



Kontamination von Biota (Fische/Muscheln) mit Schadstoffen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins

Fachbericht Nr. 311

Haftungsausschluss zur Barrierefreiheit

Die IKSR ist bemüht, ihre Dokumente so barrierearm wie möglich zu gestalten. Aus Gründen der Effizienz ist es nicht immer möglich, sämtliche Dokumente in den verschiedenen Sprachversionen vollständig barrierefrei verfügbar zu machen (z. B. mit Alternativtexten für sämtliche Grafiken oder in leichter Sprache). Dieser Bericht enthält ggf. Abbildungen und Tabellen. Für weitere Erklärungen wenden Sie sich bitte an das IKSR-Sekretariat unter der Telefonnummer 0049261-94252-0 oder per E-Mail an sekretariat@iksr.de.

Impressum

Herausgeberin:

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR)
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D-56068 Koblenz
Postfach: 20 02 53, D-56002 Koblenz
Telefon: +49-(0)261-94252-0
E-Mail: sekretariat@iksr.de
www.iksr.org

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
Studiencode IME: 2023-030

- Seite 3/211 -

Abschlussbericht

Kontamination von Biota (Fische/Muscheln) mit Schadstoffen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023

Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311

Studiencode IME: 2023-030

Auftraggeber

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins
(IKSR)
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15
56068 Koblenz
Deutschland

Ansprechpartner (Auftraggeber)

Dr. Tabea Stötter

Auftragnehmer

Fraunhofer Institute for Molecular
Biology and Applied Ecology (IME)
Auf dem Aberg 1
57392 Schmallenberg, Germany

Institutsleitung

Prof. Dr. Christoph Schäfers
Prof. Dr. Stefan Schillberg

Projektleitung

Dr. Bernd Göckener
Dr. René Lämmer

Seitenzahl

211

Datum

02. Dezember 2025

Abkürzungsverzeichnis

BCF	Biokonzentrationsfaktor (<i>bioconcentration factor</i>)
BDE	bromierte Diphenylether
CAS	Chemical Abstract Service
DDT	p, p'-Dichlordiphenyltrichlorethan
dl-PCB	dioxinähnliche (<i>dioxin-like</i>) polychlorierte Biphenyle
EU	Europäische Union
FG	Frischgewicht (hier gleich gesetzt mit Nassgewicht)
HBCDD	Hexabromcyclododecan
HC	Heptachlor
HCB	Hexachlorbenzol
HCBD	Hexachlorbutadien
HCE	Heptachlorepoxyd
Hg	Quecksilber
IKSR	Internationale Kommission zum Schutz des Rheins
Log Kow	Octanol-Wasser-Verteilungskoeffizient
LOQ	Bestimmungsgrenze (<i>limit of quantification</i>)
PAK	Polyaromatische Kohlenwasserstoffe
PBDE	Polybromierte Diphenylether
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und -furane
PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen
PFOS	Perfluorooctansulfonsäure
TCDD	Tetrachlordibenzodioxin
TEQ	Toxizitätsäquivalente (<i>toxicity equivalents</i>)
TM	Trockenmasse
UNEP	Umweltprogramm der Vereinten Nationen (<i>United Nations Environment Programme</i>)
UQN	Umweltqualitätsnorm
WHO	Weltgesundheitsorganisation (<i>World Health Organization</i>)

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht fasst die Auswertung der Monitoring-Daten der Biota-Untersuchungen im Rheineinzugsgebiet für die Jahre 2015 bis 2023 zusammen. Ziel des Berichts ist der räumliche und zeitliche Vergleich der Ergebnisse für Fische und Muscheln.

Insgesamt wurden die Daten von 345 Proben für diesen Bericht ausgewertet. Diese Daten stammen von 224 Fischproben und 121 Muschelproben. Alle Daten wurden sowohl nicht-normalisiert als auch - abhängig von den Eigenschaften der untersuchten Stoffe - auf den Fett- bzw. Trockenmassegehalt normalisiert und – soweit möglich – auf das für die UQN-Überwachung relevante Probenmaterial (Filet bzw. Ganzfisch) umgerechnet.

Es gibt folgende drei Zeiträume: 2015 bis 2016, 2017 bis 2019 und 2020 bis 2022 (bzw. 2023 für Muscheln). Dies ermöglichte einen groben Vergleich und die Abschätzung allgemeiner Trends. Für zukünftige, statistisch belastbare Trendauswertungen sollte eine möglichst hohe Datenkontinuität angestrebt werden.

Der räumliche Vergleich in Form der Belastungskarten (Anhänge A.2 und A.3) umfasst die Jahre 2016 bis 2023, um einerseits an den Vorgängerbericht mit Daten aus 2014 und 2015 anzuknüpfen und um andererseits den starken Effekt der Daten aus 2015 zu vermeiden, die in einigen Wasserkörpern deutlich höhere Werte aufwiesen als in den Folgejahren.

Problematisch bei Heptachlor und Heptachlorepoxyd ist, dass die Bestimmungsgrenzen vieler Labore zum Teil deutlich über der Biota-UQN liegen. Bei ausreichend niedrigen Bestimmungsgrenzen überschritten fast alle Messwerte die Biota-UQN, so dass von einer nahezu flächendeckenden Überschreitung ausgegangen werden kann (vgl. Tabelle 1). Um eine Aussage über die Überschreitung der UQN treffen zu können, wird dringend empfohlen, Labore mit ausreichend empfindlichen Analysenmethoden auszuwählen.

Ein weiteres Problem sind fehlende Angaben zu Fett- und vor allem Trockenmassegehalten. Da die Trockenmassegehalte sowohl zwischen den als auch innerhalb der Fischarten nur geringe Schwankungen aufzeigten, wurden für Filet- und Ganzfischproben ohne verfügbare Trockenmassegehalte Proxywerte in Form der Fischarten-übergreifenden Mediane für die Normalisierung genutzt. Für die fehlenden Fettgehalte war es nicht möglich Proxywerte zu verwenden.

In Tabelle 1 und 2 sind die Ergebnisse ohne räumliche und zeitliche Unterschiede zusammengefasst. Es wird deutlich, dass die Stoffe Dicofol, Hexabromcyclododecan und Hexachlorbutadien im Rheineinzugsgebiet keine Überschreitungen der Biota-UQN aufweisen. Dagegen zeigen die Stoffe bzw. Stoffgruppen Heptachlor und Heptachlorepoxyd, polybromierte Diphenylether und Quecksilber nahezu flächendeckend Überschreitungen der Biota-UQN. Für diese Stoffe sollten in den Staaten im Rheineinzugsgebiet Maßnahmen geprüft werden, um die Belastung zu reduzieren.

Die Stoffe Perfluoroctansulfonsäure, Benzo(a)pyren und Fluoranthen weisen Überschreitungen auf, jedoch nicht flächendeckend. Bei den übrigen Stoffen Hexachlorbenzol, polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und -furane sowie dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle macht es einen Unterschied, ob die Daten normalisiert oder nicht-normalisiert auf Einhaltung der UQN geprüft werden. Überschreitungen der UQN für Biota traten nur nach Normalisierung auf. Für Hexachlorbenzol betrifft dieser Unterschied jedoch nur drei Wasserkörper.

Die IKSR-Expertengruppe, die sich mit der Biota-Bewertung befasst, wird die vorliegenden Ergebnisse nutzen, um die Vorgaben für zukünftige Biota-Erhebungen zu überarbeiten.

Tabelle 1: Übersicht UQN Überschreitungen Fische (ohne räumlichen oder zeitlichen Vergleich)

Stoff	Nicht-normalisiert	Normalisiert
Dicofol	0 %	0 %
Heptachlor und Heptachlorepoxyd*	29 %	23 %
Hexabromcyclododecan	0 %	0 %
Hexachlorbenzol	0 %	6 %**
Hexachlorbutadien	0 %	0 %
Perfluoroctansulfonsäure	33 %	40 %
Polybromierte Diphenylether	96 %	97 %
Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und -furane und dioxin-ähnliche polychlorierte Biphenyle ¹	0 %	25 %
Quecksilber	94 %	96 %

* Bewertung rot nach Experteneinschätzung, da sehr viele Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze und fast flächendeckend überprüfbare Werte oberhalb der Biota-UQN liegen

** Drei Wasserkörper mit deutlich erhöhten Werten (Karlsruhe, Mannheim und Kleve-Bimmen)

¹ Als WHO-TEQ

Tabelle 2: Übersicht UQN Überschreitungen Muscheln (ohne räumlichen oder zeitlichen Vergleich)

Stoff	Nicht-normalisiert	Normalisiert
Benzo(a)pyren	7 %	14 %
Fluoranthen	19 %	14 %
Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und -furane und dioxin-ähnliche polychlorierte Biphenyle (PCDD/F und dl-PCB)	0 %	0 %

Legende für Tabelle 1 und 2:

	Keine Überschreitung
	Teilweise Überschreitungen
	(Fast) flächendeckende Überschreitungen

Empfehlungen

Im [IKSR-Fachbericht Nr. 259](#) (Konzept für den Abgleich von Messungen der Kontamination von Biota (Fischen/Muscheln) mit Schadstoffen im Einzugsgebiet des Rheins im dritten Bewirtschaftungszyklus 2021-2027 nach WRRL) steht die Vorgehensweise für den vorliegenden Bericht beschrieben. Das Konzept soll bis Ende 2026 für den Bewirtschaftungszyklus 2028-2033 fortgeschrieben werden. Dabei wird von der IKSR eine stärkere Vereinheitlichung angestrebt.

Für die künftige Erstellung und Auswertung von vergleichbaren Datensätzen sollen in diesem Kapitel Lehren aus der Auswertung des aktuellen Datensatzes gezogen werden, um Arbeiten ähnlicher Art künftig zu vereinfachen, zu beschleunigen und robuster gegenüber Fehlern zu machen. Die beiden wichtigsten Aspekte sind a) die Vollständigkeit und b) die Einheitlichkeit des Datensatzes:

- Für die empfohlene Normalisierung der analytischen Daten auf den Fettbeziehungsweise Trockenmassegehalt ist es erforderlich, dass für jede Probe ein entsprechender Fett-/Trockenmassegehalt vorliegt. Daten ohne diese Begleitdaten können andernfalls der Einheitlichkeit wegen nicht oder nur eingeschränkt durch die Verwendung von mittleren Trockenmassegehalten verwertet werden.
- Die Bestimmung der Fettgehalte sollte weitestmöglich mit vergleichbaren Methoden erfolgen.
- Biometrische Daten (Gewichte, Größen, Alter) sollten so einheitlich wie möglich angegeben werden, um einen Vergleich zu ermöglichen.
- Bei Poolproben von mehreren Fischen sollte ein einheitliches Verfahren entwickelt werden, wie die Altersangaben in einen numerisch nutzbaren Wert umgewandelt werden, um die Angabe von Altersspannen zu vermeiden.
- Alle analytischen Schadstoffgehalte sollten möglichst einheitlich in der Einheit „ $\mu\text{g}/\text{kg FG}$ “ angegeben werden, um Umrechnungen, Nachfragen und Fehlinterpretationen zu vermeiden.

Für künftige Trendbetrachtungen ist zudem ein hohes Maß an Kontinuität in Probenahme und Datensammlung erforderlich. Nur wenn die Einflüsse externer Faktoren minimiert werden, können zeitliche und räumliche Trends in der Umweltbelastung statistisch geprüft werden. Für die Statistik-basierte Trendberechnung ist es zudem sinnvoll, wenn aus jedem Untersuchungsjahr, idealerweise jedem Jahr, eine gleichmäßige Anzahl an Proben vorliegt und nicht einzelne Jahre überproportional stark vertreten sind. Auch sollten einzelne Wasserkörper regelmäßig, idealerweise jährlich beprobt werden, um Trends für einzelne Wasserkörper ermitteln zu können. Kontrastvergleiche zwischen zwei weit auseinander liegenden Jahren sind zwar grundsätzlich möglich, ignorieren aber mögliche Schwankungen zwischen diesen beiden Jahren und sind anfällig für Verzerrungseffekte, die durch

Schwankungen in den einzelnen Jahren verursacht werden. Kontrastvergleiche sind daher weniger aussagekräftig als Trendberechnungen.

Um in künftigen Auswertungen grundsätzlich sowohl omni- als auch carnivore Fischarten integrieren zu können und um Unterschiede in der chemischen Belastungen entlang der Nahrungskette zu berücksichtigen, sollte eine Normalisierung auf die trophische Ebene diskutiert und durchgeführt werden.

Bei der Analytik von Heptachlor und Heptachlorepoxyd ist bei der Laborauswahl darauf zu achten, dass das Labor ausreichend niedrige Bestimmungsgrenzen unterhalb der Qualitätsnorm erreichen kann. Nur so kann die Einhaltung der Umweltqualitätsnorm künftig effektiv überwacht werden. Der Datensatz zeigte eindrücklich, dass zahlreiche Labore bereits in der Lage sind, entsprechend sensitiv zu messen, und dass Überschreitungen der Umweltqualitätsnorm bei Analysen in ausreichend sensitiven Laboren häufig vorkommen. Es bleibt folglich der Verdacht, dass Überschreitungen der Umweltqualitätsnorm aufgrund einer falschen Laborauswahl schlachtweg übersehen werden. Diese Problematik und Überschreitungen der Umweltqualitätsnorm werden auch aus anderen europäischen Ländern berichtet (Lyche et al. 2020, Vermeirssen et al. 2017) und unterstreichen folglich die bestehende Wissenslücke.

Für eine vergleichbare Auswertung für das gesamte Rheineinzugsgebiet ist die Frage der Normalisierung zu klären. Bisher wird in den Mitgliedsstaaten der IKSР unterschiedlich vorgegangen. Teils wird die Überprüfung auf UQN-Überschreitung anhand normalisierter Daten, teils anhand nicht-normalisierten Daten vorgenommen. Eine einheitliche Vorgehensweise auf EU Ebene oder zumindest IKSР Ebene sollte angestrebt werden.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abkürzungsverzeichnis	4
Zusammenfassung	5
Empfehlungen.....	8
Inhaltsverzeichnis	10
Tabellenverzeichnis	12
Abbildungsverzeichnis	15
1 Einleitung und Hintergrund.....	26
2 Datenbasis	28
3 Datenaufarbeitung und Auswertung	34
4 Ergebnisse und Diskussion	38
4.1 Fischproben	38
4.1.1 Beschreibung des Datensatzes.....	38
4.1.2 Charakterisierung der Fischarten	44
4.1.3 Vergleich von Filet- und Ganzfisch-Daten	53
4.1.4 Vergleich von omni- und carnivoren Fischarten.....	57
4.1.5 Übersicht über Schadstoffgehalte	61
4.1.6 Räumlicher Vergleich	83
4.2 Muschelpolen	105
4.2.1 Beschreibung des Datensatzes.....	105
4.2.2 Charakterisierung der Muschelarten.....	111
4.2.3 Übersicht über Schadstoffgehalte	112
4.2.4 Räumlicher Vergleich	120
5 Referenzen	131
Anhänge	136
A.1 Substanzen und Substanzgruppen.....	137
A.1.1 Benzo(a)pyren	137
A.1.2 Dicofol.....	137
A.1.3 Fluoranthan.....	138
A.1.4 Heptachlor und Heptachlorepoxyd	138
A.1.5 Hexachlorbenzol	138
A.1.6 Hexachlorbutadien	139
A.1.7 Perfluoroctansulfonsäure	139

A.1.8	Polybromierte Diphenylether und Hexabromcyclododecan	140
A.1.9	Dioxine und dioxinähnliche Verbindungen.....	141
A.1.10	Polychlorierte Biphenyle.....	141
A.1.11	Quecksilber	142
A.1.12	Übersicht.....	142
A.2	Ergänzende Abbildungen: Belastungskarten ohne Normalisierungen	144
A.3	Ergänzende Abbildungen: Belastungskarten mit Normalisierungen.....	168
A.4	Ergänzende Tabellen	192

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Übersicht UQN Überschreitungen Fische (ohne räumlichen oder zeitlichen Vergleich)	6
Tabelle 2: Übersicht UQN Überschreitungen Muscheln (ohne räumlichen oder zeitlichen Vergleich)	7
Tabelle 4: Übersicht über die Wasserkörper aus dem Datensatz der Fische inklusive der darin zusammengefassten Messstellen	28
Tabelle 5: Übersicht über die Wasserkörper aus dem Datensatz der Muscheln inklusive der darin zusammengefassten Messstellen	32
Tabelle 6: Übersicht über die untersuchten Stoffe bzw. Stoffgruppen und die jeweils heranzuziehende Normalisierung, das für die UQN-Überwachung präferierte Probenmaterial und Faktoren für die Umrechnung von Filet- auf Ganzfisch-Konzentrationen nach Radermacher et al. (2019) (n. v.: nicht verfügbar).	35
Tabelle 7: Übersichtstabelle der ausgewerteten Datensätze aller Fischproben	39
Tabelle 8: Längen der verschiedenen Fischarten: Deskriptive Kenndaten	47
Tabelle 9: Gewicht der verschiedenen Fischarten: Deskriptive Kenndaten.....	47
Tabelle 10: Einordnung der Fischarten in Omnivore und Carnivore.....	57
Tabelle 11: Vergleich der chemischen Belastung von omni- und carnivoren Fischarten. N (gesamt): Zahl aller gelieferten Datensätze; N (nutzbar): Zahl aller Datensätze, bei denen eine Normalisierung möglich war; N (>LOQ): Zahl aller nutzbaren Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze; p (t-Test): Ergebnis des t-Tests zweier unabhängiger Stichproben. Fettmarkiert: signifikante Unterschiede (p < 0,05).	61
Tabelle 12: Zusammenfassung der nicht-normalisierten Schadstoffgehalte in omnivoren Fischen: deskriptive Kenndaten über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2022. Alle Daten wurden auf das für die UQN-Überwachung relevante Probenmaterial umgerechnet, für HCBD und HC+HCE wurden Filet und Ganzfisch zusammengefasst...	64
Tabelle 13: Zusammenfassung der nicht-normalisierten Schadstoffgehalte in carnivoren Fischen: deskriptive Kenndaten über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2022. Alle Daten wurden auf das für die UQN-Überwachung relevante Probenmaterial umgerechnet, für HCBD und HC+HCE wurden Filet und Ganzfisch zusammengefasst...	65

Tabelle 14:	Zusammenfassung der nicht-normalisierten Schadstoffgehalte in allen Fischen (omni- und carnivor): deskriptive Kenndaten über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2022. Alle Daten wurden auf das für die UQN-Überwachung relevante Probenmaterial umgerechnet, für HCBD und HC+HCE wurden Filet und Ganzfisch zusammengefasst... 66
Tabelle 15:	Zusammenfassung der normalisierten Schadstoffgehalte in omnivoren Fischen: deskriptive Kenndaten über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2022. Quecksilber und PFOS: Trockenmasse-Normalisierung (inklusive Proxy-Trockenmassen); Übrige: Fett-Normalisierung. Alle Daten wurden auf das für die UQN-Überwachung relevante Probenmaterial umgerechnet, für HCBD und HC+HCE wurden Filet und Ganzfisch zusammengefasst. 75
Tabelle 16:	Zusammenfassung der normalisierten Schadstoffgehalte in carnivoren Fischen: deskriptive Kenndaten über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2022. Quecksilber und PFOS: Trockenmasse-Normalisierung; Übrige: Fett-Normalisierung. Alle Daten wurden auf das für die UQN-Überwachung relevante Probenmaterial umgerechnet, für HCBD und HC+HCE wurden Filet und Ganzfisch zusammengefasst..... 76
Tabelle 17:	Zusammenfassung der normalisierten Schadstoffgehalte in allen Fischen (omni- und carnivor): deskriptive Kenndaten über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2022. Quecksilber und PFOS: Trockenmasse-Normalisierung; Übrige: Fett-Normalisierung. Alle Daten wurden auf das für die UQN-Überwachung relevante Probenmaterial umgerechnet, für HCBD und HC+HCE wurden Filet und Ganzfisch zusammengefasst. 77
Tabelle 18:	Übersicht über die zur räumlichen Auswertung genutzten Probenmaterialien sowie Fischarten nach Trophiestufe (Omnivore und Carnivore) und Art der Normalisierung je Stoff(-gruppe). 83
Tabelle 19:	Übersichtstabelle der ausgewerteten Datensätze der Muschelproben. 106
Tabelle 20:	Zusammenfassung der nicht-normalisierten Schadstoffgehalte in Muscheln: deskriptive Kenndaten über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2023. 114
Tabelle 21:	Zusammenfassung der auf den Fettgehalt normalisierten Schadstoffgehalte in Muscheln: deskriptive Kenndaten über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2023..... 118
Tabelle 3:	UQN der betrachteten Substanzen und Substanzgruppen. 143

Tabelle 22:	Übersicht über den Probensatz der Fische inklusive biometrischer Daten (alle Daten nach Vereinheitlichung und Bereinigung, Werte zum Teil gerundet).	192
Tabelle 23:	Übersicht über den Probensatz der Muscheln inklusive biometrischer Daten (alle Daten nach Vereinheitlichung und Bereinigung).....	206

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Übersichtskarte aller Wasserkörper für Fische (Legende: siehe Tabelle 4).	31
Abbildung 2: Übersichtskarte aller Wasserkörper für Muscheln (Legende: siehe Tabelle 5).	33
Abbildung 3: Übersichtsgrafik über die gefangenen Fischarten (Absolutwerte) pro Jahr.	40
Abbildung 4: Übersichtsgrafik über die gefangenen Fischarten (Relativwerte) pro Jahr.	41
Abbildung 5: Übersicht über die Probenzahlen je Wasserkörper und je gefangener Fischart (Rhein, Neckar, Mosel).	42
Abbildung 6: Übersicht über die Probenzahlen je Wasserkörper und je gefangener Fischart (Saar, Lahn, Sauer, Meurthe und weitere).	43
Abbildung 7: Längenverteilung der Döbel-, Flussbarsch- und Rotaugen in Längenklassen (in der Regel Durchschnittswerte einer Poolprobe).	45
Abbildung 8: Gewichtsverteilung der Döbel-, Flussbarsch- und Rotaugen in Gewichtsklassen (in der Regel Durchschnittswerte einer Poolprobe).	46
Abbildung 9: Boxplot-Grafik mit den berichteten Fettgehalten in den Filetproben der verschiedenen Fischarten (Raute: Mittelwert; in Klammern: Probenzahl).	49
Abbildung 10: Boxplot-Grafik mit den berichteten Fettgehalten in den Ganzfischproben der verschiedenen Fischarten (Raute: Mittelwert; in Klammern: Probenzahl).	50
Abbildung 11: Boxplot-Grafik mit den berichteten Trockenmassegehalten in den Filetproben der verschiedenen Fischarten (Raute: Mittelwert; in Klammern: Probenzahl).	51
Abbildung 12: Boxplot-Grafik mit den berichteten Trockenmassegehalten in den Ganzfischproben der verschiedenen Fischarten (Raute: Mittelwert; in Klammern: Probenzahl).	52
Abbildung 13: Vergleich der analytischen Daten in Filet- und in Ganzfisch-Proben sowie Vergleich der auf das Filet-umgerechneten Daten (Filet-normalisiert). Quecksilber (TM-Normalisierung, UQN: 20 µg/kg FG) und	

PFOS (TM-Normalisierung, UQN: 9,1 µg/kg FG). Rote Linie:
Umweltqualitätsnorm; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.... 54

Abbildung 14: Vergleich der analytischen Daten in Filet- und in Ganzfisch-Proben
sowie Vergleich der auf das Filet-umgerechneten Daten (Filet-
normalisiert). PCDD/F+dl-PCB (Fett-Normalisierung, UQN: 0,0065 µg/kg
FG) und Hexachlorbutadien (Fett-Normalisierung, keine Umrechnung
möglich, n. v.: nicht verfügbar, UQN 55 µg/kg FG). Rote Linie:
Umweltqualitätsnorm; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.... 54

Abbildung 15: Vergleich der analytischen Daten in Filet- und in Ganzfisch-Proben
sowie Vergleich der auf das Filet-umgerechneten Daten (Filet-
normalisiert). Hexabromcyclododecan (Fett-Normalisierung, UQN 167
µg/kg FG) und PBDE nach WRRL (Fett-Normalisierung, UQN: 0,0085
µg/kg FG). Rote Linie: Umweltqualitätsnorm in Klammern: Probenzahl
inkl. Werten <LOQ..... 55

Abbildung 16: Vergleich der analytischen Daten in Filet- und in Ganzfisch-Proben
sowie Vergleich der auf das Filet-umgerechneten Daten (Filet-
normalisiert). Hexachlorbenzol (Fett-Normalisierung, UQN: 10 µg/kg
FG). Rote Linie: Umweltqualitätsnorm; in Klammern: Probenzahl inkl.
Werten <LOQ..... 55

Abbildung 17: Vergleich der analytischen Daten in Filet- und in Ganzfisch-Proben
sowie Vergleich der auf das Filet-umgerechneten Daten (Filet-
normalisiert). Heptachlor und Heptachlorepoxyd (Fett-Normalisierung,
keine Umrechnung möglich, n. v.: nicht verfügbar, UQN: 0,0067 µg/kg
FG). Rote Linie: Umweltqualitätsnorm; in Klammern: Probenzahl inkl.
Werten <LOQ..... 56

Abbildung 18: Vergleich der chemischen Belastung von omni- und carnivoren
Fischarten. Teil 1: Quecksilber (TM-Normalisierung, Umrechnung auf
Ganzfisch, UQN: 20 µg/kg FG) und PFOS (TM-Normalisierung,
Umrechnung auf Filet, UQN: 9,1 µg/kg FG). Rote Linie:
Umweltqualitätsnorm; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.... 58

Abbildung 19: Vergleich der chemischen Belastung von omni- und carnivoren
Fischarten. Teil 2: PCDD/F+dl-PCB (Fett-Normalisierung, Umrechnung
auf Filet, UQN: 0,0065 µg/kg FG) und Hexachlorbutadien (Fett-
Normalisierung, Filet- und Ganzfisch-Proben, UQN: 55 µg/kg FG). Rote
Linie: Umweltqualitätsnorm (Hexachlorbutadien: UQN außerhalb des
dargestellten Bereichs); in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ. 59

Abbildung 20: Vergleich der chemischen Belastung von omni- und carnivoren Fischarten. Teil 3: Hexabromcyclododecan (Fett-Normalisierung, Umrechnung auf Ganzfisch, UQN: 167 µg/kg FG) und PBDE nach WRRL (Fett-Normalisierung, Umrechnung auf Filet, UQN: 0,0085 µg/kg FG). Rote Linie: Umweltqualitätsnorm (Hexabromcyclododecan: UQN außerhalb des dargestellten Bereichs); in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.....	59
Abbildung 21: Vergleich der chemischen Belastung von omni- und carnivoren Fischarten. Teil 4: Hexachlorbenzol (Fett-Normalisierung, Umrechnung auf Filet, UQN: 10 µg/kg FG). Rote Linie: Umweltqualitätsnorm (Hexachlorbenzol: UQN außerhalb des dargestellten Bereichs); in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.....	60
Abbildung 22: Vergleich der chemischen Belastung von omni- und carnivoren Fischarten. Teil 5: Heptachlor und Heptachlorepoxyd (Fett-Normalisierung, Filet- und Ganzfischproben, UQN: 0,0067 µg/kg FG). Rote Linie: Umweltqualitätsnorm; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.....	60
Abbildung 23: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 1: Quecksilber (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).	67
Abbildung 24: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 2: PFOS (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).	68
Abbildung 25: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 3: PCDD/F+dl-PCB (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).	68
Abbildung 26: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 4: Hexachlorbutadien (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).	69
Abbildung 27: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 5: Hexabromcyclododecan (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).	69
Abbildung 28: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 6: PBDE nach WRRL (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).	70

Abbildung 29: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 7: Hexachlorbenzol (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).	70
Abbildung 30: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 9: Heptachlor und Heptachlorepoxyd (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).	71
Abbildung 31: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 1: Quecksilber (TM-Normalisierung inklusive Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Ganzfisch; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).....	79
Abbildung 32: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 2: PFOS (TM-Normalisierung inklusive Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ) ..	79
Abbildung 33: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 3: PCDD/F+dl-PCB (Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).	80
Abbildung 34: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 4: Hexachlorbutadien (Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).	80
Abbildung 35: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 5: Hexabromcyclododecan (Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).....	81
Abbildung 36: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 6: PBDE nach WRRL (Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).	81
Abbildung 37: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 7: Hexachlorbenzol (Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).	82
Abbildung 38: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 9: Heptachlor und Heptachlorepoxyd (Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).	82
Abbildung 39: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 1: Quecksilber (ohne Normalisierung, Umrechnung auf Ganzfisch, nur Omnivore).	86

Abbildung 40: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 2: PFOS (ohne Normalisierung, Umrechnung auf Filet, nur Omnivore).	87
Abbildung 41: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 3: PCDD/F+dl-PCB (ohne Normalisierung, Umrechnung auf Filet, Omnivore und Carnivore).....	88
Abbildung 42: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 4: Hexachlorbutadien (ohne Normalisierung, Filet und Ganzfisch, Omnivore und Carnivore).	89
Abbildung 43: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 5: Hexabromcyclododecan (ohne Normalisierung, Umrechnung auf Ganzfisch, Omnivore und Carnivore).	90
Abbildung 44: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 6: PBDE nach WRRL (ohne Normalisierung, Umrechnung auf Filet, nur Omnivore).....	91
Abbildung 45: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 7: Hexachlorbenzol (ohne Normalisierung, Umrechnung auf Filet, Omnivore und Carnivore).....	92
Abbildung 46: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 9: Heptachlor und Heptachlorepoxyd (ohne Normalisierung, Filet und Ganzfisch, Omnivore und Carnivore). 93	
Abbildung 47: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 1: Quecksilber (TM-Normalisierung inklusive Proxy-Trockenmassen, Umrechnung auf Ganzfisch, nur Omnivore).	97
Abbildung 48: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 2: PFOS (TM-Normalisierung inklusive Proxy-Trockenmassen, Umrechnung auf Filet, nur Omnivore).	98
Abbildung 49: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 3: PCDD/F+dl-PCB (Fett-Normalisierung, Umrechnung auf Filet, Omnivore und Carnivore).....	99
Abbildung 50: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 4: Hexachlorbutadien (Fett-Normalisierung, Filet und Ganzfisch, Omnivore und Carnivore).	100

Abbildung 51: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 5: Hexabromcyclododecan (Fett-Normalisierung, Umrechnung auf Ganzfisch, Omnivore und Carnivore).	101
Abbildung 52: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 6: PBDE nach WRRL (Fett-Normalisierung, Umrechnung auf Filet, nur Omnivore).....	102
Abbildung 53: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 7: Hexachlorbenzol (Fett-Normalisierung, Umrechnung auf Filet, Omnivore und Carnivore).....	103
Abbildung 54: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 9: Heptachlor und Heptachlorepoxyd (Fett-Normalisierung, Filet und Ganzfisch, Omnivore und Carnivore). 104	
Abbildung 55: Übersichtsgrafik über die gefangenen Muschelarten (Absolutwerte) pro Jahr.....	107
Abbildung 56: Verteilung gefangenen Muschelarten pro Jahr (Jährliche Prozentsätze).	108
Abbildung 57: Übersicht über die Probenzahlen je Wasserkörper und je gefangener Muschelgattung (Rhein und Neckar).	109
Abbildung 58: Übersicht über die Probenzahlen je Wasserkörper und je gefangener Muschelgattung (Mosel, Lahn, Meurthe, Saar und weitere).....	110
Abbildung 59: Fett- und Trockenmassegehalte der verschiedenen Muschelarten im Gesamtprobensatz; in Klammern: Probenzahl.	111
Abbildung 60: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse von Fluoranthen, Benzo(a)pyren sowie Dioxinen und dioxinähnlichen PCB, getrennt nach Muschelgattung. Ohne Normalisierung; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.....	115
Abbildung 61: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse von Fluoranthen, Benzo(a)pyren sowie Dioxinen und dioxinähnlichen PCB, getrennt nach Muschelgattung. Alle Daten sind auf den Fettgehalt normalisiert; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.....	119
Abbildung 62: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Muscheln; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 1: Fluoranthen (ohne Normalisierung, Corbicula und Dreissena).....	122

Abbildung 63: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Muscheln; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 2: Benzo(a)pyren (ohne Normalisierung, Corbicula und Dreissena).	123
Abbildung 64: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Muscheln; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 3: PCDD/F+dl-PCB (ohne Normalisierung, Corbicula und Dreissena). Hinweis: PCDD/F+dl-PCB-Daten wurden für Muscheln ausschließlich aus Baden-Württemberg (Rhein und Neckar) berichtet.	124
Abbildung 65: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Muscheln; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 1: Fluoranthen (Fett-Normalisierung, Corbicula und Dreissena).....	127
Abbildung 66: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Muscheln; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 2: Benzo(a)pyren (Fett-Normalisierung, Corbicula und Dreissena).....	128
Abbildung 67: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Muscheln; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 3: PCDD/F+dl-PCB (Fett-Normalisierung, Corbicula und Dreissena). Hinweis: PCDD/F+dl-PCB-Daten wurden für Muscheln ausschließlich aus Baden-Württemberg (Rhein und Neckar) berichtet.	129
Abbildung 68: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 1A: Quecksilber im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; nur Omnivore; UQN: 20 µg/kg FG).....	144
Abbildung 69: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 1B: Quecksilber in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; nur Omnivore; UQN: 20 µg/kg FG).....	145
Abbildung 70: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2A: PFOS im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 9,1 µg/kg FG).....	146
Abbildung 71: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2B: PFOS in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 9,1 µg/kg FG).....	147
Abbildung 72: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2C: PFOS im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 9,1 µg/kg FG).....	148

Abbildung 73: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2D: PFOS in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 9,1 µg/kg FG).....	149
Abbildung 74: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 3A: PCDD/F + dl-PCB im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 0,0065 µg/kg FG; Angaben hier in ng/kg FG).	150
Abbildung 75: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 3B: PCDD/F + dl-PCB in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 0,0065 µg/kg FG; Angaben in ng/kg FG).	151
Abbildung 76: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 4A: Hexachlorbutadien im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 55 µg/kg FG).....	152
Abbildung 77: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 4B: Hexachlorbutadien in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 55 µg/kg FG).	153
Abbildung 78: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 5A: Hexabromcyclododecan im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 167 µg/kg FG).	154
Abbildung 79: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 5B: Hexabromcyclododecan in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 167 µg/kg FG).	155
Abbildung 80: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 6A: PBDE nach WRRL im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 0,0085 µg/kg FG).....	156
Abbildung 81: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 6B: PBDE nach WRRL in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 0,0085 µg/kg FG).	157
Abbildung 82: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 7A: Hexachlorbenzol im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 10 µg/kg FG).....	158
Abbildung 83: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 7B: Hexachlorbenzol in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 10 µg/kg FG).....	159

Abbildung 84: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 9A: Heptachlor und Heptachlorepoxyd im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 0,0067 µg/kg FG).	160
Abbildung 85: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 9B: Heptachlor und Heptachlorepoxyd in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 0,0067 µg/kg FG).	161
Abbildung 86: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 1A: Fluoranthen im Rhein (Mittelwerte 2016-2023; ohne Normalisierung; UQN: 30 µg/kg FG)....	162
Abbildung 87: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 1B: Fluoranthen in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2023; ohne Normalisierung; UQN: 30 µg/kg FG)....	163
Abbildung 88: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 2A: Benzo(a)pyren im Rhein (Mittelwerte 2016-2023; ohne Normalisierung; UQN: 5 µg/kg FG).....	164
Abbildung 89: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 2B: Benzo(a)pyren in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2023; ohne Normalisierung; UQN: 5 µg/kg FG).....	165
Abbildung 90: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 3A: PCDD/F und dl-PCB im Rhein (Mittelwerte 2016-2023; ohne Normalisierung; UQN: 0,0065µg/kg FG; Angaben hier in ng/kg FG). Hinweis: PCDD/F und dl-PCB-Werte wurden nur aus Baden-Württemberg berichtet.....	166
Abbildung 91: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 3B: PCDD/F und dl-PCB in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2023; ohne Normalisierung; UQN: 0,0065µg/kg FG; Angaben hier in ng/kg FG). Hinweis: PCDD/F und dl-PCB-Werte wurden nur aus Baden-Württemberg berichtet.	167
Abbildung 92: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 1A: Quecksilber im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; TM-Normalisierung inkl. Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Ganzfisch; nur Omnivore; UQN: 20 µg/kg FG).	168
Abbildung 93: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 1B: Quecksilber in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; TM-Normalisierung inkl. Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Ganzfisch; nur Omnivore; UQN: 20 µg/kg FG).	169
Abbildung 94: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2A: PFOS im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; TM-Normalisierung inkl. Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 9,1 µg/kg FG).	170
Abbildung 95: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2B: PFOS in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; TM-Normalisierung inkl. Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 9,1 µg/kg FG).	171

Abbildung 96: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2C: PFOS im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; TM-Normalisierung inkl. Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 9,1 µg/kg FG). 172
Abbildung 97: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2d: PFOS in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; TM-Normalisierung inkl. Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 9,1 µg/kg FG). 173
Abbildung 98: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 3A: PCDD/F + dl-PCB im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 0,0065µg/kg FG; Angaben hier in ng/kg FG).	174
Abbildung 99: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 3B: PCDD/F + dl-PCB in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 0,0065µg/kg FG; Angaben hier in ng/kg FG).	175
Abbildung 100: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 4A: Hexachlorbutadien im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 55 µg/kg FG).....	176
Abbildung 101: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 4B: Hexachlorbutadien in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 55 µg/kg FG).....	177
Abbildung 102: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 5A: Hexabromcyclododecan im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 167 µg/kg FG).	178
Abbildung 103: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 5B: Hexabromcyclododecan in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 167 µg/kg FG).	179
Abbildung 104: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 6A: PBDE nach WRRL im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 0,0085 µg/kg FG).....	180
Abbildung 105: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 6B: PBDE nach WRRL in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 0,0085 µg/kg FG).	181

Abbildung 106: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 7A: Hexachlorbenzol im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 10 µg/kg FG).....	182
Abbildung 107: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 7B: Hexachlorbenzol in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 10 µg/kg FG).183	
Abbildung 108: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 9A: Heptachlor und Heptachlorepoxyd im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 0,0067 µg/kg FG).	
184	
Abbildung 109: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 9B: Heptachlor und Heptachlorepoxyd in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; Fett- Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 0,0067 µg/kg FG).....	185
Abbildung 110: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 1A: Fluoranthen im Rhein (Mittelwerte 2016-2023; Fett-Normalisierung; UQN: 30 µg/kg FG)	186
Abbildung 111: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 1B: Fluoranthen in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2023; Fett-Normalisierung; UQN: 30 µg/kg FG)	187
Abbildung 112: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 2A: Benzo(a)pyren im Rhein (Mittelwerte 2016-2023; Fett-Normalisierung; UQN: 5 µg/kg FG).....	188
Abbildung 113: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 2B: Benzo(a)pyren in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2023; Fett-Normalisierung; UQN: 5 µg/kg FG).....	189
Abbildung 114: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 3A: PCDD/F und dl-PCB im Rhein (Mittelwerte 2016-2023; Fett-Normalisierung; UQN: 0,0065µg/kg FG; Angaben hier in ng/kg FG). Hinweis: PCDD/F und dl-PCB-Werte wurden nur aus Baden-Württemberg berichtet.	190
Abbildung 115: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 3B: PCDD/F und dl-PCB in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2023; Fett-Normalisierung; UQN: 0,0065µg/kg FG; Angaben hier in ng/kg FG). Hinweis: PCDD/F und dl- PCB-Werte wurden nur aus Baden-Württemberg berichtet.	191

1 Einleitung und Hintergrund

Seit vielen Jahren werden Fische im Rahmen des Biotamonitorings beprobt. Abhängig von der Fragestellung und dem jeweiligen Schutzziel werden dabei jedoch sehr unterschiedliche Strategien verfolgt.

Steht der Schutz der menschlichen Gesundheit im Vordergrund, werden vornehmlich Speisefische untersucht. Die zulässigen Höchstgehalte – festgelegt in Verordnung (EU) 2023/915 der Kommission - beziehen sich hierbei üblicherweise auf das Muskelfleisch von ausgewählten Speisefischen. Nur wenn der gesamte Fisch für den Verzehr vorgesehen ist, gilt die Norm für den Ganzfisch.

Dagegen zielt die seit 2000 geltende Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) (EU, 2000) sowohl auf den Schutz des Menschen als auch der Umwelt. Im Rahmen regelmäßiger Überwachungen soll die Gewässerqualität anhand besonders umweltrelevanter („prioritärer“) Schadstoffe ermittelt werden. Für diese Stoffe wurden UQN abgeleitet, die notwendiges Handeln ableiten sollen (z. B. Maßnahmen zur Verringerung von Emissionen). Für einige prioritäre Stoffe, die wegen ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften in der Wasserphase schwer zu messen sind, ist eine Überwachung in Biota vorgesehen. Die entsprechenden UQN sind für die Schutzziele „menschliche Gesundheit“ und „Schutz von Wildtieren vor Sekundärvergiftung“ gleichermaßen relevant, weshalb der Grenzwert für das jeweils empfindlichere Schutzgut maßgeblich für die Festlegung der UQN herangezogen wurde (EU, 2013). 11 dieser bioakkumulativen Stoffe und Stoffgruppen sollen in Fischen bzw. in Krebs- und Weichtieren überwacht werden (vgl. Tabelle 21 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Die im Rhein-Einzugsgebiet erhobenen Monitoringdaten waren bis 2013 sehr heterogen. Je nach Untersuchungsprogramm variierten Art, Größe und Anzahl der Fische ebenso wie die untersuchte Matrix (Filet oder Ganzfisch). Dies hatte zur Folge, dass die Daten untereinander nur begrenzt vergleichbar waren. Selbst innerhalb einer Flussgebietseinheit waren die Daten häufig so heterogen, dass räumliche Vergleiche von Belastungen nur schwer durchzuführen waren (IKSR, 2011; Foekema et al. 2016).

Vor diesem Hintergrund hat die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) mit dem ersten gemeinsamen Untersuchungsprogramm 2014/2015 zur Kontamination von Biota mit Schadstoffen im Rheineinzugsgebiet (IKSR, 2014; IKSR 2018) ein Pilotprojekt durchgeführt, das die rechtlichen Anforderungen sowohl aus dem europäischen Wasserrecht als auch aus dem Lebensmittel- und Gesundheitsrecht möglichst umfassend abdecken soll. Durch die Schaffung einer vergleichbaren und verlässlichen Datenbasis sollte so die Grundlage für einen gemeinsamen Umgang mit Kontaminationen in Biota/Fischen in der Flussgebietseinheit Rhein geschaffen werden.

Die gemeinsame Auswertung wurde nun erneut durchgeführt und Daten der Jahre 2015 bis 2022/2023 berücksichtigt.

Als Basis für das Monitoring diente das „Konzept für den Abgleich von Messungen der Kontamination von Biota (Fischen/Muscheln) mit Schadstoffen im Einzugsgebiet des Rheins im dritten Bewirtschaftungszyklus 2021 – 2027 nach WRRL“ (IKSR, 2019).

Die von den Staaten bereitgestellten Messdaten wurden zunächst strukturiert und geprüft.
Der vorliegende Bericht beschreibt die Auswertung der Monitoringdaten.

2 Datenbasis

Als Datenbasis dienen die von den beteiligten IKSР-Mitgliedern zur Verfügung gestellten Tabellen mit Mess- und Metadaten aus 224 Fischproben und 121 Muschelproben. Diese wurden von der IKSР zentral gesammelt, separat für Fische und Muscheln zusammengestellt und dem Auftragnehmer digital als Tabellen zur Verfügung gestellt. Diese ursprüngliche Datenbasis umfasste im Falle der Fische etwa 7 900 Einträge analytischer Daten zuzüglich der zugehörigen Probeninformationen und Metadaten. Der Datensatz der Muscheln umfasste in der ursprünglichen Form etwa 560 analytische Daten.

Bei 3 % der Fischproben und 15 % der Muschelproben fehlten Angaben zum Fettgehalt. Der Trockenmassegehalt fehlte bei 38 % der Fischproben und bei 23 % der Muschelproben. Diese Werte sind für die Normalisierung der gemessenen Schadstoffe auf einen Standardfisch für die Standardisierung der gemessenen Schadstoffe erforderlich, um die Daten miteinander vergleichen zu können und die Normprüfung durchzuführen. Die Proben, bei denen der Fettgehalt fehlte, wurden in der weiteren Analyse nicht berücksichtigt. Die Proben, bei denen der Trockenmassegehalt fehlte, wurden jedoch berücksichtigt, indem der durchschnittliche Trockenmassegehalt der anderen Proben als guter Schätzwert verwendet wurde.

Eine Zusammenfassung der Datensätze erfolgt getrennt für Fische und Muscheln in den jeweiligen Ergebniskapiteln (Fische: 4.1.1; Muscheln: 4.2.1). Eine detaillierte Übersicht über die Proben inklusive der zugehörigen biometrischen Daten findet sich in Tabelle 22 (Fische) beziehungsweise Tabelle 23 (Muscheln) im Anhang A4. Die Tabellen in Kapitel 4 und im Folgenden stellen die Daten (von Fischen und Muscheln) nach Vereinheitlichung und Bereinigung inklusive der Zusammenlegung von Messstellen eines Wasserkörpers dar.

Die Wasserkörper aus dem Datensatz der Fische sind nachfolgend tabellarisch in Tabelle 3 (inklusive der darin zum Teil zusammengefassten Messstellen) sowie grafisch als Übersichtskarte in Abbildung 1 dargestellt.

Analog dazu zeigen Tabelle 4 und Abbildung 2 alle Wasserkörper der Muscheln.

Wenn in den Tabellen die Zeile „enthaltene Messstellen“ leer bleibt, bedeutet dies, dass sich nur eine Messstelle mit demselben Namen im Wasserkörper befindet.

Tabelle 3: Übersicht über die Wasserkörper aus dem Datensatz der Fische inklusive der darin zusammengefassten Messstellen

Nr.	Fluss	Wasserkörper	Enthaltene Messstellen
1	Rhein	Fußbach	

Nr.	Fluss	Wasserkörper	Enthaltene Messstellen
2	Rhein	Reckingen	Öhningen, Kadelburg, Hohentengen, Lienheim
3	Rhein	Weil	Weil am Rhein, Steinhausen, Istein, Rheinfelden, Restrhein
4	Rhein	Karlsruhe	Karlsruhe, Au am Rhein, Neuburgweier, Daxlanden, Iffezheim
5	Rhein	Mannheim	Mannheim, Ludwigshafen, Linkenheim, Karlsruhe
6	Rhein	Petersau	Petersau, Neckarmündung
7	Rhein	Budenheim	
8	Rhein	St. Goar	Koblenz, St. Goarshausen, Sankt Sebastian (Andernach), St. Goar
9	Rhein	Bad Honnef	
10	Rhein	Kleve-Bimmen	
11	Rhein	Lobith	
12	Rhein	Hollandsch Diep	
13	Rhein	Nieuwe Waterweg	
14	Rhein	Ketelmeer	
15	Rhein	IJsselmeer	
16	Neckar	Kirchentellinsfurt	Rottenburg, Nürtingen, Kirchentellinsfurt, Tübingen
17	Neckar	Besigheim	Besigheim, Stuttgart Hofen, Esslingen/Zell, Mundelsheim, Ludwigsburg, Altbach, Altarm Pleidelsheim
18	Neckar	Kochendorf	Bad Friedrichshall, Lauffen am Neckar, Neckarsulmer Altarm, Neckarsulm, Heilbronn
19	Neckar	Mannheim	Neckargünd, Ilvesheim, Obriegheim, Mannheim
20	Mosel	Tonnoy	
21	Mosel	Liverdun	
22	Mosel	Millery – Vandières	Millery, Vandières
23	Mosel	Uckange – Sierck	Uckange, Manom, Sierck
24	Mosel	Palzem	Palzem, Grevenmacher, Perl
25	Mosel	Detzem	Pöhlich (Stauhaltung Detzem), Detzem, Lehmen, Koblenz
26	Saar	Sarraltroff	
27	Saar	Keskastel	
28	Saar	Güdingen/ Grosbliederstroff	Grosbliederstroff (Amont), Güdingen/Grosbliederstroff
29	Saar	Fremersdorf	
30	Saar	Schoden	
31	Lahn	Solms-Oberbiel	
32	Lahn	Limburg	
33	Lahn	Nievern	
34	Sauer	Erpeldange	
35	Sauer	Metzdorf	

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
Studiencode IME: 2023-030

- Seite 30/211 -

Nr.	Fluss	Wasserkörper	Enthaltene Messstellen
36	Meurthe	Saint-Clément	
37	Meurthe	Damelevières	
38	Alzette	Ettelbrück	
39	Blies	Reinheim	
40	Kinzig	Hanau	
41	Lippe	Wesel	
42	Main	Bischofsheim	
43	Ruhr	Mülheim-Kahlenberg	
44	Schwarzbach	Trebur-Astheim	
45	Weschnitz	Biblis-Wattenheim	
46	Wupper	Opladen	

Abschlussbericht:

Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023

Projektnummer IKSR:

IKSR-Fachbericht Nr. 311

Studiencode IME:

2023-030

- Seite 31/211 -

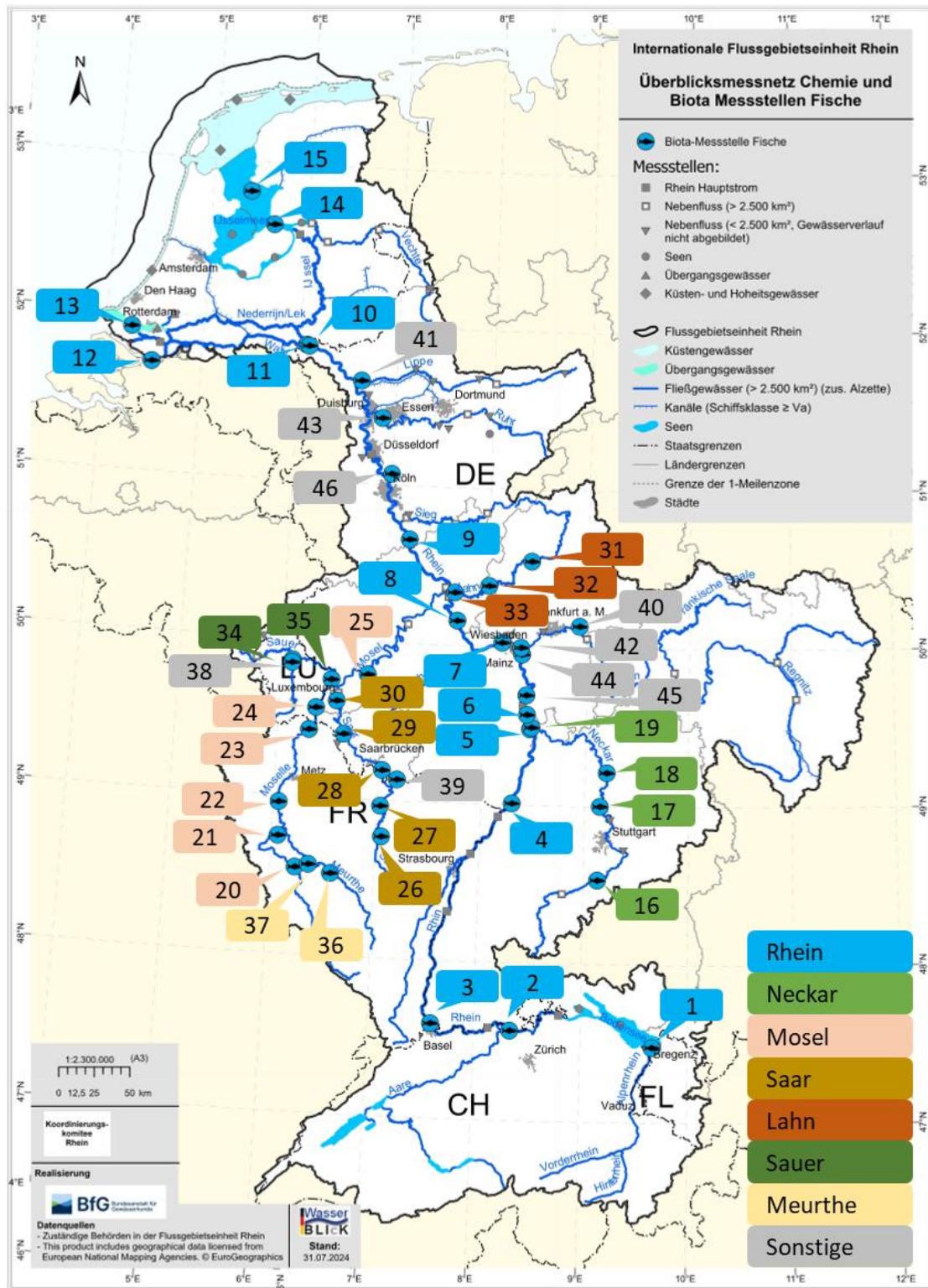


Abbildung 1: Übersichtskarte aller Wasserkörper für Fische (Legende: siehe Tabelle 3).

Tabelle 4: Übersicht über die Wasserkörper aus dem Datensatz der Muscheln inklusive der darin zusammengefassten Messstellen

Nr.	Fluss	Wasserkörper	Enthaltene Messstellen
1	Rhein	Reckingen	Öhningen, Kadelburg, Hohentengen, Lienheim
2	Rhein	Weil	Weil am Rhein, Steinenstadt, Istein, Rheinfelden, Restrhein
3	Rhein	Karlsruhe	Karlsruhe, Au am Rhein, Neuburgweier, Daxlanden, Iffezheim
4	Rhein	Speyer	
5	Rhein	Mannheim	Mannheim, Ludwigshafen, Linkenheim, Karlsruhe
6	Rhein	Petersau	Petersau, Neckarmündung
7	Rhein	Budenheim	
8	Rhein	St. Goar	Koblenz, St. Goarshausen, Sankt Sebastian (Andernach), St. Goar
9	Rhein	Lobith	
10	Rhein	Hollands Diep	
11	Rhein	Nieuwe Maas	
12	Rhein	Ketelmeer	
13	Rhein	IJsselmeer	
14	Neckar	Besigheim	Besigheim, Stuttgart Hofen, Esslingen/Zell, Mundelsheim, Ludwigsburg, Altbach, Altarm Pleidelsheim
15	Neckar	Kochendorf	Bad Friedrichshall, Lauffen am Neckar, Neckarsulmer Altarm, Neckarsulm, Heilbronn
16	Neckar	Mannheim	Neckargünd, Ilvesheim, Obrigheim, Mannheim
17	Mosel	Tonnoy	
18	Mosel	Liverdun	
19	Mosel	Millery – Vandières	Millery, Vandières
20	Mosel	Uckange – Sierck	Uckange, Manom, Sierck
21	Mosel	Palzem	Palzem, Grevenmacher, Perl
22	Mosel	Detzem	Pöhlich (Stauhaltung Detzem), Detzem, Lehmen, Koblenz
23	Meurthe	St. Clement	
24	Meurthe	Bouzieres	
25	Saar	Sarraltroff	
26	Saar	Grosbliederstroff	Grosbliederstroff (Amont), Güdingen/Grosbliederstroff
27	Saar	Schoden	
28	Lahn	Limburg	
29	Lahn	Solms-Oberbiel	
30	Nidda	Nied	
31	Kinzig	Hanau	
32	Schwarzbach	Trebur-Astheim	
33	Weschnitz	Biblis-Wattenheim	

Abschlussbericht:

Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023

Projektnummer IKSR:

IKSR-Fachbericht Nr. 311

Studiencode IME:

2023-030

- Seite 33/211 -

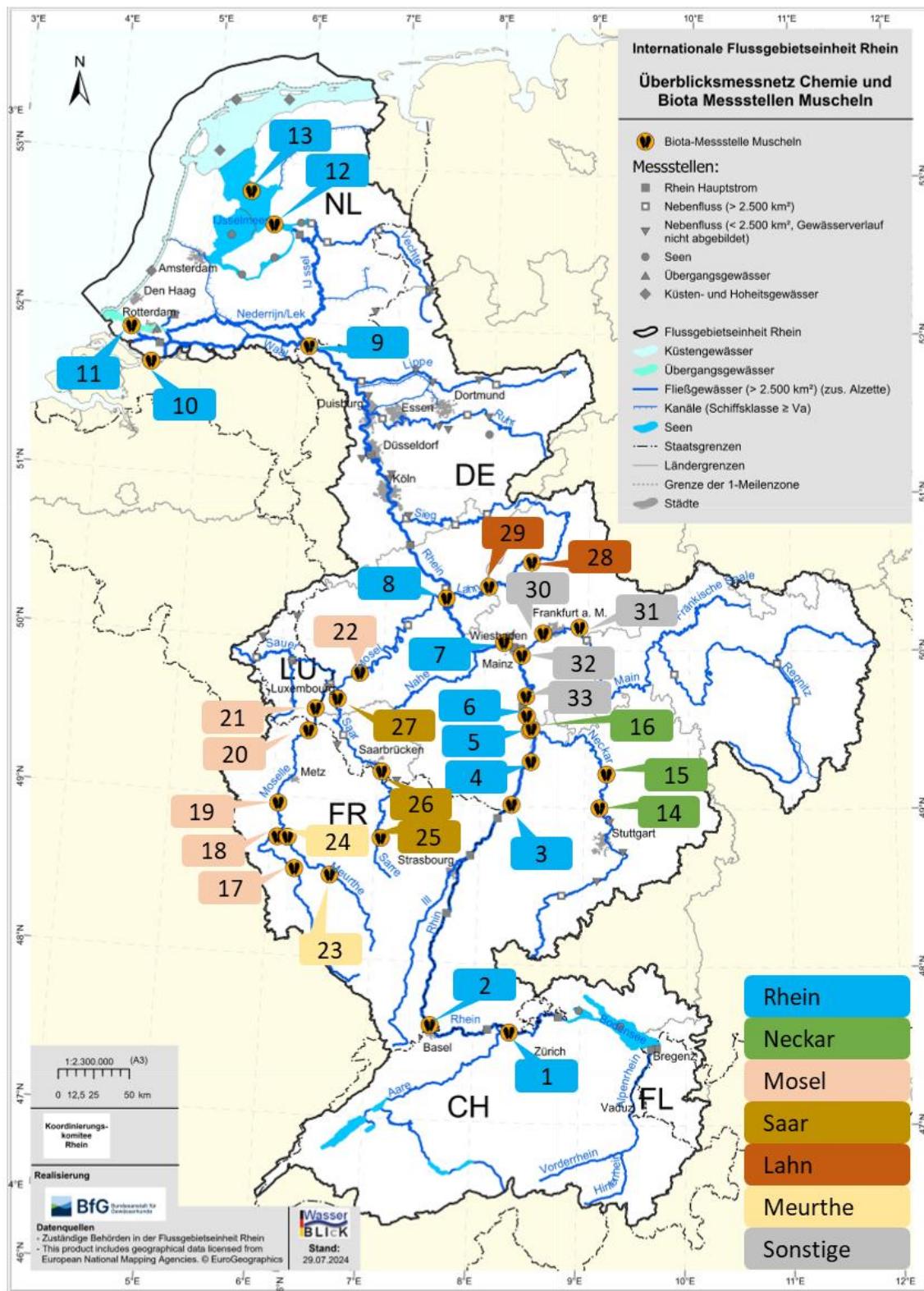


Abbildung 2: Übersichtskarte aller Wasserkörper für Muscheln (Legende: siehe Tabelle 4).

3 Datenaufarbeitung und Auswertung

Als Grundlage für die Datenauswertung dienen die zuvor genannten Excel-Dateien, die dem Auftragnehmer zur Verfügung gestellt wurden. Diese wurden im Anschluss durch den Auftragnehmer durch manuelle Prüfung aller Einträge vereinheitlicht und für die weitere Auswertung vorbereitet.

Die Datenaufbereitung umfasste folgende Schritte:

- Identifizierung von Zeilen, die einer Probe zuzuordnen sind
- Vergabe einer individuellen Proben-ID je Probe
- Vereinheitlichung von Namen und Bezeichnungen, z. B. Korrektur von Tippfehlern, Vereinheitlichung und Übersetzungen von Begriffen und Substanznamen
- Korrespondenz mit dem Auftraggeber bei unklaren oder auffälligen Datenangaben
- Einfügen und Vervollständigen einer Spalte für das Jahr der Probenahme
- Umwandlung von Zahlen, die als Text gespeichert waren, in nutzbare Zahlenwerte
- Vereinheitlichung des Dezimaltrennzeichens als Komma
- Einfügen einer Spalte, die die Nutzung eines Wertes für die weitere Auswertung markiert, zum vereinfachten Herausfiltern von relevanten Daten
- Umrechnung aller Messergebnisse in die Einheit „ $\mu\text{g}/\text{kg FG}$ “
- Annahme, dass alle Werte mit einem Frischgewichtsbezug berichtet wurden
- Vereinheitlichung der Angabe von Werten unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze zu „<LOQ“
- Manuelle Berechnung von Summenparametern bei Substanzgruppen, wenn nötig und wenn möglich
- Umrechnung von Fett- und Trockenmasseanteilen in den prozentualen Anteil [%], sofern nicht bereits erledigt
- Umrechnung von nicht-normalisierten Werten in Fett- bzw. Trockenmasse-normalisierte Werte
- Umrechnung von Filet- auf Ganzfischgehalte sowie von Ganzfisch- auf Filetgehalte (sofern Umrechnungsfaktoren verfügbar)
- Inklusion von nachgelieferten Datensätzen und Zusatzinfos
- Zusammenlegung von Messstellen innerhalb eines Wasserkörpers gemäß den Vorgaben der IKSR
- Prüfung aller nicht normalisierten sowie der normalisierten Messergebnisse anhand der Umweltqualitätsnorm

Die Berechnung der auf den Fett- beziehungsweise Trockenmassegehalt normalisierten Werte erfolgte entsprechend der folgenden Formeln:

Normalisierung auf Fettgehalt:

$$Konz_{fettnormalisiert} = \frac{Konz_{Frischgewicht} * Fettgehalt_{Normalisierung}}{Fettgehalt_{gemessen}}$$

Normalisierung auf Trockenmassegehalt (TM):

$$Konz_{TM-normalisiert} = \frac{Konz_{Frischgewicht} * TM_{Normalisierung}}{TM_{gemessen}}$$

Gemäß der Leistungsbeschreibung und gemäß des EU Guidance Documents No. 32 zum Biotamonitoring im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie (EU, 2014) erfolgte die Normalisierung für Fische auf einen Fettgehalt von 5,0 % und einen Trockenmassegehalt (TM-Gehalt) von 26 % sowie für die Muscheln auf einen Fettgehalt von 1,0 % und einen Trockenmassegehalt von 8,3 %. Gemäß den Vorgaben des Guidance Documents No. 32 (EU, 2014) werden lipophile Substanzen auf den Fettgehalt normalisiert. Proteinbindende Stoffe (PFOS, Quecksilber) werden auf den Gehalt an Trockenmasse normalisiert. Eine entsprechende Zuordnung ist Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Übersicht über die untersuchten Stoffe bzw. Stoffgruppen und die jeweils heranzuziehende Normalisierung, das für die UQN-Überwachung präferierte Probenmaterial und Faktoren für die Umrechnung von Filet- auf Ganzfisch-Konzentrationen nach Radermacher et al. (2019) (n. v.: nicht verfügbar).

Stoff(-gruppe)	Normalisierung	Primäres Schutzgut	Proben-material	Umrechnungsfaktor Filet -> Ganzfisch
Benzo(a)pyren	Fettgehalt	Mensch	-	Nicht zutreffend (Krebstiere, Weichtiere)
Dicofol	Fettgehalt	Ökosystem	Ganzfisch	n. v.
Fluoranthen	Fettgehalt	Mensch	-	Nicht zutreffend (Krebstiere, Weichtiere)
HC + HCE	Fettgehalt	Mensch	Filet	n. v.
HBCDD	Fettgehalt	Ökosystem	Ganzfisch	1,76
HCB	Fettgehalt	Mensch	Filet	3,57
HCBD	Fettgehalt	Ökosystem	Ganzfisch	n. v.
PFOS	Trockenmassegehalt	Mensch	Filet	2,65
PBDE	Fettgehalt	Mensch	Filet	5,41
PCDD/F + dl-PCB	Fettgehalt	Mensch	Filet	5,25
Hg	Trockenmassegehalt	Ökosystem	Ganzfisch	0,812

Da bei den Fischen aufgrund fehlender Angaben zum Trockenmassegehalt nicht immer eine Normalisierung auf den Trockenmassegehalt möglich war, wurden für die Übersicht der normalisierten Schadstoffgehalte, für den räumlichen Vergleich und für die Belastungskarten sogenannte Proxy-Trockenmassegehalte abgeleitet. Dies war im Fall der fehlenden

Trockenmassegehalte möglich, da diese zwischen den und innerhalb der Fischarten nur geringe Schwankungen aufzeigten. Die Ableitung erfolgte in Form von Fischart-übergreifenden Medianen und separat für Filet- und Ganzfischproben. Die Median-Trockenmassegehalte lagen bei 21,5 % im Filet und 25,9 % im Ganzfisch. Dieses Vorgehen war lediglich für PFOS und Quecksilber im Datensatz der Fische nötig, da die anderen Substanzen auf den Fettgehalt normalisiert wurden. Für fehlende Fettgehalte wurden aufgrund der hohen Schwankungen zwischen den und innerhalb der Fischarten keine Proxywerte genutzt.

Parallel zu der Auswertung der auf die Trockenmasse beziehungsweise auf den Fettgehalt normalisierten Werte erfolgte eine Auswertung ohne entsprechende Normalisierung.

Die berichteten Fischdaten beziehen sich je nach Methodik, die von den einzelnen IKSR-Mitgliedern bevorzugt wurde, auf das Filet oder den Ganzfisch. In Abhängigkeit vom Schutzgut der betreffenden Umweltqualitätsnorm wurden die analytischen Daten auf das betreffende Probenmaterial umgerechnet, sofern entsprechende Umrechnungsfaktoren zur Verfügung standen. Als Faktoren für die Umrechnung von Filet- auf Ganzfisch-Konzentrationen wurden die von Radermacher et al. (2019) in einem Abschlussbericht eines UBA-Projekts genannten Werte genutzt. Das für die UQN-Überwachung bevorzugte Fischgewebe sowie die entsprechenden Umrechnungsfaktoren von Filet auf Ganzfisch sind in Tabelle 5 dargestellt. Für die Umrechnung von Ganzfisch auf Filet wurde der jeweilige Umrechnungsfaktor genutzt.

Zur besseren Übersicht von Messdaten wurden Boxplot-Grafiken erstellt, die die Verteilung der Werte über einen Bereich darstellen. Die Boxen zeigen jeweils den Bereich vom 25. bis 75. Perzentil an. Der mittlere Strich jeder Box zeigt jeweils den Median (50. Perzentil) an. Die vertikalen Linien zeigen den gesamten Wertebereich aller Daten vom Minimum bis zum Maximum. Die grafische Darstellung der Boxplots war ab einer Anzahl von drei darstellbaren Datenpunkten (d. h. Gehalte oberhalb der Bestimmungsgrenzen) möglich. Die grundsätzliche Berechnung von Medianen erfolgte bereits ab zwei Datenpunkten. In diesem Fall war aufgrund mangelnder Berechenbarkeit der weiteren Quartile jedoch keine Darstellung in Form Boxplots möglich. Aus diesem Grund wurden in der Regel die Mittelwerte (ab mindestens einem Wert oberhalb der Bestimmungsgrenze) in Form von Rauten in die Boxplot-Grafiken ergänzt.

Für alle numerischen Auswertungen (z. B. Mittelwerte, Standardabweichungen, Mediane etc.) innerhalb dieses Berichts wurden analytische Messwerte, die unterhalb der spezifischen Bestimmungsgrenzen lagen, nicht berücksichtigt. Die von der Richtlinie 2009/90/EG vorgesehene Methodik, dass Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze mit der halben

Bestimmungsgrenze in die Auswertung einfließen, konnte nicht angewendet werden, da für viele Proben keine Bestimmungsgrenzen angegeben wurden.

Die Bearbeitung und statistische Auswertung der Datensätze erfolgten mittels Microsoft Excel (Excel 2019 MSO (16.0.10416.20027) 64-Bit).

Dieser Bericht enthält numerische Werte, die in der Regel auf drei signifikante Stellen beziehungsweise auf eine im Einzelfall für sinnvoll erachtete Anzahl an Stellen gerundet wurden. Für die Berechnung dieser Werte wurden zum Teil Werte mit mehr Nachkommastellen genutzt, die in diesem Bericht unter Umständen nicht immer dargestellt werden können. Entsprechende Unterschiede zwischen gerundeten und nicht gerundeten Werten können als vernachlässigbar geringfügig erachtet werden.

In diesem Bericht findet keine Unterscheidung zwischen Frisch- und Nassgewicht statt. Da der Begriff „Frischgewicht“ deutlich verbreiteter ist, wird im Bericht einheitlich die Bezeichnung Frischgewicht als Synonym genutzt.

4 Ergebnisse und Diskussion

Insgesamt lagen für diesen Bericht die Daten von 345 Proben vor, sodass diese in die Auswertung einbezogen werden konnten. Diese Daten stammten von 224 Fischproben sowie 121 Muschelproben. In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die Daten separat für Fisch- und Muschelproben beschrieben und ausgewertet.

4.1 Fischproben

4.1.1 Beschreibung des Datensatzes

Der hier ausgewertete Gesamtdatensatz umfasste Daten von 224 Fischproben. Tabelle 6 liefert einen Überblick über die vorliegenden Daten. Die untersuchten Proben stammten von 46 verschiedenen Messstellen aus 16 verschiedenen Flüssen des Rheineinzugsgebiets (inklusive des Rheins selbst), wobei Probenahmestellen, die zu ein und demselben Wasserkörper im Sinne der WRRL gehören, zusammengelegt wurden. Den Großteil dieser Proben stellten Filetproben dar. Nur 15 % aller Proben wurden als Ganzfisch analysiert. Drei weitere Proben (1 %), bei denen die Karkasse untersucht wurde, wurden aufgrund mangelnder Vergleichbarkeit aus dem Datensatz entfernt und nicht weiter betrachtet. Der überwiegende Teil aller Proben (95 %) umfasste Poolproben mehrerer Fische einer Fischart. Bei den restlichen 5 % handelte es sich um Einzelfischproben entsprechend den Verbrauchsgrößen. Bei den Mischproben war es das Ziel, möglichst mindestens 10 Fische zu erfassen. Dieses Ziel konnte bei 60 % der gebildeten Partien (entsprechend 128 Proben) erreicht werden.

Die Proben stammten aus den Jahren 2015 bis 2022 und waren ungleichmäßig über die Jahre verteilt. Aufgrund der zyklischen Ausrichtung der Monitoring-Aktivitäten wurden die meisten Proben im ersten (2015, 33 %) oder im letzten Monitoring-Jahr (2022, 26 %) entnommen. Somit stammten fast 60 % aller Proben aus zwei von insgesamt acht betrachteten Jahren.

Die Datengrundlage hinsichtlich der biometrischen Daten der Fische war insgesamt zufriedenstellend. Für fast alle Proben (97 %) lagen Fettgehalte vor, jedoch standen lediglich für 72 % aller Proben auch Trockenmassegehalte zur Verfügung. Die Größenangaben (Länge) lagen praktisch ausnahmslos für alle Proben vor. Diese waren vollständig verwertbar. Ebenfalls für fast alle Proben (98 %) lagen Gewichtsdaten der Fische vor. Bei den Altersangaben lagen bei einem Großteil der Proben (82 %) zwar grundsätzlich Daten vor, diese sind jedoch nur in ca. der Hälfte dieser Proben numerisch auswertbar. Als numerisch nicht auswertbar galten in diesem Zusammenhang Angaben wie beispielsweise „3+ - 4+“ oder „4-6 Jahre“, da diese beispielsweise nicht in Mittelwert-Berechnungen und

andere statistische Auswertungen einfließen konnten. Ein Überblick über die verfügbaren Daten findet sich in Tabelle 6.

Tabelle 6: Übersichtstabelle der ausgewerteten Datensätze aller Fischproben

Parametergruppe	Parameter	Anzahl	Anteil
	Gewässer	16	-
	Wasserkörper	46	-
	Probenzahl (gesamt)	224	100 %
Probenmaterial	Filet	190	85 %
	Ganzfisch	34	15 %
Probe	Einzelproben	12	5 %
	Poolproben	212	95 %
	keine Angabe	0	0 %
Jahr	2015	74	33 %
	2016	14	6 %
	2017	13	6 %
	2018	19	8 %
	2019	17	8 %
	2020	5	2 %
	2021	24	11 %
	2022	58	26 %
Biometrie	Fettgehalt	218	97 %
	Trockenmasse	162	72 %
	Größe	223	99,6 %
	Größe auswertbar	223	99,6 %
	Gewicht	220	98 %
	Gewicht auswertbar	216	98 %
	Altersangabe	183	82 %
	Altersangabe auswertbar	98	44 %

Für die weitere Auswertung der Daten war die Verfügbarkeit des Datensatzes insbesondere hinsichtlich der Fett- und Trockenmassegehalte von großer Bedeutung, da diese für die Normalisierungen benötigt wurden. Während dies bei der hohen Verfügbarkeit der Fettgehalte noch unproblematisch war, führten die fehlenden Trockenmassegehalte bei 28 % aller Proben dazu, dass für die Substanzen, die auf den Trockenmassegehalt normalisiert wurden (Quecksilber, PFOS), nur noch etwa drei Viertel der ursprünglich verfügbaren Werte für die weitere Auswertung der normalisierten Daten zur Verfügung standen. Aus diesem Grund wurden für die Übersichten über die Schadstoffgehalte und die räumlichen Vergleiche

die Median-Trockenmassegehalte aller Filet – beziehungsweise aller Ganzfischproben als Proxywerte eingesetzt.

Die Verteilung der absoluten Probenzahlen auf die verschiedenen Fischarten und Jahre ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Abbildung zeigt wie zuvor beschrieben einen Fokus der Probenzahlen auf die Jahre 2015 und 2022. Im Jahr 2020 konnte mit fünf Proben nur eine unterproportional geringe Anzahl an Proben genommen werden. Dies war auf die Beprobungszyklen im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie zurückzuführen.

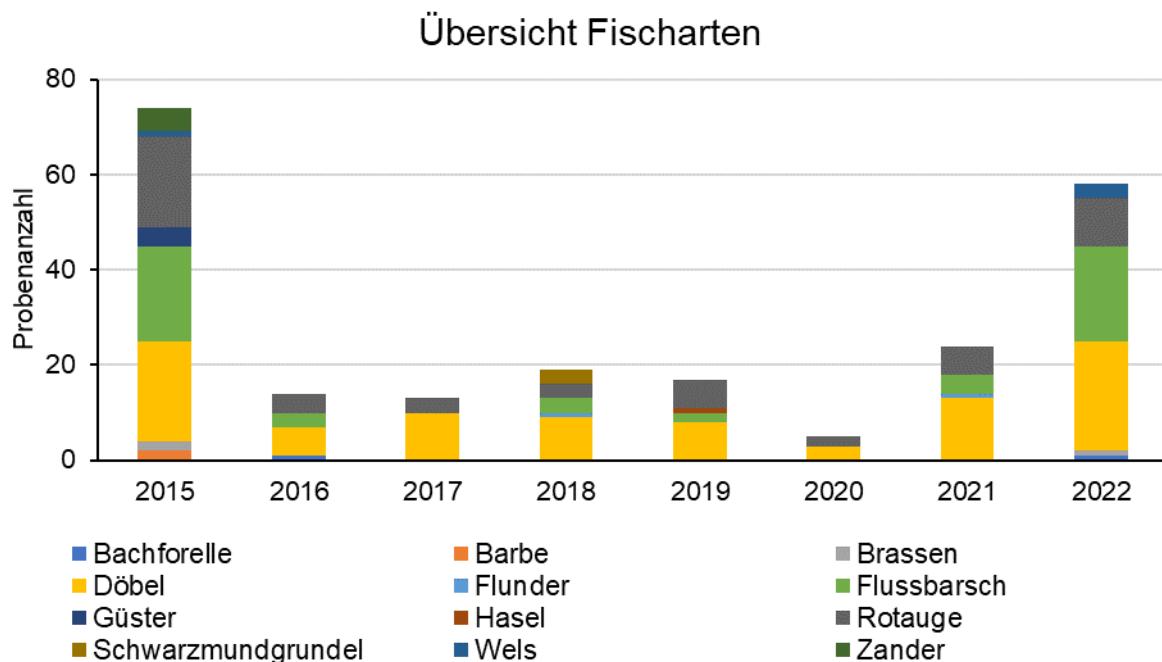


Abbildung 3: Übersichtsgrafik über die gefangenen Fischarten (Absolutwerte) pro Jahr.

Der Gesamtdatensatz umfasste insgesamt zwölf verschiedene Fischarten. Die drei am häufigsten beprobten Fischarten waren Döbel, Flussbarsch und Rotauge. Diese machen im Gesamtuntersuchungszeitraum 42 % (Döbel), 24 % (Rotauge) und 23 % (Flussbarsch) aller Proben aus und decken folglich in Summe fast 90 % des Gesamtprobensatzes ab. Weitere untersuchte Fischarten waren Bachforelle, Barbe, Brassen, Flunder (Rheinmündung in die Nordsee), Güster, Hasel, Schwarzmundgrundel, Wels und Zander. Diese machen aber nur einen geringen Teil (12 %) aller 224 Proben aus. Abbildung 4 zeigt die prozentuale Verteilung der Fischarten auf die verschiedenen Jahre sowie im Durchschnitt des Gesamtprobensatzes.

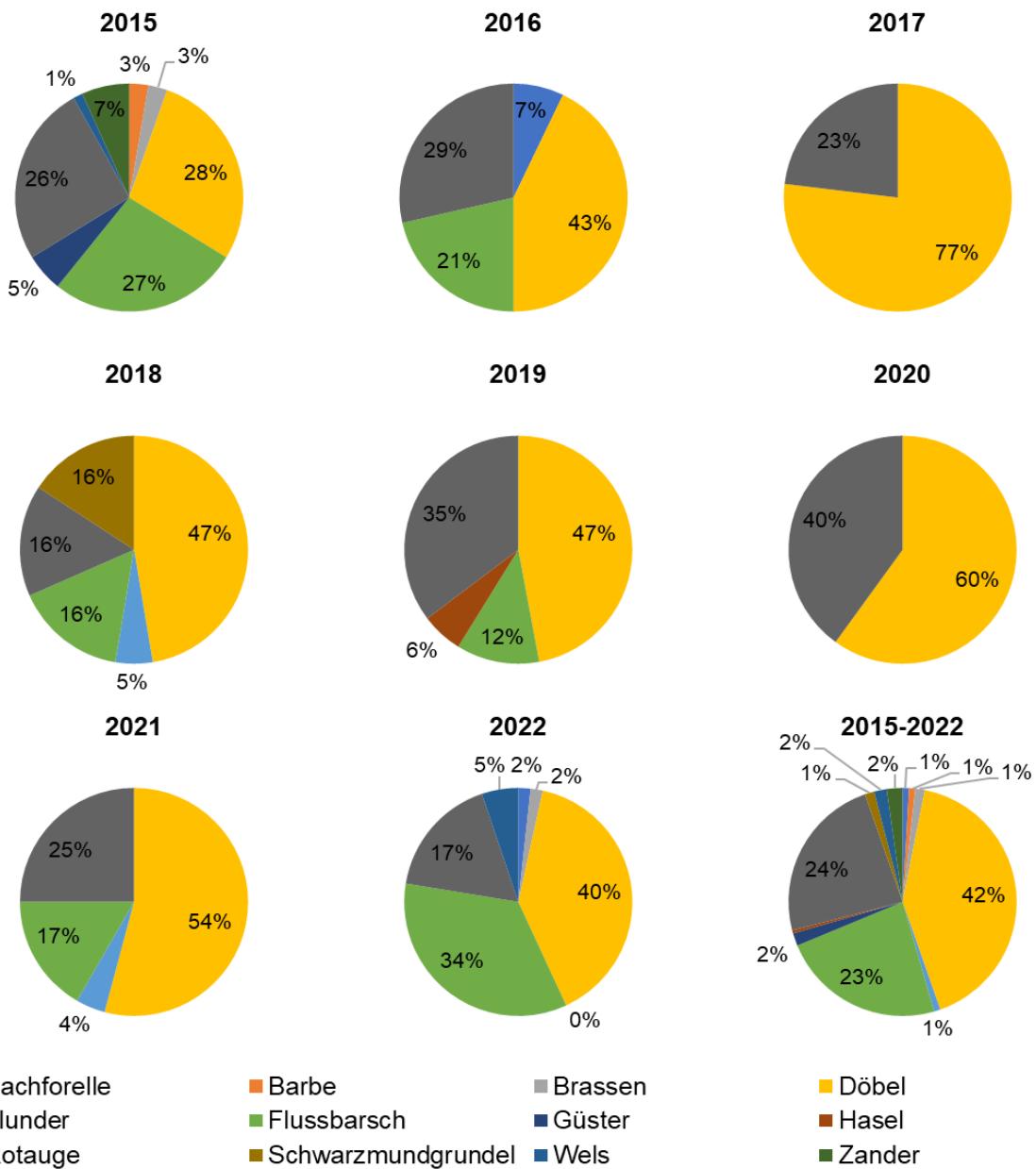


Abbildung 4: Übersichtsgrafik über die gefangenen Fischarten (Relativwerte) pro Jahr.

Die Verteilung der Probenzahlen aller Fischarten auf die verschiedenen Flüsse und Messstellen ist in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt. Von den insgesamt 46 Wasserkörpern der Fische lagen, nach Zusammenlegung von Messstellen innerhalb eines Wasserkörpers, 15 Wasserkörper (33 %) direkt im Rhein, weitere sechs an der Mosel (13 %), vier am Neckar (9 %, Abbildung 5), fünf an der Saar (11 %), drei an der Lahn (7 %),

je zwei an der Sauer und an der Meurthe (je 4 %) sowie neun weitere an den Flüssen Main, Alzette, Blies, Kinzig, Lippe, Ruhr, Schwarzbach, Weschnitz und Wupper (Abbildung 6).

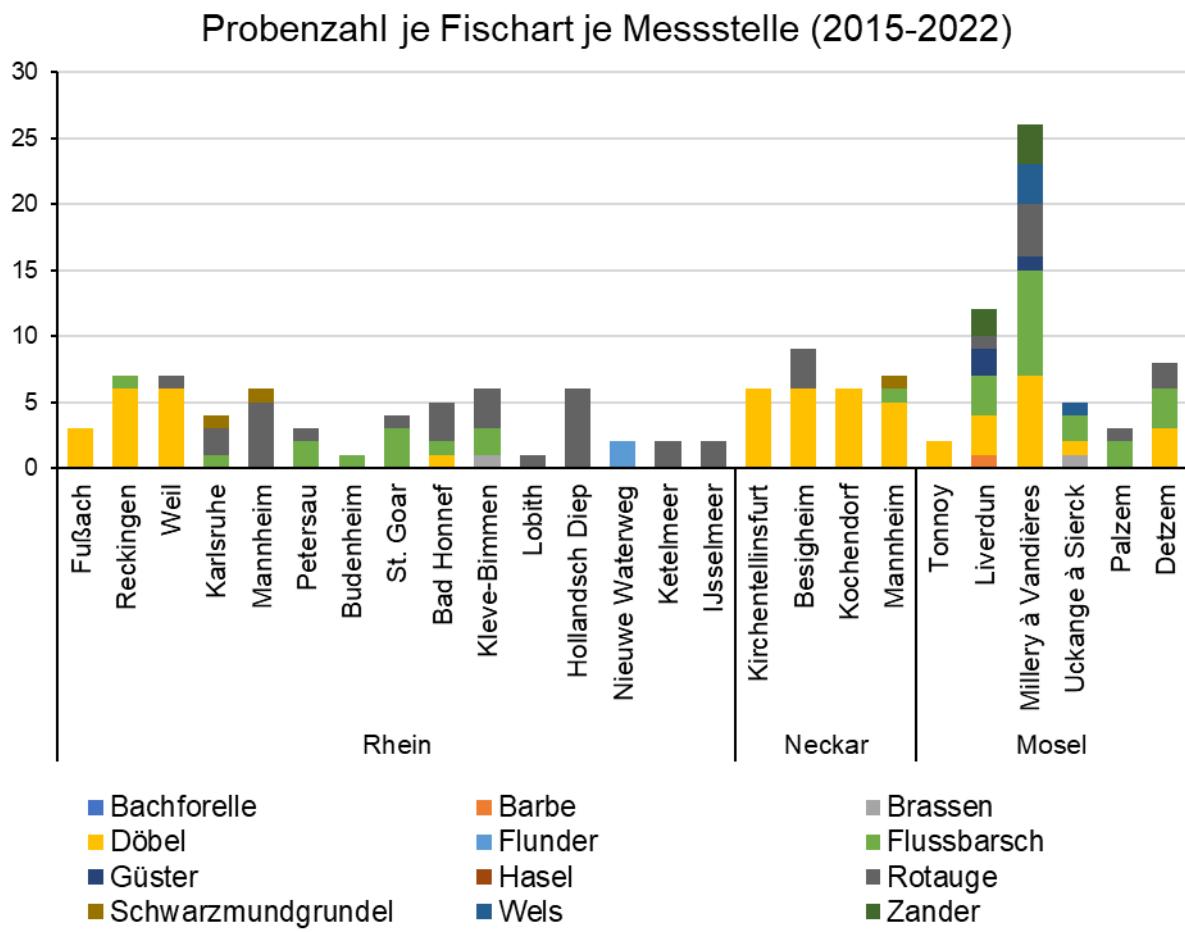


Abbildung 5: Übersicht über die Probenzahlen je Wasserkörper und je gefangener Fischart (Rhein, Neckar, Mosel).

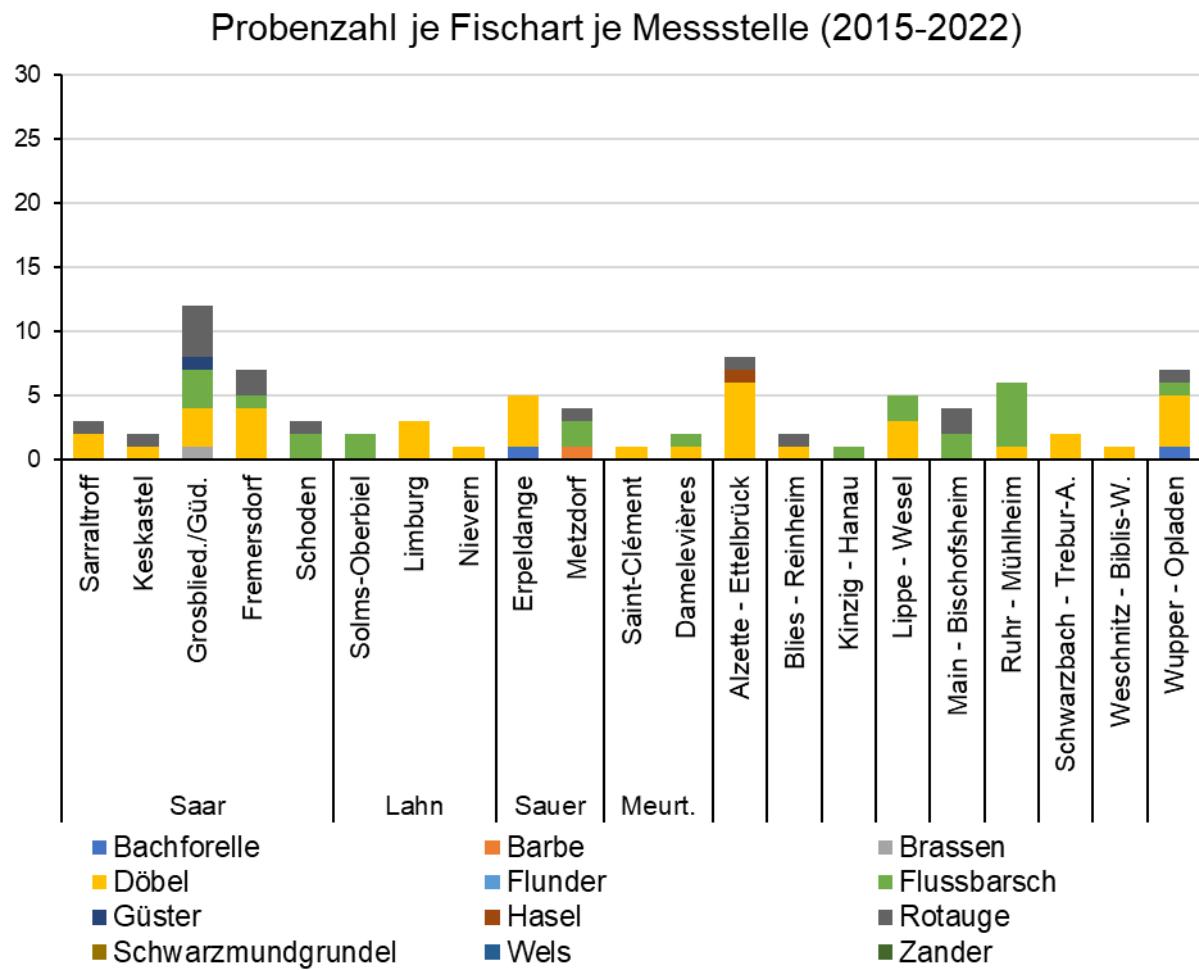


Abbildung 6: Übersicht über die Probenzahlen je Wasserkörper und je gefangener Fischart (Saar, Lahn, Sauer, Meurthe und weitere).

4.1.2 Charakterisierung der Fischarten

Wie im Einleitungstext bereits beschrieben war die Verfügbarkeit der biometrischen Daten der Fische weitestgehend gut. Da für die meisten Fischarten jedoch nur geringe Probenzahlen vorlagen, erfolgte die detaillierte Auswertung der Fischlänge sowie des Gewichts nachfolgend lediglich für die drei am häufigsten beprobten Fischarten Döbel, Flussbarsch und Rotauge, die zusammen etwa 90 % des Probensatzes abdecken.

Die Auswertung der Fischlänge erfolgte in Längenklassen mit Intervallen von 2 cm und ist in Abbildung 7 als Längenverteilung grafisch dargestellt. Die Auswertung der Fischgewichte erfolgte in 50 g-Intervallen und ist in Abbildung 8 dargestellt.

Die deskriptiven Kenndaten der Fischlängen und -gewichte sind in Form von Minimal-, Maximal-, Mittel- und Medianwerten in Tabelle 7 (Fischlängen) und Tabelle 8 (Fischgewichte) dargestellt.

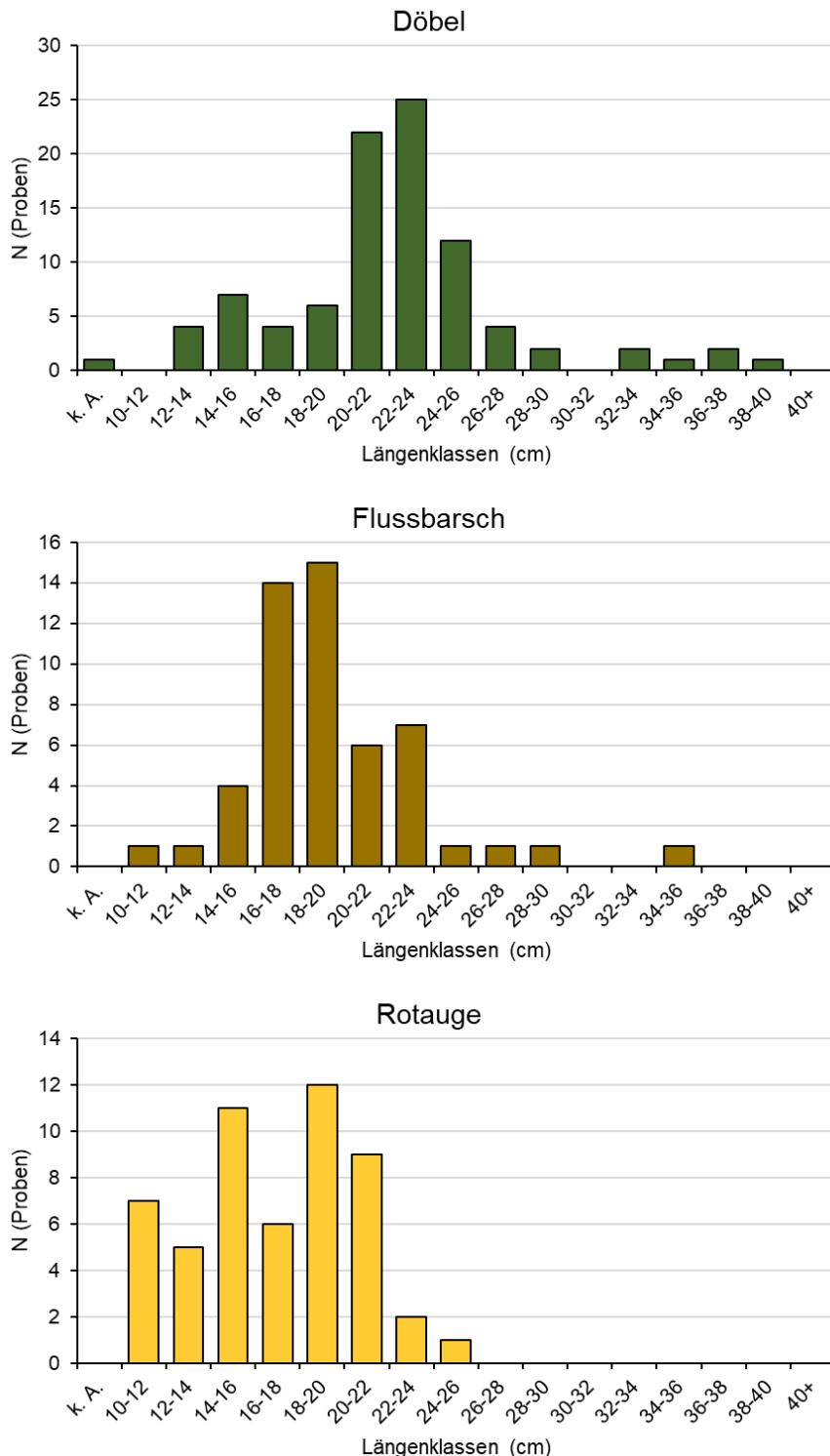


Abbildung 7: Längenverteilung der Döbel-, Flussbarsch- und Rotaugen in Längenklassen (in der Regel Durchschnittswerte einer Poolprobe).

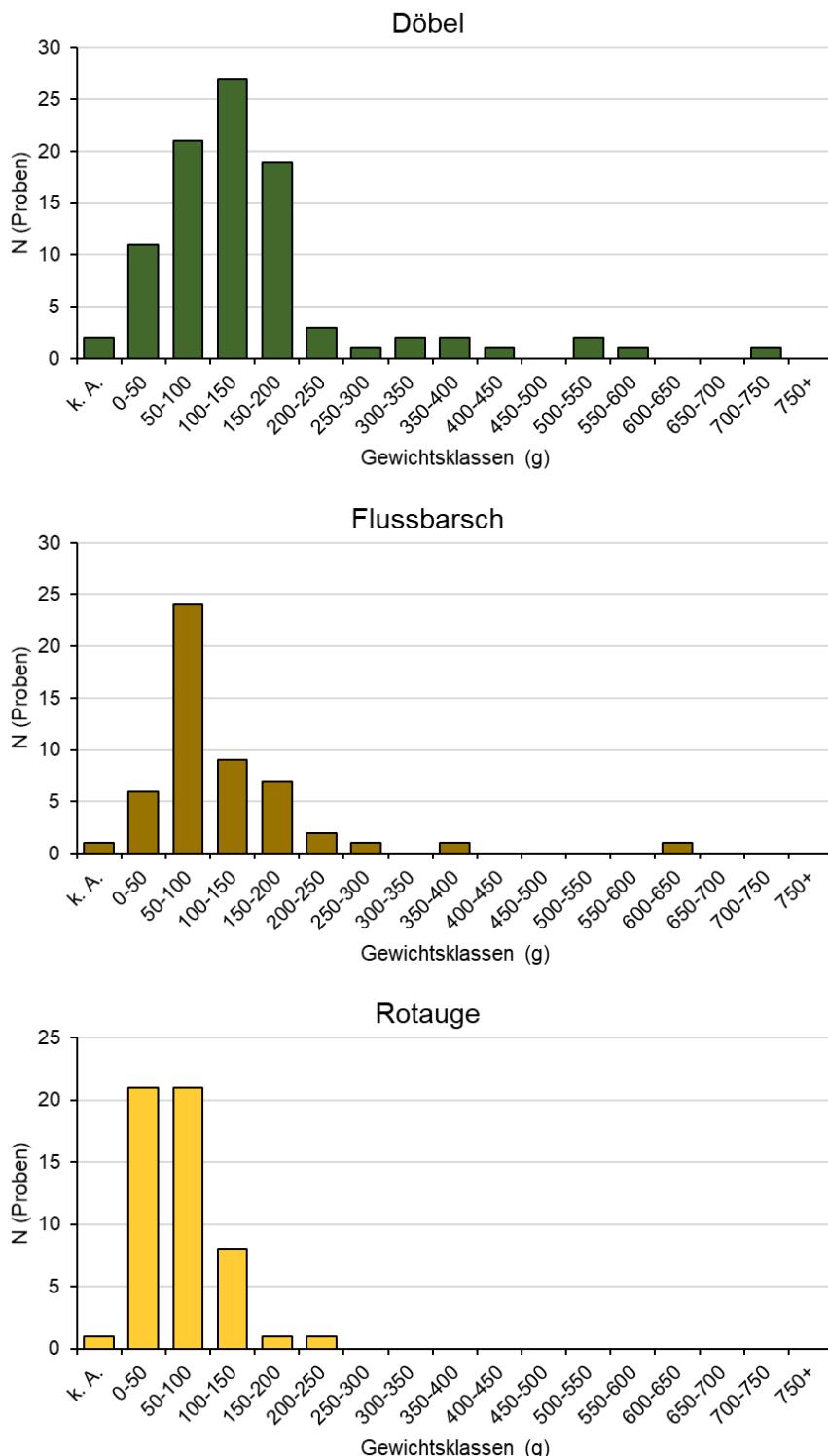


Abbildung 8: Gewichtsverteilung der Döbel-, Flussbarsch- und Rotaugen in Gewichtsklassen (in der Regel Durchschnittswerte einer Poolprobe).

Tabelle 7: Längen der verschiedenen Fischarten: Deskriptive Kenndaten

Fischart	Fischlängen				
	Min [cm]	Max [cm]	Mittelwert [cm]	Median [cm]	N (gesamt)
Bachforelle	20,0	24,6	22,3	22,3	2
Barbe	22,0	22,6	22,3	22,3	2
Brassen	18,9	19,9	19,4	19,3	3
Döbel	12,8	38,0	22,3	22,2	93
Flunder	17,3	19,1	18,2	18,2	2
Flussbarsch	11,5	34,6	19,5	18,8	52
Güster	16,3	19,6	18,4	18,8	4
Hasel	21,1	21,1	21,1	21,1	1
Rotauge	10,1	25,7	16,9	17,3	53
Schwarzmundgrundel	12,7	14,3	13,3	12,8	3
Wels	66,0	80,0	73,3	73,5	4
Zander	25,0	39,5	32,5	33,0	5
Summe					224

Tabelle 8: Gewicht der verschiedenen Fischarten: Deskriptive Kenndaten

Fischart	Fischgewichte				
	Min [g]	Max [g]	Mittelwert [g]	Median [g]	N (gesamt)
Bachforelle	113	165	139	139	2
Barbe	80	115	98	98	2
Brassen	61	100	79	75	3
Döbel	17	720	152	127	93
Flunder	54	77	65	65	2
Flussbarsch	17	636	119	87	52
Güster	49	102	81	87	4
Hasel	136	136	136	136	1
Rotauge	11	242	70	70	53
Schwarzmundgrundel	17	48	33	33	3
Wels ²	1788	1788	1788	1788	4
Zander	131	638	383	380	5
Summe					224

² Für lediglich eine der Wels-Proben lagen Gewichtsangaben vor.

Bei den 5 Zielarten (Rotauge, Döbel, Flussbarsch, Brasse und Güster) war festzustellen, dass die Median- und Durchschnittsgrößen nahe beieinander liegen (der größte Unterschied betrug 0,7 cm beim Flussbarsch) und der angestrebten Größenklasse entsprachen. Eine Ausnahme stellten die Rotaugen dar, die bei einer angestrebten Mindestgröße von 18 cm bei etwa 17 cm Körperlänge lagen.

Für den Parameter Alter erfolgte aufgrund der eingeschränkt verfügbaren Datenbasis keine vertiefende Auswertung innerhalb dieses Berichts. Für 41 Proben (18 %) lagen gar keine Altersangaben für die Fische vor. Anhand der unterschiedlichen Angaben der Altersklassen ließ sich jedoch ableiten, dass der überwiegende Großteil (mindestens 77 %) der hier betrachteten Fische innerhalb beziehungsweise oberhalb der Zielaltersklasse von drei Jahren beziehungsweise drei Sommern (2+) (LAWA-AO, 2020) liegt.

Nachfolgend ist die Verteilung der Fett- (Abbildung 9 und Abbildung 10) und der Trockenmassegehalte (Abbildung 11 und Abbildung 12) aller Fischarten in Form von Boxplot-Grafiken dargestellt. Die grafische Darstellung erfolgt jeweils separat für die Filet- und die Ganzfischproben. Da aufgrund der sehr niedrigen Anzahl an Proben für einige Fischarten nicht immer Perzentile berechnet werden konnten, wurden zusätzlich (wie in Kapitel 3 beschrieben) die Mittelwerte in Form von Rauten dargestellt. Hervorzuheben ist, dass keine genauen Angaben vorlagen, ob sich die Fett- und Trockenmassegehalte auf das untersuchte Probenmaterial (in 85 % aller Proben Filet) bezog oder etwa auf die Ganzfische. Für die Auswertung wird jedoch davon ausgegangen, dass sich die Gehalte auf das betreffende Probenmaterial beziehen.

Die berichteten Fettgehalte im Filet (Abbildung 9) lagen zwischen Minimalwerten von 0,1 % (Döbel, Flussbarsch, Schwarzmundgrundel) und einem Maximalwert von 5,7 % (Brassen). Die Mediane lagen alle (meist deutlich) unterhalb eines Wertes von 5 % (sogar meist unterhalb von 2 %). Der anschließend zur Normalisierung angewandte Fettgehalt von 5 % führt daher meist dazu, dass die für die Bewertung berücksichtigten Kontaminationsniveaus höher sind als die tatsächlich in Fischfilets beobachteten Werte. Die im Median und im Mittelwert niedrigsten Fettgehalte wiesen die Schwarzmundgrundeln (N=3, Mittelwert: 0,2 %) auf, die höchsten Fettgehalte zeigten die Güster (Mittelwert: 4,1 %).

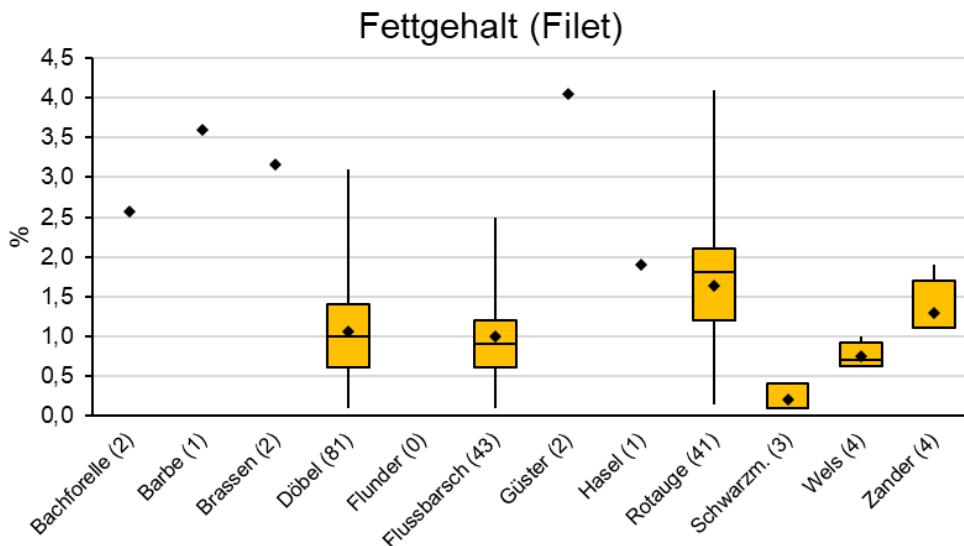


Abbildung 9: Boxplot-Grafik mit den berichteten Fettgehalten in den Filetproben der verschiedenen Fischarten (Raute: Mittelwert; in Klammern: Probenzahl).

Wie Abbildung 10 zeigt, lagen die verfügbaren Fettgehalte in den Ganzfischproben zwischen einem Minimalwert von 1,7 % (Flunder, Rotauge) und einem Maximalwert von 8,6 % (Rotauge). Hervorzuheben ist, dass nur für die Döbel, Flussbarsche und Rotaugen genügend Ganzfischproben mit Fettgehalten berichtet wurden, um sinnvoll alle drei Quartile berechnen zu können (für die anderen Arten wurde daher nur der Mittelwert in der Grafik dargestellt). Es zeigt sich, dass die Mediane der Fettgehalte der Proben von ganzen Flussbarschen und Döbeln unter 5 % lagen (nahe bei 3 %), während die Fettgehalte der Rotaugen leicht darüber lagen (Median: 5,3 %). Der anschließend zur Normalisierung angewandte Fettgehalt von 5 % scheint daher eine realistische Situation für Rotaugen darzustellen, während die Gehalte nach der Normalisierung auf einen Fettmassegehalt von 5 % für Flussbarsche und Döbel als konservativ anzusehen ist (deren Fettgehalte nie 5 % überstiegen). Die im Mittel niedrigsten Fettgehalte wurden in den Ganzfischproben in Flndern (N=2) beobachtet.

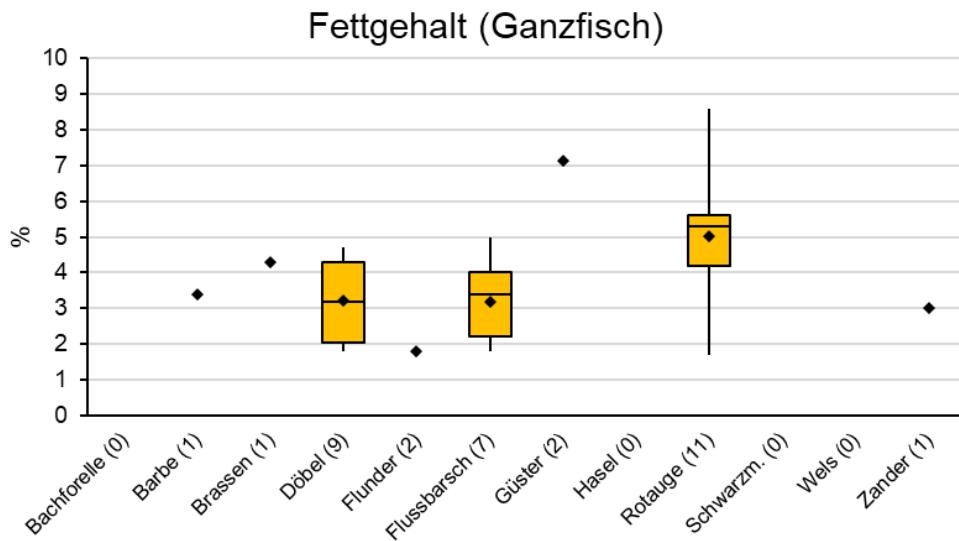


Abbildung 10: Boxplot-Grafik mit den berichteten Fettgehalten in den Ganzfischproben der verschiedenen Fischarten (Raute: Mittelwert; in Klammern: Probenzahl).

Die berichteten Trockenmassegehalte der Filetproben (Abbildung 11) lagen zwischen einem Minimalwert von 8,8 % (Flussbarsch) und einem Maximalwert von 39,3 % (Döbel). Diese beiden Extremwerte erscheinen jedoch eher untypisch. Die Mediane wiederum lagen alle innerhalb eines relativ enggefassten Bereichs von 19,6 % (Wels) bis 25,7 % (Brassen), somit lagen die Trockenmassegehalte im Filet also größtenteils unterhalb des Trockenmassegehalts von 26 %, auf den die spätere Normalisierung erfolgte. Die Mittelwerte schwankten in einer vergleichbaren Größenordnung.

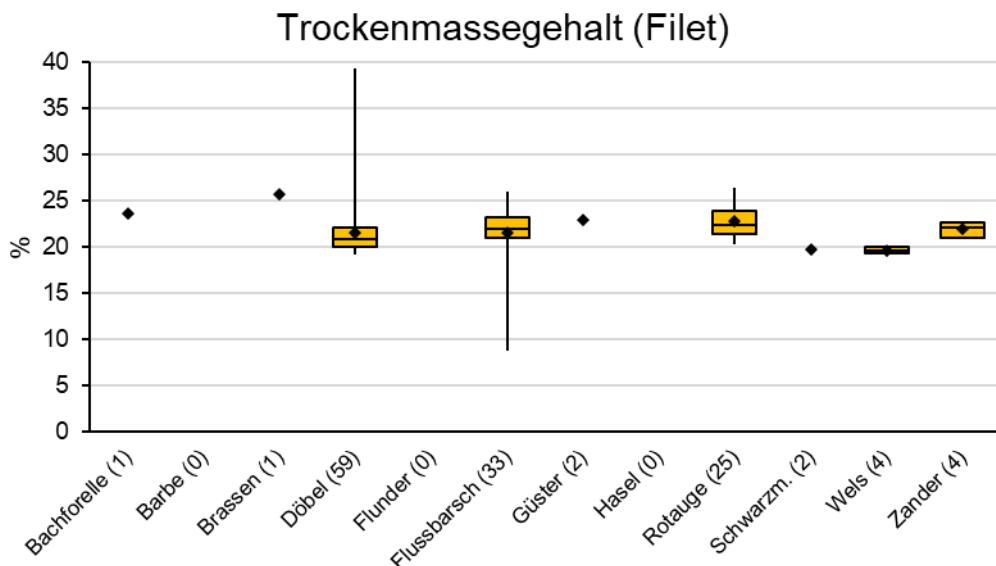


Abbildung 11: Boxplot-Grafik mit den berichteten Trockenmassegehalten in den Filetproben der verschiedenen Fischarten (Raute: Mittelwert; in Klammern: Probenzahl).

Die Trockenmassegehalte der Ganzfischproben lagen in der Regel etwas oberhalb der Trockenmassegehalte in den Filetproben. In den Ganzfischproben schwankten die Trockenmassegehalte zwischen einem Minimalwert von 19,3 % (Flunder) und einem Maximalwert von 29,2 % (Rotauge). Die Mittelwerte der Trockenmassegehalte in den Ganzfischproben lagen nahe an den Medianen und bewegten sich zwischen 20,0 % (Flunder, N=2) und 27,3 % (Güster, N=2). Die geringe Differenz zwischen dem 25. und dem 75. Perzentil zeugt von einer schmalen Verteilung der beobachteten Ergebnisse.

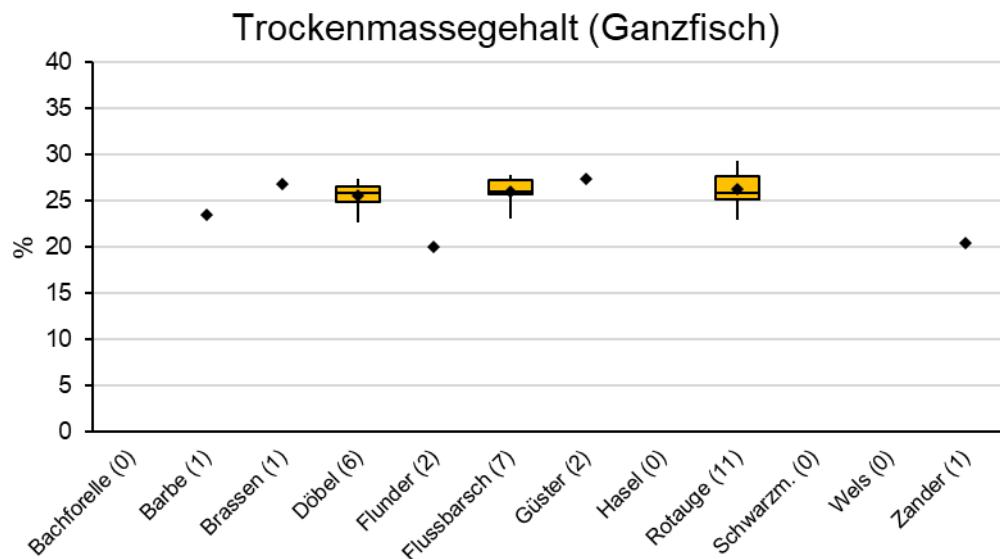


Abbildung 12: **Boxplot-Grafik mit den berichteten Trockenmassegehalten in den Ganzfischproben der verschiedenen Fischarten (Raute: Mittelwert; in Klammern: Probenzahl).**

4.1.3 Vergleich von Filet- und Ganzfisch-Daten

Die Analysen wurden entweder im Filet oder im Ganzfisch durchgeführt. Um eine Vergleichbarkeit zwischen Filet- und Ganzfischdaten zu gewährleisten und um die Daten auf das für die Überwachung der Umweltqualitätsnorm relevante Probenmaterial beziehen zu können, wurden jeweils die Daten so weit wie möglich auf ganze Fische oder Filets entsprechend dem Schutzziel, das die UQN bestimmt (Mensch oder Ökosystem), umgerechnet. Für Quecksilber, PFOS, Dioxine und dioxinähnliche Verbindungen, Hexabromcyclododecan, PBDE und Hexachlorbenzol lagen die dazu benötigten Umrechnungsfaktoren vor (Radermacher et al., 2019), sodass neben dem Vergleich der Probenmaterialien auch entsprechende Effekte der Umrechnungen betrachtet werden konnten. Für Hexachlorbutadien, Dicofol sowie Heptachlor und Heptachlorepoxyd waren Umrechnungsfaktoren nicht verfügbar, sodass nur der Vergleich zwischen analytischen Filet- und Ganzfischdaten erfolgen konnte. Im Fall des Pestizids Dicofol konnte kein Wert oberhalb der labor-spezifischen Bestimmungsgrenze bestimmt werden. Da die Bestimmungsgrenzen der unterschiedlichen Labore jedoch alle unterhalb der Biota-UQN von 33 µg/kg FG lagen, gilt diese Grenze grundsätzlich als überwachbar.

Für jeden der einzelnen Stoffe beziehungsweise jede Stoffgruppe (Ausnahme: Dicofol) finden sich in Abbildung 13 bis Abbildung 17 entsprechende Boxplots für den gesamten Fischdatensatz, die die Gehalte in Filet und im Ganzfisch sowie die Kumulation von Werten nach der Umrechnung vom Ganzfisch auf das Filet vergleichen. Aus Gründen der Einheitlichkeit und der Vergleichbarkeit wurden alle Daten auf das Filet und nicht wie bei den Stoffen mit dem Schutzgut Ökosystem (Hexachlorbutadien, Hexabromcyclododecan, Quecksilber) üblich auf den Ganzfisch umgerechnet. Alle dargestellten Werte wurden für die Auswertung in diesem Kapitel zudem vorab auf den Trockenmassegehalt (Quecksilber und PFOS) oder auf den Fettgehalt (alle anderen Stoffe) normalisiert. Daten, für die aufgrund fehlender Fett- beziehungsweise Trockenmassegehalte keine Normalisierung erfolgen konnte, wurden bei diesem Vergleich nicht berücksichtigt. Bei den auf den Fettgehalt zu normalisierenden Schadstoffen standen somit etwa 97 % des Datensatzes zu Verfügung, bei den auf den Trockenmassegehalt zu normalisierenden Schadstoffen waren es lediglich 72 % des Probensatzes, die berücksichtigt wurden.

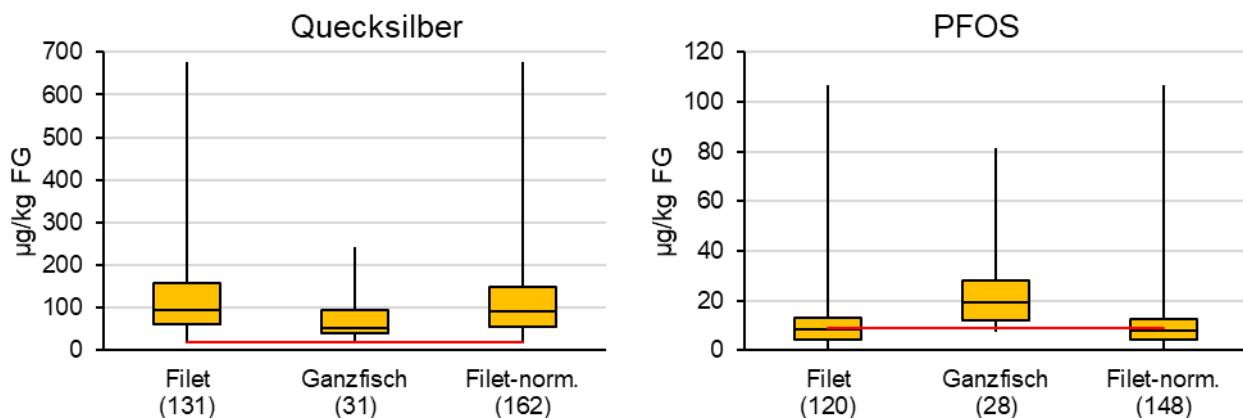


Abbildung 13: Vergleich der analytischen Daten in Filet- und in Ganzfisch-Proben sowie Vergleich der auf das Filet-umgerechneten Daten (Filet-normalisiert). Quecksilber (TM-Normalisierung, UQN: 20 µg/kg FG) und PFOS (TM-Normalisierung, UQN: 9,1 µg/kg FG). Rote Linie: Umweltqualitätsnorm; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.

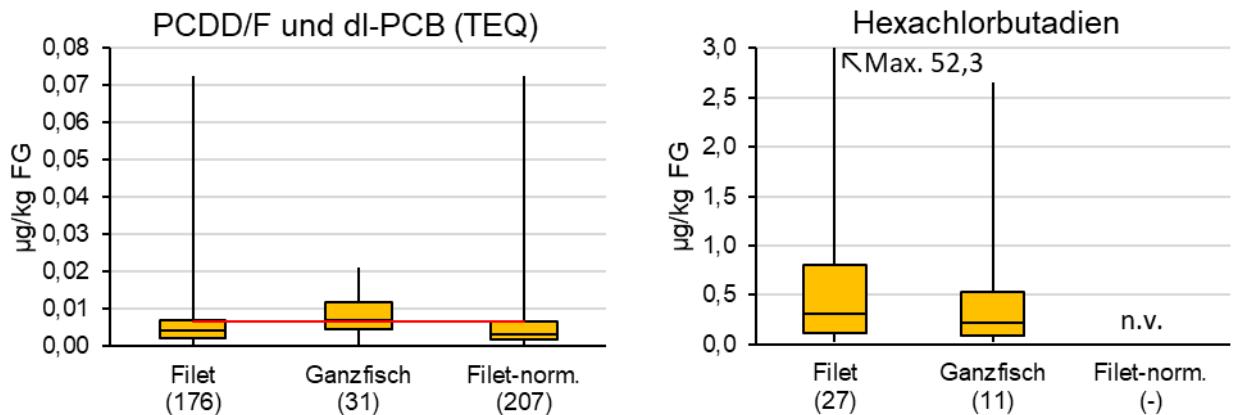


Abbildung 14: Vergleich der analytischen Daten in Filet- und in Ganzfisch-Proben sowie Vergleich der auf das Filet-umgerechneten Daten (Filet-normalisiert). PCDD/F+dl-PCB (Fett-Normalisierung, UQN: 0,0065 µg/kg FG) und Hexachlorbutadien (Fett-Normalisierung, keine Umrechnung möglich, n. v.: nicht verfügbar, UQN 55 µg/kg FG). Rote Linie: Umweltqualitätsnorm; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.

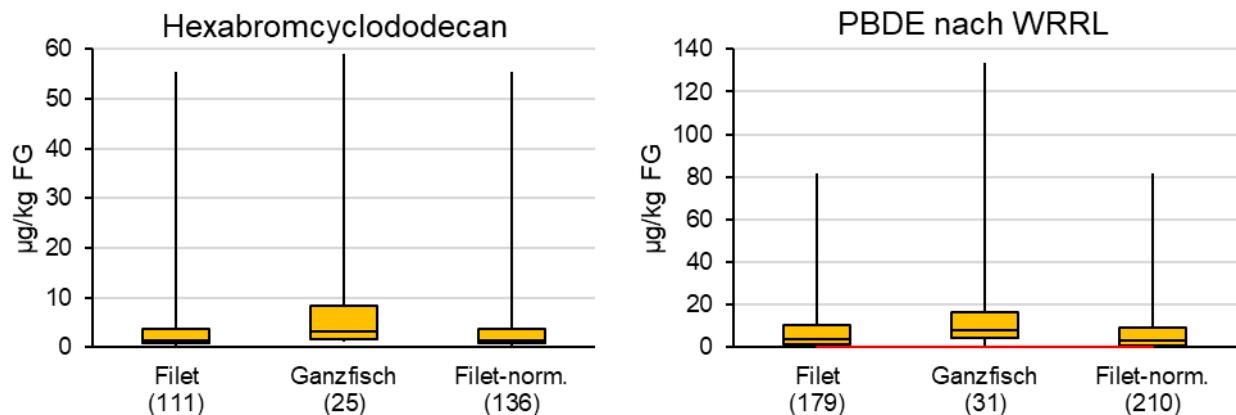


Abbildung 15: Vergleich der analytischen Daten in Filet- und in Ganzfisch-Proben sowie Vergleich der auf das Filet-umgerechneten Daten (Filet-normalisiert). Hexabromcyclododecan (Fett-Normalisierung, UQN 167 µg/kg FG) und PBDE nach WRRL (Fett-Normalisierung, UQN: 0,0085 µg/kg FG). Rote Linie: Umweltqualitätsnorm in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.

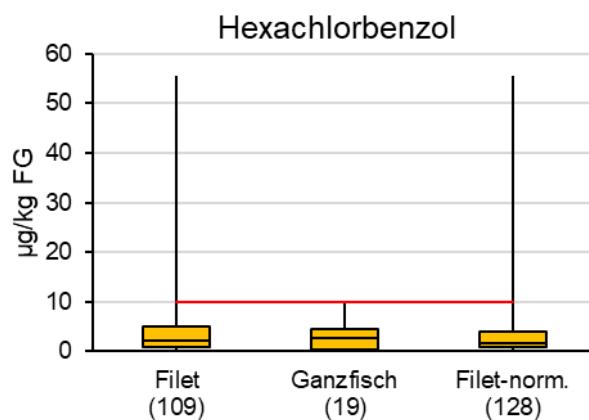


Abbildung 16: Vergleich der analytischen Daten in Filet- und in Ganzfisch-Proben sowie Vergleich der auf das Filet-umgerechneten Daten (Filet-normalisiert). Hexachlorbenzol (Fett-Normalisierung, UQN: 10 µg/kg FG). Rote Linie: Umweltqualitätsnorm; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.

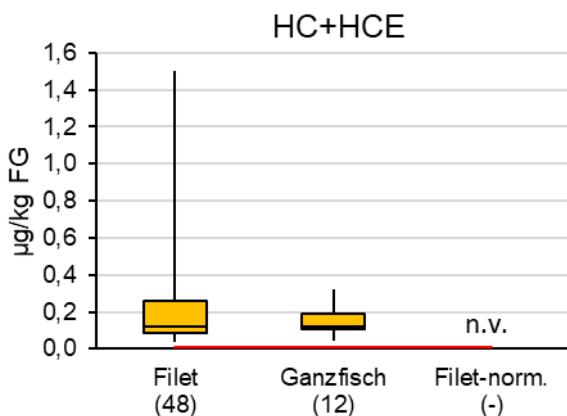


Abbildung 17: Vergleich der analytischen Daten in Filet- und in Ganzfisch-Proben sowie Vergleich der auf das Filet-umgerechneten Daten (Filet-normalisiert). Heptachlor und Heptachlorepoxyd (Fett-Normalisierung, keine Umrechnung möglich, n. v.: nicht verfügbar, UQN: 0,0067 µg/kg FG). Rote Linie: Umweltqualitätsnorm; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.

Der grafische Vergleich zeigte zum Teil erhebliche Unterschiede zwischen den Filet- und Ganzfischproben. Während die Quecksilberbelastung im Ganzfisch niedriger ausfiel als im Filet, war sie bei PFOS, den Dioxinen und dioxinähnlichen Verbindungen, Hexabromcyclododecan und PBDE im Ganzfisch höher als im Filet, was mit der Literatur und den bekannten Umrechnungsfaktoren übereinstimmt. Im Falle von Hexachlorbutadien, Hexachlorbenzol sowie Heptachlor und Heptachlorepoxyd überschritten sich die Boxplots von Filet und Ganzfisch erkennbar, sodass hier von geringfügigen Unterschieden bei der Verteilung im Gewebe auszugehen ist (mit Ausnahme einiger Extremwerte, die am Filet außerhalb der Boxplot-Grafiken beobachtet wurden).

Bei allen Stoffen und Stoffgruppen, für die Umrechnungsfaktoren zwischen Filet und Gesamtfisch vorlagen, ermöglichte die Umrechnung auf das Filet eine Angleichung der Boxplots, was die Relevanz der verwendeten Faktoren bestätigt. Dies ermöglichte es, die Filet- und Gesamtfischdaten nach der angestrebten Umrechnung auf das Gewebe gemeinsam auszuwerten. Mangels Umrechnungsfaktoren konnten die Ergebnisse für Hexachlorbutadien sowie Heptachlor und Heptachlorepoxyd nicht umgerechnet werden. Jedoch schienen die Gehalte dieser Substanzen in Filet- und Gesamtfisch-Proben, wie zuvor angegeben, durchaus gut vergleichbar und die auswertbaren Datensätze waren für eine getrennte Auswertung von Filet und Ganzfisch teilweise sehr klein (insbesondere wenn, wie im folgenden Kapitel geschildert, noch die Unterscheidung zwischen Omni- und Carnivoren berücksichtigt wird). Aus diesem Grund wurden Filet- und Ganzfisch-Daten für die weitere Auswertung von Hexachlorbutadien sowie Heptachlor und Heptachlorepoxyd zusammengefasst.

4.1.4 Vergleich von omni- und carnivoren Fischarten

Der vorliegende Datensatz enthielt wie zuvor beschrieben 224 Fischproben von zwölf verschiedenen Fischarten unterschiedlichster trophischer Positionen. Da die hier betrachteten Stoffe und Stoffgruppen bioakkumulativ sind, wurde untersucht, inwiefern sich omni- und carnivore Fischarten hinsichtlich ihrer chemischen Belastungen unterscheiden. Als omnivore Fischarten werden hier Fischarten betrachtet, die sich maßgeblich herbivor und/oder insektivor ernähren, währenddessen der Begriff carnivor für Fischarten genutzt wird, die sich signifikant piscivor ernähren. Tabelle 9 zeigt die Zuordnung der Fischarten in die beiden Klassen.

Tabelle 9: Einordnung der Fischarten in Omnivore und Carnivore.

Omnivore	Carnivore
Barbe	Bachforelle
Brassen	Flussbarsch
Döbel	Wels
Flunder	Zander
Güster	
Hasel	
Rotauge	
Schwarzmundgrundel	

Für den Vergleich der Schadstoffbelastung von omni- und carnivoren Fischarten wurden einerseits grafische Boxplots erstellt und andererseits ein t-Test zweier unabhängiger Stichproben durchgeführt. Alle Daten wurden für die Auswertung in diesem Kapitel wie zuvor beschrieben auf den Trockenmassegehalt von 26 % (Quecksilber, PFOS) beziehungsweise auf den Fettgehalt von 5 % (alle Stoffe/Stoffgruppen mit Ausnahme von Quecksilber und PFOS) normalisiert. Zudem erfolgte die Umrechnung der Substanzgehalte auf das für die UQN-Überwachung relevante Probenmaterial gemäß Tabelle 5. Wie im vorangegangenen Kapitel erläutert, war diese Umrechnung für Hexachlorbutadien sowie Heptachlor und Heptachlorepoxyd aufgrund mangelnder Umrechnungsfaktoren nicht möglich und Filet- und Ganzfischdaten wurden gemeinsam ausgewertet. Die grafischen Darstellungen in Form von Boxplots finden sich in Abbildung 18 bis Abbildung 22.

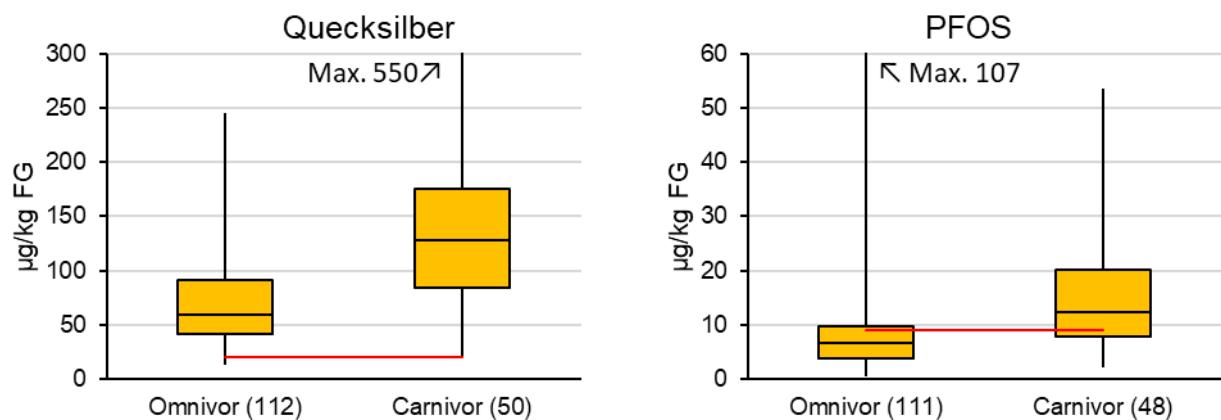


Abbildung 18: Vergleich der chemischen Belastung von omni- und carnivoren Fischarten. Teil 1:
 Quecksilber (TM-Normalisierung, Umrechnung auf Ganzfisch, UQN: 20 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$) und
 PFOS (TM-Normalisierung, Umrechnung auf Filet, UQN: 9,1 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$). Rote Linie:
 Umweltqualitätsnorm; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.

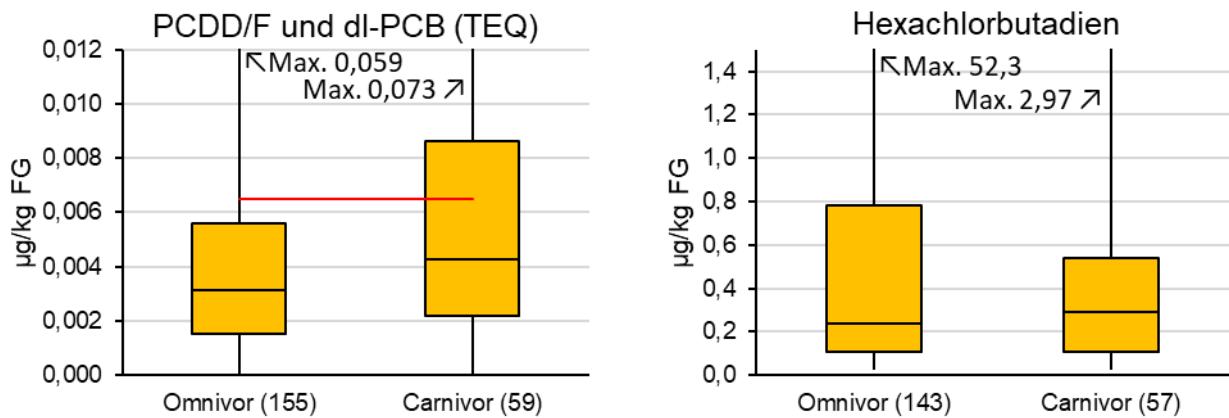


Abbildung 19: Vergleich der chemischen Belastung von omni- und carnivoren Fischarten. Teil 2:
 PCDD/F+dl-PCB (Fett-Normalisierung, Umrechnung auf Filet, UQN: 0,0065 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$) und
 Hexachlorbutadien (Fett-Normalisierung, Filet- und Ganzfisch-Proben, UQN: 55 $\mu\text{g}/\text{kg}$
 FG). Rote Linie: Umweltqualitätsnorm (Hexachlorbutadien: UQN außerhalb des
 dargestellten Bereichs); in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.

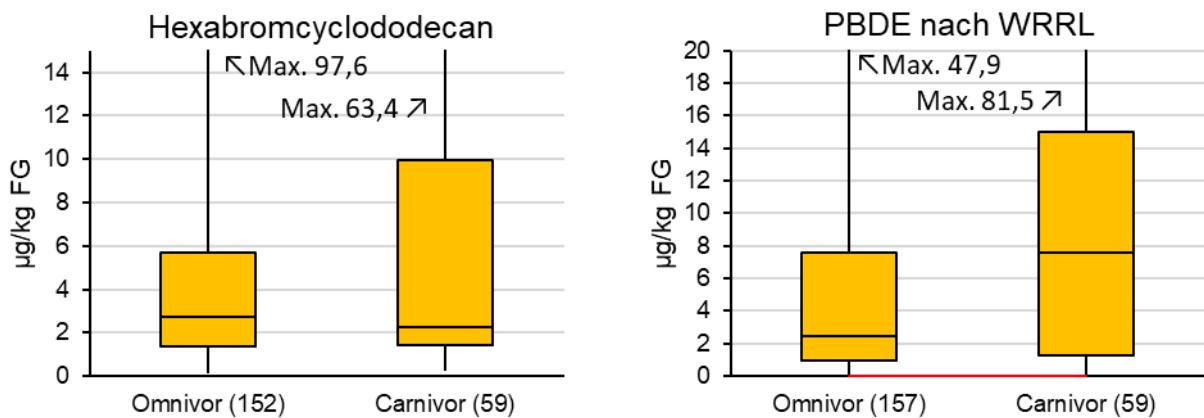


Abbildung 20: Vergleich der chemischen Belastung von omni- und carnivoren Fischarten. Teil 3:
 Hexabromcyclododecan (Fett-Normalisierung, Umrechnung auf Ganzfisch, UQN: 167
 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$) und PBDE nach WRRL (Fett-Normalisierung, Umrechnung auf Filet, UQN:
 0,0085 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$). Rote Linie: Umweltqualitätsnorm (Hexabromcyclododecan: UQN
 außerhalb des dargestellten Bereichs); in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.

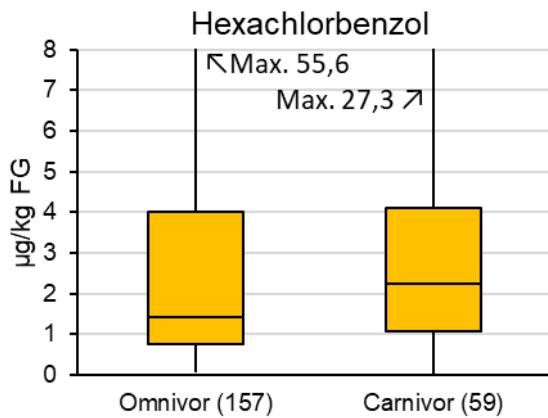


Abbildung 21: Vergleich der chemischen Belastung von omni- und carnivoren Fischarten. Teil 4: Hexachlorbenzol (Fett-Normalisierung, Umrechnung auf Filet, UQN: 10 µg/kg FG). Rote Linie: Umweltqualitätsnorm (Hexachlorbenzol: UQN außerhalb des dargestellten Bereichs); in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.

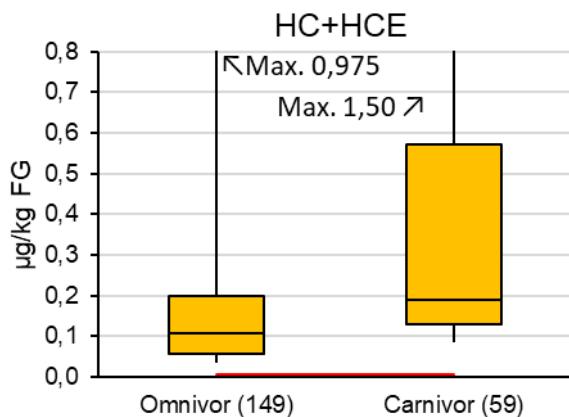


Abbildung 22: Vergleich der chemischen Belastung von omni- und carnivoren Fischarten. Teil 5: Heptachlor und Heptachlorepoxyd (Fett-Normalisierung, Filet- und Ganzfischproben, UQN: 0,0067 µg/kg FG). Rote Linie: Umweltqualitätsnorm; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.

Eine Übersicht über die p-Werte des t-Tests sowie die Anzahl der zugrunde liegenden Proben findet sich in Tabelle 10. Für die Erstellung der oben dargestellten Boxplots sowie für die Berechnung des t-Tests wurden nur Werte oberhalb der labor- und substanzspezifischen Bestimmungsgrenze genutzt. Werte unterhalb der Bestimmungsgrenzen wurden nicht berücksichtigt.

Tabelle 10: Vergleich der chemischen Belastung von omni- und carnivoren Fischarten. N (gesamt): Zahl aller gelieferten Datensätze; N (nutzbar): Zahl aller Datensätze, bei denen eine Normalisierung möglich war; N (>LOQ): Zahl aller nutzbaren Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze; p (t-Test): Ergebnis des t-Tests zweier unabhängiger Stichproben. Fettmarkiert: signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

	Omnivore			Carnivore			p (t-Test)
	N (gesamt)	N (nutzbar)	N (>LOQ)	N (gesamt)	N (nutzbar)	N (>LOQ)	
Quecksilber	160	112	112	63	50	50	5,89 *10⁻⁶
PFOS	159	111	102	61	48	46	0,00307
PCDD/F+dl-PCB	160	155	149	61	59	58	0,0712
HCBD	146	143	132	59	57	51	0,264
HBCDD	159	152	95	61	59	49	0,326
PBDE	160	157	154	61	59	56	0,000176
Hexachlorbenzol	160	157	110	61	59	29	0,413
HC+HCE	160	149	138	61	59	53	0,0821

Wie Tabelle 10 zeigt, konnte für Quecksilber, PFOS und PBDE ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen omni- und carnivoren Fischarten festgestellt werden. In diesen Fällen erfolgte die weitere Auswertung aus diesem Grund und in Absprache mit der IKSР separat für omni- und carnivore Fischarten beziehungsweise nur für omnivore Fischarten: Für die Übersicht über die Schadstoffgehalte (Kapitel 4.1.5) lagen genügend Daten für eine separate Auswertung aller Stoffe und Stoffgruppen vor, sodass hier alle Daten separat ausgewertet wurden. Für den räumlichen Vergleich (Kapitel 4.1.6) wurde für die o. g. drei Stoffe beziehungsweise Stoffgruppen in Absprache mit der IKSР entschieden, dass diese Auswertung ausschließlich für Omnivore erfolgt, zumal für die Carnivoren keine ausreichend große Datengrundlage für eine separate Auswertung vorlagen. Einzig für PFOS wurden zusätzlich gemeinsame Belastungskarten für Omni- und Carnivore erstellt. Die Datensätze von carnivoren Fischarten wurden folglich für den räumlichen Vergleich der Belastungen von Quecksilber und PBDE nicht berücksichtigt. Für die Dioxine und dioxinähnlichen Verbindungen, Hexachlorbutadien, Hexabromcyclododecan, Hexachlorbenzol sowie Heptachlor und Heptachlorepoxyd erfolgte die Auswertung der räumlichen Verteilung gemeinsam für Omnivore und Carnivore, da die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant waren.

4.1.5 Übersicht über Schadstoffgehalte

Nach Bereinigung des ursprünglichen Datensatzes von ursprünglich etwa 7 900 Analyseergebnissen (zuzüglich Metadaten: Größe, Gewicht etc.) enthielt der final ausgewertete Datensatz insgesamt 2022 unterschiedliche Analysenwerte von zehn

verschiedenen Substanzparametern in insgesamt 224 Fischproben. Folglich bestand eine gute Datengrundlage für die Auswertung. Fast alle Schadstoffe beziehungsweise Schadstoffgruppen wurden in über 200 aller Proben (entspricht etwa 90 %) gemessen.

4.1.5.1 Nicht-normalisierte Schadstoffgehalte

Die deskriptiven Daten der Schadstoffbelastungen sind nachfolgend in Tabelle 11 bis Tabelle 13 zusammengefasst und umfassen Minimal- und Maximalwert (inkl. des zugehörigen Wasserkörpers) sowie das Mittel inkl. Standardabweichung, den Median, den relativen Anteil der Proben mit einer Überschreitung der Umweltqualitätsnorm sowie die Möglichkeit, die Einhaltung der jeweiligen Umweltqualitätsnorm zu überprüfen. Die Auswertung erfolgte separat für omnivore (Tabelle 11) und carnivore (Tabelle 12) Fischarten sowie für beide Gruppen gemeinsam (Tabelle 13).

Für Quecksilber lag ursprünglich ein praktisch vollständiger Datensatz vor ($N = 223$). Nur für eine Probe wurden keine analytischen Quecksilber-Daten berichtet. In allen auf Quecksilber untersuchten Proben konnte Quecksilber mit einer Detektionsrate von 100 % quantifiziert werden. Von den 223 Werten fielen 160 auf omnivore und weitere 63 auf carnivore Fischarten. Die Biota-UQN von 20 µg/kg FG wurde ohne Berücksichtigung der Trockenmasse-Normalisierung in 94 % aller Proben der Omnivoren und in 95 % aller Proben der Carnivoren überschritten. Dies deckte sich mit früheren Auswertungen aus dem Rhein, aber auch mit praktisch allen anderen Flüssen Deutschlands (IKSR, 2018; Umweltbundesamt, 2023). Der höchste Gehalt in omnivoren Fischen lag bei 260 µg/kg FG und wurde in der Mosel bei Detzem gemessen. In carnivoren Fischen wurde der höchste Gehalt mit 421 µg/kg FG ebenfalls in der Mosel (Millery – Vandières) gemessen und lag somit deutlich höher als bei den omnivoren Fischarten.

Die Gruppe der PBDE konnte ebenfalls im Großteil aller untersuchten Proben nachgewiesen werden (Detektionsrate im Gesamtprobensatz: 97 %). Hier zeigte sich zudem eine ähnlich hohe Rate an UQN-Überschreitungen der sechs Indikator-PBDE gemäß WRRL wie bei Quecksilber. Die Biota-UQN für PBDE von 0,0085 µg/kg FG wurde in 96 % aller nutzbaren Proben (omnivor: 97 %, carnivor: 93 %) überschritten. Die höchste Belastung in omnivoren Fischen wurde mit einem Wert von 16,1 µg/kg FG in der Mosel im Wasserkörper Millery – Vandières gemessen. Der höchste Gehalt in Carnivoren wurde im gleichen Wasserkörper nachgewiesen und lag mit einem Wert von 16,8 µg/kg FG etwa auf dem gleichen Level. Die flächenhafte Überschreitung der Biota-UQN durch PBDE wurde ebenfalls in der Literatur beschrieben (IKSR, 2018; Umweltbundesamt, 2023).

Für die anderen hier berichteten Substanzen und Substanzgruppen lag der Anteil der UQN-Überschreitungen meist deutlich niedriger. Für PFOS lag dieser Wert in carnivoren Fischen bei 66 % beziehungsweise für omnivore Fische bei 20 %. Die Umweltqualitätsnorm für

Heptachlor und Heptachlorepoxyd (0,0067 µg/kg FG) wurde in 31 % (Omnivore) beziehungsweise 25 % (Carnivore) aller Proben überschritten. Für Dioxine und dioxinähnlichen Verbindungen, Dicofol, Hexachlorbutadien, Hexachlorbenzol und Hexabromcyclododecan wurde die jeweilige Biota-UQN in allen untersuchten Gewässerabschnitten des Rheineinzugsgebiets eingehalten, sofern die Daten nicht auf Fett oder Trockenmasse normalisiert wurden.

Im Fall des Pestizids Dicofol konnte kein Wert oberhalb der labor-spezifischen Bestimmungsgrenze bestimmt werden. Da die Bestimmungsgrenzen der unterschiedlichen Labore jedoch alle unterhalb der Biota-UQN von 33 µg/kg FG lagen, gilt diese Grenze grundsätzlich als überwachbar.

Heptachlor und Heptachlorepoxyd konnten in 31 % aller nutzbaren Proben mit Gehalten oberhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze quantifiziert werden. In 29 % aller Proben lag der ermittelte Gehalt oberhalb der Biota-UQN von 0,0067 µg/kg FG (Omnivore: 31 %, Carnivore: 25 %). Problematisch im Fall von Heptachlor und Heptachlorepoxyd war, dass die Bestimmungsgrenzen zahlreicher Labore zum Teil deutlich oberhalb der Biota-UQN lagen. Die Proben, die in Laboren mit ausreichend niedrigen Bestimmungsgrenzen untersucht wurden, fielen oftmals wegen einer UQN-Überschreitung auf. Folglich ist die Überwachbarkeit der Umweltqualitätsnorm grundsätzlich gegeben, sie ist aber sehr stark von der Laborauswahl abhängig und wird deshalb in Tabelle 11 bis Tabelle 13 als „bedingt“ eingestuft. Aufgrund des relativ hohen Anteils an UQN-Überschreitungen bei ausreichend niedrigen Bestimmungsgrenzen wird die Überwachung der Umweltqualitätsnorm bei gleichzeitiger Auswahl von ausreichend sensitiven Laboren empfohlen, da von einer nahezu flächendeckenden Überschreitung der UQN ausgegangen werden muss.

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Studiencode IME: 2023-030

- Seite 64/211 -

Tabelle 11: Zusammenfassung der nicht-normalisierten Schadstoffgehalte in omnivoren Fischen: deskriptive Kenndaten über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2022. Alle Daten wurden auf das für die UQN-Überwachung relevante Probenmaterial umgerechnet, für HCBD und HC+HCE wurden Filet und Ganzfisch zusammengefasst.

Stoff(gruppe)	N	Mittelwert [µg/kg FG]	SD [µg/kg FG]	Median [µg/kg FG]	Min [µg/kg FG]	Max [µg/kg FG]	Wasserkörper mit Maximalbelastung	UQN ³⁻ Überschreitung	UQN überwachbar?
Hg	160	57,1	38,3	45,7	8,9	260	Mosel - Detzem	94 %	Ja
PFOS	159	7,83	11,4	5,02	<LOQ	91	Rhein - Karlsruhe	20 %	Ja
PCDD/F+dl-PCB ⁴	158	0,00102	0,000960	0,000715	<LOQ	0,0061	Mosel - Liverdun	0 %	Ja
HCBD	146	0,61	2,01	0,140	<LOQ	11,5	Lippe - Wesel	0 %	Ja
HBCDD	155	1,95	2,4	1,00	<LOQ	12,2	Saar - Güdingen/Grosbliederstr.	0 %	Ja
PBDE	160	1,19	1,83	0,73	<LOQ	16,1	Mosel - Millery – Vandières	97 %	Ja
HCB	160	0,69	0,81	0,35	<LOQ	5,0	Rhein - Karlsruhe	0 %	Ja
Dicofol	23	<LOQ	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Alzette - Ettelbrück	0 %	Ja
HC + HCE	152	0,0564	0,0637	0,0264	<LOQ	0,350	Rhein - Hollandsch Diep	31 %	Bedingt

³ Gemäß Richtlinie 2013/39/EU

⁴ Als WHO-TEQ

Tabelle 12: Zusammenfassung der nicht-normalisierten Schadstoffgehalte in carnivoren Fischen: deskriptive Kenndaten über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2022. Alle Daten wurden auf das für die UQN-Überwachung relevante Probenmaterial umgerechnet, für HCBD und HC+HCE wurden Filet und Ganzfisch zusammengefasst.

Stoff(gruppe)	N	Mittelwert [µg/kg FG]	SD [µg/kg FG]	Median [µg/kg FG]	Min [µg/kg FG]	Max [µg/kg FG]	Wasserkörper mit Maximalbelastung	UQN ⁵ - Überschreitung	UQN überwachbar?
Hg	63	113	66,5	106	9,74	421	Mosel - Millery – Vandières	95 %	Ja
PFOS	61	14,9	10,9	11,9	<LOQ	57,8	Mosel - Palzem	66 %	Ja
PCDD/F+dl-PCB ⁶	61	0,00115	0,00103	0,000837	<LOQ	0,00578	Wupper - Opladen	0 %	Ja
HCBD	59	0,0325	0,0319	0,0200	<LOQ	0,107	Lippe - Wesel	0 %	Ja
HBCDD	61	2,30	5,41	0,523	<LOQ	27,0	Saar - Güdingen/Grosbliederstr.	0 %	Ja
PBDE	61	2,51	3,89	0,891	<LOQ	16,8	Mosel - Millery – Vandières	93 %	Ja
HCB	61	0,417	0,442	0,201	<LOQ	1,53	Saar - Fremersdorf	0 %	Ja
Dicofol	6	<LOQ	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Alzette - Ettelbrück	0 %	Ja
HC + HCE	61	0,0317	0,0420	0,0189	<LOQ	0,163	Mosel - Millery – Vandières	25 %	Bedingt

⁵ Gemäß Richtlinie 2013/39/EU

⁶ Als WHO-TEQ

Tabelle 13: Zusammenfassung der nicht-normalisierten Schadstoffgehalte in allen Fischen (omni- und carnivor): deskriptive Kenndaten über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2022. Alle Daten wurden auf das für die UQN-Überwachung relevante Probenmaterial umgerechnet, für HCBD und HC+HCE wurden Filet und Ganzfisch zusammengefasst.

Stoff(gruppe)	N	Mittelwert [µg/kg FG]	SD [µg/kg FG]	Median [µg/kg FG]	Min [µg/kg FG]	Max [µg/kg FG]	Wasserkörper mit Maximalbelastung	UQN ⁷ - Überschreitung	UQN überwachbar?
Hg	223	72,9	54,2	56,8	8,93	421	Mosel - Millery – Vandières	94 %	Ja
PFOS	220	9,83	11,7	6,79	<LOQ	91,0	Rhein - Karlsruhe	33 %	Ja
PCDD/F+dl-PCB ⁸	219	0,00105	0,000984	0,00075	<LOQ	0,00611	Mosel - Liverdun	0 %	Ja
HCBD	205	0,477	1,79	0,0795	<LOQ	11,5	Lippe - Wesel	0 %	Ja
HBCDD	216	2,07	3,75	0,869	<LOQ	27,0	Saar - Güdingen/Grosbliederstr.	0 %	Ja
PBDE	221	1,55	2,62	0,771	<LOQ	16,8	Mosel - Millery – Vandières	96 %	Ja
HCB	221	0,629	0,757	0,300	<LOQ	5,00	Rhein - Karlsruhe	0 %	Ja
Dicofol	29	<LOQ	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Alzette - Ettelbrück	0 %	Ja
HC + HCE	213	0,0500	0,0598	0,0235	<LOQ	0,350	Rhein - Hollandsch Diep	29 %	Bedingt

⁷ Gemäß Richtlinie 2013/39/EU

⁸ Als WHO-TEQ

Die Gehalte der Substanzen beziehungsweise Substanzgruppen in den unterschiedlichen Fischarten ist in Form von Boxplots in Abbildung 23 bis Abbildung 30 dargestellt. Die jeweilige Umweltqualitätsnorm ist – sofern skalierungstechnisch sinnvoll darstellbar – mit einer roten Linie in die Grafiken eingezeichnet. Alle Daten sind wie in der jeweiligen Abbildungslegende angegeben auf das betreffende Probenmaterial umgerechnet und nicht normalisiert. Da die Umrechnung zwischen Filet und Ganzfisch für Hexachlorbutadien sowie Heptachlor und Heptachlorepoxyd aufgrund mangelnder Umrechnungsfaktoren nicht möglich war und da Filet und Ganzfisch ähnliche Wertebereich aufwiesen (siehe Kapitel 4.1.3), werden Filet- und Ganzfisch-Daten in diesen beiden Fällen zusammengefasst. Weil aufgrund der zum Teil geringen Anzahl an nutzbaren Proben je Fischart nicht immer Boxplots berechnet werden konnten, wurden zusätzlich noch Mittelwerte in Form von Rauten eingezeichnet. Im Fall des Pestizids Dicofol konnte kein Wert oberhalb der labor-spezifischen Bestimmungsgrenze bestimmt werden. Da die Bestimmungsgrenzen der unterschiedlichen Labore jedoch alle unterhalb der Biota-UQN von 33 µg/kg FG lagen, gilt diese Grenze grundsätzlich als überwachbar.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen ein gemischtes Bild über die Schadstoffgehalte in den verschiedenen Fischarten. Je nach Substanz und Datenlage zeigen sich unterschiedliche Muster, die im Falle der nicht-normalisierten Schadstoffgehalte nur bedingt auf die trophische Anordnung in der Nahrungskette zurückzuführen sind (www.fishbase.de, Froese and Pauly (2024)).

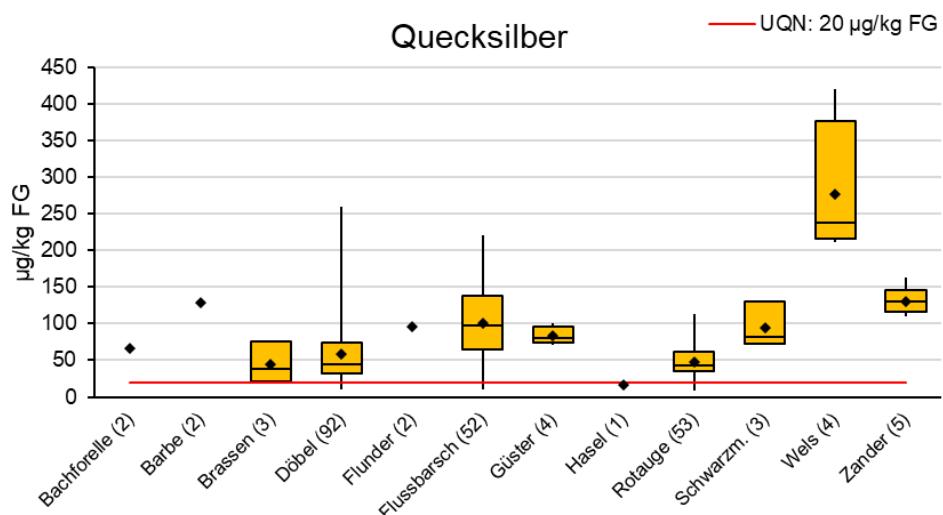


Abbildung 23: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 1: Quecksilber (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).

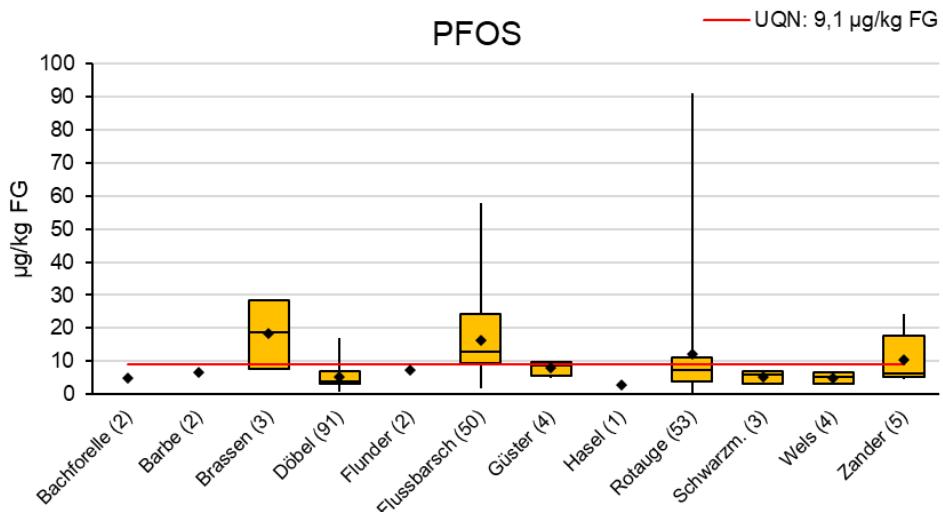


Abbildung 24: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 2: PFOS (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).

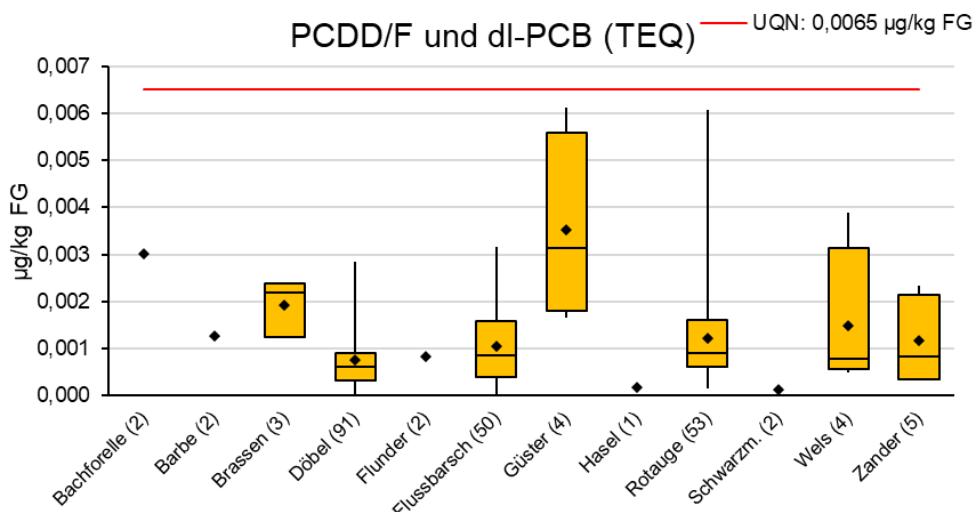


Abbildung 25: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 3: PCDD/F+dl-PCB (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).

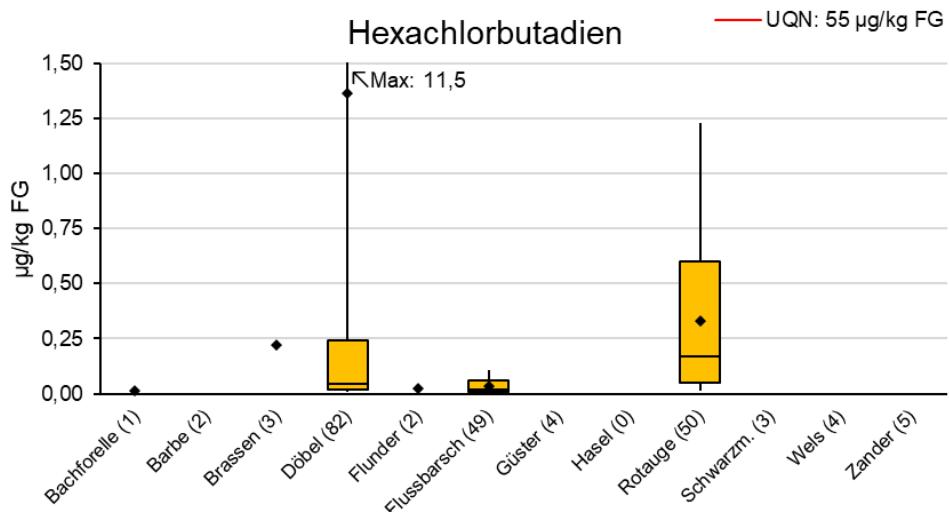


Abbildung 26: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 4:
**Hexachlorbutadien (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; in Klammern:
 Probenzahl inkl. Werten <LOQ).**

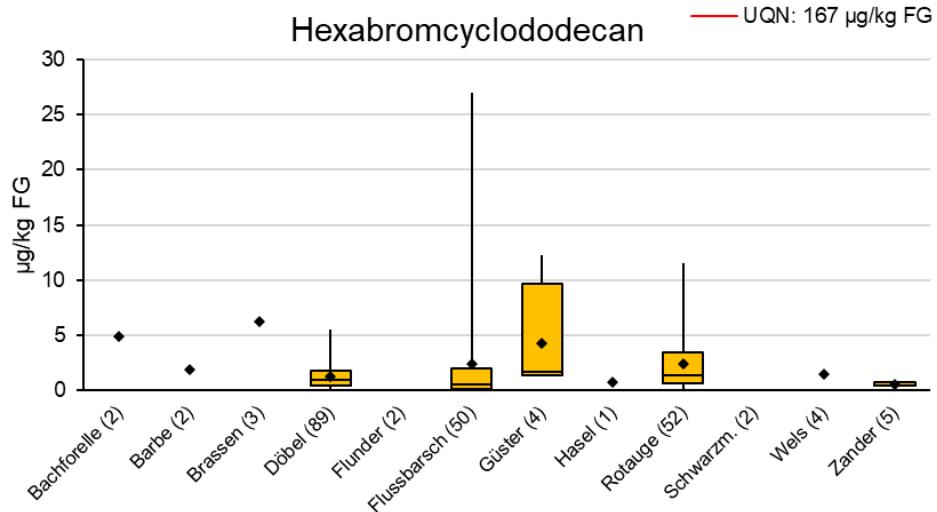


Abbildung 27: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 5:
**Hexabromcyclododecan (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; in
 Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).**

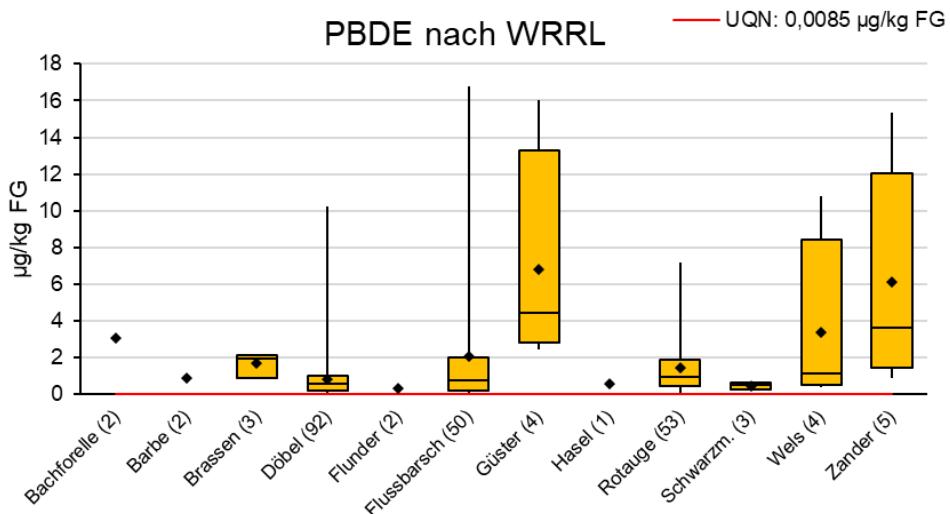


Abbildung 28: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 6: PBDE nach WRRL (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).

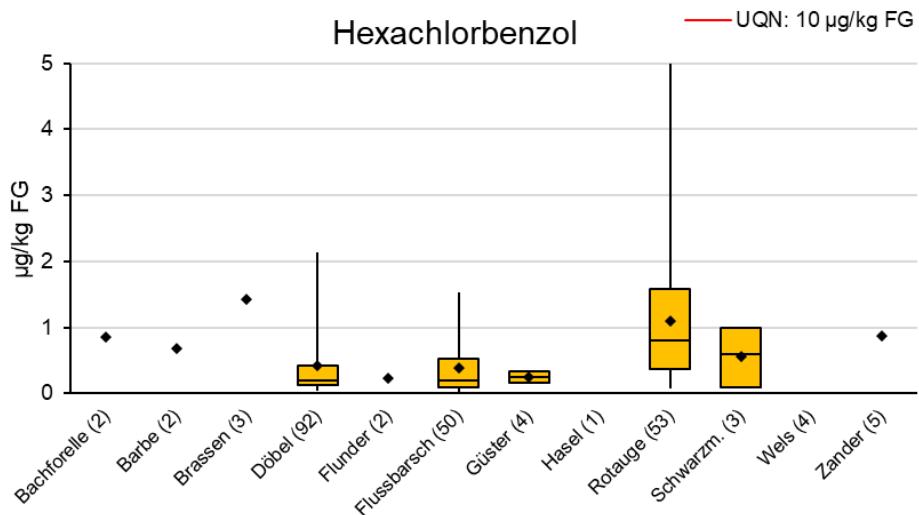


Abbildung 29: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 7: Hexachlorbenzol (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).

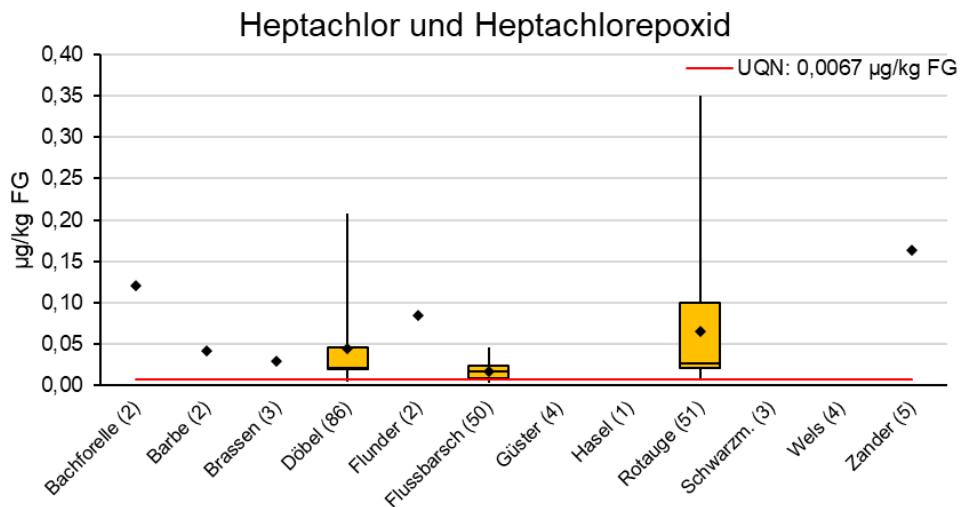


Abbildung 30: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 9: Heptachlor und Heptachlorepoxyd (ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).

4.1.5.2 Normalisierte Schadstoffgehalte

Im Nachfolgenden werden analog zu den nicht-normalisierten Schadstoffgehalten auch die normalisierten Schadstoffgehalte dargestellt und beschrieben. Ein relevanter Faktor, der den auswertbaren Datensatz einschränkte, war die zum Teil mangelnde Verfügbarkeit von Daten zum Fett- (97 % Vollständigkeit) und insbesondere zum Trockenmassegehalt (72 % Vollständigkeit). Durch die eingeschränkte Datenlage zum Trockenmassegehalt wurden die nutzbaren Datensätze von Quecksilber und PFOS um etwa ein Viertel verringert. Da die Trockenmassegehalte zwischen den und innerhalb der Fischarten nur geringe Schwankungen aufzeigten (siehe Abbildung 11 und Abbildung 12) wurden für Filet- und Ganzfischproben ohne verfügbare Trockenmassegehalte Proxywerte in Form der Fischarten-übergreifenden Mediane für die nachfolgende Normalisierung genutzt. Die Median-Trockenmassegehalte lagen bei 21,5 % im Filet und 25,9 % im Ganzfisch. Dieses Vorgehen war lediglich für PFOS und Quecksilber nötig, da die anderen Substanzen auf den Fettgehalt normalisiert wurden. Für fehlende Fettgehalte wurden aufgrund der hohen Schwankungen zwischen den und innerhalb der Fischarten keine Proxywerte genutzt.

Die deskriptiven Daten der Schadstoffbelastungen sind nachfolgend in Tabelle 14 bis Tabelle 16 zusammengefasst und umfassen Minimal- und Maximalwert (inkl. des zugehörigen Wasserkörpers) sowie das Mittel inkl. Standardabweichung, den Median, den relativen Anteil der Proben mit einer Überschreitung der Umweltqualitätsnorm sowie eine Einschätzung zur Überwachbarkeit der jeweiligen Umweltqualitätsnorm. Die Auswertung erfolgte separat für omnivore (Tabelle 14) und carnivore (Tabelle 15) Fischarten sowie für beide Gruppen gemeinsam (Tabelle 16).

Für Quecksilber lag ursprünglich ein praktisch vollständiger Datensatz vor ($N = 223$). Nur für eine Probe wurden keine analytischen Quecksilber-Daten berichtet. Durch das Einsetzen von Proxy-Trockenmassen bei fehlenden Angaben konnte der Datensatz von 162 auf 223 nutzbare Proben erweitert werden. In allen auf Quecksilber untersuchten Proben konnte Quecksilber mit einer Detektionsrate von 100 % quantifiziert werden. Von den 223 Werten fielen 160 auf omnivore und weitere 63 auf carnivore Fischarten. Die Biota-UQN von 20 µg/kg FG wurde in 95 % aller Proben der Omnivoren und in 98 % aller Proben der Carnivoren überschritten. Dies deckte sich mit früheren Auswertungen aus dem Rhein, aber auch mit praktisch allen anderen Flüssen Deutschlands (IKSR, 2018; Umweltbundesamt, 2023). Der höchste normalisierte Gehalt in omnivoren Fischen lag bei 314 µg/kg FG und wurde in der Mosel bei Detzem gemessen. In carnivoren Fischen wurde der höchste Gehalt mit 550 µg/kg FG ebenfalls in der Mosel (Millery – Vandières) gemessen und lag somit fast doppelt so hoch wie bei den omnivoren Fischarten.

Die Gruppe der PBDE konnte ebenfalls in allen untersuchten Proben, für die eine Normalisierung auf den Fettgehalt möglich war, nachgewiesen werden (Detektionsrate 100 %). Hier zeigte sich zudem eine ähnlich hohe Rate an UQN-Überschreitungen der sechs Indikator-PBDE gemäß WRRL wie bei Quecksilber. Die Biota-UQN für PBDE von 0,0085 µg/kg FG wurde in 97 % aller nutzbaren Proben (omnivore: 97 %, carnivore: 95 %) überschritten. Die höchste Belastung in omnivoren Fischen wurde mit einem Wert von 47,9 µg/kg FG im Rhein im Wasserkörper Kleve-Bimmen gemessen. Der höchste Gehalt in Carnivoren wurde im gleichen Wasserkörper nachgewiesen und lag mit einem Wert von 81,5 µg/kg FG etwa tausendfach oberhalb der Umweltqualitätsnorm. Die flächenhafte Überschreitung der Biota-UQN durch PBDE wurde ebenfalls in der Literatur beschrieben (IKSR, 2018; Umweltbundesamt, 2023).

Für die anderen hier berichteten Substanzen und Substanzgruppen lag der Anteil der UQN-Überschreitungen in den normalisierten Datensätzen meist deutlich niedriger. In carnivoren Fischen lag dieser Wert für PFOS (UQN: 9,1 µg/kg FG) bei 69 %, für Dioxine und dioxinähnliche Verbindungen (UQN: 0,0065 µg/kg FG) bei 37 % und für Heptachlor und Heptachlorepoxyd (UQN: 0,0067 µg/kg FG) bei 25 %. In omnivoren Fischen wurden die jeweiligen Umweltqualitätsnormen in deutlich weniger Proben überschritten. Die Anteile an UQN-Überschreitungen lagen in den Omnivoren für PFOS bei 28 %, für Dioxine und dioxinähnliche Verbindungen bei 20 % und für Heptachlor und Heptachlorepoxyd bei 22 %. Entgegen diesem Trend lag der Anteil an UQN-Überschreitungen für Hexachlorbenzol in den carnivoren Fischen (2 %) niedriger als bei omnivoren Fischen (8 %). Für Dicofol, Hexachlorbutadien und Hexabromcyclododecan wurde die jeweilige Biota-UQN in allen untersuchten Gewässerabschnitten des Rheineinzugsgebiets eingehalten.

Im Fall des Pestizids Dicofol konnte kein Wert oberhalb der labor-spezifischen Bestimmungsgrenze bestimmt werden. Da die Bestimmungsgrenzen der unterschiedlichen Labore jedoch alle unterhalb der Biota-UQN von 33 µg/kg FG lagen, gilt diese Grenze grundsätzlich als überwachbar.

Heptachlor und Heptachlorepoxyd konnten in 29 % aller nutzbaren Proben mit Gehalten oberhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze quantifiziert werden. In 23 % aller nutzbaren Proben lag der ermittelte Gehalt oberhalb der Biota-UQN von 0,0067 µg/kg FG (Omnivore: 22 %, Carnivore: 25 %). Problematisch im Fall von Heptachlor und Heptachlorepoxyd war, dass die Bestimmungsgrenzen zahlreicher Labore zum Teil deutlich oberhalb der Biota-UQN lagen. Die Proben, die in Laboren mit ausreichend niedrigen Bestimmungsgrenzen untersucht wurden, fielen oftmals wegen einer UQN-Überschreitung auf. Folglich ist die Überwachbarkeit der Umweltqualitätsnorm grundsätzlich gegeben, sie ist aber sehr stark von der Laborauswahl abhängig und wird deshalb in Tabelle 14 bis Tabelle 16 als „bedingt“

eingestuft. Aufgrund des relativ hohen Anteils an UQN-Überschreitungen bei ausreichend niedrigen Bestimmungsgrenzen wird die Überwachung der Umweltqualitätsnorm durch Labore mit ausreichend sensitiven Analysenverfahren empfohlen.

Tabelle 14: Zusammenfassung der normalisierten Schadstoffgehalte in omnivoren Fischen: deskriptive Kenndaten über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2022. Quecksilber und PFOS: Trockenmasse-Normalisierung (inklusive Proxy-Trockenmassen); Übrige: Fett-Normalisierung. Alle Daten wurden auf das für die UQN-Überwachung relevante Probenmaterial umgerechnet, für HCBD und HC+HCE wurden Filet und Ganzfisch zusammengefasst.

Stoff(gruppe)	N	Mittelwert [µg/kg FG]	SD [µg/kg FG]	Median [µg/kg FG]	Min [µg/kg FG]	Max [µg/kg FG]	Wasserkörper mit Maximalbelastung	UQN ⁹ - Überschreitung	UQN
Hg	160	66,9	45,5	53,2	10,8	314	Mosel - Detzem	95 %	Ja
PFOS	159	9,15	13,6	5,78	<LOQ	107	Rhein - Karlsruhe	28 %	Ja
PCDD/F+dl-PCB ¹⁰	155	0,00487	0,00691	0,00313	<LOQ	0,0589	Rhein - Kleve-Bimmen	20 %	Ja
HCBD	143	2,67	9,45	0,238	<LOQ	52,3	Lippe - Wesel	0 %	Ja
HBCDD	152	6,42	13,2	2,71	<LOQ	97,6	Rhein - Kleve-Bimmen	0 %	Ja
PBDE	157	5,45	7,57	2,49	<LOQ	47,9	Rhein - Kleve-Bimmen	97 %	Ja
HCB	157	4,84	9,44	1,43	<LOQ	55,6	Rhein - Mannheim	8 %	Ja
Dicofol	23	<LOQ	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	-	0 %	Ja
HC + HCE	149	0,186	0,207	0,108	<LOQ	0,975	Rhein - Kleve-Bimmen	22 %	Bedingt

⁹ Gemäß Richtlinie 2013/39/EU

¹⁰ Als WHO-TEQ

Tabelle 15: Zusammenfassung der normalisierten Schadstoffgehalte in **carnivoren Fischen**: deskriptive Kenndaten über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2022. Quecksilber und PFOS: Trockenmasse-Normalisierung; Übrige: Fett-Normalisierung. Alle Daten wurden auf das für die UQN-Überwachung relevante Probenmaterial umgerechnet, für HCBD und HC+HCE wurden Filet und Ganzfisch zusammengefasst.

Stoff(gruppe)	N	Mittelwert [µg/kg FG]	SD [µg/kg FG]	Median [µg/kg FG]	Min [µg/kg FG]	Max [µg/kg FG]	Wasserkörper mit Maximalbelastung	UQN ¹¹ - Überschreitung	UQN überwachbar?
Hg	63	138	87,9	126	11,8	550	Mosel - Millery – Vandières	98 %	Ja
PFOS	61	18,2	13,7	14,2	<LOQ	69,9	Mosel - Palzem	69 %	Ja
PCDD/F+dl-PCB ¹²	59	0,00806	0,0125	0,00428	<LOQ	0,0727	Rhein - Kleve-Bimmen	37 %	Ja
HCBD	57	0,7	0,973	0,290	<LOQ	2,972	Lippe - Wesel	0 %	Ja
HBCDD	59	8,90	14,1	2,26	<LOQ	63,4	Rhein - Kleve-Bimmen	0 %	Ja
PBDE	59	13,4	17,5	7,60	<LOQ	81,5	Rhein - Kleve-Bimmen	95 %	Ja
HCB	59	3,70	5,17	2,25	<LOQ	27,3	Rhein - Kleve-Bimmen	2 %	Ja
Dicofol	6	<LOQ	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	-	0 %	Ja
HC + HCE	59	0,390	0,395	0,189	<LOQ	1,50	Neckar - Mannheim	25 %	Bedingt

¹¹ Gemäß Richtlinie 2013/39/EU

¹² Als WHO-TEQ

Tabelle 16: Zusammenfassung der normalisierten Schadstoffgehalte in allen Fischen (omni- und carnivor): deskriptive Kennwerte über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2022. Quecksilber und PFOS: Trockenmasse-Normalisierung; Übrige: Fett-Normalisierung. Alle Daten wurden auf das für die UQN-Überwachung relevante Probenmaterial umgerechnet, für HCBD und HC+HCE wurden Filet und Ganzfisch zusammengefasst.

Stoff(gruppe)	N	Mittelwert [µg/kg FG]	SD [µg/kg FG]	Median [µg/kg FG]	Min [µg/kg FG]	Max [µg/kg FG]	Wasserkörper mit Maximalbelastung	UQN ¹³ - Überschreitung	UQN überwachbar?
Hg	223	86,9	68,4	65,4	10,8	550	Mosel - Millery – Vandières	96 %	Ja
PFOS	220	11,7	14,2	7,77	<LOQ	107	Rhein - Karlsruhe	40 %	Ja
PCDD/F+dl-PCB ¹⁴	214	0,00576	0,00894	0,00333	<LOQ	0,0727	Rhein - Kleve-Bimmen	25 %	Ja
HCBD	200	2,30	8,58	0,264	<LOQ	52,3	Lippe - Wesel	0 %	Ja
HBCDD	211	7,29	13,6	2,59	<LOQ	97,6	Rhein - Kleve-Bimmen	0 %	Ja
PBDE	216	7,57	11,7	2,91	<LOQ	81,5	Rhein - Kleve-Bimmen	97 %	Ja
HCB	216	4,60	8,73	1,71	<LOQ	55,6	Rhein - Mannheim	6 %	Ja
Dicofol	29	<LOQ	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	-	0 %	Ja
HC + HCE	208	0,237	0,281	0,124	<LOQ	1,50	Neckar - Mannheim	23 %	Bedingt

¹³ Gemäß Richtlinie 2013/39/EU

¹⁴ Als WHO-TEQ

Die Gehalte der Substanzen beziehungsweise Substanzgruppen in den unterschiedlichen Fischarten ist in Form von Boxplots in Abbildung 31 bis Abbildung 38 dargestellt. Die jeweilige Umweltqualitätsnorm ist – sofern skalierungstechnisch sinnvoll darstellbar – mit einer roten Linie in die Grafiken eingezeichnet. Alle Daten sind wie in der jeweiligen Abbildungslegende angegeben auf den Fett- beziehungsweise Trockenmassegehalt normalisiert und auf das betreffende Probenmaterial umgerechnet. Da die Umrechnung zwischen Filet und Ganzfisch für Hexachlorbutadien sowie Heptachlor und Heptachlorepoxyd aufgrund mangelnder Umrechnungsfaktoren nicht möglich war und da Filet und Ganzfisch ähnliche Wertebereich aufwiesen (siehe Kapitel 4.1.3), werden Filet- und Ganzfisch-Daten in diesen beiden Fällen zusammengefasst. Weil aufgrund der zum Teil geringen Anzahl an nutzbaren Proben je Fischart nicht immer Boxplots berechnet werden konnten, wurden zusätzlich noch Mittelwerte in Form von Rauten eingezeichnet. Im Fall des Pestizids Dicofol konnte kein Wert oberhalb der labor-spezifischen Bestimmungsgrenze bestimmt werden. Da die Bestimmungsgrenzen der unterschiedlichen Labore jedoch alle unterhalb der Biota-UQN von 33 µg/kg FG lagen, gilt diese Grenze grundsätzlich als überwachbar.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen ein gemischtes Bild über die Schadstoffgehalte in den verschiedenen Fischarten. Je nach Substanz und Datenlage zeigen sich unterschiedliche Muster. Gemeinsam ist, dass die Flussbarsche bei allen Schadstoffen zu den drei höchstbelasteten Fischarten gehören. Dies ist zum einen auf die carnivore Ernährung und die damit verbundene hohe Trophiestufe der Flussbarsche und zum anderen auch auf den hohen Anteil der Flussbarsche am Gesamtdatensatz zurückzuführen. Die Schadstoffbelastungen in den drei am häufigsten beprobten Fischarten lautet Döbel < Rotauge < Flussbarsch und entspricht damit auch deren trophischer Anordnung in der Nahrungskette (www.fishbase.de, Froese and Pauly (2024)).

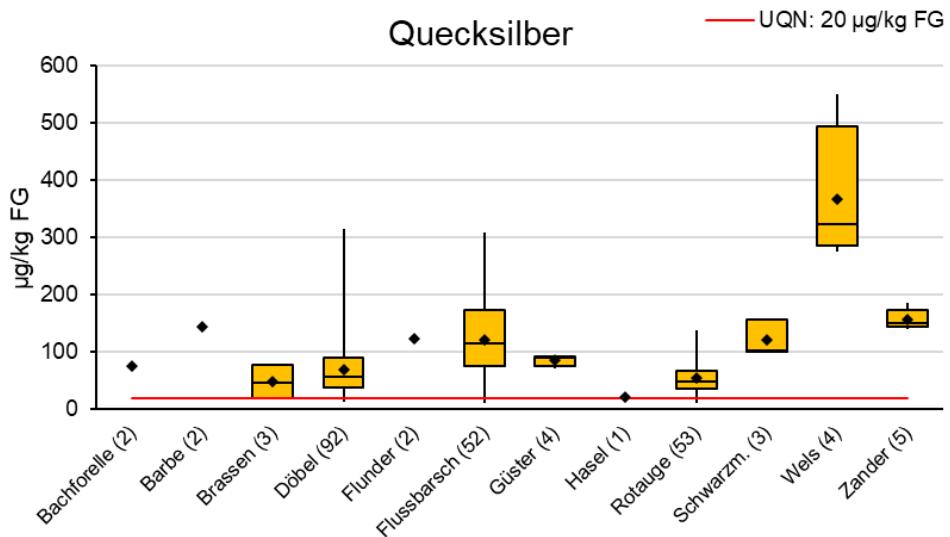


Abbildung 31: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 1: Quecksilber (TM-Normalisierung inklusive Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Ganzfisch; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).

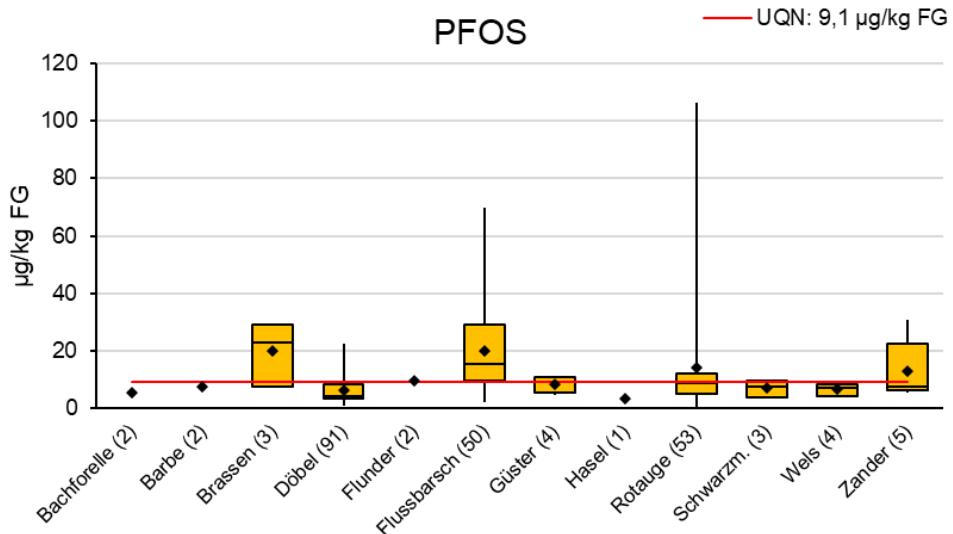


Abbildung 32: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 2: PFOS (TM-Normalisierung inklusive Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).

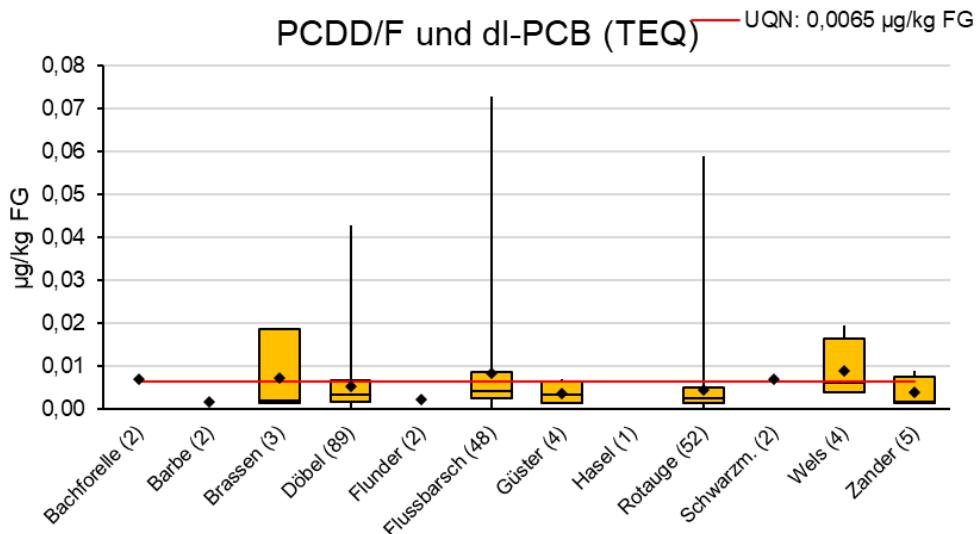


Abbildung 33: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 3: PCDD/F+dl-PCB (Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).

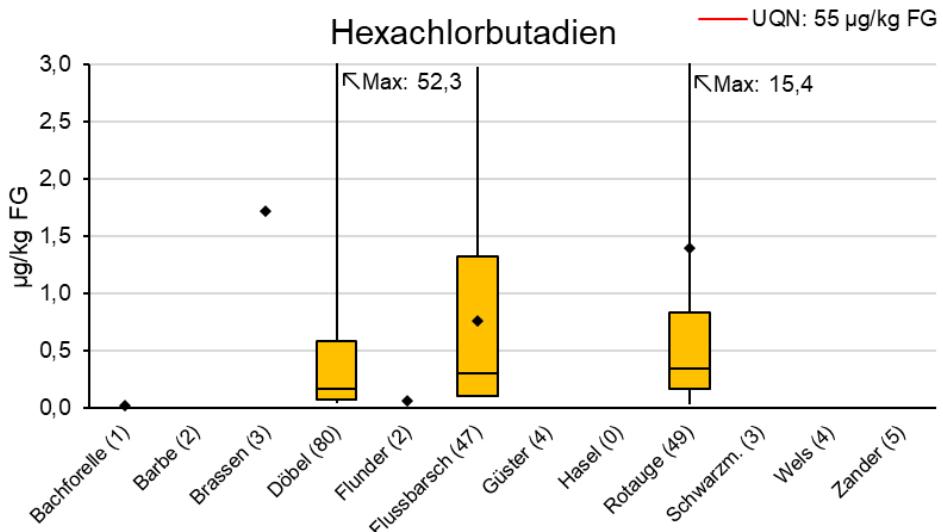


Abbildung 34: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 4: Hexachlorbutadien (Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).

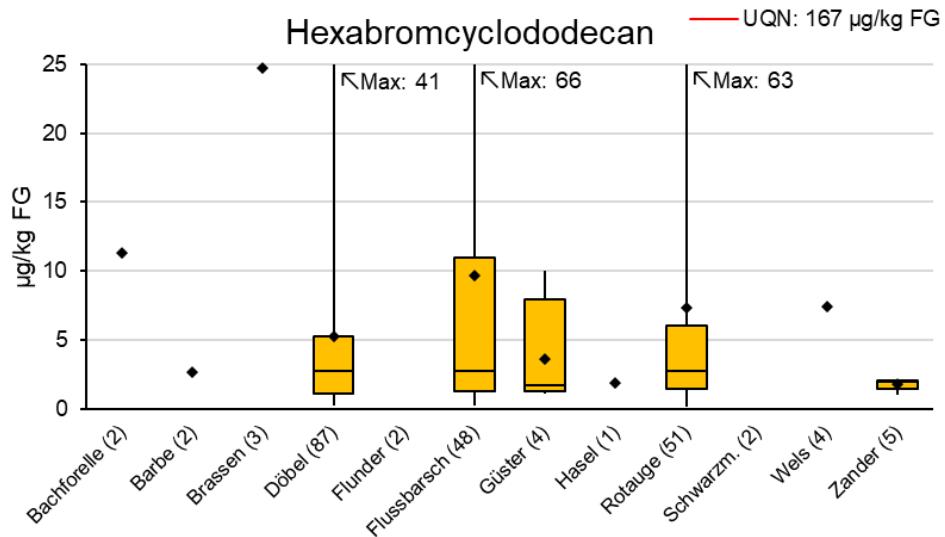


Abbildung 35: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 5:
**Hexabromcyclododecan (Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; in Klammern:
 Probenzahl inkl. Werten <LOQ).**

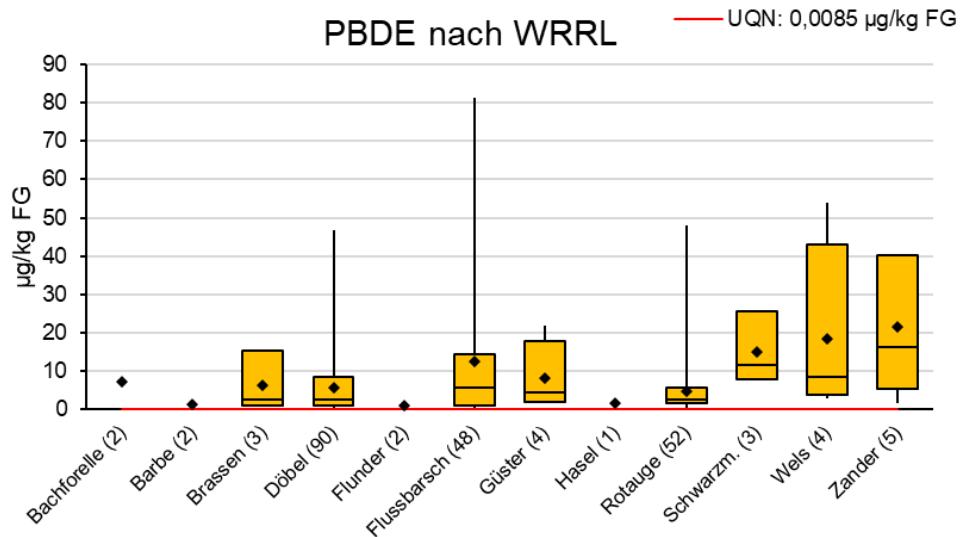


Abbildung 36: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 6: PBDE nach WRRL
**(Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten
 <LOQ).**

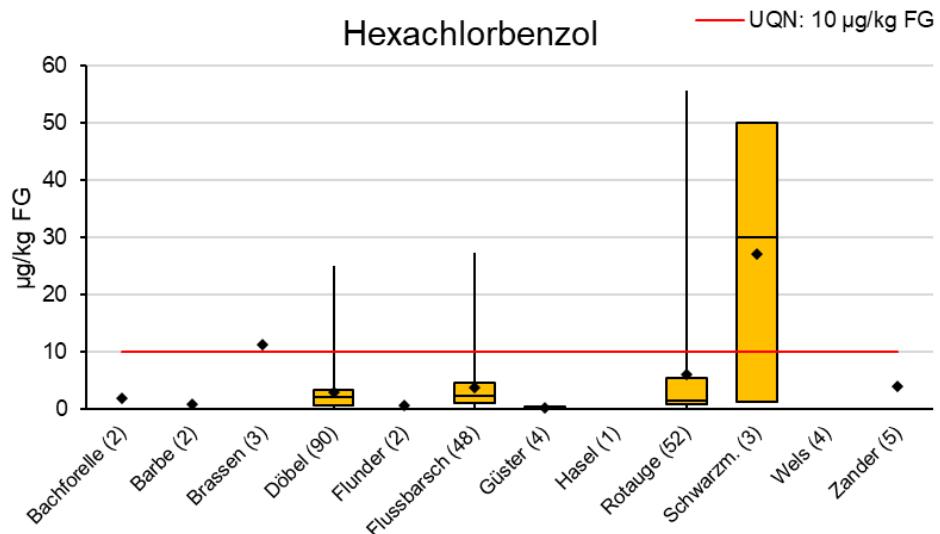


Abbildung 37: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 7: Hexachlorbenzol (Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).

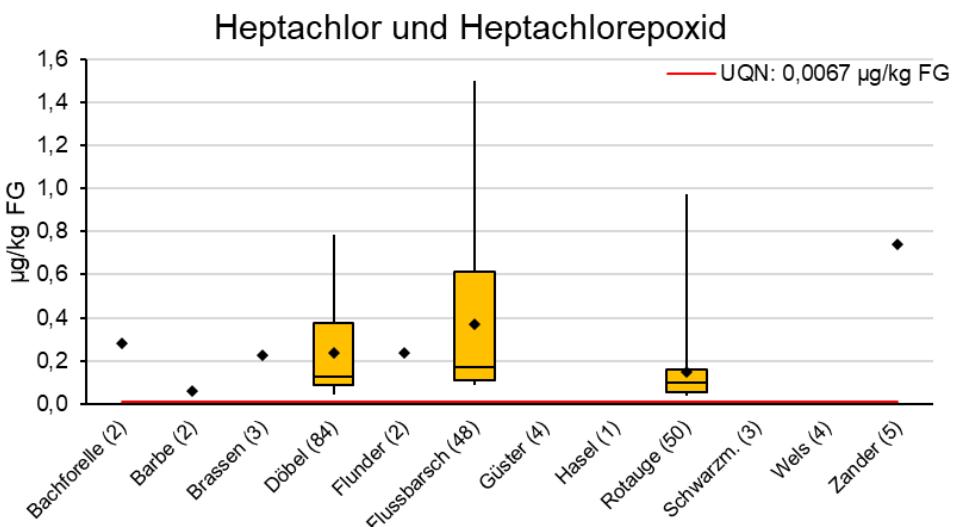


Abbildung 38: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse, getrennt nach Fischarten. Teil 9: Heptachlor und Heptachlorepoxyd (Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ).

4.1.6 Räumlicher Vergleich

Für den räumlichen Vergleich der Schadstoffgehalte entlang des Rheinverlaufs und seiner Nebenflüsse wurden für jeden Wasserkörper Mittelwerte berechnet und grafisch aufgetragen. Zudem erfolgte die Aufteilung der Daten in die drei Zeiträume von 2015 bis 2016, von 2017 bis 2019 und von 2020 bis 2022. Alle Daten wurden – sofern möglich – auf das für die UQN-Überwachung relevante Probenmaterial (Filet beziehungsweise Ganzfisch) umgerechnet. Wie in Kapitel 4.1.4 geschildert, wurden teilweise statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Schadstoffbelastungen von omni- und carnivoren Fischarten festgestellt. Deshalb erfolgte die Auswertung der räumlichen Verteilung in diesen Fällen nur auf Basis der Omnivoren. Eine Übersicht, wie welche analytischen Daten für welchen Schadstoff letztlich genutzt wurden, liefert nachfolgend Tabelle 17.

Die Betrachtung des räumlichen Vergleichs erfolgte einerseits für die nicht-normalisierten Schadstoffgehalte (Kapitel 4.1.6.1) sowie andererseits separat für die normalisierten Gehalte (Kapitel 4.1.6.2). Die Normalisierung der jeweiligen Schadstoffgehalte erfolgte entsprechend ihrer Stoffeigenschaften auf den Fett- beziehungsweise Trockenmassegehalt (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Übersicht über die zur räumlichen Auswertung genutzten Probenmaterialien sowie Fischarten nach Trophiestufe (Omnivore und Carnivore) und Art der Normalisierung je Stoff(-gruppe).

Stoff(-gruppe)	Probenmaterial	Trophiestufe	Normalisierung
Quecksilber	Ganzfisch (inkl. Filets nach Umrechnung)	Omnivore	Trockenmasse
PFOS	Filet (inkl. Ganzfisch nach Umrechnung)	Omnivore	Trockenmasse
PCDD/F+dl-PCB	Filet (inkl. Ganzfisch nach Umrechnung)	Omnivore + Carnivore	Fett
HCBD	Filet und Ganzfisch zusammengefasst	Omnivore + Carnivore	Fett
HBCDD	Ganzfisch (inkl. Filets nach Umrechnung)	Omnivore + Carnivore	Fett
PBDE	Filet (inkl. Ganzfisch nach Umrechnung)	Omnivore	Fett
Hexachlorbenzol	Filet (inkl. Ganzfisch nach Umrechnung)	Omnivore + Carnivore	Fett
Dicofol	-	-	Fett
HC+HCE	Filet und Ganzfisch zusammengefasst	Omnivore + Carnivore	Fett

Der obere Teil der Abbildungen 41 bis 58 zeigt die jeweilige Substanzbelastung im Flussverlauf des Rheins, des Neckars und der Mosel. Im unteren Teil der Abbildungen ist die Substanzbelastung ergänzend entlang der Saar, der Lahn, der Sauer, der Meurthe und in den weiteren Nebenflüssen (Alzette, Blies, Kinzig, Lippe, Main, Ruhr, Schwarzbach, Weschnitz, Wupper; in alphabetischer Reihenfolge) dargestellt, für die es nur jeweils einen Wasserkörper im Flussverlauf gab. Für die grafische Darstellung der Substanzbelastung jedes Wasserkörpers wurden die Daten zudem getrennt für die drei oben genannten Zeiträume ausgewertet, um eine vereinfachte zeitliche Trendbetrachtung durchführen zu

können. Diese Trendbeobachtungen beziehen sich aufgrund der geringen Zahl an zeitlichen Intervallen jedoch nicht auf statistisch abgeleitete Verfahren, sondern auf eine augenscheinliche Begutachtung der drei Zeiträume.

4.1.6.1 Nicht-normalisierte Schadstoffgehalte

Die grafische Darstellung der nicht-normalisierten Schadstoffbelastungen ist in Abbildung 39 bis Abbildung 46 für die unterschiedlichen Schadstoffe zu finden. Im Fall des Pestizids Dicofol konnte kein Wert oberhalb der labor-spezifischen Bestimmungsgrenze bestimmt werden. Da die Bestimmungsgrenzen der unterschiedlichen Labore jedoch alle unterhalb der Biota-UQN von 33 µg/kg FG lagen, gilt diese Grenze grundsätzlich als überwachbar.

Eine vollständige Füllung der Grafik war jedoch nicht in allen Fällen möglich. Dies war zum einen darin begründet, dass nicht für jeden Wasserkörper und für jeden Zeitraum analytische Daten eines Stoffes beziehungsweise einer Stoffgruppe vorlagen. Zum anderen konnten Daten teilweise nicht berücksichtigt werden. Dies war dann der Fall, wenn für Substanzen, die nur für omnivore Fische ausgewertet werden konnten (vgl. Tabelle 17 und Kapitel 4.1.4), nur Daten von carnivoren Fischen vorlagen.

In allen in Abbildung 39 dargestellten Flüssen konnte mit Ausnahme weniger Wasserkörper im Mittel eine Überschreitung der Umweltqualitätsnorm von Quecksilber (20 µg/kg FG) festgestellt werden. Die höchsten Belastungen wurden in der Mosel bei Tonnoy und bei Liverdun sowie im Nieuwe Waterweg und in der Wupper ermittelt.

Für PFOS (UQN: 9,1 µg/kg FG) wurden die beiden mit Abstand höchsten Gehalte im Rhein bei Karlsruhe und bei Mannheim im Zeitraum 2020-2022 ermittelt. Auffällig war, dass die Gehalte im vorangegangen Zeitraum 2017-2019 deutlich geringer lagen. Der flussabwärts folgende Wasserkörper Petersau hingegen wies im Beobachtungszeitraum 2015-2016 ebenfalls auffällig hohe Gehalte auf.

Die höchsten, je Zeitraum gemittelten Belastungen der Dioxine und dioxinähnlichen Verbindungen wurden in der Wupper bei Opladen sowie im Rhein (St. Goar und Bad Honnef) berichtet. Auffällig war, dass die höchstbelasteten Mittelwerte aus dem Zeitraum 2015-2016 stammten. Dort, wo Vergleiche mit späteren Probenahmezeiträumen möglich waren, lagen die Gehalte in der Regel deutlich niedriger. Alle nicht-normalisierten Gehalte der Dioxine und dioxinähnlichen Verbindungen lagen unterhalb der Umweltqualitätsnorm von 0,0065 µg/kg FG.

Im Falle von Hexachlorbutadien lag eine recht eingeschränkte Datenverfügbarkeit vor wie Abbildung 42 zeigt. Besonders auffällig war der Gehalt in der Lippe bei Wesel im Zeitraum 2015-2016. Der gemittelte Gehalt von 11,5 µg/kg FG lag jedoch noch unterhalb der

Umweltqualitätsnorm von 55 µg/kg FG. Im Zeitraum 2020-2022 lag der Gehalt im gleichen Wasserkörper deutlich niedriger.

Die Gehalte von Hexabromcyclododecan lagen alle deutlich unterhalb der Umweltqualitätsnorm von 167 µg/kg FG. Die höchsten Gehalte wurden in der Saar bei Grosbliederstroff/Güdingen an der französisch-deutschen Grenze (2015-2016), im Rhein bei St. Goar (2015-2016) sowie in der Wupper bei Opladen (2015-2016) ermittelt. Nachfolgende Probennahmen in den entsprechenden Wasserkörpern zeigten abnehmende Werte über die Zeit.

Die Umweltqualitätsnorm der sechs für die Wasserrahmenrichtlinie relevanten PBDE (0,0085 µg/kg FG) wurde im Mittel in fast allen Wasserkörpern und in fast allen Probenahmezeiträumen überschritten. Die höchsten Gehalte zeigte die Lippe bei Wesel, die Mosel bei Millery – Vandières sowie die Saar in verschiedenen Wasserkörpern. Auch hier wurden die Maximalgehalte im Zeitraum 2015-2016 ermittelt, sodass ein grundsätzlich sinkender Trend über die Zeit hinweg zu beobachten war.

Wie Abbildung 45 zeigt, konnten die meisten der höchsten Gehalte an Hexachlorbenzol im Rhein selbst detektiert werden. Für die nicht-normalisierten Gehalte an Hexachlorbenzol wurde die zugehörige Umweltqualitätsnorm von 10 µg/kg FG in keinem der Wasserkörper überschritten.

Die grafische Darstellung der räumlichen Verteilung von Heptachlor und Heptachlorepoxyd (Abbildung 46) zeigte einen scheinbar hohen Grad an Überschreitungen der Umweltqualitätsnorm – insbesondere in Rhein, Mosel, Sauer, Lippe, Ruhr und Wupper. Ergänzend sei hier nochmals erwähnt, dass zwar ein Großteil der gelieferten Daten für Heptachlor und Heptachlorepoxyd unterhalb der laborspezifischen Bestimmungsgrenze lag, die Bestimmungsgrenzen aber oftmals oberhalb der Umweltqualitätsnorm von 0,0067 µg/kg FG lagen. Aus diesem bereits in Kapitel 4.1.5 beschriebenen Grund ist eine Einschätzung zur generellen Überwachbarkeit des Umweltqualitätsnorm schwierig, da potentielle Überschreitungen der Umweltqualitätsnorm übersehen werden könnten. Die höchsten Gehalte wurden im Rhein (niederländische Wasserkörper) sowie in der Mosel bei Millery – Vandières ermittelt.

Die Darstellung der räumlichen Verteilung in Form von Belastungskarten erfolgt für die nicht-normalisierten Fischdaten in Abbildung 68 bis Abbildung 85 im Anhang.

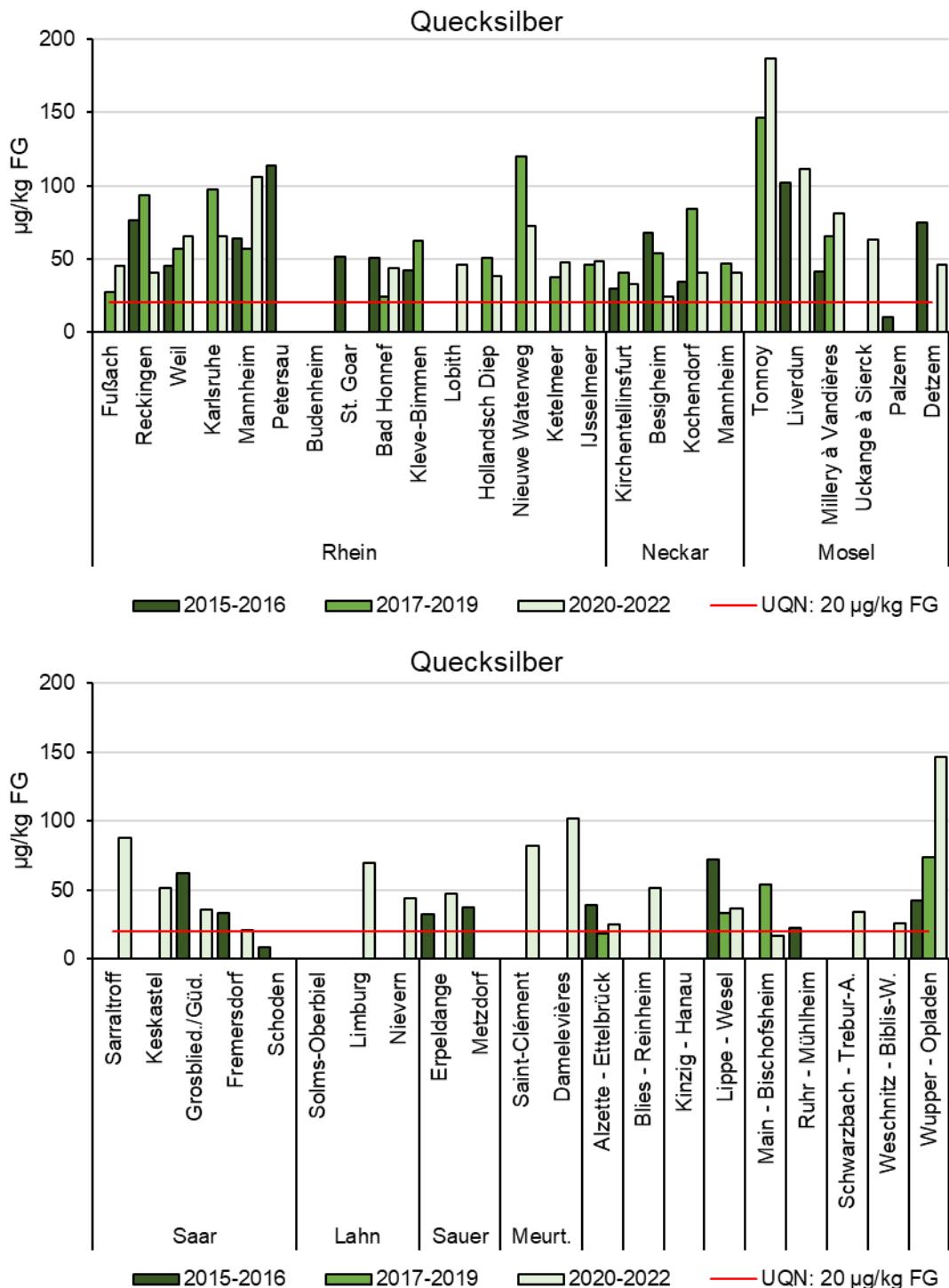


Abbildung 39: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 1: Quecksilber (ohne Normalisierung, Umrechnung auf Ganzfisch, nur Omnivore).

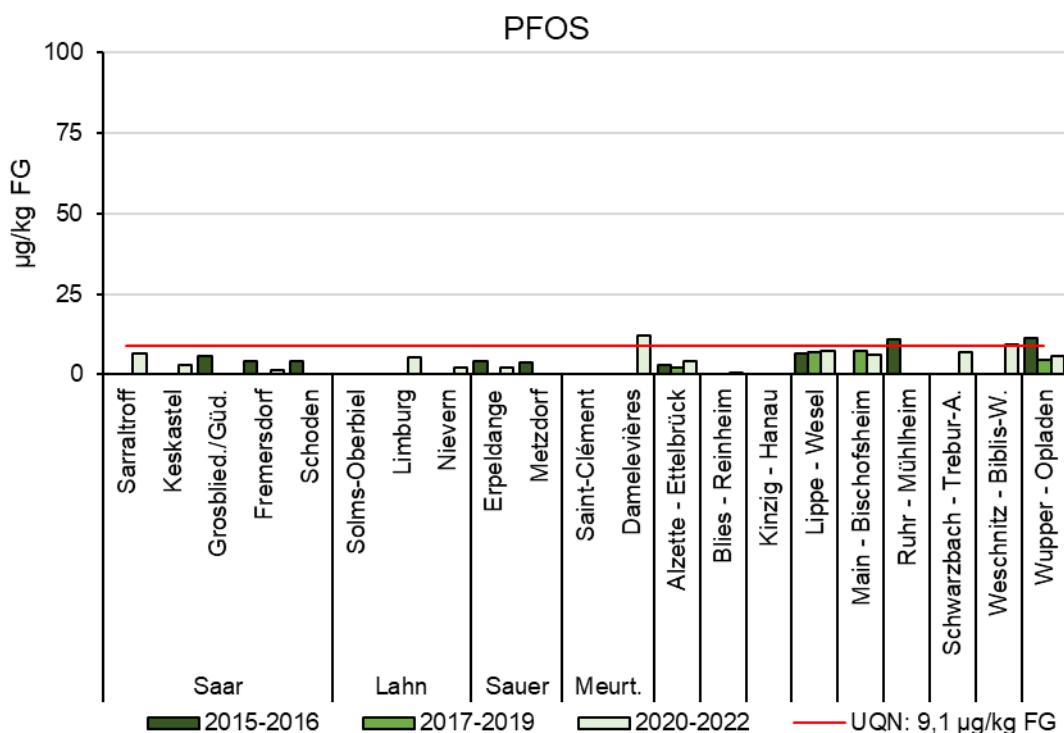
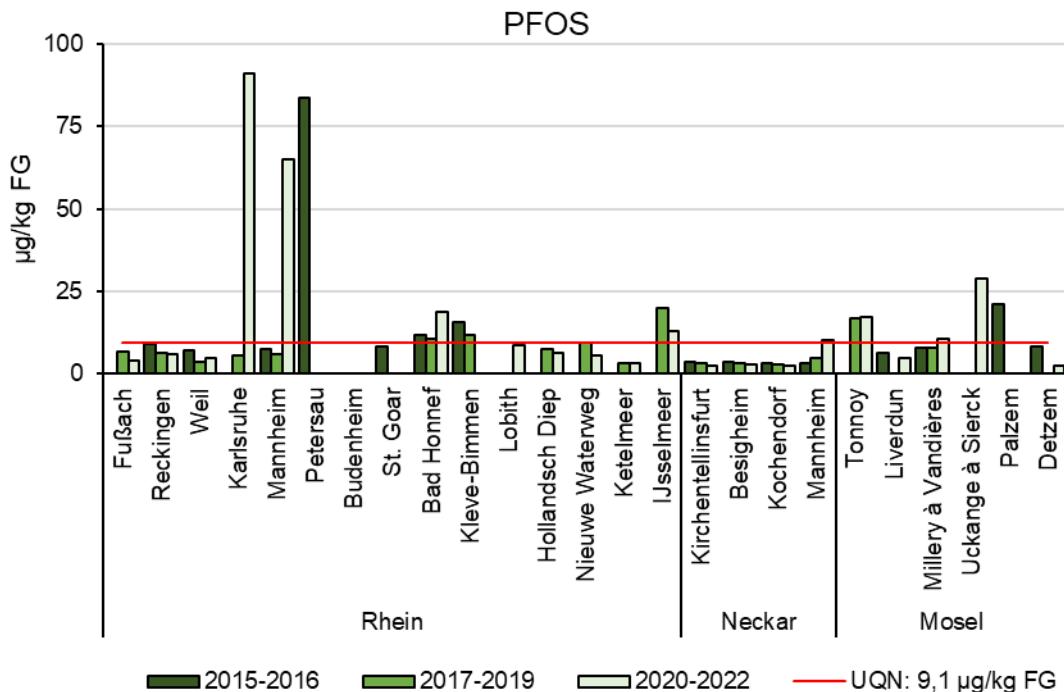


Abbildung 40: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 2: PFOS (ohne Normalisierung, Umrechnung auf Filet, nur Omnivore).

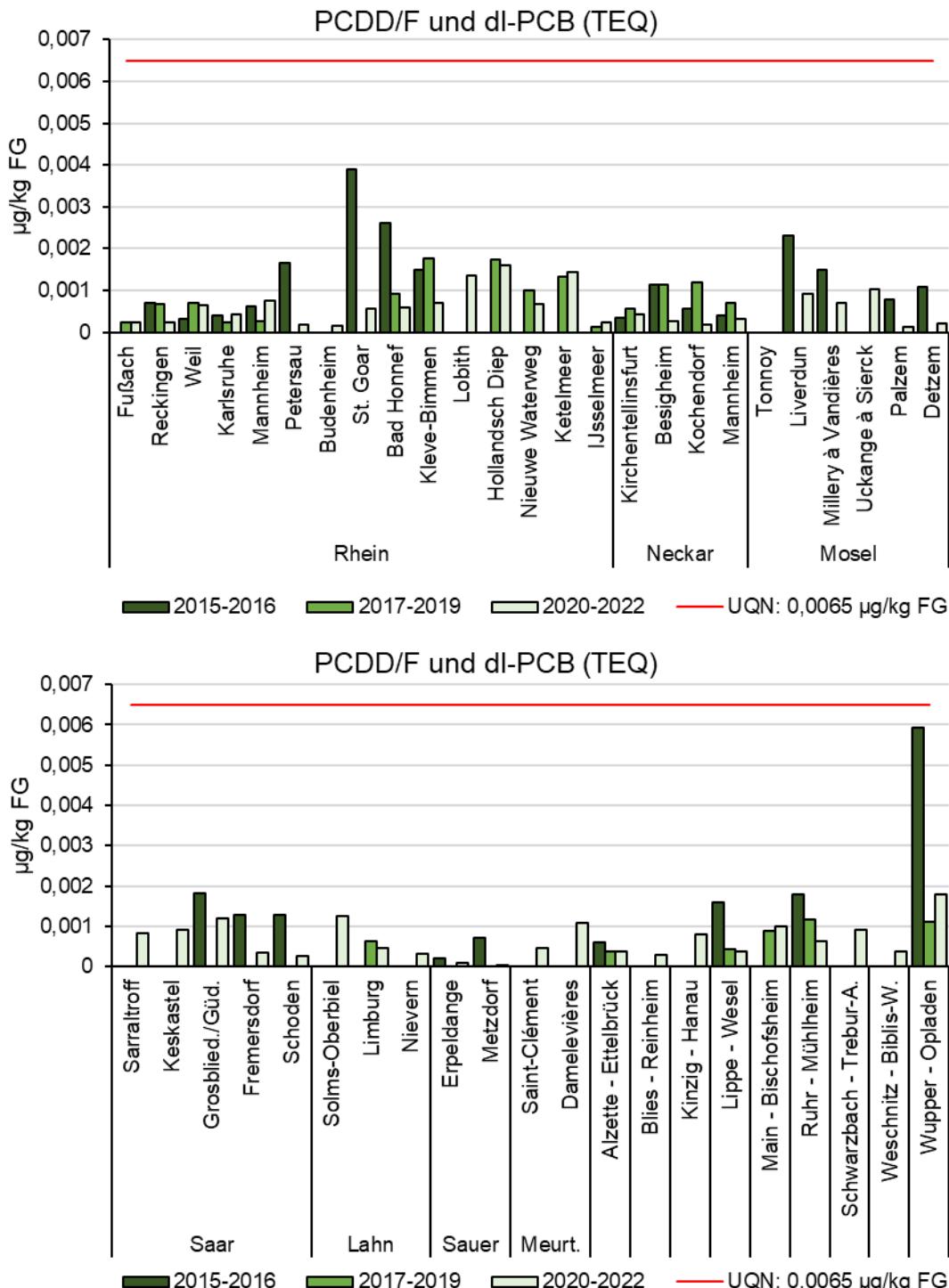


Abbildung 41: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 3: PCDD/F+dl-PCB (ohne Normalisierung, Umrechnung auf Filet, Omnivore und Carnivore).

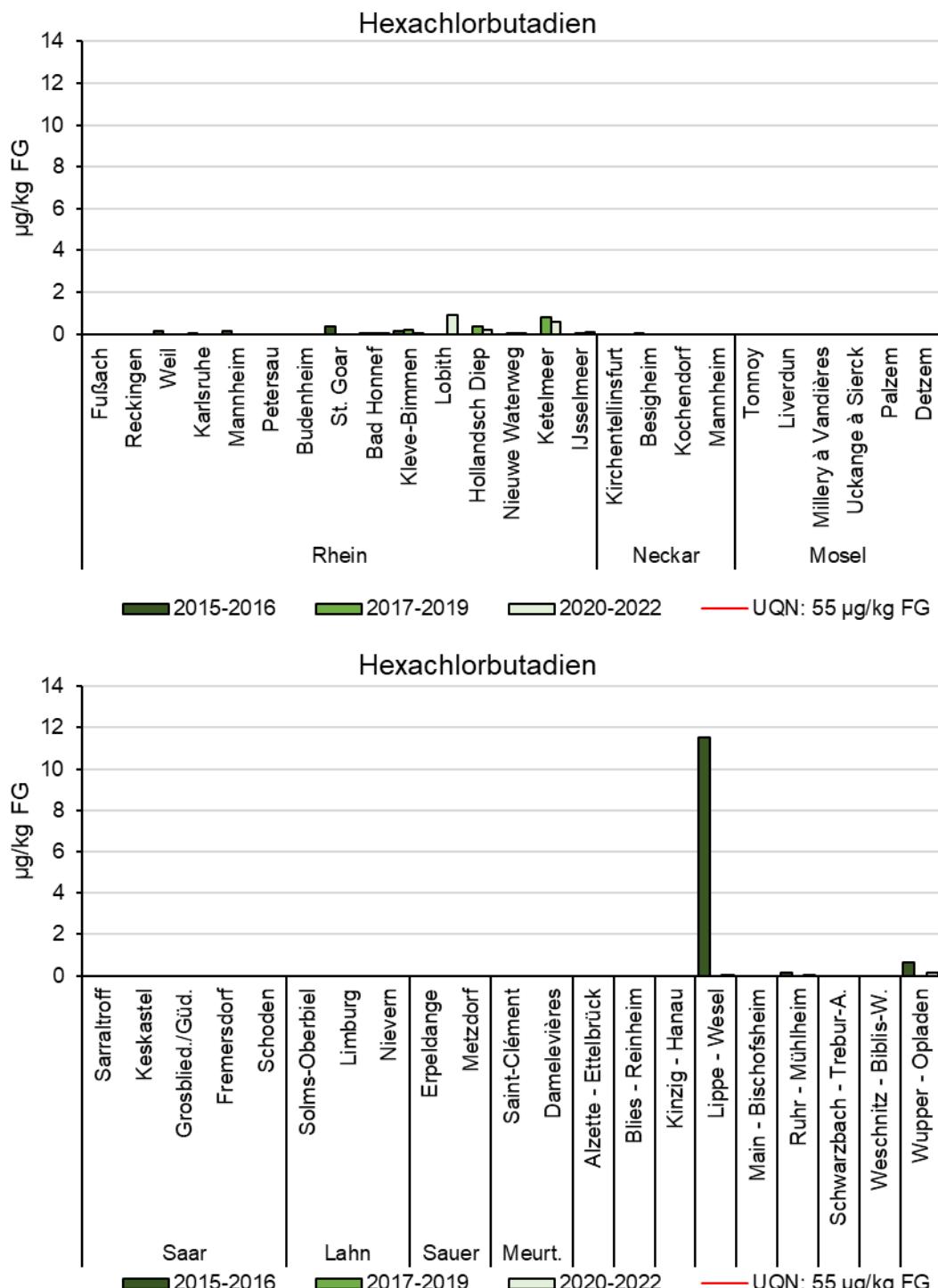


Abbildung 42: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 4: Hexachlorbutadien (ohne Normalisierung, Filet und Ganzfisch, Omnivore und Carnivore).

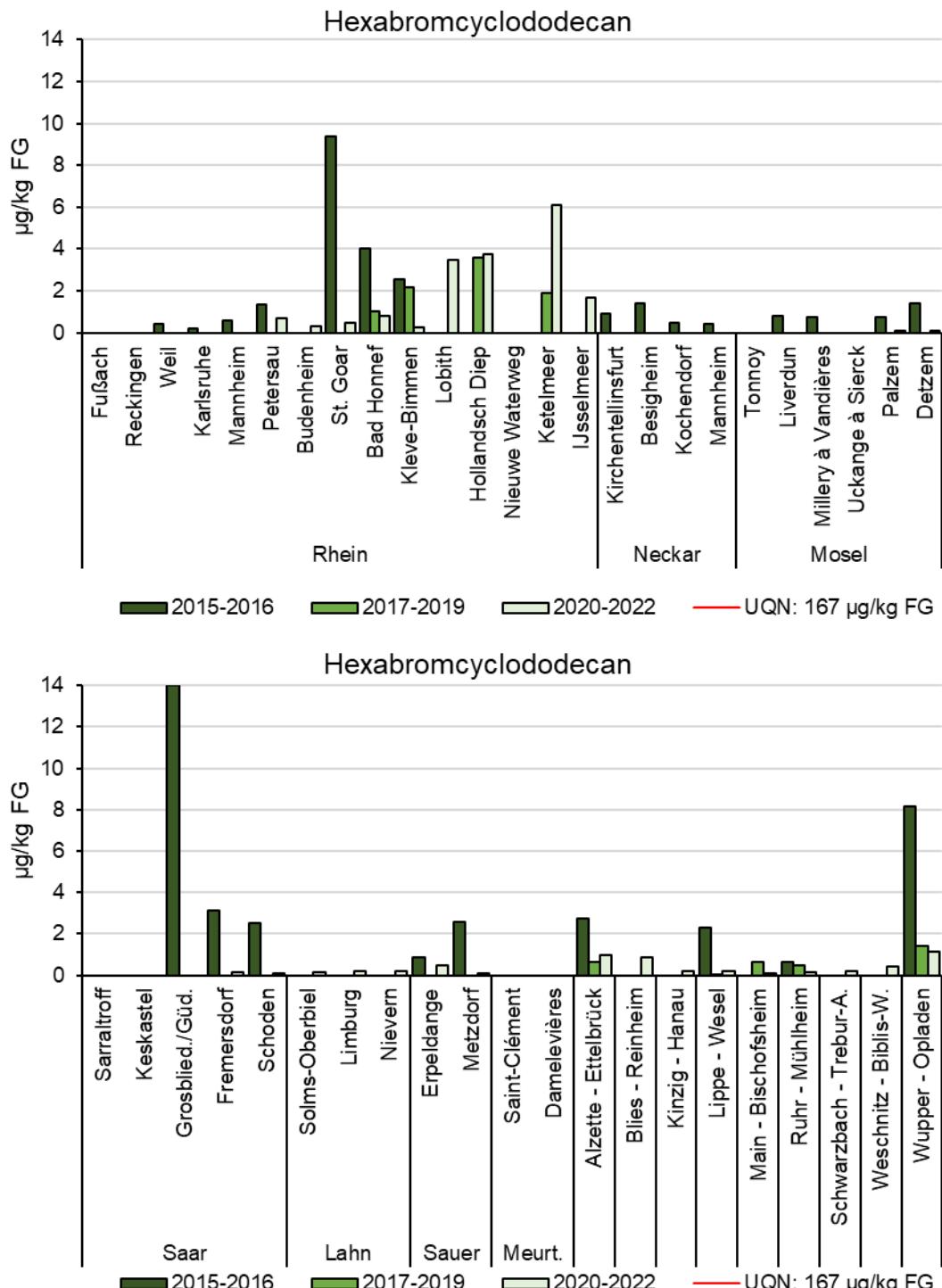


Abbildung 43: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 5: Hexabromcyclododecan (ohne Normalisierung, Umrechnung auf Ganzfisch, Omnivore und Carnivore).

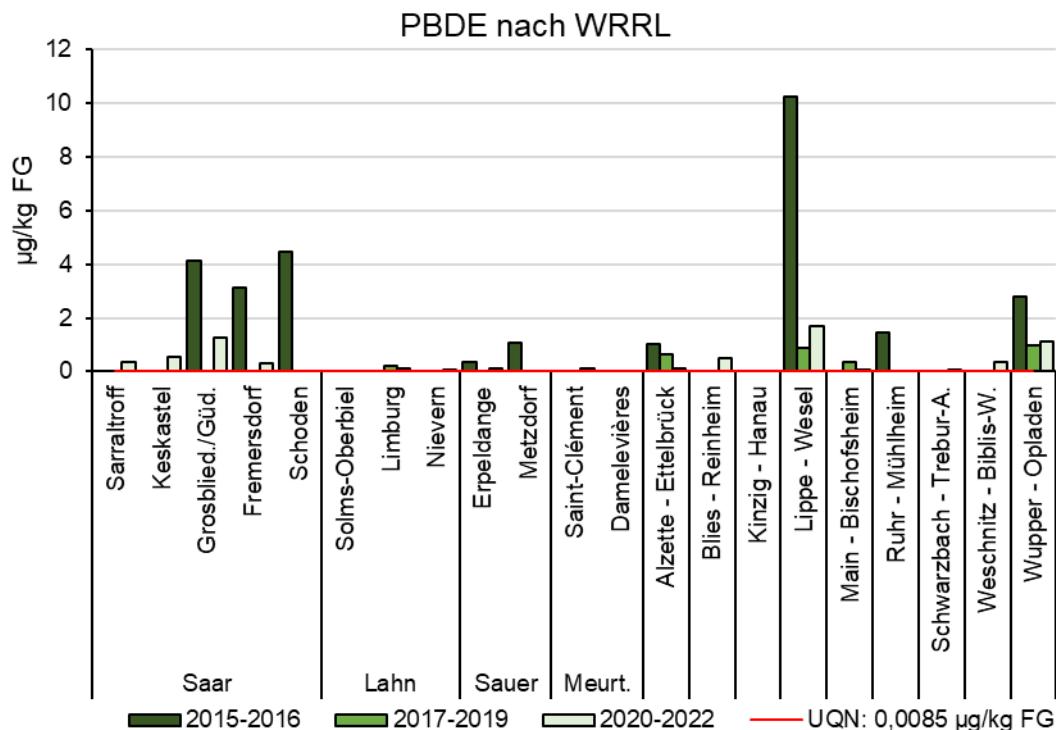
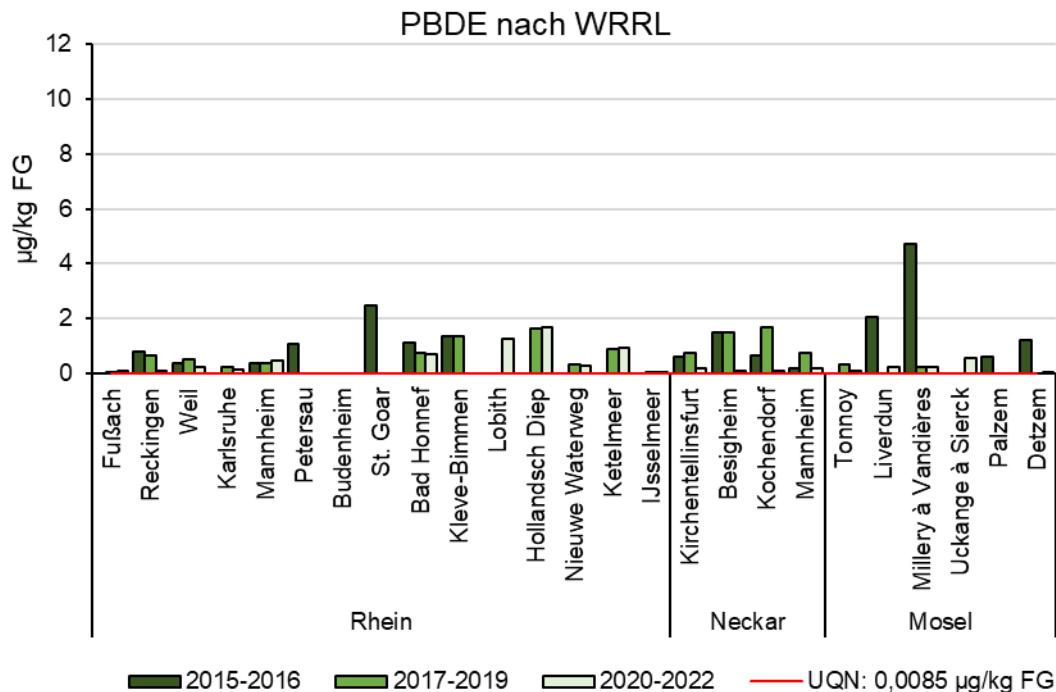


Abbildung 44: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 6: PBDE nach WRRL (ohne Normalisierung, Umrechnung auf Filet, nur Omnivore).

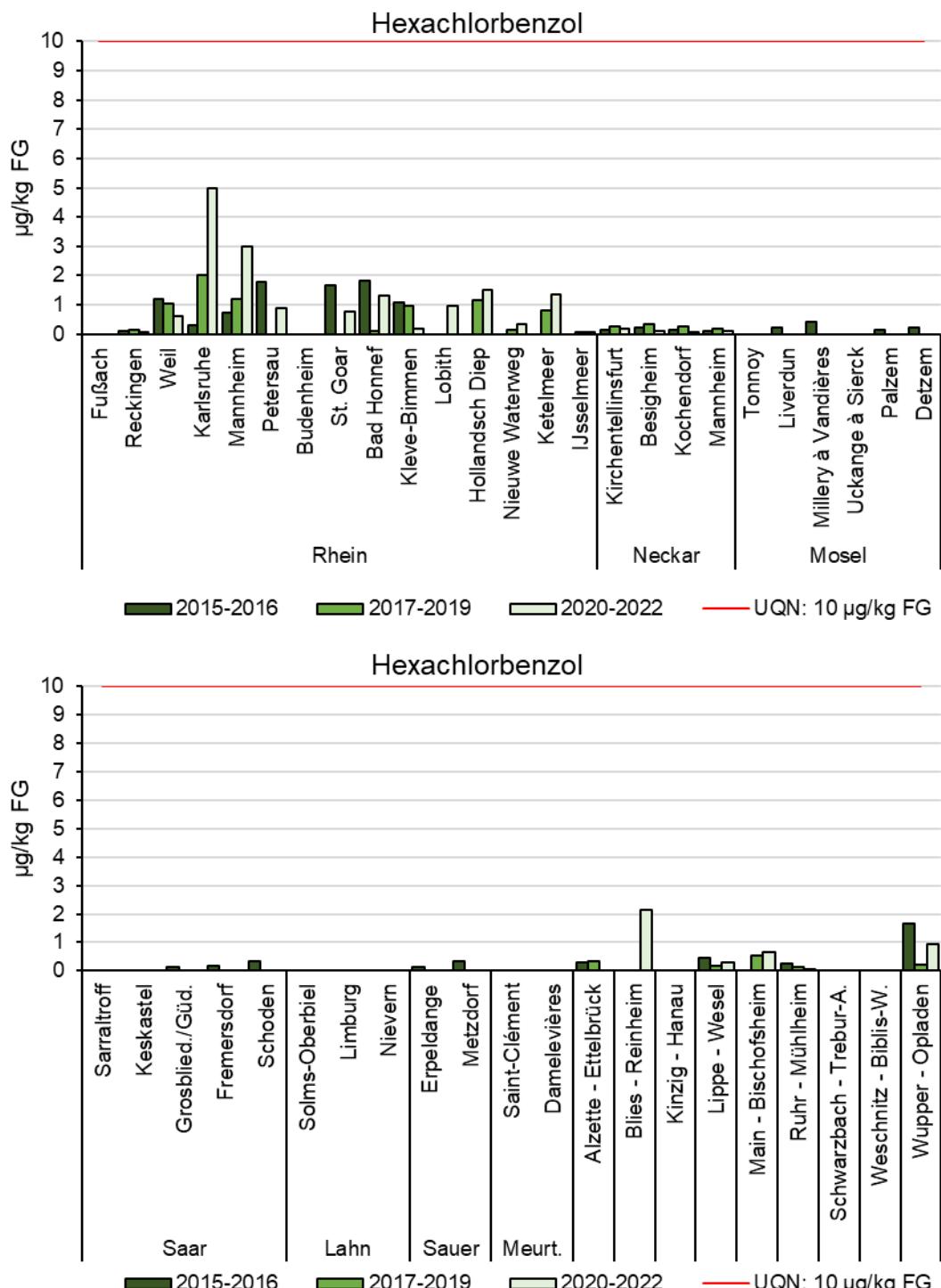


Abbildung 45: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 7: Hexachlorbenzol (ohne Normalisierung, Umrechnung auf Filet, Omnivore und Carnivore).

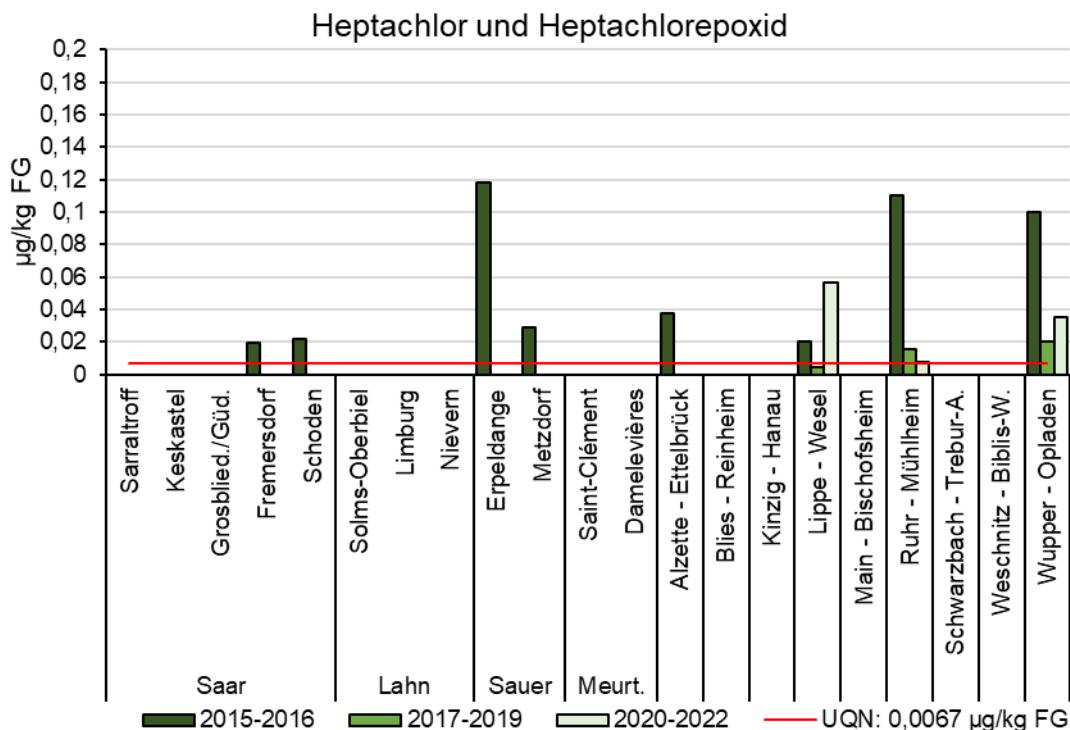
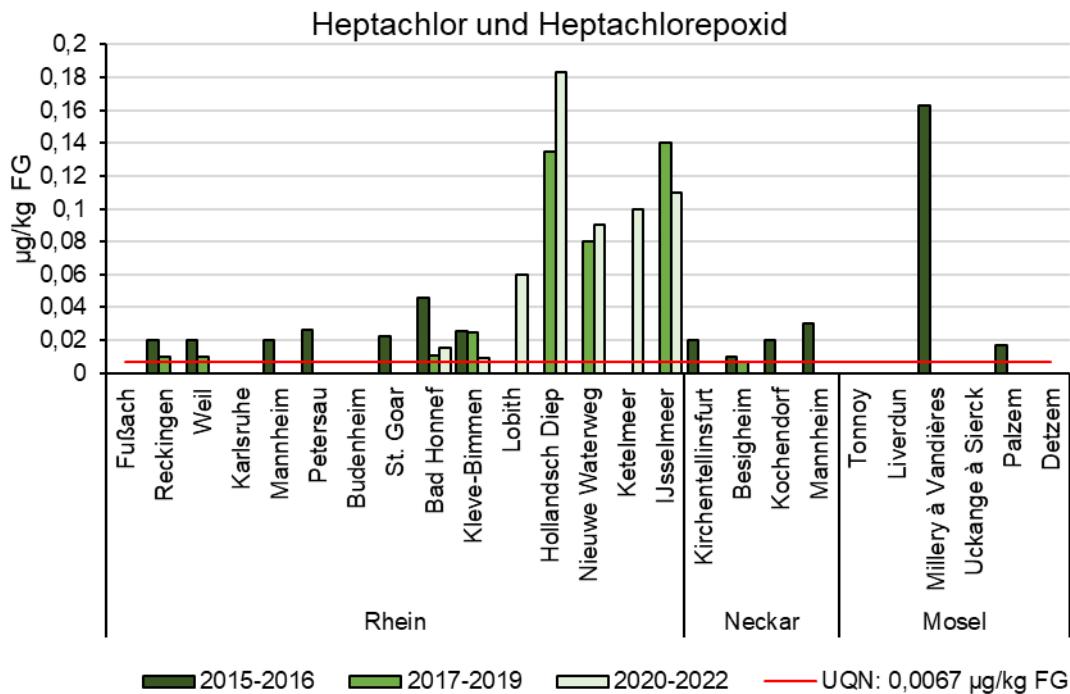


Abbildung 46: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 9: Heptachlor und Heptachlorepoxyd (ohne Normalisierung, Filet und Ganzfisch, Omnivore und Carnivore).

4.1.6.2 Normalisierte Schadstoffgehalte

Die grafische Darstellung der normalisierten Schadstoffbelastungen ist in Abbildung 47 bis Abbildung 54 für die unterschiedlichen Schadstoffe zu finden. Im Fall des Pestizids Dicofol konnte kein Wert oberhalb der labor-spezifischen Bestimmungsgrenze bestimmt werden. Da die Bestimmungsgrenzen der unterschiedlichen Labore jedoch alle unterhalb der Biota-UQN von 33 µg/kg FG lagen, gilt diese Grenze grundsätzlich als überwachbar.

Eine vollständige Füllung der Grafiken war jedoch nicht in allen Fällen möglich. Dies war zum einen darin begründet, dass nicht für jeden Wasserkörper und für jeden Zeitraum analytische Daten eines Stoffes beziehungsweise einer Stoffgruppe vorlagen. Zum anderen konnten Daten teilweise nicht berücksichtigt werden. Dies war dann der Fall, wenn eine Normalisierung aufgrund fehlender Daten zum Trockenmasse- oder Fettgehalt nicht möglich war oder wenn für Substanzen, die nur für omnivore Fische ausgewertet werden konnten (vgl. Tabelle 17 und Kapitel 4.1.4), nur Daten von carnivoren Fischen vorlagen. Im Falle fehlender Trockenmassegehalte wurden entsprechende Proxy-Trockenmassen für Filet beziehungsweise Ganzfisch eingesetzt, sodass diese Einschränkung umgangen werden konnte.

In allen in Abbildung 47 dargestellten Flüssen konnte mit wenigen Ausnahmen im Mittel eine Überschreitung der Umweltqualitätsnorm von Quecksilber (20 µg/kg FG) festgestellt werden. Die höchsten Belastungen wurden in der Mosel bei Tonnoy und bei Liverdun sowie in verschiedenen Wasserkörpern des Rheins ermittelt. Zwischen den drei zeitlichen Intervallen konnten augenscheinlich keine einheitlichen Entwicklungen in der Quecksilberbelastung über die Zeit hinweg beobachtet werden.

Das Ersetzen von fehlenden Trockenmasse-Daten durch die entsprechenden Proxy-Werte erhöhte auch im Fall von PFOS (UQN 9,1 µg/kg FG) stark die Anzahl der grafisch darstellbaren Daten (siehe Abbildung 48). Die mit Abstand höchsten Gehalte wurden im Rhein bei Karlsruhe und bei Mannheim im Zeitraum 2020-2022 sowie im Rhein bei Petersau im Zeitraum 2015-2016 ermittelt. Bei den auffällig hochbelasteten Proben handelte es sich um Rotaugen mit unauffälligen Trockenmassegehalten (22,2 % und 21,4 %), sodass die Diskrepanz zwischen den beiden Proben und dem restlichen Datensatz nicht durch Metadaten erklärt werden konnte.

Die Datenlage für die Dioxine und dioxinähnlichen Verbindungen war – primär aufgrund der hohen Verfügbarkeit der zur Normalisierung genutzten Fettgehalte – deutlich höher. Die höchsten, je Zeitraum gemittelten Belastungen wurden im Rhein bei Kleve-Bimmen, in der Ruhr bei Mühlheim, in der Lahn bei Limburg und in der Wupper bei Opladen berichtet. Auffällig war, dass alle der vier höchstbelasteten Mittelwerte aus dem Zeitraum 2017-2019 stammten. Dort, wo Vergleiche mit anderen Probenahmezeiträumen möglich waren, lagen

die Gehalte für 2020-2022 zwar deutlich niedriger, aber ebenfalls noch auf einem hohen Niveau und oftmals auch oberhalb der Umweltqualitätsnorm von 0,0065 µg/kg FG.

Im Falle von Hexachlorbutadien lag eine recht eingeschränkte Datenverfügbarkeit vor wie Abbildung 50 zeigt. Besonders auffällig war der Gehalt in der Lippe bei Wesel im Zeitraum 2015-2016. Der gemittelte Gehalt von 52,3 µg/kg FG lag jedoch noch knapp unterhalb der Umweltqualitätsnorm von 55 µg/kg FG. Im Zeitraum 2020-2022 lag der Gehalt im gleichen Wasserkörper deutlich niedriger.

Die Gehalte von Hexabromcyclododecan lagen alle deutlich unterhalb der Umweltqualitätsnorm von 167 µg/kg FG. Die höchsten Gehalte wurden im Rhein bei Kleve-Bimmen (2017-2019) und bei St. Goar (2015-2016) sowie in der Wupper bei Opladen (2017-2019) detektiert.

Die Umweltqualitätsnorm der sechs für die Wasserrahmenrichtlinie relevanten PBDE (0,0085 µg/kg FG) wurde im Mittel in fast allen Wasserkörpern und in fast allen Probenahmezeiträumen überschritten. Auch hier zeigte der Rhein bei Kleve-Bimmen (2017-2019) die höchsten Gehalte. Ebenfalls auffällig hohe Gehalte wurden in der Lippe bei Wesel und in der Wupper bei Opladen ermittelt. Für die Lippe bei Wesel konnte über die drei betrachteten Zeiträume hinweg ein sinkender Trend beobachtet werden. In den meisten Wasserkörpern wurden die höchsten individuellen Messwerte in den ersten beiden Zeiträumen festgestellt, wohingegen die Gehalte im aktuellsten Zeitraum 2020-2022 meist am niedrigsten lagen.

Wie Abbildung 53 zeigt, konnten die höchsten Gehalte an Hexachlorbenzol allesamt im Rhein selbst detektiert werden. Einzig in den Rhein-Wasserkörpern Weil (2015-2016), Karlsruhe (2017-2019 und 2020-2022), Mannheim (2017-2019 und 2020-2022) und Kleve-Bimmen (2017-2019) wurde die zugehörige Umweltqualitätsnorm von 10 µg/kg FG im Mittelwert überschritten. Dort, wo Vergleiche über die drei Zeiträume möglich waren, lagen die Gehalte des aktuellsten Zeitraums 2020-2022 meist niedriger als im vorangegangenen Zeitraum 2017-2019.

Die grafische Darstellung der räumlichen Verteilung von Heptachlor und Heptachlorepoxyd (Abbildung 54) zeigte einen scheinbar hohen Grad an Überschreitungen der Umweltqualitätsnorm – insbesondere in Rhein, Neckar, Lippe, Ruhr und Wupper. Ergänzend sei hier nochmals erwähnt, dass zwar ein Großteil der gelieferten Daten für Heptachlor und Heptachlorepoxyd unterhalb der laborspezifischen Bestimmungsgrenze lag, die Bestimmungsgrenzen aber oftmals oberhalb der Umweltqualitätsnorm von 0,0067 µg/kg FG lagen. Aus diesem bereits in Kapitel 4.1.5 beschriebenen Grund ist eine Einschätzung zur generellen Überwachbarkeit des Umweltqualitätsnorm schwierig, da potentielle

Überschreitungen der Umweltqualitätsnorm übersehen werden könnten. Die höchsten Gehalte wurden im Neckar bei Mannheim und bei Kochendorf (jeweils 2015-2016), im Rhein bei Kleve-Bimmen (2017-2019) sowie in Lippe, Ruhr und Wupper ermittelt.

Die Darstellung der räumlichen Verteilung in Form von Belastungskarten erfolgt für die Fischdaten in Abbildung 92 bis Abbildung 109 im Anhang.

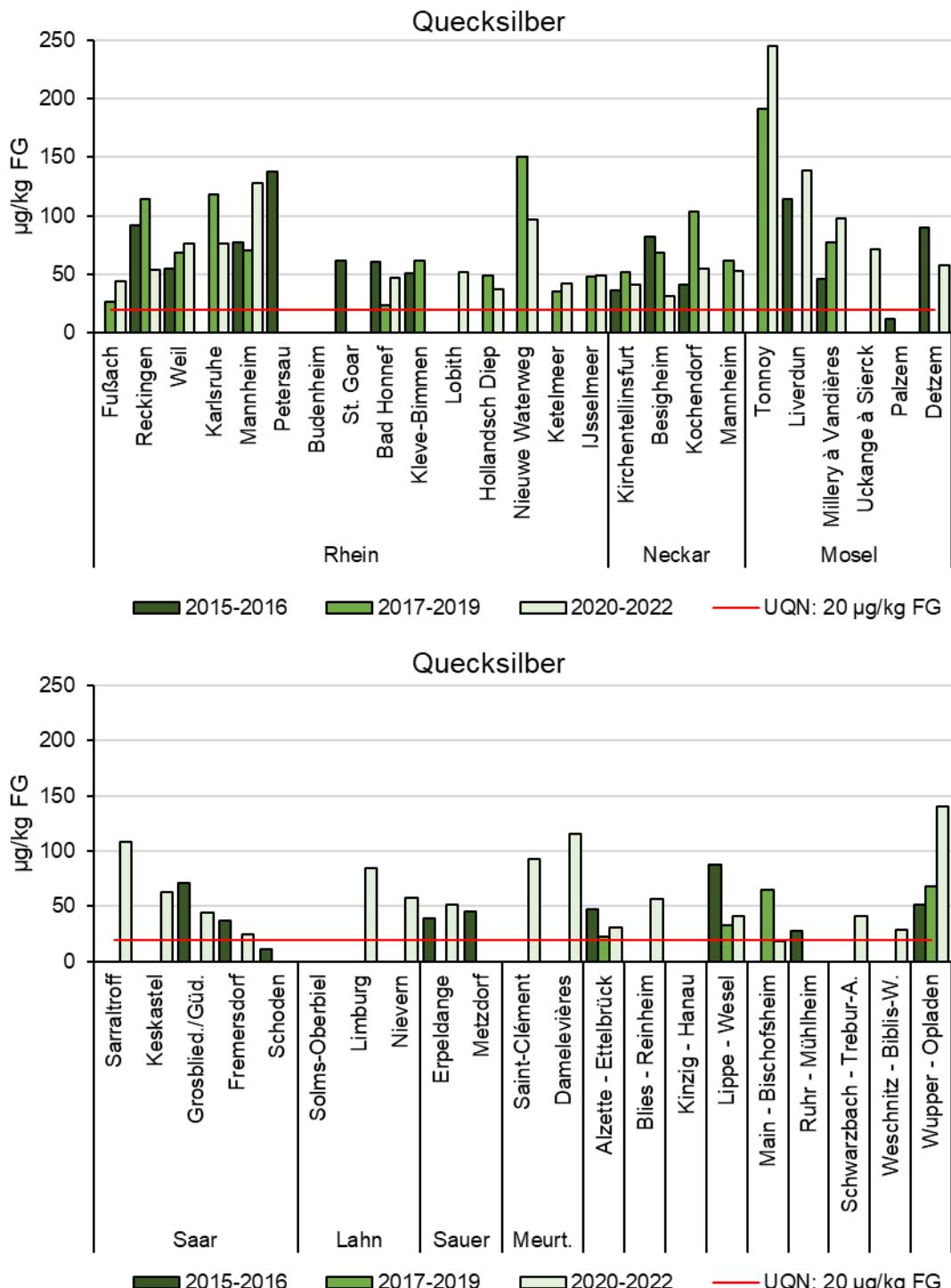


Abbildung 47: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 1: Quecksilber (TM-Normalisierung inklusive Proxy-Trockenmassen, Umrechnung auf Ganzfisch, nur Omnivore).

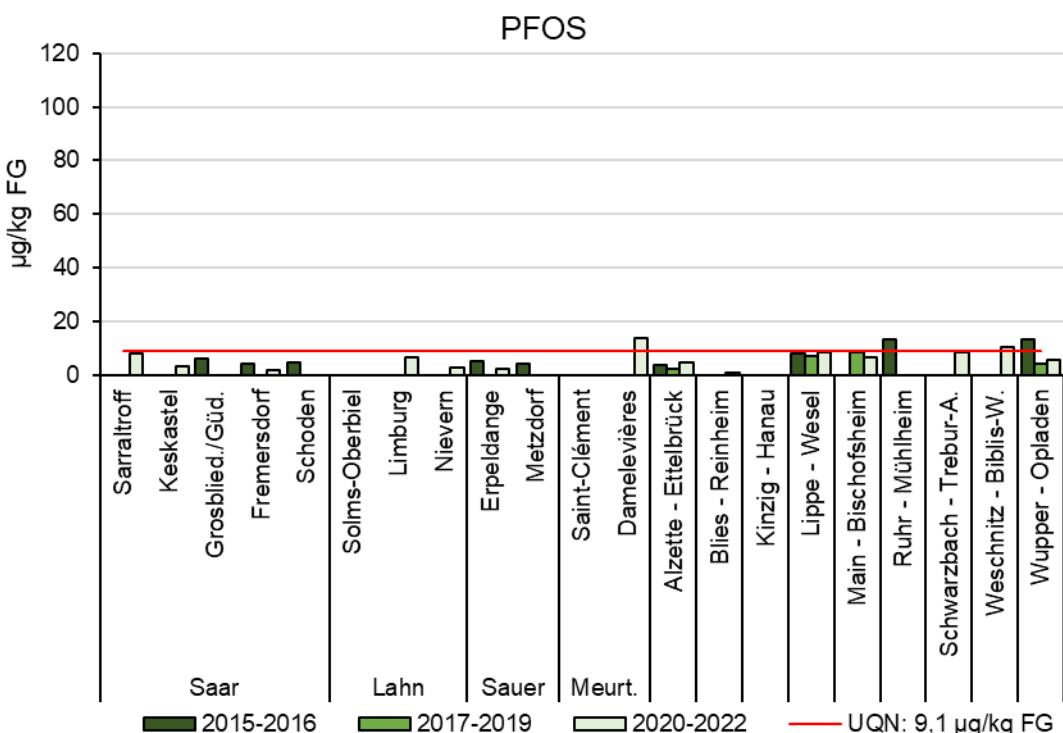
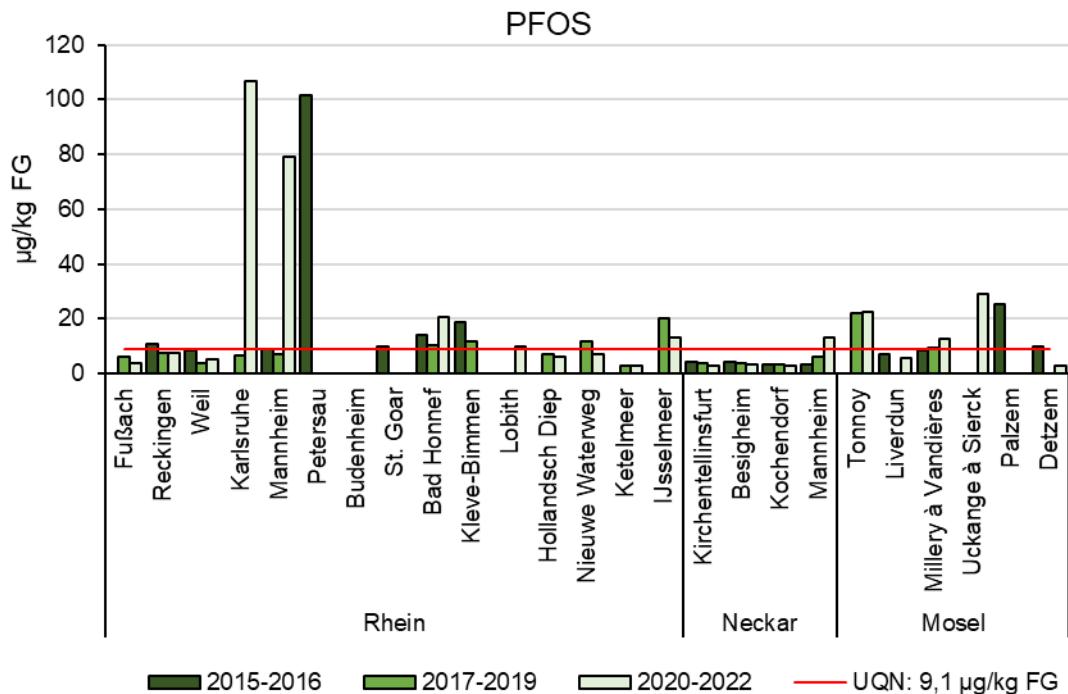


Abbildung 48: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 2: PFOS (TM-Normalisierung inklusive Proxy-Trockenmassen, Umrechnung auf Filet, nur Omnivore).

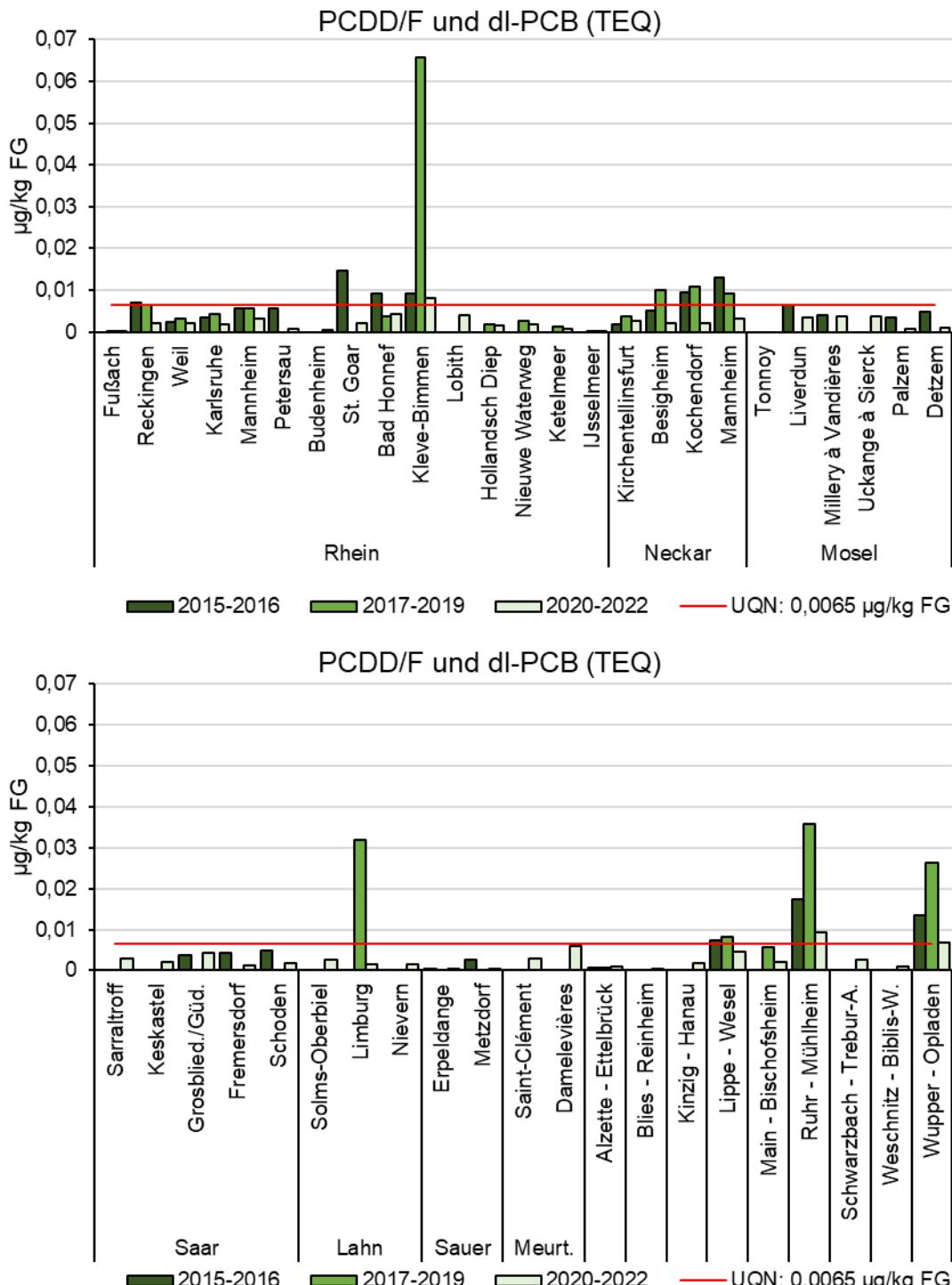


Abbildung 49: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 3: PCDD/F+dl-PCB (Fett-Normalisierung, Umrechnung auf Filet, Omnivore und Carnivore).

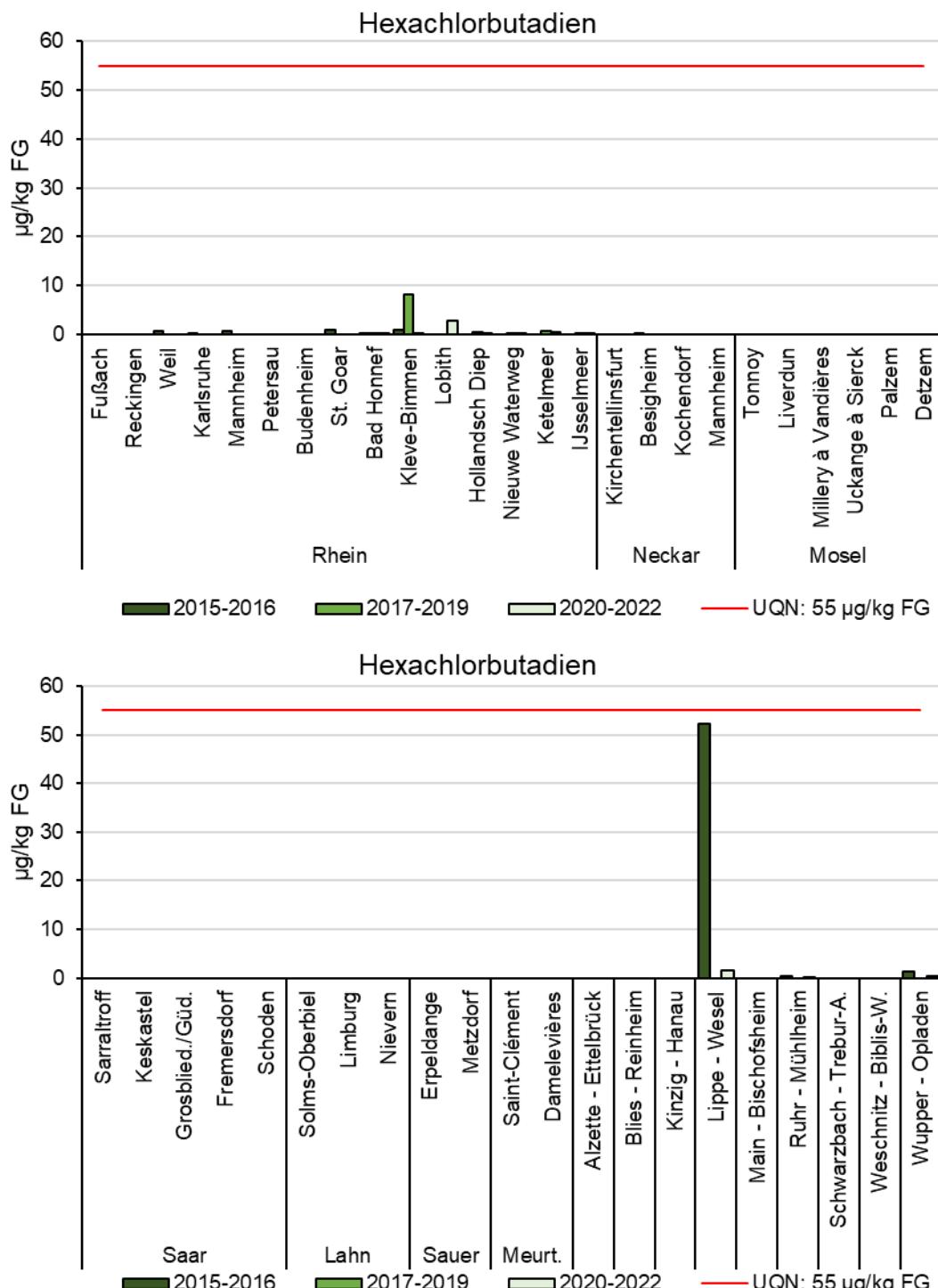


Abbildung 50: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 4: Hexachlorbutadien (Fett-Normalisierung, Filet und Ganzfisch, Omnivore und Carnivore).

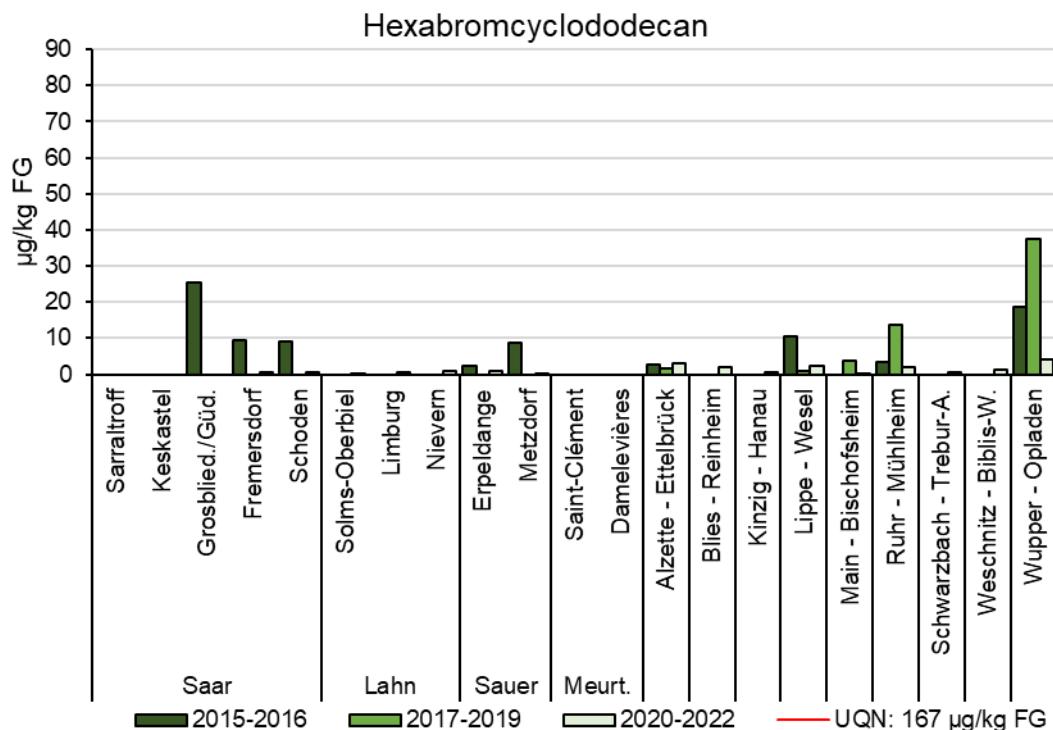
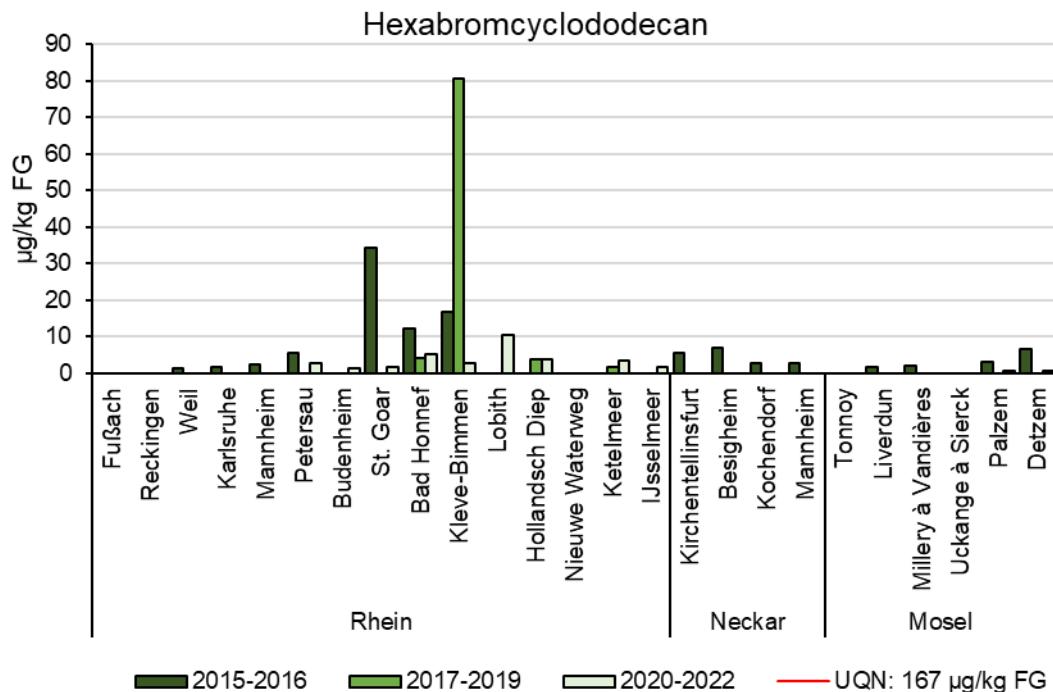


Abbildung 51: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 5: Hexabromcyclododecan (Fett-Normalisierung, Umrechnung auf Ganzfisch, Omnivore und Carnivore).

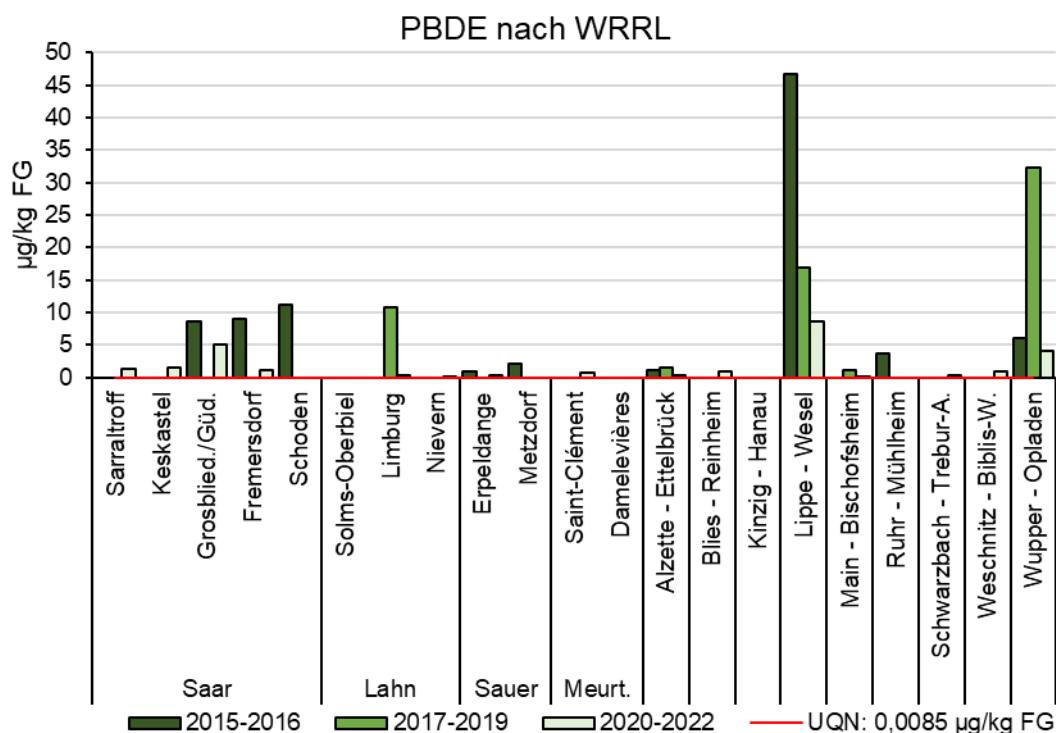
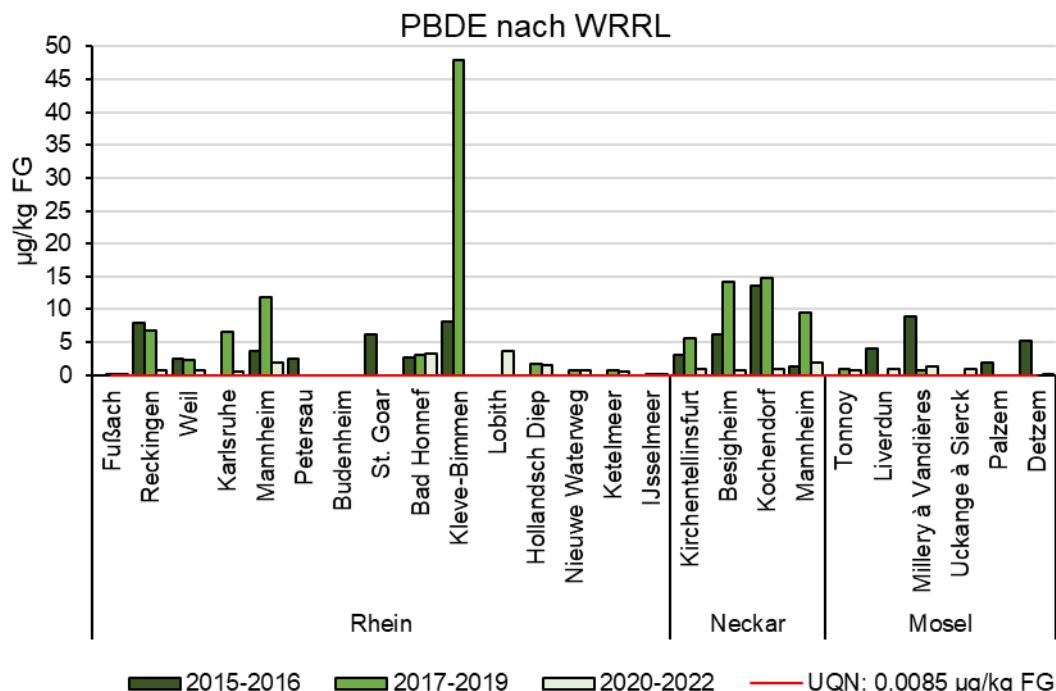


Abbildung 52: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 6: PBDE nach WRRL (Fett-Normalisierung, Umrechnung auf Filet, nur Omnivore).

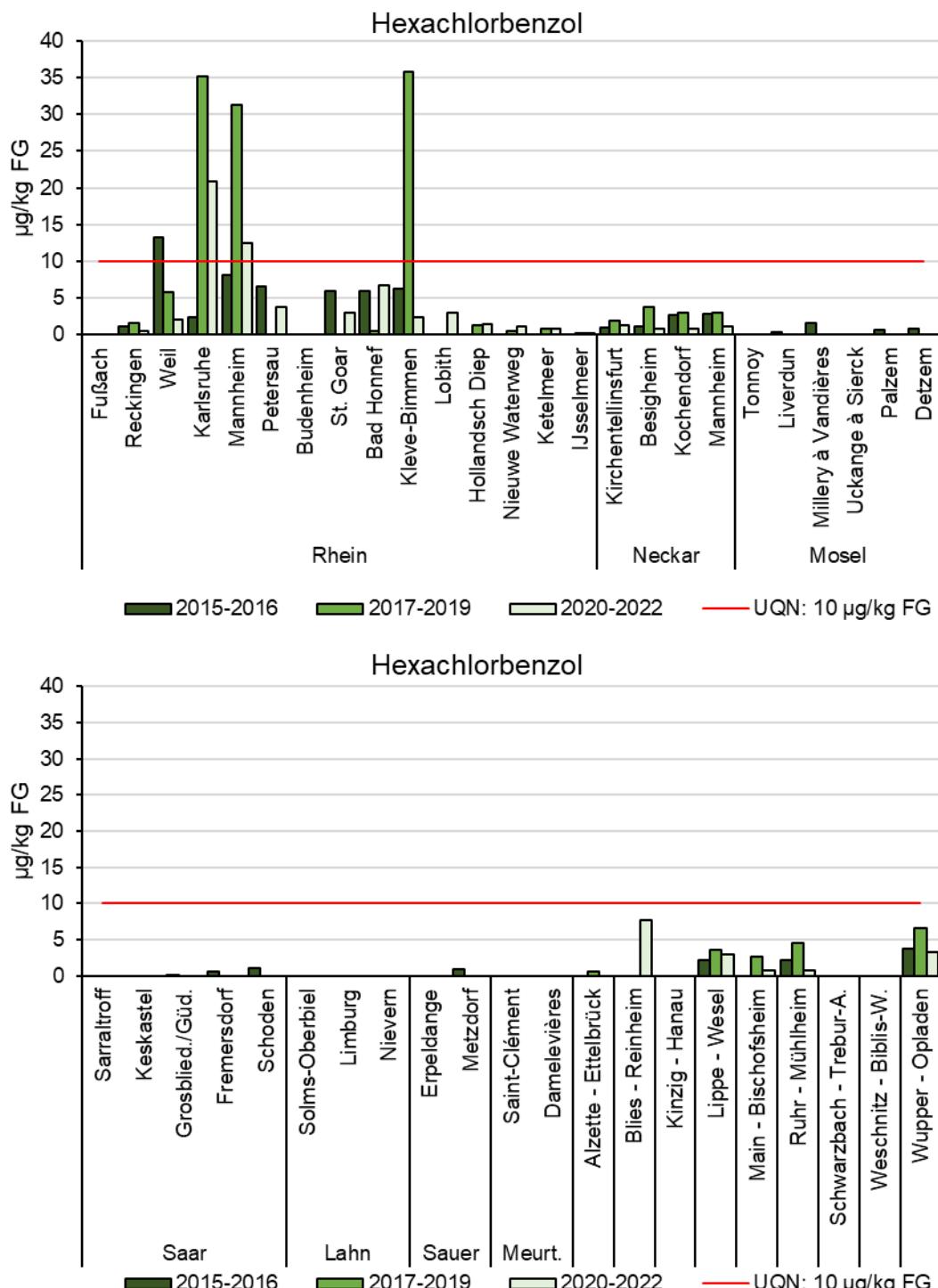


Abbildung 53: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 7: Hexachlorbenzol (Fett-Normalisierung, Umrechnung auf Filet, Omnivore und Carnivore).

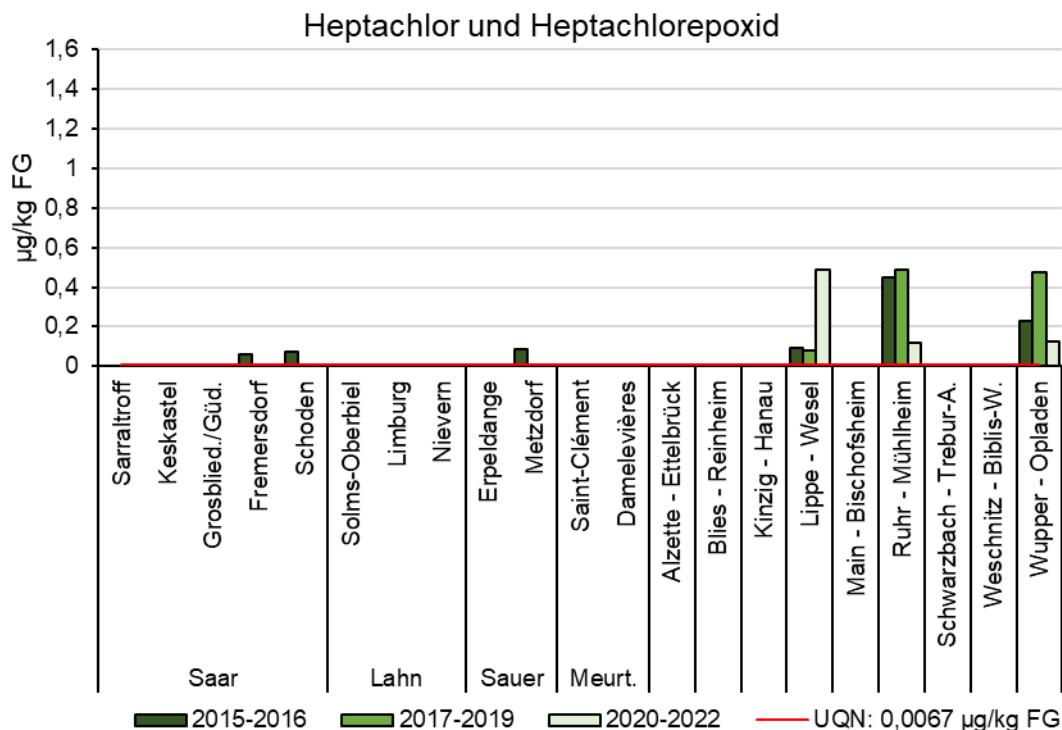
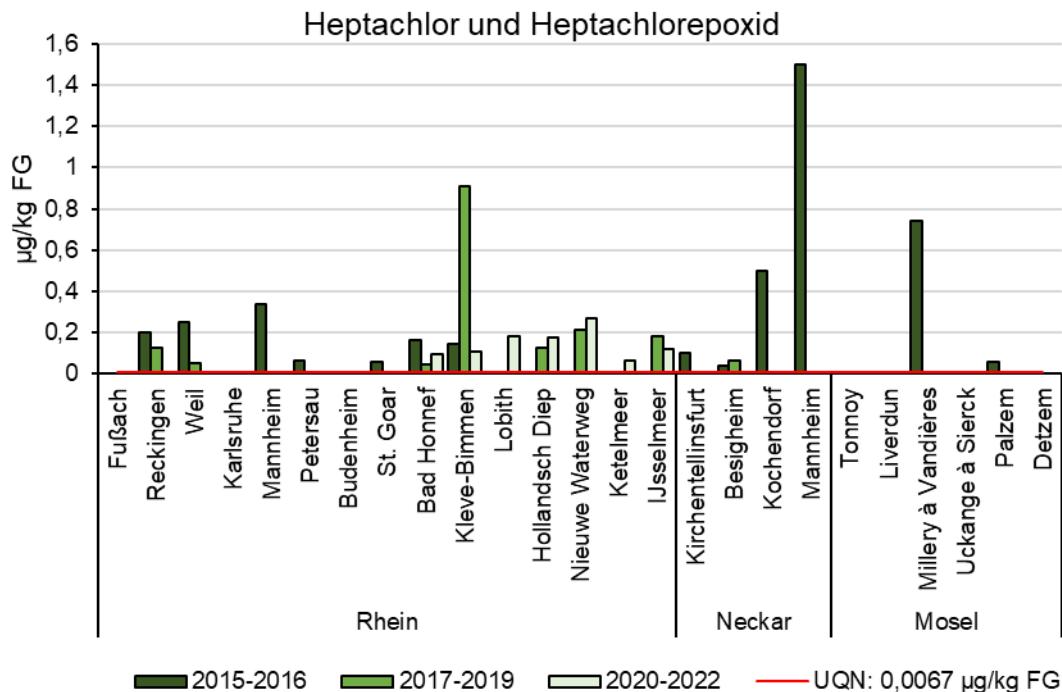


Abbildung 54: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Fischen; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 9: Heptachlor und Heptachlorepoxyd (Fett-Normalisierung, Filet und Ganzfisch, Omnivore und Carnivore).

4.2 Muschelproben

4.2.1 Beschreibung des Datensatzes

Der Datensatz der Muscheln umfasste insgesamt 121 Muschelproben, zu denen analytische Ergebnisse berichtet wurden. Die Proben stammten nach der Zusammenlegung von Messstellen innerhalb eines Wasserkörpers von insgesamt 33 Wasserkörpern aus insgesamt 10 Flüssen des Rheineinzugsgebiets (inklusive des Rheins selbst). Tabelle 18 liefert einen Überblick über den Datensatz der Muschelproben.

Bei allen Proben handelte es sich um Weichkörper-Proben. 95 % aller Proben lagen in Form von Poolproben vor. Für die restlichen sechs Proben fehlt diese Angabe. Es ist aufgrund der geringen Probenmasse einzelner Muscheln jedoch zu vermuten, dass es sich auch hier um Poolproben handelte.

Da wenige Datensätze auch von Proben aus dem Jahr 2023 geliefert worden sind, umfasste der Gesamtprobensatz der Muscheln entgegen dem Projekttitel (2015 bis 2022) den zeitlichen Bereich von 2015 bis 2023. Die Daten aus 2023 wurden nach Rücksprache mit der IKSR dennoch in die Auswertung miteinbezogen. Die meisten Proben stammten aus den Jahren 2021 (N = 38) und 2022 (N = 30), sodass diese beiden Jahre überproportional stark vertreten waren und insgesamt mehr als die Hälfte (56 %) aller Proben der neun Jahre des Datensatzes ausmachten.

Fettgehalte lagen für 85 % des Probensatzes vor. Bei den Trockenmassegehalten wurden Daten für 77 % aller Proben des Datensatzes berichtet. Größenangaben lagen zwar für 95 % der Muschelproben vor, jedoch waren diese nur in etwa 15 % aller Proben numerisch auswertbar, da anstelle von konkreten Mittelwerten oftmals uneinheitliche Größenklassen (z. B. „2,5-<2,9“, „2,5-<3,0“, „2,4-2,6“ oder „2,7-4,0“) genannt wurden oder Minimalwerte (z. B. „>2“) angegeben wurden. Gewichtsangaben lagen zwar ebenfalls für eine hohe Zahl (85 %) an Muschelproben vor, jedoch zeigte sich hier ein sehr inhomogenes Bild innerhalb der Angaben. Während bei einigen Proben Angaben für das durchschnittliche Gewicht einer Einzelmuschel (bzw. ihres Weichkörpers) innerhalb der Poolprobe vorlagen (Werte zum Teil im Sub-Gramm-Bereich), lagen für andere Proben wiederum scheinbar Gesamtgewichte für alle gepoolten Weichkörper vor (Werte zum Teil im Bereich mehrerer Hundert Gramm). Im letzten Fall gab es zwar teilweise Angaben zur Anzahl der Einzelmuscheln innerhalb einer Poolprobe, jedoch fehlten diese Angaben wiederum bei vielen Proben. Aus diesem Grund war auch ein erheblicher Teil der Gewichtsangaben der Muscheln nicht auswertbar. Altersangaben lagen bei den Muscheln im Gegensatz zu den Fischen nicht vor.

Tabelle 18: Übersichtstabelle der ausgewerteten Datensätze der Muschelproben.

Parametergruppe	Parameter	Anzahl	Anteil
	Gewässer	10	-
	Wasserkörper	33	-
	Probenzahl (gesamt)	121	100 %
	Weichkörper	121	100 %
Proben	Einzelproben	0	0 %
	Poolproben	115	95 %
	keine Angabe	6	5 %
Jahr	2015	11	9 %
	2016	6	5 %
	2017	8	7 %
	2018	2	2 %
	2019	9	7 %
	2020	8	7 %
	2021	38	31 %
	2022	30	25 %
	2023	9	7 %
Biometrie	Fettgehalt	103	85 %
	Trockenmasse	93	77 %
	Größe	115	95 %
	Größe auswertbar	18	15 %
	Gewicht	103	85 %
	Gewicht auswertbar	58	48 %
	Altersangabe	-	-
	Altersangabe auswertbar	-	-

Abbildung 55 liefert einen Überblick über die Probenzahlen je Muschelgattung und je Jahr. Aufgrund von unterschiedlichen und teils nicht differenzierten Angaben bei der Angabe der Spezies wurde die Auswertung auf die Aufteilung nach Muschelgattung begrenzt. Es lagen Daten für die Gattungen Corbicula und Dreissena vor. Im Fall einer einzelnen Probe aus dem Jahr 2015 handelte es sich um eine Mischung aus Dreissena und Corbicula. Bei allen Muscheln der Gattung Corbicula handelte es sich um die Spezies *Corbicula fluminea* (Grobgerippte Körbchenmuschel). Aus der Gattung Dreissena wurden die Spezies *Dreissena bugensis* (Quagga-Dreikantmuschel), *Dreissena polymorpha* (Wandermuschel oder Zebramusche) sowie nicht weiter spezies-differenzierte Muscheln beprobt.

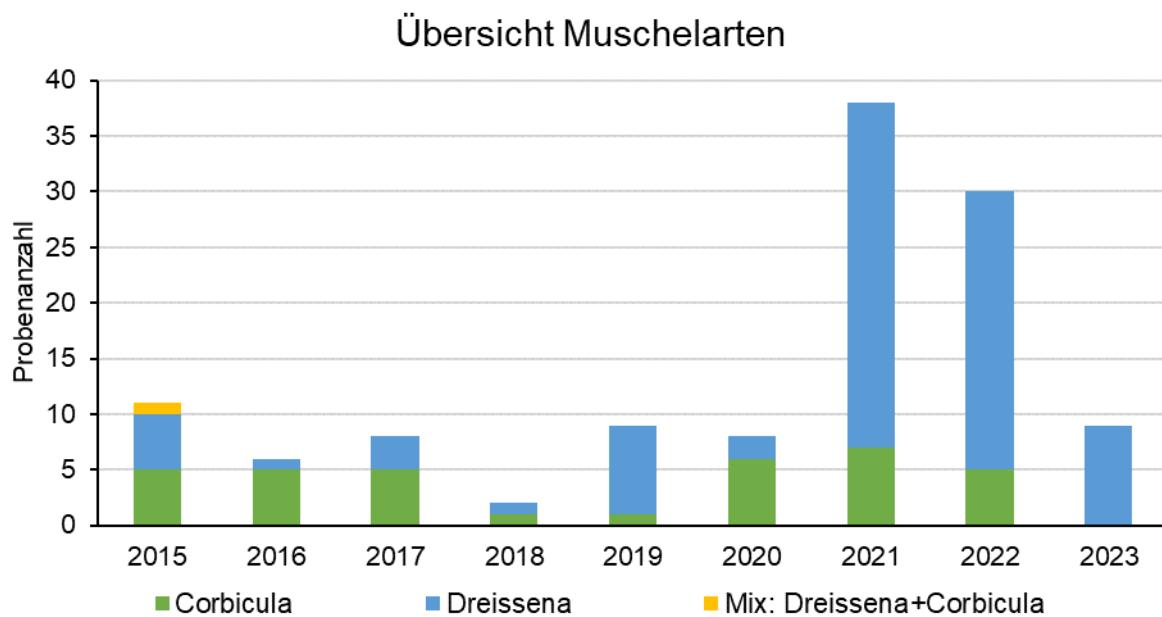


Abbildung 55: Übersichtsgrafik über die gefangenen Muschelarten (Absolutwerte) pro Jahr.

Ergänzend zeigt Abbildung 56 die relative Verteilung der Muschelproben auf die unterschiedlichen Gattungen pro Jahr sowie über den Gesamtprobensatz von 2015 bis 2023. Die relativen Verhältnisse von Corbicula und Dreissena schwankten zwischen den einzelnen Jahren stark. Über den Gesamtzeitraum machten Muscheln der Gattung Dreissena mit 70 % aller Proben den Großteil des Datensatzes aus. Bei 29 % aller Proben handelte es sich um Muscheln der Gattung Corbicula.

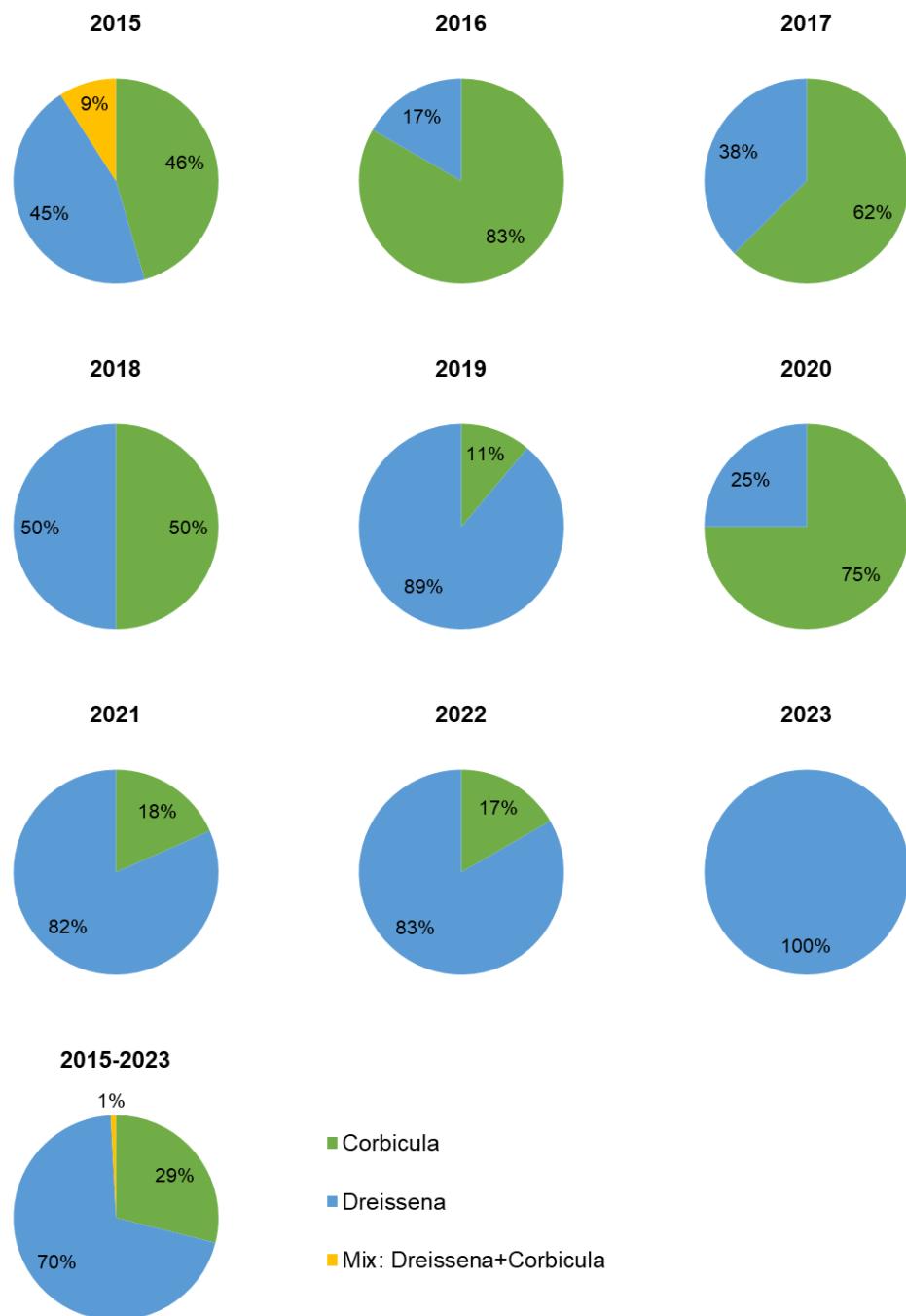


Abbildung 56: Verteilung gefangenen Muschelarten pro Jahr (Jährliche Prozentsätze).

Die Verteilung der Muschelarten auf die verschiedenen Flüsse und Wasserkörper ist in Abbildung 57 und Abbildung 58 dargestellt. Die Muschelpolen stammten nach der Zusammenlegung von Messstellen innerhalb eines Wasserkörpers von insgesamt 33 Wasserkörpern. Davon machen der Rhein mit 13 (39 %) und die Mosel mit sechs Wasserkörpern (18 %) den Großteil aus. Es folgten Neckar und Saar (je N = 3, je 9 %) sowie Lahn und Meurthe (je N = 2, je 6 %) sowie Nidda, Schwarzbach, Weschnitz und Kinzig (je N = 1, je 3 %). Während im Oberrhein und im Neckar sowohl Dreissena als Corbicula gesammelt wurden (siehe Abbildung 57), wurde an den Wasserkörpern der übrigen Flüsse jeweils nur eine der beiden Gattungen beprobt (siehe Abbildung 58).

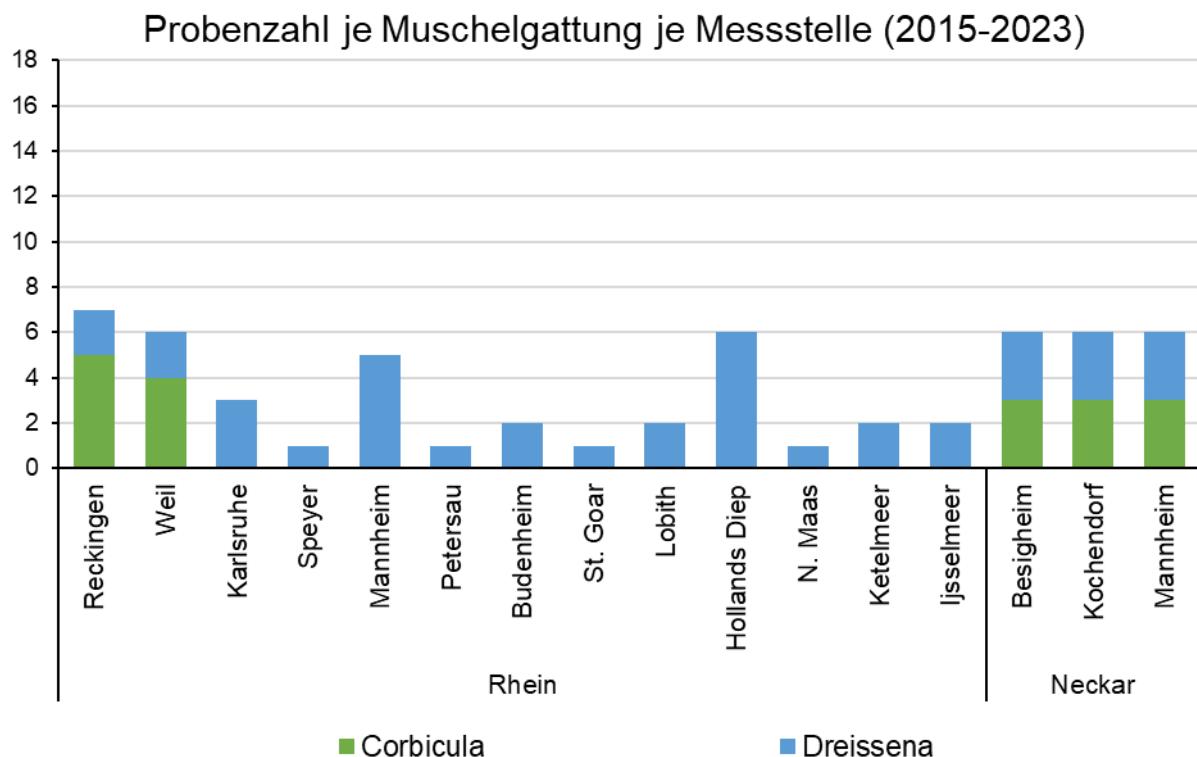


Abbildung 57: Übersicht über die Probenzahlen je Wasserkörper und je gefangener Muschelgattung (Rhein und Neckar).

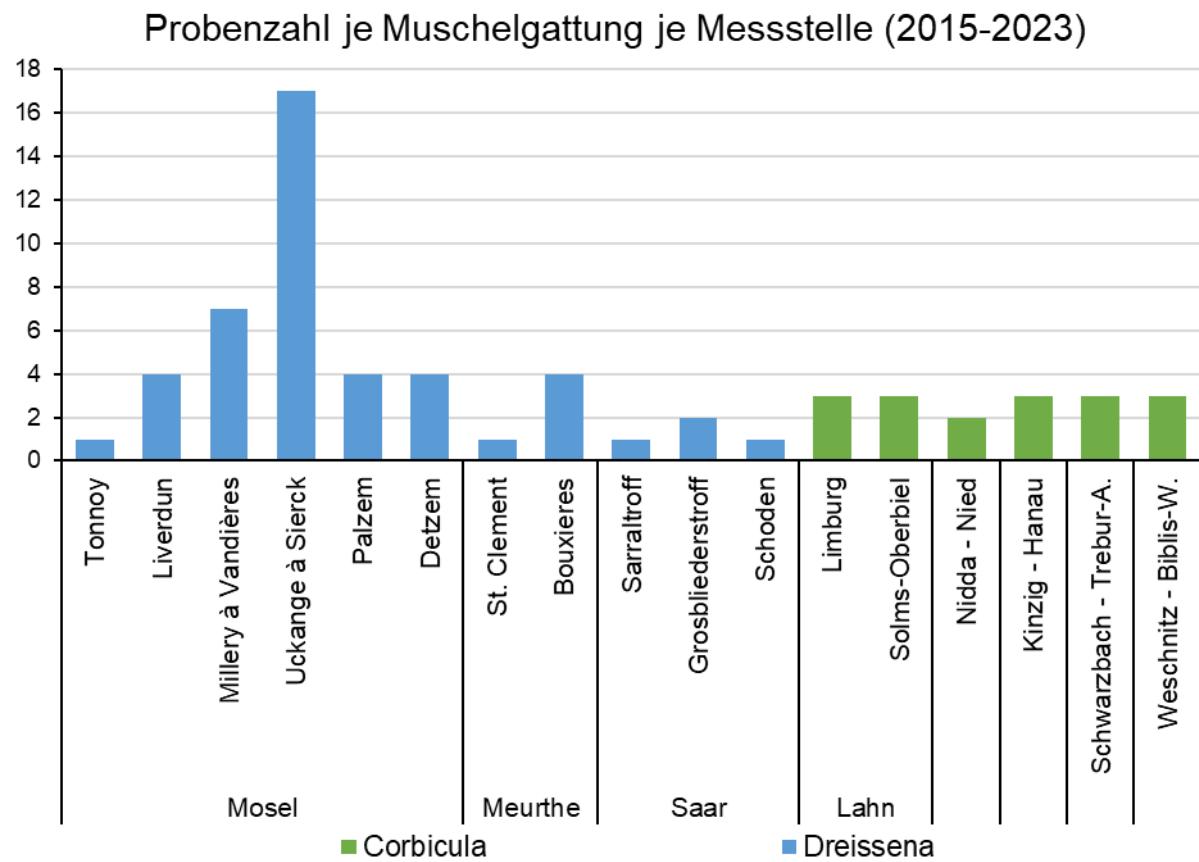


Abbildung 58: Übersicht über die Probenzahlen je Wasserkörper und je gefangener Muschelgattung (Mosel, Lahn, Meurthe, Saar und weitere).

4.2.2 Charakterisierung der Muschelarten

Aufgrund der eingangs in Kapitel 4.2.1 genannten Probleme bei den Angaben der Muschelgrößen und -gewichte erfolgt keine Auswertung dieser Parameter für die Muscheln wie zuvor für die Fische dargestellt.

In der nachfolgenden Abbildung 59 ist die Verteilung der Fett- und Trockenmassegehalte für die beiden Muschelgattungen Dreissena und Corbicula dargestellt. Muscheln der Gattung Dreissena wiesen im Median deutlich geringere Fettgehalte auf als Corbicula. Ausnahmen waren wenige Dreissena-Proben mit Fettgehalten >1 % (N = 26), die auffällig häufig aus der Mosel (N = 16) und dem Neckar (N = 6) stammten.

Während der Großteil der Dreissena-Muscheln folglich unterhalb des Fettgehalts von 1 % lag, der für die spätere Normalisierung verwendet wurde, wies der Großteil der Corbicula-Muscheln Fettgehalte (sofern angegeben) deutlich oberhalb dieses Wertes auf.

Im Trockenmassegehalt unterschieden sich die beiden Muschelgattungen weniger stark. Jedoch lag der Median der Trockenmassegehalte bei Dreissena (9,9 %) niedriger als bei Corbicula (16,3 %). Bei beiden Muschelgattungen lagen die Mediane folglich oberhalb des Wertes von 8,3 %, der für die spätere Normalisierung auf den Trockenmassegehalt herangezogen wurde.

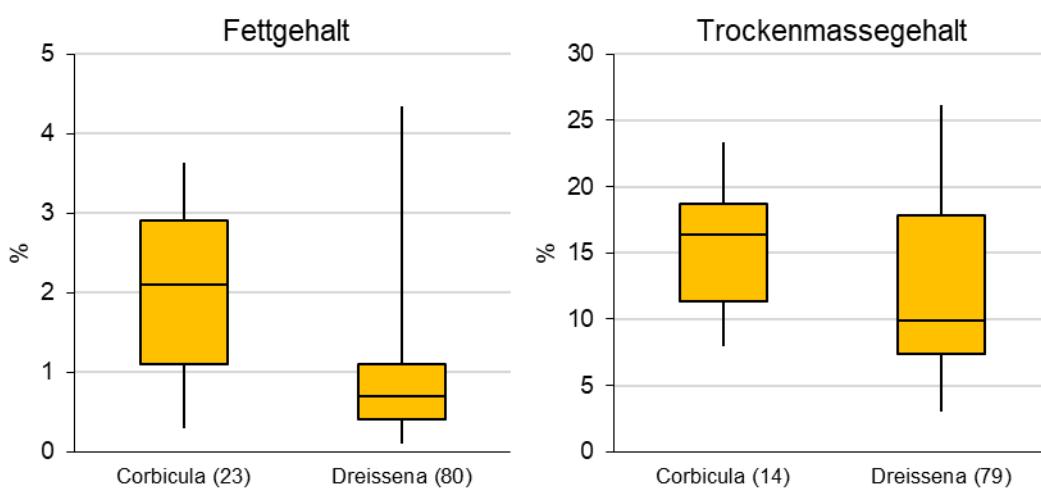


Abbildung 59: Fett- und Trockenmassegehalte der verschiedenen Muschelarten im Gesamtprobensatz; in Klammern: Probenzahl.

4.2.3 Übersicht über Schadstoffgehalte

Durch die Bereinigung des ursprünglichen Datensatzes mit etwa 560 analytischen Datenpunkten entstand ein Datensatz mit 272 Analysewerten (zuzüglich Begleitdaten) von insgesamt 121 Muschelproben. Von den 121 Muschelproben lagen ursprünglich 113 Analysewerte für Fluoranthen (entspricht einer Datenvollständigkeit von 93 %), 120 Werte für Benzo(a)pyren (99 %) sowie 39 Werte für die Dioxine und dioxinähnlichen PCB (32 %) vor. Demnach kann für Fluoranthen und Benzo(a)pyren von einer sehr guten und praktisch vollständigen Ausgangslage hinsichtlich der Datenbasis gesprochen werden. Für die Dioxine und dioxinähnlichen Verbindungen, die aber parallel auch in Fischen auf die Einhaltung der Umweltqualitätsnorm untersucht wurden, war die Datenbasis der Muschelproben folglich stark eingeschränkt. In den nachfolgenden Kapiteln erfolgt eine separate Auswertung für die nicht-normalisierten und die auf den Fettgehalt-normalisierten Schadstoffgehalte.

4.2.3.1 Nicht-normalisierte Schadstoffgehalte

Eine Übersicht über die deskriptiven statistischen Kenngrößen für den nicht-normalisierten Datensatz der Muscheln ist Tabelle 19 zu entnehmen. Diese enthält für jede Substanz(gruppe) den Minimal- und Maximalwert (inkl. der zugehörigen Wasserkörper) sowie den Mittelwert inkl. Standardabweichung, den Median, den relativen Anteil der Proben mit einer UQN-Überschreitung sowie eine Einschätzung zur Überwachbarkeit der jeweiligen Umweltqualitätsnorm. Für die zugrundeliegenden Berechnungen und Auswertungen wurden alle verfügbaren Werte einbezogen, unabhängig von der Muschelgattung oder dem Jahr der Probenahme. Die analytischen Daten werden zudem separat für die Substanzgruppen und die beiden Muschelgattungen in Form von Boxplot-Grafiken in Abbildung 60 dargestellt.

Von den 113 verfügbaren Fluoranthen-Messwerten lagen insgesamt 90 % aller Werte oberhalb der laborspezifischen Bestimmungsgrenzen. Dabei überschritten 19 % aller Proben die zugehörige Umweltqualitätsnorm von 30 µg/kg FG. Der höchste Gehalt von 160 µg/kg FG wurde im Neckar bei Besigheim ermittelt und lag folglich etwa fünffach oberhalb der Umweltqualitätsnorm. Wie aus Abbildung 60 ersichtlich wurden ohne die Normalisierung auf den Fettgehalt in den Muscheln der Gattung Corbicula etwa doppelt bis dreifach so hohe Mediangehalte gefunden wie in Muscheln der Gattung Dreissena.

Für Benzo(a)pyren lagen die übermittelten Gehalte in den Muscheln deutlich niedriger als die des Fluoranthens. Die Rate der Detektionen oberhalb der Bestimmungsgrenzen lag bei 63 %, wobei schließlich 7 % aller Proben auch die Umweltqualitätsnorm überschritten. Der höchste Gehalt an Benzo(a)pyren wurde mit 33,0 µg/kg FG im Rhein bei Lobith ermittelt und lag folglich mehr als sechsfach oberhalb der Umweltqualitätsnorm von 5 µg/kg FG. Obwohl Fluoranthen und Benzo(a)pyren als zwei Vertreter der poliaromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) strukturverwandt sind, zeigte sich im Vergleich der beiden Muschelgattungen ein

unterschiedliches Bild. Die Gehalte von Benzo(a)pyren lagen in Muscheln der Gattung Dreissena signifikant höher als in Muscheln der Gattung Corbicula (siehe Abbildung 60).

Im Falle des Summenparameters der Dioxine und dioxinähnlichen Verbindungen konnten innerhalb des zur Auswertung genutzten Datensatzes quantifizierbare Gehalte in praktisch allen Proben (Detektionsrate 97 %) ermittelt werden. Es ist anzumerken, dass lediglich aus Baden-Württemberg analytische Daten geliefert wurden, da die Dioxine und dioxinähnlichen Verbindungen in den anderen Delegationen ausschließlich im Fisch überwacht werden. In keiner der 39 untersuchten Proben wurde die zugrunde liegende Umweltqualitätsnorm von 0,0065 µg/kg FG überschritten. Der höchste nachgewiesene Gehalt lag mit 0,00545 µg/kg FG knapp unterhalb der Umweltqualitätsnorm und wurde im Neckar bei Kochendorf detektiert. Der Vergleich der beiden Muschelgattungen zeigte deutlich höhere Gehalte in den Muscheln der Gattung Corbicula im Vergleich zu Dreissena.

Im Hinblick auf die hohen Detektionsraten aller drei Substanzen beziehungsweise Substanzgruppen bleibt festzuhalten, dass die Bestimmungsgrenzen in den Laboren ausreichend niedrig waren, um die Einhaltung der Umweltqualitätsnorm in Muscheln zu überwachen.

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 114/211

Tabelle 19: Zusammenfassung der nicht-normalisierten Schadstoffgehalte in Muscheln: deskriptive Kenndaten über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2023.

Stoff(gruppe)	N	Mittelwert [µg/kg FG]	SD [µg/kg FG]	Median [µg/kg FG]	Min [µg/kg FG]	Max [µg/kg FG]	Wasserkörper mit Maximalbelastung	UQN ¹⁵ - Überschreitung	UQN überwachbar?
Fluoranthen	113	21,0	26,4	9,77	<LOQ	160	Neckar - Besigheim	19 %	Ja
Benzo(a)pyren	120	3,06	4,61	1,87	<LOQ	33,0	Rhein - Lobith	7 %	Ja
PCDD/F und dl-PCB (TEQ)	39	0,00146	0,00178	0,000610	<LOQ	0,00545	Neckar - Kochendorf	0 %	Ja

¹⁵ Gemäß Richtlinie 2013/39/EU

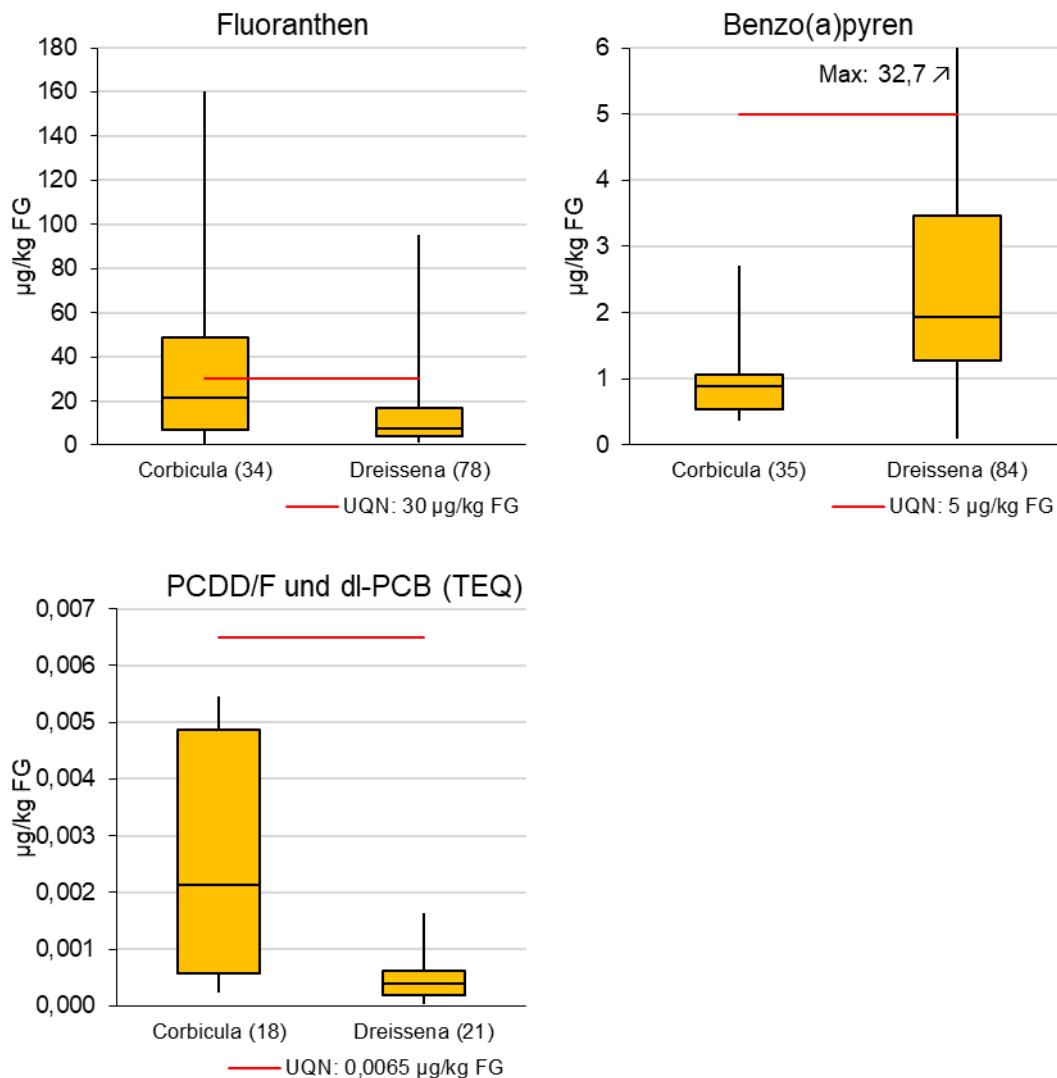


Abbildung 60: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse von Fluoranthen, Benzo(a)pyren sowie Dioxinen und dioxinähnlichen PCB, getrennt nach Muschelgattung. Ohne Normalisierung; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.

4.2.3.2 Normalisierte Schadstoffgehalte

Wie schon zuvor für den Datensatz der Fische erläutert, konnten für die weitere Auswertung mit normalisierten Schadstoffgehalten nur solche Daten berücksichtigt, für die entsprechende Fettgehalte vorlagen. Aufgrund der lipophilen Eigenschaften der drei in den Muscheln zu untersuchenden Parametern, erfolgte für alle drei Parameter eine Normalisierung auf den Fettgehalt. Da lediglich für 85 % der Proben entsprechende Fettgehalte vorlagen, wurde der nutzbare Datensatz um etwa 15 % verringert. So enthielt der letztlich ausgewertete Datensatz für Fluoranthene 95 Muschelpolen, für Benzo(a)pyren 102 Proben und für die Dioxine und dioxinähnlichen Verbindungen 38 Proben.

Eine Übersicht über die deskriptiven statistischen Kenngrößen ist Tabelle 20 zu entnehmen. Diese enthält für jede Substanz(gruppe) Minimal- und Maximalwert (inkl. des zugehörigen Wasserkörpers) sowie das Mittel inkl. Standardabweichung, den Median, den relativen Anteil der Proben mit einer UQN-Überschreitung sowie eine Einschätzung zur Überwachbarkeit der jeweiligen Umweltqualitätsnorm. Für die zugrundeliegenden Berechnungen und Auswertungen wurden alle nach der Normalisierung auf den Fettgehalt verfügbaren Werte einbezogen, unabhängig von der Muschelgattung oder dem Jahr der Probenahme. Die analytischen Daten werden zudem separat für die Substanzgruppen und die beiden Muschelgattungen in Form von Boxplot-Grafiken in Abbildung 61 dargestellt.

Von den 95 auswertbaren Fluoranthene-Messwerten lagen insgesamt 89 % aller Werte oberhalb der laborspezifischen Bestimmungsgrenzen. Dabei überschritten 14 % aller Proben die zugehörige Umweltqualitätsnorm von 30 µg/kg FG. Der höchste Gehalt von 151 µg/kg FG wurde in der Meurthe bei Bouxières ermittelt und lag folglich etwa fünfzehnmal oberhalb der Umweltqualitätsnorm. Wie aus Abbildung 61 ersichtlich waren die Mediangehalte in Muscheln der Gattungen Corbicula und Dreissena nach der Normalisierung auf den Fettgehalt etwa vergleichbar.

Für Benzo(a)pyren lagen die übermittelten Gehalte in den Muscheln deutlich niedriger als die des Fluoranthens. Die Rate der Detektionen oberhalb der Bestimmungsgrenzen lag bei 66 %, wobei schließlich 14 % aller Proben auch die Umweltqualitätsnorm überschritten. Der höchste Gehalt an Benzo(a)pyren wurde mit 32,7 µg/kg FG ebenfalls in der Meurthe bei Bouxières ermittelt und lag folglich mehr als sechsfach oberhalb der Umweltqualitätsnorm von 5 µg/kg FG. Obwohl Fluoranthene und Benzo(a)pyren als zwei Vertreter der poliaromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) strukturverwandt sind, zeigte sich im Vergleich der beiden Muschelgattungen ein unterschiedliches Bild. Die Gehalte von Benzo(a)pyren lagen in Muscheln der Gattung Dreissena signifikant höher als in Muscheln der Gattung Corbicula (siehe Abbildung 61).

Im Falle des Summenparameters der Dioxine und dioxinähnlichen Verbindungen konnten innerhalb des zur Auswertung genutzten normalisierten Datensatzes quantifizierbare Gehalte in allen Proben ermittelt werden. Es ist anzumerken, dass lediglich aus Baden-Württemberg analytische Daten geliefert wurden, da die Dioxine und dioxinähnlichen Verbindungen in den anderen Delegationen ausschließlich im Fisch überwacht werden. In keiner der 39 untersuchten Proben wurde die zugrunde liegende Umweltqualitätsnorm von 0,0065 µg/kg FG überschritten. Der höchste nachgewiesene Gehalt lag mit 0,00345 µg/kg FG etwa bei der Hälfte der Umweltqualitätsnorm und wurde im Neckar bei Mannheim detektiert. Der Vergleich der beiden Muschelgattungen zeigte deutlich höhere Gehalte in den Muscheln der Gattung Corbicula im Vergleich zu Dreissena.

Im Hinblick auf die hohen Detektionsraten aller drei Substanzen beziehungsweise Substanzgruppen bleibt festzuhalten, dass die Bestimmungsgrenzen in den Laboren ausreichend niedrig waren, um die Einhaltung der Umweltqualitätsnorm in Muscheln zu überwachen.

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030
 -

- Seite 118/211

Tabelle 20: Zusammenfassung der auf den Fettgehalt normalisierten Schadstoffgehalte in Muscheln: deskriptive Kenndaten über den Gesamtprobenahmezeitraum 2015 bis 2023.

Stoff(gruppe)	N	Mittelwert [µg/kg FG]	SD [µg/kg FG]	Median [µg/kg FG]	Min [µg/kg FG]	Max [µg/kg FG]	Wasserkörper mit Maximalbelastung	UQN ¹⁶ - Überschreitung	UQN überwachbar?
Fluoranthen	95	17,2	22,3	9,06	<LOQ	151	Meurthe - Bouxieres	14 %	Ja
Benzo(a)pyren	102	4,04	5,66	2,01	<LOQ	32,7	Meurthe - Bouxieres	14 %	Ja
PCDD/F und dl-PCB (TEQ)	38	0,00101	0,000717	0,000763	<LOQ	0,00345	Neckar - Mannheim	0 %	Ja

¹⁶ Gemäß Richtlinie 2013/39/EU

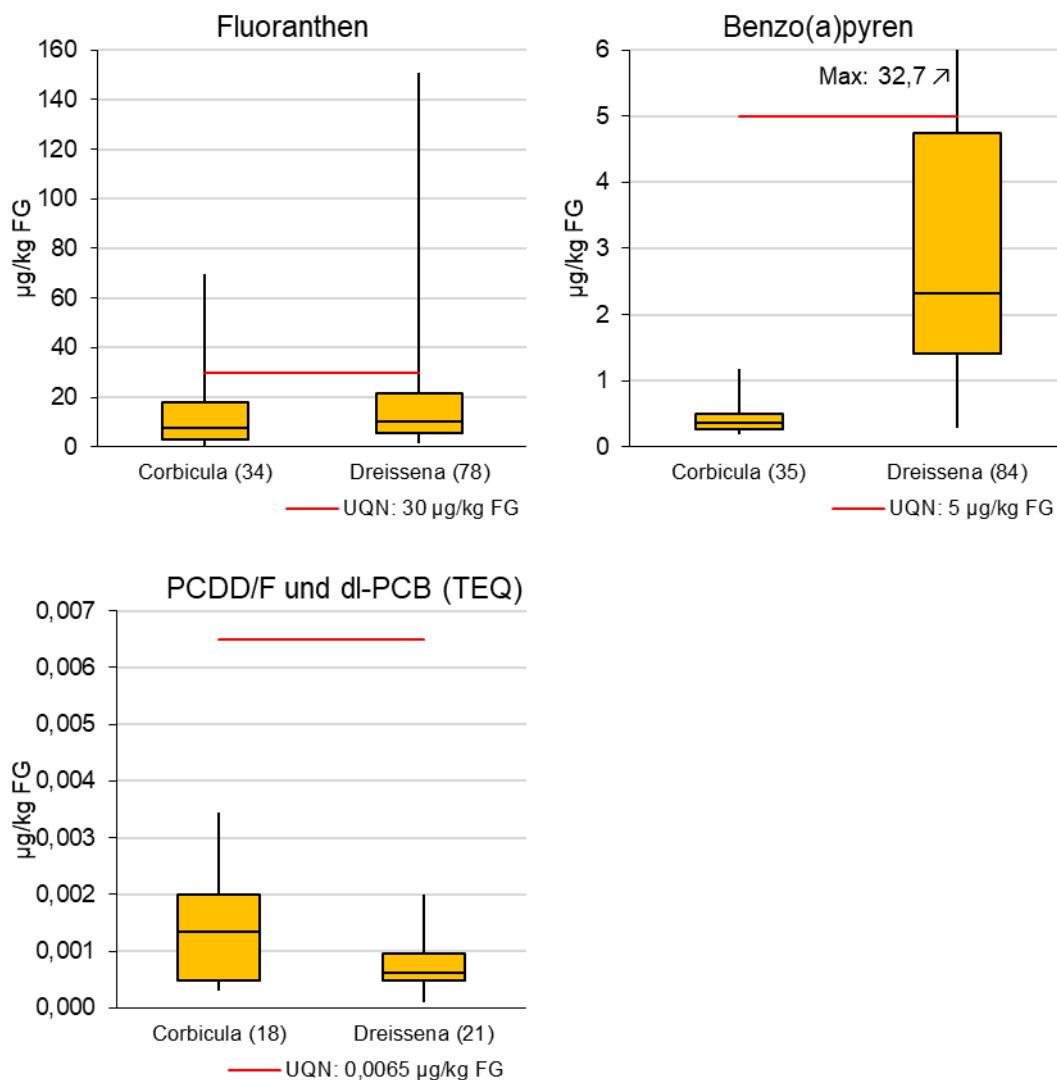


Abbildung 61: Boxplot-Grafik aller Messergebnisse von Fluoranthen, Benzo(a)pyren sowie Dioxinen und dioxinähnlichen PCB, getrennt nach Muschelgattung. Alle Daten sind auf den Fettgehalt normalisiert; in Klammern: Probenzahl inkl. Werten <LOQ.

4.2.4 Räumlicher Vergleich

Um den Verlauf der Schadstoffgehalte in den Muscheln über den Verlauf des Rheins und seiner Nebenflüsse zu betrachten, wurden für jeden der zusammengefassten Wasserkörper Mittelwerte aus allen verfügbaren Daten (oberhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenzen) berechnet. Als weitere Betrachtungsebene wurden die Ergebnisse je Wasserkörper in die drei Zeiträume 2015-2016, 2017-2019 und 2020-2023 aufgeteilt, um so erste Erkenntnisse über die zeitliche Entwicklung der Schadstoffgehalte zu erlangen. Wie zuvor erfolgt in den nachfolgenden Kapiteln eine separate Betrachtung der nicht-normalisierten und der auf den Fettgehalt normalisierten Schadstoffgehalte.

4.2.4.1 Nicht-normalisierte Schadstoffgehalte

Der räumliche Vergleich der nicht-normalisierten Schadstoffgehalte ist in Abbildung 62 bis Abbildung 64 für Fluoranthen, Benzo(a)pyren und für die Dioxine und dioxinähnlichen Verbindungen dargestellt.

Für Fluoranthen konnte der flächendeckend vollständigste Datensatz in Abbildung 62 visualisiert werden. Die höchsten je Wasserkörper und Zeitraum gemittelten Fluoranthen-Gehalte wurden in der Mosel bei Palzem, im Neckar bei Besigheim und in der Saar bei Schoden (höchste Gehalte im Zeitraum 2015-2016) sowie im Rhein bei Lobith (höchste Gehalte im Zeitraum 2020-2023) gefunden. An diesen und weiteren Wasserkörpern wurde auch die Umweltqualitätsnorm von 30 µg/kg FG überschritten. Zwischen den Rhein-Wasserkörpern St. Goar (Region um Koblenz) und Lobith konnte für den Zeitraum 2020-2023 ein starker Anstieg der Fluoranthengehalte beobachtet werden, der auf Emissionsquellen zwischen den beiden Wasserkörpern hindeutet. Eine Zuordnung zu einem Nebenfluss oder direkten Emittenten in den Rhein ist jedoch nicht möglich, da zwischen den beiden Wasserkörpern mehrere Hundert Flusskilometer und mehrere Zuflüsse liegen. Ein zeitlicher Vergleich der drei betrachteten Zeiträume war nur für die Rhein-Wasserkörper in Reckingen, Weil und Mannheim sowie die drei Neckar-Wasserkörper möglich. In den meisten Fällen war zwischen den Zeiträumen 2017-2019 und 2020-2023 ein Absinken der Fluoranthen-Belastungen über die Zeit hinweg zu beobachten.

Die räumliche Verteilung der nicht-normalisierten Schadstoffgehalte für Benzo(a)pyren ist in Abbildung 63 dargestellt. Die höchsten Gehalte in Muschelproben wurden im Rhein bei Lobith (Zeitraum 2020-2023) sowie der Mosel bei Palzem und Detzem (Zeitraum jeweils 2015-2016) ermittelt und führten dort auch zu Überschreitungen der Umweltqualitätsnorm von 5 µg/kg FG. Ein zeitlicher Vergleich war aufgrund oftmals fehlender älterer Daten lediglich für wenige Wasserkörper möglich und zeigte ein gemischtes Trendbild. Während in den niederländischen Rhein-Wasserkörpern und im Neckar zum Teil Anstiege in den nicht-normalisierten Benzo(a)pyren-Gehalten zwischen den Zeiträumen 2017-2019 und 2020-2023 verzeichnet wurden, deutete der zeitliche Vergleich zwischen den Zeiträumen 2015-

2016 und 2020-2023 in der Mosel bei Palzem und Detzem sinkende Belastungen der Muscheln mit Benzo(a)pyren an.

Gehalte von Dioxinen und dioxinähnlichen Verbindungen wurden lediglich aus Baden-Württemberg für Rhein und Neckar berichtet. Die höchsten Gehalte wurden insbesondere in älteren Proben aus dem Neckar gefunden. Jedoch wurde in keiner der Proben eine Überschreitung der Umweltqualitätsnorm beobachtet. Die Betrachtung des zeitlichen Verlaufs zeigt tendenziell sinkende Gehalte über die Zeiträume auf.

Die Darstellung der räumlichen Verteilung in Form von Belastungskarten erfolgt für die nicht-normalisierten Muscheldaten in Abbildung 86 bis Abbildung 91 im Anhang.

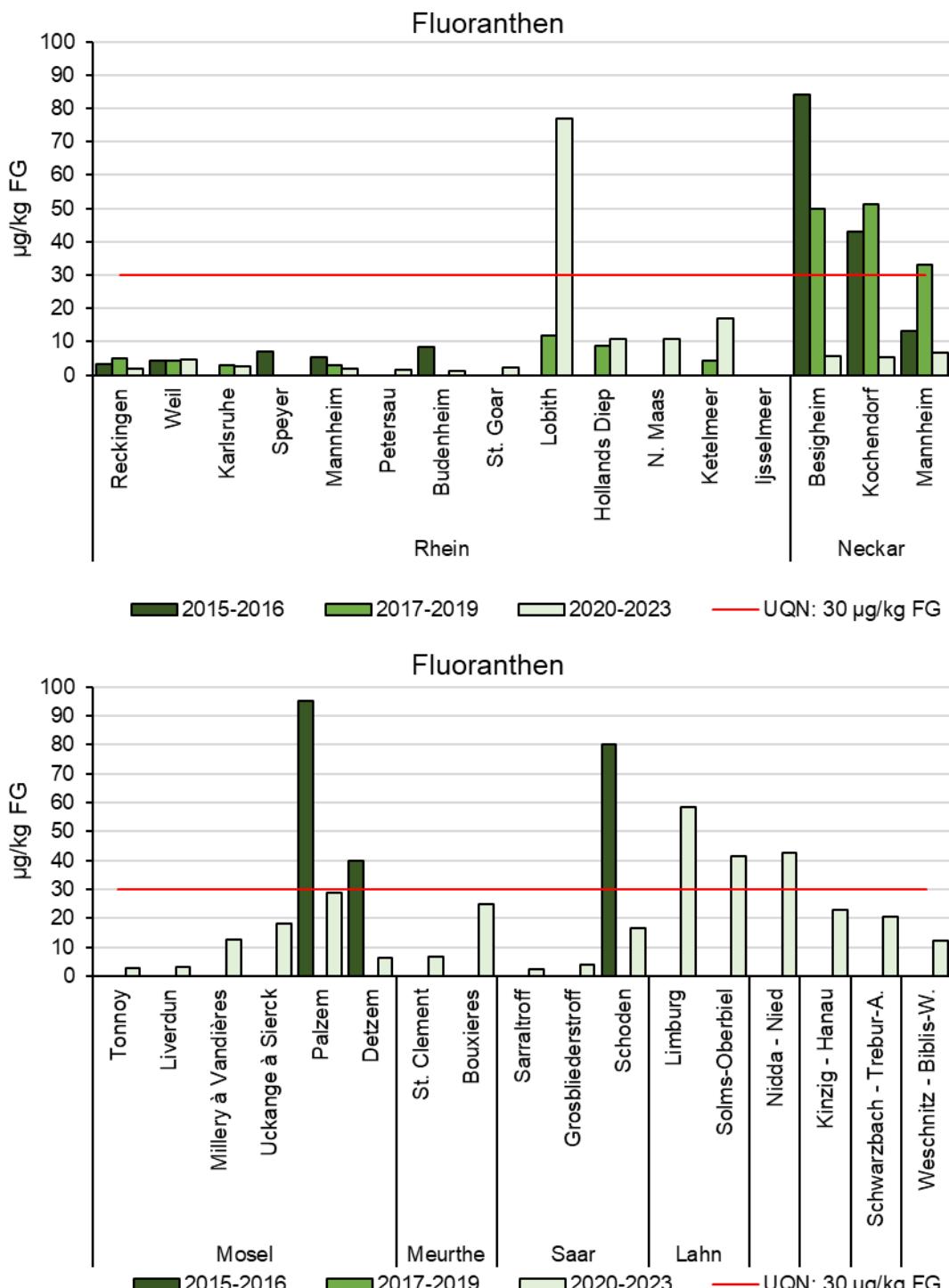


Abbildung 62: Räumlicher Vergleich der Subanzgehalte in Muscheln; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 1: Fluoranthen (ohne Normalisierung, Corbicula und Dreissena).

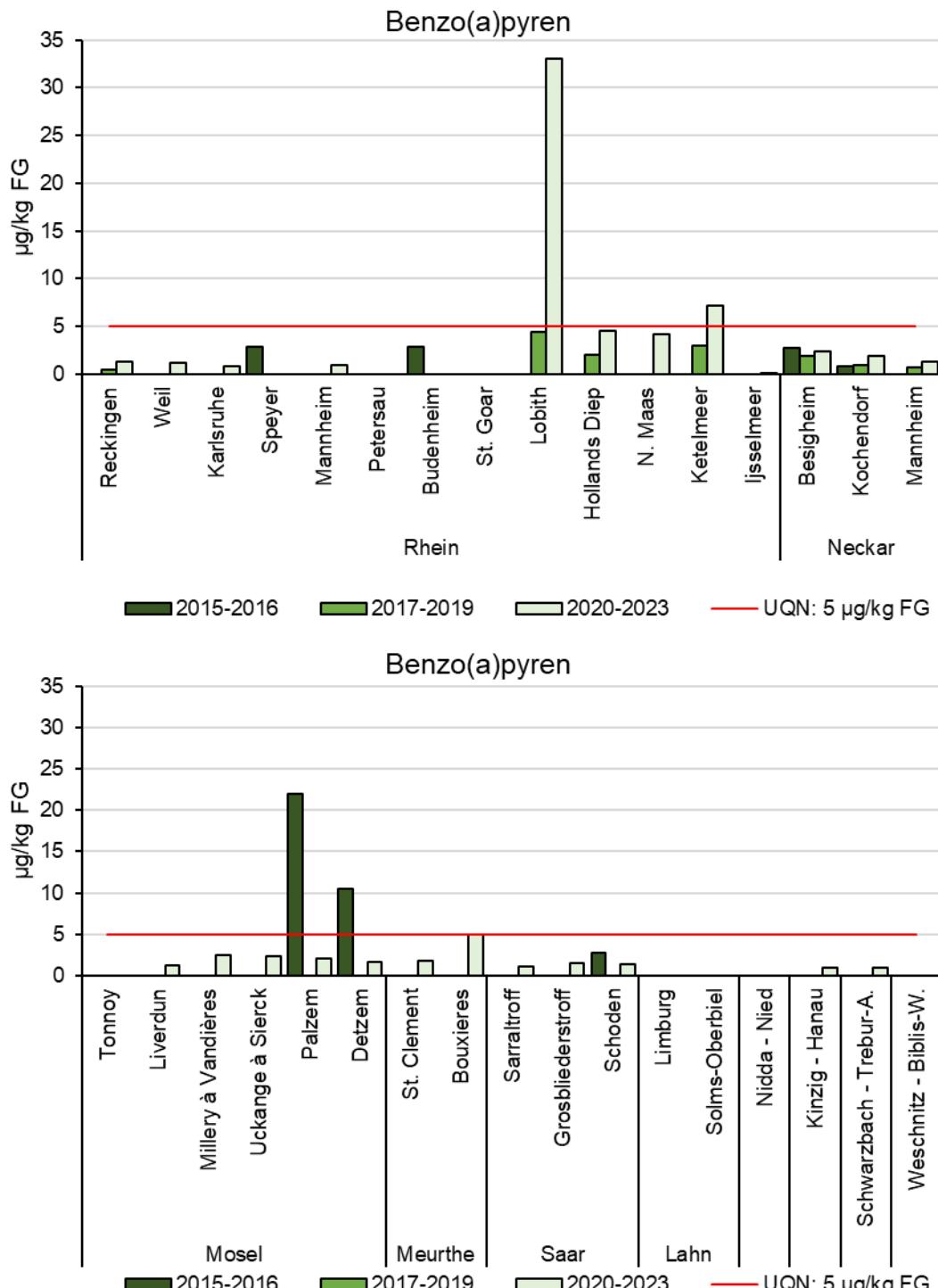


Abbildung 63: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Muscheln; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 2: Benzo(a)pyren (ohne Normalisierung, Corbicula und Dreissena).

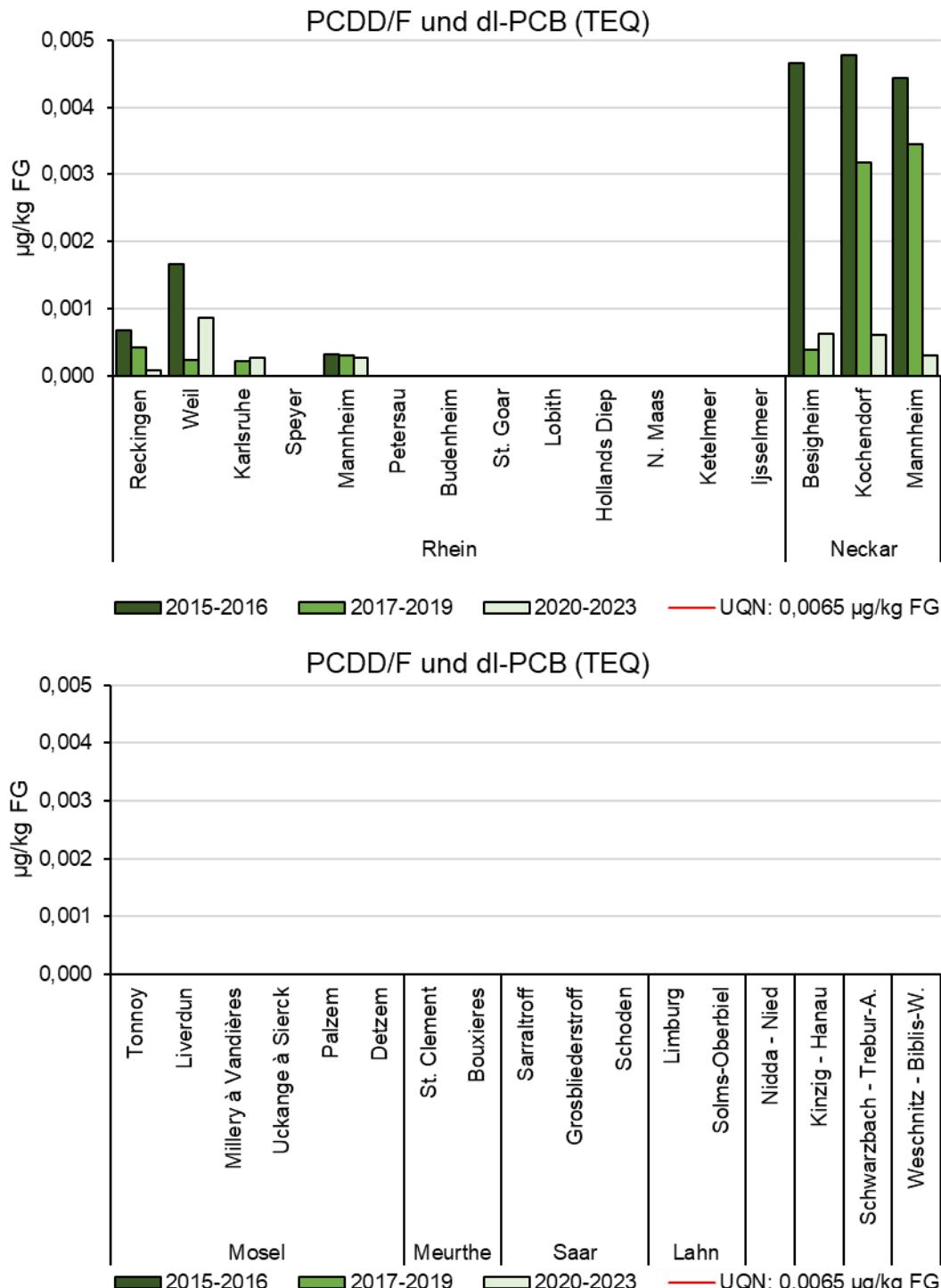


Abbildung 64: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Muscheln; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 3: PCDD/F+dl-PCB (ohne Normalisierung, Corbicula und Dreissena).
Hinweis: PCDD/F+dl-PCB-Daten wurden für Muscheln ausschließlich aus Baden-Württemberg (Rhein und Neckar) berichtet.

4.2.4.2 Normalisierte Schadstoffgehalte

Der räumliche Vergleich der auf den Fettgehalt normalisierten Schadstoffgehalte ist in Abbildung 65 bis Abbildung 67 für Fluoranthen, Benzo(a)pyren und für die Dioxine und dioxinähnlichen Verbindungen dargestellt. Wie zuvor bereits beschrieben, wurde die Vollständigkeit der Grafiken einerseits von der generellen Verfügbarkeit von Schadstoffdaten und andererseits durch die Verfügbarkeit von Fettgehalten zur vergleichenden Normalisierung auf den Fettgehalt eingeschränkt.

Für Fluoranthen konnte der flächendeckend vollständigste Datensatz in Abbildung 65 visualisiert werden. Für die Nebenflüsse des Rheins wurden mit Ausnahme des Neckars ausschließlich auswertbare Daten aus den Jahren 2020-2022 geliefert. Die höchsten je Wasserkörper und Zeitraum gemittelten Fluoranthen-Gehalte wurden in der Meurthe bei Bouxieres sowie im Rhein bei Lobith und im Neckar bei Besigheim gefunden. An diesen Wasserkörpern wurde auch die Umweltqualitätsnorm von 30 µg/kg FG überschritten. Zwischen den Rhein-Wasserkörpern St. Goar (Region um Koblenz) und Lobith konnte auch bei den normalisierten Gehalten für den Zeitraum 2020-2023 ein starker Anstieg der Fluoranthengehalte beobachtet werden, der auf Emissionsquellen zwischen den beiden Wasserkörpern hindeutet, jedoch aus genannten Gründen nicht auf eindeutige Eintragspfade zurückverfolgt werden konnte. Ein zeitlicher Vergleich der drei betrachteten Zeiträume war nur für die Rhein-Wasserkörper Reckingen, Weil und Mannheim sowie die drei Neckar-Wasserkörper möglich. In allen Fällen war zwischen den Zeiträumen 2017-2019 und 2020-2023 ein Absinken der Fluoranthen-Belastungen zu beobachten.

Die räumliche Verteilung für Benzo(a)pyren ist in Abbildung 66 dargestellt. Der Großteil der Proben stammte auch hier aus dem letzten hier ausgewerteten Zeitraum von 2020-2023. Die höchsten Gehalte wurden in den niederländischen Wasserkörpern Lobith, Hollands Diep, Nieuwe Maas und Ketelmeer sowie an der Meurthe bei Bouxieres ermittelt und führten dort auch zu Überschreitungen der Umweltqualitätsnorm von 5 µg/kg FG. Ein zeitlicher Vergleich war aufgrund oftmals fehlender älterer Daten lediglich für wenige Wasserkörper möglich und deutete zum Teil auf steigende Gehalte zwischen den Zeitintervallen 2017-2019 und 2020-2023 hin, so beispielsweise im Rhein bei Lobith, beim Hollands Diep oder im Neckar bei Kochendorf.

Wie zuvor bereits bei den nicht-normalisierten Gehalten beschrieben, wurden Gehalte von Dioxinen und dioxinähnlichen Verbindungen lediglich aus Baden-Württemberg für Rhein und Neckar berichtet. Auch nach der Normalisierung auf den Fettgehalt wurden die höchsten Gehalte insbesondere im Neckar gefunden. Jedoch wurde in keiner der Proben eine Überschreitung der Umweltqualitätsnorm beobachtet. Die Betrachtung des zeitlichen Verlaufs zeigt tendenziell sinkende Gehalte über die Zeiträume auf.

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
Studiencode IME: 2023-030

- Seite 126/211 -

Die Darstellung der räumlichen Verteilung in Form von Belastungskarten erfolgt für die normalisierten Muscheldaten in Abbildung 110 bis Abbildung 115 im Anhang.

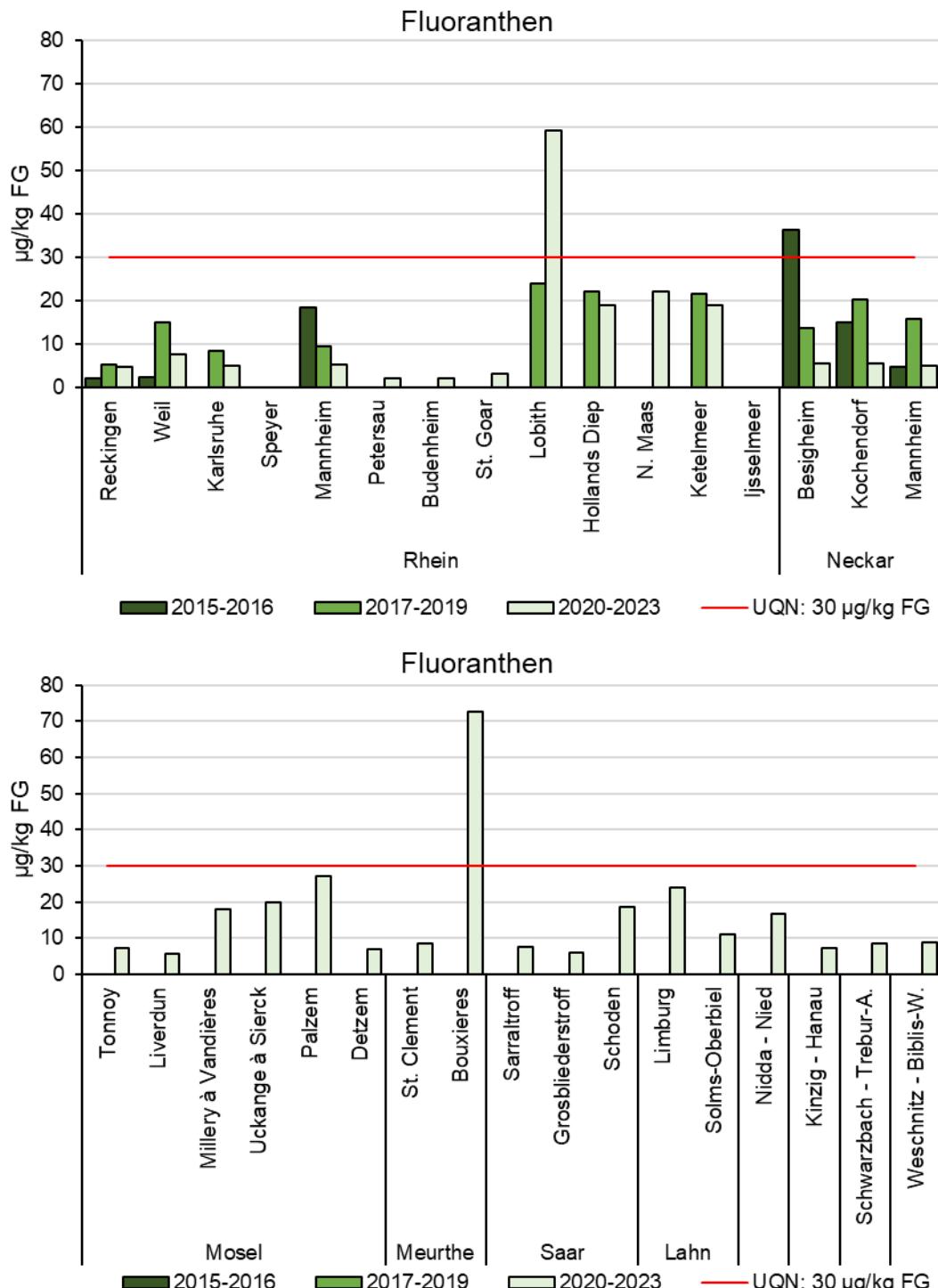


Abbildung 65: Räumlicher Vergleich der Subanzgehalte in Muscheln; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 1: Fluoranthen (Fett-Normalisierung, Corbicula und Dreissena).

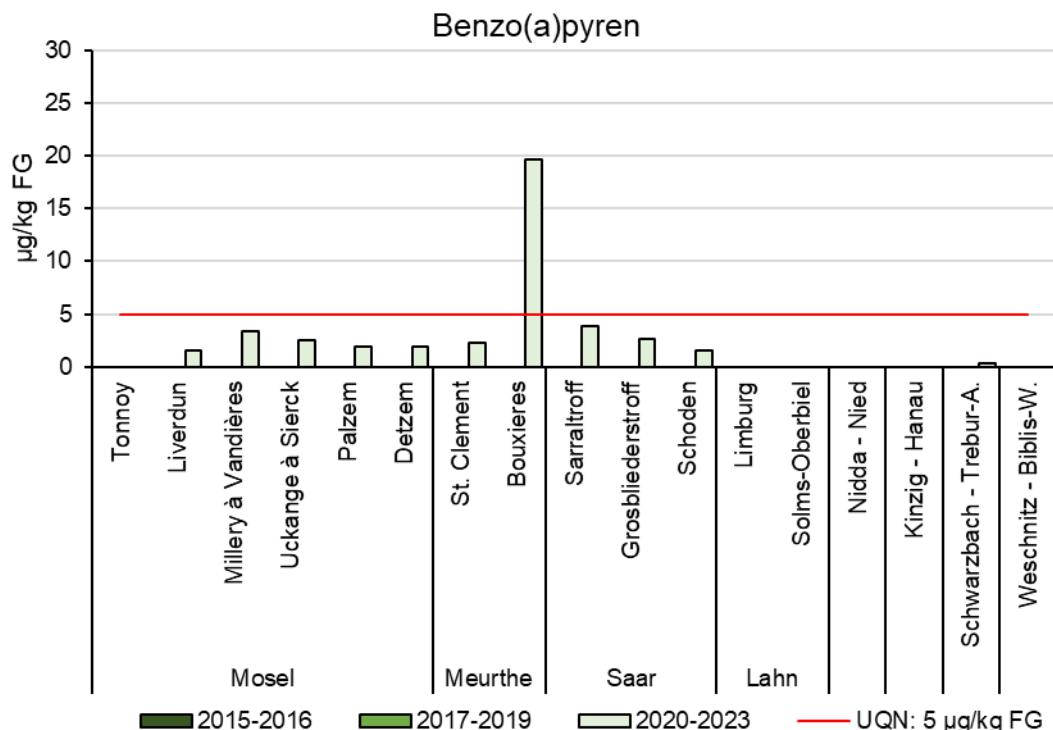
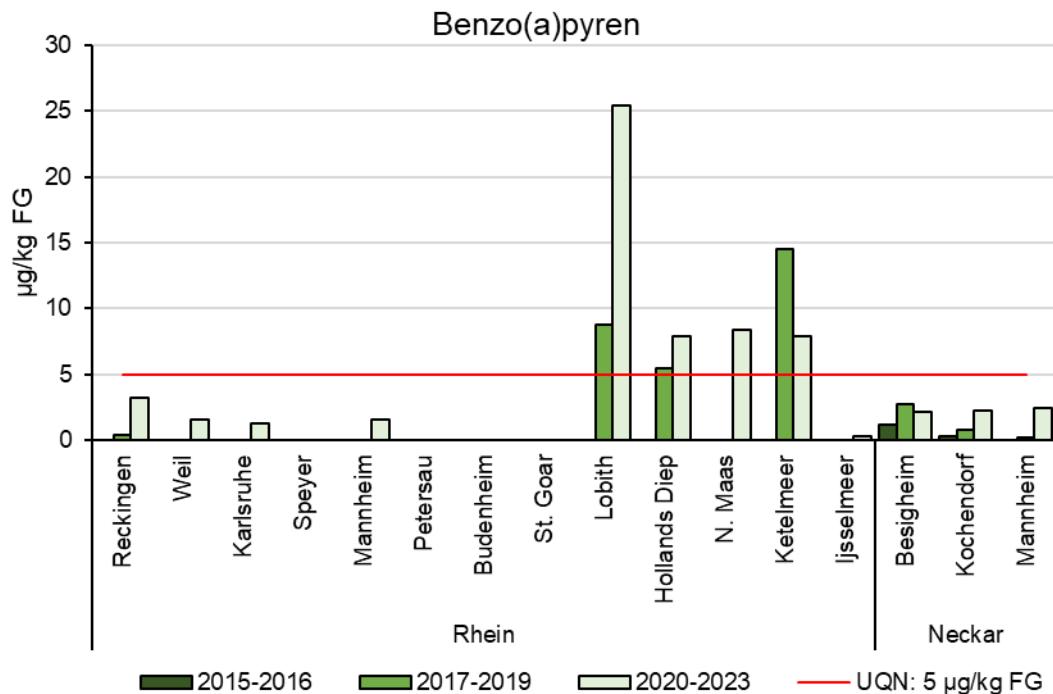


Abbildung 66: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Muscheln; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 2: Benzo(a)pyren (Fett-Normalisierung, Corbicula und Dreissena).

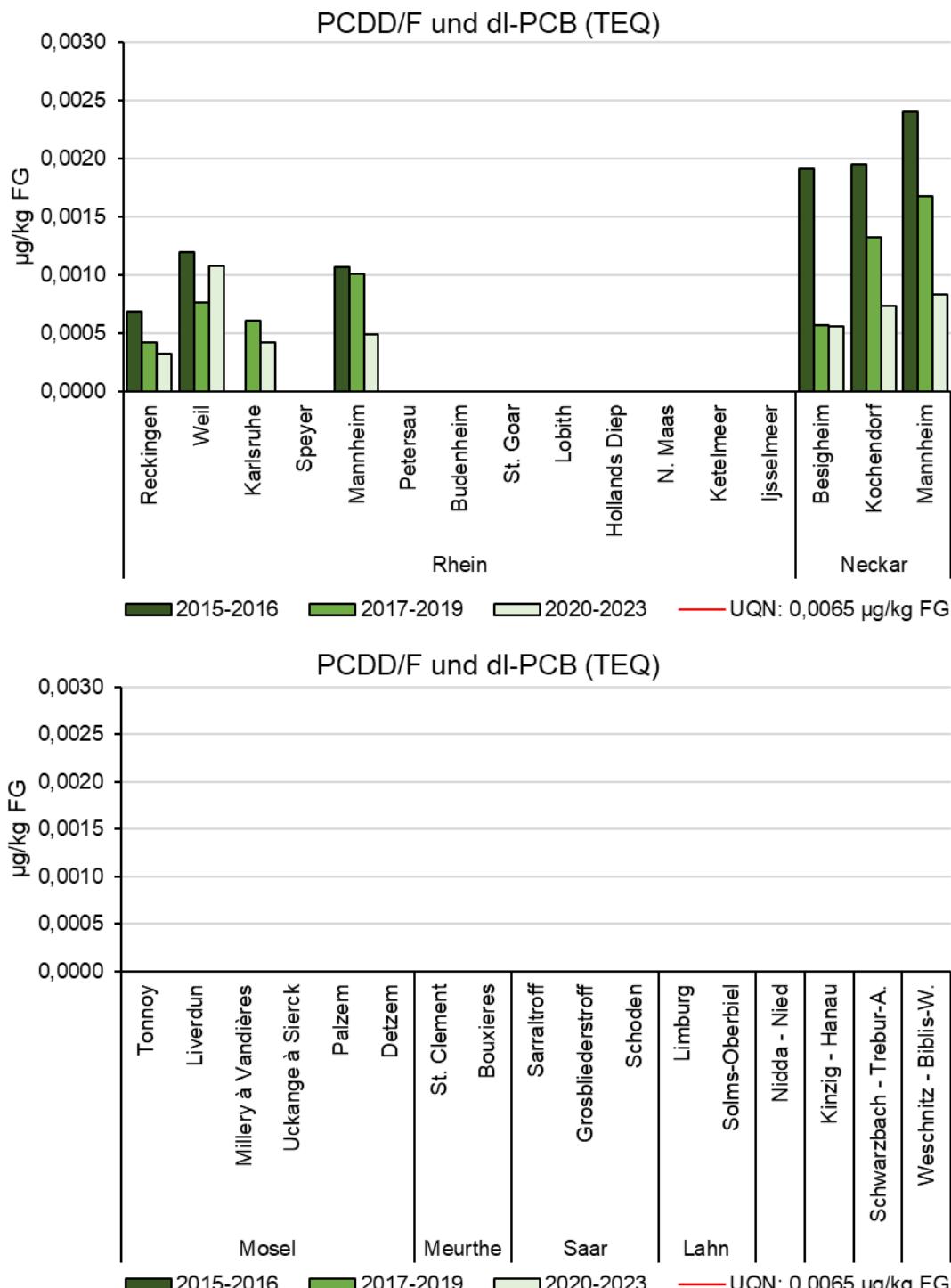


Abbildung 67: Räumlicher Vergleich der Substanzgehalte in Muscheln; Mittelwerte je Wasserkörper und Zeitraum. Teil 3: PCDD/F+dl-PCB (Fett-Normalisierung, Corbicula und Dreissena).
Hinweis: PCDD/F+dl-PCB-Daten wurden für Muscheln ausschließlich aus Baden-Württemberg (Rhein und Neckar) berichtet.

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
Studiencode IME: 2023-030

- Seite 130/211 -

5 Referenzen

- Becker L, Hennecke D, Düring R. Expositionsbetrachtung und Beurteilung des Transfers von Dioxin, dioxinähnlichen PCB und PCB – Literaturstudie. Texte 57 / 2011, Umweltbundesamt Dessau-Roßlau, 198 S 2010.
- Covaci A, Gerecke AC, Law RJ, Voorspoels S, Kohler M, Heeb NV, et al. Hexabromocyclododecanes (HBCDs) in the environment and humans: a review. Environ Sci Technol 2006; 40: 3679-88.
- EBFRIP. European brominated flame retardant industry panel. The voluntary emissions control action programme—measurable achievements. Annual Progress Report 2009.
- ECHA. Inclusion of substances of very high concern in the Candidate List for eventual inclusion in Annex XIV (ED/21/2016). ECHA announcement 2016.
- ECHA. Inclusion of substances of very high concern in the Candidate List for eventual inclusion in Annex XIV (ED/88/2018). ECHA announcement 2018.
- Eisler R. Eisler's Encyclopedia of Environmentally Hazardous Priority Chemicals: Elsevier, 2007.
- EU. Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Union 2000.
- EU. Richtlinie 2003/11/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Februar 2003 zur 24. Änderung der Richtlinie 76/769/EWG des Rates über Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (Pentabromdiphenylether, Octabromdiphenylether) (L 42/45). Amtsblatt der Europäischen Union 2003.
- EU. Regulation (EC) No 850/2004 of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union 2004.
- EU. Directive 2006/122/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 amending for the 30th time Council Directive 76/769/EEC on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (perfluorooctane sulfonates). Official Journal of the European Union 2006; 372.
- EU. Entscheidung der Kommission vom 30. September 2008 über die Nichtaufnahme von Dicofol in Anhang I der Richtlinie 91/414/EWG des Rates und den Widerruf der Zulassungen für Pflanzenschutzmittel mit diesem Stoff (L 262/40). Amtsblatt der Europäischen Union 2008.
- EU. Richtlinie 2013/39/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. August 2013 zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Union 2013.

EU. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) – On biota monitoring (the implementation of EQSbiota) under the Water Framework Directive: Publications Office, 2014.

Europäische Kommission. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive: Environmental Quality Standards (EQS) substance data sheet. Priority substance No. 21: Mercury and its compounds.
https://circabc.europa.eu/sd/a/ff8e163c-71f6-4fc0-98ef-875a20add4c8/21_Mercury_EQSdatasheet_150105.pdf 2005.

Foekema EM, Kotterman M, Hoek-van Nieuwenhuizen M: Chemische biotamonitoring conform KRW. Methodeontwikkeling en compliance-check 2014/2015. Wageningen, IMARES Wageningen UR (University & Research centre), IMARES rapport C082/16. 91 S, 2016.

Forsthuber M, Kaiser AM, Granitzer S, Hassl I, Hengstschläger M, Stangl H, et al. Albumin is the major carrier protein for PFOS, PFOA, PFHxS, PFNA and PFDA in human plasma. Environment International 2020; 137: 105324.

Froese R, Pauly D. FishBase. www.fishbase.org, version (06/2024). World Wide Web electronic publication. 2024.

Hillenbrand T, Marscheider-Weidemann F, Strauch M, Heitmann K, Schaffrin D. Emissionsminderung für prioritäre und prioritäre gefährliche Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie (Forschungsbericht 203 21 280). UBA-Texte 2007.

IKSR-Fachbericht Nr. 195: Bericht zur Kontamination von Fischen mit Schadstoffen im Einzugsgebiet des Rheins:
https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Fachberichte/DE/rp_De_0195.pdf, 2011.

IKSR-Fachbericht Nr. 216: Vorschlag für ein Pilotprogramm für Messungen zur Kontamination von Biota/Fischen mit Schadstoffen im Einzugsgebiet des Rheins in den Jahren 2014/2015:
https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Fachberichte/DE/rp_De_0216.pdf, 2014.

IKSR-Fachbericht Nr. 252: Statistische Auswertung von Messungen zur Kontamination von Biota/Fischen mit Schadstoffen im Einzugsgebiet des Rheins in den Jahren 2014/2015:
https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Fachberichte/DE/rp_De_0252.pdf, 2018.

IKSR-Fachbericht Nr. 259: Konzept für den Abgleich von Messungen der Kontamination von Biota (Fischen/Muscheln) mit Schadstoffen im Einzugsgebiet des Rheins im dritten Bewirtschaftungszyklus 2021 – 2027 nach WRRL:
https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Fachberichte/DE/rp_De_0259.pdf, 2019.

LAWA-AO. Rahmenkonzeption Monitoring, Teil B: Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen: Arbeitspapier IV.3, Stand: 14.02.2020:
https://www.lawa.de/documents/arbeitspapier-iv3-barrierefrei_1689842304.pdf, 2020.

Lecloux A. Hexachlorobutadiene – Sources, environmental fate and risk characterization.
Science Dossier. EuroChlor 2004.

Lyche J L, Nøstbakken O J, Berg V. EU Water Framework-Directive Priority
Contaminants in Norwegian Freshwater Fish. M-1789 | 2020:
<https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1789/m1789.pdf>

Merian E, Anke M, Ihnat M, Stoeppler M. Elements and their compounds in the Environment
Vol. 2: Metals and their Compounds. Vol. 2: Metals and their Compounds: pp. 932-
934, Wiley-VCH, 2004.

Moermond CT, Verbruggen EM. An evaluation of bioaccumulation data for
hexachlorobenzene to derive water quality standards according to the EU-WFD
methodology. Integrated Environmental Assessment and Management 2013; 9: 87-97.

PubChem. Compound Summary - Hexachlorobenzene. In: Medicine NNLo, editor, 2024.

Radermacher G, Fliedner A, Rüdel H. Konzept zur Implementierung der neuen
Umweltqualitätsnormen für prioritäre Stoffe in Fischen (Richtlinie 2013/39/EU).
Abschlussbericht: Umweltbundesamt, 2019.

Ritter L, Solomon K, Forget J, Stemmeroff M, O'Leary C. A review of selected persistent
organic chemicals - Heptachlor-Hexachlorobenzene-Mirex-Toxaphene -
Polychlorinated biphenyls - Dioxins and Furans. The International Programme on
Chemical Safety (IPCS) within the framework of the Inter-Organization Programme for
the Sound Management of Chemicals (IOMC) 1995.

Sellström U, Kierkegaard A, de Wit C, Jansson B. Polybrominated diphenyl ethers and
hexabromocyclododecane in sediment and fish from a Swedish River. Environmental
Toxicology and Chemistry 1998; 17: 1065-1072.

Sheng N, Cui R, Wang J, Guo Y, Wang J, Dai J. Cytotoxicity of novel fluorinated alternatives
to long-chain perfluoroalkyl substances to human liver cell line and their binding
capacity to human liver fatty acid binding protein. Archives of Toxicology 2018; 92: 359-
369.

Umweltbundesamt. Chemischer Zustand der Fließgewässer:
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/fliessgewaesser/chemischer-zustand-der-fliessgewaesser#der-chemische-zustand-der-gewasser>. last access July 23, 2024,
2023.

UNEP. The 12 initial POPs under the Stockholm Convention, 2001.

UNEP. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its
second meeting - Risk profile on commercial pentabromodiphenyl ether
(UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.1). Persistent Organic Pollutants Review Committee
2006a.

UNEP. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its
second meeting - Risk profile on perfluorooctane sulfonate
(UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.5). Persistent Organic Pollutants Review Committee
2006b.

UNEP. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its third meeting - Risk profile on commercial octabromodiphenyl ether (UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.6). Persistent Organic Pollutants Review Committee 2007.

UNEP. Decision SC-4/14: Listing of hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether. Persistent Organic Pollutants Review Committee 2009a.

UNEP. Decision SC-4/17: Listing of perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride. Persistent Organic Pollutants Review Committee 2009b.

UNEP. Decision SC-4/18: Listing of tetrabromodiphenyl ether and pentabromodiphenyl ether. Persistent Organic Pollutants Review Committee 2009c.

UNEP. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its sixth meeting - Risk profile on hexabromocyclododecane (UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2). Persistent Organic Pollutants Review Committee 2010.

UNEP. Minamata Convention on Mercury, Draft text for a global legally binding instrument on mercury (UNEP(DTIE)/Hg/INC.5/3). 2012a.

UNEP. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its eighth meeting - Risk profile on hexachlorobutadiene (UNEP/POPS/POPRC.8/16/Add.2). Persistent Organic Pollutants Review Committee 2012b.

UNEP. Decision SC-6/13: Listing of hexabromocyclododecane. Persistent Organic Pollutants Review Committee 2013a.

UNEP. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its ninth meeting (UNEP/POPS/POPRC.9/13). Persistent Organic Pollutants Review Committee 2013b.

UNEP. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its eleventh meeting (UNEP/POPS/POPRC.11/10). Persistent Organic Pollutants Review Committee 2015.

UNEP. Decision SC-7/12: Listing of hexachlorobutadiene. Persistent Organic Pollutants Review Committee 2016.

UNEP. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its thirteenth meeting - Risk management evaluation on dicofol (UNEP/POPS/POPRC.13/7/Add.1). Persistent Organic Pollutants Review Committee 2017.

US-EPA. EPA and 3M announce phase out of PFOS (release date 05/16/2000). 2000.

Van den Berg M, Birnbaum LS, Denison M, De Vito M, Farland W, Feeley M, et al. The 2005 World Health Organization reevaluation of human and mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. Toxicological sciences 2006; 93: 223-241.

- Vermeirssen E, Kase R, Werner I: The occurrence of 12 EU priority substances in Swiss surface waters and biota – a review of monitoring data. 2017. Ecotox Centre, Swiss Centre for Applied Ecotoxicology Eawag-EPFL;
https://www.oekotoxzentrum.ch/media/168205/2017_vermeirssen_situationsanalyse.pdf
- Wang P, Liu D, Yan S, Cui J, Liang Y, Ren S. Adverse Effects of Perfluorooctane Sulfonate on the Liver and Relevant Mechanisms. Toxics 2022; 10: 265.
- Wen Y, Rashid F, Fazal Z, Singh R, Spinella MJ, Irudayaraj J. Nephrotoxicity of perfluorooctane sulfonate (PFOS)—effect on transcription and epigenetic factors. Environmental Epigenetics 2022; 8.
- WHO. Concise International Chemical Assessment Document 70 – Heptachlor. First draft prepared by J. Kielhorn, S. Schmidt and I. Mangelsdorf. World Health Organization. ISBN 9241530707. 2006.
- WHO. Fact Sheet Dioxins, 2023.

Anhänge

Nachfolgend werden die Substanzen und Substanzgruppen beschrieben, sowie die Belastungskarten der betrachteten Schadstoffe beziehungsweise Schadstoffgruppen dargestellt. In Kapitel A.2 finden sich die Belastungskarten ohne entsprechende Normalisierung, während in Kapitel A.3 die Belastungskarten nach vorangegangener Normalisierung auf den Trockenmasse- (Quecksilber und PFOS) beziehungsweise auf den Fettgehalt (alle anderen Schadstoffe) dargestellt sind.

Die Belastungskarten zeigen jeweils die Mittelwerte aus dem Zeitraum 2016-2022 (Fische) beziehungsweise 2016-2023 (Muscheln) und schließen somit an den vorangegangenen IKSR-Bericht für die Jahre 2014/2015 (IKSR 2018) an. Die präsentierten Daten wurden – sofern möglich – gemäß dem relevanten Schutzgut laut Wasserrahmenrichtlinie auf Filet- (Schutzgut Mensch) oder Ganzfisch (Schutzgut Ökosystem) normalisiert. Entsprechend der Auswertung in Kapitel 4.1.4 beziehen sich die Daten substanzabhängig entweder auf Omni- und Carnivore oder nur auf Omnivore. Eine Ausnahme stellt PFOS dar: hier liegen Belastungskarten sowohl für den Datensatz der Omnivoren als auch für den Datensatz aller Fische vor.

Im Fall von Quecksilber und PFOS wurden fehlende Trockenmassegehalte bei der notwendigen Normalisierung auf den Trockenmassegehalt durch Proxy-Werte von 21,5 % im Filet und 25,9 % im Ganzfisch ersetzt, um alle Werte zu berücksichtigen.

In Kapitel A.4 werden zudem die Probensätze der Fische und der Muscheln inklusive biometrischer Daten tabellarisch dargestellt.

A.1 Substanzen und Substanzgruppen

Die zwölf im Rahmen dieses Projektes betrachteten Substanzen und Substanzgruppen werden im Folgenden in kurzen Steckbriefen vorgestellt. Die polybromierten Diphenylether und Hexabromcyclododecan werden als Flammenschutzmittel dabei in Kapitel A.1.8 zusammengefasst. In Kapitel A.1.12 findet sich eine Übersichtstabelle, die geltende Umweltqualitätsnormen aller Substanzen beziehungsweise Substanzgruppen zusammenfasst.

A.1.1 Benzo(a)pyren

Substanzname: Benzo(a)pyren
Abkürzung: Benzo(a)pyren
CAS: 50-32-8

Benzo(a)pyren ist ein polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoff (PAK), der bei der unvollständigen Verbrennung organischen Materials (z. B. Holz, Erdöl, Kohle) entsteht. Zu den Emissionsquellen zählen somit insbesondere Verbrennungsabgase von Fahrzeugen und aus der Industrie, Oberflächenabfluss von Verkehrsflächen und Brände. Zigarettenrauch sowie das Grillen über Kohlefeuer können ebenfalls Quellen für die Exposition der menschlichen Gesundheit sein. Das in die Luft gelangende Benzo(a)pyren kann anschließend durch Wind weiträumig transportiert werden und gelangt durch Regen in den Boden und Gewässer. Es gilt als kanzerogen, mutagen, reproduktionstoxisch und bioakkumulativ. Insbesondere auf Wasserorganismen hat Benzo(a)pyren zudem eine akute und chronische toxische Wirkung. Aus diesen Gründen wurde es von der ECHA in die Kandidatenliste gemäß REACH aufgenommen (ECHA, 2016).

A.1.2 Dicofol

Substanzname: Dicofol
Abkürzung: Dicofol
CAS: 115-32-2

Dicofol ist ein Akarizid, das chemisch DDT (*p, p'*-Dichlordiphenyltrichloethan) ähnelt. Das technische Produkt enthält außerdem geringe Mengen an DDT und DDT-Analoga. Der log K_{ow} von Dicofol liegt zwischen 3,5 und 6,06, entsprechend hoch ist sein Bioakkumulationspotential mit Biokonzentrationsfaktoren (BCF) zwischen 6 100 und 43 000 in Fischen. Hauptspeicherorgan ist das Fettgewebe. Darüber hinaus ist Dicofol giftig für Wasserorganismen und verursacht Eierschalenverdünnung in Vogeleiern (UNEP, 2015). In der EU ist der Stoff seit 2008 nicht mehr zugelassen, da das Risiko für die Verbraucher bisher nicht hinreichend

bewertet ist (EU, 2008). Dicofol steht auf der Kandidatenliste des Stockholmer Übereinkommens (UNEP, 2013b; UNEP, 2017).

A.1.3 Fluoranthen

Substanzname:	Fluoranthen
Abkürzung:	Fluoranthen
CAS:	206-44-0

Fluoranthen ist ein polzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoff (PAK), der – wie auch Benzo(a)pyren (s. A.1.1) – bei der unvollständigen Verbrennung organischen Materials entsteht. Es gilt als mutagen und stark bioakkumulativ, weshalb es von der ECHA in die Kandidatenliste gemäß REACH aufgenommen wurde (ECHA, 2018).

A.1.4 Heptachlor und Heptachlorepoxyd

Substanzname:	Heptachlor und Heptachlorepoxyd
Abkürzung:	HC+HCE
CAS:	76-44-8 und 1024-57-3

Heptachlor (HC) ist ein sehr wirksames Insektizid, das zum Beispiel gegen Termiten und die Anopheles-Mücke eingesetzt wurde. In der Umwelt sind Heptachlor und insbesondere sein Abbauprodukt Heptachlorepoxyd sehr persistent. Mit log Kow-Werten von 5,40 - 6,10 besitzen die Stoffe ein hohes Bioakkumulationspotential mit BCFs in Fischen von bis zu 11 000. Die höchsten Konzentrationen finden sich in fettreichen Geweben (Ritter et al., 1995; WHO, 2006). Heptachlor ist toxisch und steht im Verdacht kanzerogen zu sein. Nach der Ratifizierung des Stockholmer Übereinkommens im Jahre 2004 (EU, 2004; UNEP, 2001) ist Heptachlor weltweit verboten.

A.1.5 Hexachlorbenzol

Substanzname:	Hexachlorbenzol
Abkürzung:	HCB
CAS:	118-74-1

Hexachlorbenzol (HCB) war ein weit verbreitetes Fungizid, das unter anderem in der Saatgutbehandlung und im Holzschutz eingesetzt wurde. Es dient außerdem als Weichmacher und Stabilisator in verschiedenen industriellen Prozessen, ist ein chemisches Ausgangsprodukt für andere Organochlorverbindungen wie Pentachlorphenol und ein Metabolit von Organochlor-Pestiziden. Seit den 1980er Jahren ist die Erzeugung und Verwendung von Hexachlorbenzol in der EU eingeschränkt. Nach wie vor können aber durch den Einsatz von chlorierten Pestiziden,

die Herstellung von chlorierten Pestiziden oder Lösungsmitteln oder durch Auslaugen aus behandeltem Holz geringe Mengen in die Umwelt gelangen (Hillenbrand et al., 2007). Hexachlorbenzol hat einen log Kow-Wert von 5,5 – 6,2 (PubChem, 2024) und reichert sich stark in Organismen an, wobei die höchsten Konzentrationen in fettreichen Geweben auftreten. Der mittlere BCF für Fische liegt bei 128 000 (Moermond and Verbruggen, 2013). Darüber hinaus ist Hexachlorbenzol toxisch und reproductionstoxisch. Unter dem Stockholmer Übereinkommen wurde es 2001 weltweit verboten (EU, 2004; UNEP, 2001).

A.1.6 Hexachlorbutadien

Substanzname: Hexachlorbutadien
Abkürzung: HCBD
CAS: 87-68-3

Hexachlorbutadien wurde hauptsächlich als Lösungsmittel für andere chlorhaltige Verbindungen verwendet, beispielsweise bei der Herstellung von Chlorgas oder als Lösungsmittel für Elastomere. Außerdem diente es als Schmiermittel und wurde als Pflanzenschutzmittel verwendet. Hexachlorbutadien entsteht als Nebenprodukt bei der Herstellung anderer chlorierter Verbindungen, wie z. B. Tetrachlorkohlenstoff oder Tetrachlorethen (UNEP, 2012b). In der Umwelt wird Hexachlorbutadien nur langsam abgebaut. Die aquatische Toxizität von Hexachlorbutadien ist sehr hoch, und es steht im Verdacht, kanzerogen zu sein. Wegen seines hohen log Kow-Wertes von 3,7 - 4,9 hat es die Tendenz, an Partikel zu adsorbieren und sich in Organismen anzureichern (Hillenbrand et al., 2007; Lecloux, 2004). In Fischen wurden BCF bis 17 000 gemessen. Die höchsten Konzentrationen finden sich in fettreichen Geweben. Im Jahr 2015 wurde die Produktion und Verwendung von Hexachlorbutadien im Rahmen der Stockholmer Konvention verboten (UNEP, 2016).

A.1.7 Perfluoroctansulfonsäure

Substanzname: Perfluoroctansulfonsäure
Abkürzung: PFOS
CAS: 1763-23-1

Perfluoroctansulfonsäure (PFOS) gehört zur Gruppe der per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) und wurde überwiegend in Imprägniermitteln, z. B. für Textilien, verwendet. Darüber hinaus war es wichtiger Bestandteil von Feuerlöschschäumen. PFOS wurde auch in Chemikalien verwendet, die in der Halbleiterindustrie und der Fotolithografie zum Einsatz kamen. PFOS ist toxisch, in der Umwelt persistent und verfügt über ein starkes Bioakkumulations- und Biomagnifikationspotenzial (UNEP, 2006b). Es bindet an Proteine und die höchsten Konzentrationen finden sich folglich in proteinreichen Geweben wie Leber, Niere und Blut (Forsthuber et al., 2020; Sheng et al., 2018; Wang et al., 2022; Wen et al., 2022). Seit

2001 verzichtet der Hauptproduzent 3M freiwillig auf die Produktion von PFOS (US-EPA, 2000). In der EU ist die Verwendung von PFOS seit 2008 auf spezielle Anwendungen in der Photolithographie, Galvanik und Luftfahrttechnik beschränkt (EU, 2006). Eine weltweite Anwendungsbeschränkung unter dem Stockholmer Übereinkommen gilt seit 2009 (UNEP, 2009b).

A.1.8 Polybromierte Diphenylether und Hexabromcyclododecan

Substanzname: Polybromierte Diphenylether
Abkürzung: PBDE
CAS: - (Gemisch)

Substanzname: Hexabromcyclododecan
Abkürzung: HBCDD
CAS: - (Gemisch)

Die bromierten Flammenschutzmittel PBDE und HBCDD werden in Baustoffen, Polstermöbeln, Textilien, Verpackungsmaterial und elektronischen und elektrischen Geräten eingesetzt. Beide gehören zur Gruppe der additiven Flammenschutzmittel, die nicht chemisch an das Produkt gebunden sind und daher relativ leicht freigesetzt werden und in die Umwelt gelangen können. PBDE wurden bereits in den achtziger Jahren verwendet, während HBCDD erst in den 1990er Jahren an Bedeutung gewann, als die Verwendung von technischen Penta- und Octa-BDE-Mischungen eingeschränkt wurde (Covaci et al., 2006; Sellström et al., 1998).

Die PBDE-Familie umfasst 209 mögliche Kongenere mit einem bis zehn Brom-Atomen. Am weitesten verbreitet sind Mischungen, die hauptsächlich penta-, octa- und decabromierte Kongenere enthalten. Die vorherrschenden Kongenere in technischem PentaBDE (CAS Nr. 32534-81-9) sind 2,2',4,4'-TetraBDE (BDE-47) und 2,2',4,4',5-PentaBDE (BDE- 99), während 2,2',3',4,4',5',6-HeptaBDE (BDE-183) der Hauptbestandteil von technischem OctaBDE (CAS Nr. 32536-52-0) ist. Technisches DecaBDE (CAS Nr. 1163-19-5) besteht hauptsächlich aus BDE-209.

Kommerzielles HBCDD setzt sich im Wesentlichen aus den drei Diastereomeren α-, β- und γ-HBCDD (CAS Nr. 134237-50-6, 134237-51-7 und 134237-52-8) zusammen. Das γ-Diastereomer dominiert mit einem Anteil von 70 - 95 %, während α- und β-HBCDD zusammen nur etwa 5 - 30 % ausmachen.

PentaBDE, OctaBDE und HBCDD sind giftig, in der Umwelt persistent und bioakkumulierend mit log Kow-Werten von 6,64 – 6,97 (PentaBDE), 6,29 (OctaBDE) und 5,63 (HBCDD). Die höchsten Konzentrationen finden sich in fettreichen Geweben. Darüber hinaus reichern sich die Stoffe im Nahrungsnetz an (UNEP, 2006a; UNEP, 2007; UNEP, 2010). Seit den 1990er Jahren verzichtet die chemische Industrie in Deutschland daher auf die Produktion von Penta- und OctaBDE, seit 2004 ist die Verwendung beider Stoffe EU-weit verboten (EU, 2003). Unter dem

Stockholmer Übereinkommen wird die weltweite Verwendung von PentaBDE und OctaBDE seit 2009 stark eingeschränkt (UNEP, 2009a; UNEP, 2009c).

Für HBCDD wurden 2004 und 2006 freiwillige Emissionsminderungsprogramme eingeleitet (EBFRIP, 2009). Seine Verwendung wurde 2013 unter dem Stockholmer Übereinkommen stark eingeschränkt (UNEP, 2013a).

A.1.9 Dioxine und dioxinähnliche Verbindungen

Substanzname: Polychlorierte Dibenz-p-Dioxine und -furane und dioxin-ähnliche Polychlorierte Biphenyle
Abkürzung: PCDD/F + dl-PCB
CAS: - (Gemisch/Gruppenparameter)

PCDD/F und dl-PCB sind Verbindungen, die unbeabsichtigt als Nebenprodukte in verschiedenen industriellen Prozessen entstehen. PCDD/F entstehen beispielsweise bei der Verbrennung von organischem Material unter suboptimalen Bedingungen wie z. B. offenen Feuern und schlecht betriebenen Müllverbrennungsanlagen. Außerdem sind sie Nebenprodukte bei der Pestizidherstellung und bei der Bleiche von Papierpulpe. In der Vergangenheit waren vor allem die Chloralkali- und Buntmetall-Industrie, sowie Müllverbrennungsanlagen und Kraftwerke für PCDD/F Emissionen verantwortlich. DI-PCB sind Bestandteil aller PCB-Gemische, die bis in die 1980er Jahre breite Verwendung fanden, z. B. in Schmierölen, Hydraulikflüssigkeiten, Kühl- und Isolierflüssigkeiten, Weichmachern, Stabilisatoren, Kunststoffbeschichtungen und Flammschutzmitteln. Zwölf der insgesamt 209 verschiedenen PCB-Kongenere werden wegen ihrer dioxin-ähnlichen Eigenschaften als sogenannte „dl-PCB“ bei der Berechnung von Höchstgehalten und der Ableitung der Umweltqualitätsnorm mit 7 ausgewählten Dioxinen und 10 Furanen zusammengefasst (Van den Berg et al., 2006). PCB und PCDD/F sind fettlöslich und reichern sich in fettreichen Geweben von Organismen an. Die log Kow-Werte der 17 Dioxine und Furane liegen zwischen 6,46 – 8,75, die der 12 dl-PCB zwischen 5,13 und 7,98 (Becker et al., 2010). Die Stoffe sind hochgiftig, kanzerogen und endokrin wirksam (WHO, 2023). Die Toxizität von PCDD/F und dl-PCB wird mit Hilfe von Toxizitätsäquivalenten (TEQ) ausgedrückt, die sich auf das giftigste Dioxin-Kongener 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin (2,3,7,8-TCDD, Seveso-Gift) beziehen (Van den Berg et al., 2006). Nach dem Stockholmer Übereinkommen sind PCDD/F und dl-PCB seit 2001 verboten (UNEP, 2001).

A.1.10 Polychlorierte Biphenyle

Substanzname: Polychlorierte Biphenyle
Abkürzung: PCB
CAS: - (Gemisch)

Polychlorierte Biphenyle (PCB) sind hochgiftige Verbindungen, die bis in die 1980er Jahre in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt wurden (s.o.). In kommerziellen Gemischen kommen etwa 130 verschiedene PCB-Kongenere vor.

Viele PCB sind in der Umwelt persistent und besitzen ein hohes Bioakkumulationspotential, wobei die höchsten Konzentrationen in fettreichen Geweben auftreten (log Kow der o.g. Kongenere: 5,67 - 7,36, (Becker et al., 2010). Seit 1983 werden PCB in Deutschland nicht mehr hergestellt und die EU-weite Anwendung ist seit 1985 stark eingeschränkt. Mit dem Stockholmer Übereinkommen folgten 2001 weltweite Anwendungsbeschränkungen (UNEP, 2001).

A.1.11 Quecksilber

Substanzname: Quecksilber
Abkürzung: Hg
CAS: 7439-97-6

Quecksilber (Hg) ist ein in der Umwelt ubiquitäres Metall. Es kommt in vielen verschiedenen physikalischen und chemischen Formen vor. Unter toxikologischen Gesichtspunkten sind vor allem elementares Quecksilber und Monomethyl-Quecksilber-Verbindungen (CH_3HgX , MeHg) relevant. MeHg ist besonders problematisch wegen seiner sehr hohen Toxizität und seines hohen Bioakkumulations- und Biomagnifikationspotenzials (Europäische Kommission, 2005; Merian et al., 2004). Da Quecksilber an die Thiol-Gruppe (SH-Gruppe) von Proteinen bindet, finden sich die höchsten Konzentrationen in Geweben, die reich an SH-haltigen Proteinen sind wie z. B. Muskelgewebe (Eisler, 2007). Ein wesentlicher Teil der Hg-Belastung der Umwelt ist auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen. Eine Verringerung der Umweltbelastung kann daher nur durch eine Reduktion von Emissionen erreicht werden. Dementsprechend wurde 2013 mit dem Minamata-Übereinkommen über Quecksilber ein globaler Vertrag zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt vereinbart (UNEP, 2012a). Darin enthalten sind Maßnahmen, wie z. B. ein Verbot neuer und die Schließung alter Quecksilbergruben und Kontrollmaßnahmen zu Luftemissionen.

A.1.12 Übersicht

Nachfolgend sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** die Umweltqualitätsnormen (UQN) sowie die jeweils zu überprüfende Matrix für die in dieser Studie betrachteten Substanzen und Substanzgruppen zusammengefasst.

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030
 -

- Seite 143/211

Tabelle 21: UQN der betrachteten Substanzen und Substanzgruppen.

Stoff(-gruppe)	Abkürzung	Zusammensetzung	Biota-UQN ¹⁷ [µg/kg FG]	Überprüfungsmatrix	Schutzgut
Benzo(a)pyren	-/-	Benzo(a)pyren	5	Krebs- und Weichtiere	Mensch
Dicofol	-/-	Dicofol	33	Fische	Ökosystem
Fluoranthen	-/-	Fluoranthen	30	Krebs- und Weichtiere	Mensch
Heptachlor und Heptachlorepoxyd	HC + HCE	HC + HCE	0,0067	Fische	Mensch
Hexabromcyclododecan	HBCDD	Summe aus α-, β- und γ-Diastereomeren	167	Fische	Ökosystem
Hexachlorbenzol	HCB	HCB	10	Fische	Mensch
Hexachlorbutadien	HCBD	HCBD	55	Fische	Ökosystem
Perfluoroctansulfonsäure	PFOS	PFOS	9,1	Fische	Mensch
Polybromierte Diphenylether	PBDE	Summe aus BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154	0,0085	Fische	Mensch
Polychlorierte Dibenz-p-Dioxine und -furane und dioxin-ähnliche polychlorierte Biphenyle	PCDD/F + dl-PCB	Summe von 7 PCDD, 10 PCDF, 12 dl-PCB (WHO-TEQ)	0,0065	Fische, Krebs- und Weichtiere	Mensch und Ökosystem
Quecksilber	Hg	Hg	20	Fische	Ökosystem

¹⁷ Gemäß Richtlinie 2013/39/EU

A.2 Ergänzende Abbildungen: Belastungskarten ohne Normalisierungen

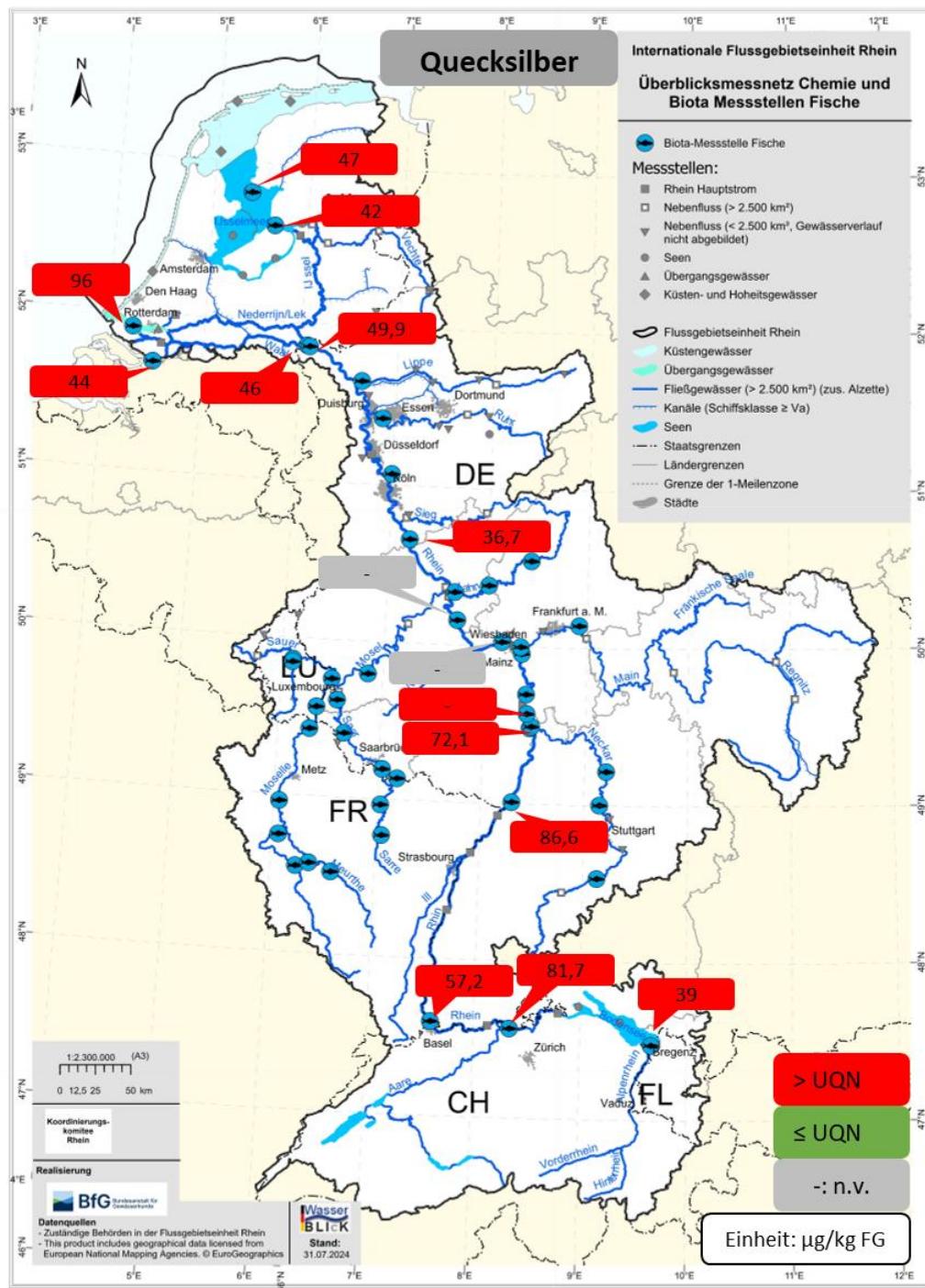


Abbildung 68: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 1A: Quecksilber im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; nur Omnivore; UQN: 20 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$).

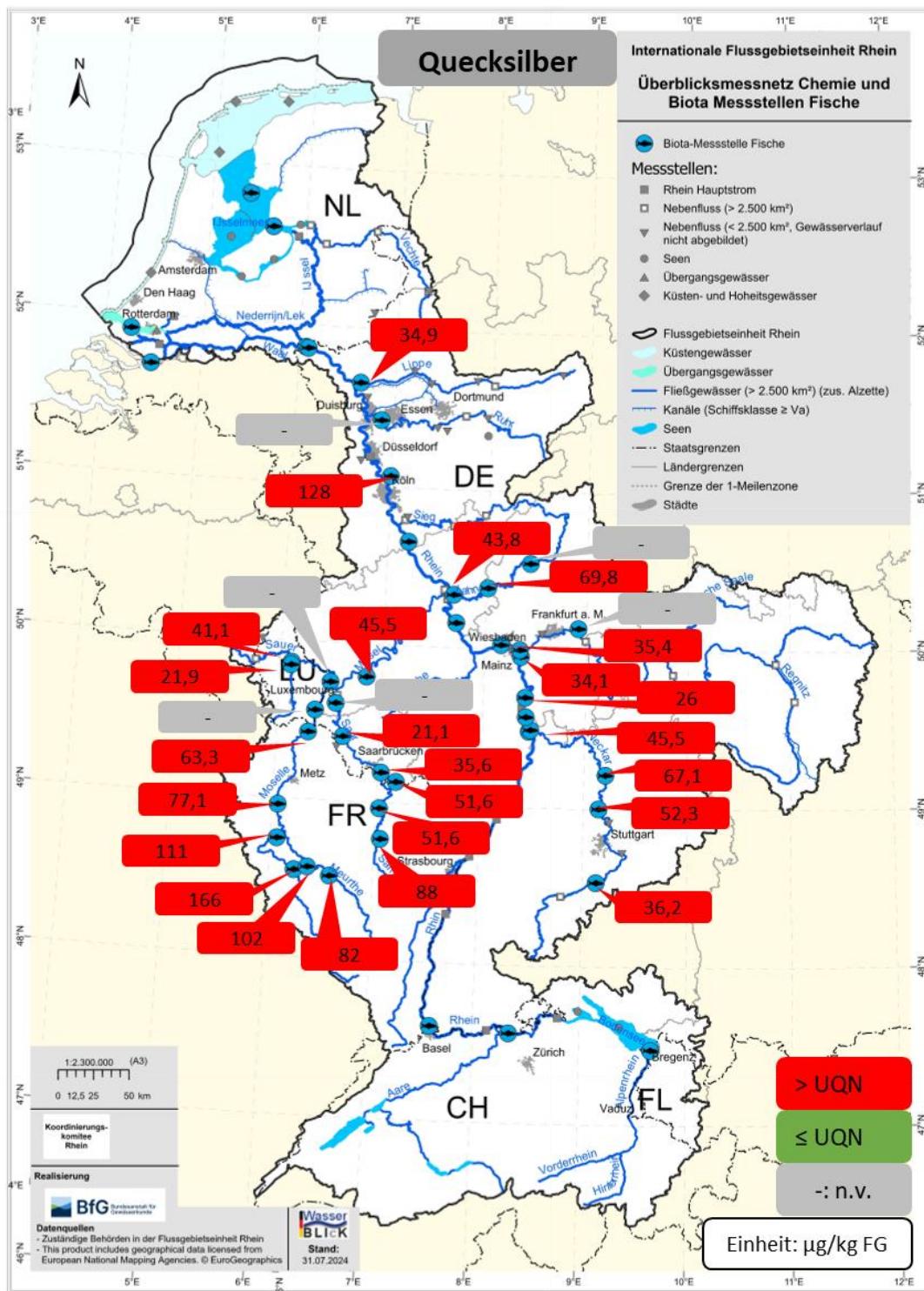


Abbildung 69: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 1B: Quecksilber in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; nur Omnivore; UQN: 20 µg/kg FG).

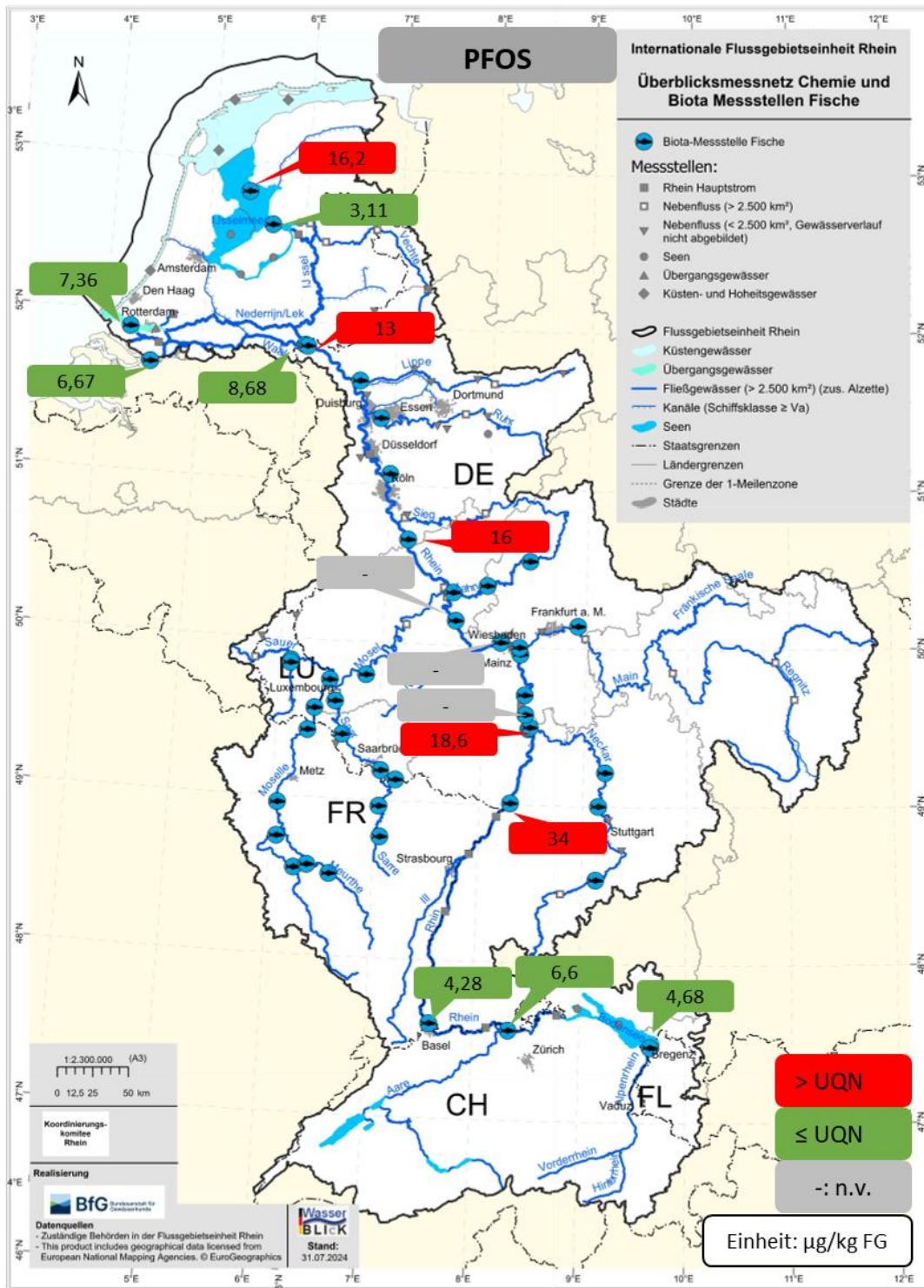


Abbildung 70: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2A: PFOS im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 9,1 µg/kg FG).

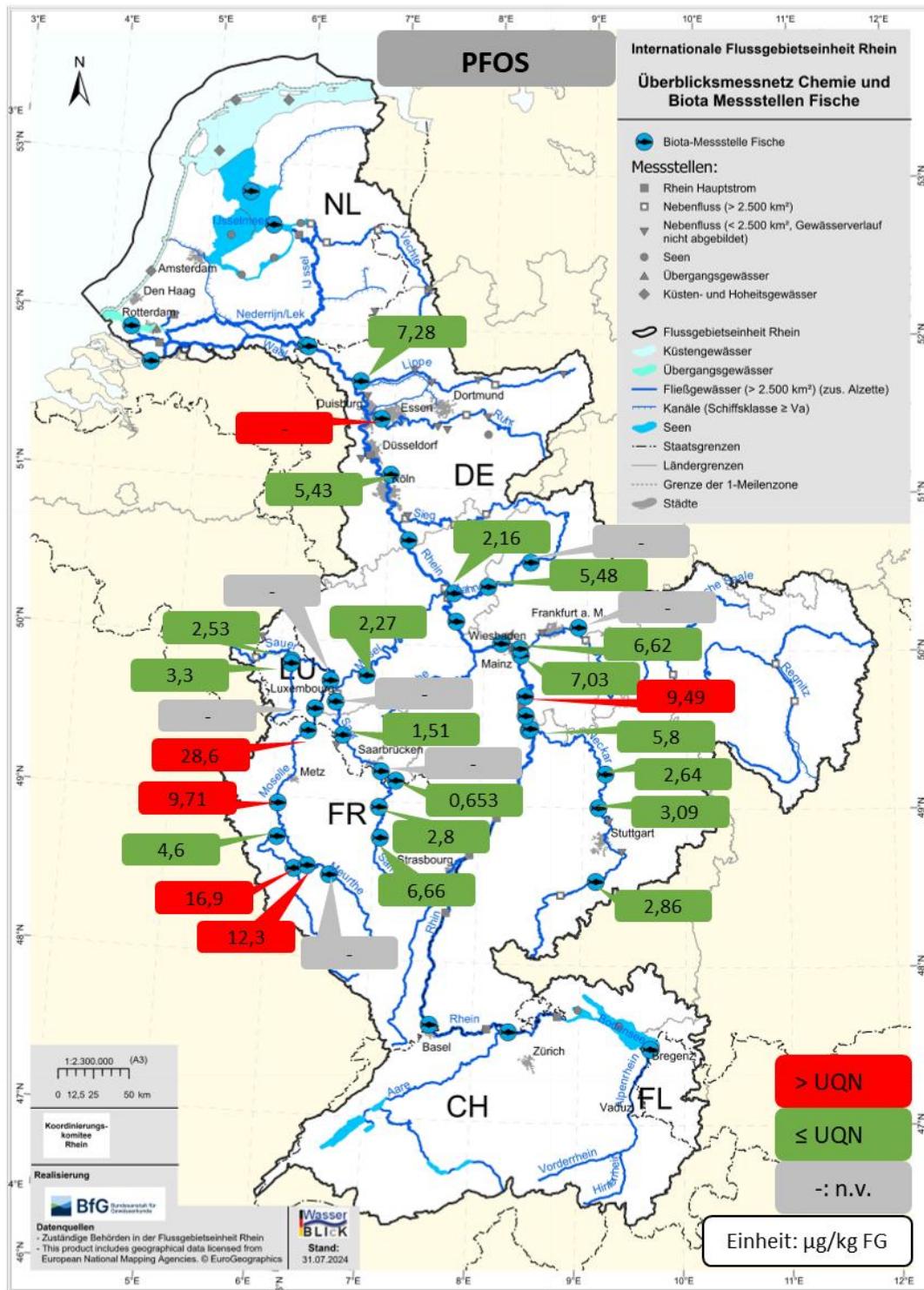


Abbildung 71: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2B: PFOS in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 9,1 $\mu\text{g/kg FG}$).

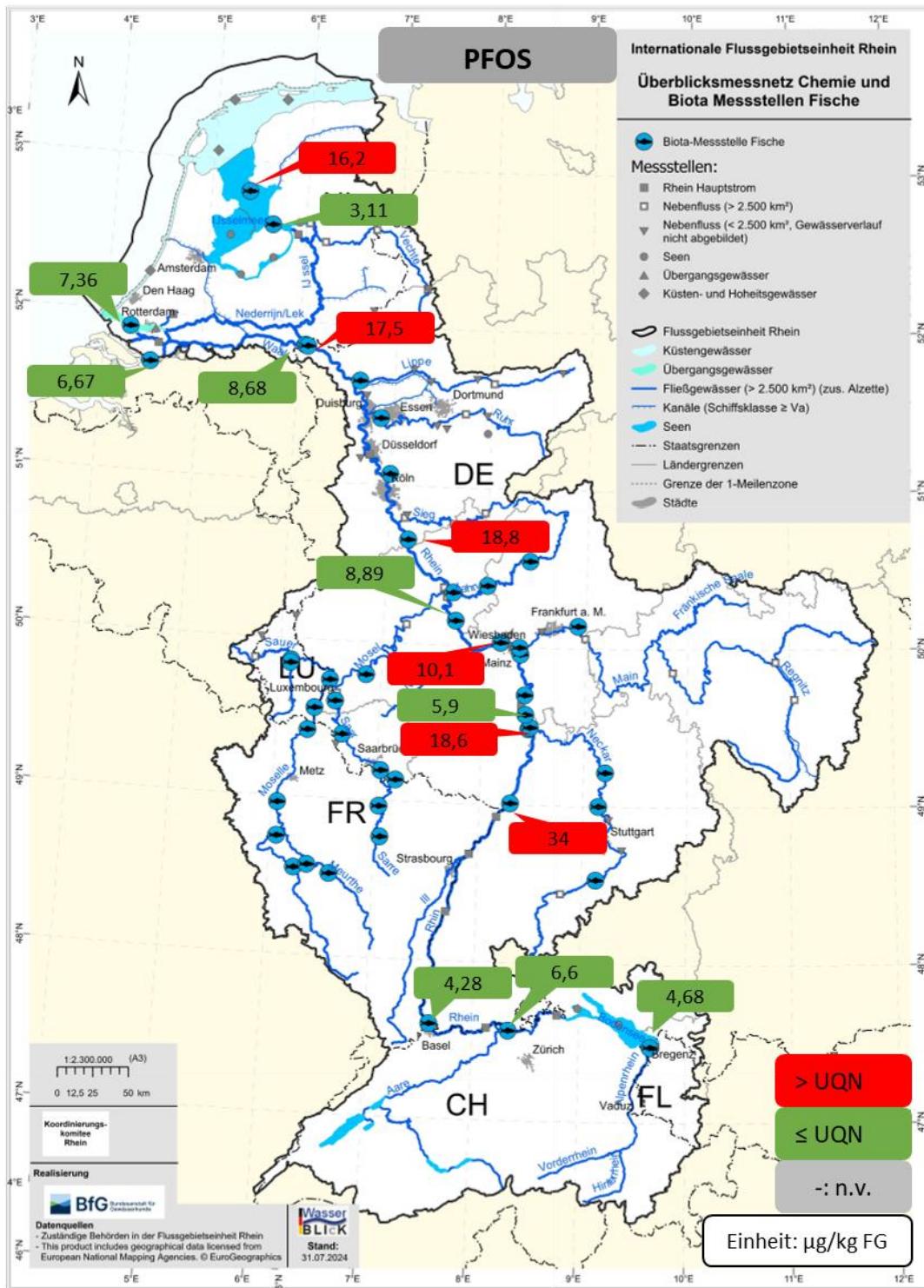


Abbildung 72: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2C: PFOS im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 9,1 µg/kg FG).

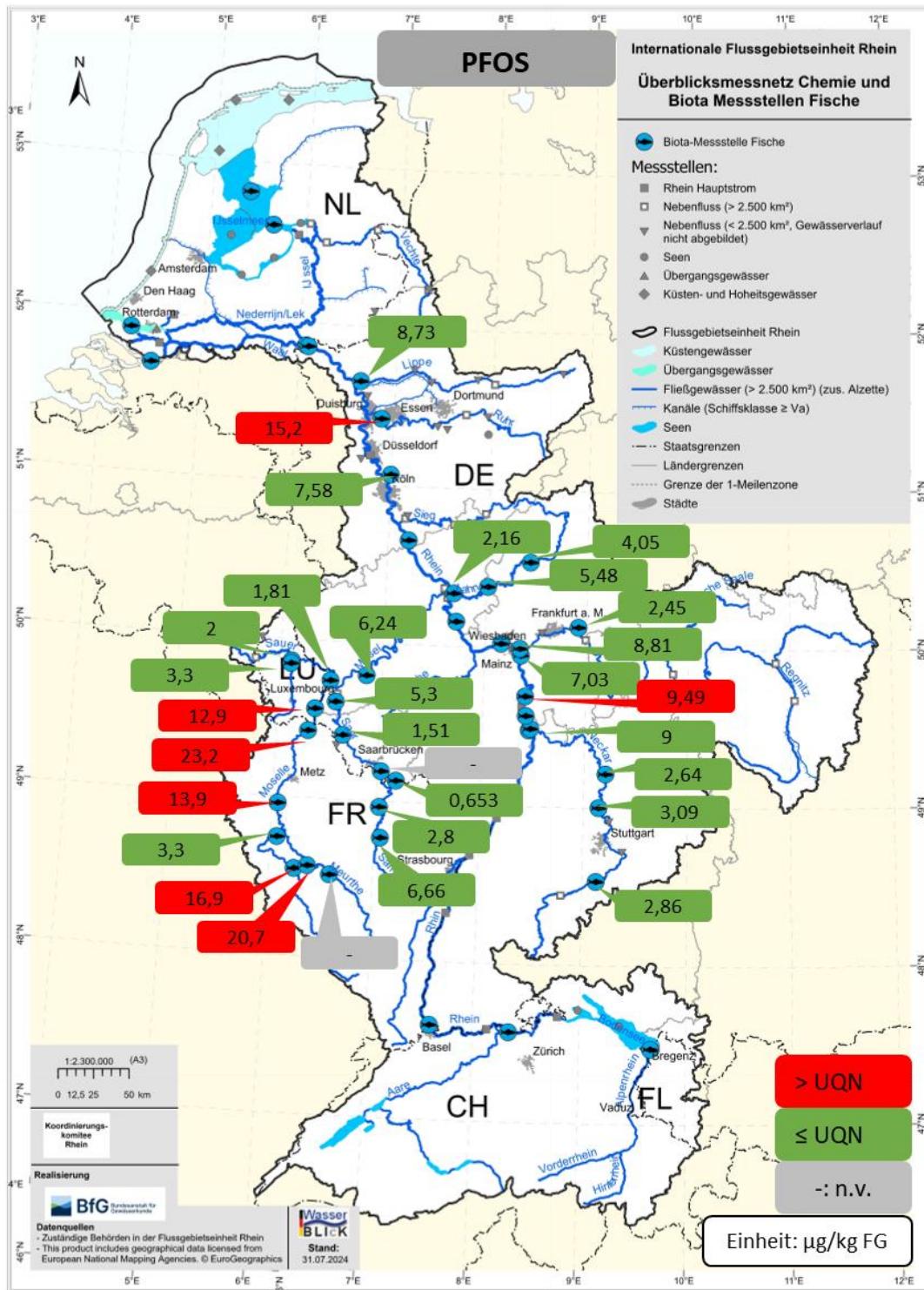


Abbildung 73: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2D: PFOS in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 9,1 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$).

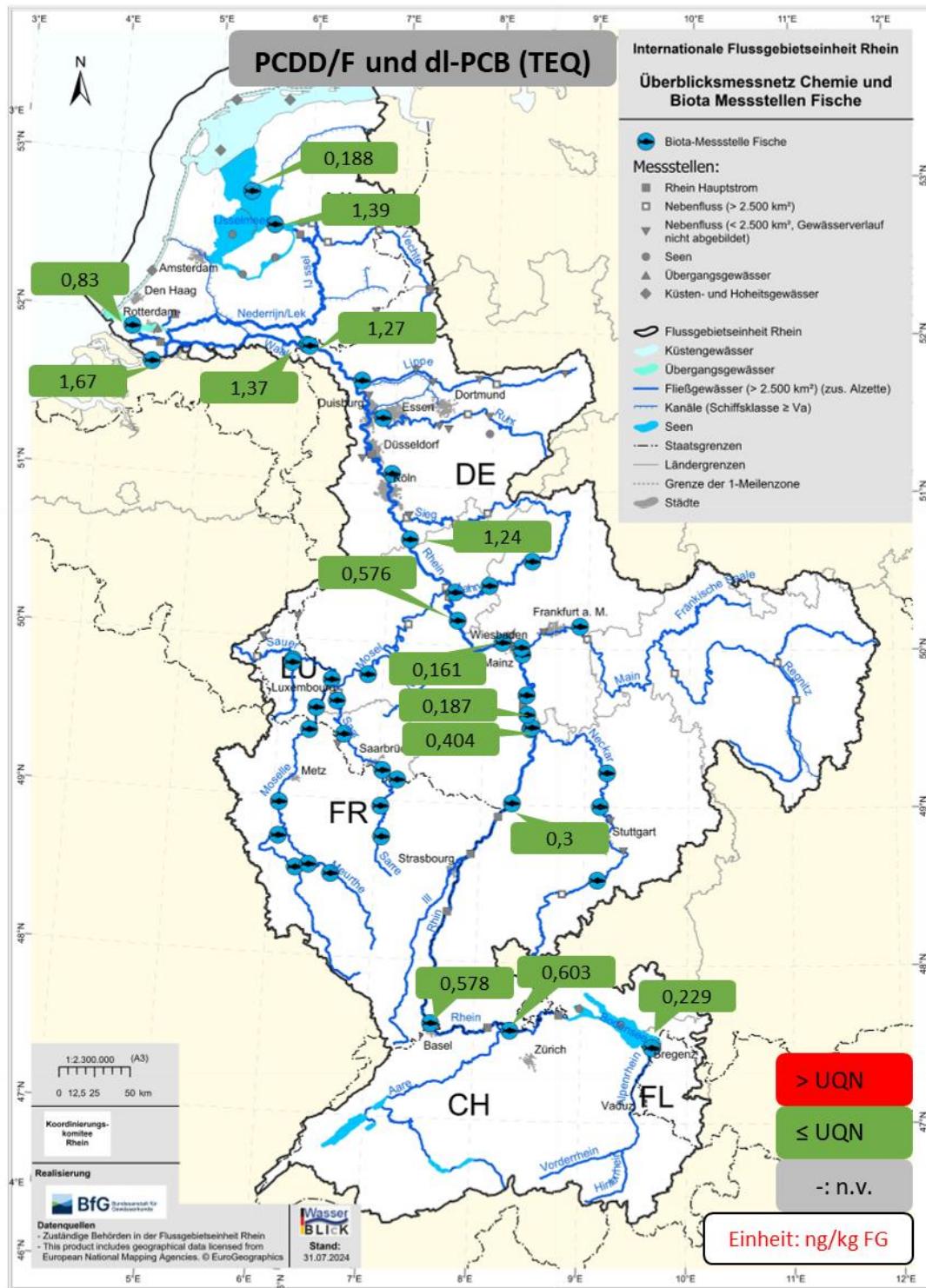
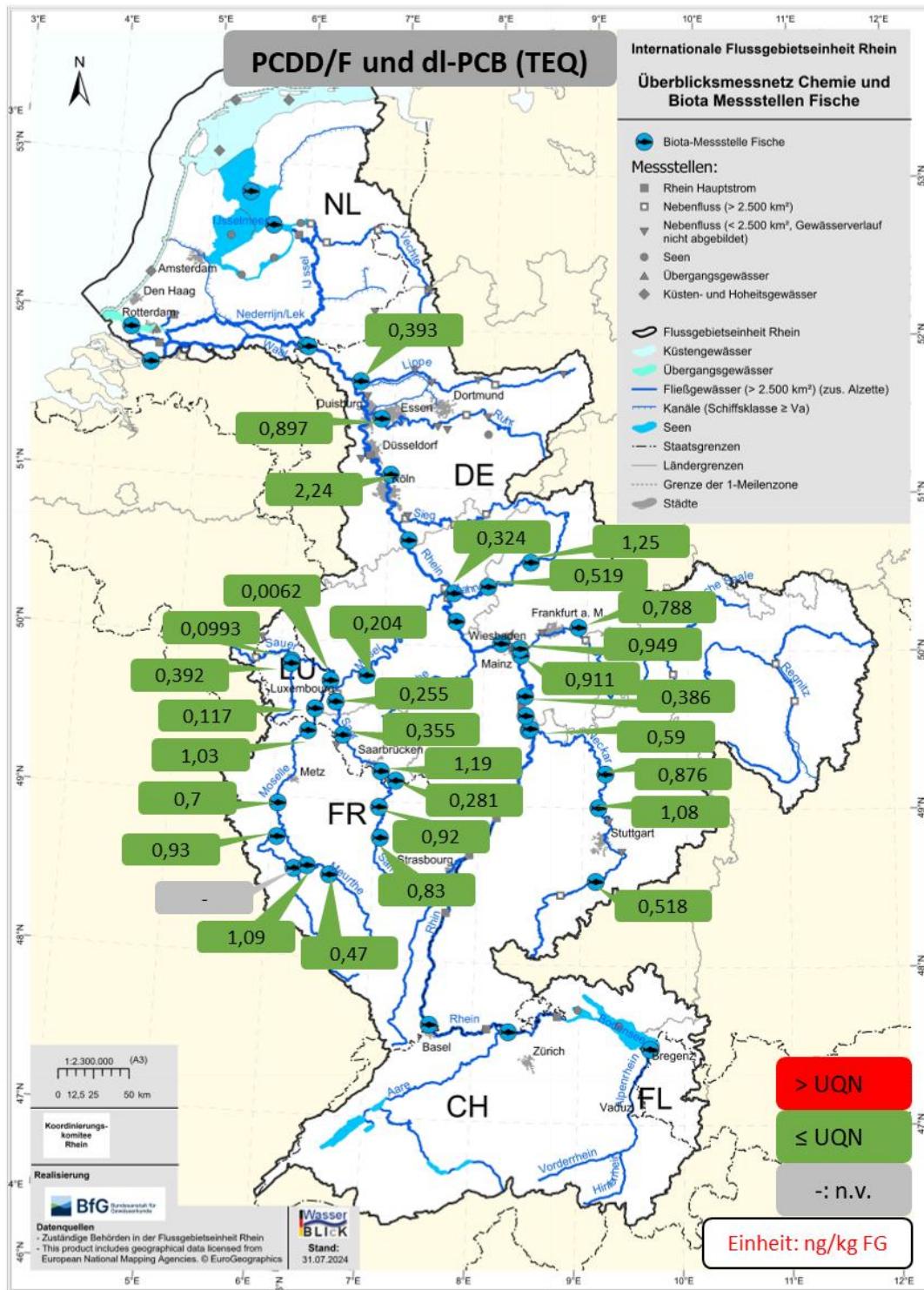


Abbildung 74: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 3A: PCDD/F + dl-PCB im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 0,0065 µg/kg FG; Angaben hier in ng/kg FG).



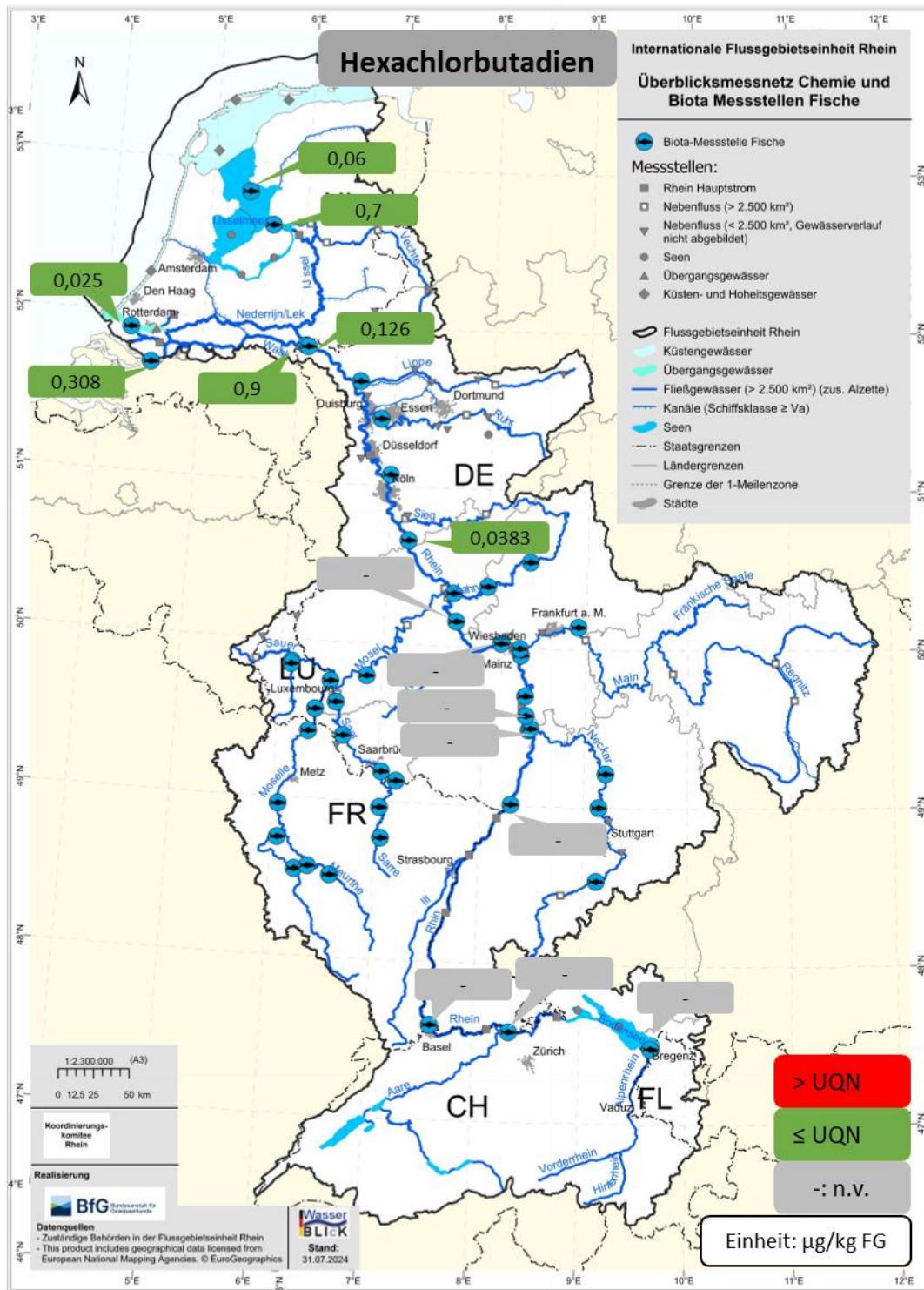


Abbildung 76: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 4A: Hexachlorbutadien im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 55 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$).

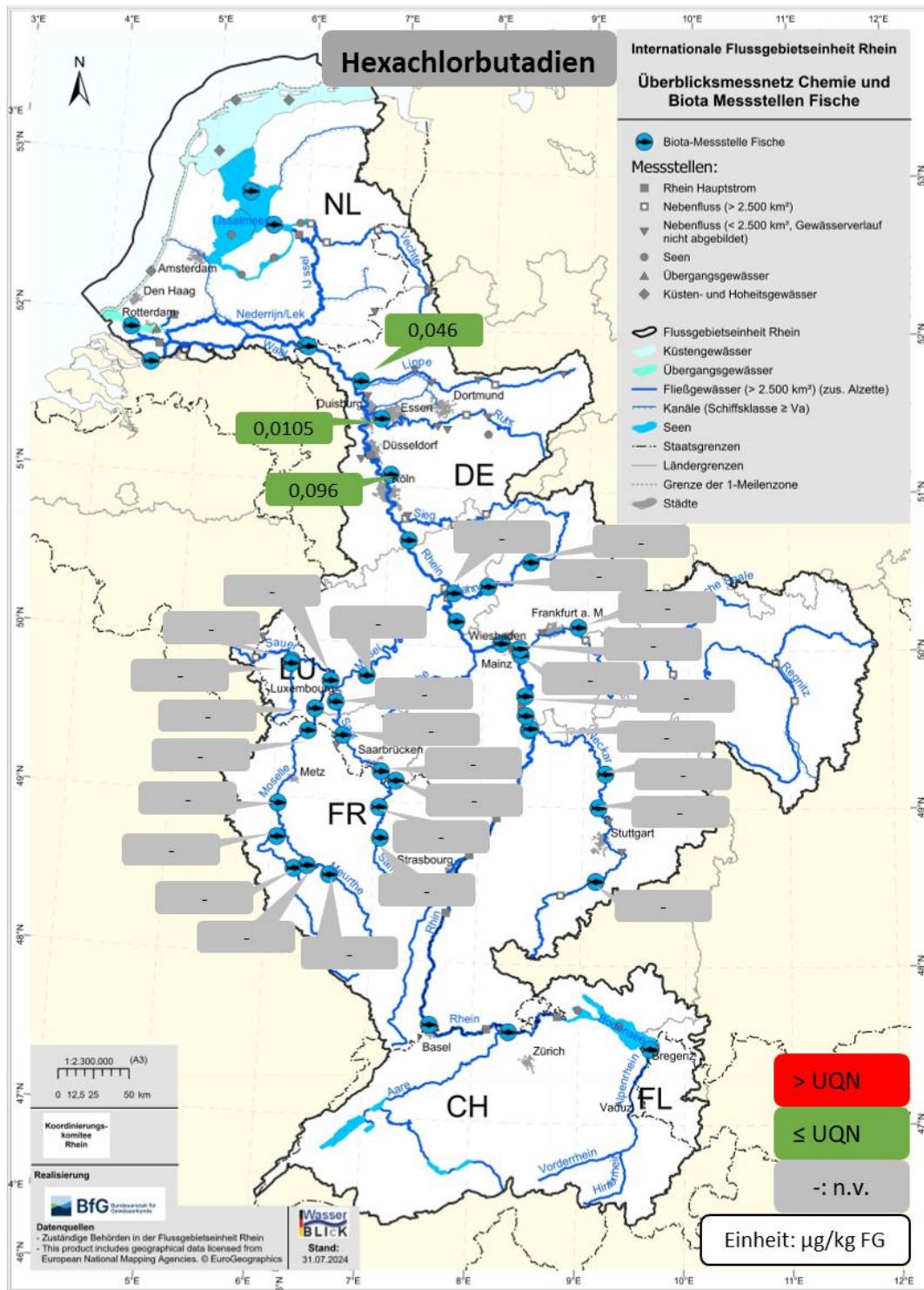


Abbildung 77: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 4B: Hexachlorbutadien in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 55 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$).

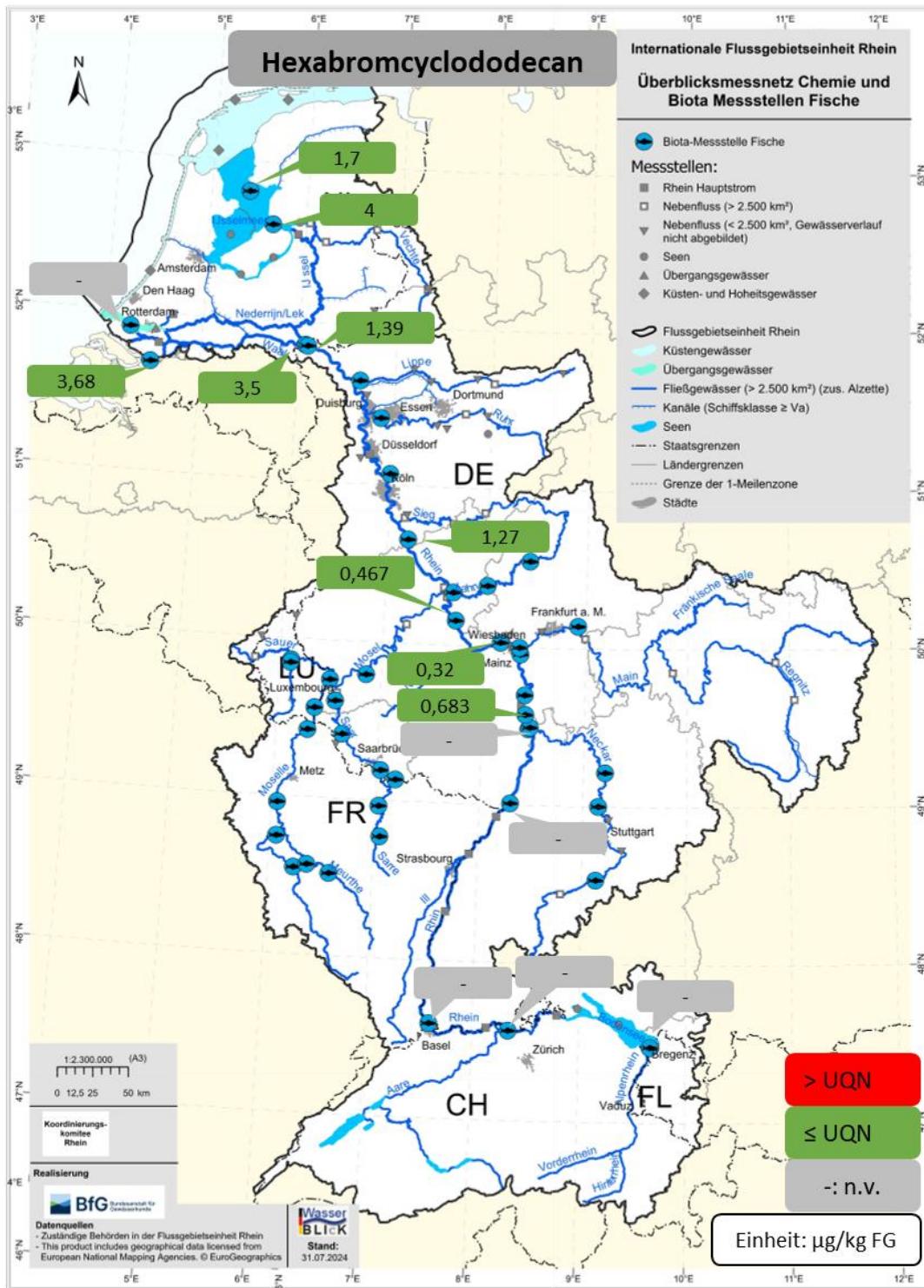


Abbildung 78: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 5A: Hexabromcyclododecan im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 167 µg/kg FG).

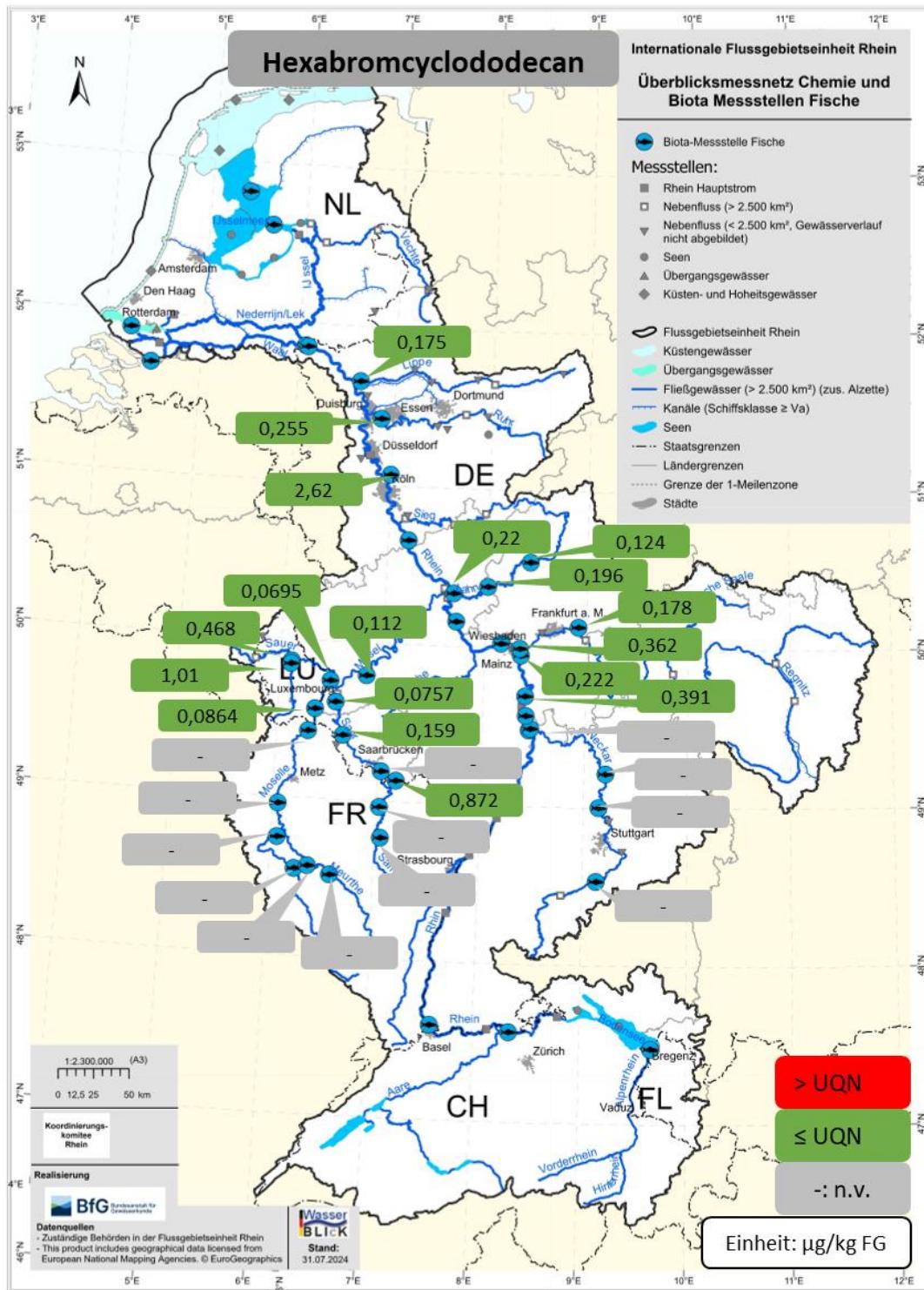


Abbildung 79: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 5B: Hexabromcyclododecan in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 167 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$).

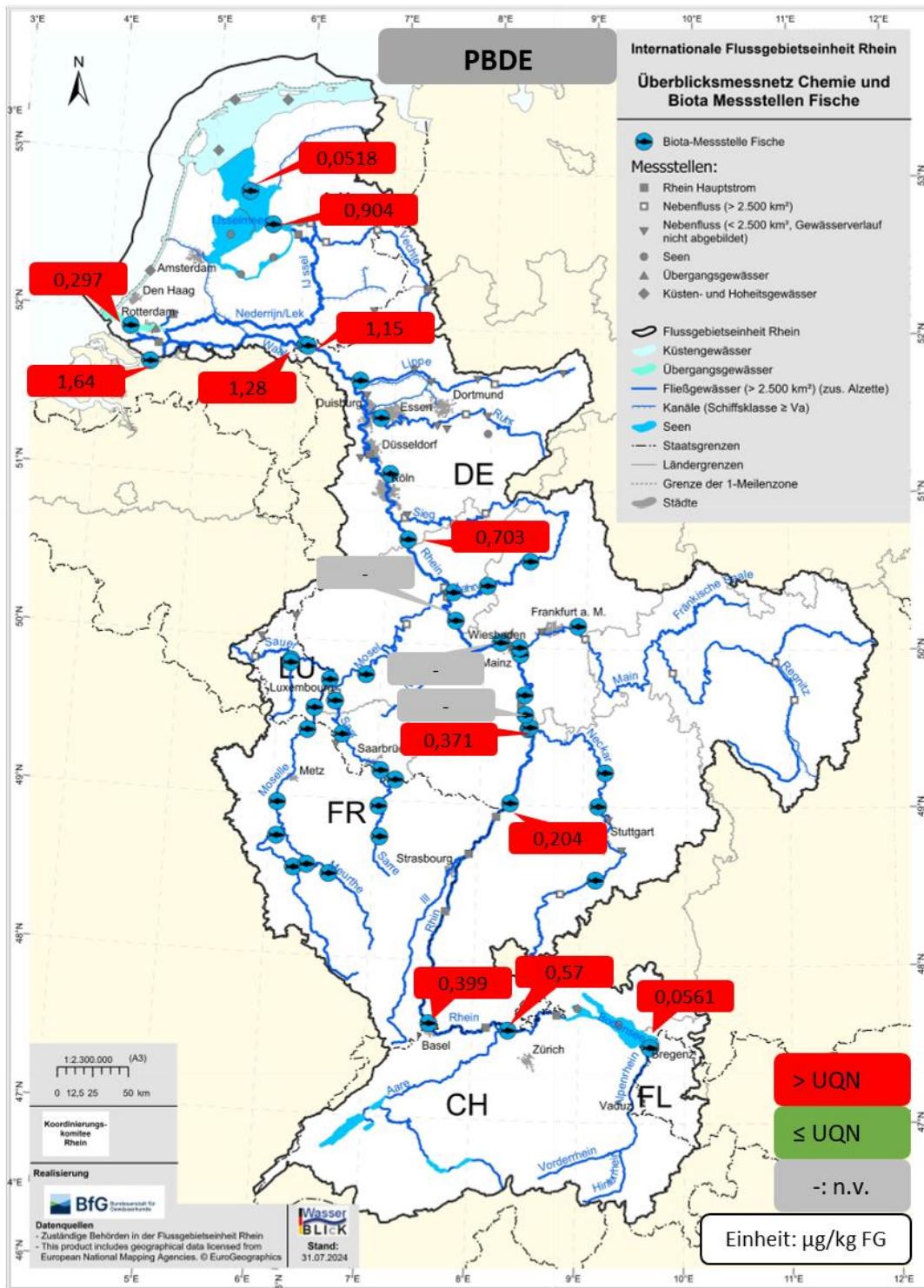


Abbildung 80: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 6A: PBDE nach WRRL im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 0,0085 µg/kg FG).

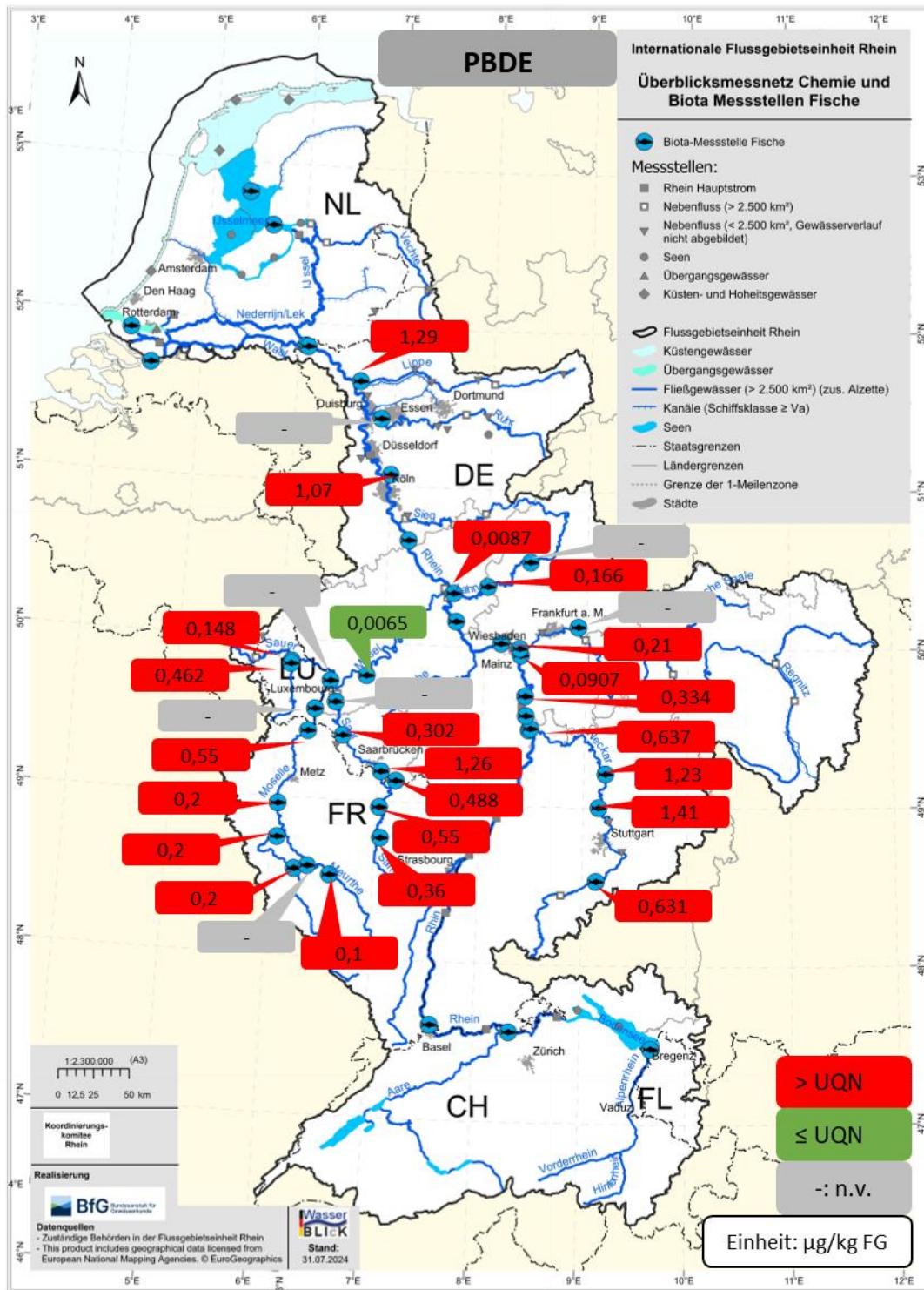


Abbildung 81: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 6B: PBDE nach WRRL in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 0,0085 µg/kg FG).

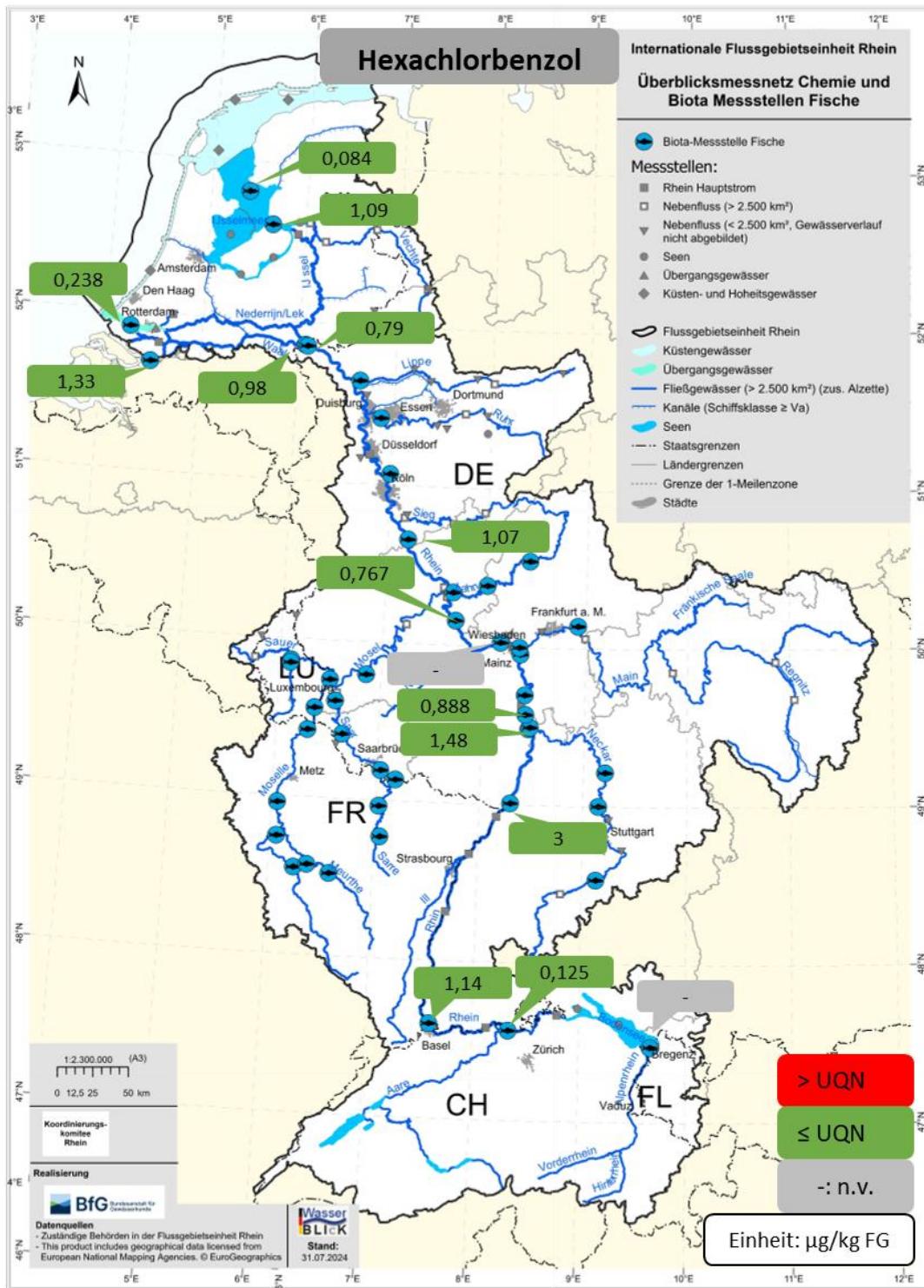


Abbildung 82: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 7A: Hexachlorbenzol im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 10 µg/kg FG).

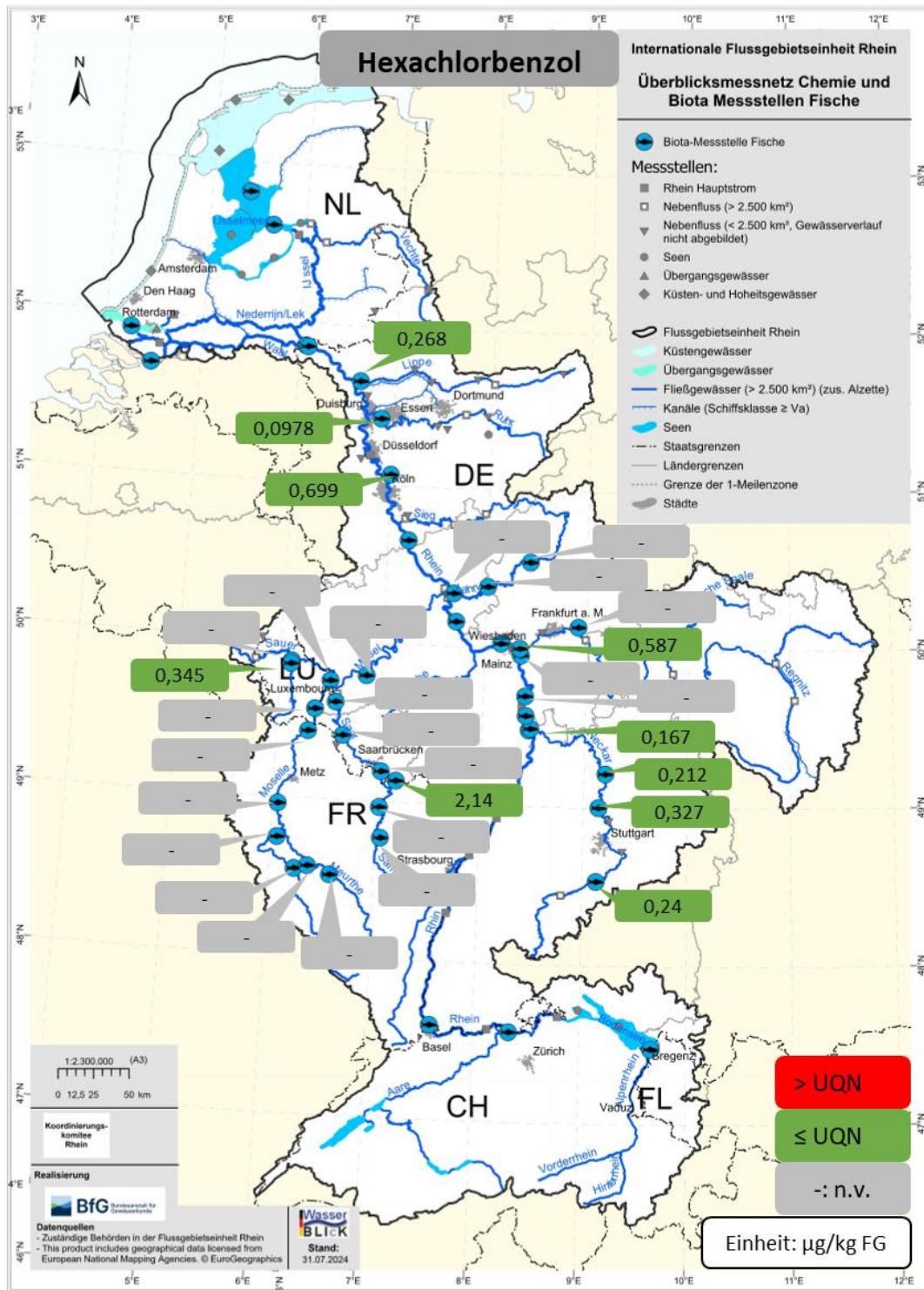


Abbildung 83: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 7B: Hexachlorbenzol in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 10 µg/kg FG)

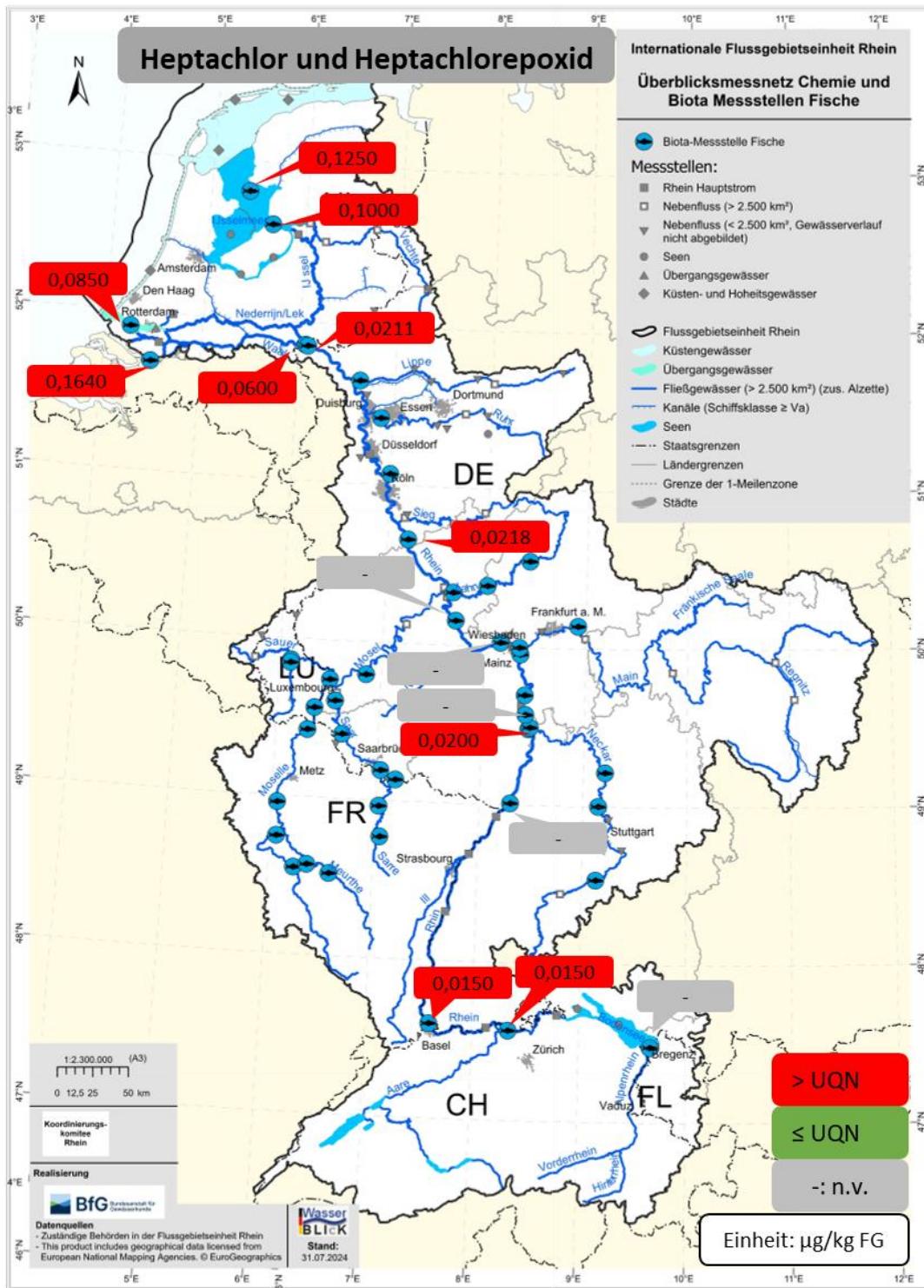


Abbildung 84: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 9A: Heptachlor und Heptachlorepoxyd im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 0,0067 µg/kg FG).

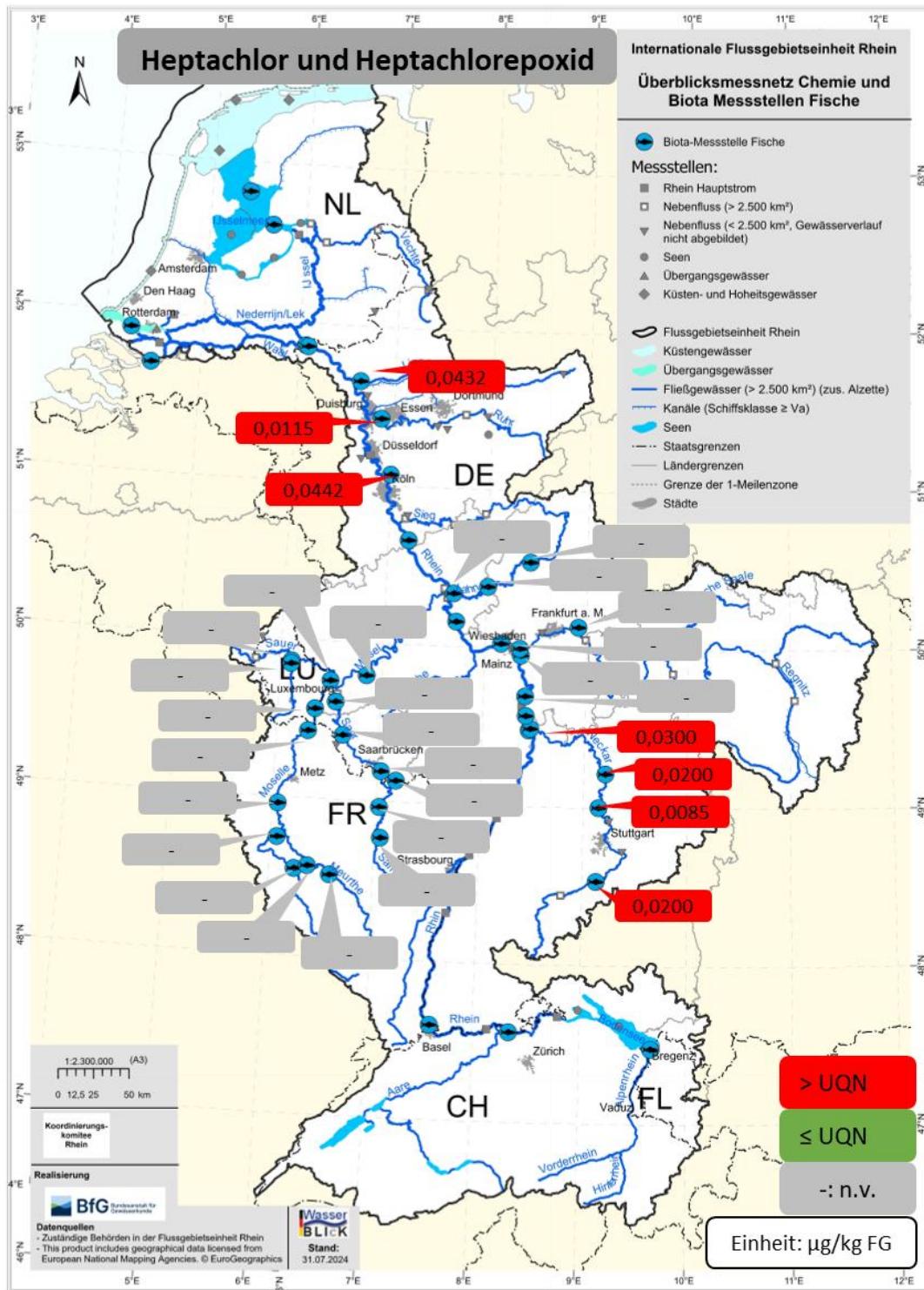


Abbildung 85: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 9B: Heptachlor und Heptachlorepoxyd in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; ohne Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 0,0067 µg/kg FG).

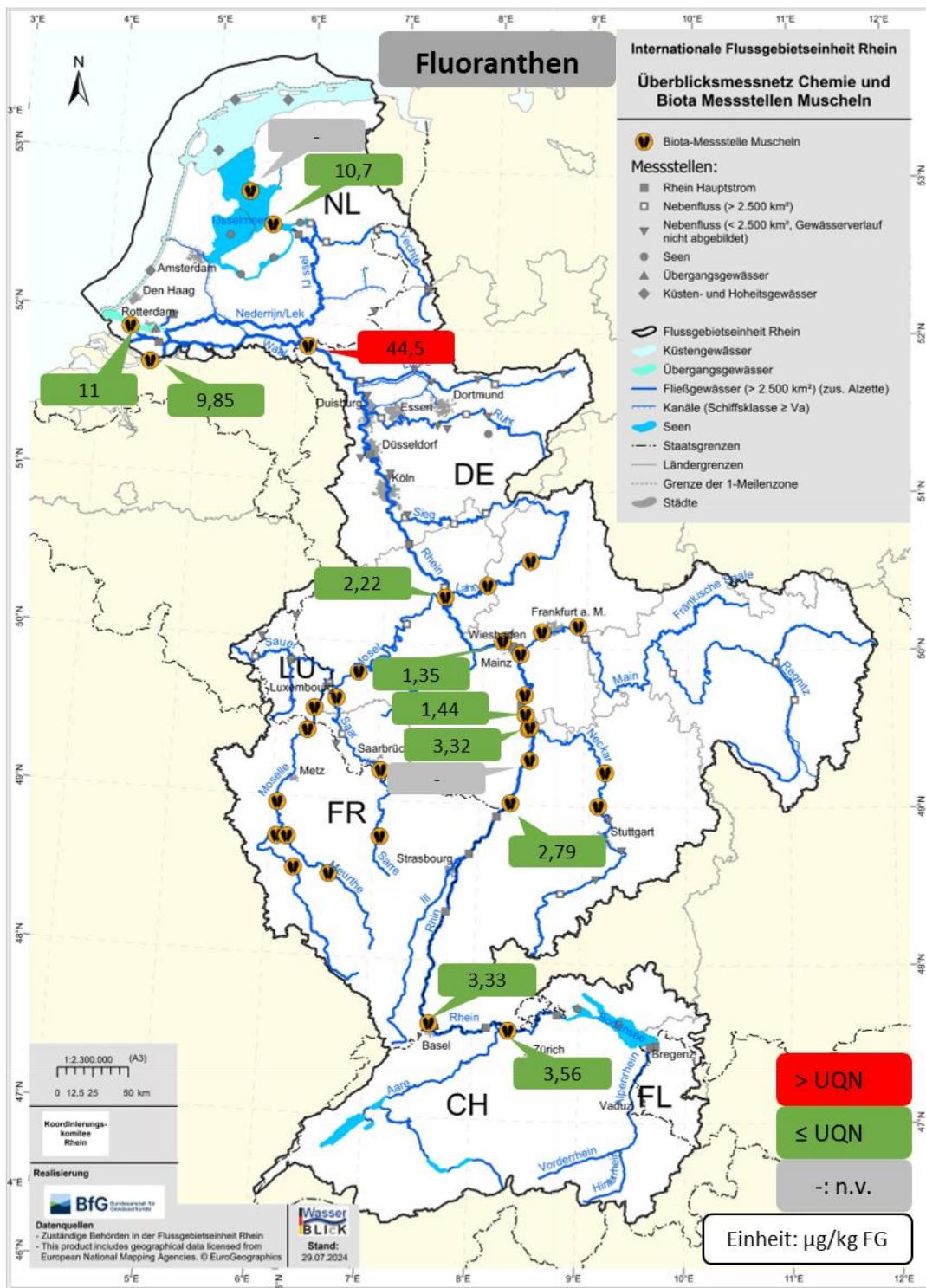


Abbildung 86: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 1A: Fluoranthen im Rhein (Mittelwerte 2016-2023; ohne Normalisierung; UQN: 30 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$).

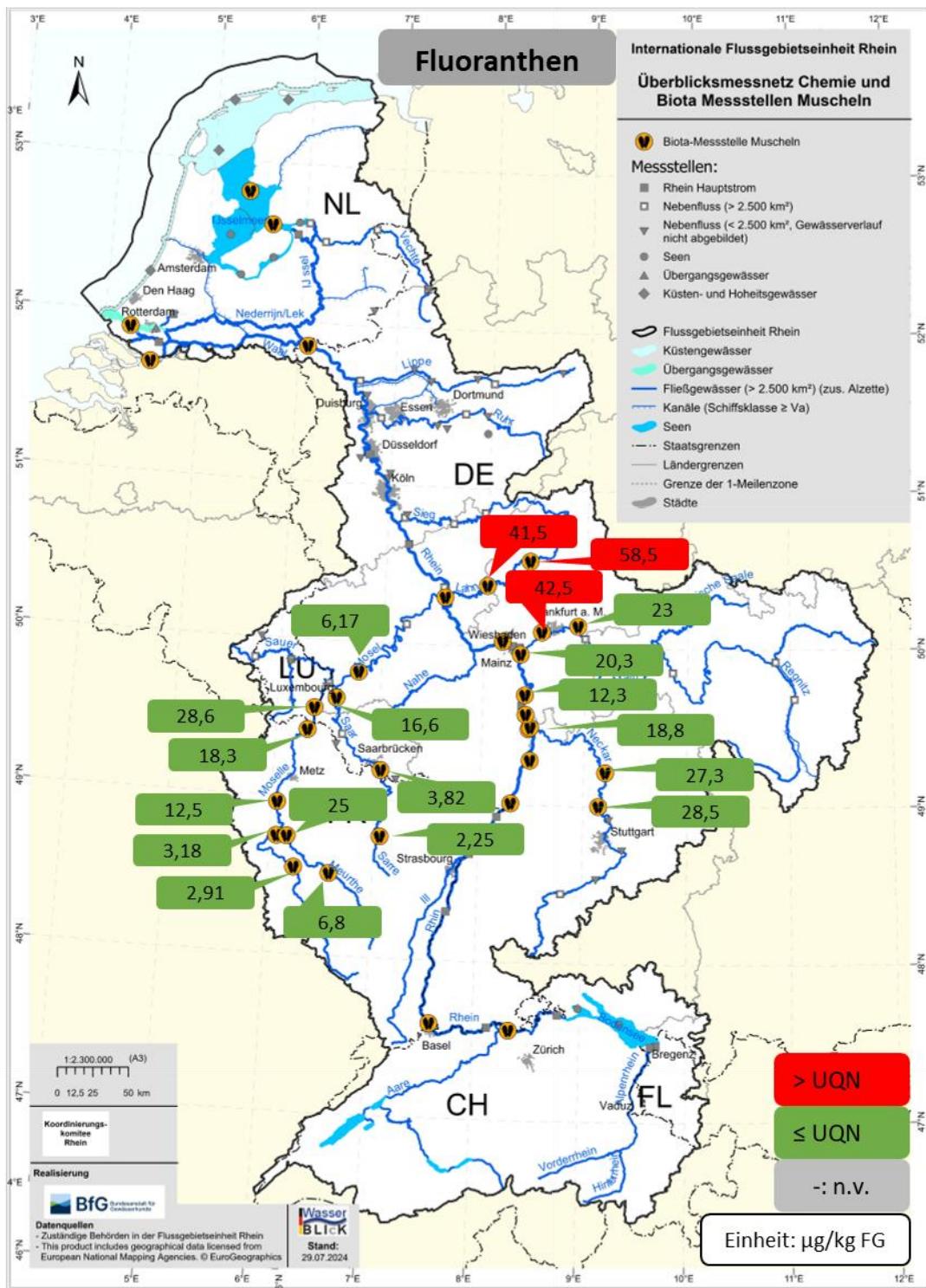


Abbildung 87: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 1B: Fluoranthen in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2023; ohne Normalisierung; UQN: 30 $\mu\text{g/kg FG}$).

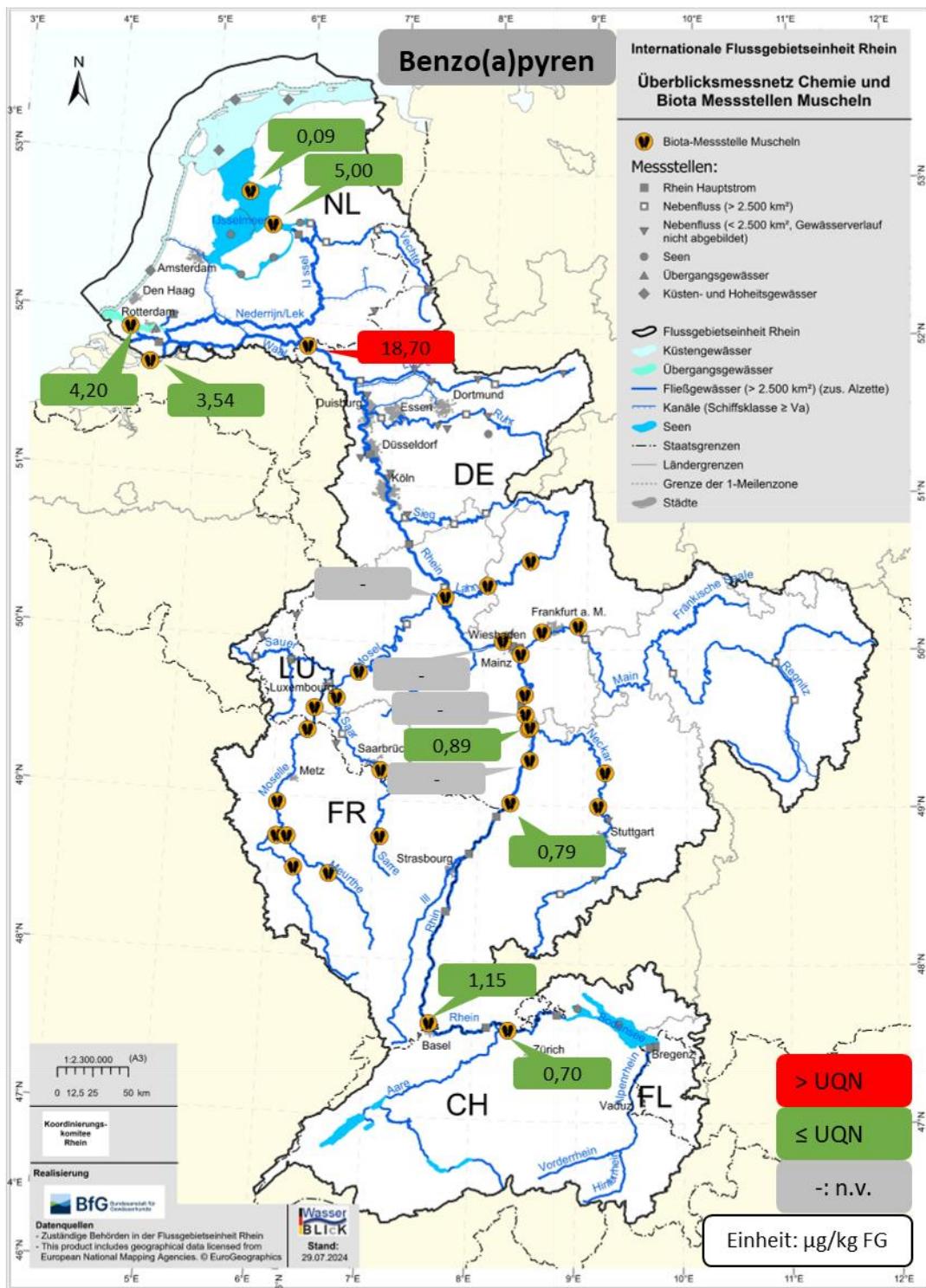


Abbildung 88: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 2A: Benzo(a)pyren im Rhein (Mittelwerte 2016-2023; ohne Normalisierung; UQN: 5 $\mu\text{g/kg FG}$).

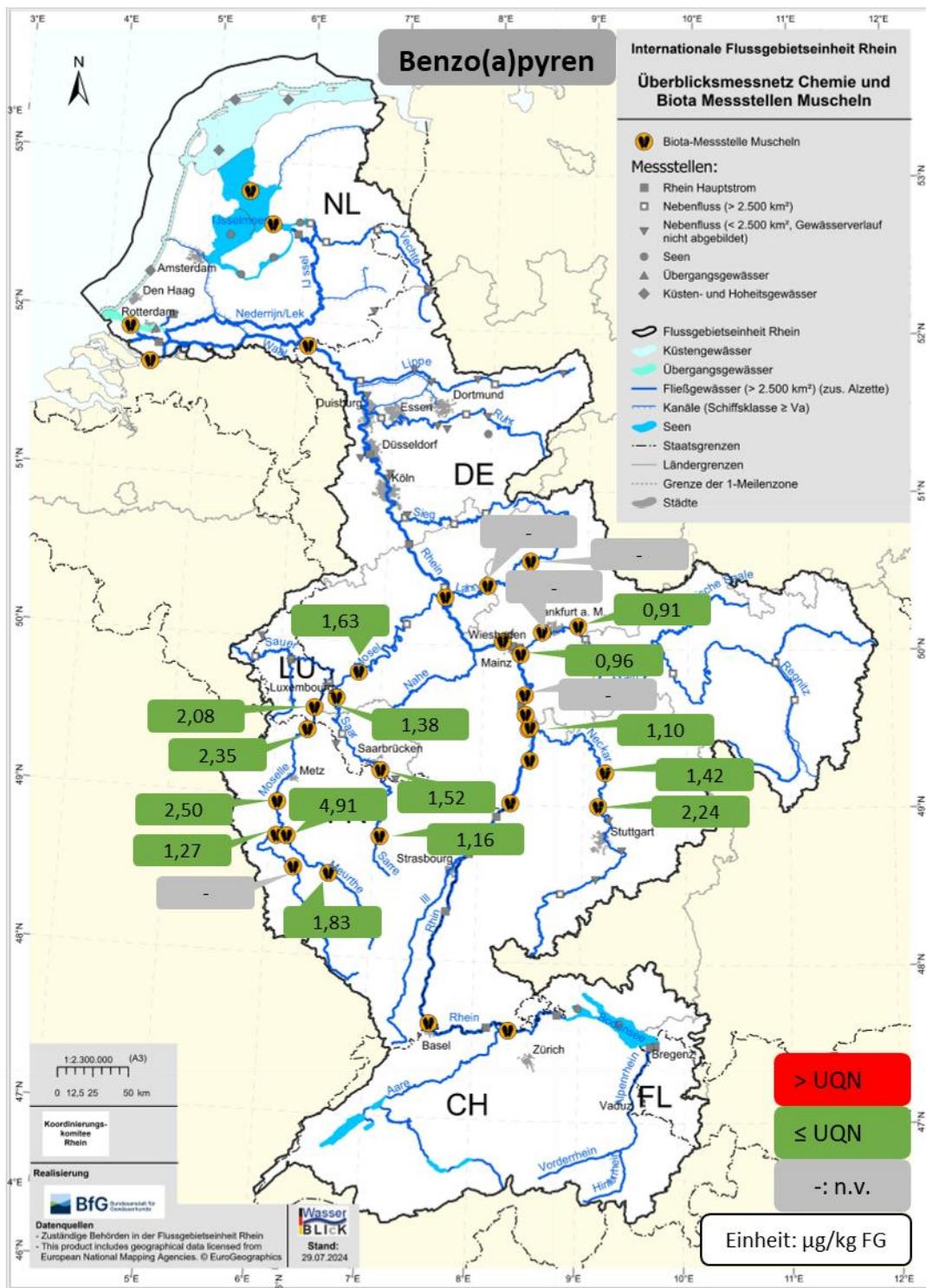


Abbildung 89: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 2B: Benzo(a)pyren in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2023; ohne Normalisierung; UQN: 5 $\mu\text{g/kg FG}$).

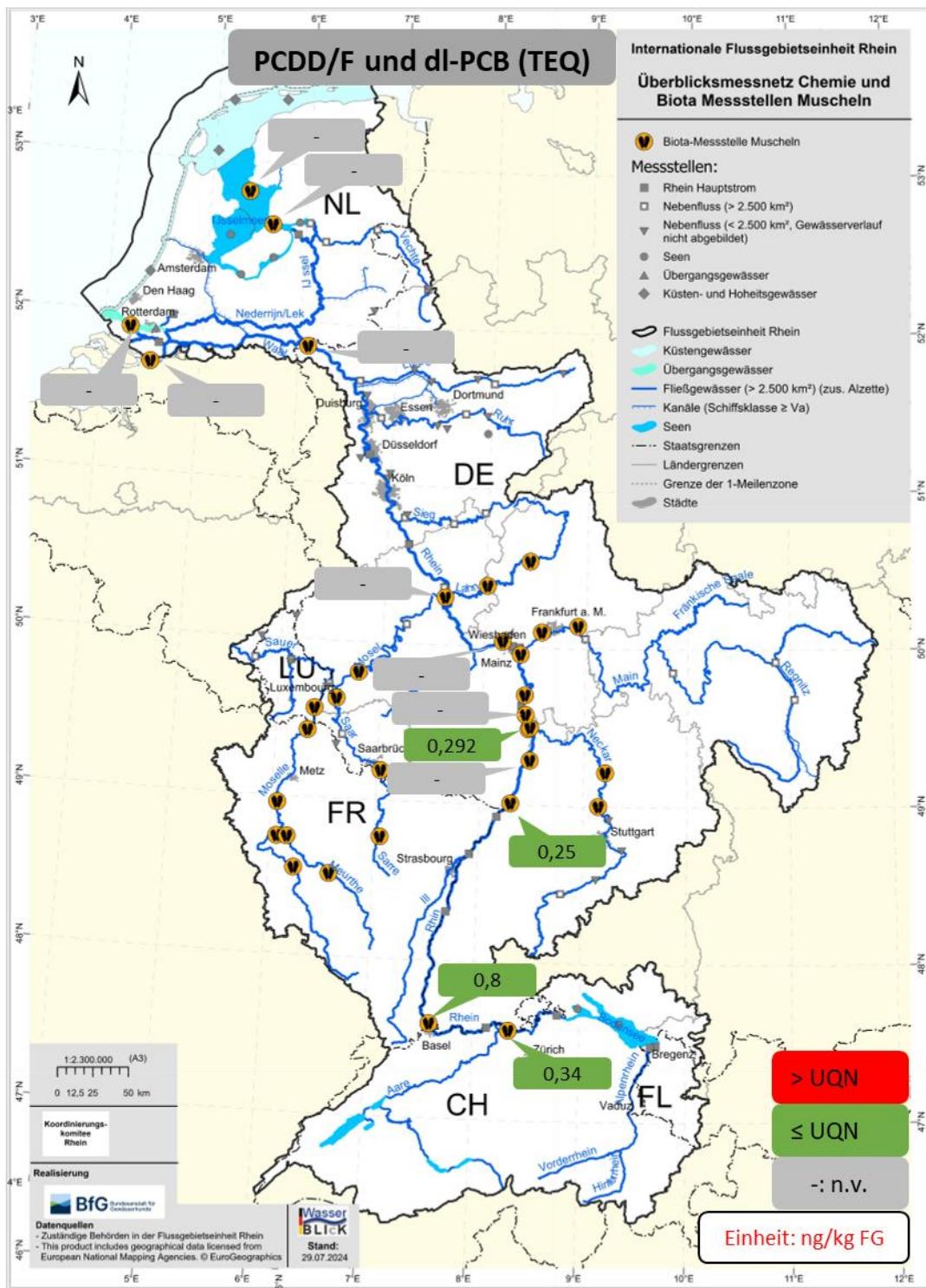


Abbildung 90: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 3A: PCDD/F und dl-PCB im Rhein (Mittelwerte 2016-2023; ohne Normalisierung; UQN: 0,0065 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$; Angaben hier in ng/kg FG). Hinweis: PCDD/F und dl-PCB-Werte wurden nur aus Baden-Württemberg berichtet.

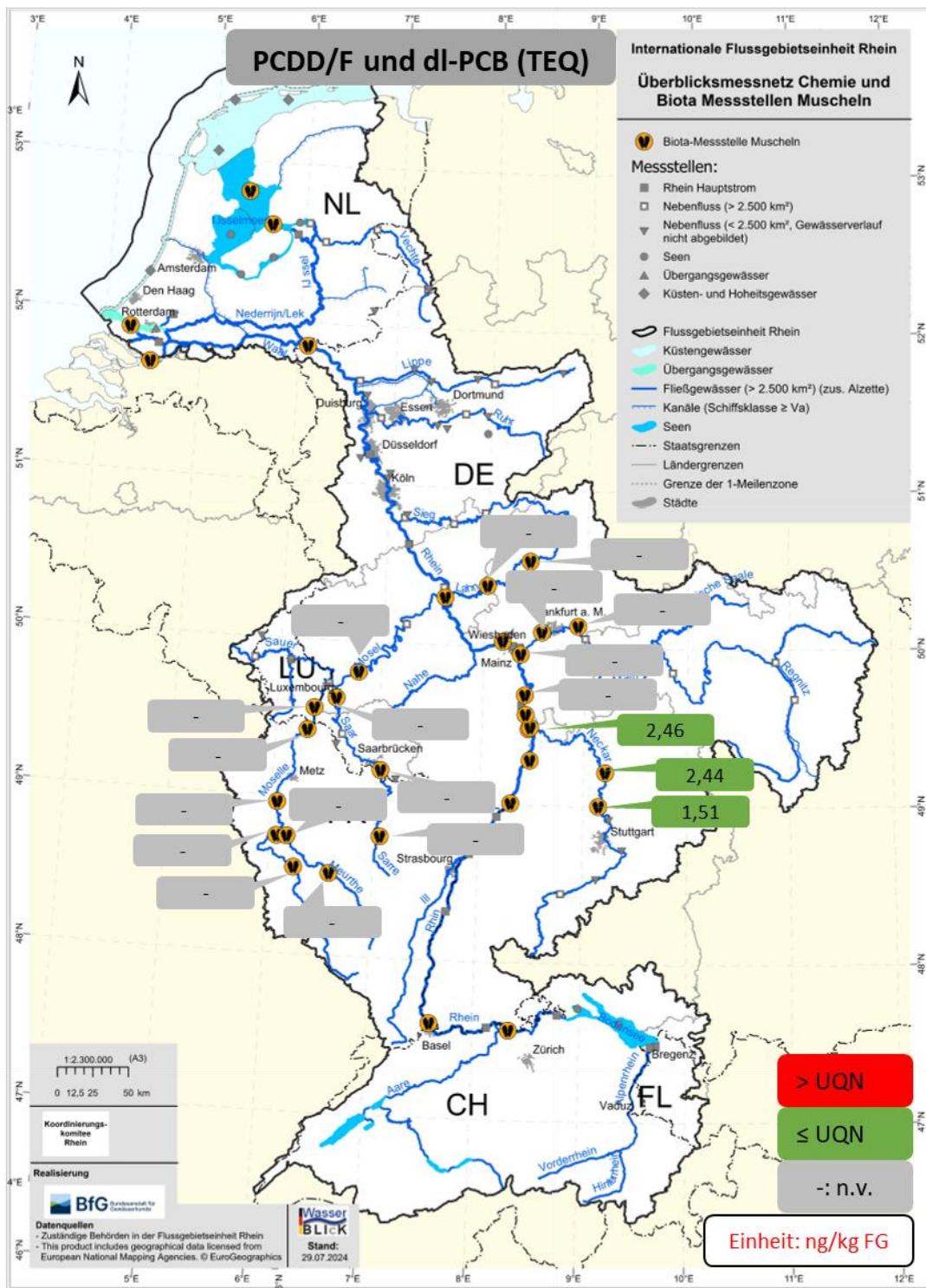


Abbildung 91: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 3B: PCDD/F und dl-PCB in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2023; ohne Normalisierung; UQN: 0,0065 µg/kg FG; Angaben hier in ng/kg FG).
Hinweis: PCDD/F und dl-PCB-Werte wurden nur aus Baden-Württemberg berichtet.

A.3 Ergänzende Abbildungen: Belastungskarten mit Normalisierungen

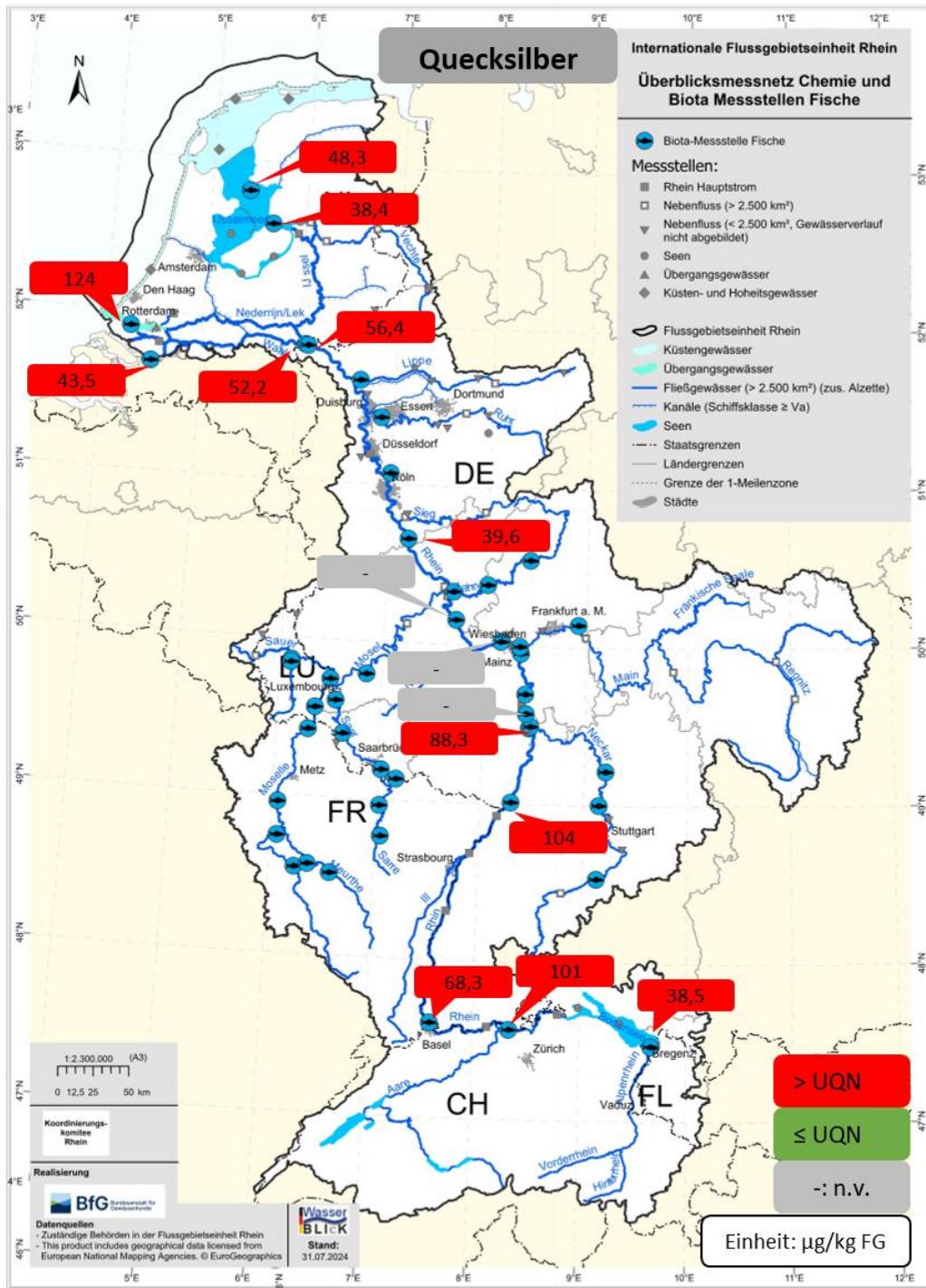


Abbildung 92: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 1A: Quecksilber im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; TM-Normalisierung inkl. Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Ganzfisch; nur Omnivore; UQN: 20 µg/kg FG).

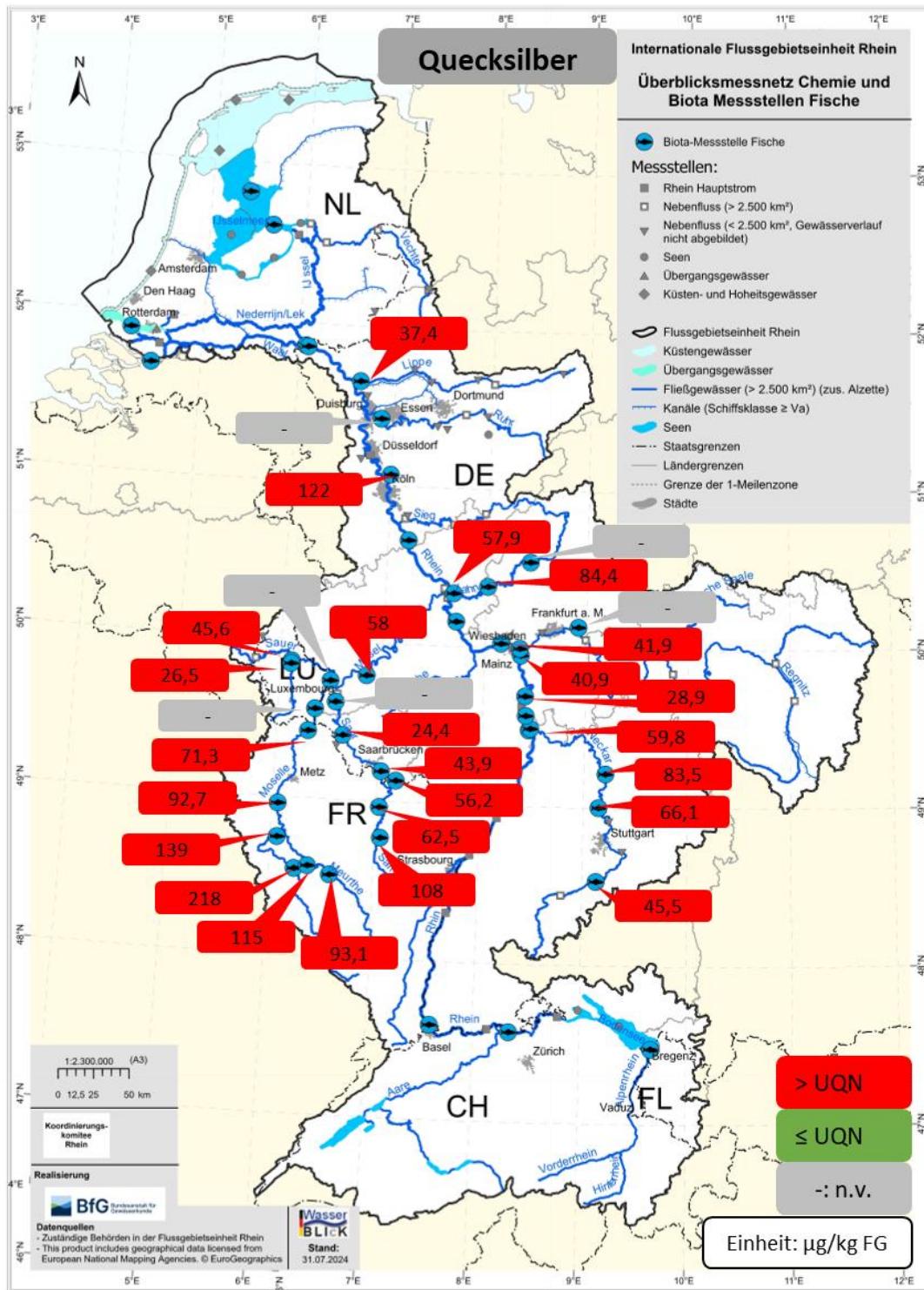


Abbildung 93: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 1B: Quecksilber in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; TM-Normalisierung inkl. Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Ganzfisch; nur Omnivore; UQN: 20 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$).

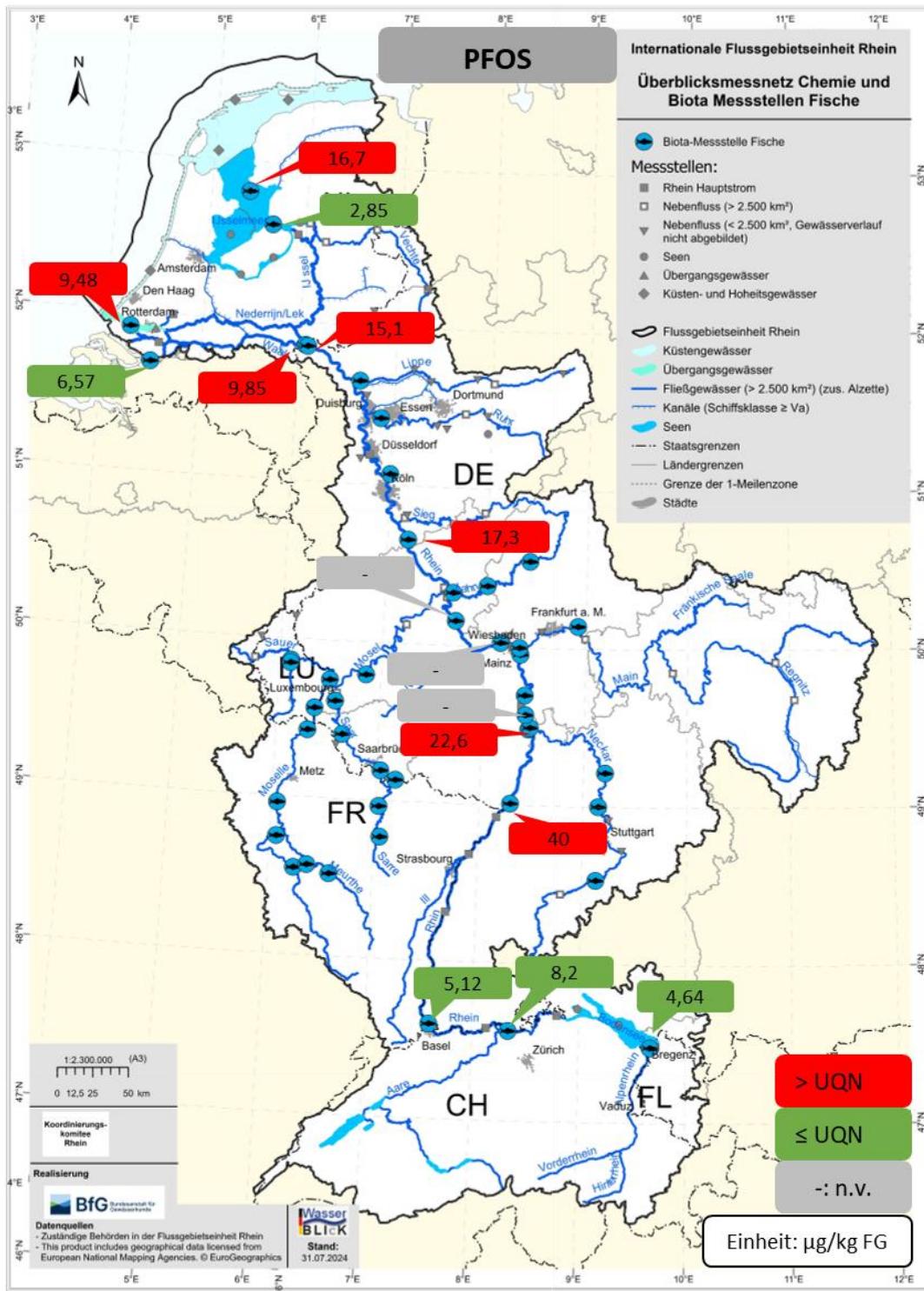


Abbildung 94: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2A: PFOS im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; TM-Normalisierung inkl. Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 9,1 µg/kg FG).

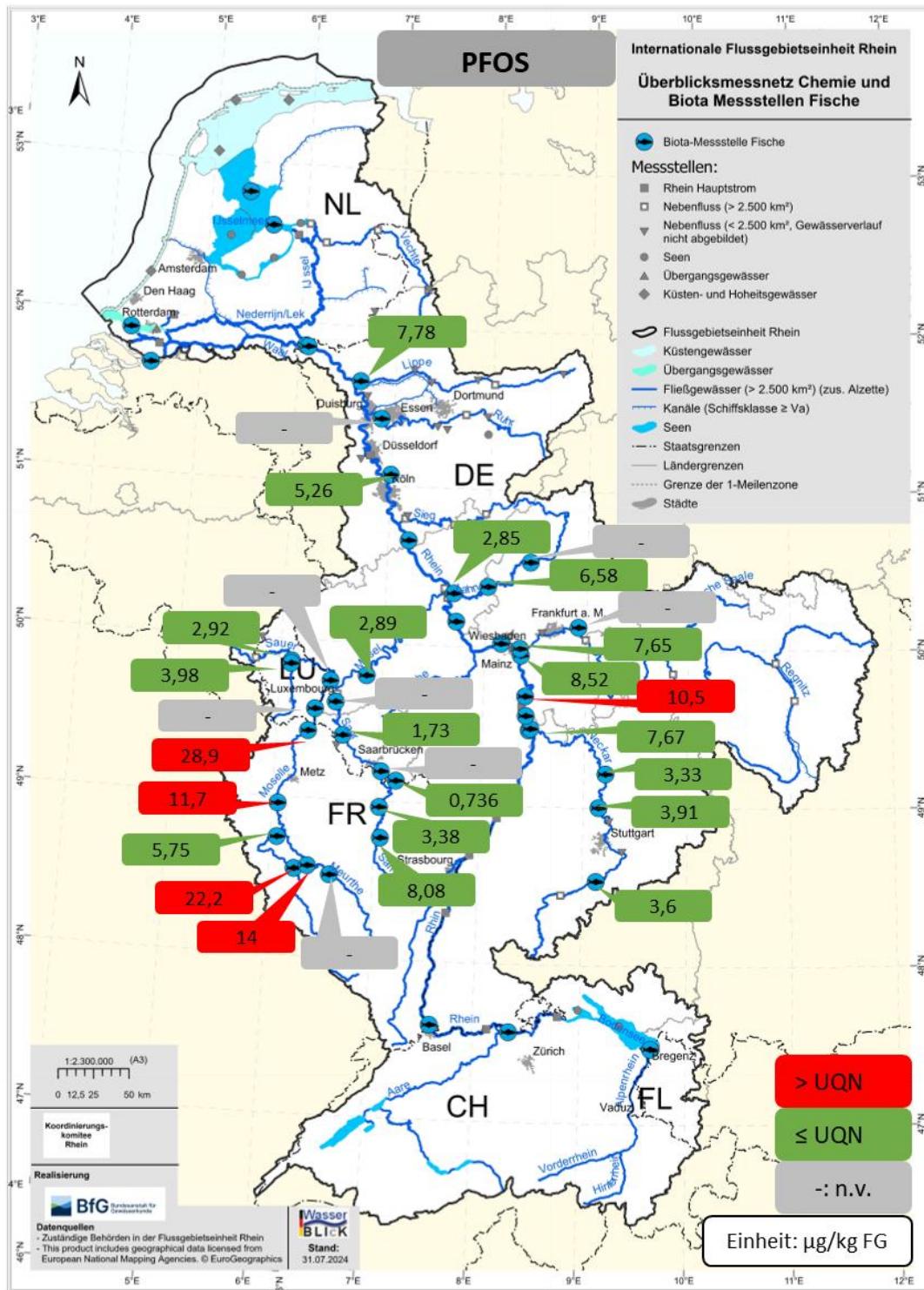


Abbildung 95: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2B: PFOS in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; TM-Normalisierung inkl. Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 9,1 $\mu\text{g/kg FG}$).

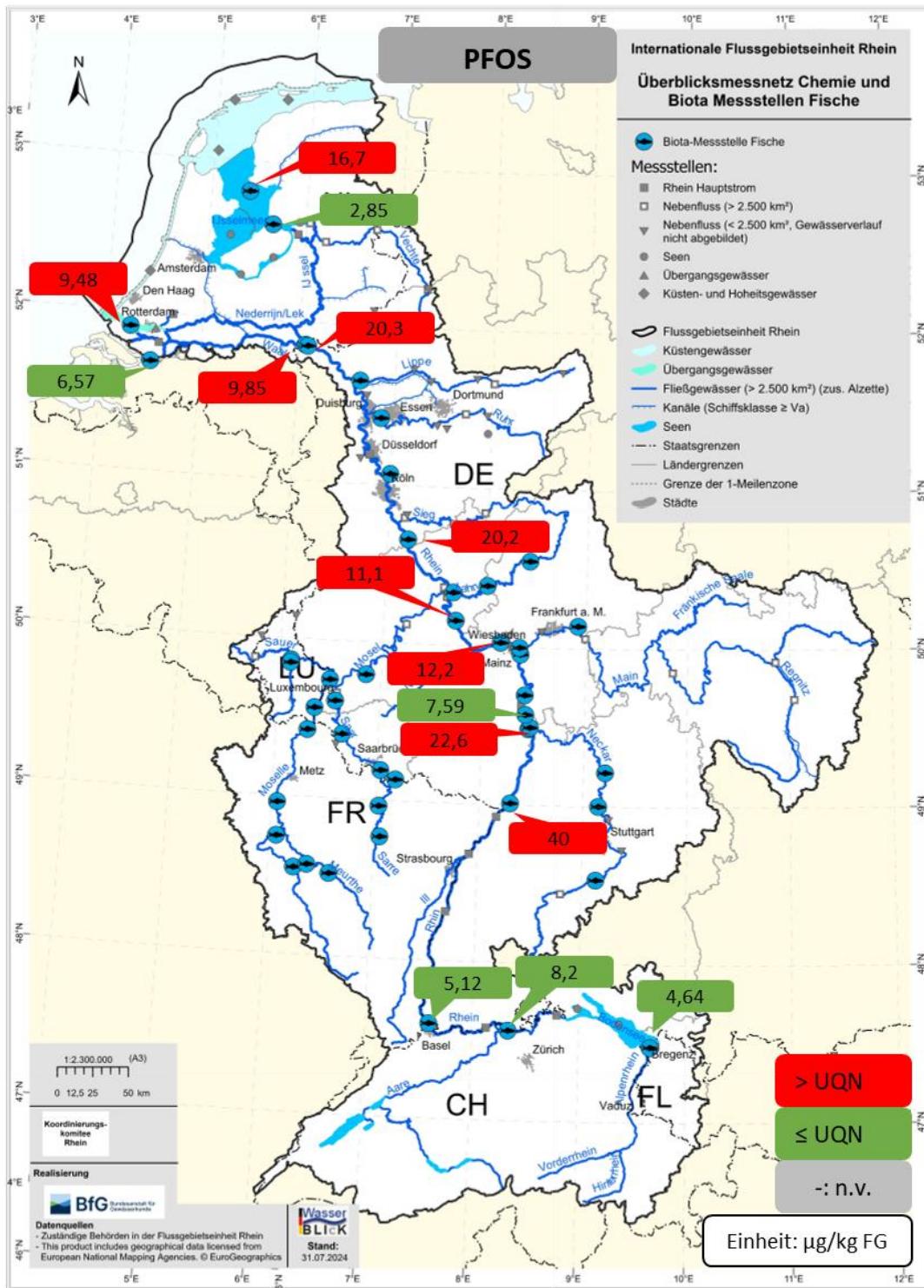


Abbildung 96: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2C: PFOS im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; TM-Normalisierung inkl. Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 9,1 µg/kg FG).

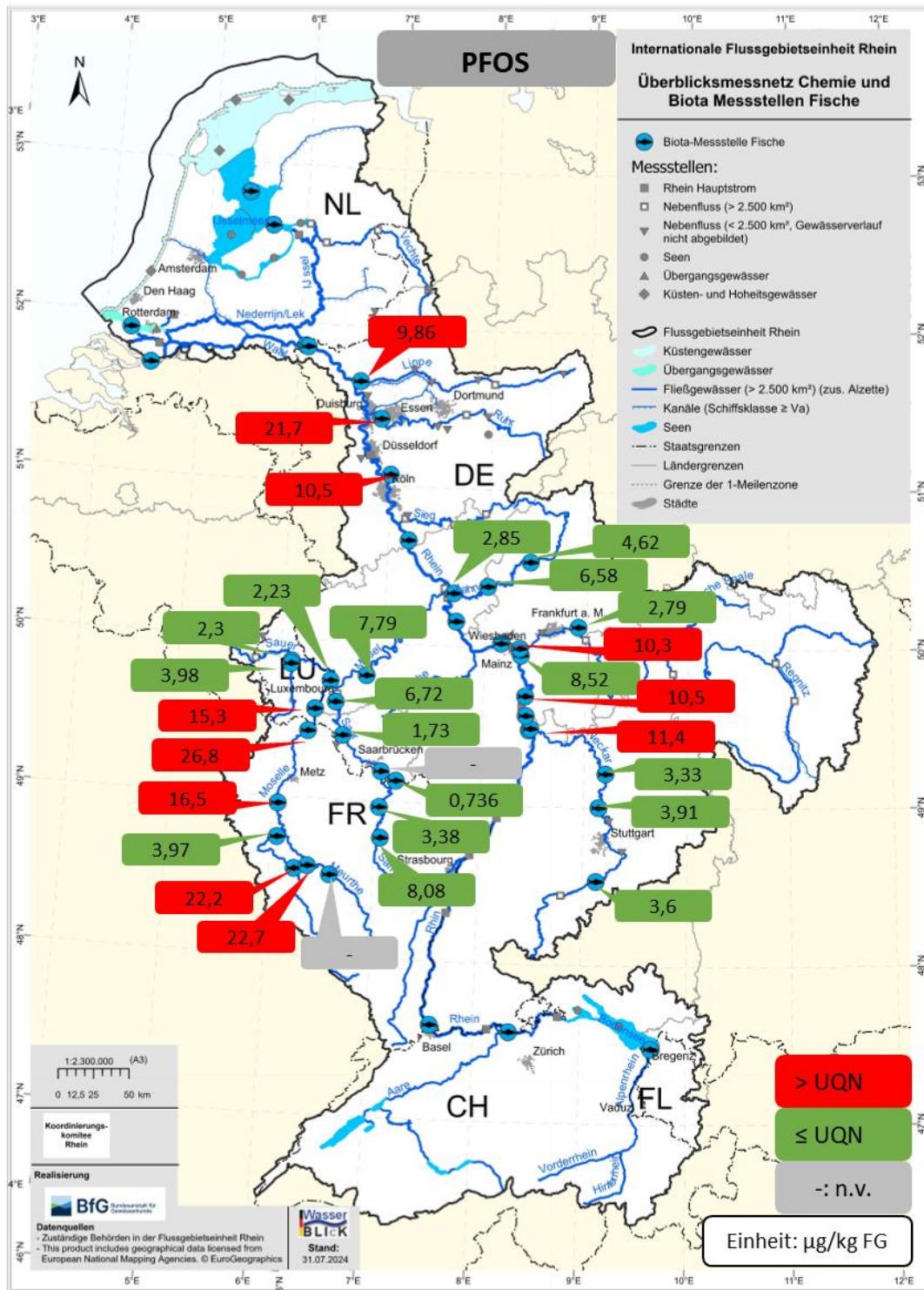


Abbildung 97: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 2d: PFOS in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; TM-Normalisierung inkl. Proxy-Trockenmassen; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 9,1 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$).

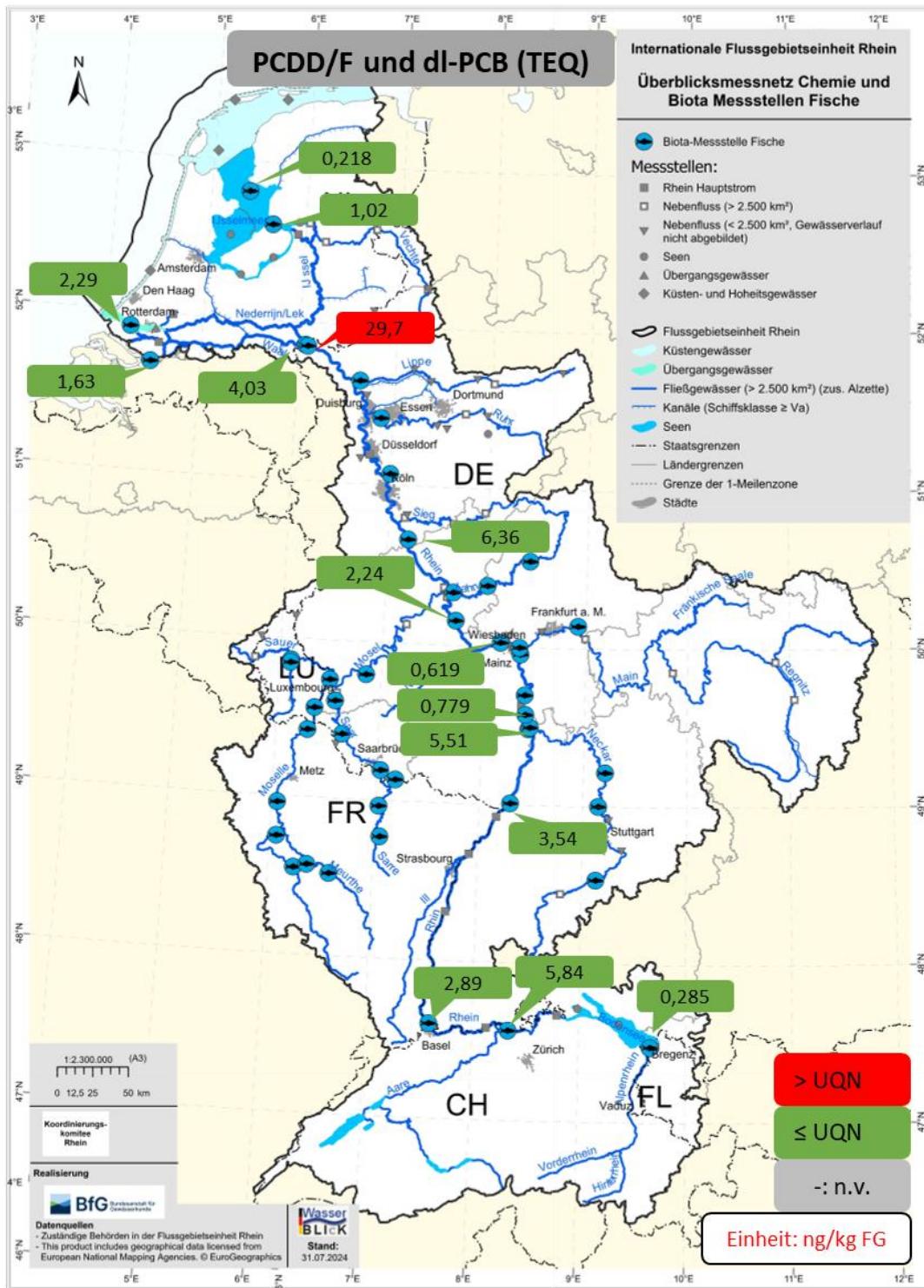


Abbildung 98: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 3A: PCDD/F + dl-PCB im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 0,0065µg/kg FG; Angaben hier in ng/kg FG).

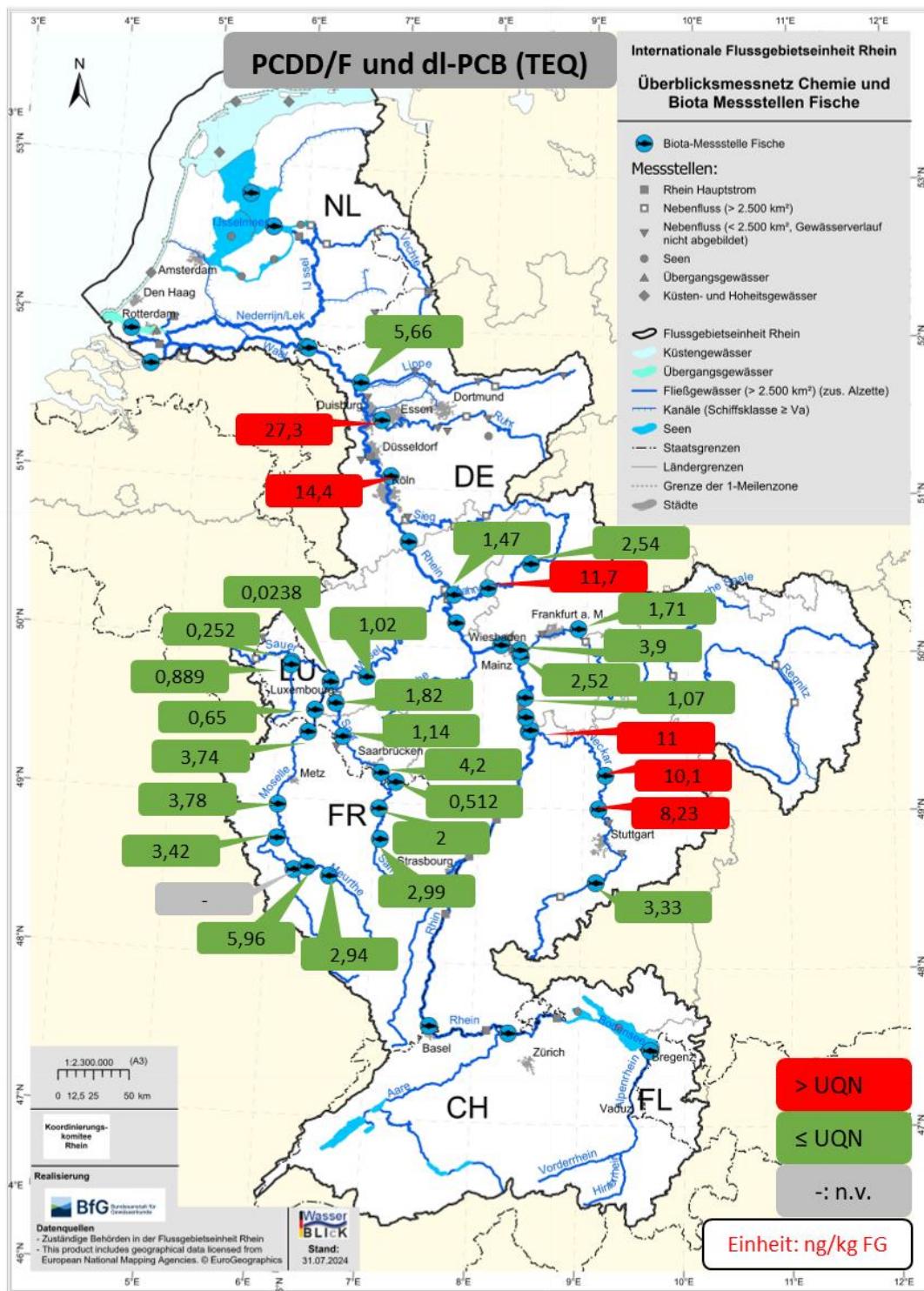


Abbildung 99: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 3B: PCDD/F + dl-PCB in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 0,0065µg/kg FG; Angaben hier in ng/kg FG).

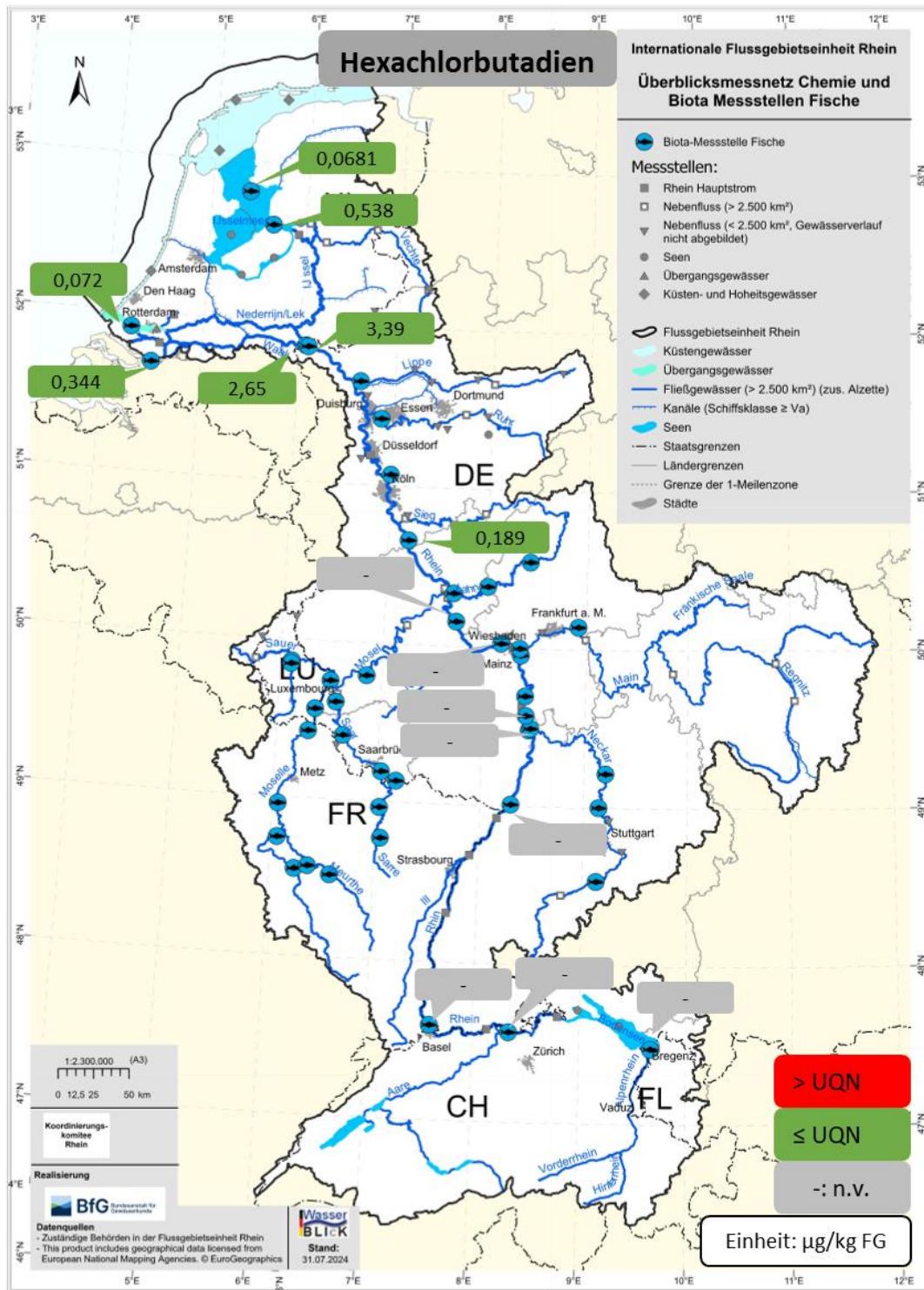


Abbildung 100: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 4A: Hexachlorbutadien im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 55 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$).

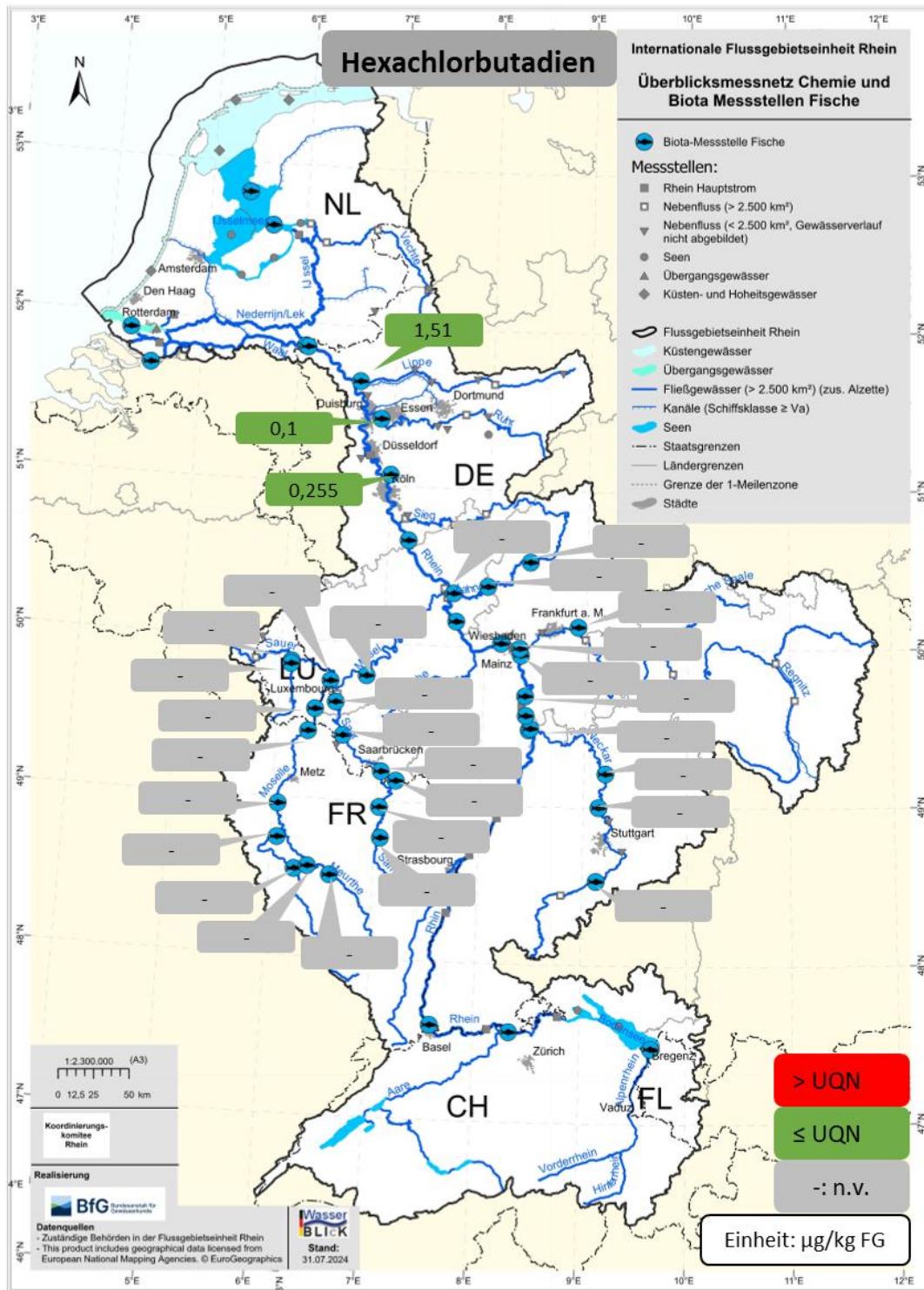


Abbildung 101: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 4B: Hexachlorbutadien in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 55 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$).

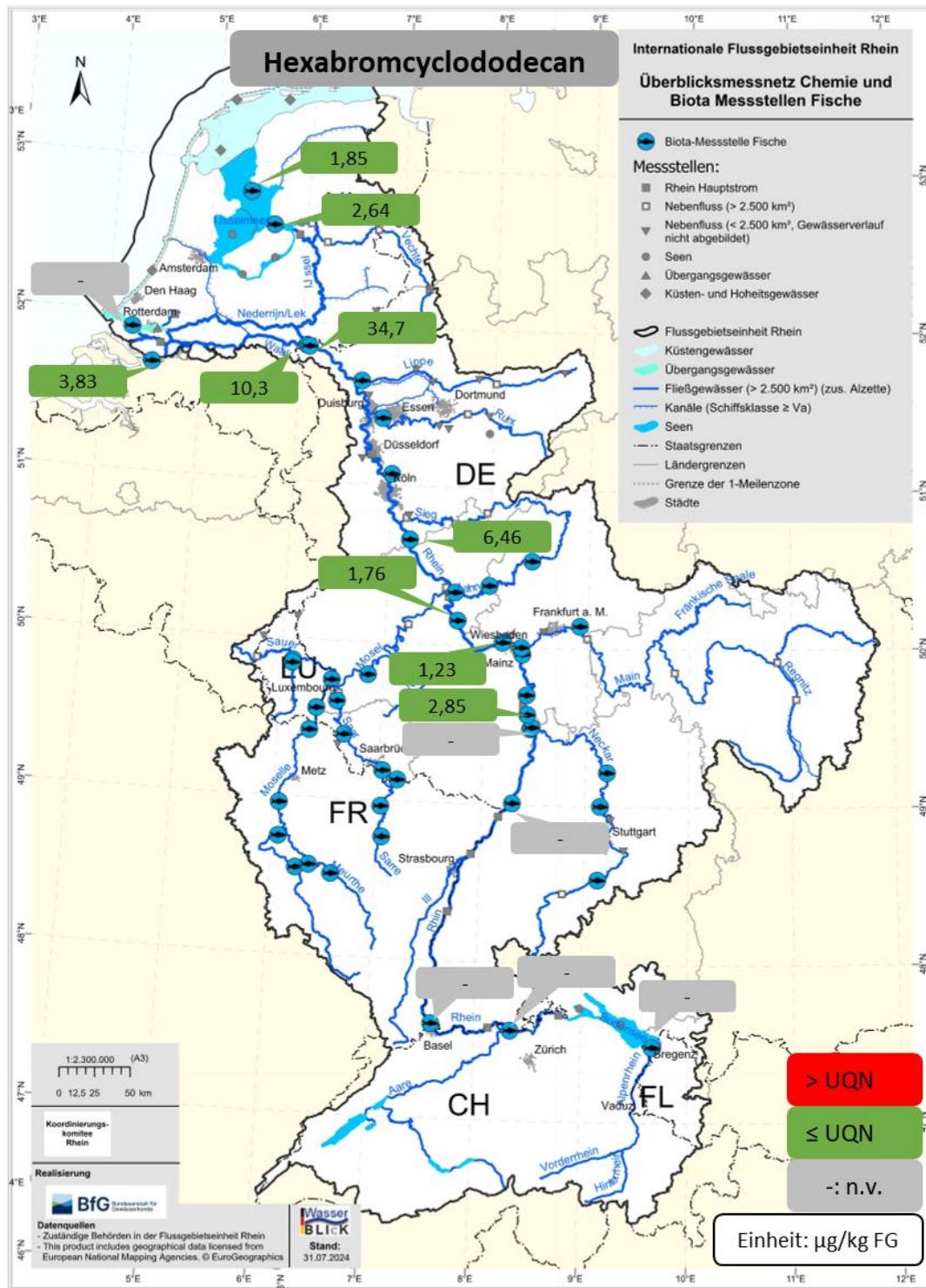


Abbildung 102: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 5A: Hexabromcyclododecan im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 167 µg/kg FG).

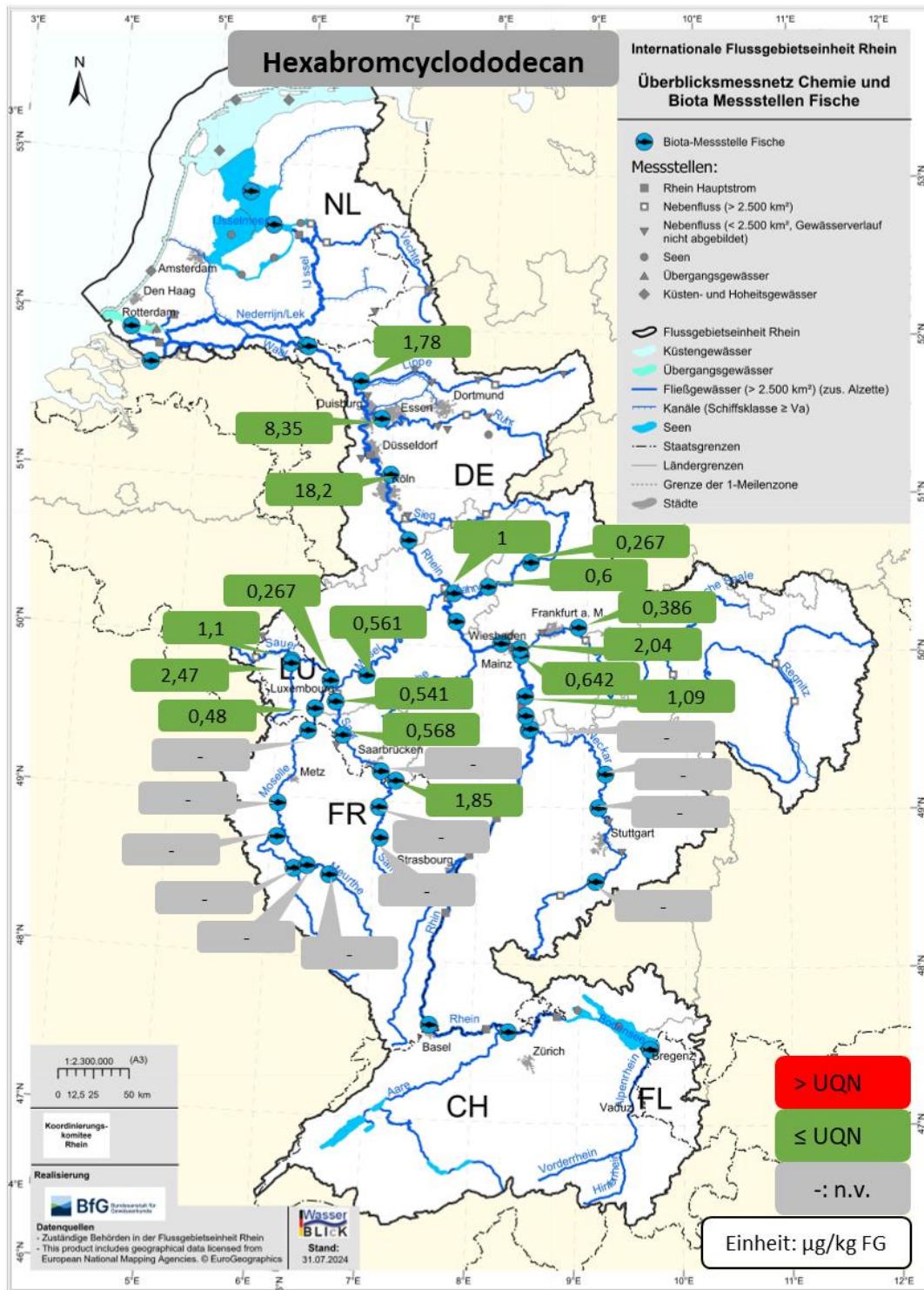


Abbildung 103: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 5B: Hexabromcyclododecan in Nebenflüssen
(Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 167 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$).

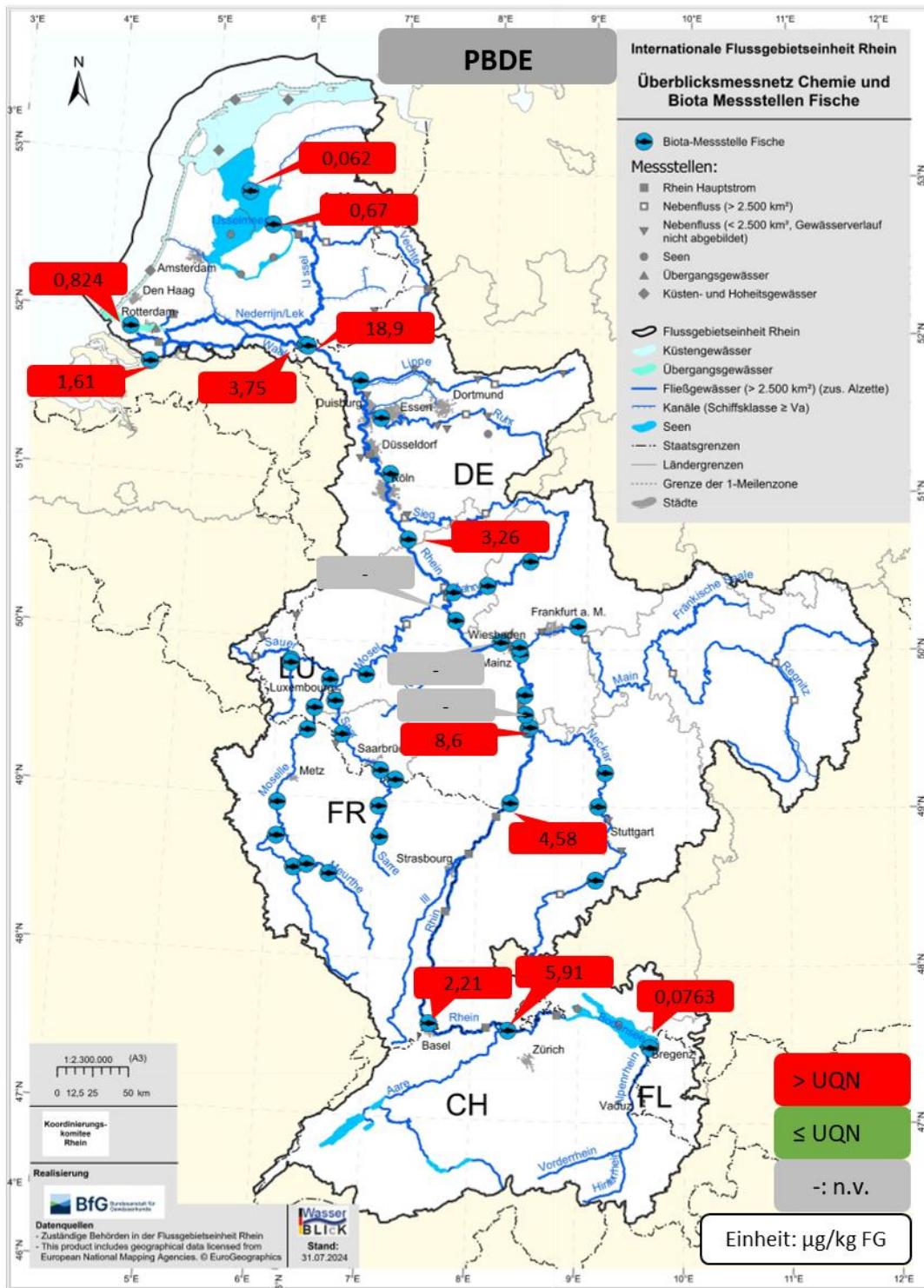


Abbildung 104: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 6A: PBDE nach WRRL im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 0,0085 µg/kg FG).

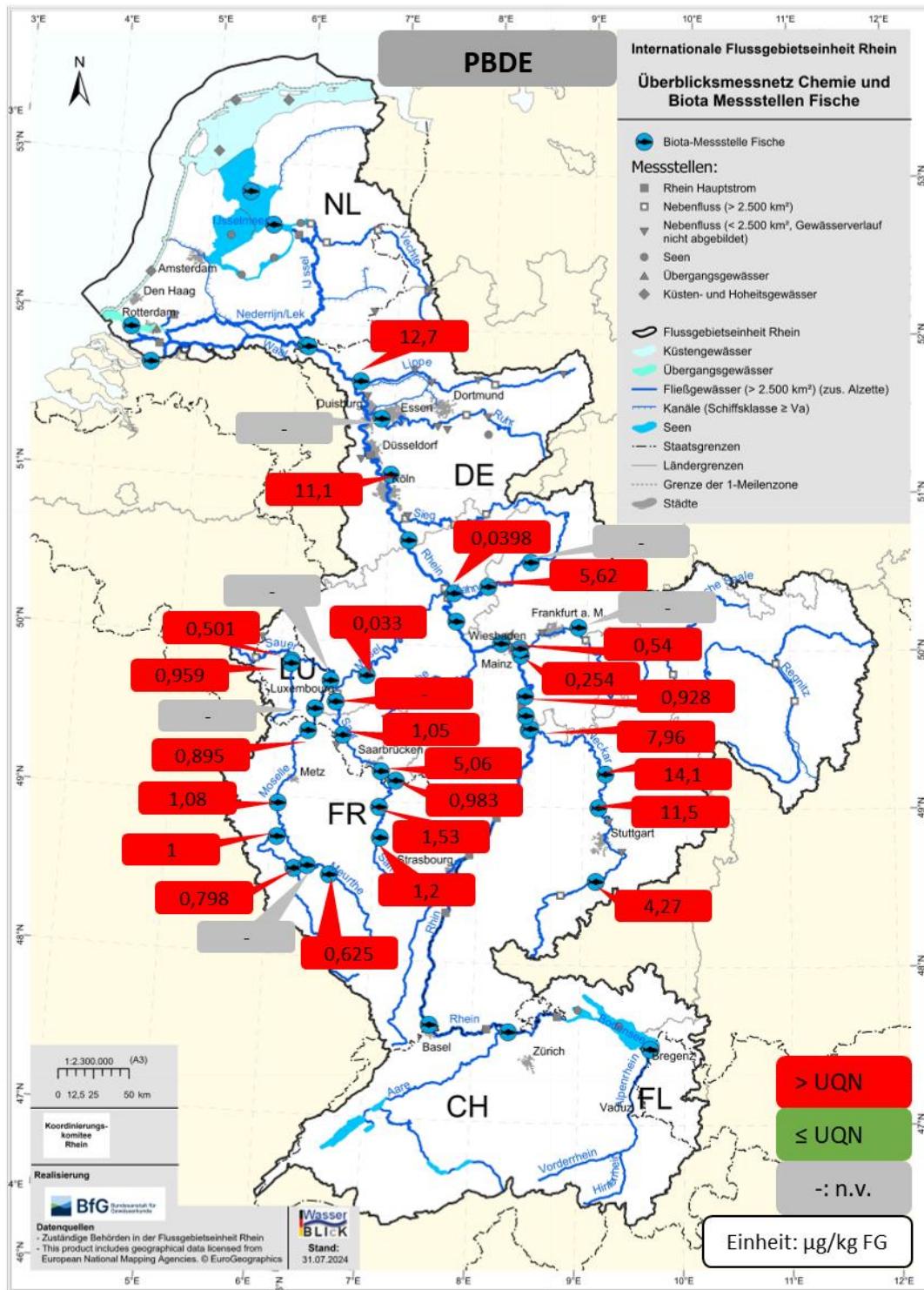


Abbildung 105: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 6B: PBDE nach WRRL in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; nur Omnivore; UQN: 0,0085 µg/kg FG).

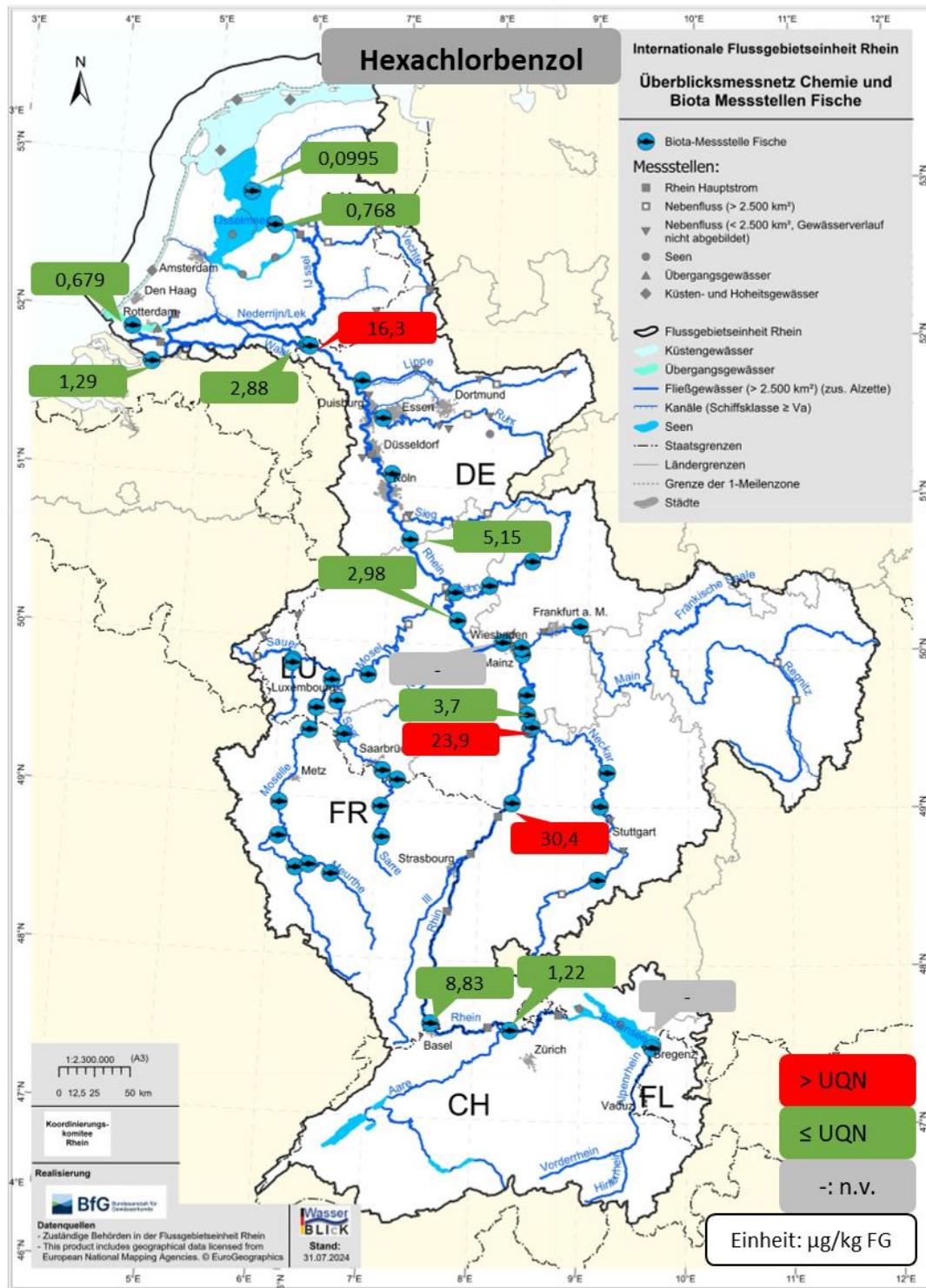


Abbildung 106: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 7A: Hexachlorbenzol im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 10 µg/kg FG).

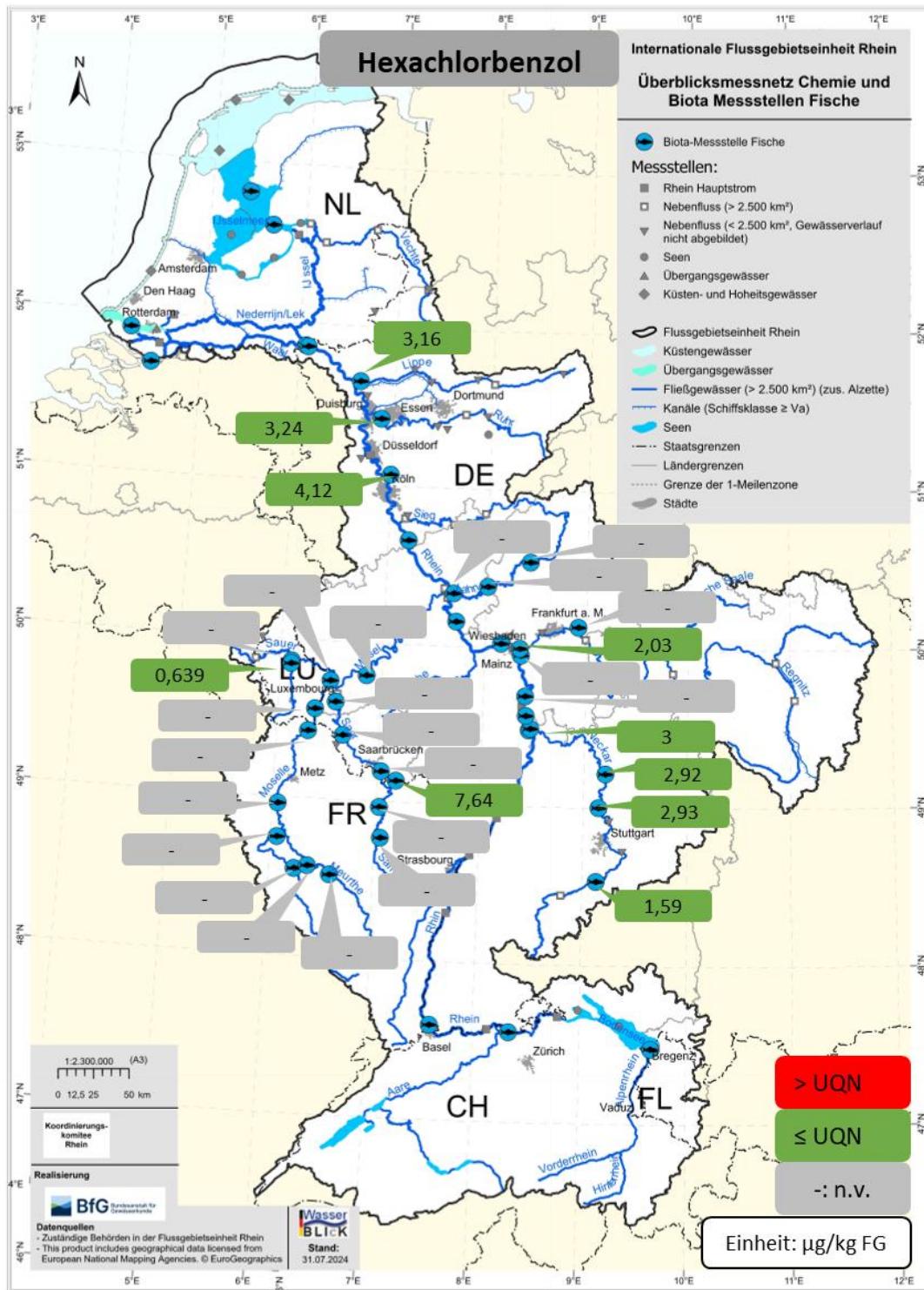


Abbildung 107: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 7B: Hexachlorbenzol in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Umrechnung auf Filet; Omnivore und Carnivore; UQN: 10 µg/kg FG)

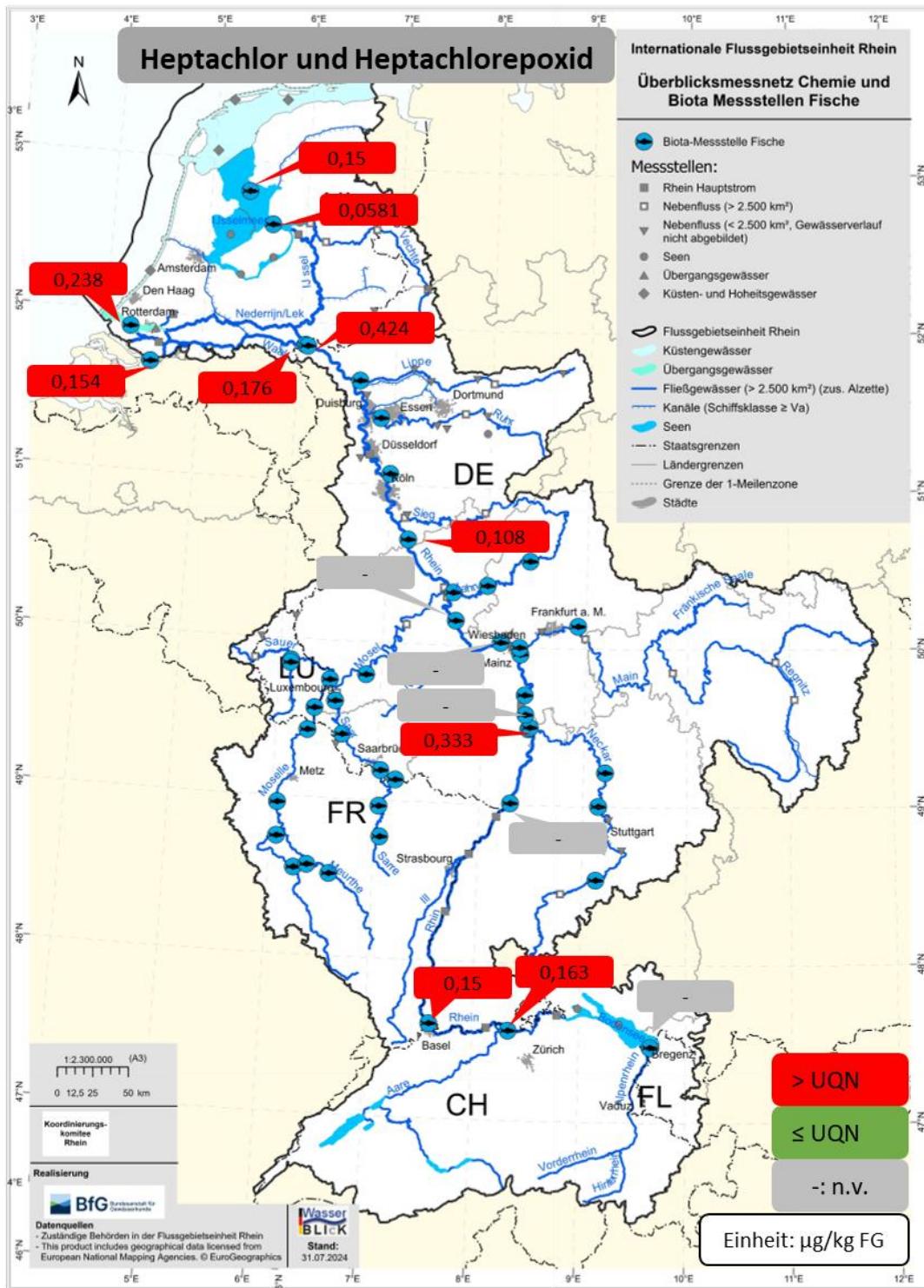


Abbildung 108: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 9A: Heptachlor und Heptachlorepoxyd im Rhein (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 0,0067 µg/kg FG).

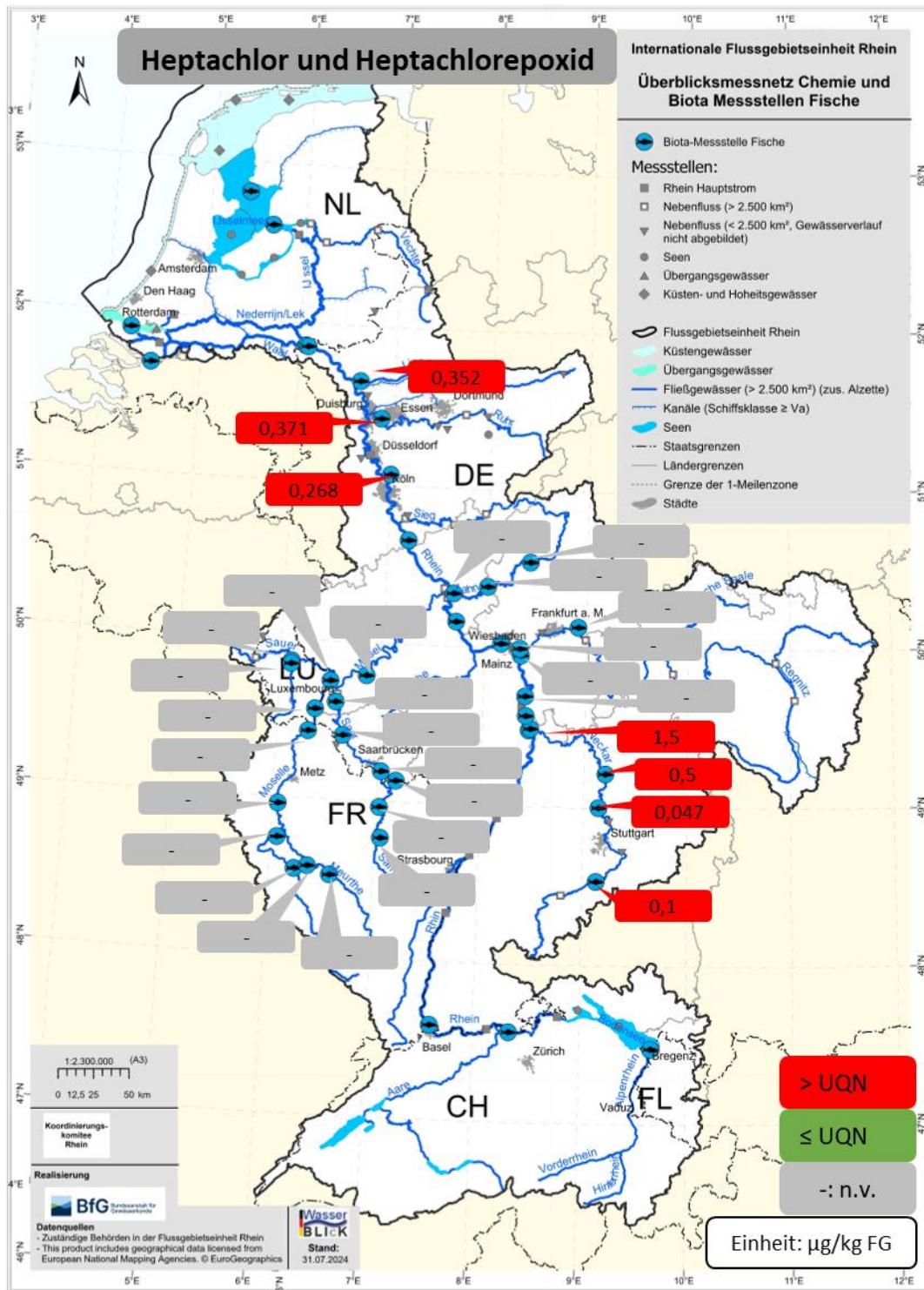


Abbildung 109: Schadstoffgehalte in Fischen; Teil 9B: Heptachlor und Heptachlorepoxyd in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2022; Fett-Normalisierung; Filet und Ganzfisch; Omnivore und Carnivore; UQN: 0,0067 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$).

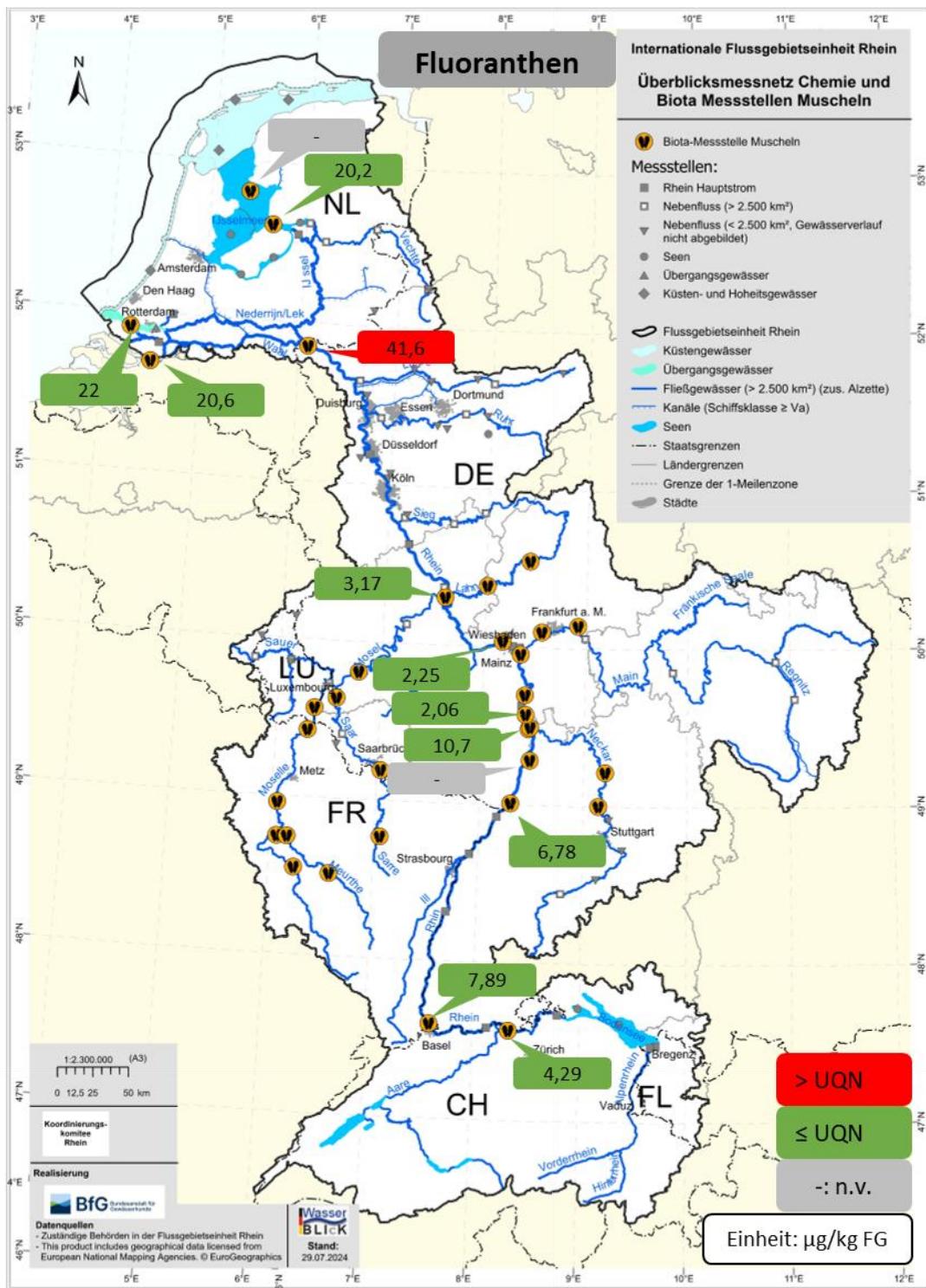


Abbildung 110: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 1A: Fluoranthen im Rhein (Mittelwerte 2016-2023; Fett-Normalisierung; UQN: 30 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$).

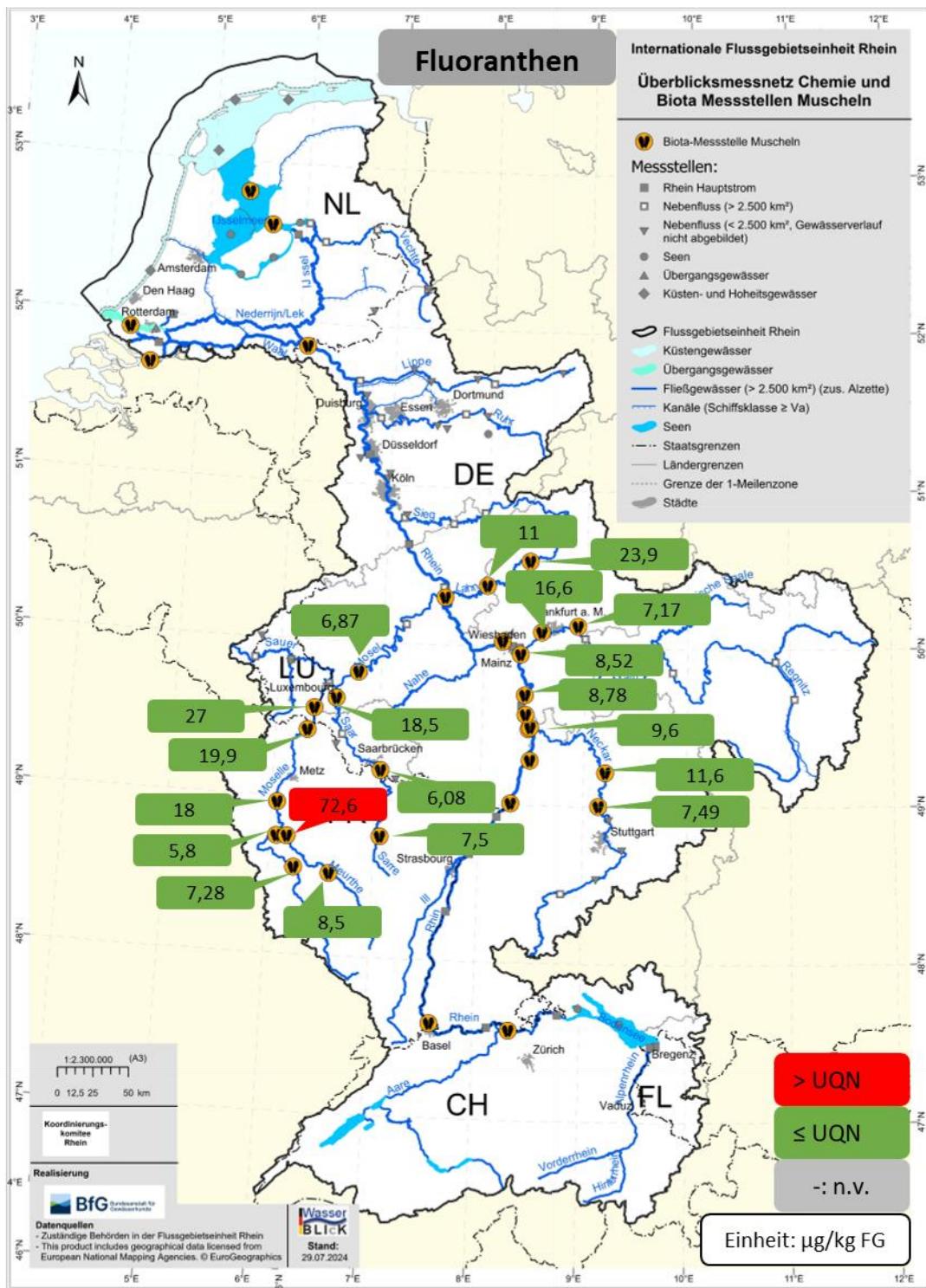


Abbildung 111: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 1B: Fluoranthen in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2023; Fett-Normalisierung; UQN: 30 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$).

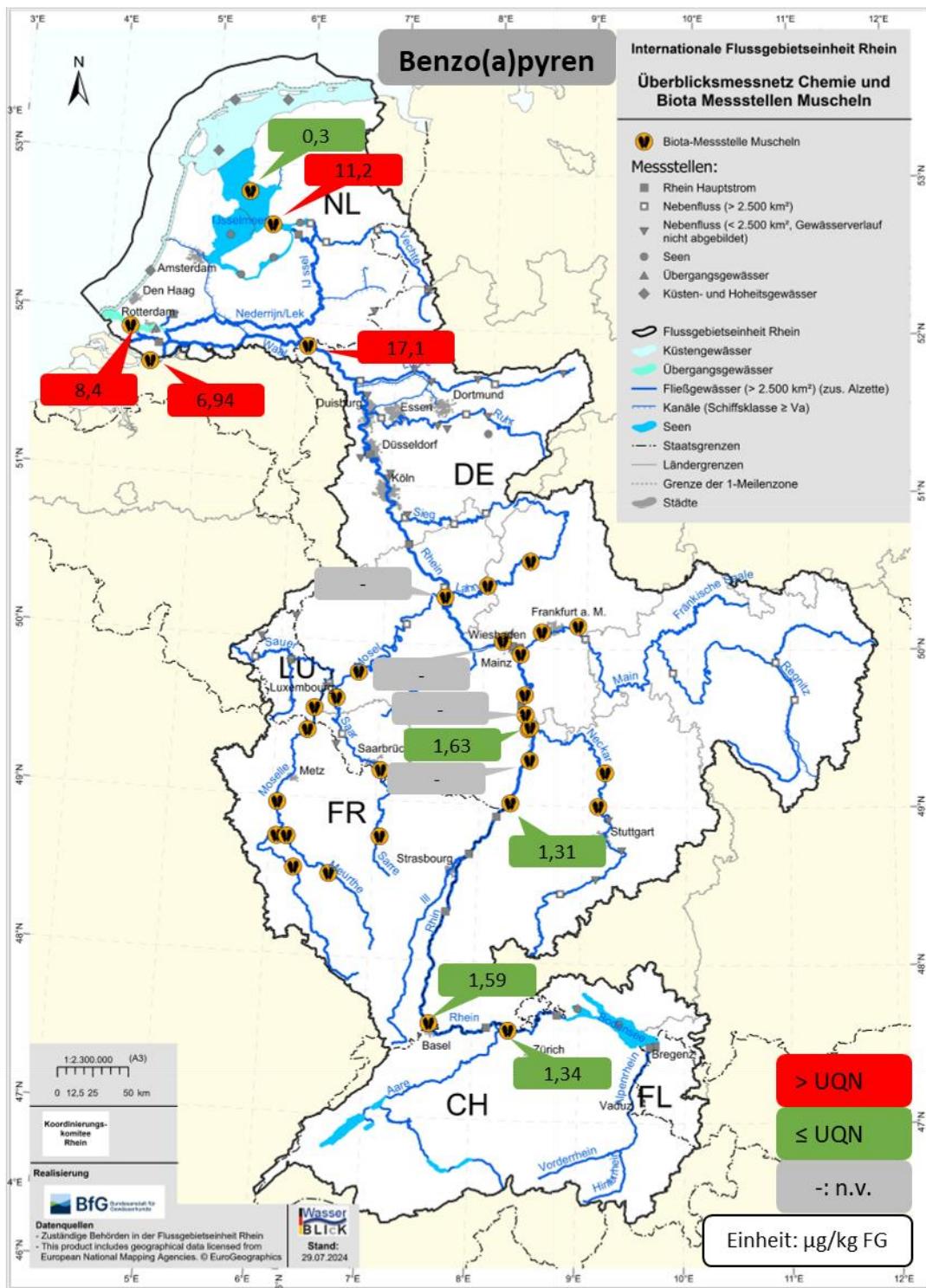


Abbildung 112: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 2A: Benzo(a)pyren im Rhein (Mittelwerte 2016-2023; Fett-Normalisierung; UQN: 5 µg/kg FG).

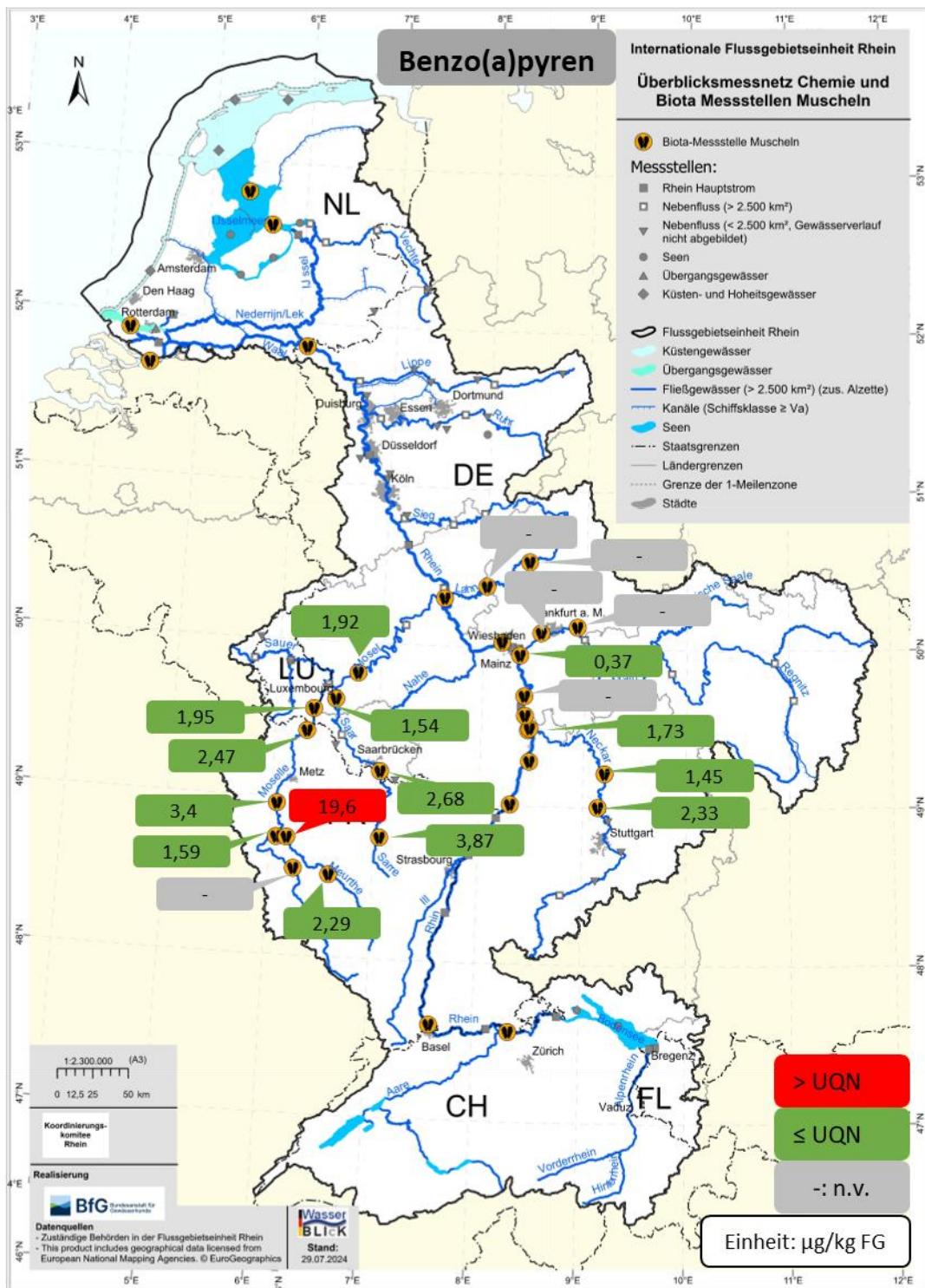


Abbildung 113: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 2B: Benzo(a)pyren in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2023; Fett-Normalisierung; UQN: 5 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$).

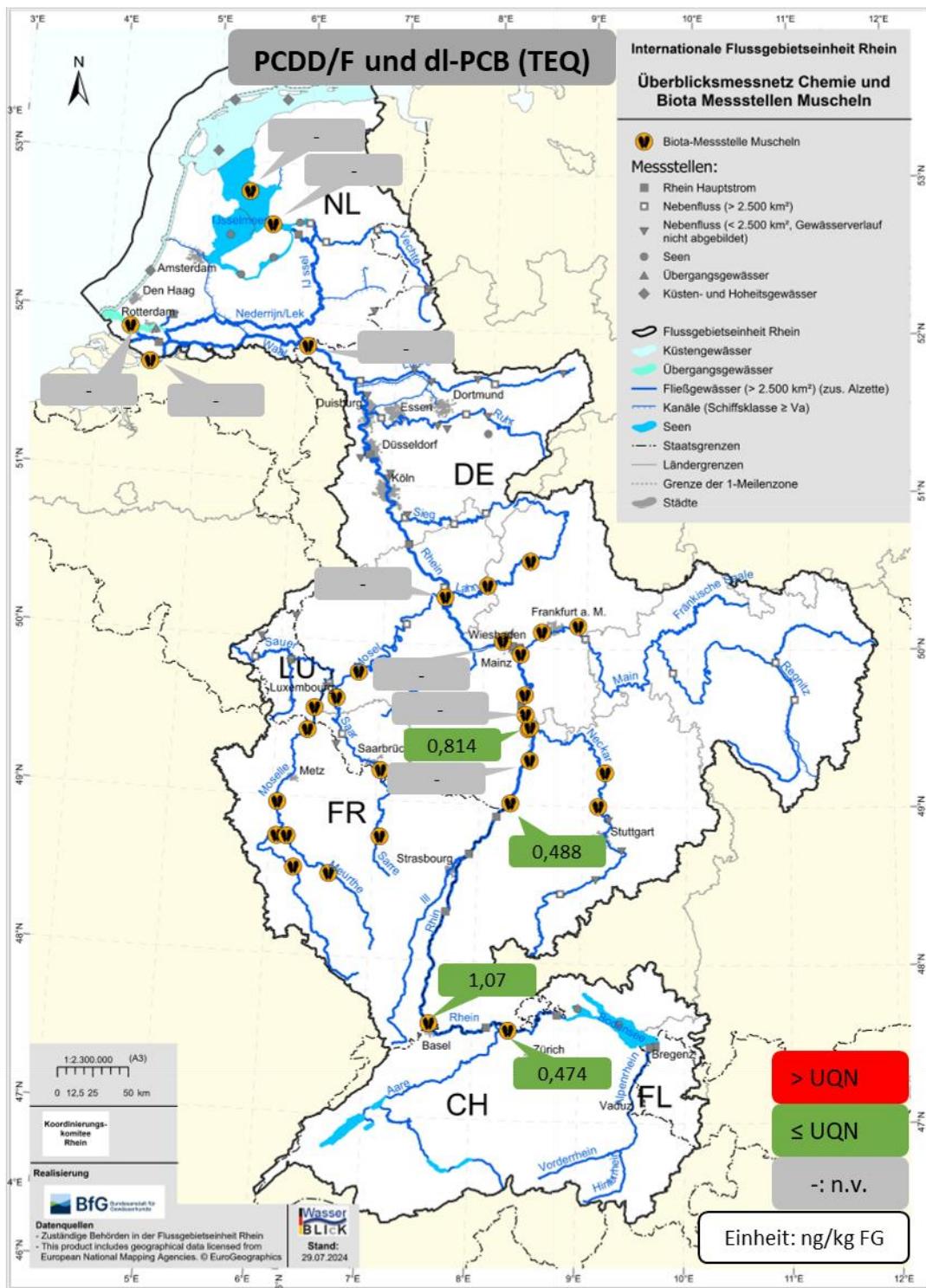


Abbildung 114: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 3A: PCDD/F und dl-PCB im Rhein (Mittelwerte 2016-2023; Fett-Normalisierung; UQN: 0,0065 $\mu\text{g}/\text{kg FG}$; Angaben hier in ng/kg FG). Hinweis: PCDD/F und dl-PCB-Werte wurden nur aus Baden-Württemberg berichtet.

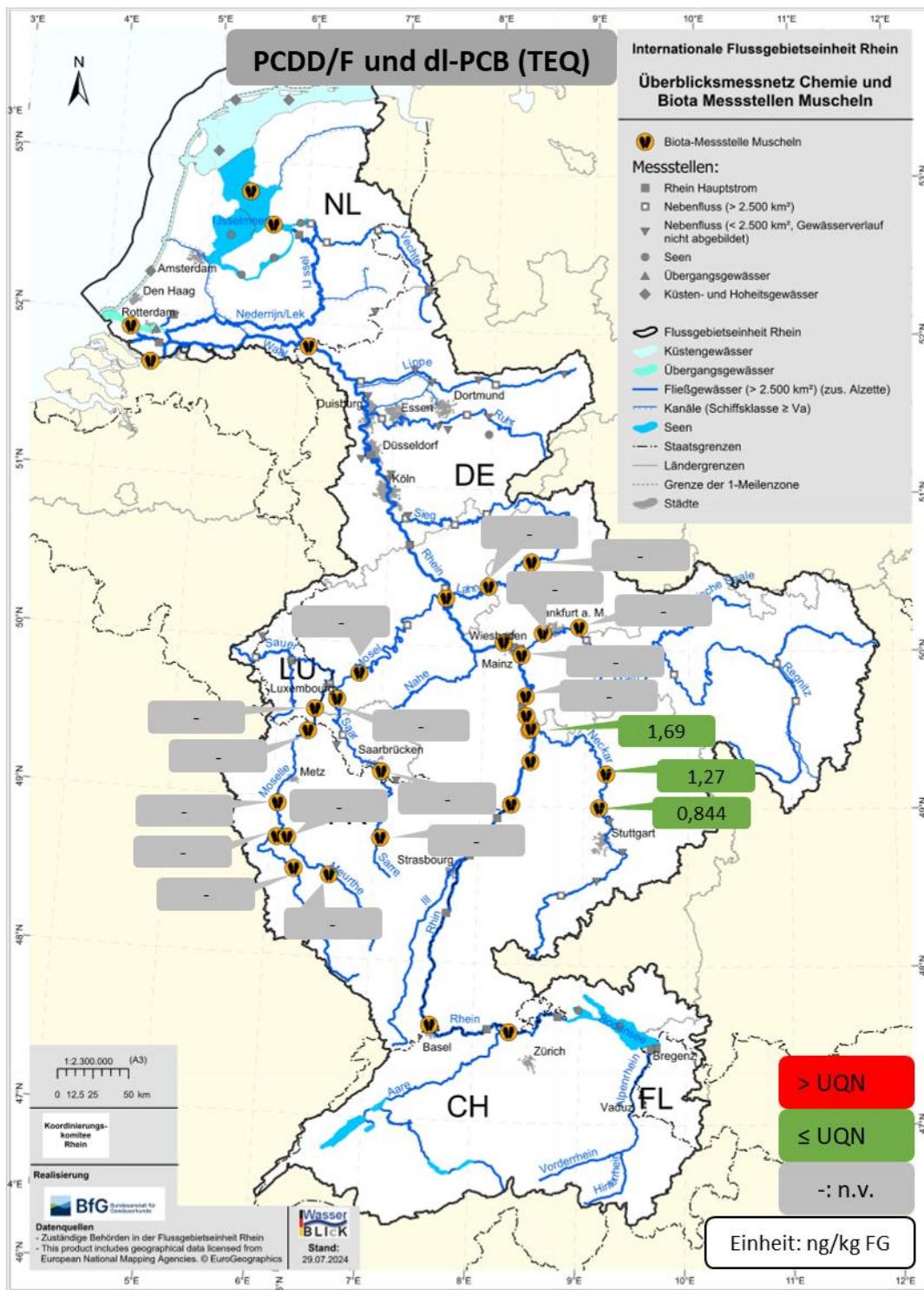


Abbildung 115: Schadstoffgehalte in Muscheln; Teil 3B: PCDD/F und dl-PCB in Nebenflüssen (Mittelwerte 2016-2023; Fett-Normalisierung; UQN: 0,0065µg/kg FG; Angaben hier in ng/kg FG).
Hinweis: PCDD/F und dl-PCB-Werte wurden nur aus Baden-Württemberg berichtet.

A.4 Ergänzende Tabellen

Tabelle 22: Übersicht über den Probensatz der Fische inklusive biometrischer Daten (alle Daten nach Vereinheitlichung und Bereinigung, Werte zum Teil gerundet).

Gewässer	Fangort	Jahr	Fischart	N (Fische)	Länge [cm]	Gewicht [g]	Alter [J]	Proben- material	Probe	Fettgehalt [%]	TM [%]
Alzette	Ettelbrück	2015	Rotauge	9	21,7	154		Filet	Poolprobe		
Alzette	Ettelbrück	2015	Döbel	10	21,5	132		Filet	Poolprobe		
Sauer	Erpeldange	2015	Döbel	6	21,2	136		Filet	Poolprobe		
Alzette	Ettelbrück	2016	Döbel	10	23	167	3-4	Filet	Poolprobe	3,1	
Sauer	Erpeldange	2016	Döbel	10	23	160	3-4	Filet	Poolprobe	1,1	
Alzette	Ettelbrück	2018	Döbel	10	21,6	122	2	Filet	Poolprobe	2,7	
Alzette	Ettelbrück	2019	Hasel	10	21,1	136	2-3	Filet	Poolprobe	1,9	
Sauer	Erpeldange	2020	Döbel	28	24,7	176	3-4	Filet	Poolprobe	1,7	
Alzette	Ettelbrück	2020	Döbel	10	21,2	149	4-6	Filet	Poolprobe	2,3	
Sauer	Erpeldange	2021	Döbel	1	26	365	5-6	Ganzfisch	Einzelprobe	4,1	
Alzette	Ettelbrück	2021	Döbel	10	24	195	3-4	Filet	Poolprobe		
Sauer	Erpeldange	2022	Bachforelle	10	20	113	3-4	Filet	Poolprobe	3	

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 193/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Fischart	N (Fische)	Länge [cm]	Gewicht [g]	Alter [J]	Proben- material	Probe	Fettgehalt [%]	TM [%]
Alzette	Ettelbrück	2022	Döbel	10	23,7	174	3-4	Filet	Poolprobe	1,5	
Rhein	Reckingen	2015	Flussbarsch	12	21,6	122	4	Filet	Poolprobe	0,8	
Rhein	Weil	2015	Döbel	6	19,9	90,6	3-4	Filet	Poolprobe	2,4	
Rhein	Weil	2015	Rotauge	11	17,3	65,8	3-4	Filet	Poolprobe	1,4	
Rhein	Karlsruhe	2015	Flussbarsch	6	19,1	107	3+	Filet	Poolprobe	0,6	
Rhein	Mannheim	2015	Rotauge	10	20,0	106	4+	Filet	Poolprobe	1,2	
Neckar	Kirchentellinsfurt	2015	Döbel	10	22,3	116	3+	Filet	Poolprobe	0,8	
Neckar	Besigheim	2015	Döbel	12	21,7	103	3	Filet	Poolprobe	1,3	
Neckar	Besigheim	2015	Rotauge	14	19,2	87,2	3	Filet	Poolprobe	0,6	
Neckar	Kochendorf	2015	Döbel	14	20,6	91,6	3+	Filet	Poolprobe	0,8	
Neckar	Mannheim	2015	Döbel	11	21,8	99	3+	Filet	Poolprobe	0,8	
Neckar	Kochendorf	2016	Döbel	12	21,6	98,1	3+	Filet	Poolprobe	0,2	
Neckar	Mannheim	2016	Flussbarsch	11	16,5	46,2	2	Filet	Poolprobe	0,1	
Rhein	Mannheim	2016	Rotauge	11	19,8	91,3	4+	Filet	Poolprobe	0,3	
Rhein	Reckingen	2016	Döbel	10	22,1	128	2+	Filet	Poolprobe	0,5	
Rhein	Weil	2016	Döbel	4	20,9	96,6	3+	Filet	Poolprobe	0,4	

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 194/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Fischart	N (Fische)	Länge [cm]	Gewicht [g]	Alter [J]	Proben- material	Probe	Fettgehalt [%]	TM [%]
Neckar	Kirchentellinsfurt	2016	Döbel	11	22,5	129	2+	Filet	Poolprobe	1	
Neckar	Besigheim	2016	Rotauge	12	21,3	115	5+	Filet	Poolprobe	1,4	
Neckar	Mannheim	2017	Döbel	12	16,1	42,1	2+	Filet	Poolprobe	0,4	20,7
Neckar	Mannheim	2017	Döbel	12	20,7	90,8	4+	Filet	Poolprobe	0,5	21,1
Neckar	Besigheim	2017	Döbel	19	20,9	92,5	3+	Filet	Poolprobe	0,2	20,3
Neckar	Besigheim	2017	Döbel	19	20,5	88	2+	Filet	Poolprobe	0,4	19,5
Neckar	Kirchentellinsfurt	2017	Döbel	12	21,3	102	2+	Filet	Poolprobe	0,4	20
Neckar	Kochendorf	2017	Döbel	13	20,9	98,6	2+	Filet	Poolprobe	0,4	20,7
Rhein	Reckingen	2017	Döbel	20	21,6	99,5	2+	Filet	Poolprobe	1	22
Rhein	Reckingen	2017	Döbel	20	21	89,6	2+	Filet	Poolprobe	0,4	21,1
Rhein	Weil	2017	Döbel	13	12,8	17,4	1+	Filet	Poolprobe	0,8	21,7
Rhein	Mannheim	2017	Rotauge	20	15,8	40,9	3+	Filet	Poolprobe	0,6	21,4
Rhein	Reckingen	2018	Döbel	8	15,9	39,5	2+	Filet	Poolprobe	0,3	20,3
Rhein	Weil	2018	Döbel	10	22,4	126	3+	Filet	Poolprobe	1	21,7
Neckar	Kirchentellinsfurt	2018	Döbel	15	14,4	39,1	1+	Filet	Poolprobe	0,7	20
Neckar	Besigheim	2018	Döbel	16	18,4	73,5	2+	Filet	Poolprobe	0,9	20,7
Neckar	Besigheim	2018	Döbel	4	36,2	517	5+	Filet	Poolprobe	0,6	20

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 195/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Fischart	N (Fische)	Länge [cm]	Gewicht [g]	Alter [J]	Proben- material	Probe	Fettgehalt [%]	TM [%]
Neckar	Kochendorf	2018	Döbel	13	16,8	52,6	1+	Filet	Poolprobe	0,2	19,7
Rhein	Karlsruhe	2018	Schwarzmundgr.	10	12,7	17,1	3+	Filet	Poolprobe	0,1	
Rhein	Mannheim	2018	Schwarzmundgr.	10	14,3	48,1	3+	Filet	Poolprobe	0,1	20,5
Neckar	Mannheim	2018	Schwarzmundgr.	10	12,8		3+	Filet	Poolprobe	0,4	18,8
Neckar	Mannheim	2019	Döbel	12	14,7	32,9	2	Filet	Poolprobe	0,19	19,1
Rhein	Karlsruhe	2019	Rotauge	12	19,3	95,3	2+	Filet	Poolprobe	0,74	21,4
Neckar	Besigheim	2019	Rotauge	20	14,5	32,6	2+	Filet	Poolprobe	0,81	21,1
Neckar	Kirchentellinsfurt	2019	Döbel	16	29,6	324	3+	Filet	Poolprobe	1,4	21,7
Neckar	Kochendorf	2019	Döbel	6	38	720	4+	Filet	Poolprobe	1,5	22,1
Rhein	Reckingen	2019	Döbel	20	24,5	156	2+	Filet	Poolprobe	0,7	21
Rhein	Mannheim	2019	Rotauge	16	12,3	23	0+	Filet	Poolprobe	0,18	-
Rhein	Weil	2019	Döbel	19	23,5	145	2+	Filet	Poolprobe	1,4	21,6
Rhein	Reckingen	2021	Döbel	23	14,7	36,2	1+	Filet	Poolprobe	0,6	19,5
Rhein	Weil	2021	Döbel	14	22,5	127	2+	Filet	Poolprobe	1,5	22,2
Rhein	Karlsruhe	2021	Rotauge	22	15,9	51,2	1+	Filet	Poolprobe	1,2	22,2
Rhein	Mannheim	2021	Rotauge	12	13,6	32,2	1+	Filet	Poolprobe	1,2	21,4
Neckar	Kirchentellinsfurt	2021	Döbel	11	24,7	149	4+	Filet	Poolprobe	0,8	20,7

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 196/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Fischart	N (Fische)	Länge [cm]	Gewicht [g]	Alter [J]	Proben- material	Probe	Fettgehalt [%]	TM [%]
Neckar	Besigheim	2021	Döbel	13	13,3	26,5	1+	Filet	Poolprobe	0,6	20,2
Neckar	Kochendorf	2021	Döbel	18	15,6	24,6	1+	Filet	Poolprobe	0,4	19,3
Neckar	Mannheim	2021	Döbel	24	15,2	40,6	1+	Filet	Poolprobe	0,5	20,0
Saar	Fremersdorf	2015	Döbel	12	13,3	25,8		Ganzfisch	Poolprobe	1,9	
Saar	Fremersdorf	2015	Döbel	9	18,1	68		Ganzfisch	Poolprobe	2,2	
Saar	Fremersdorf	2015	Flussbarsch	9	19,9	113		Filet	Poolprobe	1,1	
Saar	Fremersdorf	2015	Döbel	10	23	147		Filet	Poolprobe	1,4	
Saar	Fremersdorf	2015	Rotauge	26	19,4	92,9		Filet	Poolprobe	2	
Blies	Reinheim	2022	Rotauge	10	16,7	72	3	Filet	Poolprobe	2,9	24,9
Blies	Reinheim	2022	Döbel	10	18,7	81,9	3	Filet	Poolprobe	1,4	22,2
Saar	Fremersdorf	2022	Rotauge	10	15,7	58,3	3	Filet	Poolprobe	1,8	23,5
Saar	Fremersdorf	2022	Döbel	10	17,3	62,5	3	Filet	Poolprobe	1,2	21,8
Rhein	Bad Honnef	2019	Rotauge	6	15,8	41,5		Filet	Poolprobe	1,2	25,8
Rhein	Bad Honnef	2021	Rotauge	10	15	32,8		Filet	Poolprobe	1,4	23,3
Rhein	/Bad Honnef	2022	Rotauge	10	11,1	15,6		Filet	Poolprobe	0,37	24,1
Ruhr	Mülheim-Kahlenberg	2015	Döbel	10	19,1	75,4		Filet	Poolprobe	2,07	
Ruhr	Mülheim-Kahlenberg	2016	Flussbarsch	9	19,8	105	2+ - 3+	Filet	Poolprobe	0,15	23,8

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 197/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Fischart	N (Fische)	Länge [cm]	Gewicht [g]	Alter [J]	Proben- material	Probe	Fettgehalt [%]	TM [%]
Rhein	Bad Honnef	2015	Döbel	10	25,7	190		Filet	Poolprobe	2,12	
Rhein	Bad Honnef	2016	Flussbarsch	9	22,6	165	2+ - 3+	Filet	Poolprobe	1,1	24,5
Wupper	Opladen	2018	Döbel	10	23,3	132	2+ - 2+	Filet	Poolprobe	0,15	27,9
Wupper	Opladen	2019	Flussbarsch	10	18,9	80,4		Filet	Poolprobe	0,47	11,8
Wupper	Opladen	2021	Döbel	10	18,6	73,6		Filet	Poolprobe	0,93	22,9
Wupper	Opladen	2022	Döbel	6	32,1	396		Filet	Poolprobe	2	39,3
Wupper	Opladen	2022	Döbel	4	36,8	584		Filet	Poolprobe	1,4	26,6
Ruhr	Mülheim-Kahlenberg	2018	Flussbarsch	11	18,2	74,9		Filet	Poolprobe	0,14	23
Ruhr	Mülheim-Kahlenberg	2019	Flussbarsch	10	16,8	54,6		Filet	Poolprobe	0,29	8,8
Ruhr	Mülheim-Kahlenberg	2021	Flussbarsch	10	19,5	93		Filet	Poolprobe	0,5	23,9
Ruhr	Mülheim-Kahlenberg	2022	Flussbarsch	9	16,3	63,1		Filet	Poolprobe		25,9
Rhein	Kleve-Bimmen	2018	Rotauge	10	22	148	2+ - 3+	Filet	Poolprobe	0,14	26,3
Rhein	Kleve-Bimmen	2018	Flussbarsch	7	23,1	189	2+ - 3+	Filet	Poolprobe	0,13	23,9
Rhein	Kleve-Bimmen	2021	Flussbarsch	10	11,5	16,8		Filet	Poolprobe	0,44	21,5
Lippe	Wesel	2019	Döbel	10	15,4	30,7		Filet	Poolprobe	0,26	26
Lippe	Wesel	2021	Döbel	10	17,2	69,2		Filet	Poolprobe	1	22,9
Lippe	Wesel	2022	Flussbarsch	5	16,8	60,4		Filet	Poolprobe	0,18	23

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 198/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Fischart	N (Fische)	Länge [cm]	Gewicht [g]	Alter [J]	Proben- material	Probe	Fettgehalt [%]	TM [%]
Lippe	Wesel	2022	Flussbarsch	5	13,2	25,6		Filet	Poolprobe		21,6
Lippe	Wesel	2015	Döbel	3	29,3	312		Filet	Poolprobe	1,1	
Rhein	Kleve-Bimmen	2015	Brassen	7	18,9	60,6		Filet	Poolprobe	0,64	
Rhein	Kleve-Bimmen	2016	Rotauge	8	16	53,3	2+ - 2+	Filet	Poolprobe	1,1	21
Rhein	Kleve-Bimmen	2016	Rotauge	8	20	113	3+ - 4+	Filet	Poolprobe	1,27	21,2
Wupper	Opladen	2015	Rotauge	9	13,3	26,9		Filet	Poolprobe	2,3	
Wupper	Opladen	2016	Bachforelle	9	24,6	165	2+- 2+	Filet	Poolprobe	2,13	23,6
Rhein	Hollands Diep	2017	Rotauge	10	10,3	11,1	2	Ganzfisch	Poolprobe	4,2	24,9
Rhein	Ketelmeer	2017	Rotauge	11	13,8	32,9	2	Ganzfisch	Poolprobe	5,5	27,6
Rhein	Nieuwe Waterweg	2018	Flunder	9	19,1	76,9	2	Ganzfisch	Poolprobe	1,9	20,7
Rhein	Hollands Diep	2018	Rotauge	21	11,8	16,1	2	Ganzfisch	Poolprobe	5,3	27,1
Rhein	Hollands Diep	2019	Rotauge	9	14,9	49,8	2	Ganzfisch	Poolprobe	5,6	27,7
Rhein	IJsselmeer	2019	Rotauge	10	10,1	14,3	2	Ganzfisch	Poolprobe	3,9	25,1
Rhein	Hollands Diep	2020	Rotauge	32	11,3	14,6	2	Ganzfisch	Poolprobe	6,3	27
Rhein	Ketelmeer	2020	Rotauge	11	15	42,6	2	Ganzfisch	Poolprobe	8,6	29,2
Rhein	Nieuwe Waterweg	2021	Flunder	21	17,3	53,6	2	Ganzfisch	Poolprobe	1,7	19,3
Rhein	Rhein	2021	Rotauge	14	12,4	18,7	2	Ganzfisch	Poolprobe	1,7	22,9

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 199/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Fischart	N (Fische)	Länge [cm]	Gewicht [g]	Alter [J]	Proben- material	Probe	Fettgehalt [%]	TM [%]
Rhein	Hollands Diep	2021	Rotauge	10	14,6	34,1	2	Ganzfisch	Poolprobe	5,4	25,8
Rhein	Hollands Diep	2022	Rotauge	25	11	13,7	2	Ganzfisch	Poolprobe	4,2	25,2
Rhein	IJsselmeer	2022	Rotauge	28	11,4	11,1	2	Ganzfisch	Poolprobe	4,6	25,5
Main	km 8,0-8,2	2022	Flussbarsch	13	17,4	73,2	3 - 4	Filet	Poolprobe	1,8	23,3
Main	km 8,0-8,2	2021	Rotauge	12	14,4	33,3	2 - 3	Filet	Poolprobe	4,1	23,8
Lahn	Limburg	2022	Döbel	10	23,9	148	3 - 4	Filet	Poolprobe	1,8	21,7
Lahn	Limburg	2022	Döbel	10	22	109	3	Filet	Poolprobe	1	21,2
Lahn	Solms-Oberbiel	2022	Flussbarsch	11	17,6	73,7	4	Filet	Poolprobe	2,2	22,5
Lahn	Solms-Oberbiel	2021	Flussbarsch	11	17,5	77,3	2 - 3	Filet	Poolprobe	2,5	22,9
Kinzig	Kinzig	2021	Flussbarsch	12	17,4	61,7	3 - 4	Filet	Poolprobe	2,3	22,8
Weschnitz	Einhausen-Ost	2022	Döbel	11	21,8	110	3	Filet	Poolprobe	1,8	23,4
Schwarzbach	Trebur-Astheim	2022	Döbel	10	22,5	131	3	Filet	Poolprobe	2,2	20,2
Schwarzbach	Trebur-Astheim	2021	Döbel	10	24,3	177	3 - 4	Filet	Poolprobe	1,6	22
Main	km 8,0-8,2	2018	Flussbarsch	7	22,4		3	Filet	Poolprobe	0,59	
Main	km 8,0-8,2	2018	Rotauge	8	23,6		3,38	Filet	Poolprobe	1,8	
Lahn	Limburg	2018	Döbel	5	13		1,2	Filet	Poolprobe	0,098	
Rhein	Petersau	2022	Flussbarsch	9	14,4	44,9	2+	Filet	Poolprobe	1,2	20,2

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 200/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Fischart	N (Fische)	Länge [cm]	Gewicht [g]	Alter [J]	Proben- material	Probe	Fettgehalt [%]	TM [%]
Rhein	Budenheim	2022	Flussbarsch	10	18,7	117	2+	Filet	Poolprobe	1,3	21,6
Rhein	St. Goar	2022	Flussbarsch	10	18,8	153	2+	Filet	Poolprobe	1,2	20,4
Mosel	Detzem	2022	Döbel	10	23,8	242	2+	Filet	Poolprobe	1	20,4
Mosel	Detzem	2022	Flussbarsch	10	17,6	81,1	2+	Filet	Poolprobe	1	20,9
Mosel	Palzem	2022	Flussbarsch	10	17,7	98,2	2+	Filet	Poolprobe	0,9	21,9
Saar	Schoden	2022	Flussbarsch	6	22,5	193	2+	Filet	Poolprobe	0,7	20,5
Sauer	Metzdorf	2022	Flussbarsch	10	17,2	74,6	2+	Filet	Poolprobe	1,3	21,1
Lahn	Untere Lahn	2022	Döbel	5	21,1	134	2+	Filet	Poolprobe	1,1	19,7
Rhein	St. Goar	2022	Flussbarsch	10	14,9	62,3	2+	Filet	Poolprobe	1,5	21,4
Rhein	Petersau	2015	Rotauge	9	20,3	121	3	Filet	Poolprobe	2,2	
Rhein	Petersau	2015	Flussbarsch	16	17,5	76,8	3	Filet	Poolprobe	0,9	
Rhein	St. Goar	2015	Rotauge	11	19,5	102	3	Filet	Poolprobe	2	
Rhein	St. Goar	2015	Flussbarsch	13	20,4	128	3	Filet	Poolprobe	0,9	
Mosel	Detzem	2015	Flussbarsch	9	21,4	138	3	Filet	Poolprobe	0,9	
Mosel	Detzem	2015	Rotauge	9	20,4	113	3	Filet	Poolprobe	2,1	
Mosel	Detzem	2015	Rotauge	10	18,4	84		Filet	Poolprobe	2	
Mosel	Detzem	2015	Flussbarsch	10	18,7	86,2		Filet	Poolprobe	1,2	

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 201/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Fischart	N (Fische)	Länge [cm]	Gewicht [g]	Alter [J]	Proben- material	Probe	Fettgehalt [%]	TM [%]
Mosel	Palzem	2015	Flussbarsch	10	18,1	80,7		Filet	Poolprobe	1	
Mosel	Palzem	2015	Rotauge	10	19	82,9		Filet	Poolprobe	1,5	
Sauer	Metzdorf	2015	Barbe	8	22,6	115		Filet	Poolprobe	3,6	
Sauer	Metzdorf	2015	Rotauge	11	18,6	83,9		Filet	Poolprobe	1,9	
Sauer	Metzdorf	2015	Flussbarsch	10	17,7	80		Filet	Poolprobe	0,8	
Saar	Schoden	2015	Flussbarsch	6	21	152		Filet	Poolprobe	1,1	
Saar	Schoden	2015	Rotauge	15	18,6	90,6		Filet	Poolprobe	2	
Mosel	Detzem	2015	Döbel	2	35	519		Filet	Poolprobe	1	
Mosel	Detzem	2015	Döbel	8	20,4	105		Filet	Poolprobe	0,8	
Meurthe	Saint-Clément	2022	Döbel	5	21,2	93	3	Filet	Poolprobe	0,8	22,9
Meurthe	Damelevières	2022	Döbel	8	21,2	90,6	3	Filet	Poolprobe	1	22,9
Meurthe	Damelevières	2022	Flussbarsch	8	19,2	78,1	3	Filet	Poolprobe	0,8	24
Mosel	Tonnoy	2017	Döbel	10	25,5	181	4	Filet	Poolprobe	1,7	19,9
Mosel	Tonnoy	2021	Döbel	9	25,3	164	4	Filet	Poolprobe	0,7	19,8
Mosel	Liverdun	2015	Barbe	1	22	80	3	Ganzfisch	Einzelprobe	3,4	23,5
Mosel	Liverdun	2015	Güster	8	19,4	94,4	3	Ganzfisch	Poolprobe	8,2	28,7
Mosel	Liverdun	2015	Güster	12	19,6	102	3	Filet	Poolprobe	4,4	23,2

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 202/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Fischart	N (Fische)	Länge [cm]	Gewicht [g]	Alter [J]	Proben- material	Probe	Fettgehalt [%]	TM [%]
Mosel	Liverdun	2015	Döbel	2	27,5	249	4	Ganzfisch	Poolprobe	1,8	22,6
Mosel	Liverdun	2015	Döbel	8	22,5	125	3	Filet	Poolprobe	0,8	19,8
Mosel	Liverdun	2015	Rotauge	13	19,8	98,8	3	Filet	Poolprobe	2,1	20,3
Mosel	Liverdun	2015	Flussbarsch	16	19,2	87,9	3	Filet	Poolprobe	1,1	20,1
Mosel	Liverdun	2015	Flussbarsch	4	23,8	204	4	Filet	Poolprobe	1,5	20,3
Mosel	Liverdun	2015	Zander	1	25	131	2	Ganzfisch	Einzelprobe	3	20,4
Mosel	Liverdun	2015	Zander	2	39,5	638	3	Filet	Poolprobe	1,1	21,5
Mosel	Liverdun	2022	Döbel	8	25,7	182	4	Filet	Poolprobe	1	20,8
Mosel	Liverdun	2022	Flussbarsch	8	22,7	161	4	Filet	Poolprobe	1,9	23,7
Mosel	Millery – Vandières	2015	Güster	15	18,1	78,7	3	Filet	Poolprobe	3,7	22,6
Mosel	Millery – Vandières	2015	Döbel	1	24	134	3	Ganzfisch	Einzelprobe	3,7	26
Mosel	Millery – Vandières	2015	Rotauge	8	19	97,1	3	Filet	Poolprobe	2,2	23,6
Mosel	Millery – Vandières	2015	Flussbarsch	1	27	287	5	Ganzfisch	Einzelprobe	4	26
Mosel	Millery – Vandières	2015	Flussbarsch	2	16,5	61	3	Ganzfisch	Poolprobe	5	26
Mosel	Millery – Vandières	2015	Flussbarsch	4	22,9	157	4	Ganzfisch	Poolprobe	3,4	27,2
Mosel	Millery – Vandières	2015	Flussbarsch	14	19,1	88,9	3	Filet	Poolprobe	1,4	21
Mosel	Millery – Vandières	2015	Zander	10	25,9	158	2	Filet	Poolprobe	1,1	20,8

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 203/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Fischart	N (Fische)	Länge [cm]	Gewicht [g]	Alter [J]	Proben- material	Probe	Fettgehalt [%]	TM [%]
Mosel	Millery – Vandières	2015	Zander	1	39	606	3	Filet	Einzelprobe	1,9	22,7
Mosel	Millery – Vandières	2015	Zander	1	33	380	2	Filet	Einzelprobe	1,1	22,6
Mosel	Millery – Vandières	2022	Döbel	7	23,9	156	3	Filet	Poolprobe	0,9	20,6
Mosel	Millery – Vandières	2022	Flussbarsch	6	21,8	135	3	Filet	Poolprobe	1,2	21,9
Mosel	Millery – Vandières	2022	Flussbarsch	1	29,8	396	6	Filet	Poolprobe	1,1	22,6
Mosel	Millery – Vandières	2022	Wels	1	80	-	3	Filet	Einzelprobe	0,7	19,9
Mosel	Millery – Vandières	2015	Döbel	2	24,5	156	3	Ganzfisch	Poolprobe	3	25,5
Mosel	Millery – Vandières	2015	Döbel	13	22,2	115	3	Filet	Poolprobe	1,2	21,2
Mosel	Millery – Vandières	2015	Rotauge	14	19,5	95,8	3	Filet	Poolprobe	1,9	22,9
Mosel	Millery – Vandières	2015	Rotauge	7	25,7	242	5	Filet	Poolprobe	3,3	24,6
Mosel	Millery – Vandières	2015	Rotauge	6	21,8	140	3	Filet	Poolprobe	1,9	23,9
Mosel	Millery – Vandières	2015	Flussbarsch	12	14,5	39,3	2	Ganzfisch	Poolprobe	1,8	25,7
Mosel	Millery – Vandières	2015	Wels	1	66	1788	3	Filet	Einzelprobe	1	20
Mosel	Millery – Vandières	2019	Döbel	8	27,6	264	4	Filet	Poolprobe	1,36	22
Mosel	Millery – Vandières	2021	Döbel	10	22,8	137	3	Filet	Poolprobe	0,6	22,9
Mosel	Millery – Vandières	2022	Döbel	8	26,3	224	4	Filet	Poolprobe	1,2	21,3
Mosel	Millery – Vandières	2022	Flussbarsch	5	18,6	81,4	3	Filet	Poolprobe	0,8	20,9

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 204/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Fischart	N (Fische)	Länge [cm]	Gewicht [g]	Alter [J]	Proben- material	Probe	Fettgehalt [%]	TM [%]
Mosel	Millery – Vandières	2022	Wels	1	75	-	3	Filet	Einzelprobe	0,7	19,2
Mosel	Uckange – Sierck	2022	Brassen	8	19,9	100	3	Filet	Poolprobe	5,7	25,7
Mosel	Uckange – Sierck	2022	Flussbarsch	1	34,6	636	9	Filet	Poolprobe	0,8	22,5
Mosel	Uckange – Sierck	2022	Flussbarsch	8	20,6	113	3	Filet	Poolprobe	0,8	21,1
Mosel	Uckange – Sierck	2022	Wels	1	72	-	3	Filet	Einzelprobe	0,6	19,3
Mosel	Uckange – Sierck	2022	Döbel	8	22,9	153	3	Filet	Poolprobe	1	20
Saar	Sarraltroff	2020	Döbel	9	22,4	115	3	Filet	Poolprobe	2,2	21,6
Saar	Sarraltroff	2022	Döbel	8	22,9	153	3	Filet	Poolprobe	1,2	20,1
Saar	Sarraltroff	2022	Rotauge	7	16,3	72,1	3	Filet	Poolprobe	1,6	21,4
Saar	Keskastel	2022	Döbel	8	22,9	153	3	Filet	Poolprobe	0,9	20,4
Saar	Keskastel	2022	Rotauge	8	20	97,3	3	Filet	Poolprobe	2,3	22,2
Saar	Güdingen/Grosbliederstroff	2022	Döbel	8	22,9	153	3	Filet	Poolprobe	0,9	19,9
Saar	Güdingen/Grosbliederstroff	2022	Rotauge	8	17,4	86,6	3	Filet	Poolprobe	2	22,7
Saar	Güdingen/Grosbliederstroff	2015	Güster	4	16,3	49	3	Ganzfisch	Poolprobe	6,1	25,9
Saar	Güdingen/Grosbliederstroff	2015	Brassen	6	19,3	75	3	Ganzfisch	Poolprobe	4,3	26,8
Saar	Güdingen/Grosbliederstroff	2015	Döbel	10	21,7	113	3	Filet	Poolprobe	1,4	20,3
Saar	Güdingen/Grosbliederstroff	2015	Rotauge	11	20	97,3	3	Filet	Poolprobe	2,1	22,2

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 205/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Fischart	N (Fische)	Länge [cm]	Gewicht [g]	Alter [J]	Proben- material	Probe	Fettgehalt [%]	TM [%]
Saar	Güdingen/Grosbliederstroff	2015	Flussbarsch	6	14,2	32,5	2	Ganzfisch	Poolprobe	2,3	26,1
Saar	Güdingen/Grosbliederstroff	2015	Flussbarsch	1	25	225	5	Ganzfisch	Einzelprobe	3,6	23
Saar	Güdingen/Grosbliederstroff	2015	Flussbarsch	6	19,9	98,3	3	Ganzfisch	Poolprobe	2,2	27,7
Saar	Güdingen/Grosbliederstroff	2022	Döbel	8	22,9	153	3	Filet	Poolprobe	0,9	20,4
Saar	Güdingen/Grosbliederstroff	2022	Rotauge	5	17,7	69,8	3	Filet	Poolprobe	2,1	22,2
Saar	Güdingen/Grosbliederstroff	2022	Rotauge	6	14,4	35,7	2	Filet	Poolprobe	1,6	22,4
Rhein	Fußbach	2019	Döbel	6				Ganzfisch	Poolprobe	4,5	26,2
Rhein	Fußbach	2022	Döbel	2	33,8	422	4,5	Ganzfisch	Poolprobe	3,2	25,6
Rhein	Fußbach	2022	Döbel	4	24,4	187	2,5	Ganzfisch	Poolprobe	4,7	27,3

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 206/211 -

Tabelle 23: Übersicht über den Probensatz der Muscheln inklusive biometrischer Daten (alle Daten nach Vereinheitlichung und Bereinigung).

Gewässer	Fangort	Jahr	Gattung	Größenklasse [cm]	Gewicht mit Schale [g]	Gewicht Weichkörper [g]	N (Einzeltiere)	Fettgehalt [%]	TM [%]
Rhein	Reckingen	2015	Corbicula	<1, 1-2	800	122	-	1,6	-
Rhein	Weil	2015	Corbicula	<1, 1-2, >2	1600	135	-	2	-
Neckar	Besigheim	2015	Corbicula	1-2, >2	900	154	-	2,3	-
Neckar	Kochendorf	2015	Corbicula	1-2, >2	2000	153	-	2,9	-
Neckar	Mannheim	2015	Corbicula	1-2, >2	1900	160	-	3	-
Rhein	Reckingen	2016	Corbicula	1-2, >2	1200	149	-	0,7	
Rhein	Weil	2016	Corbicula	1-2, >2	1800	248	-	0,9	
Rhein	Mannheim	2016	Dreissena	1-2	1200	199	-	0,3	
Neckar	Besigheim	2016	Corbicula	1-2, >2	1000	174	-	2,6	
Neckar	Kochendorf	2016	Corbicula	1-2, >2	2000	276	-	2,1	
Neckar	Mannheim	2016	Corbicula	1-2, >2	1000	131	-	1,4	-
Rhein	Reckingen	2017	Corbicula	1-2	1700	196	-	1,1	11,5
Rhein	Weil	2017	Corbicula	1-2	1100	86	-	0,3	8
Rhein	Mannheim	2017	Dreissena	1-2	1500	181	-	0,3	8,8
Neckar	Besigheim	2017	Corbicula	1-2, >2	400	53	-	-	18,3
Neckar	Kochendorf	2017	Corbicula	1-2, >2	1800	189	-	2,9	17,9
Neckar	Mannheim	2017	Corbicula	>2	1900	285	-	2,4	15,3
Rhein	Reckingen	2018	Corbicula	1-2	2323	237	-	1	10,9
Rhein	Reckingen	2019	Corbicula	1-2	1900	211	-	0,79	9,3
Rhein	Karlsruhe	2019	Dreissena	1-2	1200	160	-	0,36	7,5

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 207/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Gattung	Größenklasse [cm]	Gewicht mit Schale [g]	Gewicht Weichkörper [g]	N (Einzeltiere)	Fettgehalt [%]	TM [%]
Rhein	Mannheim	2019	Dreissena	1-2	1600	243	-	0,29	5,7
Neckar	Besigheim	2019	Dreissena	1-2	1300	151	-	0,69	8,4
Neckar	Kochendorf	2019	Dreissena	1-2	1200	163	-	1,2	10,3
Neckar	Mannheim	2019	Dreissena	1-2	1400	240	-	1,4	9,4
Rhein	Reckingen	2021	Dreissena	1-2, >2	862	173	-	0,1	5,38
Rhein	Weil	2021	Corbicula	1-2, >2	1393	192	-	1,7	12,8
Rhein	Weil	2021	Dreissena	1-2, >2	905	187	-	0,8	10,2
Rhein	Karlsruhe	2021	Dreissena	1-2, >2	2309	309	-	0,7	10,1
Rhein	Mannheim	2021	Dreissena	1-2, >2	2182	313	-	0,7	10,3
Neckar	Besigheim	2021	Dreissena	1-2, >2	1112	159	-	1,2	11,1
Neckar	Kochendorf	2021	Dreissena	1-2, >2	1931	253	-	0,7	9,20
Neckar	Mannheim	2021	Dreissena	1-2, >2	2786	406	-	0,3	9,09
Rhein	Reckingen	2022	Dreissena	1-2	1931	244	-	0,4	7,3
Rhein	Weil	2022	Dreissena	1-2,>2	1325	162	-	0,6	8
Rhein	Karlsruhe	2022	Dreissena	1-2,>2	2047	209	-	0,5	7,4
Rhein	Mannheim	2022	Dreissena	<1,1-2	1895	164	-	0,4	8,3
Neckar	Besigheim	2022	Dreissena	1-2,>2	2254	256	-	1	9,7
Neckar	Kochendorf	2022	Dreissena	1-2,>2	1753	205	-	1	9,9
Neckar	Mannheim	2022	Dreissena	1-2,>2	2004	242	-	1,4	10
Rhein	Ketelmeer	2017	Dreissena	1,57		0,1	>200	0,2	3
Rhein	Hollands Diep	2017	Dreissena	1,57		0,08	>200	0,3	3,4
Rhein	Hollands Diep	2018	Dreissena	1,64		0,16	>200	0,4	4,8

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 208/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Gattung	Größenklasse [cm]	Gewicht mit Schale [g]	Gewicht Weichkörper [g]	N (Einzeltiere)	Fettgehalt [%]	TM [%]
Rhein	IJsselmeer	2019	Dreissena	1,71		0,07	>200	0,7	7,1
Rhein	Hollands Diep	2019	Dreissena	1,64		0,14	>200	0,5	5,5
Rhein	Lobith	2019	Dreissena	1,61		0,14	>200	0,5	5,7
Rhein	Hollands Diep	2020	Dreissena	1,74		0,22	>200	0,6	5,6
Rhein	Ketelmeer	2020	Dreissena	1,72		0,26	>200	0,9	7
Rhein	Hollands Diep	2021	Dreissena	1,73		0,21	>200	0,5	5,5
Rhein	Lobith	2021	Dreissena	1,68		0,17	>200	1,3	9
Rhein	Nieuwe Maas	2021	Dreissena	1,62		0,17	>200	0,5	4,9
Rhein	Hollands Diep	2022	Dreissena	1,68		0,13	>200	0,6	7,5
Rhein	IJsselmeer	2022	Dreissena	1,66		0,2	>200	0,3	3,7
Schwarzbach	Astheim	2021	Corbicula	2,3 - 2,8		67,9	95	2,97	18,3
Weschnitz	Biblis-Wattenheim	2021	Corbicula	2,5 -< 2,9		98,6	95	1,8	13,2
Kinzig	Hanau	2021	Corbicula	2,2 -< 2,6		93,3	95	3,64	21,7
Lahn	Limburg	2021	Corbicula	2,4 - 2,8		70,4	75	2,42	19,8
Lahn	Solms-Oberbiel	2021	Corbicula	2,5 - 2,6		91,9	51	3,12	23,3
Nidda	Nied	2021	Corbicula	2,5 -< 3,0		81,0	73	2,8	17,4
Weschnitz	Biblis-Wattenheim	2022	Corbicula	2,8	7		80		
Schwarzbach	Astheim	2022	Corbicula	2,62	6,3		81		
Kinzig	Hanau	2022	Corbicula	2,56	6,8		80		
Lahn	Limburg	2022	Corbicula	2,73	8,4		95		
Lahn	Solms-Oberbiel	2022	Corbicula	3,12	10,7		54		
Weschnitz	Biblis-Wattenheim	2020	Corbicula	2,5 - 3,1	196	22	30		

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 209/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Gattung	Größenklasse [cm]	Gewicht mit Schale [g]	Gewicht Weichkörper [g]	N (Einzeltiere)	Fettgehalt [%]	TM [%]
Schwarzbach	Astheim	2020	Corbicula	2,3 - 2,5	170	20	33		
Kinzig	Hanau	2020	Corbicula	1,8 - 2,1	119	14	34		
Lahn	Solms-Oberbiel	2020	Corbicula	2,6 - 3,3	292	66	33		
Nidda	Nied	2020	Corbicula	2,4 - 2,6	203	23	31		
Lahn	Limburg	2020	Corbicula	2,7 - 4,0	442	91	32		
Mosel	Detzem	2015	Dreissena						
			Mix: Dreiss.+Corb.						
Saar	Schoden	2015							
Rhein	Budenheim	2015	Dreissena						
Mosel	Palzem	2015	Dreissena						
Mosel	Detzem	2015	Dreissena						
Rhein	Oberer Oberrhein	2015	Dreissena						
Mosel	Palzem	2023	Dreissena	2,5-3	337	80,6	100	1,1	11,6
Mosel	Palzem	2023	Dreissena	2,5-3	370	108	100	1	11,5
Mosel	Palzem	2023	Dreissena	2,5-3	320	89,2	99	1,1	11,2
Mosel	Detzem	2023	Dreissena	2,5-3	263	67,0	100	1	7,4
Mosel	Detzem	2023	Dreissena	2,5-3	212	43,7	109	0,7	6,4
Rhein	Petersau	2023	Dreissena	2,5-3	179	34,0	102	0,7	5,9
Rhein	Budenheim	2023	Dreissena	2-2,5	214	53,2	99	0,6	4,2
Rhein	St. Goar	2023	Dreissena	2,5-3	277	44,5	125	0,7	5,7
Saar	Schoden	2023	Dreissena	2,5-3	319	89,4	79	0,9	10,9
Mosel	Uckange – Sierck	2021	Dreissena	2-2,5	6,5	1,7	5	1,31	22,1

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 210/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Gattung	Größenklasse [cm]	Gewicht mit Schale [g]	Gewicht Weichkörper [g]	N (Einzeltiere)	Fettgehalt [%]	TM [%]
Mosel	Uckange – Sierck	2021	Dreissena	2-2,5	11,7	4,04	9	2,27	22,2
Mosel	Uckange – Sierck	2021	Dreissena	2-2,5	11,7	4,07	9	4,35	24,4
Mosel	Uckange – Sierck	2021	Dreissena	2,5-3	9	4,25	6	3,63	24,2
Mosel	Uckange – Sierck	2021	Dreissena	2,5-3	6	4,04	4	3,39	26,2
Meurthe	Bouxières	2021	Dreissena	2-2,5	18,2	3,58	14	1,3	19,2
Mosel	Liverdun	2021	Dreissena	2-2,5	19,5	3,34	15	2,1	19,9
Mosel	Uckange – Sierck	2021	Dreissena	2-2,5	20,8	3,45	16	1,4	16,2
Mosel	Millery – Vandières	2021	Dreissena	2-2,5	20,8	3,23	16	0,7	18,1
Mosel	Uckange – Sierck	2021	Dreissena	2-2,5	20,8	3,53	16	0,7	17,8
Mosel	Uckange – Sierck	2021	Dreissena	2-2,5	19,5	3,44	15	0,4	18,0
Mosel	Millery – Vandières	2021	Dreissena	2-2,5	23,4	3,41	18	1,2	18,6
Mosel	Liverdun	2021	Dreissena	2-2,5	19,5	4,19	15	0,8	20,9
Mosel	Uckange – Sierck	2021	Dreissena	2-2,5	19,5	3,79	15	0,4	22,4
Mosel	Millery – Vandières	2021	Dreissena	2-2,5	19,5	4,09	15	0,5	22,4
Mosel	Uckange – Sierck	2021	Dreissena	2-2,5	19,5	4,00	15	0,8	21,1
Meurthe	Saint-Clement	2021	Dreissena	2-2,5	20,8	4,06	16	0,8	21,4
Mosel	Tonnoy	2021	Dreissena	2-2,5	18,2	4,28	14	0,4	19,1
Mosel	Uckange – Sierck	2021	Dreissena	2-2,5	18,2	4,12	14	0,6	22,5
Mosel	Millery – Vandières	2021	Dreissena	2-2,5	19,5	4,21	15	1,7	22,1
Meurthe	Bouxières	2021	Dreissena	2-2,5	23,4	4,03	18	0,3	21,6
Saar	Grosbliederstroff	2022	Dreissena	2-2,5	18,2	4,90	14	1,2	10,2
Mosel	Uckange – Sierck	2022	Dreissena	2-2,5	18,2	5,42	14	0,9	11,6

Abschlussbericht: Schadstoffmessungen im Rheineinzugsgebiet von 2015-2023
 Projektnummer IKSR: IKSR-Fachbericht Nr. 311
 Projektnummer IME: 2023-030

- Seite 211/211 -

Gewässer	Fangort	Jahr	Gattung	Größenklasse [cm]	Gewicht mit Schale [g]	Gewicht Weichkörper [g]	N (Einzeltiere)	Fettgehalt [%]	TM [%]
Mosel	Uckange – Sierck	2022	Dreissena	2-2,5	14,3	5,13	11	0,9	11,0
Mosel	Uckange – Sierck	2022	Dreissena	2-2,5	18,2	5,19	14	0,8	10,6
Mosel	Liverdun	2022	Dreissena	2-2,5	20,8	5,18	16	1,4	12,1
Mosel	Millery – Vandières	2022	Dreissena	2-2,5	31,2	5,92	24	1,7	13,8
Meurthe	Bouxieres	2022	Dreissena	2-2,5	19,5	5,39	15	1,1	13,2
Mosel	Uckange – Sierck	2022	Dreissena	2-2,5	24,7	5,49	19	1,3	10,0
Mosel	Uckange – Sierck	2022	Dreissena	2-2,5	19,5	5,03	15	0,6	8,76
Saar	Sarraltroff	2022	Dreissena	2-2,5	18,2	5,04	14	0,3	8,92
Saar	Grosbliederstroff	2022	Dreissena	2-2,5	15,6	5,04	12	0,4	8,74
Mosel	Uckange – Sierck	2022	Dreissena	2-2,5	20,8	5,12	16	0,5	9,29
Mosel	Liverdun	2022	Dreissena	2-2,5	20,8	5,23	16	0,3	9,11
Mosel	Millery – Vandières	2022	Dreissena	2-2,5	23,4	5,53	18	0,4	7,56
Mosel	Millery – Vandières	2022	Dreissena	2-2,5	20,8	5,28	16	0,3	7,53
Meurthe	Bouxieres	2022	Dreissena	2-2,5	26	4,96	20	0,1	8,53