

Cyclische Methylsiloxane

Ermittlung der Gehalte in sächsischen Fischen



Foto: Fraunhofer Institut

Autoren: Georg Radermacher, Dr. Heinz Rüdell; Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (Fraunhofer IME); Auf dem Aberg 1, 57392 Schmallenberg

Redaktion: Sylvia Rohde; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Abteilung 4; Referat 44; Telefon: 0351 8928-4401; E-Mail: Sylvia.Rohde@smul.sachsen.de; Redaktionsschluss: 15.02.2021; www.lfulg.sachsen.de

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	4
2	METHODENBESCHREIBUNG	5
2.1	GENERELLES	5
2.2	EXTRAKTION	5
2.3	QUALITÄTSSICHERUNGSMABNAHMEN	6
3	ERGEBNISSE	7
4	ZUSAMMENFASSUNG	9
	LITERATURVERZEICHNIS	10

Autoren: Georg Radermacher, Dr. Heinz Rüdell; Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (Fraunhofer IME); Auf dem Aberg 1, 57392 Schmallenberg

Redaktion: Sylvia Rohde; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Abteilung 4; Referat 44; Telefon: 0351 8928-4401; E-Mail: Sylvia.Rohde@smul.sachsen.de; Redaktionsschluss: 15.02.2021; www.lfulg.sachsen.de

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Akzeptable Wiederfindungsbereiche der Qualitätssicherungsproben.....	6
Tabelle 2: Messergebnisse für D4, D5 und D6 in Fischfiletproben aus dem Jahr 2018	7
Tabelle 3: Messergebnisse für D4, D5 und D6 in Fischfiletproben aus dem Jahr 2019	8

Abkürzungsverzeichnis

BG	Bestimmungsgrenze
cVMS	cyclische, flüchtige Methylsiloxane (englisch: cyclic volatile methylsiloxanes)
GC/ICP-MS/MS	Gaschromatographie-ICP-Massenspektrometrie-Kopplung (englisch: gas chromatography-inductively coupled plasma-triple quadrupole mass spectrometry)
D4	Octamethylcyclotetrasiloxan
D5	Decamethylcyclopentasiloxan
D6	Dodecamethylcyclohexasiloxan
EU	Europäische Union
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
M4Q	Tetrakis(trimethylsiloxy)silan
min	Minute
MW	Mittelwert
NG	Nachweisgrenze
OWK	Oberflächenwasserkörper
PBT	persistent, bioakkumulierend und toxisch
SD	Standardabweichung
SVHC	besonders besorgniserregende Stoffe (englisch: substances of very high concern)
U/min	Umdrehungen pro Minute

Autoren: Georg Radermacher, Dr. Heinz Rüdell; Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (Fraunhofer IME); Auf dem Aberg 1, 57392 Schmallenberg

Redaktion: Sylvia Rohde; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Abteilung 4; Referat 44; Telefon: 0351 8928-4401; E-Mail: Sylvia.Rohde@smul.sachsen.de; Redaktionsschluss: 15.02.2021; www.lfulg.sachsen.de

1 Einleitung

Sehr viele Oberflächenwasserkörper Sachsens befinden sich nach der Bewertung für den Zweiten Bewirtschaftungsplan nach Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) noch nicht im „guten Zustand“.

Eine mögliche Ursache wird im Eintrag bisher nicht gesetzlich geregelter Spurenstoffe aus dem Nichterschöpfenden Verzeichnis (Anhang VIII) WRRL gesehen, die sich negativ auf die Entwicklung der Wasserorganismen auswirken können. Dazu könnten auch cyclische, flüchtige Methylsiloxane (cVMS; englisch: cyclic volatile methylsiloxanes) beitragen. Die Verbindungen werden vielfältig und in hohen Tonnagen u. a. in Körperpflegeprodukten, Farben und Lacken oder zur Thermoplast-Herstellung verwendet. Die cVMS stehen im Verdacht, sich in der aquatischen Nahrungskette anzureichern.

Am bedeutendsten sind die folgenden drei cVMS:

- D4 - Octamethylcyclotetrasiloxan,
- D5 - Decamethylcyclopentasiloxan,
- D6 - Dodecamethylcyclohexasiloxan.

In der Europäischen Union (EU) wurden diese cVMS im Jahr 2018 als besonders besorgniserregende Stoffe (Substances of Very High Concern, SVHC) eingestuft. D4 wurde als persistent, bioakkumulierend und toxisch (PBT) sowie sehr persistent und sehr bioakkumulierend bewertet. Letztere Einstufung wurde auch für D5 und D6 getroffen. Um Emissionen der Stoffe zu beschränken, ist die Verwendung von abwaschbaren kosmetischen Produkten, die D4 und D5 in Konzentrationen $\geq 0,1$ % enthalten, seit dem 31. Januar 2020 in der EU verboten.

Bei Untersuchungen in Kanada (MCGOLDRICK et al., 2014), Schweden (KIERKEGAARD et al., 2013) und Norwegen (BORGÅ et al., 2012) wurden bereits cVMS in Süßwasserfischen nachgewiesen. Bei Untersuchungen von RADERMACHER et al. (2020) wurden in Fischen verschiedener deutscher Flüsse aus dem Umweltprobenbank-Archiv D4, D5 und D6 gefunden, wobei die D5-Konzentrationen fast immer die höchsten Werte aufwiesen. In den letzten Jahren waren die cVMS-Fischgehalte rückläufig. An einigen Stellen war ein abweichendes D4/D5/D6-Muster sichtbar, das auf mögliche Emissionen aus Produktionsbetrieben hinwies.

Beispielhaft werden hier ca. 40 Fischproben aus ausgewählten sächsischen Gewässern auf D4, D5 und D6 untersucht. Bei den Fischproben handelt es sich um eingefrorene Filetproben von verschiedenen Fischarten, die im Zusammenhang mit der Schadstoffuntersuchung in Biota im Rahmen des WRRL-Monitorings 2018 und 2019 in Sachsen entnommen wurden. Zunächst wurden Mitte Dezember 2019 20 Proben aus dem Jahr 2018 durch die Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft zur Abholung in Nossen bereitgestellt. Eine weitere Bereitstellung von Proben aus dem Jahr 2019 erfolgte Anfang November 2020. Der Versand der Proben erfolgte auf Trockeneis, das mit der Verpackung zur Verfügung gestellt wurde.

Autoren: Georg Radermacher, Dr. Heinz Rüdell; Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (Fraunhofer IME); Auf dem Aberg 1, 57392 Schmallenberg

Redaktion: Sylvia Rohde; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Abteilung 4; Referat 44; Telefon: 0351 8928-4401; E-Mail: Sylvia.Rohde@smul.sachsen.de; Redaktionsschluss: 15.02.2021; www.lfulg.sachsen.de

2 Methodenbeschreibung

2.1 Generelles

In einem vom Fraunhofer IME eigenfinanzierten Projekt wurde eine Methode zur Analytik von cVMS entwickelt. Bestimmt werden die drei Stoffe D4, D5 und D6.

Die Aufarbeitung von bis zur Analyse gefroren gelagerten Proben wird mittels fest-flüssig-Extraktion der cVMS aus den unterschiedlichen Fischgeweben durchgeführt. Extraktionsversuche haben ergeben, dass die fest-flüssig-Extraktion mit einem Acetonitril/n-Hexan-Gemisch am effektivsten ist. Das zur Verfügung gestellte, nicht gefriergetrocknete Fischfilet wird tiefgefroren homogenisiert und die Zielstoffe werden dann extrahiert.

Je nach Matrixbelastung (z. B. Fettgehalt) sind gegebenenfalls weitere Aufarbeitungsschritte zur Aufreinigung der Extrakte nötig. Die anschließende Speziation und Messung der cVMS erfolgt mittels GC/ICP-MS/MS (gas chromatography-inductively coupled plasma-triple quadrupole mass spectrometry). Die Verwendung eines Triple-Quadrupol-Massenspektrometers mit zwei Quadrupolen und einem Octopol, der zwischen den Quadrupolen liegt und als Reaktions- oder Kollisionszelle genutzt werden kann, ermöglicht die Elimination von störenden Interferenzen und damit eine empfindlichere Bestimmung der cVMS. Zur Analyse der cVMS wird Silizium auf Masse 28 detektiert. Die Eliminierung von Interferenzen auf dieser Masse wird durch Nutzung des H₂-Modus erreicht. Als interner Standard für die Quantifizierung wird Tetrakis(trimethylsiloxy)silan (M4Q) verwendet und für die Kalibration werden Lösungen aus kommerziell erhältlichen Einzelstandards der Zielstoffe hergestellt.

Jede Probe wird einmal untersucht. Aus jeder Messserie werden zumindest einige Proben auch doppelt untersucht (d. h. doppelt extrahiert und analysiert). Parallel werden zur Qualitätskontrolle Aufstockungsversuche durchgeführt, verschiedene Qualitätskontrollstandards gemessen und bereits mehrfach untersuchte Proben mitgeführt, um die Plausibilität der Ergebnisse zu prüfen. Außerdem werden Blindwerte mit untersucht.

Die Methode wurde bereits genutzt, um Fischproben aus dem Archiv der Umweltprobenbank des Bundes auf D4, D5 und D6 zu untersuchen (RADERMACHER et al., 2020).

2.2 Extraktion

Für die fest-flüssig-Extraktion der cVMS mit Acetonitril und n-Hexan werden 500 mg des gefrorenen, nicht gefriergetrockneten Probenmaterials in 15 mL Polypropylen-Vials eingewogen. Anschließend werden 100 µL einer Lösung des internen Standards (M4Q: c = 1,00 mg/L), 5 mL Acetonitril und 1,25 g eines NaCl/MgSO₄-Gemisches (1:4, getrocknet bei 180 °C) zugegeben und gut durchmischt. Für die Extraktion werden 1,5 mL n-Hexan zugegeben, die Proben 30 min auf einem Horizontalschüttler geschüttelt, anschließend 20 min mit Ultraschall behandelt und weitere 30 min geschüttelt. Nach 20minütiger Zentrifugation bei 4500 U/min und 4 °C wird die Hexanphase abgenommen. Ein zweiter Extraktionsschritt wird mit 1 mL n-Hexan, 10

Autoren: Georg Radermacher, Dr. Heinz Rüdel; Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (Fraunhofer IME); Auf dem Aberg 1, 57392 Schmallenberg

Redaktion: Sylvia Rohde; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Abteilung 4; Referat 44; Telefon: 0351 8928-4401; E-Mail: Sylvia.Rohde@smul.sachsen.de; Redaktionsschluss: 15.02.2021; www.lfulg.sachsen.de

min Ultraschallbehandlung und 30 min Schütteln durchgeführt. Die beiden Hexanphasen werden vereinigt und unter einem Stickstoffstrom auf 1 mL eingengt.

2.3 Qualitätssicherungsmaßnahmen

Das verwendete System ist mit speziellen inerten Leitungen ausgestattet, die eine Analytik von Silizium im Spuren- bis Ultrapurenbereich ermöglichen. Um Kontaminationen zu vermeiden, wurde des Weiteren eine GC-Kapillarsäule auf Basis von Polyethylenglykol verwendet und die silikonbasierten Septen des Injektionsports und der GC-Vials wurden durch das Merlin Microseal-System beziehungsweise durch silikonfreie Teflon-Septen ersetzt.

Die Bestimmungsgrenzen hängen von der Fischmatrix ab und werden für jede Messserie separat bestimmt. Erfahrungsgemäß liegen sie je Komponente bei mindestens 50 ng/g Frischgewicht (bestimmt nach Blindwertmethode gemäß DIN 32645 (2008) in Kombination mit der Bewertung des Signal/Rauschverhältnisses).

Um die Reproduzierbarkeit der Methode zu belegen und die Plausibilität der Ergebnisse zu überprüfen, wird bei jeder Messserie eine bereits mehrfach analysierte Probe als laborinternes Referenzmaterial mitgeführt.

Zur Validierung der jeweiligen Messserie werden Aufstockungsversuche sowohl mit geliefertem Probenmaterial als auch mit internem Referenzmaterial durchgeführt. Zusätzlich werden verteilt über den Kalibrationsbereich Qualitätskontrollstandards (hergestellt aus einem kommerziell erhältlichen Siloxanverbindungsmix) und Rekalibrationsstandards analysiert.

Die Methodenblindwerte werden wie die regulären Proben behandelt mit dem Unterschied, dass kein Probenmaterial eingewogen wird. Somit können Kontaminationen, die während der Probenvorbereitung durch z. B. verunreinigte Chemikalien eingetragen werden, identifiziert werden. Zusätzlich wird durch aufgestockte Methodenblindwerte die Extraktionseffizienz überprüft und mögliche Verluste der Analyten während der Aufkonzentrierung werden erkannt. Daneben werden Verunreinigungen der Messinstrumente mit Hilfe von Analyseblindwerten (n-Hexan versetzt mit internem Standard), die die Extraktion nicht durchlaufen, identifiziert.

Die Validitätskriterien sind angelehnt an Toleranzbereiche, die am Fraunhofer IME für ähnliche Analysen verwendet werden, und in nachfolgender Übersicht zusammengefasst (Tabelle 1). Eine Messserie wird als valide angesehen, wenn 60 % der in der Serie mitgeführten Qualitätssicherungsproben die Anforderungen erfüllen.

Tabelle 1: Akzeptable Wiederfindungsbereiche der Qualitätssicherungsproben

Qualitätssicherungsprobe	akzeptabler Wiederfindungsbereich
laborinternes Referenzmaterial und Aufstockungsversuche	70 % – 130 %
Qualitätskontroll- und Rekalibrationsstandards	80 % – 120 %

Autoren: Georg Radermacher, Dr. Heinz Rüdel; Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (Fraunhofer IME); Auf dem Aberg 1, 57392 Schmallenberg

Redaktion: Sylvia Rohde; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Abteilung 4; Referat 44; Telefon: 0351 8928-4401; E-Mail: Sylvia.Rohde@smul.sachsen.de; Redaktionsschluss: 15.02.2021; www.lfulg.sachsen.de

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengefasst (Mittelwerte und Standardabweichungen für Doppelbestimmungen; Konzentrationen in ng/g Frischgewicht).

Die Nachweisgrenze (NG) lag für D4 bei ca. 3 – 8 ng/g, für D5 bei 1 – 4 ng/g und für D6 bei 8 – 17 ng/g. Die Bestimmungsgrenze (BG) betrug bei D4 ca. 10 – 24 ng/g, bei D5 3 – 13 ng/g und bei D6 25 – 52 ng/g.

Tabelle 2: Messergebnisse für D4, D5 und D6 in Fischfiletproben aus dem Jahr 2018

Bezeichnung	D4 MW ng/g	D4 SD ng/g	D5 MW ng/g	D5 SD ng/g	D6 MW ng/g	D6 SD ng/g
Elbe, Meißen, 18BI0003	(5,2)	(0,5)	57,1	4,4	(13,7)	(1,0)
Elbe, Strehla, 18BI0004	(5,5)	(0,7)	90,9	3,4	(18,2)	(0,5)
Kirnitzsch, Bad Schandau, 18BI0019	(3,7)	(0,2)	16,3	0,9	(13,1)	(< 0,1)
Elbe, Dommitzsch, 18BI0033	(4,7)	(0,5)	17,6	1,0	(14,0)	(1,1)
Elbe, Zehren, 18BI0032	(5,9)	(0,6)	54,8	0,5	(16,5)	(0,1)
Elbe, Pieschen, 18BI0002	(4,2)	(0,4)	70,2	2,0	(11,5)	(0,2)
Elbe, Belgern, 18BI0005	(4,3)	(0,5)	63,2	1,2	(11,6)	(0,6)
Elbe, Prossen, 18BI0001	(4,4)	(0,3)	47,8	1,2	< 11	
Würschnitz, Chemnitz, 18BI0006	(4,8)	(0,4)	19,6	0,9	< 11	
Würschnitz, Chemnitz, 18BI0007	(3,6)	(0,2)	32,5	1,0	< 17	
Mulde, Wurzen, 18BI0021	< 4		16,4	0,7	< 11	
Mulde, Wurzen, 18BI0022	15,4	0,7	145	6	< 11	
Zschopau, Erdmannsdorf, 18BI0014	< 4		61,0	1,1	< 8	
Flöha, Flöha, 18BI0010	< 4		10,8	0,3	< 8	
Kleine Röder, Spanberg, 18BI0023	< 4		(4,9)	(0,2)	< 8	
Zwönitz, Thalheim, 18BI0009	< 4		15,6	0,7	< 8	
Rote Pockau, Rittersburg, 18BI0012	< 4		24,0	0,4	(11,1)	(0,3)
Bobritzsch, Niederbobritzsch, 18BI0018	< 4		< 7		< 8	
Polenz, Prossen, 18BI0015	< 4		9,1	0,5	< 8	
Kleine Spree, Jetscheba, 18BI0024	< 4		< 7		< 8	

Doppelbestimmungen; Ergebnisse als ng/g Frischgewicht. Werte in Klammern liegen zwischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze (> NG, < BG). Werte unterhalb der NG sind als < Nachweisgrenzen-Konzentration angegeben. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung. Messserie 1, Frühjahr 2020

Autoren: Georg Radermacher, Dr. Heinz Rüdel; Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (Fraunhofer IME); Auf dem Aberg 1, 57392 Schmallebenberg

Redaktion: Sylvia Rohde; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Abteilung 4; Referat 44; Telefon: 0351 8928-4401; E-Mail: Sylvia.Rohde@smul.sachsen.de; Redaktionsschluss: 15.02.2021; www.lfulg.sachsen.de

Tabelle 3: Messergebnisse für D4, D5 und D6 in Fischfiletproben aus dem Jahr 2019

Bezeichnung	D4 ng/g		D5 ng/g		D6 ng/g	
Elbe, Prossen, Döbel, 19BI0001 [#]	< 8/< 8		35,8/34,3		(19,6)/(22,8)	
Mittelwert und Standardabweichung:	< 8	-	35,0	1,1	(21,2)	(2,2)
Elbe, Prossen, Blei, 19BI0002	< 8		134		(25,2)	
Elbe, Pieschen, Blei, 19BI0003	(8,0)		510		(30,5)	
Elbe, Meißen, Döbel, 19BI0004	< 8		102		(16,6)	
Elbe, Strehla, Blei, 19BI0005	< 8		158		(26,8)	
Elbe, Belgern, Döbel, 19BI0006	< 8		58,5		(18,1)	
Weißer Elster - 4GW, Straßberg/Plauen, Bachforelle, 19BI0007	< 8		15,1		(16,0)	
Weißer Elster - 5oA, Rentzschmühle/Pöhl, Bachforelle, 19BI0008	< 8		42,0		(16,8)	
Freiberger Mulde - 1uA, Mulda, Bachforelle, 19BI0009	< 8		(8,3)		(16,8)	
Schwarzwasser - 1uA, Schwarzenberg, Bachforelle, 19BI0010 [#]	< 8/< 8		(12,0)/(12,5)		(17,1)/(25,8)	
Mittelwert und Standardabweichung:	< 8	-	(12,3)	(0,4)	(21,4)	(6,2)
Schwarzwasser - 2 GW, Aue, Bachforelle, 19BI0011	< 8		26,1		(15,9)	
Biela (Elbe) - uA, Königstein, Bachforelle, 19BI0012	< 8		(9,6)		(16,8)	
Wilde Weißeritz - 3a, Freital, Bachforelle, 19BI0013	< 8		(11,3)		< 14	
Große Striegis - 1uA, Bräunsdorf, Bachforelle, 19BI0014	< 8		31,2		< 14	
Rote Weißeritz - 2 GW, Freital, Bachforelle, 19BI0015	< 8		15,3		(14,7)	
Zwickauer Mulde, oh. Sermuth, Döbel, 19BI0016	< 8		33,9		(17,2)	
Freiberger Mulde, uh. Podelwitz, Döbel, 19BI0017	< 8		(11,3)		< 14	
Zschopau, Töpel, Barbe, 19BI0018	< 8		128		(36,4)	
Zschopau, Töpel, Döbel, 19BI0019	< 8		19,8		(22,2)	

Ergebnisse als ng/g Frischgewicht. Werte in Klammern liegen zwischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze (> NG, < BG). Werte unterhalb der NG sind als < Nachweisgrenzen-Konzentration angegeben. Messserie 2, Herbst 2020. # Probe doppelt extrahiert und gemessen.

Autoren: Georg Radermacher, Dr. Heinz Rüdel; Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (Fraunhofer IME); Auf dem Aberg 1, 57392 Schmallenberg

Redaktion: Sylvia Rohde; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Abteilung 4; Referat 44; Telefon: 0351 8928-4401; E-Mail: Sylvia.Rohde@smul.sachsen.de; Redaktionsschluss: 15.02.2021; www.ifulg.sachsen.de

4 Zusammenfassung

Für die Untersuchung wurde eine validierte Methode zur Quantifizierung der cVMS D4, D5 und D6 eingesetzt (RADERMACHER et al., 2020). Bei der Durchführung der Analysen wurden Qualitätssicherungsproben mitgemessen, die die Richtigkeit und Validität der Untersuchungen belegen.

Oberhalb der Bestimmungsgrenzen wurde in den Proben vorwiegend D5 nachgewiesen. D4 war in einigen Proben im Bereich zwischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze zu finden. Nur in einer Probe lag die D4-Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze (Mulde, Wurzeln 18BI0022, 2018; 15,4 ng/g Frischgewicht). In dieser Probe wurde auch eine hohe D5-Belastung gefunden (145 ng/g Frischgewicht).

Höhere D5-Belastungen wurden vor allem in Fischen aus der Elbe gefunden (insbesondere im Jahr 2019, bis zu 510 ng/g Frischgewicht; Tabelle 3), aber auch in der Zschopau (in Barben 2019: 128 ng/g Frischgewicht).

Die D6-Konzentrationen lagen immer unter der Nachweis- und/oder Bestimmungsgrenze. Allerdings lagen Nachweis- und Bestimmungsgrenze für D6 aufgrund von nicht vermeidbaren Laborblindwerten auch etwas höher als bei D4 und D5.

Insgesamt liegen die gefundenen Belastungen in der Größenordnung, die auch in den Filets von Brasseln aus der Umweltprobenbank für die Elbe bei Prossen und Zehren gefunden wurden (RADERMACHER et al., 2020). Auch hier war die Belastung der Fischfilets mit D5 am höchsten (Zehren 2017: 150 ng/g Frischgewicht).

Eine mögliche Einordnung der Belastungen der Fische bieten nationale Umweltqualitätsnormen, die in Schweden für D4 und D5 abgeleitet und im Jahr 2019 dort in Kraft gesetzt wurden (SAHLIN AND ÅGERSTRAND, 2018a; SAHLIN AND ÅGERSTRAND, 2018b; SWEDISH MARINE AND WATER AUTHORITY, 2018). Die Ableitung erfolgte gemäß dem in der EU-Wasserrahmenrichtlinie vorgesehenen Verfahren unter Berücksichtigung der relevanten Schutzziele (pelagische und benthische Organismen, menschliche Gesundheit/Fischverzehr, Sekundärvergiftung von Prädatoren). Die Sekundärvergiftung von Rauborganismen erwies sich sowohl für D4 als auch für D5 als das empfindlichste Schutzgut. Als Umweltqualitätsnorm wurde für beide Stoffe jeweils eine Fischbelastung von 833 ng/g Frischgewicht abgeleitet. Die relevante Matrix für die Bewertung der Sekundärvergiftung von Prädatoren ist allerdings der gesamte Fisch, während hier nur das Filet untersucht wurde. Da sich die unpolaren cVMS bevorzugt in fettreichen Geweben anreichern, könnte die Belastung ganzer Fische, aufgrund deren höherer Fettgehalte, höher liegen als die in den hier untersuchten Filets.

Alle nachgewiesenen Belastungen der untersuchten Fischfilets lagen für D4 und D5 unterhalb der entsprechenden schwedischen Umweltqualitätsnormen. Die höchsten Konzentrationen wiesen Bleie aus der Elbe auf (Pieschen 2019, 19BI0003; 510 ng/g Frischgewicht).

Autoren: Georg Radermacher, Dr. Heinz Rüdell; Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (Fraunhofer IME); Auf dem Aberg 1, 57392 Schmallenberg

Redaktion: Sylvia Rohde; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Abteilung 4; Referat 44; Telefon: 0351 8928-4401; E-Mail: Sylvia.Rohde@smul.sachsen.de; Redaktionsschluss: 15.02.2021; www.lfulg.sachsen.de

Literaturverzeichnis

- BORGÅ K, FJELD E, KIERKEGAARD A, MCLACHLAN MS (2012): Food web accumulation of cyclic siloxanes in Lake Mjosa, Norway. *Environ Sci Technol*; 46: 6347 – 6354.
- DIN 32645 (2008): Chemische Analytik - Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen - Begriffe, Verfahren, Auswertung Beuth Verlag, Berlin.
- KIERKEGAARD A, BIGNERT A, MCLACHLAN MS (2013): Bioaccumulation of decamethylcyclopentasiloxane in perch in Swedish lakes. *Chemosphere*; 93: 789 – 793.
- MCGOLDRICK DJ, CHAN C, DROUILLARD KG, KEIR MJ, CLARK MG, BACKUS SM (2014): Concentrations and trophic magnification of cyclic siloxanes in aquatic biota from the Western Basin of Lake Erie, Canada. *Environ Pollut*; 186: 141 – 148.
- RADERMACHER G, RÜDEL H, WESCH C, BÖHNHARDT A, KOSCHORRECK J (2020): Retrospective analysis of cyclic volatile methylsiloxanes in archived German fish samples covering a period of two decades. *Sci Total Environment*; 706: 136011.
- SAHLIN S, ÅGERSTRAND M (2018a): Decamethylcyclopentasiloxane (D5) EQS data overview. ACES Report 23. Department of Environmental Science and Analytical Chemistry (ACES), Stockholm University. <https://www.aces.su.se/aces/wp-content/uploads/2018/10/D5-EQS-data-overview-2018.pdf>, 22.12.2020
- SAHLIN S, ÅGERSTRAND M (2018b): Octamethylcyclotetrasiloxane (D4) EQS data overview. ACES Report 22. Department of Environmental Science and Analytical Chemistry (ACES), Stockholm University, Stockholm. <https://www.aces.su.se/aces/wp-content/uploads/2018/10/D4-EQS-data-overview-2018.pdf>, 22.12.2020
- SWEDISH MARINE AND WATER AUTHORITY (2018): Regulations on amendments to the Marine and Water Authority regulations (HVMFS 2013: 19) on classification and environmental quality standards for surface water. HVMFS 2018:17 (in Schwedisch). <https://www.havochvatten.se/download/18.73800df2167072a23ab1d6f8/1542205426676/HVMFS%202018-17-ev.pdf>, 22.12.2020

Autoren: Georg Radermacher, Dr. Heinz Rüdell; Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (Fraunhofer IME); Auf dem Aberg 1, 57392 Schmallenberg

Redaktion: Sylvia Rohde; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Abteilung 4; Referat 44; Telefon: 0351 8928-4401; E-Mail: Sylvia.Rohde@smul.sachsen.de; Redaktionsschluss: 15.02.2021; www.lfulg.sachsen.de