche Blutplasmaproben von jeweils zehn Studentinnen und zehn Studenten zwischen 20 und 29 Jahren analysiert, welche im Zeitraum zwischen 1982 und 2019 für die Umweltprobenbank des Bundes gesammelt wurden. PFOA wurde in jeder Probe nachgewiesen und wies zwischen 1982 und 2019 Konzentrationen zwischen 0,27 µg/l bis 15,4 µg/l auf. Die mediane PFOA-Konzentration stieg zunächst im

Zeitraum 1982 bis 1992 von 3,6 µg/l auf 6,2 µg/l und nahmen mit Schwankungen bis 2019 auf 1,9 µg/l ab (vgl. Abbildung 4.2).

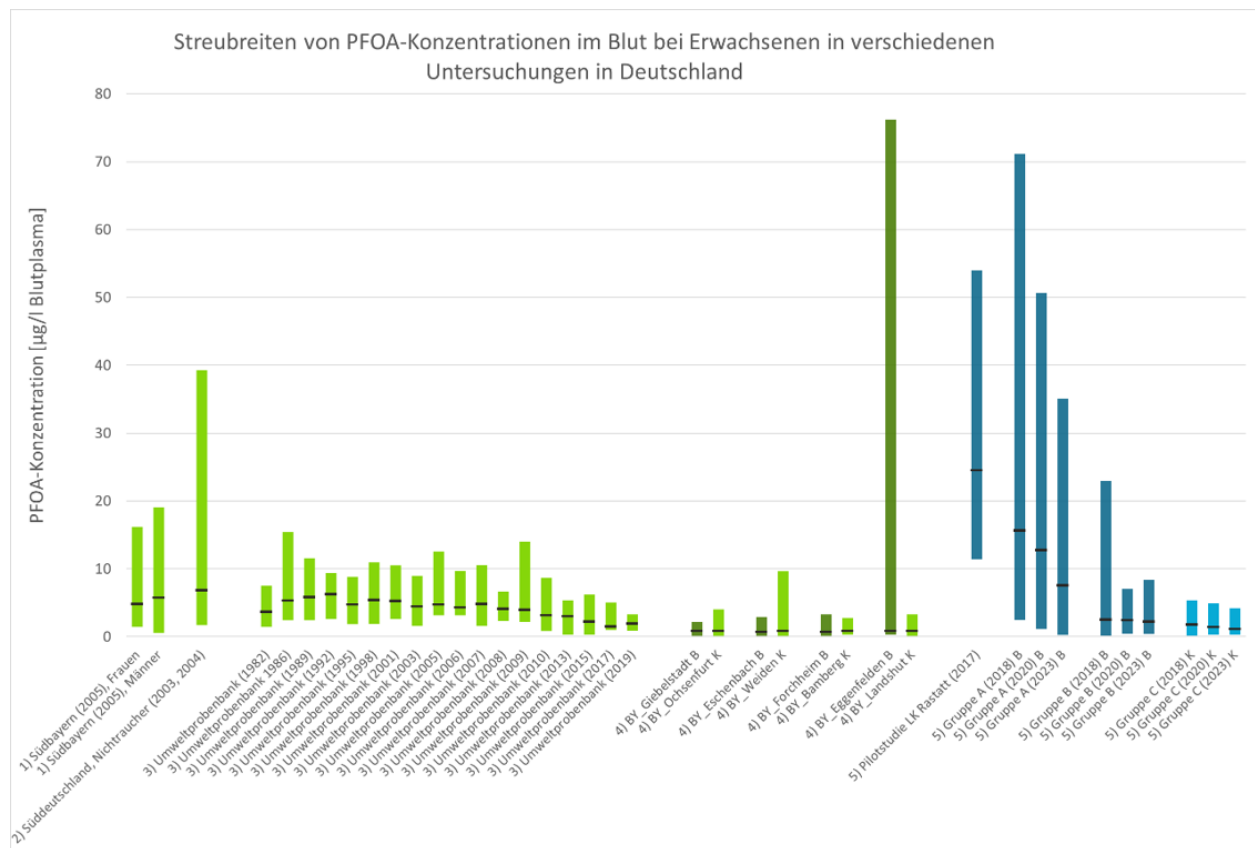


Abbildung 4.2: Spannweiten (Minima bis Maxima) und Median (—) von PFOA-Konzentrationen im Blut bei Erwachsenen in Untersuchungen zur Hintergrundbelastung mit PFOA in Deutschland einschließlich der Ergebnisse für die drei Gruppen A, B und C aus der Blutkontrolluntersuchung 2018, 2020 und 2023 im Landkreis Rastatt.

Verwendete Studiendaten:

- 1) Humanbiomonitoring in Südbayern im Jahr 2005, Frauen (n = 168) und Männer (n = 188), Fromme et al., 2007
- 2) Humanbiomonitoring in Süddeutschland bei Nichtrauchern (n = 105; 2003 und 2004), Midsch et al., 2006
- 3) Plasmaproben der Umweltprobenbank des Bundes zwischen 1982 und 2019 (jedes Jahr n = 20, davon n (männlich) = 10 und n (weiblich) = 10), Göckener et al., 2020, Schröter-Kermani et al., 2013
- 4) Analyse von Blutspendeproben aus Gebieten mit bekannter PFAS-Kontamination und dazugehöriger Kontrollregion (LGL, 2024b):

- Kontamination durch Löschschaum auf Flugplatz: BY_Giebelstadt, BY_Ochsenfurt (Kontrolle)
- Einsatz von PFAS-haltigen Löschschäumen auf NATO-Truppenübungsplatz, BY_Eschenbach, BY>Weiden (Kontrolle)
- erhöhte PFOS-Gehalte in Fischen, BY_Forchheim, BY_Bamberg (Kontrolle)
- Eintrag von PFAS (v.a. PFOA und ADONA) im Trinkwasser, BY_Eggenfelden, BY_Landshut (Kontrolle)

- 5) Pilotstudie LK Rastatt (2017) (n=13)

PFAS-Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt 2018, 2020 und 2023:

- PFAS-Belastung über Trinkwasser (Gruppe A) (n = 120, 101 bzw. 102)
- PFAS-Belastung über Boden/Grundwasser (Gruppe B) (n = 137, 79 bzw. 87)
- Kontrollgruppe (Gruppe C) (n = 91, 69 bzw. 77)

In einer Untersuchung des Bayerischen Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) wurden zur Ausweitung der Datenlage in Bayern Plasmaproben vom Blutspendedienst aus vier Regionen mit bekannter PFAS-Belastung und vier dazugehörigen Kontrollregionen untersucht. In Gebieten mit Kontaminationen durch Löschschaum an einem Flugplatz in Bayern bzw. durch den Einsatz eines PFAS-haltigen Löschschaums auf einem NATO-Truppenübungsplatz oder einem Ort mit erhöhten PFOS-Gehalten in Fischen wurden in den Plasmaproben der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer mediane PFOA-Konzentrationen von 0,7 bis 0,8 µg/l sowohl für die belasteten Regionen als auch für die Kontrollregionen festgestellt. In Eggenfelden nahe des belasteten und bereits erwähnten Landkreises Altötting, wo es zu einem Eintrag von PFAS (v.a. PFOA und ADONA [Ammoniumsalz der Perfluor-4,8-dioxa-3H-nonansäure]) im Trinkwasser kam, wurde eine Spannweite von 0,3 µg/l bis 76,2 µg/l mit einer medianen PFOA-Konzentration von 0,8 µg/l in den Plasmaproben vom Blutspendedienst festgestellt (vgl. Abbildung 4.2) (LGL. 2024b).

Die medianen PFOA-Konzentrationen in den Kontrollgruppen der Biomonitoring-Studien im Hochsauerlandkreis sanken von 2006 bis 2010 von 2,96 µg/l auf 2,1 µg/l bei Müttern in Siegen und von 5,9 µg/l auf 5,5 µg/l bei Männern in Brilon (RUB, 2015 und RUB, 2007; vgl. Abbildung 4.1). In der Humanbiomonitoring Studie im Landkreis Altötting wurde keine Kontrollgruppe untersucht. In Plasmaproben von Blutspendern aus München (ohne bekannte PFAS-Belastung) aus den Jahren 2014 und 2016 wurden mediane PFOA-Konzentrationen von jeweils 1,1 µg/l ermittelt (Fromme et al., 2017). Im Vergleich hierzu wurde in einer Querschnittstudie in der Schweiz mit 630 Personen im Alter zwischen 20 und 69 Jahren eine mediane PFOA-Konzentration von 1,32 µg/l Blutserum festgestellt (Jaus et al., 2025).

Die medianen PFOA-Konzentrationen der Gruppen B (2,2 µg/l in 2023) und C (1,1 µg/l in 2023) liegen somit deutlich unter den medianen PFOA-Konzentrationen der genannten Studien von Fromme et al., 2007, Midasch et al, 2006 und den Kontrollgruppen der Arnsberg-Studie. Sie sind in etwa mit den ermittelten PFOA-Konzentrationen der Proben aus der Umweltprobenbank (Göckener et al., 2020) sowie der anderen oben aufgeführten Studien zur Hintergrundbelastung vergleichbar. Der rückläufige Trend von PFOA (und auch von PFOS) innerhalb der letzten Jahre wurde in mehreren Studien festgestellt und ist durch Regulierungen der EU erklärbar (siehe Abschnitt 1.1).

4.1.1 PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit vom früheren Trinkwasserkonsum und von der untersuchten Gruppe

In Gruppe A war wie auch bei den Untersuchungen in 2018 und 2020 ein Zusammenhang zwischen der Menge des früheren häuslichen Trinkwasserkonsums und der Höhe der PFOA-Konzentration im Blut erkennbar. In den Gruppen B und C ließ sich ein solcher Zusammenhang nicht feststellen. Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die höheren PFOA-Konzentrationen in der Untersuchungsgruppe A im Wesentlichen auf die Exposition über den Trinkwasserkonsum zurückzuführen sind. Auch in den Arnsberger Kollektiven wurden mit steigendem Trinkwasserkonsum steigende PFOA-Konzentrationen im Plasma festgestellt, jedoch nicht in den Kontrollgebieten (RUB, 2007).

Auch eine Untersuchung in Italien (Ingelido et al. [2025]) fand eine signifikante Korrelation zwischen PFAS-Konzentrationen im Serum von Probanden und Wasserproben und bestätigte öffentliches Trinkwasser als Hauptquelle für die PFAS-Exposition im Zusammenhang mit einer Trinkwasser-Belastung in der Region Venetien. Die Kontamination stammte hauptsächlich aus einer Chemiefabrik, die seit 1968 PFAS herstellte.

4.1.2 Vergleich der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht

In einer weiterführenden Analyse wurden die PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht untersucht. Hierbei ergab eine Analyse getrennt nach den **Geburtsjahrgängen**, dass insbesondere in Gruppe A in allen drei Untersuchungsrunden die mediane PFOA-Konzentration im Blutplasma in der ältesten Jahrgangskategorie („*Jahrgang 1967 und älter*“) im Vergleich zu den anderen beiden Kategorien jeweils am höchsten war und bei der jüngsten Jahrgangskategorie am geringsten („*Jahrgang 1978 und jünger*“) (vgl. Kapitel 3.2.4.2). Ein Einschlusskriterium für die Teilnahme an der Studie war der Wohnsitz im jeweiligen Untersuchungsgebiet seit mindestens zehn Jahren (vor Studienbeginn). Hierdurch sollte gewährleistet werden, dass die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Blutkontrolluntersuchungen in vergleichbarer Weise möglichen PFAS-Quellen ausgesetzt bzw. nicht ausgesetzt waren. Die Beobachtung, dass ältere Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Kategorie

„Jahrgang 1967 und älter“ eine höhere mediane PFOA-Konzentration aufwiesen, kann mit der längeren Lebenszeit und der damit verbundenen längeren Exposition gegenüber PFAS zusammenhängen. Auch in anderen Studien wurden höhere PFOA-Konzentrationen bei älteren Untersuchungsteilnehmern festgestellt. So stellten beispielsweise Fromme et al. (2007) in ihrer Untersuchung von Plasmaproben aus Südbayern einen Anstieg der PFOA-Konzentrationen mit zunehmendem Alter fest, welcher bei Frauen signifikant war. Die mediane PFOA-Konzentration war bei älteren Teilnehmerinnen und Teilnehmern (46-67 Jahre) mit 5,9 µg/l höher als bei jüngeren Teilnehmerinnen und Teilnehmern (31-45 Jahre; 5,3 µg/l). Bei der Querschnittstudie in Arnsberg wurde bei der ersten Untersuchungsrunde festgestellt, dass das Lebensalter der Männer mit den PFOA-Konzentrationen assoziiert war. Sowohl bei den Männern aus Arnsberg als auch bei den Männern aus der Kontrollgruppe in Brilon wurden umso höhere mittlere PFOA-Konzentrationen festgestellt, je älter die Männer waren (RUB, 2007). Eine weitere Erkenntnis der Querschnittstudie war, dass jüngere Menschen zwischen 2006 und 2010 im Vergleich zu älteren Menschen höhere relative Abnahmen der PFOA-Konzentrationen aufwiesen (RUB, 2015; Brede et al., 2010). In der Studie von Ingelido et al. (2025) aus der Region Venetien betrug die mediane PFOA-Konzentration 11,2 µg/l Serum. Die Autoren beobachteten tendenziell einen Anstieg der PFAS-Serumkonzentrationen mit zunehmendem Alter. Auch in einer Querschnittstudie von Jaus et al. (2025) zur PFAS-Belastung in der Schweiz mit Männern und Frauen zwischen 20 und 69 Jahren wurden höhere PFOA-Konzentrationen mit zunehmendem Alter beobachtet. Im Landkreis Altötting stellten Lahne et al. (2025) fest, dass für Personen zwischen 40 und 59 Jahren und für Personen ab 60 Jahren die Wahrscheinlichkeit höher war, eine PFOA-Konzentration größer 10 µg/l zu haben, als für die Altersgruppe unter 40 Jahren.

Bei der Analyse getrennt nach **Geschlechtern** zeigte sich in der vorliegenden Untersuchung, dass in 2018 die mediane PFOA-Konzentration in Gruppe A bei den Frauen (18,59 µg/l) im Vergleich zu den Männern (11,77 µg/l) höher war. Bis 2023 waren sie bei den Frauen um ca. 58 % auf 7,88 µg/l und bei den Männern um ca. 37 % auf 7,4 µg/l gefallen (vgl. Kapitel 3.2.4). Ein besonderer Blick auf Gruppe A mit einer tiefergehenden Analyse in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht zeigte, dass bei der Alterskategorie „Jahrgang 1967 und älter“ die medianen PFOA-Konzentrationen im Blutplasma bei den Frauen jeweils höher waren (2018: 21,54 µg/l;

2020: 14,36 µg/l; 2023: 10,68 µg/l) als bei den Männern (2018: 13,48 µg/l; 2020: 12,04 µg/l; 2023: 6,59 µg/l). Im Vergleich hierzu waren in den Alterskategorien „Jahrgänge 1968 bis 1977“ und „Jahrgänge 1978 und jünger“ die medianen PFOA-Konzentrationen im Jahr 2018 bei Frauen mit 16,12 µg/l bzw. 7,71 µg/l zunächst höher als bei Männern (10,17 µg/l bzw. 6,31 µg/l). Bis 2023 nahmen die medianen PFOA-Konzentrationen bei Frauen mit 55 % bzw. 51 % jedoch stärker ab („Jahrgänge 1968 bis 1977“ bzw. „Jahrgänge 1978 und jünger“) als bei den Männern („Jahrgänge 1968 bis 1977“ um 25 % und „Jahrgänge 1978 und jünger“ um 19 %).

Im Gegensatz zu den genannten geschlechtsabhängigen PFOA-Ergebnissen in Gruppe A wurden in anderen Studien höhere mediane PFOA-Konzentrationen bei Männern festgestellt als bei Frauen: So beobachteten beispielsweise Fromme et al. (2007) bei Männern eine signifikant höhere mediane PFOA-Konzentration im Blutplasma (5,7 µg/l) als bei Frauen (4,8 µg/l). In der Querschnittsstudie in Arnsberg wiesen sowohl in der Kontrollgruppe als auch in der belasteten Gruppe Männer höhere mediane PFOA-Konzentrationen auf als Frauen (vgl. Abbildung 4.1 in Kapitel 4.1; RUB, 2019, RUB, 2015, RUB, 2008, RUB, 2007). In der oben erwähnten Studie aus der Region Venetien waren die PFAS-Konzentrationen im Serum von Männern signifikant höher als bei Frauen (Ingelido et al., 2025). Auch in der Studie von Midasch et al. 2006 mit Nichtraucherinnen und Nichtrauchern waren Männer stärker mit PFOA belastet als Frauen. In einer norwegischen Studie von Berg et al. (2021) wurden bei Frauen zu vier verschiedenen Zeitpunkten (1986, 1994, 2001 und 2007) niedrigere mediane PFOA-Konzentrationen festgestellt als bei Männern. In dieser Studie wurde die zeitliche Entwicklung von PFAS im Blut 30-jähriger norwegischer Männer und Frauen im Zeitraum zwischen 1986 und 2007 untersucht. In der Querschnittsstudie von Jaus et al. (2025) zur PFAS-Belastung in der Schweiz wiesen Männer eine höhere mediane PFOA-Konzentration im Serum auf als Frauen. Im Vergleich zu den genannten Studien konnte in den Untersuchungen der Plasmaproben aus der Umweltprobenbank des Bundes kein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen für PFOA beobachtet werden (Göckener et al., 2020).

Um zu untersuchen, weshalb in der vorliegenden PFAS-Blutkontrolluntersuchung im Gegensatz zur Literatur Frauen höhere PFOA-Konzentrationen aufwiesen als Männer, wurden die Fragebögen in Hinblick auf den früheren Trinkwasserkonsum ausgewertet (vgl. Kapitel 3.2.5). In dieser Auswertung zeigten Frauen tendenziell einen höheren Trinkwasserkonsum als

Männer. Dies könnte möglicherweise ein Hinweis darauf sein, weshalb Frauen in der vorliegenden Untersuchung höhere PFOA-Konzentrationen hatten als Männer.

In der Querschnittsstudie aus Arnsberg wurde vier Jahre nach der ersten Untersuchung bei Frauen ein stärkerer Rückgang der medianen PFOA-Konzentrationen festgestellt als bei den Männern (RUB, 2015). Diese Beobachtung wurde auch in der vorliegenden Blutkontrolluntersuchung beim Vergleich der medianen PFOA-Konzentrationen in den Jahren 2018 und 2023 zwischen Frauen und Männern der Gruppe A festgestellt (vgl. Kapitel 3.2.4 Auswertung nach Geschlecht sowie Auswertung der Gruppe A nach Alter und Geschlecht in den jüngeren beiden Alterskategorien). In Altötting wurden die PFOA-Konzentrationen getrennt für die Allgemeinbevölkerung (Männer sowie Frauen außerhalb des gebärfähigen Alters) und für Frauen im gebärfähigen Alter analysiert. Bei Frauen im gebärfähigen Alter wurden niedrigere mediane PFOA-Konzentrationen festgestellt als in der Allgemeinbevölkerung. Als Gründe sehen Lahne et al., 2024, dass sowohl die Menstruation, als auch die Ausscheidung von PFOA über Muttermilch beim Stillen einen Einfluss auf die PFOA-Konzentration haben könnte, wie es auch schon in anderen Studien beobachtet wurde. Bei der erwähnten Trinkwasserbelastung mit PFAS in Venetien stellten die Autoren eine niedrigere PFOA-Clearance für Männer fest als für Frauen (Ingelido et al., 2025).

4.1.3 Auswertung der PFOS- und weiterer PFAS-Konzentrationen im Blutplasma nach Gruppen

Neben dem Hauptzielparameter PFOA wurden in der PFAS-Blutkontrolluntersuchung im Raum Rastatt auch PFOS, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFDoA, PFBS, PFHxS und PFHpS in den Blutplasmaproben analysiert. **PFOS** wurde in allen untersuchten Blutproben nachgewiesen. Ein Vergleich mit dem HBM-I-Wert zeigte, dass 81 bis 86 % der PFOS-Konzentrationen in den drei Gruppen A, B und C unterhalb des HBM-I-Wertes lagen und nur etwa 1 % der PFOS-Konzentrationen oberhalb der HBM-II-Werte. In allen drei Gruppen und allen drei Untersuchungsjahren waren die medianen PFOS-Konzentrationen im Blutplasma sehr ähnlich und wiesen Mediane zwischen 2,17 µg/l und 2,84 µg/l auf. In den Gruppen A und C fielen innerhalb der fünf Untersuchungsjahre die medianen PFOS-Konzentrationen um ca.

10 %. Wie auch für PFOA könnte der Rückgang der PFOS-Belastung vermutlich auf die EU-weite Regulierung und das Verbot des Stoffes rückführbar sein.

In der Querschnittsstudie aus Arnsberg war PFOS generell sowohl in den Kontrollgruppen als auch in den belasteten Gruppen etwas höher als in der vorliegenden Untersuchung im Landkreis Rastatt. Die medianen PFOS-Konzentrationen lagen in den Trinkwasser-belasteten Gruppen höher als in den Kontrollgruppen und fielen zwischen 2006 und 2010 bei den Müttern aus der belasteten Gruppe von 5,97 µg/l auf 3,4 µg/l und bei den Männern von 10,57 µg/l auf 6,3 µg/l. In den unbelasteten Kontrollgruppen fielen die Konzentrationen zwischen 2006 und 2010 bei den Müttern von 5,13 µg/l auf 3,8 µg/l und bei den Männern von 10,07 µg/l auf 6,2 µg/l (RUB, 2007 und RUB, 2015). In der Bayerischen Humanbiomonitoring-Studie zur Trinkwasserbelastung in Altötting waren die medianen PFOS-Konzentrationen in der Allgemeinbevölkerung (2018: 1,95 µg/l, 2022: 1,63 µg/l) und bei Frauen im gebärfähigen Alter (2018: 1,21 µg/l, 2022: 1,06 µg/l) etwas niedriger als die Untersuchungsergebnisse im Landkreis Rastatt, aber in einem ähnlichen Bereich (LGL, 2024a). In anderen Studien lagen die ermittelten medianen PFOS-Konzentrationen dagegen höher als im Landkreis Rastatt: 9,2 µg/l Serum (Trinkwasserbelastung in Venetien, Ingelido et al., 2025), 4,58 µg/l (für lineare PFOS in der Schweizer Studie; Jaus et al., 2025), 12,2 µg/l (Plasmaproben in Südbayern in 2005; Fromme et al., 2007) oder 22,3 µg/l (bei Nichtrauchern 2003/2004, Midasch et al., 2006).

Bei der Untersuchung der **weiteren PFAS** wurden in der dritten PFAS-Blutkontrolluntersuchung PFPeA und PFHxA in keiner Blutprobe oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt. Im Vergleich hierzu wurden folgende PFAS oberhalb der Bestimmungsgrenze (LOQ) nachgewiesen: PFHpA (ca. 23 % der Proben > LOQ), PFNA (99 % der Proben > LOQ), PFDA (85 % der Proben > LOQ), PFUnA (26 % der Proben > LOQ), PFDoA (7,5 % der Proben > LOQ), PFBS (0,4 % der Proben > LOQ), PFHxS (99,6 % der Proben > LOQ) sowie PFHpS (58 % der Proben > LOQ). Die Konzentrationen waren allgemein meist im niedrigen einstelligen Mikrogrammbe-reich oder darunter. Aufgrund fehlender Beurteilungswerte war eine gesundheitliche Bewertung für diese PFAS nicht möglich. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sind den Ergebnissen anderer Studien sehr ähnlich. In der Arnsberger Querschnittsuntersuchung konnten in den Untersuchungsjahren 2006 bis 2017 ebenfalls PFPeA und PFHxA in keiner Blutprobe nachgewiesen werden sowie PFBS nur in vereinzelten Proben. In Altötting wurden PFHxA,

PFBS, und PFDoA sowohl in der Allgemeinbevölkerung als auch bei den Frauen im gebärfähigen Alter nur vereinzelt bzw. nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze detektiert. Die medianen Konzentrationen von PFNA und PFHxS waren vergleichbar mit den Ergebnissen aus dem Landkreis Rastatt. Auch die Ergebnisse aus der Schweiz (Jaus et al., 2025) zu den oben genannten weiteren PFAS sowie die Ergebnisse der Proben aus der Umweltprobenbank (für PFOS, PFHxS und PFNA) sind denen aus dem Landkreis Rastatt sehr ähnlich.

5 Zusammenfassung

Nach einem Schadensfall mit PFAS im Landkreis Rastatt hat das Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg in Kooperation mit dem Gesundheitsamt Rastatt in den Jahren 2018, 2020 und 2023 PFAS-Blutkontrolluntersuchungen in der Bevölkerung durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es, genauere Informationen über die Entwicklung der Konzentrationen von PFOA und weiteren PFAS (z.B. PFOS oder PFHxS) im Blutplasma zwischen 2018 und 2023 bei drei Personengruppen (A, B und C) in festgelegten Untersuchungsgebieten im Landkreis Rastatt zu gewinnen.

Bei den drei PFAS-Blutkontrolluntersuchungen 2018, 2020 und 2023 wurde das Blutplasma von 348, 249 bzw. 266 Teilnehmerinnen und Teilnehmern untersucht. Bei untersuchten Personen aus Orten mit einer früheren PFAS-Belastung über das Trinkwasser (Gruppe A) wurden höhere Konzentrationen von PFOA im Blutplasma festgestellt als bei Personen aus Orten mit einer PFAS-Exposition über Belastungen im Boden und Grundwasser (Gruppe B) oder bei Personen aus der Kontrollgruppe ohne zusätzliche PFAS-Belastung im Boden, Trink- oder Grundwasser (Gruppe C). In Gruppe A hat die mediane PFOA-Konzentration im Blutplasma zwischen 2018 und 2023 von 15,62 µg/l auf 7,52 µg/l abgenommen. Dieser PFOA-Konzentrationsrückgang um etwa 52 % liegt in dem zu erwartenden Bereich (Halbwertszeit 2 bis 4 Jahre) und deutet darauf hin, dass es innerhalb des Untersuchungszeitraums zu keiner weiteren relevanten PFOA-Anreicherung im Blutplasma kam und somit die Maßnahmen der Trinkwasserversorger zur PFAS-Reduktion im Trinkwasser Erfolg zeigten. In den Gruppen B und C waren die PFOA-Konzentrationen niedriger als in Gruppe A. Die medianen PFOA-Konzentrationen

nahmen in Gruppe B von 2,45 µg/l auf 2,21 µg/l um etwa 10 % und in Gruppe C von 1,75 µg/l auf 1,13 µg/l um etwa 35 % ab. Diese Rückgänge lassen sich mit einer generell niedrigeren Exposition gegenüber PFOA nach der Aufnahme in eine EU-weite Regulierung und damit einem weitestgehenden Verbot des Stoffes erklären.

Wie in den Untersuchungsrounds 2018 und 2020 konnte auch 2023 in Gruppe A ein Zusammenhang zwischen der Menge des häuslichen Trinkwasserkonsums und der Höhe der PFOA-Konzentration im Blutplasma festgestellt werden. In den Gruppen B und C war dagegen ein solcher Zusammenhang nicht festzustellen. Die in den drei Gruppen beobachteten PFOA-Konzentrationen deuten insgesamt darauf hin, dass die höheren PFOA-Konzentrationen in Gruppe A im Wesentlichen auf die Exposition über den früheren Trinkwasserkonsum vor 2014 zurückzuführen sind.

Ein Vergleich mit den HBM-II-Werten zeigte, dass in Gruppe A 2018 ca. 82 % der PFOA-Werte, in 2020 ca. 69 % der PFOA-Werte und in 2023 ca. 38 % der PFOA-Werte oberhalb des HBM-II-Wertes lagen. In Gruppe C lagen 2018, 2020 und 2023 keine gemessene PFOA-Konzentration oberhalb des HBM-II-Wertes und in Gruppe B nur eine geringfügige Anzahl darüber.

Neben PFOA wurden auch andere PFAS wie PFOS oder PFHxS analysiert. Diese waren jedoch weniger auffällig als die PFOA-Werte. Die Konzentrationen bewegten sich hier meist im niedrigen einstelligen Mikrogrammbereich oder darunter. Im Gegensatz zu PFOA war bei den Konzentrationen von PFOS im Blut kein Zusammenhang mit der Belastung über Trinkwasser festzustellen. In allen drei Untersuchungsjahren lagen nur einzelne gemessene PFOS-Werte im Blut der Untersuchungsteilnehmer oberhalb des HBM-II-Wertes.

6 Literatur

Berg V, Torkjel Manning Sandanger TM, Hanssen L, Rylander C, Nøst TH (2021) Time trends of perfluoroalkyl substances in blood in 30-year old Norwegian men and women in the period 1986-2007. *Environ Sci Pollut Res Int* 28:43897-43907

BfR; Bundesinstitut für Risikobewertung (2023) Gekommen, um zu bleiben: Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in Lebensmitteln und der Umwelt. FAQ des BfR vom 16. Juni 2023.

<https://www.bfr.bund.de/cm/343/gekommen-um-zu-bleiben-per-und-polyfluorierte-alkylsubstanzen-pfas-in-lebensmitteln-und-der-umwelt.pdf> (Abruf: 15.01.2026)

Brede E, Wilhelm M, Göen T, Müller J, Rauchfuss K, Kraft M, Hölzer J (2010) Two-year follow-up biomonitoring pilot study of residents' and controls' PFC plasma levels after PFOA reduction in public water system in Arnsberg, Germany. *Int J Hyg Environ Health* 213:217-223

DFG; Deutsche Forschungsgemeinschaft (2025) MAK- und BAT-Werte-Liste 2025. Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Mitteilung 61. https://series.publissso.de/sites/default/files/documents/series/mak/lmbv/Vol2025/Iss1/Doc001/mbwl_2025_deu.pdf (Abruf: 15.01.2026)

EFSA; European Food Safety Authority (2018) EFSA J 16(12):e05194. <https://efsa.online-library.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2018.5194> (Abruf: 15.01.2026)

Fromme H, Midasch O, Twardella D, Angerer J, Boehmer S, Liebl B (2007) Occurrence of perfluorinated substances in an adult German population in southern Bavaria. *Int Arch Occup Environ Health* 80:313-319

Fromme H, Tittlemier SA, Völkel W, Wilhelm M, Twardella D (2009) Perfluorinated compounds – Exposure assessment for the general population in western countries. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 212:239-270

Fromme H, Wöckner M, Roscher E, Völkel W (2017) ADONA and perfluoroalkylated substances in plasma samples of German blood donors living in South Germany. *Int J Hyg Environ Health* 220:455-460

Gledhill A, Kärrman A, Ericson I, Van Bavel B, Linström G, Kearney G (2006) Analysis of perfluorinated compounds in whole blood and plasma using Aquity UPLCTM and Waters Quattro PremierTM XE. *Organohalogen Compounds* 68:1684-1687

Göckener B, Weber T, Rüdell H, Bücking M, Kolossa-Gehring M (2020) Human biomonitoring of per- and polyfluoroalkyl substances in German blood plasma samples from 1982 to 2019. *Environ Int* 145:106123

Göen T, Schaller KH, Drexler H (2012) External quality assessment of human biomonitoring in the range of environmental exposure levels. *Int J Hyg Environ Health* 215: 229-232

Ingelido AM, Fuscoletti V, Abballe A, Cerroni M, Dellatte E, Iacovella N, Marra V, Valentini S, Lucentini L, De Felip E, Russo F (2025) Human exposure to PFASs in a contaminated area: associations between water and serum levels. *Chemosphere* 385:144575

Jaus A, Céline Rime F, Riou J, Brüscheweiler BJ, Bochud M, von Goetz N (2025) Serum biomonitoring of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in the adult population of Switzerland: Results from the pilot phase of the Swiss health study. *Environ Int* 198:109382

Lahne L, Gerstner D, Völkel W, Schober W, Aschenbrenner B, Herr C, Heinze S, Quartucci C (**2024**) Human biomonitoring follow-up study on PFOA contamination and investigation of possible influencing factors on PFOA exposure in a German population originally exposed to emissions from a fluoropolymer production plant. *Int J Hyg Environ Health* 259:114387

LGA BW; Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg (**2019**) Ergebnisse der PFC-Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt 2018. https://www.gesundheitsamt-bw.de/fileadmin/LGA/_Document-Libraries/SiteCollectionDocuments/03_Fachinformationen/PFAS/Bericht_PFC-BlutkontrolluntersuchungLKRastatt_2018.pdf (Abruf: 30.01.2026)

LGA BW; Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg (**2021**) Ergebnisse der PFC-Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt 2020. https://www.gesundheitsamt-bw.de/fileadmin/LGA/_Document-Libraries/SiteCollectionDocuments/03_Fachinformationen/PFAS/Bericht_PFC-BlutkontrolluntersuchungLKRastatt_2020-Aug2021fin.pdf (Abruf: 30.01.2026)

LGL; Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (**2024a**) 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. https://www.lgl.bayern.de/gesundheits/umweltbezogener_gesundheitsschutz/expositionsmessungen/humanbiomonitoring/doc/zweiter_zwischenbericht_puma.pdf (Abruf: 15.01.2026)

LGL; Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (**2024b**) Endbericht zum Projekt Monitoring von per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in humanen Plasmaproben aus acht ausgewählten Gebieten in Bayern (Teil II). https://www.lgl.bayern.de/downloads/lebensmittel/doc/endbericht_pfas_monitoring_2.pdf (Abruf: 15.01.2026)

Marquardt H, Schäfer SG, Barth H (**2019**) Toxikologie. 4. Auflage. *Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH*

Midasch O, Schettgen T, Angerer J (**2006**) Pilot study on the perfluorooctanesulfonate and perfluorooctanoate exposure of the German general population. *Int J Hyg Environ Health* 209:489-496

RUB; Ruhr-Universität Bochum (**2007**) Querschnittsstudie zur Untersuchung der inneren Belastung von Mutter-Kind-Paaren und Männern in Gebieten erhöhter Trinkwasserbelastung mit perfluorierten Verbindungen („PFT“) – Abschlussbericht. https://www.lanuk.nrw.de/fileadmin/lanuv/gesundheits/pdf/pft_abschlussbericht.pdf (Abruf: 15.01.2026)

RUB; Ruhr-Universität Bochum (**2008**) Erste Folgestudie zur PFT-Belastung des Blutes von Personen aus Arnsberg (Werkvertrag Nr. 63/07) – Abschlussbericht. https://www.lanuk.nrw.de/fileadmin/lanuv/gesundheits/pdf/langbericht_pft_phase2.pdf (Abruf: 15.01.2026)

RUB; Ruhr-Universität Bochum (**2015**) Weiterführung (3. Follow-Up) der Kohortenstudie zur PFT-Belastung in Blut und Trinkwasser im Hochsauerlandkreis (Werkvertrag Nr. 34/10) Abschlussbericht. https://www.lanuk.nrw.de/fileadmin/lanuv/gesundheits/pdf/Abs_PFT_follow_up2010_03_07_15.pdf (Abruf: 15.01.2026)

RUB; Ruhr-Universität Bochum (**2019**) Aufklärung, Nachuntersuchung und Beratung von PFT-belasteten Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern (Vergabe-Nr. 7605/33/FV). https://www.lanuk.nrw.de/fileadmin/lanuv/gesundheits/pdf/06_06_19_Abschlussbericht_HBM_PFAS_HSK.pdf (Abruf: 15.01.2026)

UBA; Umweltbundesamt (**2009**) Stellungnahme der Kommission Humanbiomonitoring des Umweltbundesamtes: Referenzwerte für Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) im Blutplasma. *Bundesgesundheitsbl.* 52, 878-886

UBA; Umweltbundesamt (**2018**) Ableitung von HBM-I-Werten für Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) – Stellungnahme der Kommission „Humanbiomonitoring“ des Umweltbundesamtes. *Bundesgesundheitsbl.* 61:474-487

UBA; Umweltbundesamt (**2020a**) HBM-II-Werte für Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) in Blutplasma – Stellungnahme der Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes. *Bundesgesundheitsbl.* 63:356-360

UBA; Umweltbundesamt (**2020b**) Schwerpunkt PFAS - Gekommen, um zu bleiben. https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/2546/publikationen/uba_sp_pfas_web_0.pdf (Abruf: 15.01.2026)

UBA; Umweltbundesamt (**2021**) Referenzwerte (RV₉₅) für PFOA, PFOS und PFHxS im Blutplasma. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4031/dokumente/tab._referenzwerte._-._pfas_28.06.2021_aktualisiert.pdf (Abruf: 03.12.2025)

UBA; Umweltbundesamt (**2024**) Bewertung der PFAS-20 aus der Trinkwasserverordnung - Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/13195/dokumente/empfehlung_des_umweltbundesamtes_-_bewertung_der_pfas-20_aus_der_trinkwasserverordnung.pdf (Abruf: 03.12.2025)

UBA; Umweltbundesamt (**2025a**) Regulierung unter REACH- & CLP-VO und Stockholmer Übereinkommen. <https://www.umweltbundesamt.de/regulierung-unter-reach-clp-vo-stockholmer> (Abruf: 15.01.2026)

UBA; Umweltbundesamt (**2025b**) PFAS im Menschen. <https://www.umweltbundesamt.de/pfas-im-menschen> (Abruf: 15.01.2026)

Schröter-Kermani C, Müller J, Jürling H, Conrad A, Schulte C (**2013**) Retrospective monitoring of perfluorocarboxylates and perfluorosulfonates in human plasma archived by the German Environmental Specimen Bank. *Int J Hyg Environ Health* 216:633-640

7 Abkürzungsverzeichnis

ADONA	Ammoniumsalz der Perfluor-4,8-dioxa-3H-nonansäure (DONA)
BAT-Wert	Biologischer Arbeitsstoff-Toleranzwert
COVID-19-Pandemie	Akronym; englisch für coronavirus disease 2019, deutsch <i>Coronavirus-Krankheit-2019</i>
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (engl.: European Food Safety Authority)
EU-POP-Verordnung	Verordnung (EU) 2019/1021 über persistente organische Schadstoffe. POP = englische Akronym für <i>Persistent Organic Pollutant</i>
GerES V-Studie	Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen
HBM-II-Wert	Humanbiomonitoring-Werte II
HBM-I-Wert	Humanbiomonitoring-Werte I
IPASUM	Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universität Erlangen-Nürnberg
KIVBF	Zweckverband Kommunale Informationsverarbeitung Baden-Franken
LC-MS/MS	Flüssigchromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung
LGL	Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
LOQ	Bestimmungsgrenze (LOQ, englisch für <i>limit of quantification</i>)
PFAS	per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (engl.: <i>per- and polyfluoroalkyl substances</i>)
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure
PFC	per- und polyfluorierte Chemikalien
PFDA	Perfluordekansäure
PFDoA	Perfluordodekansäure
PFHpA	Perfluorheptansäure
PFHpS	Perfluorheptansulfonsäure
PFHxA	Perfluorhexansäure
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure
PFNA	Perfluornonansäure
PFOA	Perfluoroctansäure
PFOS	Perfluoroctansulfonsäure
PFPeA	Perfluorpentansäure
PFUnA	Perfluorundekansäure

8 Anhang

8.1 PFOA-Konzentrationen von Teilnehmern, die an zwei oder drei Untersuchungen teilgenommen haben

Tabelle 8.1: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOA-Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] im Blutplasma in den Gruppen A, B und C bei Teilnehmern, die an den drei Untersuchungen 2018, 2020 und 2023 teilgenommen haben*.

Untersuchung und Teilnehmer	Anzahl	Minimum	Vergleich zu 2018		1. Quartil	Vergleich zu 2018		Median	Vergleich zu 2018		Mittelwert	Vergleich zu 2018		3. Quartil	Vergleich zu 2018		Maximum	Vergleich zu 2018	
			µg/l	%		µg/l	%		µg/l	%		µg/l	%		µg/l	%		µg/l	%
Gruppe A																			
U1 (2018, 2020, 2023)	63	4,35			11,39			16,44			21,27			26,22			71,16		
U2 (2018, 2020, 2023)	63	3,00	-1,35	-31,0	9,24	-2,15	-18,8	13,62	-2,82	-17,1	16,71	-4,57	-21,5	21,41	-4,81	-18,3	50,63	-20,53	-28,9
U3 (2018, 2020, 2023)	63	1,30	-3,05	-70,1	5,81	-5,58	-49,0	8,10	-8,34	-50,7	10,59	-10,69	-50,2	12,03	-14,18	-54,1	35,08	-36,08	-50,7
Gruppe B																			
U1 (2018, 2020, 2023)	51	0,60			1,90			2,77			3,18			4,16			7,76		
U2 (2018, 2020, 2023)	51	0,53	-0,07	-11,2	1,68	-0,22	-11,4	2,46	-0,31	-11,3	2,85	-0,32	-10,2	3,63	-0,53	-12,7	7,02	-0,73	-9,5
U3 (2018, 2020, 2023)	51	0,50	-0,10	-16,7	1,47	-0,43	-22,5	2,46	-0,31	-11,1	2,88	-0,30	-9,3	3,53	-0,64	-15,3	8,39	0,63	8,1
Gruppe C																			
U1 (2018, 2020, 2023)	44	0,51			1,31			1,83			2,04			2,68			4,96		
U2 (2018, 2020, 2023)	44	0,45	-0,06	-11,0	1,03	-0,28	-21,5	1,68	-0,16	-8,5	1,73	-0,31	-15,1	2,26	-0,42	-15,8	4,18	-0,77	-15,6
U3 (2018, 2020, 2023)	44	0,29	-0,22	-43,7	0,76	-0,54	-41,5	1,31	-0,52	-28,5	1,43	-0,61	-29,8	1,76	-0,93	-34,5	3,62	-1,34	-27,0

* Die Prozentzahlen basieren auf den nicht gerundeten Werten. Daher können sie sich von den gerundeten Konzentrationsangaben unterscheiden.

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

Tabelle 8.2: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOA-Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] im Blutplasma in den Gruppen A, B und C bei Teilnehmern, die an den Untersuchungen 2018 und 2023 teilgenommen haben*.

Untersuchung und Teilnehmer	Anzahl	Minimum	Vergleich zu 2018	1. Quartil	Vergleich zu 2018	Median	Vergleich zu 2018	Mittelwert	Vergleich zu 2018	3. Quartil	Vergleich zu 2018	Maximum	Vergleich zu 2018
		$\mu\text{g/l}$	%	$\mu\text{g/l}$	%	$\mu\text{g/l}$	%	$\mu\text{g/l}$	%	$\mu\text{g/l}$	%	$\mu\text{g/l}$	%
Gruppe A													
U1 (2018, 2023)	80	2,46		11,06		14,86		19,84		23,35		71,16	
U3 (2018, 2023)	80	0,65	-1,81 -73,7	5,27	-5,79 -52,4	7,60	-7,26 -48,8	9,88	-9,96 -50,2	11,70	-11,65 -49,9	35,08	-36,08 -50,7
Gruppe B													
U1 (2018, 2023)	75	0,20		1,87		2,56		3,03		4,00		8,72	
U3 (2018, 2023)	75	0,40	0,20 99,4	1,59	-0,27 -14,6	2,29	-0,27 -10,6	2,76	-0,27 -8,8	3,49	-0,51 -12,8	8,39	-0,33 -3,8
Gruppe C													
U1 (2018, 2023)	62	0,51		1,27		1,76		1,95		2,53		4,96	
U3 (2018, 2023)	62	0,29	-0,22 -43,7	0,87	-0,40 -31,8	1,31	-0,45 -25,4	1,46	-0,49 -25,1	1,76	-0,77 -30,4	4,24	-0,72 -14,5

* Die Prozentzahlen basieren auf den nicht gerundeten Werten. Daher können sie sich von den gerundeten Konzentrationsangaben unterscheiden.

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

Tabelle 8.3: Minima, Maxima, Quartile und Mittelwerte der PFOA-Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] im Blutplasma in den Gruppen A, B und C bei Teilnehmern, die an den Untersuchungen 2020 und 2023 teilgenommen haben*.

Untersu- chung und Teilnehmer	Anzahl	Minimum	Vergleich zu 2020		1. Quartil	Vergleich zu 2020		Median	Vergleich zu 2020		Mittelwert	Vergleich zu 2020		3. Quartil	Vergleich zu 2020		Maximum	Vergleich zu 2020	
			µg/l	%		µg/l	%		µg/l	%		µg/l	%		µg/l	%		µg/l	%
Gruppe A																			
U2 (2020, 2023)	85	1,31			9,02			13,01			15,74			20,62			50,63		
U3 (2020, 2023)	85	0,24	-1,07	-81,8	5,71	-3,31	-36,7	7,67	-5,35	-41,1	9,99	-5,76	-36,6	11,83	-8,78	-42,6	35,08	-15,55	-30,7
Gruppe B																			
U2 (2020, 2023)	63	0,49			1,61			2,36			2,67			3,57			7,02		
U3 (2020, 2023)	63	0,45	-0,04	-7,6	1,40	-0,22	-13,4	2,29	-0,08	-3,3	2,65	-0,02	-0,9	3,34	-0,23	-6,6	8,39	1,37	19,4
Gruppe C																			
U2 (2020, 2023)	59	0,29			0,95			1,29			1,64			2,03			4,95		
U3 (2020, 2023)	59	0,29	0,00	-0,9	0,73	-0,22	-23,4	1,11	-0,18	-13,9	1,35	-0,29	-17,9	1,73	-0,30	-14,9	3,62	-1,33	-26,9

* Die Prozentzahlen basieren auf den nicht gerundeten Werten. Daher können sie sich von den gerundeten Konzentrationsangaben unterscheiden.

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

8.2 Vergleich der Histogramme der PFOA-Konzentrationen in den drei Gruppen

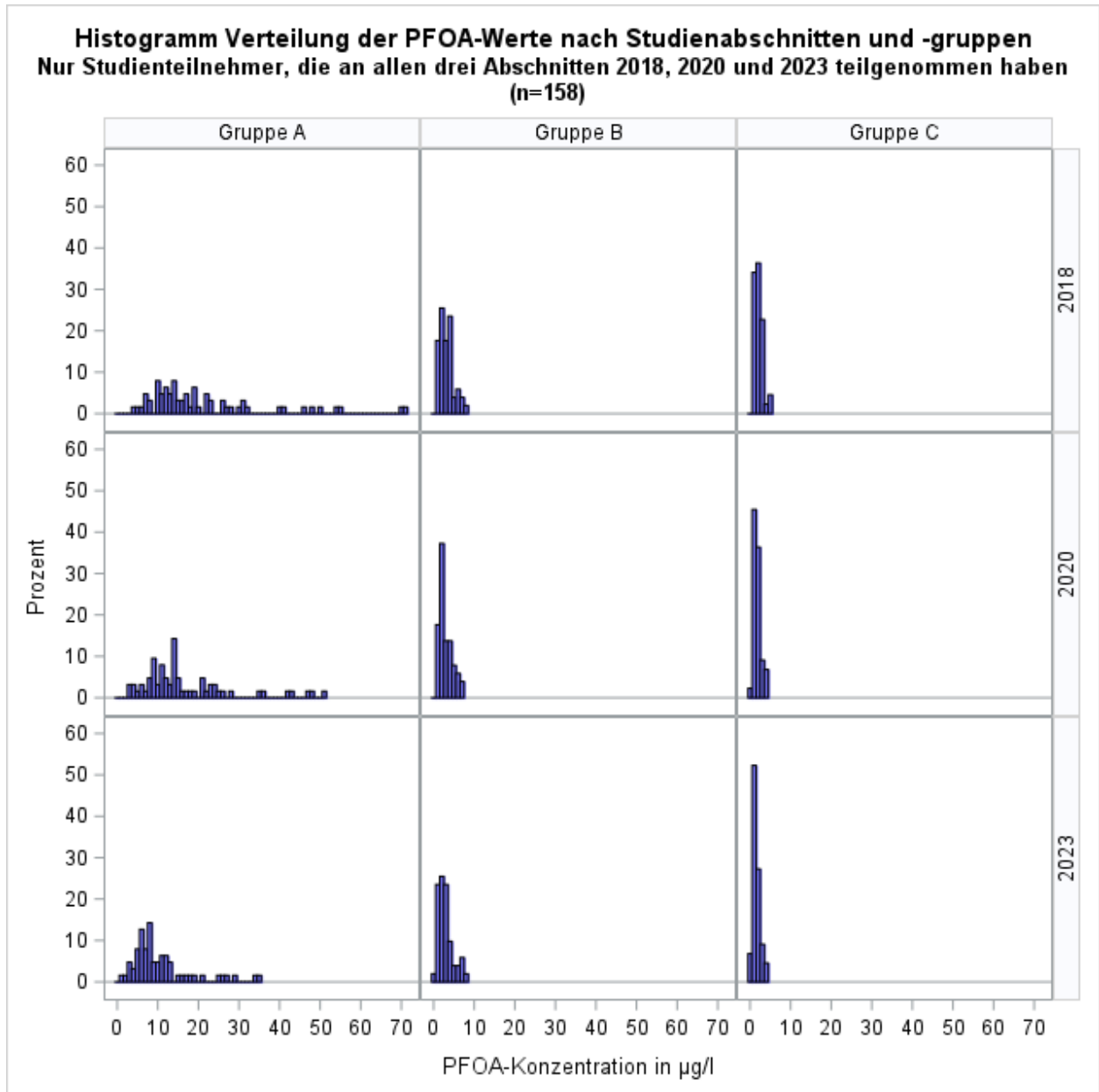


Abbildung 8.1: Darstellung der Verteilungen der PFOA-Konzentrationen im Blut der Untersuchungsteilnehmer, die in allen drei Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023 teilgenommen haben; getrennt nach den Gruppen A, B und C (Intervall = 1 µg/l).

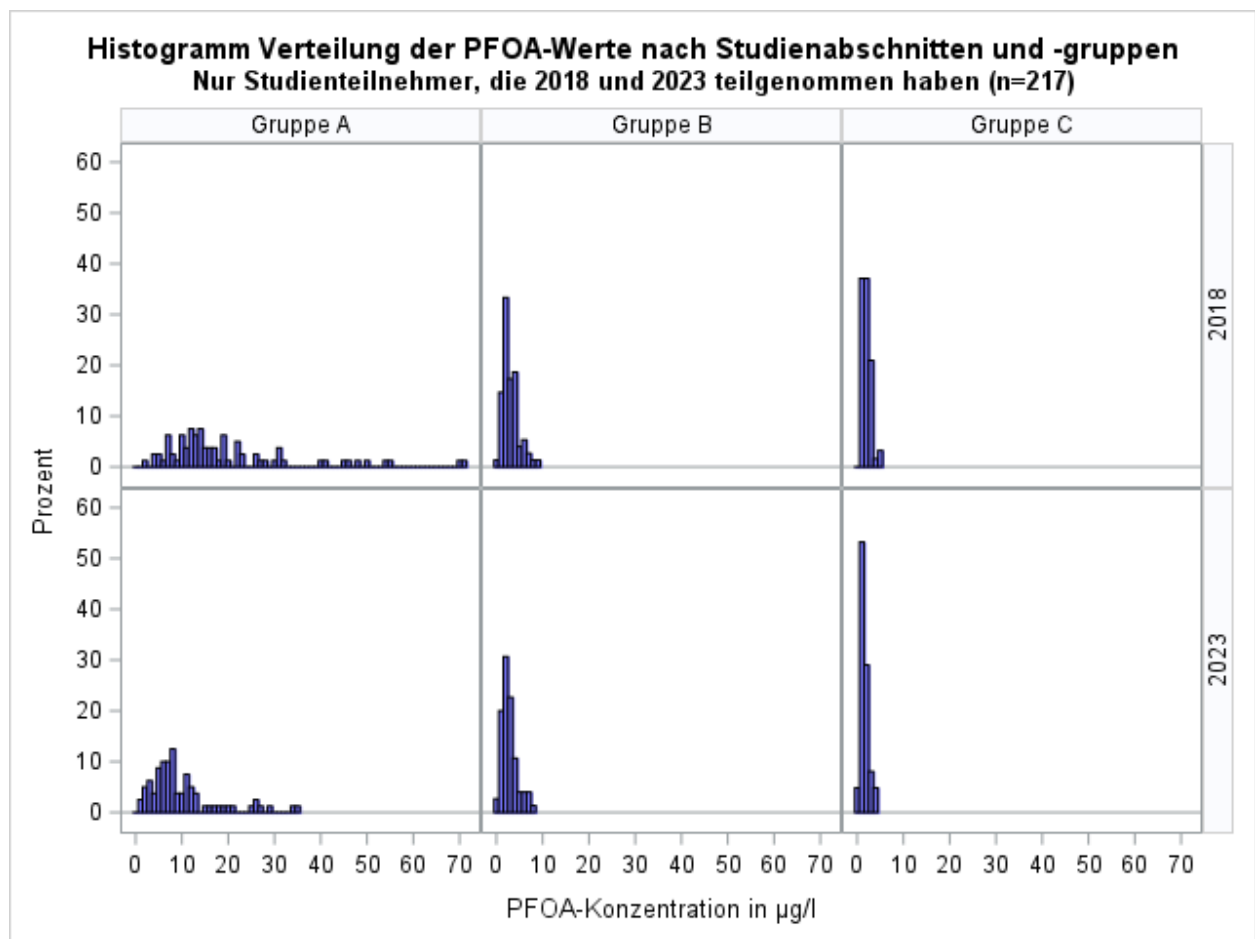


Abbildung 8.2: Darstellung der Verteilungen der PFOA-Konzentrationen im Blut der Untersuchungsteilnehmer, die 2018 und 2023 teilgenommen haben; getrennt nach den Gruppen A, B und C (Intervall = 1 µg/l).

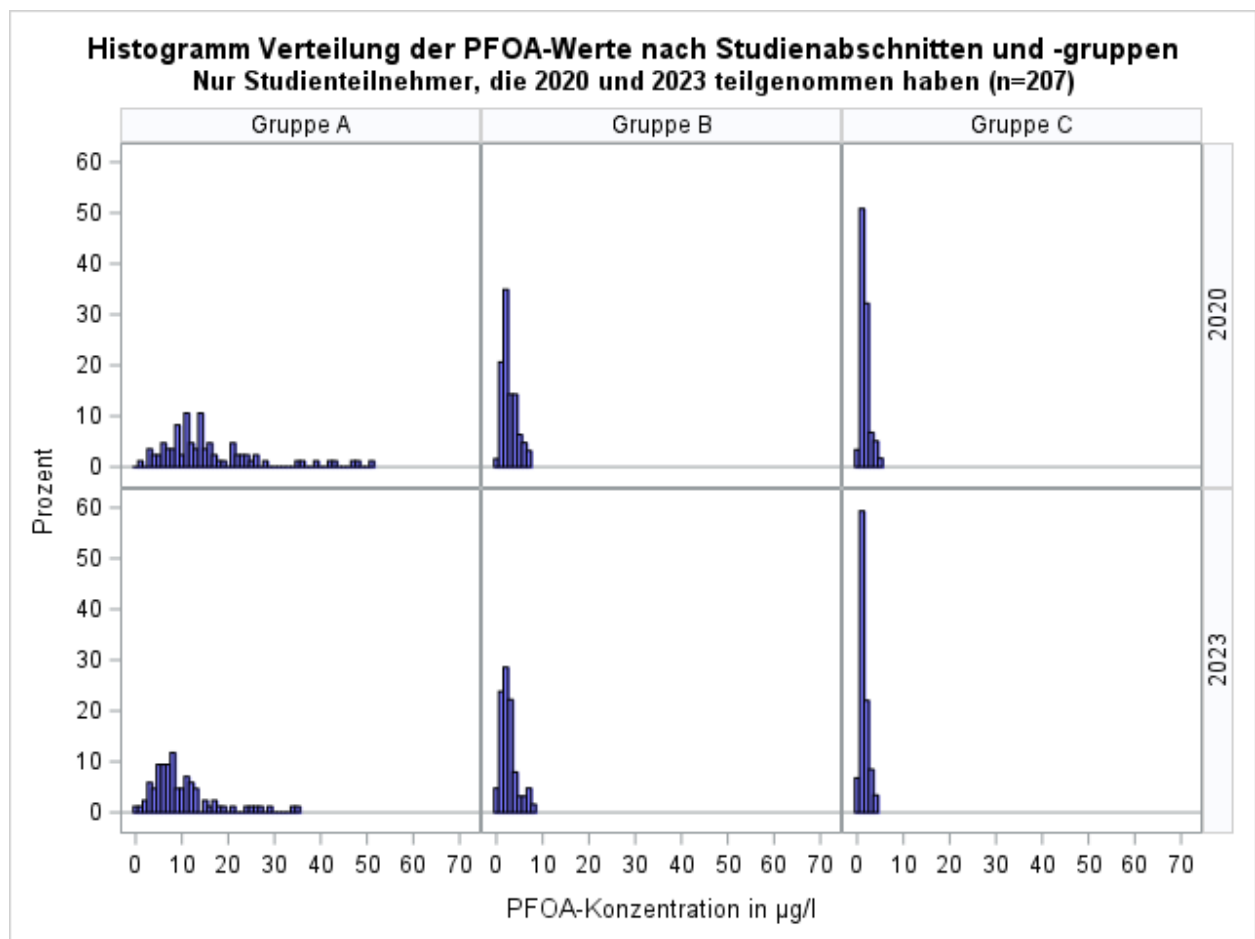


Abbildung 8.3: Darstellung der Verteilungen der PFOA-Konzentrationen im Blut der Untersuchungsteilnehmer, die 2020 und 2023 teilgenommen haben; getrennt nach den Gruppen A, B und C (Intervall = 1 µg/l).

8.3 PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit vom früheren Trinkwasserkonsum und von der untersuchten Gruppe

Tabelle 8.4: Vergleich der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit Trinkwasserkonsum (Gruppe A): Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma [$\mu\text{g/l}$] von 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus der Gruppe A. Falls in den Fragebögen eine Änderung des Trinkwasserkonsums angegeben war, wurde bei der Auswertung der Konsum vor der Änderung (Frage 13 bzw. 14) berücksichtigt, ansonsten die tägliche Trinkwassermenge (Frage 11).

Untersuchung und Trinkwassermenge in Gläsern	Anzahl	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
		$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
Gruppe A - U1 (2018)							
0 Gläser	17	3,55	6,54	11,12	12,12	13,78	26,91
1-2 Gläser	36	3,68	9,59	13,03	16,63	20,09	50,48
3-5 Gläser	34	2,46	11,82	18,84	19,99	26,12	55,09
6-8 Gläser	17	4,67	12,52	16,51	21,01	23,32	71,16
> 8 Gläser	16	11,39	13,44	24,25	29,21	43,73	69,51
Gruppe A - U2 (2020)							
0 Gläser	15	1,31	4,84	11,54	11,93	15,72	28,40
1-2 Gläser	30	1,14	7,35	12,28	12,47	16,01	35,05
3-5 Gläser	33	4,44	8,66	13,01	14,07	20,87	31,14
6-8 Gläser	16	3,00	9,30	14,87	20,82	37,55	50,63
> 8 Gläser	6	9,35	10,62	23,06	26,03	42,12	47,96
Gruppe A - U3 (2023)							
0 Gläser	16	1,30	4,65	6,68	7,68	9,04	19,82
1-2 Gläser	30	3,13	5,15	7,36	8,26	11,17	20,84
3-5 Gläser	34	0,65	4,58	7,54	9,18	13,35	25,82
6-8 Gläser	10	5,20	7,05	8,61	13,32	18,18	34,15
> 8 Gläser	9	2,50	7,29	9,96	16,02	26,53	35,08

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

Tabelle 8.5: Vergleich der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit Trinkwasserkonsum (Gruppe B): Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma [$\mu\text{g/l}$] von 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus der B. Falls in den Fragebögen eine Änderung des Trinkwasserkonsums angegeben war, wurde bei der Auswertung der Konsum vor der Änderung (Frage 13 bzw. 14) berücksichtigt, ansonsten die tägliche Trinkwassermenge (Frage 11).

Untersuchung und Trinkwas- sermenge in Gläsern	Anzahl	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
		$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
Gruppe B - U1 (2018)							
0 Gläser	12	1,50	2,20	2,74	3,41	4,22	6,60
1-2 Gläser	48	0,69	1,78	2,60	3,33	3,81	23,00
3-5 Gläser	46	0,20	1,85	2,36	3,24	3,45	19,16
6-8 Gläser	20	0,45	1,83	2,50	3,15	3,97	8,72
> 8 Gläser	9	0,93	2,04	3,97	3,96	5,79	7,66
Gruppe B - U2 (2020)							
0 Gläser	7	0,81	1,09	2,16	2,25	2,99	4,10
1-2 Gläser	26	0,53	1,61	2,67	2,77	3,52	5,78
3-5 Gläser	28	0,49	1,59	2,29	2,92	4,07	7,02
6-8 Gläser	14	0,92	1,67	2,46	2,77	3,57	5,95
> 8 Gläser	4	1,03	1,35	2,64	2,73	4,11	4,62
Gruppe B - U3 (2023)							
0 Gläser	12	1,52	1,71	2,03	2,34	2,53	5,69
1-2 Gläser	31	0,48	1,47	2,21	2,48	3,23	7,37
3-5 Gläser	24	0,40	1,23	2,53	2,72	3,60	7,13
6-8 Gläser	12	0,85	1,24	2,27	2,81	2,81	8,39
> 8 Gläser	8	1,00	1,79	2,89	2,89	4,07	4,62

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

Tabelle 8.6: Vergleich der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit Trinkwasserkonsum (Gruppe C): Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma [$\mu\text{g/l}$] von 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus der C. Falls in den Fragebögen eine Änderung des Trinkwasserkonsums angegeben war, wurde bei der Auswertung der Konsum vor der Änderung (Frage 13 bzw. 14) berücksichtigt, ansonsten die tägliche Trinkwassermenge (Frage 11).

Untersuchung und Trinkwassermenge in Gläsern	Anzahl	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
		$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
Gruppe C - U1 (2018)							
0 Gläser	6	0,62	1,08	1,59	1,64	2,15	2,82
1-2 Gläser	37	0,71	1,23	2,00	1,99	2,46	4,96
3-5 Gläser	30	0,14	1,35	1,72	1,95	2,20	5,38
6-8 Gläser	9	0,58	0,89	1,14	1,46	2,07	2,95
> 8 Gläser	9	0,86	1,45	2,27	2,24	2,71	4,36
Gruppe C - U2 (2020)							
0 Gläser	4	0,74	1,08	1,61	1,64	2,19	2,59
1-2 Gläser	25	0,29	1,01	1,27	1,50	1,88	3,84
3-5 Gläser	24	0,45	1,16	1,71	1,83	2,25	4,95
6-8 Gläser	7	0,52	1,08	1,23	1,77	2,46	3,99
> 8 Gläser	7	0,30	0,64	1,71	1,50	2,43	2,63
Gruppe C - U3 (2023)							
0 Gläser	8	0,39	0,78	1,27	1,18	1,61	1,69
1-2 Gläser	24	0,53	0,91	1,06	1,23	1,52	2,72
3-5 Gläser	21	0,47	0,87	1,13	1,53	1,98	3,55
6-8 Gläser	16	0,52	0,83	1,39	1,66	1,97	4,24
> 8 Gläser	6	0,29	0,50	0,82	1,04	1,28	2,53

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

8.4 PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht

Tabelle 8.7: Vergleich der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit vom Geschlecht: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma [$\mu\text{g/l}$] von 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C.

Untersuchung und Teilnehmer	Anzahl	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
		$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
Gruppe A - Frauen							
U1 (2018)	68	4,07	13,66	18,59	21,92	26,40	69,51
U2 (2020)	62	1,14	8,70	13,59	15,93	20,62	47,96
U3 (2023)	62	0,24	5,20	7,88	10,48	13,28	35,08
Gruppe B - Frauen							
U1 (2018)	83	0,20	1,60	2,39	3,23	3,93	23,00
U2 (2020)	46	0,49	1,42	2,34	2,66	3,57	7,02
U3 (2023)	52	0,40	1,36	2,20	2,59	3,15	8,39
Gruppe C - Frauen							
U1 (2018)	58	0,14	1,11	1,53	1,63	2,08	4,35
U2 (2020)	47	0,29	0,77	1,25	1,47	1,91	4,95
U3 (2023)	52	0,29	0,70	1,06	1,30	1,68	4,24
Gruppe A - Männer							
U1 (2018)	52	2,46	7,83	11,77	15,73	20,82	71,16
U2 (2020)	39	3,00	7,07	10,90	13,65	15,42	50,63
U3 (2023)	40	0,65	4,43	7,40	8,08	9,93	34,15
Gruppe B - Männer							
U1 (2018)	54	0,60	1,90	2,66	3,38	4,10	15,09
U2 (2020)	33	0,53	1,90	2,46	2,93	3,72	6,71
U3 (2023)	35	0,48	1,59	2,29	2,63	3,43	7,13
Gruppe C - Männer							
U1 (2018)	32	0,62	1,50	2,29	2,43	2,88	5,38
U2 (2020)	22	0,83	1,28	2,03	2,04	2,44	4,18
U3 (2023)	25	0,68	1,03	1,46	1,58	1,82	3,55

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

Tabelle 8.8: Vergleich der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit vom Geburtsjahr: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma [µg/l] von 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C.

Untersuchung und Teilnehmer	Anzahl	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Gruppe A – Jahrgang 1978 und jünger							
U1 (2018)	14	2,46	4,70	7,68	7,56	9,79	14,60
U2 (2020)	13	1,14	3,55	7,07	7,55	11,32	12,44
U3 (2023)	11	0,65	1,95	4,27	4,47	7,51	9,19
Gruppe A – Jahrgänge 1968-1977							
U1 (2018)	35	3,55	10,01	13,80	16,62	21,78	71,16
U2 (2020)	30	3,07	8,50	12,87	14,81	17,96	50,63
U3 (2023)	29	1,30	4,94	7,31	8,89	11,07	34,15
Gruppe A – Jahrgang 1967 und älter							
U1 (2018)	71	4,35	13,42	19,24	22,83	30,76	69,51
U2 (2020)	58	1,31	9,46	13,78	16,86	21,41	47,96
U3 (2023)	62	0,24	5,80	8,27	10,74	13,35	35,08
Gruppe B – Jahrgang 1978 und jünger							
U1 (2018)	18	0,85	1,48	2,04	2,21	2,32	4,35
U2 (2020)	10	0,65	1,24	1,60	1,89	2,44	3,75
U3 (2023)	10	0,48	0,99	2,15	1,95	2,62	3,07
Gruppe B – Jahrgänge 1968-1977							
U1 (2018)	39	0,20	1,76	2,33	3,10	3,76	23,00
U2 (2020)	20	0,49	1,96	2,73	3,00	3,91	5,78
U3 (2023)	19	0,40	1,33	2,18	2,26	3,32	5,16
Gruppe B – Jahrgang 1967 und älter							
U1 (2018)	80	0,60	1,92	2,76	3,63	4,13	19,16
U2 (2020)	49	0,53	1,67	2,47	2,86	3,57	7,02
U3 (2023)	58	0,50	1,52	2,34	2,84	3,53	8,39
Gruppe C – Jahrgang 1978 und jünger							
U1 (2018)	10	0,14	1,00	1,24	1,29	1,60	2,72
U2 (2020)	6	0,83	1,18	1,42	1,53	1,85	2,46
U3 (2023)	9	0,29	0,67	0,84	0,92	1,14	1,72
Gruppe C – Jahrgänge 1968-1977							
U1 (2018)	27	0,51	0,91	1,43	1,56	2,00	4,36
U2 (2020)	21	0,29	0,64	0,78	1,01	1,29	2,63
U3 (2023)	22	0,50	0,62	0,89	1,05	1,29	2,53
Gruppe C – Jahrgang 1967 und älter							
U1 (2018)	54	0,68	1,39	2,09	2,22	2,72	5,38
U2 (2020)	42	0,53	1,22	1,89	1,99	2,39	4,95
U3 (2023)	46	0,39	0,99	1,47	1,65	1,98	4,24

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

Tabelle 8.9: Vergleich der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht (Gruppe A): Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOA-Konzentrationen im Blutplasma [µg/l] von 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus der Gruppe A

Untersuchung und Teilnehmer	Anzahl	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Gruppe A							
Männer - Jahrgang 1978 und jünger							
U1 (2018)	6	2,46	3,68	6,31	6,42	9,79	9,97
U2 (2020)	5	3,55	7,07	8,08	8,41	10,90	12,43
U3 (T 2023)	5	0,65	1,88	5,09	4,86	7,51	9,19
Männer – Jahrgänge 1968bis 1977							
U1 (2018)	16	3,55	6,69	10,17	16,05	16,32	71,16
U2 (2020)	12	3,58	6,47	12,03	14,23	16,10	50,63
U3 (2023)	10	2,96	4,94	7,59	10,07	11,17	34,15
Männer – Jahrgang 1967 und älter							
U1 (2018)	30	4,35	9,72	13,48	17,42	24,29	53,62
U2 (2020)	22	3,00	9,02	12,04	14,52	20,87	47,26
U3 (2023)	25	1,67	5,39	6,59	7,92	9,96	25,37
Frauen - Jahrgang 1978 und jünger							
U1 (2018)	8	4,07	5,72	7,71	8,42	10,91	14,60
U2 (2020)	8	1,14	3,31	6,16	7,01	11,80	12,44
U3 (2023)	6	1,95	2,15	3,75	4,15	5,20	8,10
Frauen – Jahrgänge 1968bis 1977							
U1 (2018)	19	6,54	12,14	16,12	17,10	22,20	26,68
U2 (2020)	18	3,07	8,66	13,16	15,20	20,52	38,76
U3 (2023)	19	1,30	4,58	7,20	8,27	11,07	23,64
Frauen – Jahrgang 1967 und älter							
U1 (2018)	41	10,40	16,41	21,54	26,79	35,00	69,51
U2 (2020)	36	1,31	10,90	14,36	18,28	22,67	47,96
U3 (2023)	37	0,24	6,71	10,68	12,64	17,35	35,08

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

8.5 Scattergramme

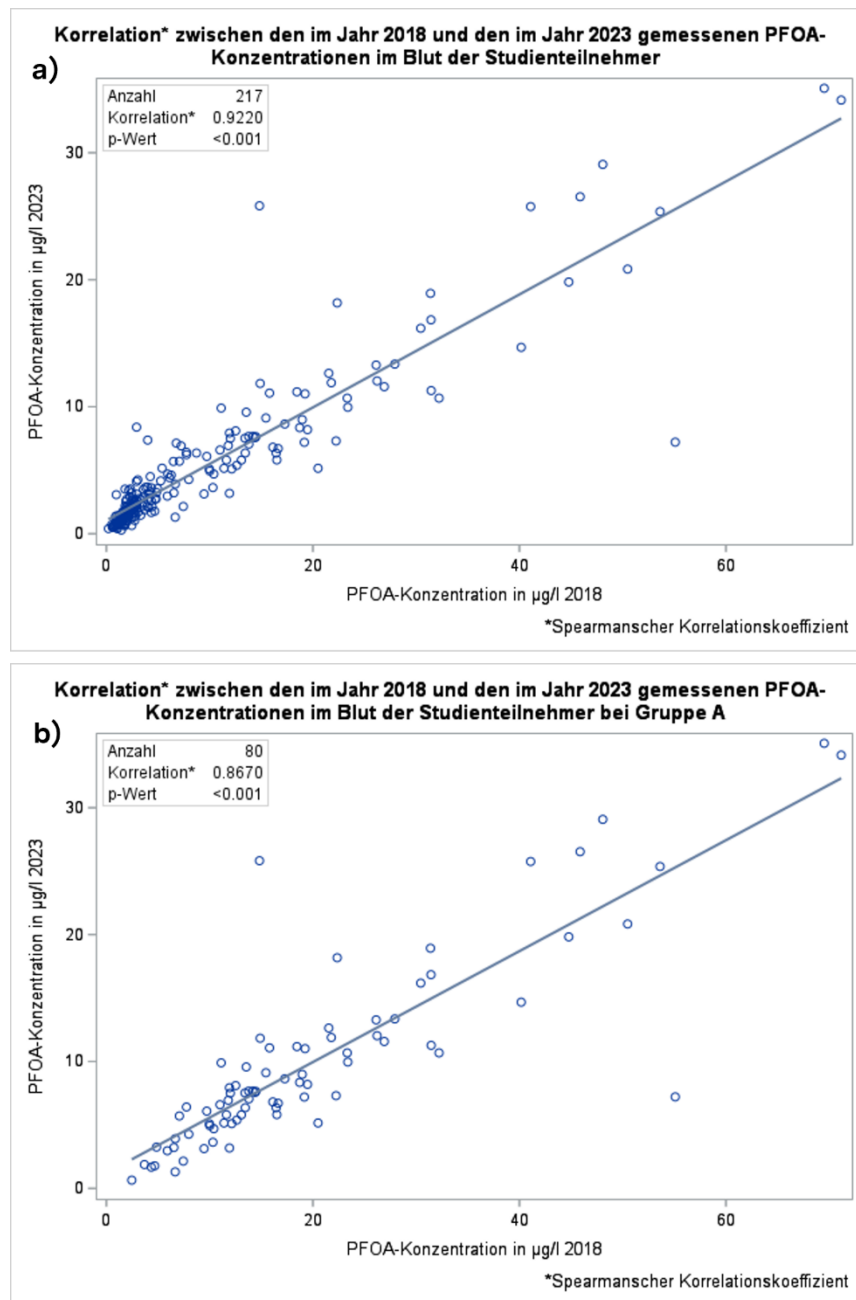


Abbildung 8.4.1: Streudiagramme (Scattergramme) der PFOA-Konzentrationen von 2018 (aufgetragen auf der x-Achse) und 2023 (aufgetragen auf der y-Achse): a) alle Teilnehmer, b) Gruppe A; jeder Punkt steht für eine Person, die an beiden Untersuchungen teilgenommen hat.

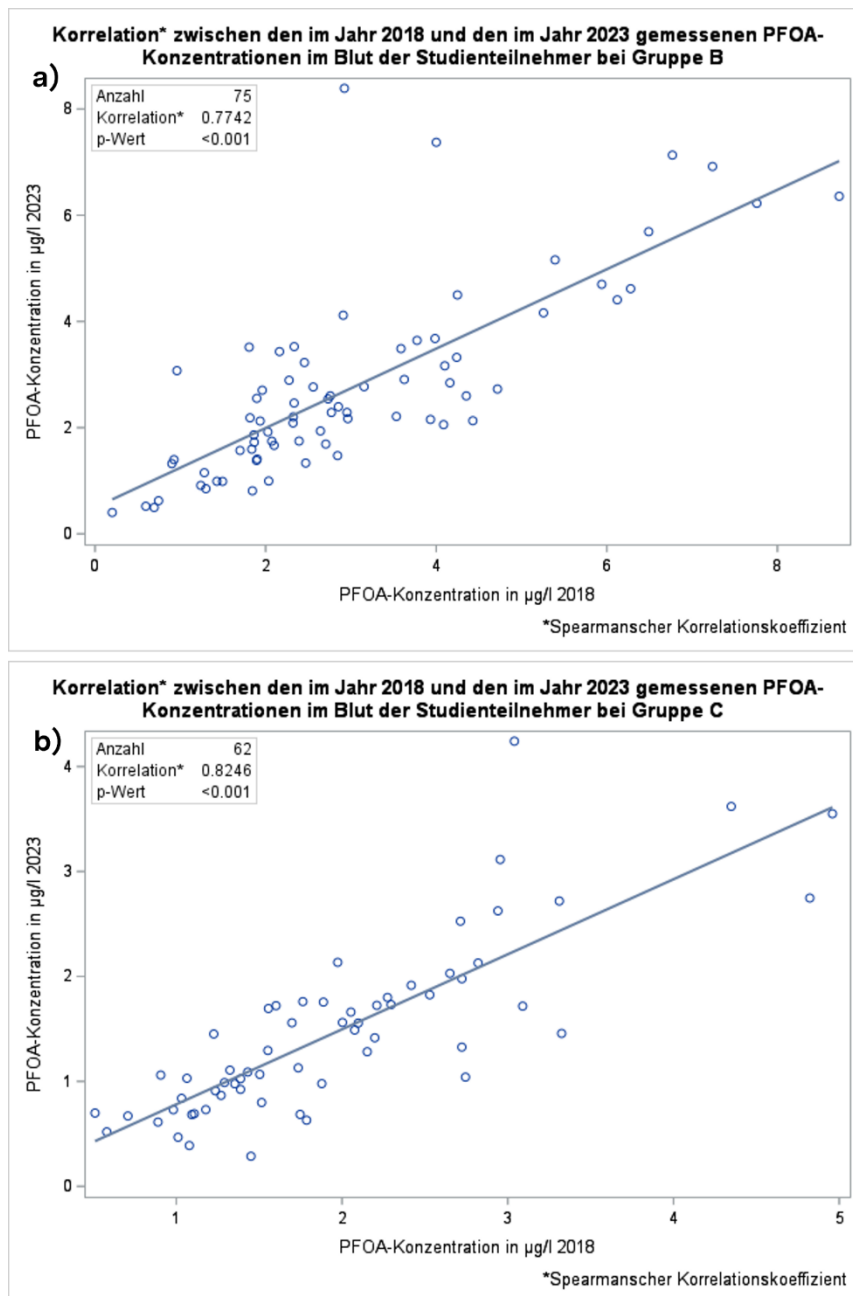


Abbildung 8.4.2: Streudiagramme (Scattergramme) der PFOA-Konzentrationen von 2018 (aufgetragen auf der x-Achse) und 2023 (aufgetragen auf der y-Achse): a) Gruppe B, b) Gruppe C; jeder Punkt steht für eine Person, die an beiden Untersuchungen teilgenommen hat.

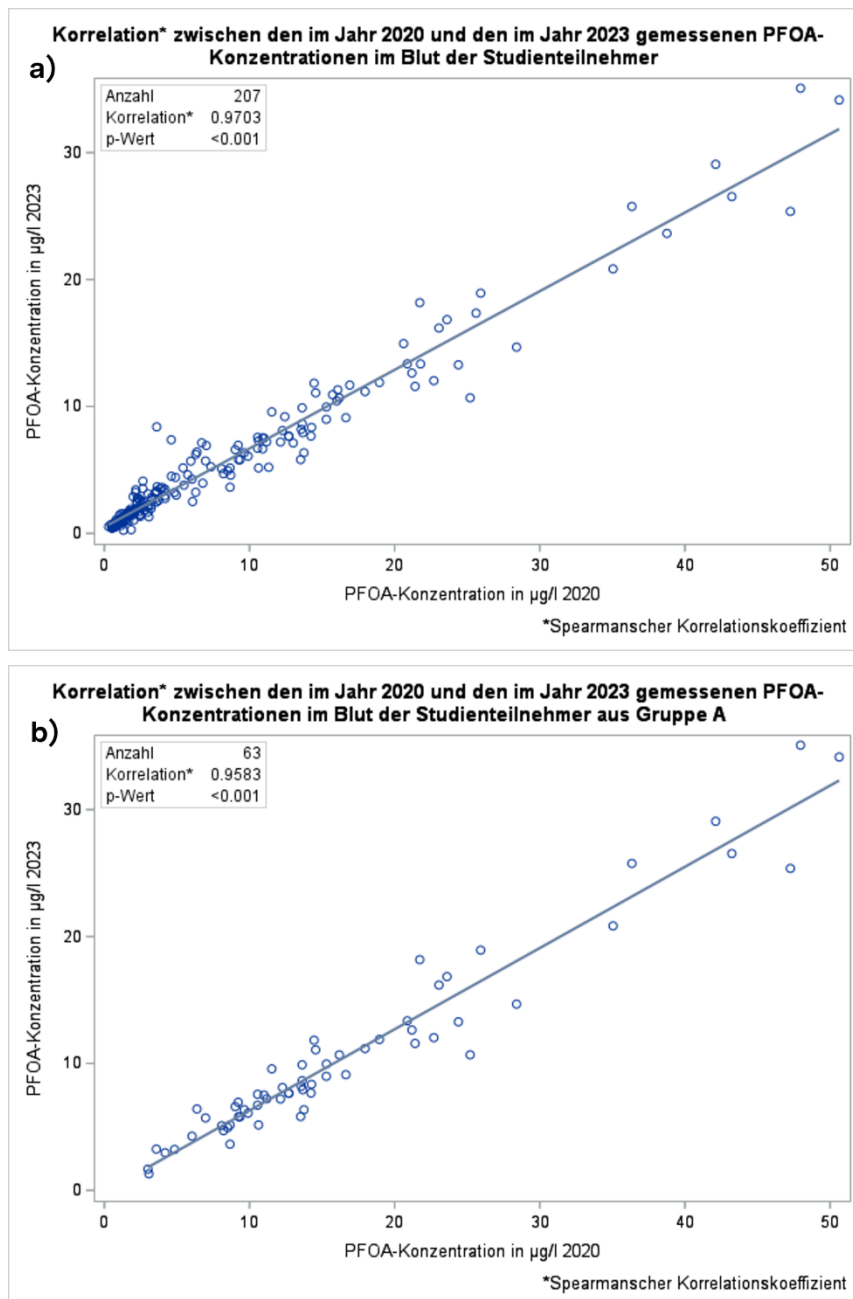


Abbildung 8.5.1: Streudiagramme (Scattergramme) der PFOA-Konzentrationen von 2020 (aufgetragen auf der x-Achse) und 2023 (aufgetragen auf der y-Achse): a) alle Teilnehmer, b) Gruppe A; jeder Punkt steht für eine Person, die an beiden Untersuchungen teilgenommen hat.

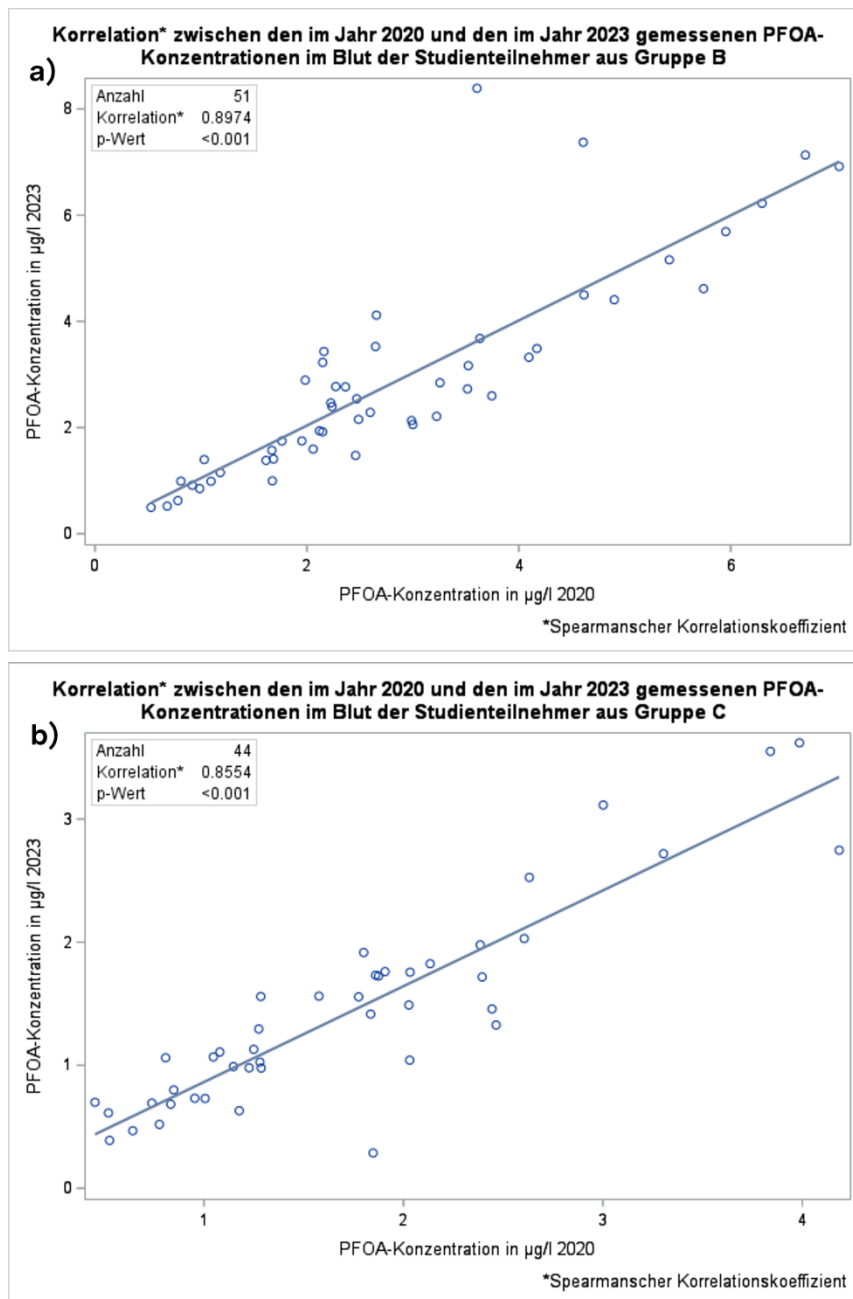


Abbildung 8.5.2: Streudiagramme (Scattergramme) der PFOA-Konzentrationen von 2020 (aufgetragen auf der x-Achse) und 2023 (aufgetragen auf der y-Achse): a) alle Teilnehmer, b) Gruppe A; jeder Punkt steht für eine Person, die an beiden Untersuchungen teilgenommen hat.

8.6 PFOS-Konzentrationen im Blutplasma

Tabelle 8.10: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOS-Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] im Blutplasma in den Gruppen A, B und C bei Teilnehmern, die an den Untersuchungen 2018, 2020 und 2023 teilgenommen haben*.

Untersu- chung und Teilnehmer	Anzahl	Minimum			1. Quartil			Median			Mittelwert			3. Quartil			Maximum		
		Vergleich zu 2018			Vergleich zu 2018			Vergleich zu 2018			Vergleich zu 2018			Vergleich zu 2018			Vergleich zu 2018		
		µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%
Gruppe A																			
U1 (2018, 2020 und 2023)	63	0,63			1,70			2,77			3,14			3,88			12,07		
U2 (2018, 2020 und 2023)	63	0,62	-0,01	-1,7	1,62	-0,08	-4,8	2,27	-0,49	-17,8	3,77	0,63	+20,1	3,86	-0,02	-0,4	41,42	29,35	+243,2
U3 (2018, 2020 und 2023)	63	0,57	-0,06	-8,8	1,42	-0,28	-16,2	2,17	-0,60	-21,6	3,18	0,04	+1,3	3,44	-0,43	-11,2	21,00	8,93	+74,0
Gruppe B																			
U1 (2018, 2020 und 2023)	51	1,03			1,87			3,43			4,18			5,05			14,47		
U2 (2018, 2020 und 2023)	51	0,77	-0,26	-24,8	1,87	-0,01	-0,4	2,97	-0,46	-13,5	3,92	-0,26	-6,3	4,91	-0,15	-2,9	19,91	5,45	+37,7
U3 (2018, 2020 und 2023)	51	0,84	-0,19	-18,2	1,70	-0,17	-9,0	2,93	-0,50	-14,7	4,23	0,05	+1,2	4,91	-0,14	-2,9	24,08	9,61	+66,5
Gruppe C																			
U1 (2018, 2020 und 2023)	44	0,54			1,49			2,45			3,79			4,58			24,18		
U2 (2018, 2020 und 2023)	44	0,60	0,07	+12,2	1,34	-0,15	-9,9	2,37	-0,08	-3,1	3,60	-0,19	-4,9	4,48	-0,10	-2,1	29,29	5,11	+21,1
U3 (2018, 2020 und 2023)	44	0,53	-0,01	-2,2	1,13	-0,35	-23,7	2,29	-0,16	-6,6	3,11	-0,68	-18,1	3,61	-0,97	-21,1	16,03	-8,15	-33,7

* Die Prozentzahlen basieren auf den nicht gerundeten Werten. Daher können sie sich von den gerundeten Konzentrationsangaben unterscheiden.

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

Tabelle 8.11: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOS-Konzentrationen [µg/l] im Blutplasma in den Gruppen A, B und C bei Teilnehmern, die an den Untersuchungen 2018 und 2023 teilgenommen haben*.

Untersu- chung und Teilnehmer	Anzahl	Minimum	Vergleich zu 2018		1. Quartil		Vergleich zu 2018		Median	Vergleich zu 2018		Mittelwert		Vergleich zu 2018		3. Quartil		Vergleich zu 2018		Maximum	Vergleich zu 2018	
		µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%			
Gruppe A																						
U1 (2018 und 2023)	80	0,59			1,66			2,72			3,01			3,59			12,07					
U3 (2018 und 2023)	80	0,57	-0,02	-3,2	1,35	-0,31	-18,6	2,03	-0,69	-25,4	2,96	-0,05	-1,5	3,11	-0,48	-13,4	21,00	8,93	+74,0			
Gruppe B																						
U1 (2018 und 2023)	75	0,55			1,87			3,16			3,89			4,74			14,47					
U3 (2018 und 2023)	75	0,36	-0,18	-33,6	1,65	-0,23	-12,2	2,93	-0,23	-7,4	4,04	0,15	+3,8	4,40	-0,34	-7,2	24,08	9,61	+66,5			
Gruppe C																						
U1 (2018 und 2023)	62	0,54			1,49			2,37			4,43			4,60			41,09					
U3 (2018 und 2023)	62	0,53	-0,01	-2,2	1,33	-0,16	-10,7	2,29	-0,08	-3,5	5,71	1,29	29,1	4,08	-0,52	-11,4	161,19	120,10	292,3			

* Die Prozentzahlen basieren auf den nicht gerundeten Werten. Daher können sie sich von den gerundeten Konzentrationsangaben unterscheiden.

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

Tabelle 8.12: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFOS-Konzentrationen [µg/l] im Blutplasma in den Gruppen A, B und C bei Teilnehmern, die an den Untersuchungen 2020 und 2023 teilgenommen haben*.

Untersu- chung und Teilnehmer	Anzahl	Minimum	Vergleich zu 2020		1. Quartil	Vergleich zu 2020		Median	Vergleich zu 2020		Mittelwert	Vergleich zu 2020		3. Quartil	Vergleich zu 2020		Maximum	Vergleich zu 2020	
		µg/l	µg/l	%		µg/l	µg/l		%	µg/l		µg/l	%		µg/l	µg/l		%	µg/l
Gruppe A																			
U1 (2020 und 2023)	85	0,44			1,56			2,27			3,52			3,18			41,42		
U3 (2020 und 2023)	85	0,32	-0,12	-26,7	1,47	-0,09	-5,8	2,29	0,01	+0,6	3,25	-0,26	-7,5	3,80	0,62	+19,4	21,00	-20,42	-49,3
Gruppe B																			
U1 (2020 und 2023)	63	0,67			1,70			2,47			3,53			4,64			19,91		
U3 (2020 und 2023)	63	0,47	-0,19	-29,1	1,62	-0,08	-4,6	2,84	0,37	+15,2	3,87	0,34	+9,7	4,02	-0,62	-13,4	24,08	4,17	+20,9
Gruppe C																			
U1 (2020 und 2023)	59	0,43			1,20			2,39			3,44			4,54			29,29		
U3 (2020 und 2023)	59	0,53	0,10	+22,3	1,13	-0,07	-5,8	2,29	-0,09	-3,9	3,21	-0,22	-6,5	4,08	-0,47	-10,3	16,03	-13,26	-45,3

* Die Prozentzahlen basieren auf den nicht gerundeten Werten. Daher können sie sich von den gerundeten Konzentrationsangaben unterscheiden.

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

8.7 Vergleich der Histogramme der PFOS-Konzentrationen in den drei Gruppen

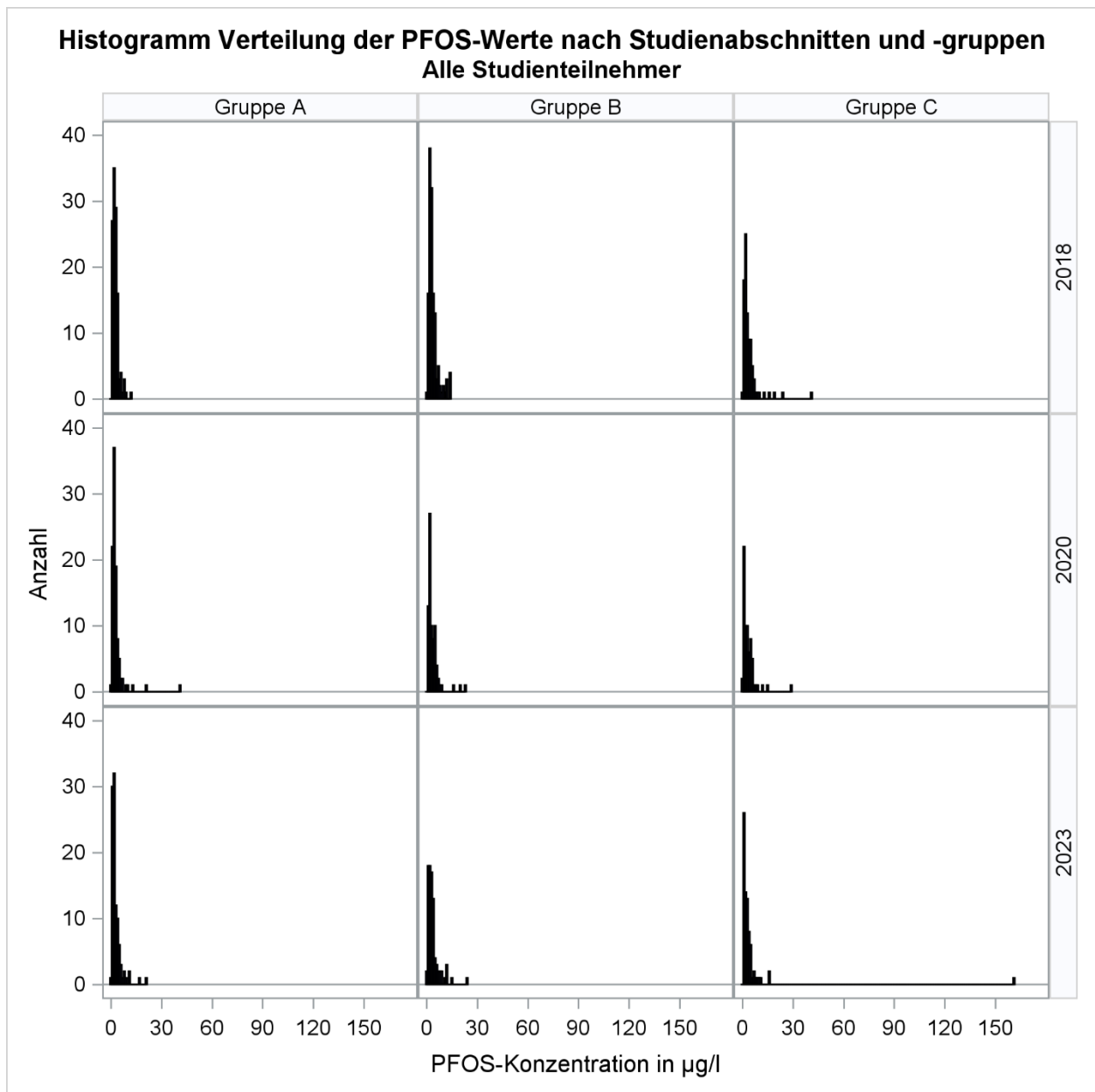


Abbildung 8.6: Darstellung der Verteilungen der PFOS-Konzentrationen im Blut der Untersuchungsteilnehmer in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023 getrennt nach den Gruppen A, B und C – inklusive dem Ausreißerwert in Gruppe C (161,19 µg PFOS/l Blutplasma) (Intervall = 1 µg/l).

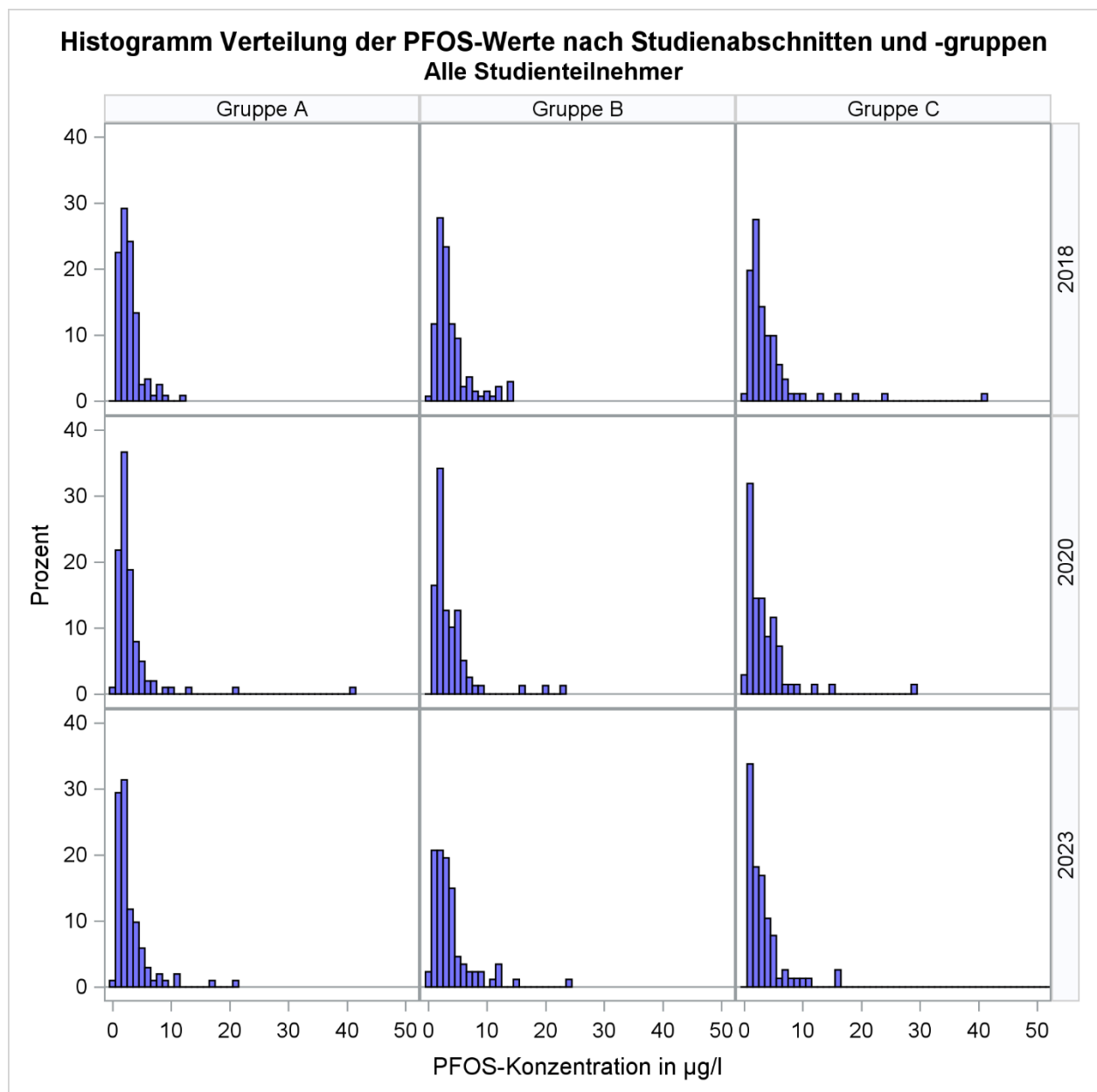


Abbildung 8.7: Darstellung der Verteilungen der PFOS-Konzentrationen im Blut der Untersuchungsteilnehmer in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023 getrennt nach den Gruppen A, B und C – ohne den Ausreißerwert in Gruppe C (161,19 μg PFOS/l Blutplasma) (Intervall = 1 $\mu\text{g/l}$).

Histogramm Verteilung der PFOS-Werte nach Studienabschnitten und -gruppen
Nur Studienteilnehmer, die an allen drei Abschnitten 2018, 2020 und 2023 teilgenommen
haben (n=158)

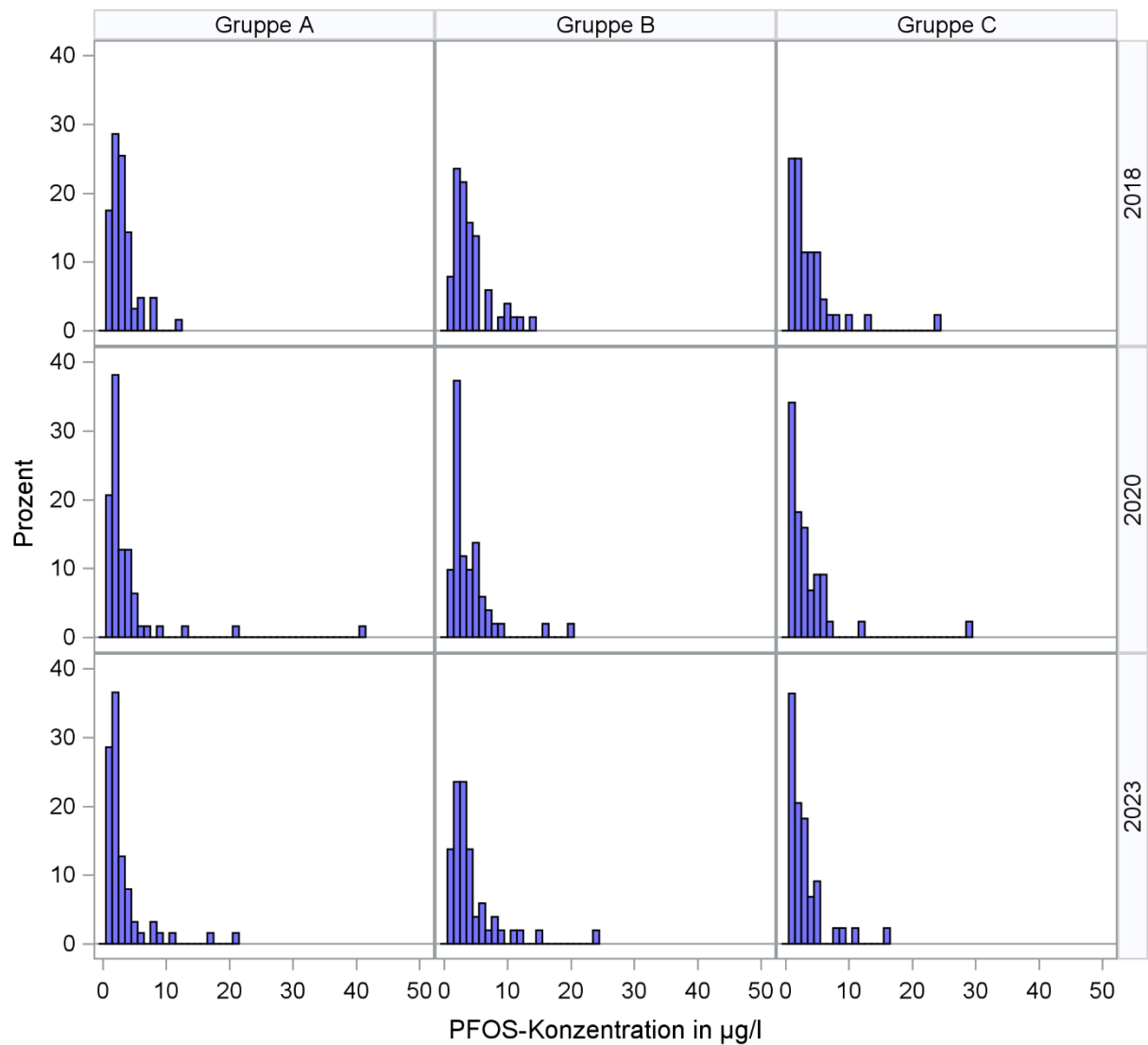


Abbildung 8.8: Darstellung der Verteilungen der PFOS-Konzentrationen im Blut der Untersuchungsteilnehmer, die in allen drei Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023 teilgenommen haben; getrennt nach den Gruppen A, B und C (Intervall = 1 µg/l).

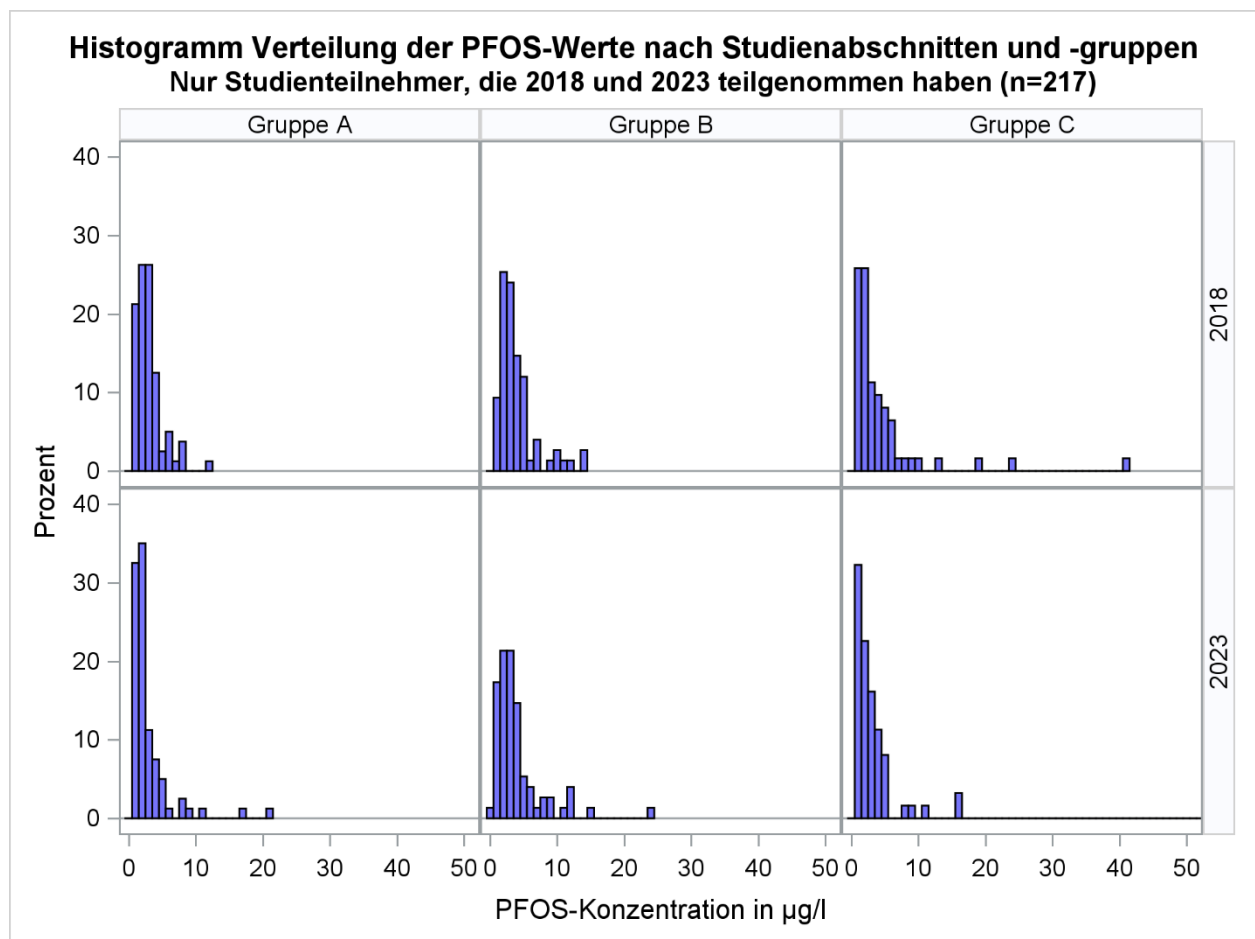


Abbildung 8.9: Darstellung der Verteilungen der PFOS-Konzentrationen im Blut der Untersuchungsteilnehmer, die 2018 und 2023 teilgenommen haben; getrennt nach den Gruppen A, B und C - ohne den Ausreißerwert in Gruppe C (161,19 µg PFOS/l Blutplasma) (Intervall = 1 µg/l).

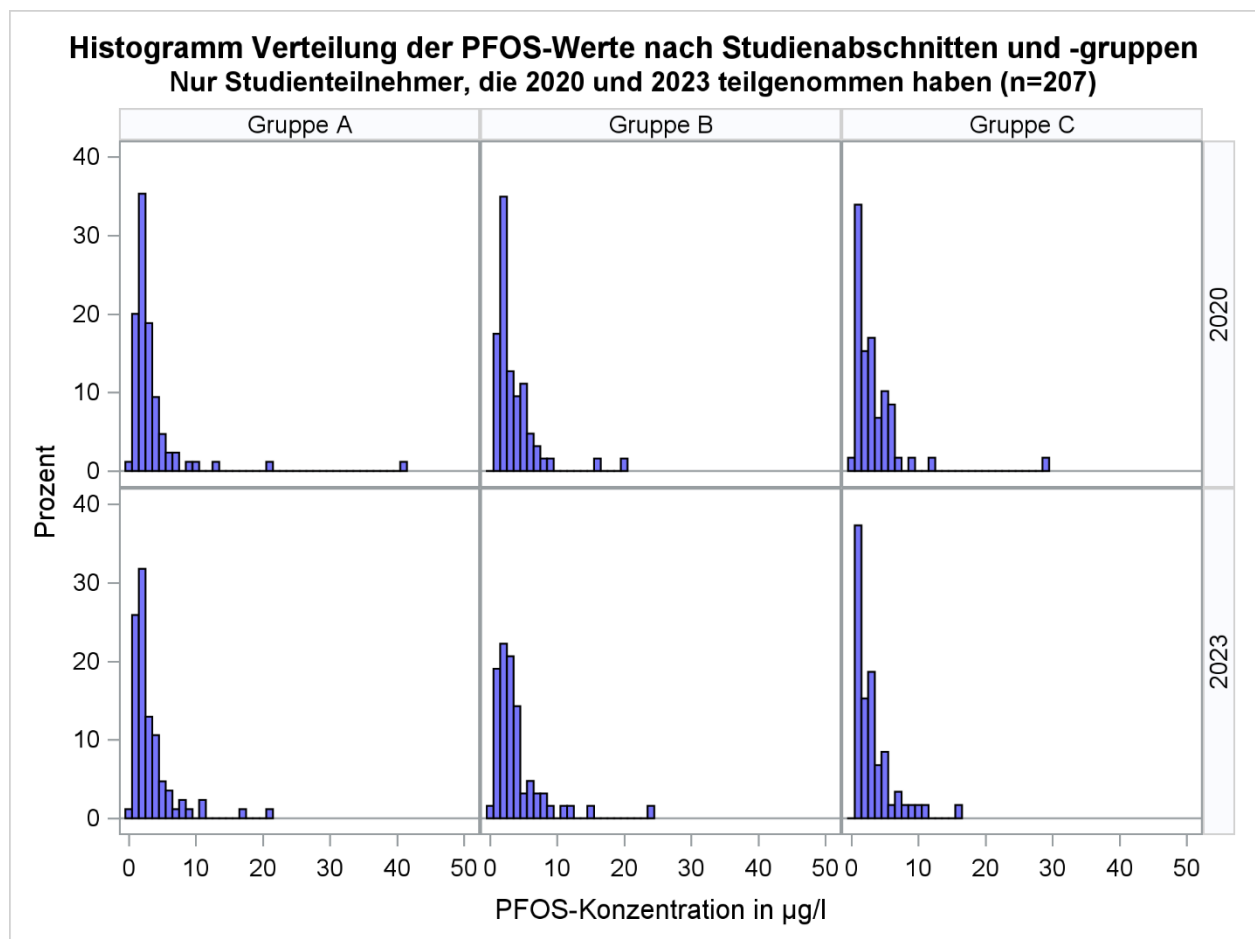


Abbildung 8.10: Darstellung der Verteilungen der PFOS-Konzentrationen im Blut der Untersuchungsteilnehmer, die 2020 und 2023 teilgenommen haben; getrennt nach den Gruppen A, B und C (Intervall = 1 µg/l).

8.8 Weitere PFAS

In diesem Abschnitt sind für PFHpA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFHxS, PFHpS zusätzliche Auswertungen für die Anzahl n der Teilnehmerinnen und Teilnehmer zusammengefasst, deren gemessenen Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze LOQ gemessen wurden. Die für dieses Teilkollektiv ermittelten Minima, Maxima, Mittelwerte und Perzentile werden als Boxplot sowie in einer Tabelle dargestellt. Zusätzlich werden die Häufigkeitsverteilungen der jeweiligen PFAS-Konzentrationen in Histogrammen nach Untersuchungsjahr und Gruppe veranschaulicht. Auf eine detaillierte Beschreibung der Untersuchungsergebnisse für die weiteren PFAS wird verzichtet und diese nur dargestellt. Signifikante Unterschiede bei den einzelnen Gruppen wurden untersucht, ergaben aber keine Hinweise für weitere Auswertungen. Die beobachtbaren Unterschiede zwischen den Untersuchungsjahren bzw. zwischen den Gruppen werden dominiert von den Ergebnissen einzelner Teilnehmer. Da es für diese PFAS keine Beurteilungswerte gibt, konnten die ermittelten Konzentrationen toxikologisch nicht eingeordnet werden.

8.8.1 Perfluorheptansäure (PFHpA)

Zusammenfassung der Ergebnisse von Studienteilnehmern, deren PFHpA-Werte im Blutplasma oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

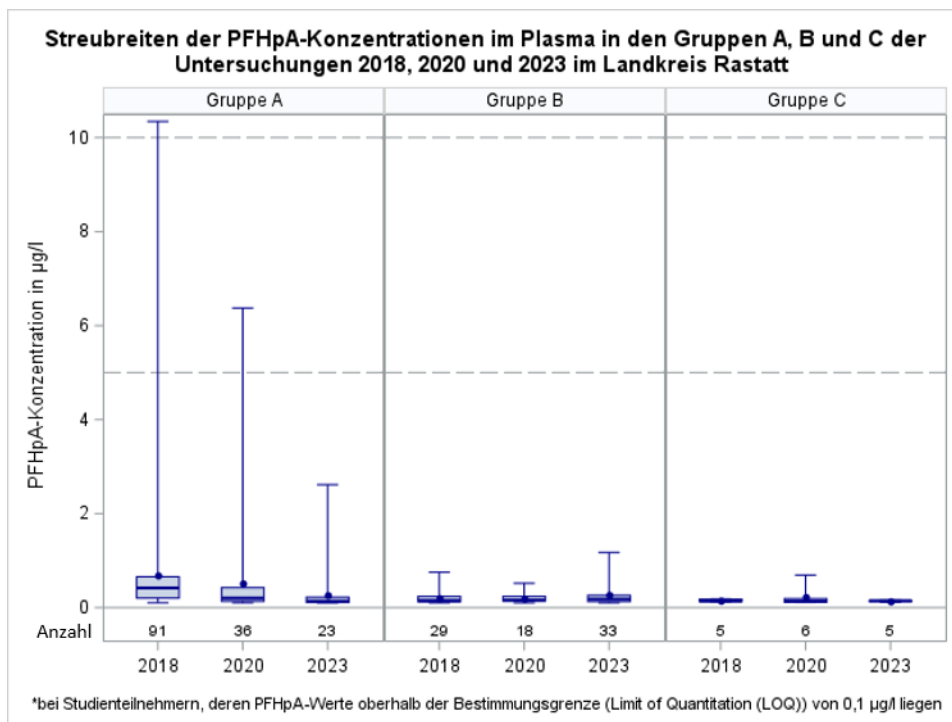


Abbildung 8.11: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFHpA-Konzentrationen im Blutplasma [µg/l] von 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C. Berücksichtigt wurden bei der Auswertung nur Studienteilnehmer, deren PFHpA-Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

Tabelle 8.13: Minima, Maxima, Quartile und Mittelwerte der PFHpA-Konzentrationen [µg/l] (bezogen auf die Teilnehmer $n > \text{LOQ}$) im Blutplasma bei Studienteilnehmern in den Gruppen A, B und C in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023.

Untersuchung und Teilnehmer	Anzahl N (gesamt)	Anzahl (n > LOQ)	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
PFHpA			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Gruppe A								
U1 (2018)	120	91	0,10	0,20	0,42	0,69	0,66	10,34
U2 (2020)	101	36	0,10	0,14	0,20	0,52	0,42	6,37
U3 (2023)	102	23	0,10	0,11	0,14	0,27	0,22	2,62
Gruppe B								
U1 (2018)	137	29	0,10	0,13	0,15	0,20	0,24	0,76
U2 (2020)	79	18	0,10	0,14	0,16	0,19	0,24	0,52
U3 (2023)	87	33	0,10	0,13	0,18	0,27	0,26	1,17
Gruppe C								
U1 (2018)	91	5	0,13	0,13	0,14	0,15	0,18	0,18
U2 (2020)	67	6	0,11	0,11	0,14	0,23	0,19	0,69
U3 (2023)	77	5	0,11	0,13	0,15	0,14	0,15	0,15

LOQ = Bestimmungsgrenze, N = Gesamtzahl, n = Anzahl; PFHpA = Perfluorheptansäure

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

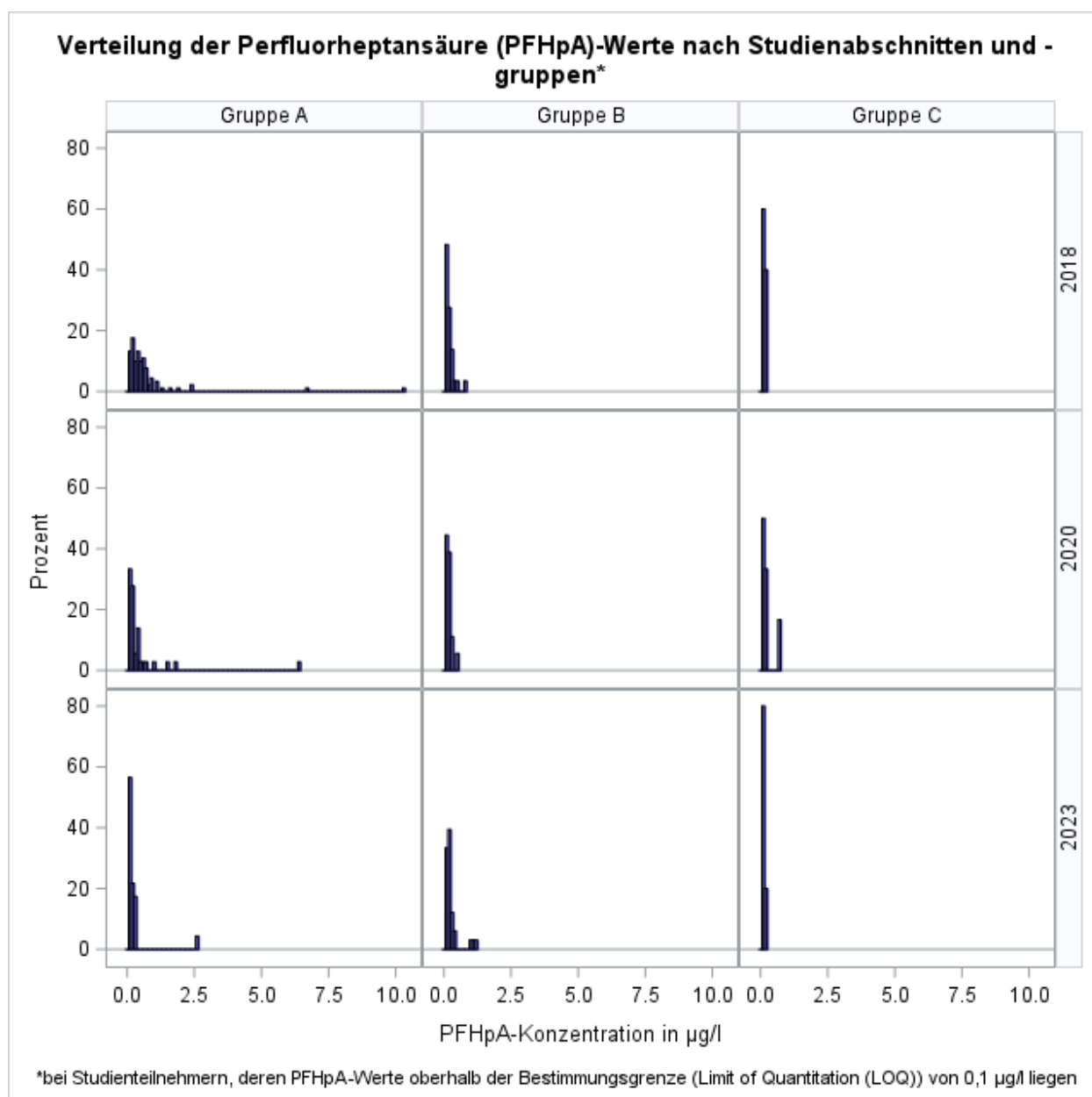


Abbildung 8.12: Darstellung der Verteilungen der PFHpA-Konzentrationen im Blut der Untersuchungsteilnehmer in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023 getrennt nach den Gruppen A, B und C (Intervall = 1 µg/l). Berücksichtigt wurden bei der Auswertung nur Studienteilnehmer, deren PFHpA-Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze LOQ von 0,1 µg/l lagen.

8.8.2 Perfluornonansäure (PFNA)

Zusammenfassung der Ergebnisse von Studienteilnehmern, deren PFNA-Werte im Blutplasma oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

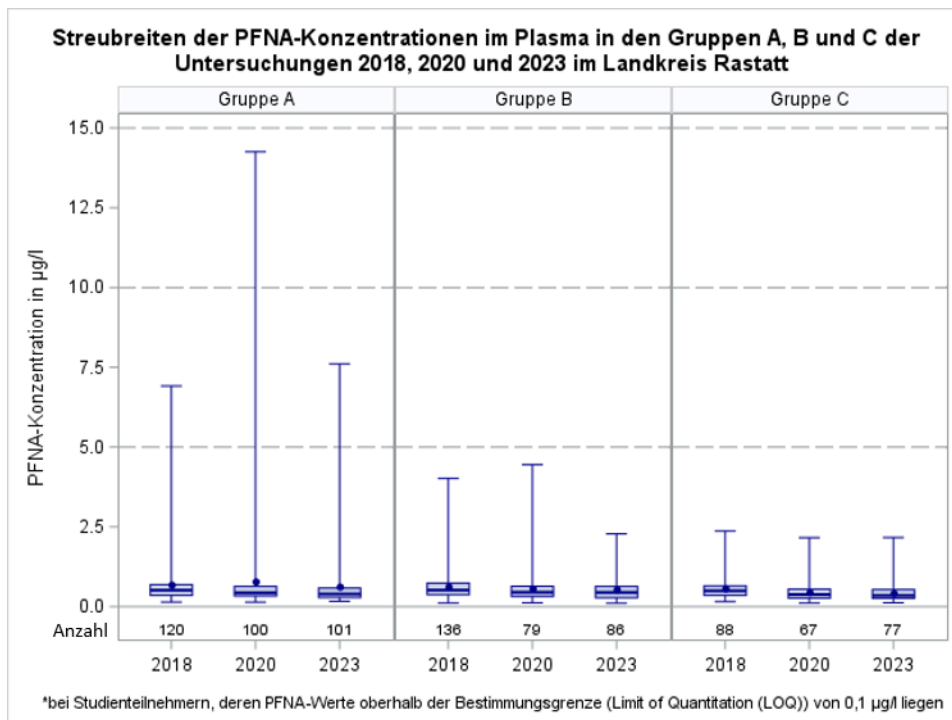


Abbildung 8.13: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFNA-Konzentrationen im Blutplasma [µg/l] von 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C. Berücksichtigt wurden bei der Auswertung nur Studienteilnehmer, deren PFNA-Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

Tabelle 8.14: Minima, Maxima, Quartile und Mittelwerte der PFNA-Konzentrationen [µg/l] (bezogen auf die Teilnehmer $n > \text{LOQ}$) im Blutplasma bei Studienteilnehmern in den Gruppen A, B und C in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023.

Untersuchung und Teilnehmer	Anzahl N (gesamt)	Anzahl (n > LOQ)	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
PFNA			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Gruppe A								
U1 (2018)	120	120	0,14	0,35	0,51	0,69	0,69	6,91
U2 (2020)	101	100	0,14	0,33	0,44	0,79	0,63	14,25
U3 (2023)	102	101	0,16	0,29	0,40	0,63	0,58	7,61
Gruppe B								
U1 (2018)	137	136	0,11	0,37	0,52	0,63	0,74	4,02
U2 (2020)	79	79	0,12	0,32	0,45	0,57	0,64	4,45
U3 (2023)	87	86	0,11	0,28	0,44	0,55	0,63	2,28
Gruppe C								
U1 (2018)	91	88	0,15	0,35	0,49	0,58	0,65	2,37
U2 (2020)	67	67	0,11	0,27	0,38	0,45	0,55	2,16
U3 (2023)	77	77	0,12	0,26	0,35	0,43	0,53	2,16

LOQ = Bestimmungsgrenze, N = Gesamtzahl, n = Anzahl; PFNA = Perfluornonansäure

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

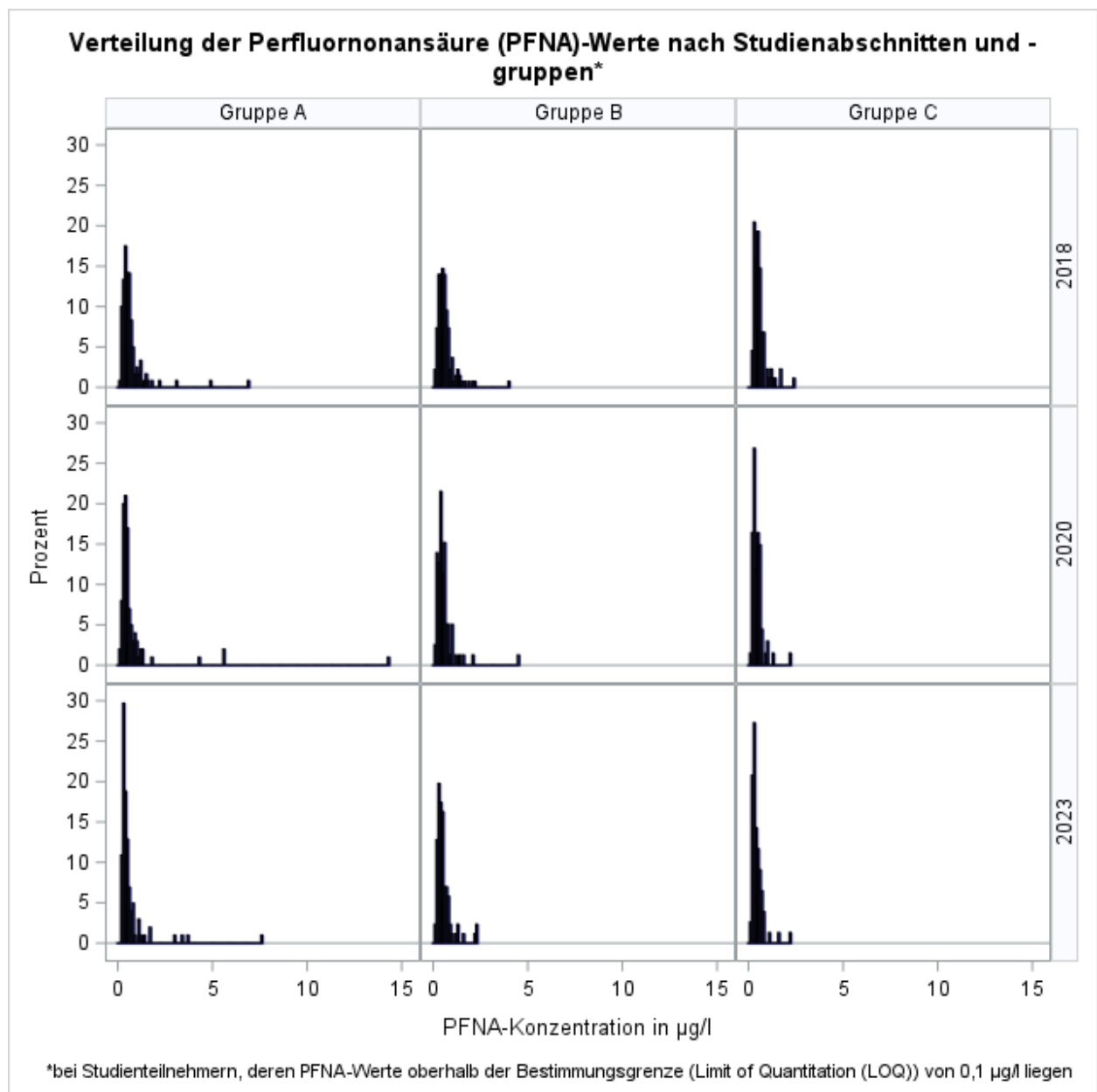


Abbildung 8.14: Darstellung der Verteilungen der PFNA-Konzentrationen im Blut der Untersuchungsteilnehmer in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023 getrennt nach den Gruppen A, B und C (Intervall = 1 µg/l). Berücksichtigt wurden bei der Auswertung nur Studienteilnehmer, deren PFNA-Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

8.8.3 Perfluordecansäure (PFDA)

Zusammenfassung der Ergebnisse von Studienteilnehmern, deren PFDA-Werte im Blutplasma oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

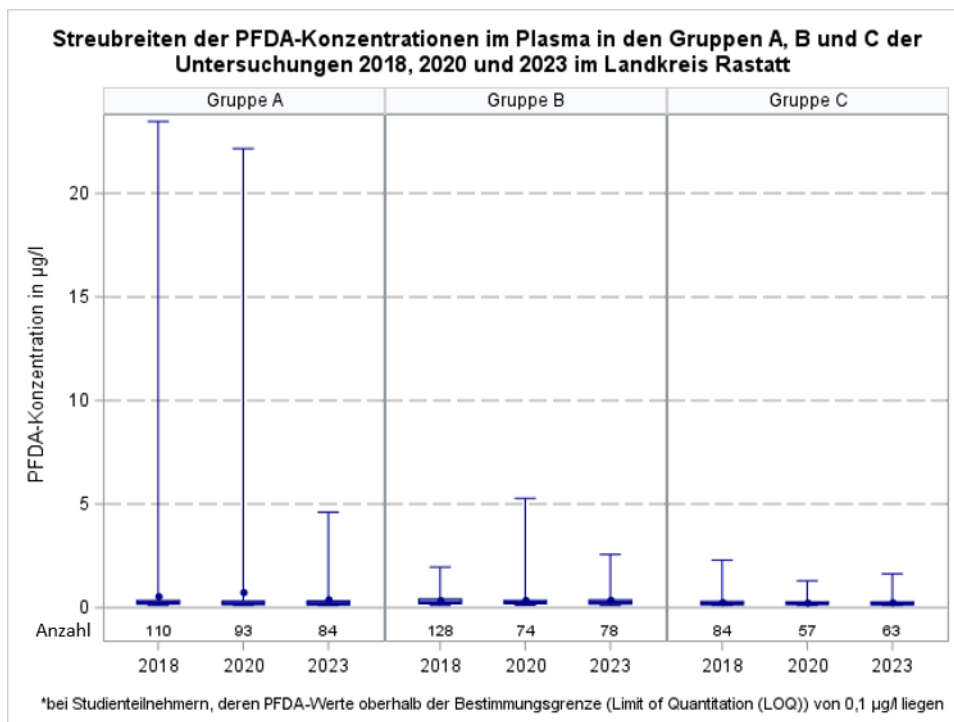


Abbildung 8.15: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFDA-Konzentrationen im Blutplasma [µg/l] von 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C. Berücksichtigt wurden bei der Auswertung nur Studienteilnehmer, deren PFDA-Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

Tabelle 8.15: Minima, Maxima, Quartile und Mittelwerte der PFDA-Konzentrationen [µg/l] (bezogen auf die Teilnehmer $n > \text{LOQ}$) im Blutplasma bei Studienteilnehmern in den Gruppen A, B und C in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023.

Untersuchung und Teilnehmer	Anzahl N (gesamt)	Anzahl (n > LOQ)	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
PFDA			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Gruppe A								
U1 (2018)	120	110	0,10	0,16	0,23	0,56	0,35	23,47
U2 (2020)	101	93	0,10	0,15	0,21	0,76	0,31	22,16
U3 (2023)	102	84	0,10	0,13	0,20	0,41	0,32	4,61
Gruppe B								
U1 (2018)	137	128	0,10	0,18	0,25	0,37	0,42	1,95
U2 (2020)	79	74	0,11	0,18	0,24	0,38	0,34	5,28
U3 (2023)	87	78	0,10	0,17	0,26	0,38	0,37	2,56
Gruppe C								
U1 (2018)	91	84	0,10	0,14	0,21	0,28	0,30	2,29
U2 (2020)	67	57	0,10	0,15	0,21	0,25	0,28	1,30
U3 (2023)	77	63	0,10	0,14	0,19	0,27	0,27	1,62

LOQ = Bestimmungsgrenze, N = Gesamtzahl, n = Anzahl; PFDA = Perfluordecansäure

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

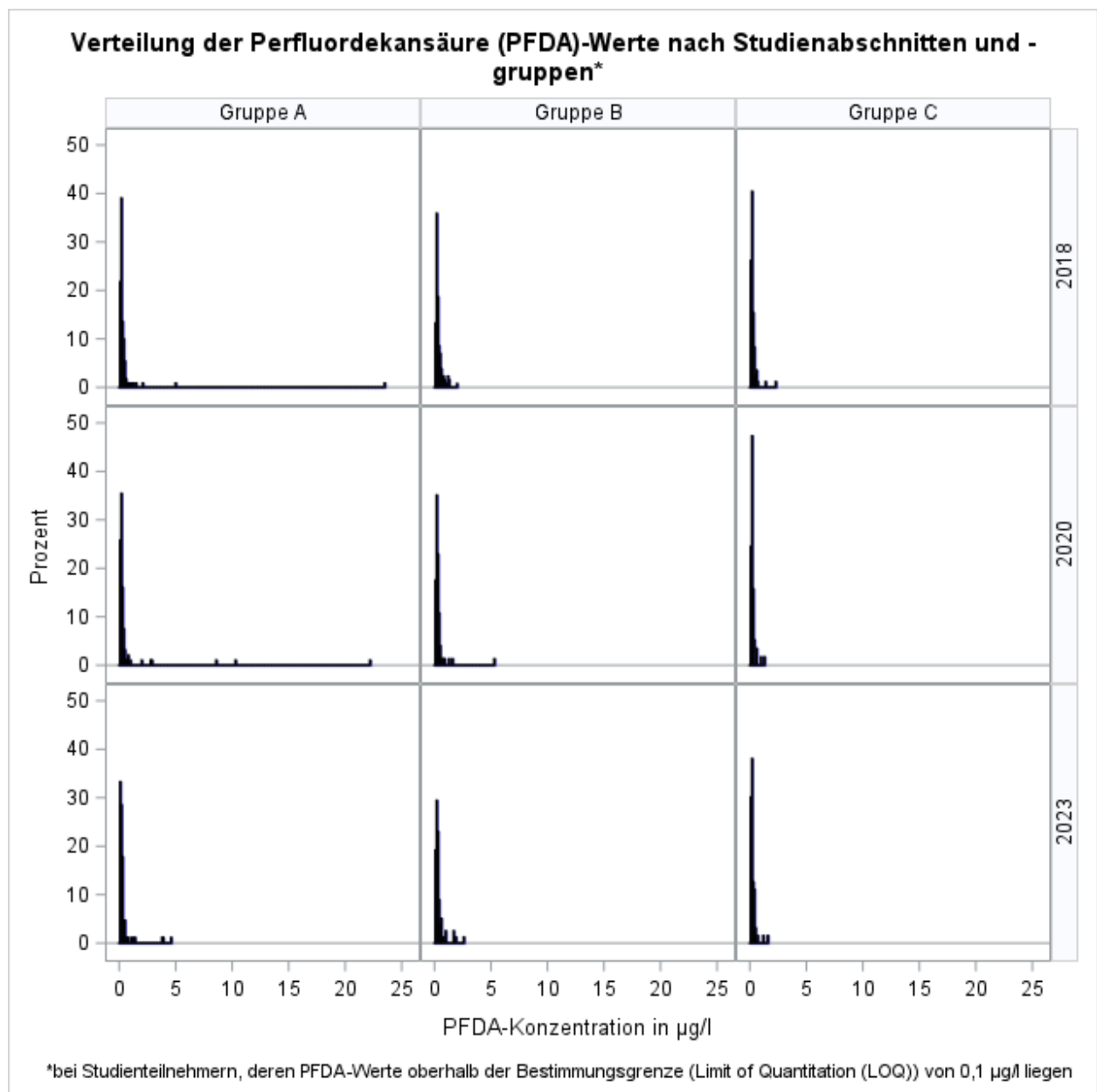


Abbildung 8.16: Darstellung der Verteilungen der PFDA-Konzentrationen im Blut der Untersuchungsteilnehmer in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023 getrennt nach den Gruppen A, B und C (Intervall = 1 µg/l). Berücksichtigt wurden bei der Auswertung nur Studienteilnehmer, deren PFDA-Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

8.8.4 Perfluorundecansäure (PFUnA)

Zusammenfassung der Ergebnisse von Studienteilnehmern, deren PFUnA-Werte im Blutplasma oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

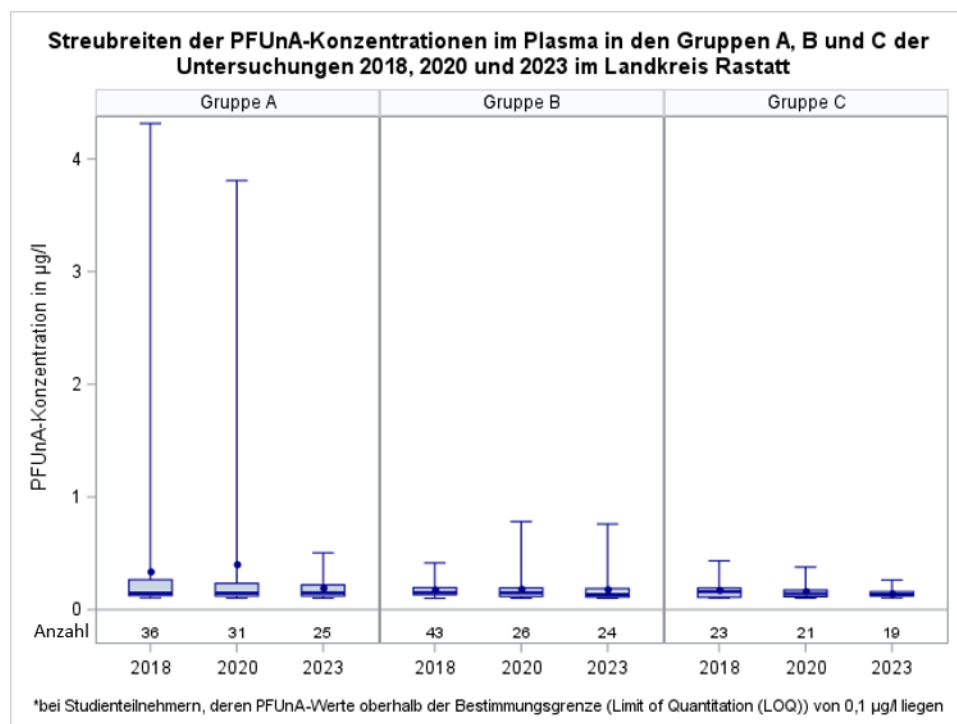


Abbildung 8.17: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFUnA-Konzentrationen im Blutplasma [µg/l] von 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C. Berücksichtigt wurden bei der Auswertung nur Studienteilnehmer, deren PFUnA-Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

Tabelle 8.16: Minima, Maxima, Quartile und Mittelwerte der PFUnA-Konzentrationen [µg/l] (bezogen auf die Teilnehmer $n > \text{LOQ}$) im Blutplasma bei Studienteilnehmern in den Gruppen A, B und C in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023.

Untersuchung und Teilnehmer	Anzahl N (gesamt)	Anzahl (n > LOQ)	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
PFUnA			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Gruppe A								
U1 (2018)	120	36	0,11	0,12	0,15	0,34	0,27	4,32
U2 (2020)	101	31	0,10	0,12	0,15	0,40	0,23	3,81
U3 (2023)	102	25	0,10	0,12	0,15	0,20	0,22	0,50
Gruppe B								
U1 (2018)	137	43	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20	0,41
U2 (2020)	79	26	0,10	0,12	0,15	0,19	0,19	0,78
U3 (2023)	87	24	0,10	0,11	0,13	0,18	0,19	0,76
Gruppe C								
U1 (2018)	91	23	0,10	0,11	0,16	0,18	0,19	0,43
U2 (2020)	67	21	0,10	0,11	0,14	0,17	0,17	0,38
U3 (2023)	77	19	0,10	0,12	0,13	0,14	0,16	0,26

LOQ = Bestimmungsgrenze, N = Gesamtzahl, n = Anzahl; PFUnA = Perfluorundecansäure

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

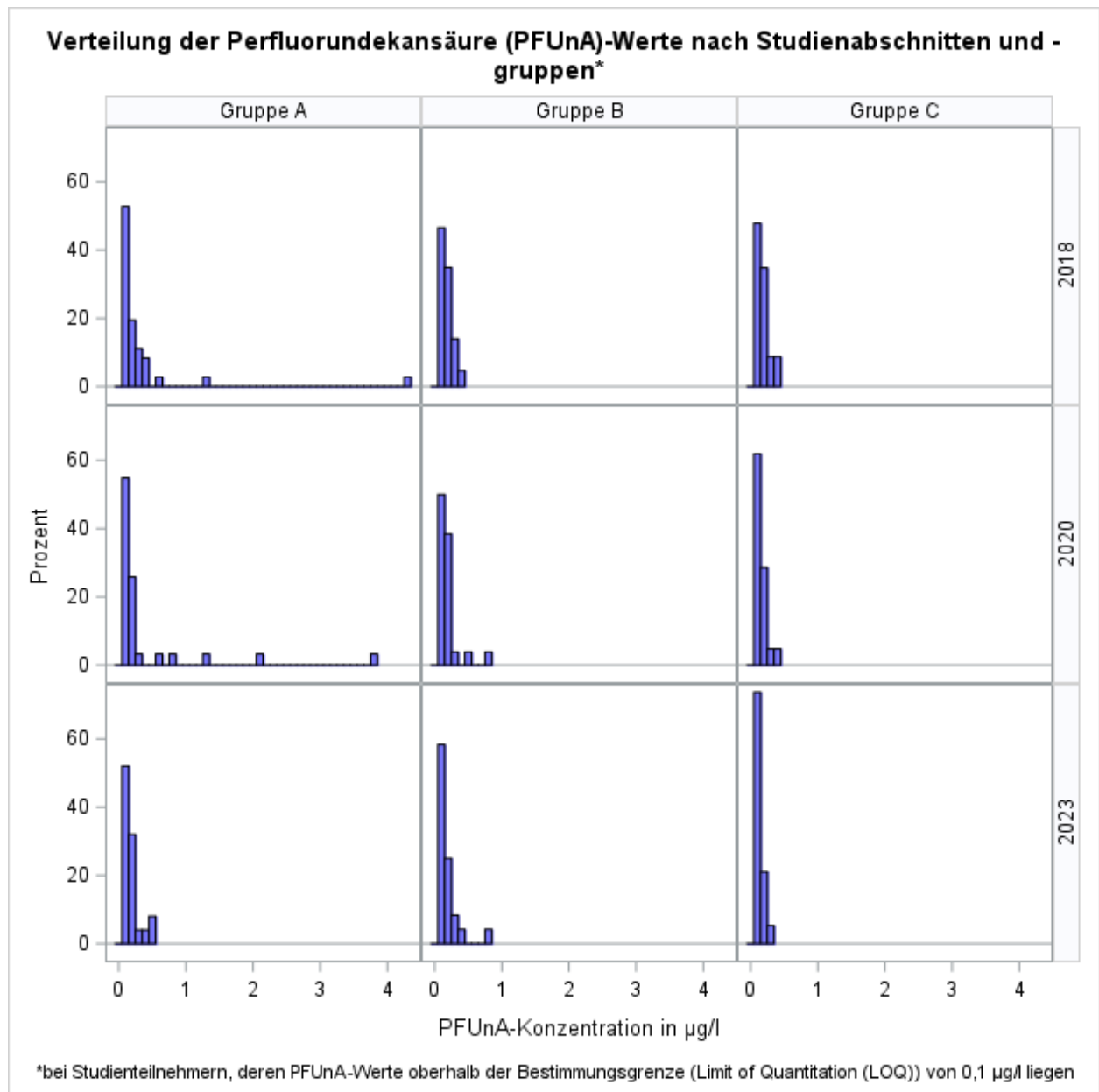


Abbildung 8.18: Darstellung der Verteilungen der PFUnA-Konzentrationen im Blut der Untersuchungsteilnehmer in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023 getrennt nach den Gruppen A, B und C (Intervall = 1 µg/l). Berücksichtigt wurden bei der Auswertung nur Studienteilnehmer, deren PFUnA-Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

8.8.5 Perfluorunhexansulfonsäure (PFHxS)

Zusammenfassung der Ergebnisse von Studienteilnehmern, deren PFHxS-Werte im Blutplasma oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

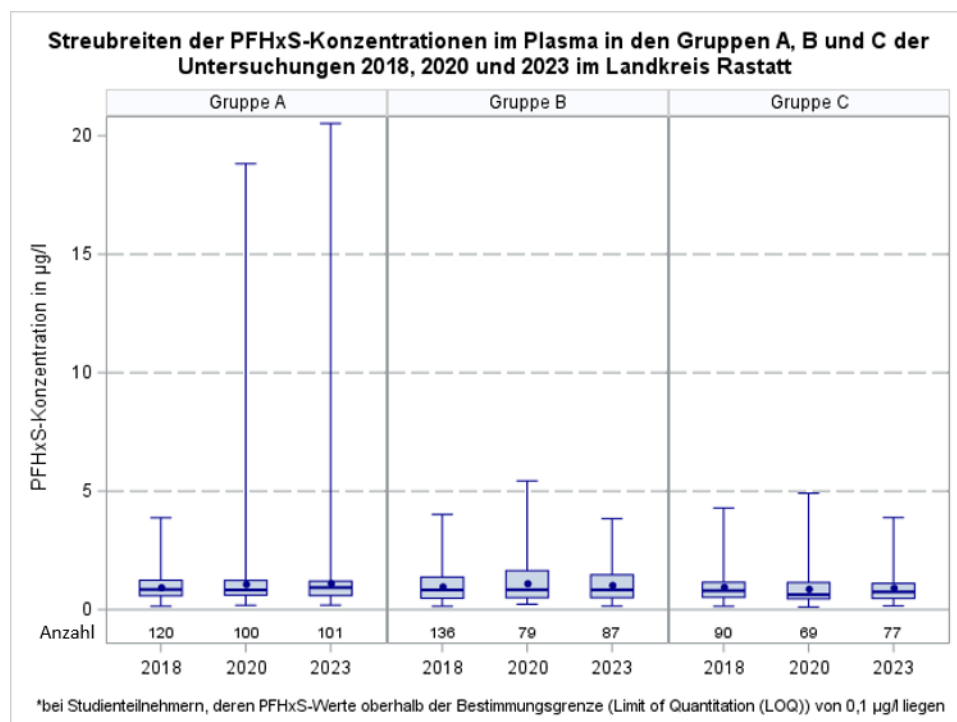


Abbildung 8.19: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFHxS-Konzentrationen im Blutplasma [µg/l] von 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C. Berücksichtigt wurden bei der Auswertung nur Studienteilnehmer, deren PFHxS-Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

Tabelle 8.17: Minima, Maxima, Quartile und Mittelwerte der PFHxS-Konzentrationen [µg/l] (bezogen auf die Teilnehmer $n > \text{LOQ}$) im Blutplasma bei Studienteilnehmern in den Gruppen A, B und C in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023.

Untersuchung und Teilnehmer	Anzahl N (gesamt)	Anzahl (n > LOQ)	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
PFHxS			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Gruppe A								
U1 (2018)	120	120	0,14	0,58	0,85	0,95	1,24	3,87
U2 (2020)	101	100	0,18	0,61	0,83	1,09	1,23	18,82
U3 (2023)	102	101	0,19	0,59	0,93	1,12	1,20	20,51
Gruppe B								
U1 (2018)	137	136	0,14	0,48	0,83	0,99	1,37	4,01
U2 (2020)	79	79	0,23	0,50	0,84	1,12	1,64	5,43
U3 (2023)	87	87	0,14	0,50	0,83	1,05	1,46	3,84
Gruppe C								
U1 (2018)	91	90	0,14	0,52	0,80	0,97	1,16	4,29
U2 (2020)	67	69	0,11	0,45	0,63	0,89	1,14	4,91
U3 (2023)	77	77	0,15	0,47	0,74	0,94	1,10	3,88

LOQ = Bestimmungsgrenze, N = Gesamtzahl, n = Anzahl; PFHxS = Perfluorunhexansulfonsäure

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

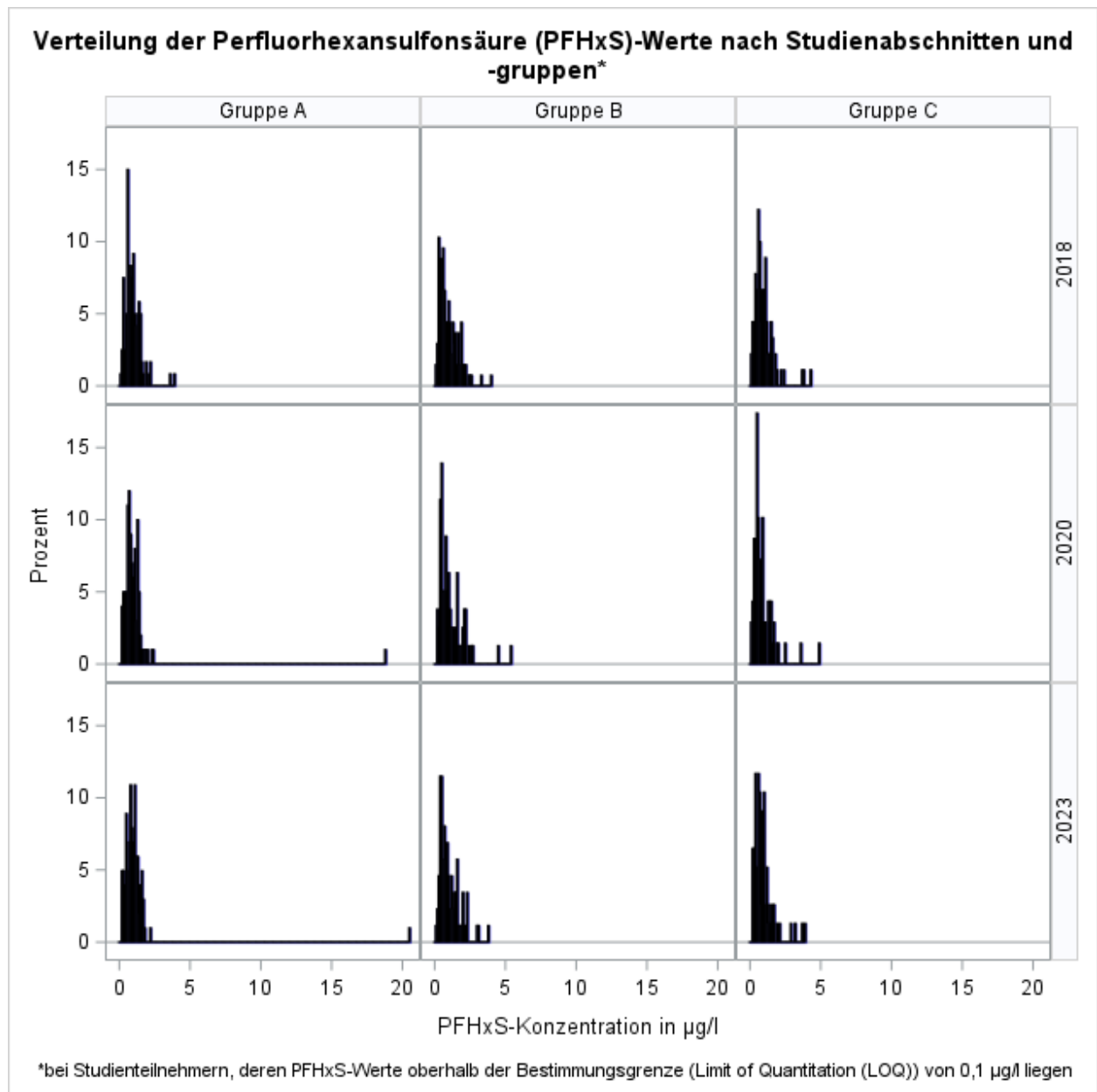


Abbildung 8.20: Darstellung der Verteilungen der PFHxS-Konzentrationen im Blut der Untersuchungsteilnehmer in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023 getrennt nach den Gruppen A, B und C (Intervall = 1 µg/l). Berücksichtigt wurden bei der Auswertung nur Studienteilnehmer, deren PFHxS-Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

8.8.6 Perfluorunheptansulfonsäure (PFHpS)

Zusammenfassung der Ergebnisse von Studienteilnehmern, deren PFHpS-Werte im Blutplasma oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

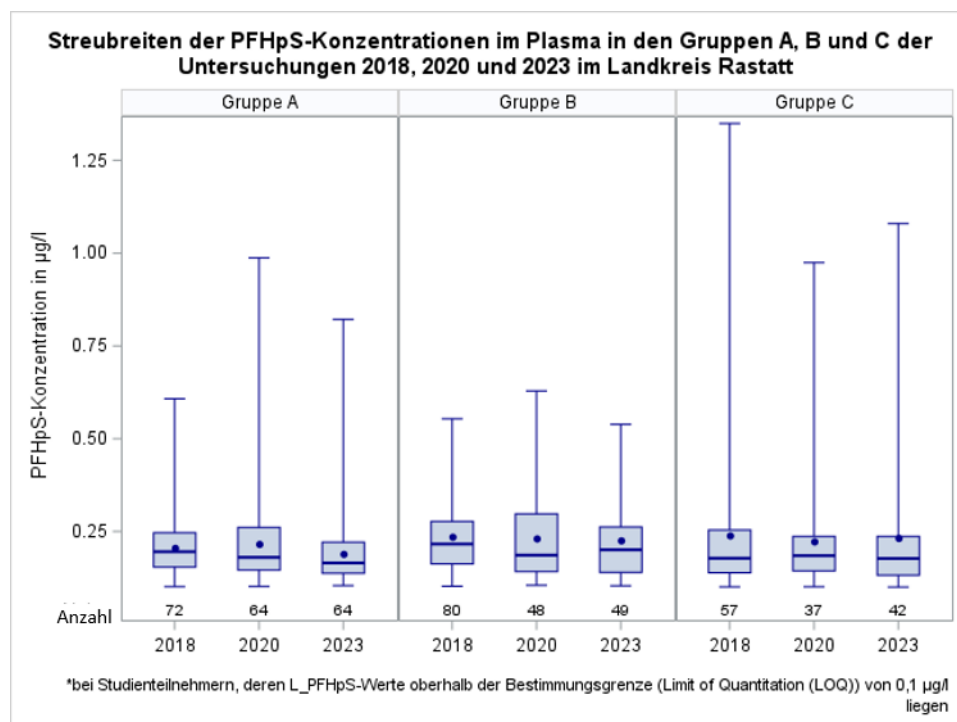


Abbildung 8.21: Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Quartile der PFHpS-Konzentrationen im Blutplasma [µg/l] von 2018, 2020 und 2023 untersuchten Personen aus den drei Gruppen A, B und C. Berücksichtigt wurden bei der Auswertung nur Studienteilnehmer, deren PFHpS-Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.

Tabelle 8.18: Minima, Maxima, Quartile und Mittelwerte der PFHpS-Konzentrationen [µg/l] (bezogen auf die Teilnehmer $n > \text{LOQ}$) im Blutplasma bei Studienteilnehmern in den Gruppen A, B und C in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023.

Untersuchung und Teilnehmer	Anzahl N (gesamt)	Anzahl (n > LOQ)	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
PFHpS			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Gruppe A								
U1 (2018)	120	72	0,10	0,15	0,20	0,21	0,25	0,61
U2 (2020)	101	64	0,10	0,15	0,18	0,22	0,26	0,99
U3 (2023)	102	64	0,10	0,14	0,17	0,19	0,22	0,82
Gruppe B								
U1 (2018)	137	80	0,10	0,16	0,22	0,24	0,28	0,55
U2 (2020)	79	48	0,10	0,14	0,19	0,23	0,30	0,63
U3 (2023)	87	49	0,10	0,14	0,20	0,23	0,26	0,54
Gruppe C								
U1 (2018)	91	57	0,10	0,14	0,18	0,24	0,25	1,35
U2 (2020)	67	37	0,10	0,14	0,18	0,22	0,24	0,97
U3 (2023)	77	42	0,10	0,13	0,18	0,23	0,24	1,08

LOQ = Bestimmungsgrenze, N = Gesamtzahl, n = Anzahl; PFHpS = Perfluorunheptansulfonsäure

U1: Blutkontrolluntersuchung 2018, U2: Blutkontrolluntersuchung 2020, U3: Blutkontrolluntersuchung 2023

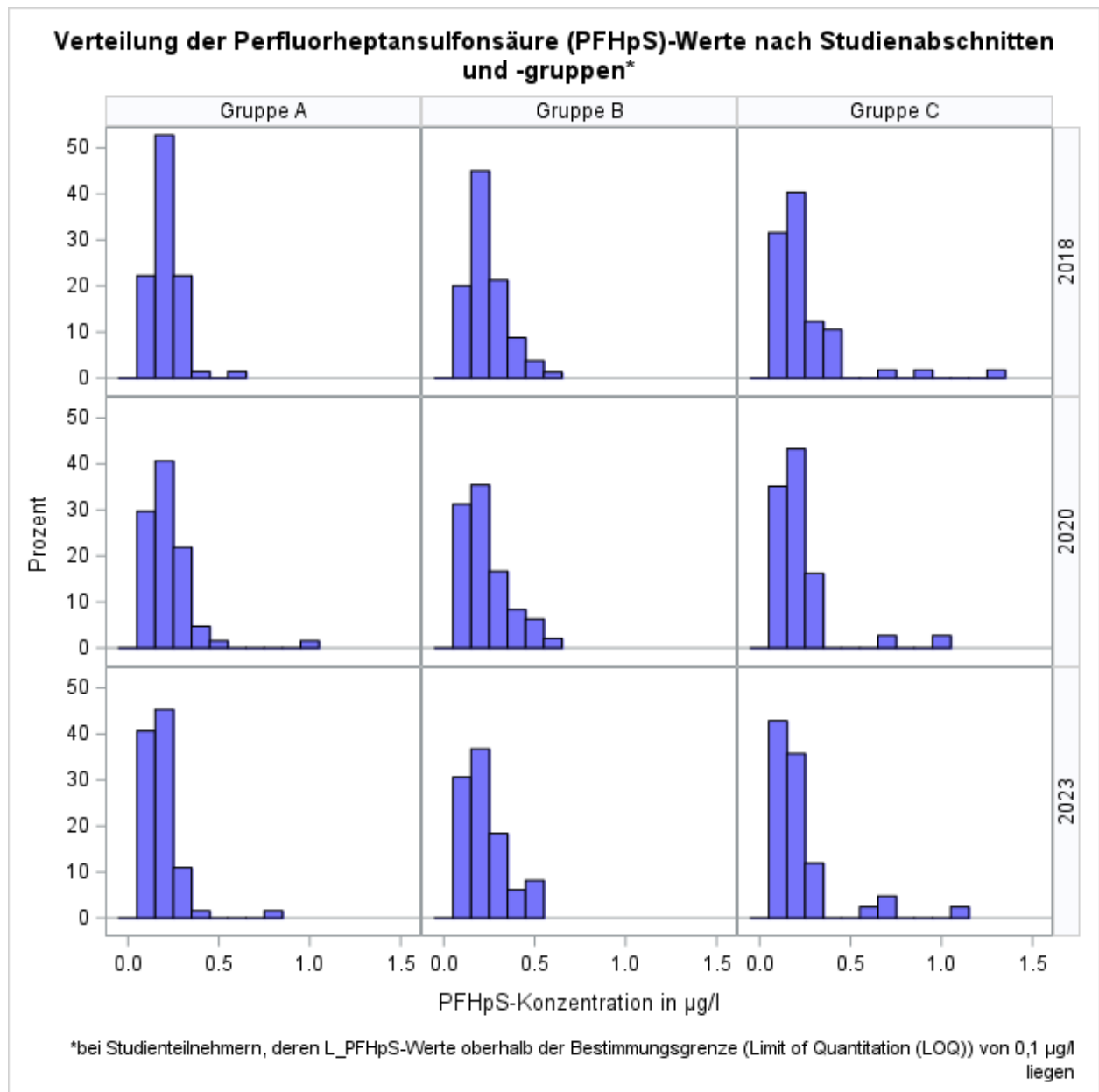


Abbildung 8.22: Darstellung der Verteilungen der PFHpS-Konzentrationen im Blut der Untersuchungsteilnehmer in den Untersuchungsjahren 2018, 2020 und 2023 getrennt nach den Gruppen A, B und C (Intervall = 1 µg/l). Berücksichtigt wurden bei der Auswertung nur Studienteilnehmer, deren PFHpS-Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l lagen.



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR SOZIALES, GESUNDHEIT UND INTEGRATION
LANDESGESUNDHEITSAMT

PFC-Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt 2023

FRAGEBOGEN

Sehr geehrte Damen und Herren,

in diesem Jahr führt das Landesgesundheitsamt in Zusammenarbeit mit dem Gesundheitsamt Rastatt eine dritte und im Rahmen dieser Untersuchungsreihe voraussichtlich letzte Untersuchung zur Konzentration von perfluorierten Chemikalien (PFC) im Blut durch, um Informationen über die Verteilung von PFC-Konzentrationen in mehreren Gruppen der Bevölkerung zu ermitteln und den Einfluss von zusätzlichen Belastungen über das Trinkwasser, den Boden und das Grundwasser abzuschätzen. Dazu werden neben den Blutproben zusätzliche Angaben zu möglichen Einflussfaktoren auf die PFC-Konzentrationen benötigt.

Deshalb bitten wir Sie, diesen Fragebogen auszufüllen und das Angebot kostenloser Blutuntersuchungen auf PFCs zu nutzen. Sie ermöglichen uns dadurch, den Einfluss einiger Faktoren auf PFC-Konzentrationen im Blut abzuschätzen. Die Ergebnisse aus der Fragebogenauswertung sollen helfen, die Belastung mit PFC einzuordnen und im Hinblick auf mögliche Belastungswege zu bewerten.

Der Fragebogen wird unabhängig von Ihrem Namen und Ihrer Anschrift beim Landesgesundheitsamt ausgewertet. Schreiben Sie daher bitte weder Ihren Namen noch Ihre Adresse auf den Fragebogen. Die Zuordnung der Codenummer zu Ihrem Namen ist nur dem zuständigen Gesundheitsamt bekannt und wird verwendet, um Ihnen die Untersuchungsergebnisse persönlich mitzuteilen. Alle Angaben unterliegen den Vorschriften des Datenschutzes und der ärztlichen Schweigepflicht.

23052023-1

+

+

Hinweise zum Markieren des Formulars

Bitte markieren Sie so: ☒

Nicht so:



- Bitte verwenden Sie nach Möglichkeit einen **schwarzen Stift**. Die Markierungen sollten jedenfalls **schwarz** und nicht grau sein. Bei Verwendung eines Filzstifts sollten Sie darauf achten, dass er nicht auf die nächste Textseite durchschreibt.
- Bitte **keine Mehrfachmarkierungen** anbringen.
- Bleiben Sie beim Schreiben von Ziffern innerhalb des dafür vorgesehenen Feldes und schreiben Sie bitte nicht bis zu den Randlinien.
- Bitte lassen Sie nicht beantwortete Fragen einfach leer (**nicht durchstreichen**).
- Bitte fügen Sie keine zusätzlichen Markierungen (Kästchen) ein.
- Bitte verwenden Sie **KEINE FOTOKOPIEN** der Formulare.

+

Bitte hier Etikett
exakt aufkleben



Allgemeine Fragen

1. Wann sind Sie geboren (Geburtsjahr)?	Geburtsjahr
2. Welches Geschlecht haben Sie?	weiblich ☐ männlich ☐ divers ☐
3. Bitte tragen Sie Ihre Körpergröße in Zentimetern ein:	cm
4. Bitte tragen Sie Ihr Gewicht in Kilogramm ein (ohne Kommastelle):	kg
4a. Sind oder waren Sie Mitglied einer Feuerwehr? Ja ☐ Nein ☐	
4b. Hatten Sie im Rahmen einer Feuerwehrtätigkeit Kontakt mit Löschschäumen? ja ☐ nein ☐ weiß nicht ☐	

+

23052023-2

+

+

+

Fragen zur Ernährung und zum Trinkwasserverzehr

5. Wie oft werden die folgenden Lebensmittel von Ihnen verzehrt?							
	Täg- lich	4- bis 6-mal pro Woche	1- bis 3-mal pro Woche	1- bis 3-mal pro Monat	1- bis 2-mal im Vierteljahr oder seltener	Nie	Weiß nicht
Tee, Kaffee	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Milch, Kakao	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Säfte	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Limonaden (z. B. auch Cola)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Wasser	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fisch	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fleisch (ohne Wurstwaren)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Innereien (z. B. Leber, Nieren)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Wurstwaren, Schinken	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Imbisskost (z. B. Hamburger, Pizza)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Gemüse, Salate	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Frisches Obst	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Kuchen, Kekse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Süßigkeiten (z. B. Schokolade) +	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Salziges Gebäck (z. B. Chips, Erdnüsse)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Vollkornbrot, Schwarz- brot	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Weißbrot, Mischbrot	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Eier	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Käse, Quark, Joghurt	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Butter	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

+

23052023-3

+

+

+

6. **Wie oft werden die folgenden Lebensmittelgruppen aus Ihrer Region von Ihnen verzehrt?**

	Täg- lich	4- bis 6-mal pro Woche	1- bis 3-mal pro Woche	1- bis 3-mal pro Monat	1- bis 2-mal im Vierteljahr oder seltener	Nie	Weiß nicht
Obst aus der Region	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Gemüse aus der Region	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fisch aus der Region	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Wildfleisch aus der Region	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Lammfleisch aus der Region	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Eier aus der Region	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

7. **Wie oft werden die folgenden Lebensmittelgruppen aus Ihrem Garten von Ihnen verzehrt?**

+

	Täg- lich	4- bis 6-mal pro Woche	1- bis 3-mal pro Woche	1- bis 3-mal pro Monat	1- bis 2-mal im Vierteljahr oder seltener	Nie	Weiß nicht
Obst aus eigenem Garten	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Gemüse aus eigenem Garten	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

8. **Wie oft verzehren Sie Fisch aus lokalen Gewässern?**

einmal im Monat mehrmals im Jahr etwa einmal im Jahr weniger oder nie

☐ ☐ ☐ ☐

9. **Ernähren Sie sich vegetarisch?**

ja ☐ nein ☐

+

23052023-4

+

+

+

Häusliche Trinkwasserverwendung

10. Verwenden Sie generell Leitungswasser zur Zubereitung von Getränken (z.B. Kaffee, Tee, Saft) oder zum Kochen?

ja ☐nein ☐

11. Wie groß ist in etwa die Trinkwassermenge aus Ihrer häuslichen Wasserleitung, die Sie täglich zu sich nehmen? (1 Glas = ca. 200 ml)

0 Gläser ☐1-2 Gläser ☐3-5 Gläser ☐6-8 Gläser ☐mehr ☐

12. Verwenden Sie einen Soda-Bereiter (Sprudler, Soda-Streamer) mit Wasser aus der häuslichen Wasserleitung?

ja ☐nein ☐

13. Haben Sie den eigenen Konsum von Trink-/Kochwasser in den letzten 15 Jahren verändert?

ja ☐ seit

2	0		
---	---	--	--

nein ☐

Wenn ja:

+

14. Wie groß war in etwa die Trinkwassermenge aus Ihrer häuslichen Wasserleitung, die Sie vor der Änderung täglich zu sich nahmen? (1 Glas = ca. 200 ml)

0 Gläser ☐1-2 Gläser ☐3-5 Gläser ☐6-8 Gläser ☐mehr ☐

15. Verwenden Sie Ersatzwasser (z.B. Wasser in Flaschen aus dem Handel)?

ja ☐ seit

2	0		
---	---	--	--

nein ☐

Trinkwasserkonsum am Arbeitsplatz

16. Befindet sich Ihre Arbeitsstelle im gleichen Ortsteil wie Ihre Wohnung?

ja ☐nein ☐

sondern im Ort _____

17. Wie groß ist in etwa die Trinkwassermenge aus einer öffentlichen Wasserleitung, die Sie am Arbeitsplatz täglich zu sich nehmen? (1 Glas = ca. 200 ml)

0 Gläser ☐1-2 Gläser ☐3-5 Gläser ☐6-8 Gläser ☐mehr ☐

+

23052023-5

+

+

+

Falls Sie Ihren Trinkwasserkonsum geändert haben:

18. Wie groß war in etwa die Trinkwassermenge aus einer öffentlichen Wasserleitung, die Sie vor der Änderung am Arbeitsplatz täglich zu sich nahmen? (1 Glas = ca. 200 ml)

0 Gläser ☐ 1-2 Gläser ☐ 3-5 Gläser ☐ 6-8 Gläser ☐ mehr ☐

19. Verwenden Sie am Arbeitsplatz einen Soda-Bereiter (Sprudler, Soda-Streamer) mit Wasser aus einer öffentlichen Wasserleitung?

+ ja ☐ nein ☐

Verwendung von Brunnenwasser

+

20. Verwenden Sie Wasser aus einem eigenen Brunnen als Trink- oder Kochwasser?

ja ☐ nein ☐

21. Haben Sie früher Wasser aus einem eigenen Brunnen als Trink- oder Kochwasser verwendet?

ja ☐ bis

2	0		
---	---	--	--

 nein ☐

22. Verwenden Sie Wasser aus einem eigenen Brunnen zur Gartenbewässerung?

ja ☐ nein ☐

23. Haben Sie früher Wasser aus einem eigenen Brunnen zur Gartenbewässerung verwendet?

ja ☐ bis

2	0		
---	---	--	--

 nein ☐

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

+

23052023-6

+

+



+

Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR SOZIALES, GESUNDHEIT UND INTEGRATION
LANDESGESUNDHEITSAMT**PFC-Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt****Wohnortprotokoll 2023**

Betrifft das Gesundheitsamt: Bitte hier Etikett exakt aufkleben

**Wohnort und -dauer****1. In welchem Ort wohnen Sie?**Kuppenheim ☐Gernsbach-Kernstadt ☐Bühl-Weitenung ☐Sinzheim-Müllhofen ☐Sinzheim-Halberstung ☐Sinzheim-Schiftung ☐Bietigheim ☐

+

Durmernheim ☐Ötigheim ☐Steinmauern ☐Au ☐Elchesheim-Illingen ☐Anderer Ort ☐

welcher? _____

2. Seit wann wohnen Sie in Ihrer jetzigen Wohnung?länger als seit 2008 ☐kürzer als seit 2008 ☐**Wir danken für Ihre Unterstützung!**

+

12072023

+