



Muschelschadstoffmonitoring: Trends 2002 bis 2021



Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	2
2	Einleitung	3
3	Vorgehensweise	4
4	Ergebnisse	7
4.1	Quecksilber	9
4.2	Cadmium	10
4.3	Blei	10
4.4	Fluoranthen	11
4.5	Benzo(a)pyren	11
4.6	Pentachlorbenzol	12
4.7	Hexachlorbenzol	13
4.8	Hexachlorbutadien	13
4.9	Perfluorooctansulfonsäure	14
4.10	Hexachlorcyclohexan	14
4.11	Dicofol	15
4.12	Quinoxifen	15
4.13	Zusammenfassende Übersicht zur Trendermittlung	15
5	Literatur	16

1 Zusammenfassung

Das bayerische Muschelschadstoffmonitoring ist ein aktives Monitoring zur Ermittlung der stofflichen Belastung von Oberflächengewässern. Seit mehr als 20 Jahren werden Dreikantmuscheln aus dem Starnberger See für jeweils ein halbes Jahr in Fließgewässern exponiert. Die Muscheln werden vorher und nachher auf ihren Schadstoffgehalt im Weichkörper untersucht. Abgesehen von der Überwachung von Umweltqualitätsnormen liefert das Programm Erkenntnisse über die zeitlichen Veränderungen der Schadstoffbelastung in den Oberflächengewässern, insbesondere unterhalb von Altlastenflächen oder Industriestandorten.

Die auswertbaren Datensätze der sieben Wasserrahmenrichtlinie-Trendmonitoringstellen zeigten in keinem Fall signifikant steigende Trends, hingegen signifikant fallende Trends für Fluoranthen an Donau, Isar, Naab und Regnitz sowie zusätzlich für Hexachlorbenzol (HCB) und für Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) an der Regnitz (Tab. 1). Auch an keiner der weiteren Probenahmestelle wurden steigende Trends für die Gehalte von Blei und der für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie überwachten organischen Schadstoffe Fluoranthen, Benzo(a)pyren, Pentachlorbenzol, Hexachlorbenzol, Hexachlorbutadien und Perfluorooctansulfonsäure im Muschelweichkörper nachgewiesen. Signifikant fallende Trends wurden an den meisten weiteren Probenahmestellen für Fluoranthen nachgewiesen, an zwei Stellen für Quecksilber.

Trendbetrachtungen für Hexachlorcyclohexan, Dicofol und Quinoxifen waren nicht möglich, da hier die Gehalte im Muschelweichkörper immer kleiner als die Bestimmungsgrenze waren. Für Benzo(a)pyren, Pentachlorbenzol, Hexachlorbutadien und Perfluorooctansulfonsäure waren Trendberechnungen aus dem gleichen Grund nur an den Probenstellen möglich, die früher erhöhte Belastungen aufwiesen.

Für die Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber waren Trendberechnungen nur eingeschränkt möglich, da die Muscheln nach der Exposition in den Fließgewässern oftmals keine höheren Gehalte aufwiesen als die Besatzmuscheln aus dem Starnberger See und bereits in den Besatzmuscheln steigende Trends für Quecksilber und Cadmium ermittelt wurden. Daher ist es sinnvoll, Trendberechnungen für diese Elemente in Schwebstoffen durchzuführen, sobald ein ausreichender Datensatz zur Verfügung steht.

Tab. 1: Berechnung von Schadstofftrends im Weichkörper von *Dreissena polymorpha* an Probenahmestellen des bayerischen Muschelschadstoffmonitorings. Es bedeuten: ↑ signifikant steigender Trend; ↓ signifikant fallender Trend; ↔ kein signifikanter Trend nachweisbar; x keine Trendberechnung möglich; kursiv: Trendmonitoringstellen nach Wasserrahmenrichtlinie

Einzelstoff ----- Probenahmestelle	Quecksilber	Cadmium	Blei	Fluoranthen	Pentachlorbenzol	Hexachlorbenzol	Hexachlorbutadien	Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	Benzo(a)pyren Hexachlorcyclohexan Dicofof Quinoxifen
Starnberger See, Garatshausen	↑	↑	↔	↔	x	x	x	x	x
Donau, Günzburg	x	x	↔	↓	x	↔	x	x	x
Lech, Feldheim	↓	x	↔	↓	x	↔	x	x	x
Donau, Abbach	x	x	x	↔	x	↔	x	x	x
<i>Naab, Heitzenhofen</i>	x	↔	↔	↓	x	↔	x	x	x
<i>Isar, Altheim</i>	x	x	↔	↓	x	↔	x	↔	x
Alz Burgkirchen	x	x	↔	↔	x	x	x	x	x
Alz, Gendorf	↔	x	↔	↓	x	↔	x	x	x
Alz, Hohenwart	↓	x	↔	↓	x	↔	x	x	x
Alzkanal, rechtsufrig	↔	x	x	↓	↔	↔	↔	x	x
Alzkanal, linksufrig	↔	x	x	↓	↔	↔	↔	x	x
<i>Inn, Simbach</i>	x	↔	↔	↔	x	↔	↔	x	x
<i>Donau, Jochenstein</i>	x	x	x	↓	x	↔	↔	x	x
<i>Main, Hallstadt</i>	x	x	x	↔	x	x	x	x	x
<i>Regnitz, Hausen</i>	x	x	x	↓	x	↓	x	↓	x
Main, Wipfeld	x	x	↔	↓	x	↔	x	x	x
<i>Main, Kahl</i>	x	x	x	↔	x	x	x	x	x

2 Einleitung

Das Muschelschadstoffmonitoring ist seit mehr als 20 Jahren Teil der Gewässerüberwachung in Bayern. Es dient der Erfassung von Schadstoffen, die sich in Lebewesen (Biota) anreichern und aufgrund ihrer geringen oder stark schwankenden Konzentration im Wasser nur in Biotaproben mit vertretbarem Aufwand überwacht werden können. Die Entwicklung der Schadstoffbelastung unterhalb einiger Altlastenflächen und Industriestandorte wird über das Muschelschadstoffmonitoring dokumentiert. Wenn an einer Probenahmestelle auffällige Stoffgehalte in den Muscheln gemessen werden, wird die Ursache ermittelt, um gegebenenfalls einen Schadstoffeintrag ins Gewässer abzustellen. Auch die Erfolgskontrolle der eingeleiteten Maßnahmen erfolgt über das Muschelschadstoffmonitoring.

Das Muschelschadstoffmonitoring ist sowohl in der „EU-Wasserrahmenrichtlinie“ (WRRL) als auch in der „EU-Richtlinie über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik“ (UQN-RL) verankert und wird daher seit einigen Jahren EU-weit angewendet. Die Untersuchungsergebnisse werden für die Bewertung von See- oder Flusswasserkörpern nach WRRL herangezogen. In Muscheln sind nur zwei Stoffe verpflichtend zu überwachen. Werden deren Umweltqualitätsnormen (UQN) im Muschelweichkörper überschritten, ist der betreffende Abschnitt des Fließgewässers bzw. der See (Oberflächenwasserkörper = OWK) nicht in einem guten chemischen Zustand. Die UQN für Fluoranthren liegt bei 30 µg/kg Frischgewicht (FG), die für Benzo(a)pyren bei 5 µg/kg FG. Die weiteren für Lebewesen (Biota) festgelegten UQN werden in Fischen überwacht und gelten nicht für Muscheln.

Ebenso ist nach UQN-RL für einige Stoffe ein Trendmonitoring durchzuführen, um die zeitliche Entwicklung von Schadstoffgehalten zu erheben. Hierzu werden regelmäßig Proben von den sieben sogenannten Trendmonitoringstellen nach einem immer gleichen Vorgehen untersucht. Bayern hat sich entschieden, das Trendmonitoring für Pentachlorbenzol, Hexachlorbenzol, Hexachlorbutadien, Perfluorooctansulfonsäure, Hexachlorcyclohexan, Dicofol und Quinoxifen nur in Muscheln durchzuführen, da hier zum Teil bereits Datenreihen seit 2002 vorliegen. Das Trendmonitoring für Fluoranthren, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (unter anderem Benzo(a)pyren), Blei, Cadmium und Quecksilber wird bisher sowohl in Muscheln als auch in Schwebstoffen durchgeführt. Sobald genügend Ergebnisse aus dem Schwebstoffmonitoring vorliegen, werden auch hier Trendauswertungen durchgeführt.

Im Laufe der Jahre wurde das Analysenspektrum mehrmals an die sich verändernden Anforderungen angepasst. Derzeit werden in den Muschelproben sowohl eine Reihe von Elementen als auch verschiedene organische Verbindungen untersucht. Die Analyseergebnisse ab dem Jahr 2012 sind im „Gewässerkundlichen Dienst Bayern“ (www.gkd.bayern.de) veröffentlicht.

In den Ergebniskapiteln dieses Berichts (4.1 bis 4.12) sind die Eigenschaften der einzelnen Stoffe kurz beschrieben. Weitergehende Informationen finden sich z. B. in den Stoffdatenblättern des Umweltbundesamtes bei Hillenbrand et al. (2007) und Tettenborn et al. (2014). Kapitel 4.13 enthält eine zusammenfassende Übersicht zu den Trends der einzelnen Stoffe.

3 Vorgehensweise

Das Muschelschadstoffmonitoring ist ein aktives Monitoring, d. h. die Tiere werden für einen bestimmten Zeitraum in einem Gewässer exponiert und anschließend auf ihren Schadstoffgehalt untersucht. Die in Bayern genutzten Muscheln gehören zur Art *Dreissena polymorpha* (Dreikant- oder Wandermuschel) und werden kurz vor der Exposition von Tauchern im Starnberger See gesammelt. Zwischen 2002 und 2007 kamen sie aus dem Bereich bei Starnberg, seit 2008 werden sie bei Garatshausen entnommen. Da *D. polymorpha* eine nicht einheimische, invasive Art ist, wird sie nur an solchen Gewässern für das Monitoring verwendet, in welche sie bereits vorher eingewandert ist. Die Muschelexposition erfolgt im Frühjahr (meist April) und im Herbst (meist Oktober) für jeweils ein halbes Jahr. Circa 200 Muscheln einer einheitlichen Größenklasse von ca. 20 mm Länge werden hierzu mit einigen kleinen Steinen als Anheftungssubstrat in Netze gefüllt. Diese Netze werden in einem Lochblechzylinder befestigt, der mit einem Stahlseil am Ufer verankert ist (Abb. 1).

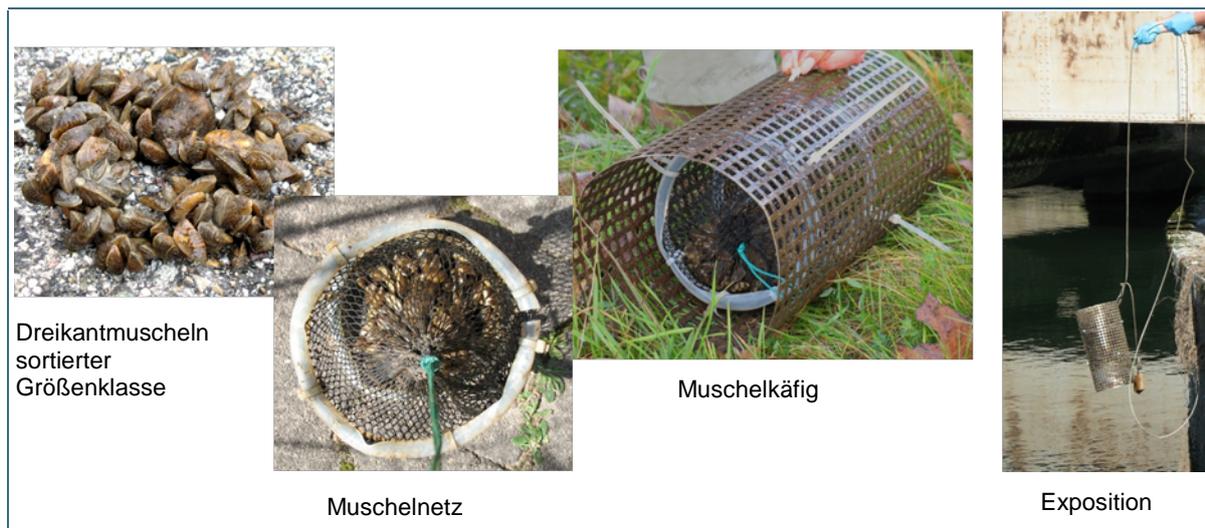


Abb. 1: Muschelexposition im Rahmen des bayerischen Muschelschadstoffmonitorings

Der Zustand der exponierten Muscheln wird regelmäßig kontrolliert. In einigen Fällen fielen die exponierten Muscheln leider dem Vandalismus zum Opfer oder verendeten vorzeitig. Daher konnten schon mehrfach von manchen Stellen keine Muscheln untersucht werden. Falls bei einer Kontrolle auffällt, dass schon viele Muscheln verendet sind, werden die restlichen Muscheln daher nach einer etwas kürzeren Expositionszeit aus dem entsprechenden Gewässer entnommen, um diese noch für die Analytik einsetzen zu können.

Die aus dem Starnberger See entnommenen Muscheln werden ebenso behandelt und untersucht wie die in den Fließgewässern exponierten Muscheln. Das Monitoring am Starnberger See ist kein aktives, sondern ein passives Monitoring, da Muscheln untersucht werden, die im See aufgewachsen sind. Die Untersuchungsergebnisse werden wie die Ergebnisse der anderen Probenahmestellen ausgewertet und dienen zusätzlich zur Überprüfung von Vorbelastungen.

Sind die Stoffgehalte in den Besatzmuscheln (Muscheln aus dem Starnberger See) höher oder etwa gleich hoch wie nach der Exposition im Fließgewässer, so hat während der Exposition keine nennenswerte Anreicherung an der jeweiligen Probenahmestelle stattgefunden. Daher kann in diesen Fällen keine Trendberechnung durchgeführt werden.

Werden für einzelne Stoffgehalte bereits in den Besatzmuscheln Trends festgestellt, so können gleichgerichtete Trends nach der Exposition auch auf die Ausgangsbelastung der Muscheln zurückzuführen sein und bilden nicht zwingend die Belastung an der Probenahmestelle nach der Exposition ab. Daher wurden in diesen Fällen auch Trendberechnungen für die Zunahme des Stoffgehaltes während des Expositionszeitraumes durchgeführt (Gehalt am Ende des Expositionszeitraumes minus Vorbelastung). Ein Trend wäre nur dann sicher dem Expositionszeitraum zuzuordnen, wenn auch die Zunahme des Stoffgehaltes während des Expositionszeitraumes einen signifikanten Trend aufweist, also wenn die Steigung der Trendlinie nach der Exposition deutlich steiler ist als vor der Exposition.

Die Trendanalysen wurden nach den Vorgaben der Oberflächengewässerverordnung 2016 (OGewV) durchgeführt. Aus den beiden Einzelwerten eines Jahres (Frühjahrs- und Herbstprobenahme) wurde der Median gebildet. Bei zwei Werten entspricht der Median dem arithmetischen Mittelwert. Jahre mit nur einem Messwert wurden hierbei nicht berücksichtigt, da die Stoffgehalte im Muschelweichkörper im Frühjahr normalerweise deutlich höher sind als im Herbst. Werte kleiner der Bestimmungsgrenze (BG) wurden mit der halben BG in die Medianberechnung einbezogen. In den Abbildungen 7 bis 9 und 11 ist für Werte $< BG$ die halbe Bestimmungsgrenze dargestellt. Waren Mediane aus mindestens fünf Jahren

verfügbar, wurden diese mittels Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung getestet. Lag eine Normalverteilung vor, wurde die Trendanalyse mittels linearer Regression (t-Test) durchgeführt. War dies nicht der Fall, wurde der Mann-Kendall-Test angewendet. Falls eine Trendberechnung auf Basis der Mediane nicht möglich war, wurden getrennte Trendberechnungen für die Frühjahrs- und Herbstserie durchgeführt.

Immer wenn im folgenden Text der Begriff Trend verwendet wird, handelt es sich dabei um einen statistisch signifikanten Trend, also die statistisch nachgewiesene Zu- oder Abnahme des Schadstoffgehalts in den Muscheln im Untersuchungszeitraum. Die Trendlinie wird dann als durchgezogene Linie dargestellt. Sofern die statistische Auswertung (noch) keinen Trend bestätigt, ist keine Linie dargestellt.

Ein signifikanter Trend liefert keine Aussage darüber, ob es sich um eine geringe oder starke Zu- oder Abnahme der Schadstoffgehalte handelt und ob das Belastungsniveau gering oder hoch ist. Ein signifikanter Trend bedeutet nur, dass die Unterschiede zwischen den Messergebnissen wahrscheinlich nicht zufallsbedingt sind.

Alle Probenahmestellen des Monitoringprogramms, für die zumindest Messergebnisse aus fünf Jahren vorliegen, sind in Tab. 2 aufgelistet. Abb. 2 gibt einen Überblick zur Lage dieser Probenahmestellen. Weitere Probenahmestellen werden im Rahmen des überblicksmäßigen Monitorings alle drei Jahre untersucht. Von diesen Stellen liegen jedoch derzeit noch nicht genügend Ergebnisse für Trendberechnungen vor, so dass diese Ergebnisse nicht im vorliegenden Bericht enthalten sind.

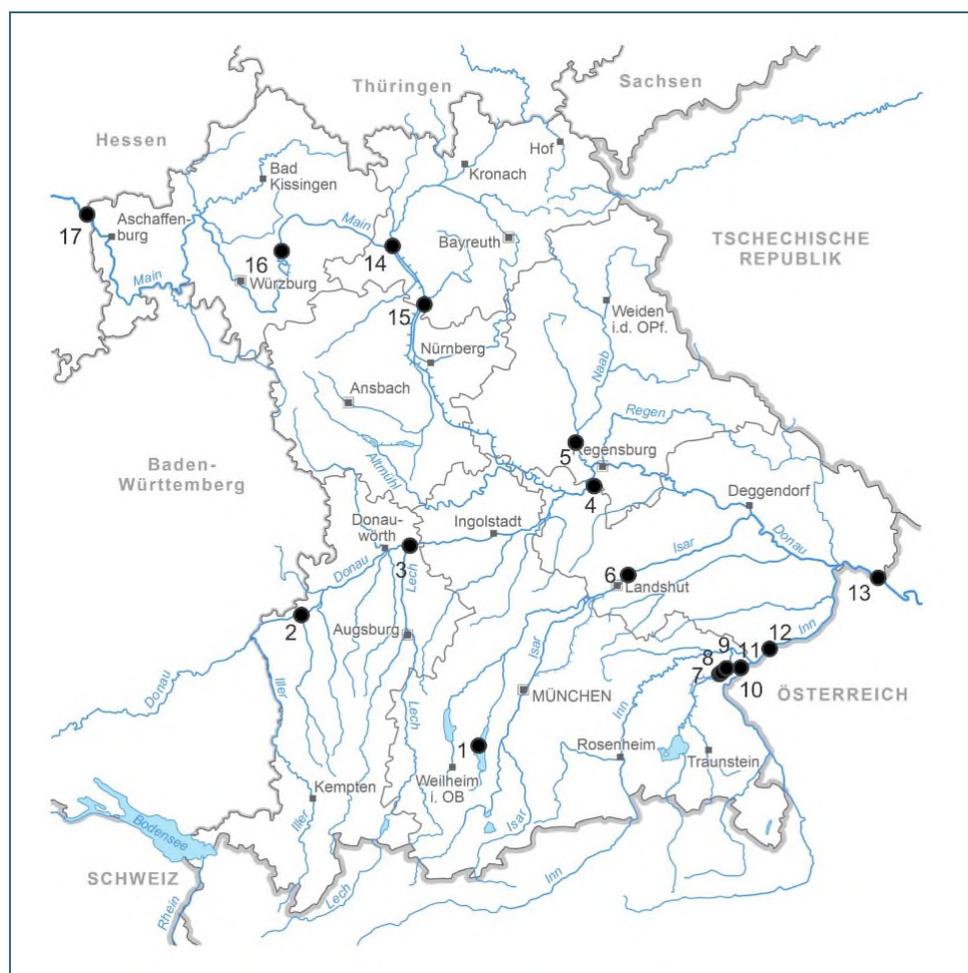


Abb. 2:
 Jährlich untersuchte Probenahmestellen des bayerischen Muschelschadstoffmonitorings:

- 1: Starnberger See
- 2: Donau, Günzburg
- 3: Lech, Feldheim
- 4: Donau, Abbach
- 5: Naab, Heitzenhofen
- 6: Isar, Altheim
- 7: Alz, Burgkirchen
- 8: Alz, Gendorf
- 9: Alz, Hohenwart
- 10: Alzkanal, Neuhofen, rechtsufrig
- 11: Alzkanal, Neuhofen, linksufrig
- 12: Inn, Simbach
- 13: Donau, Jochenstein
- 14: Main, Hallstadt
- 15: Regnitz, Hausen
- 16: Main, Wipfeld
- 17: Main, Kahl

Tab. 2: Jährlich untersuchte Probenahmestellen des bayerischen Muschelschadstoffmonitorings. Die kursiv gekennzeichneten Probenahmestellen werden für das Trendmonitoring nach WRRL herangezogen.

Regierungsbezirk	Gewässer	Probenahmestelle	seit	Nr. in Karte
Flussgebiet Donau				
Oberbayern	Starnberger See	Garatshausen	2009	1
Schwaben	Donau	Günzburg, oberhalb Kraftwerk	2002	2
Schwaben	Lech	Feldheim, oberhalb Kraftwerk	2002	3
Niederbayern	Donau	Bad Abbach, Pegel	2002	4
<i>Oberpfalz</i>	<i>Naab</i>	<i>Heitzenhofen, Pegel</i>	<i>2002</i>	<i>5</i>
<i>Niederbayern</i>	<i>Isar</i>	<i>Altheim, oberhalb Kraftwerk</i>	<i>2002</i>	<i>6</i>
Oberbayern	Alz	Burgkirchen, Pegel	2012	7
Oberbayern	Alz	unterhalb Chemiepark Gendorf	2012	8
Oberbayern	Alz	Hohenwart, alte Brücke / Emmerting	2002	9
Oberbayern	Alzkanal, rechtsufrig	Neuhofen, unterhalb Kraftwerk	2002	10
Oberbayern	Alzkanal, linksufrig	Neuhofen, unterhalb Kraftwerk	2002	11
<i>Niederbayern</i>	<i>Inn</i>	<i>Simbach / Ering, oberhalb Kraftwerk</i>	<i>2002</i>	<i>12</i>
<i>Niederbayern</i>	<i>Donau</i>	<i>Jochenstein, oberhalb Kraftwerk</i>	<i>2002</i>	<i>13</i>
Flussgebiet Main / Rhein				
<i>Oberfranken</i>	<i>Main</i>	<i>Hallstadt, Brücke</i>	<i>2002</i>	<i>14</i>
<i>Oberfranken</i>	<i>Regnitz</i>	<i>Hausen, Messstation</i>	<i>2002</i>	<i>15</i>
Unterfranken	Main	Wipfeld, oberhalb Kraftwerk	2002	16
<i>Unterfranken</i>	<i>Main</i>	<i>Kahl, Messstation</i>	<i>2009</i>	<i>17</i>

4 Ergebnisse

In allen oder zumindest einem Teil der Muschelproben konnten die Gehalte von Fluoranthen, Benzo(a)pyren, Pentachlorbenzol, Hexachlorbenzol, Hexachlorbutadien, Perfluorooctansulfonsäure, Blei, Cadmium und Quecksilber bestimmt werden. Die Gehalte von Hexachlorcyclohexan, Dicofol und Quinoxifen waren in keiner der untersuchten Muschelproben quantifizierbar, da sie unter der jeweiligen analytischen Bestimmungsgrenze lagen.

Im Gegensatz zu den meisten untersuchten organischen Schadstoffen kommen Fluoranthen sowie Cadmium, Blei und Quecksilber auch natürlicherweise in der Umwelt vor. Daher können sie auch in den Muscheln aus dem Starnberger See nachgewiesen werden, die als Besatzmuscheln in den Fließgewässern verwendet werden. Bei diesen Schadstoffen sind die Gehalte nach der Exposition in einem Fließgewässer deshalb immer auch vor dem Hintergrund der Vorbelastung der Besatzmuscheln zu betrachten. Eine sichere Aussage zum Trend im jeweiligen Fließgewässer ist daher nur möglich, wenn der Gehalt während der Exposition zunimmt.

Die Entnahmestelle für die Muscheln aus dem Starnberger See wurde im Jahr 2007 von Starnberg nach Garatshausen verlegt. Eine Betrachtung von Trends ist in Muscheln aus dem Starnberger See daher erst ab 2008 möglich. Die Verlegung der Entnahmestelle verringerte die Vorbelastung der Besatzmuscheln mit Cadmium.

Die Fluoranthengehalte waren in Muscheln aus dem Starnberger See immer niedriger als an den anderen Probenahmestellen. Trendberechnungen mit den Messwerten aus den exponierten Muscheln sind daher uneingeschränkt möglich. Die Bleigehalte in den Besatzmuscheln waren hingegen nicht in allen Fällen niedriger als in den Muscheln nach der Exposition. Trendberechnungen für Bleigehalte sind daher nicht an allen Probenstellen und für alle Zeiträume möglich.

Die Gehalte von Fluoranthren und Blei in den Besatzmuscheln aus dem Starnberger See selbst nahmen weder signifikant zu noch ab, auch wenn die Gehalte für Fluoranthren augenscheinlich abnehmen (Abb. 3).

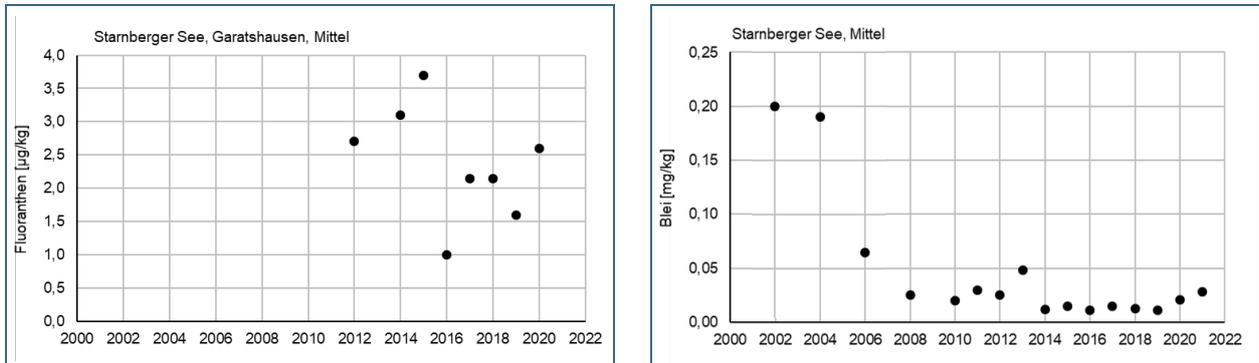


Abb. 3: Mittlerer jährlicher Fluoranthen- und Bleigehalt im Weichkörper von Dreikantmuscheln aus dem Starnberger See bei Starnberg (bis 2006) und Garatshausen (ab 2008)

Die Gehalte von Cadmium und Quecksilber in Besatzmuscheln aus dem Starnberger See bei Garatshausen waren etwa gleich hoch oder niedriger wie an den anderen untersuchten Probenahmestellen. Allerdings wurden steigende Trends ermittelt (Abb. 4), durch welche ebenfalls steigende Trends in den Muscheln nach der Exposition in den Fließgewässern bedingt sein können. Die Ursache der steigenden Trends in den Muscheln aus dem Starnberger See (Abb. 4) ist bisher ungeklärt. Diese Trends müssen nicht durch ansteigende Konzentrationen im Seewasser bedingt sein, sondern können auch durch klimatische oder ökologische Veränderungen verursacht sein, welche den Muschelstoffwechsel oder die Freisetzung dieser Stoffe aus dem Sediment beeinflussen. (Anmerkung: Steigende Trends für Cd und Hg im Muschelweichkörper werden auch ermittelt, wenn nur die Jahre 2013 bis 2020 betrachtet werden. Im Seewasser sind die die Konzentrationen für Cadmium und Quecksilber immer < BG)

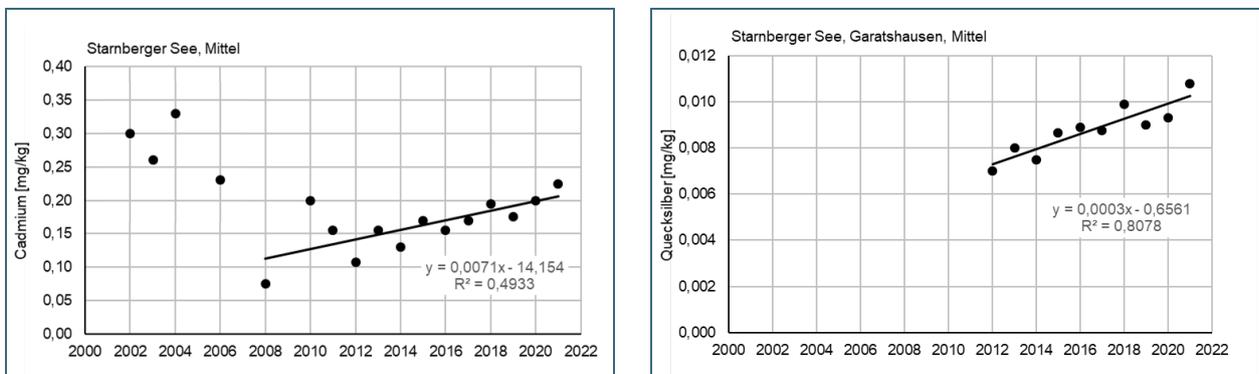


Abb. 4: Mittlerer jährlicher Cadmium- und Quecksilbergehalt im Weichkörper von Dreikantmuscheln aus dem Starnberger See bei Starnberg (bis 2006) und Garatshausen (ab 2008)

An einigen Probenahmestellen wiesen die Muscheln ähnlich niedrige Cadmium- und Quecksilbergehalte auf wie im Starnberger See: Nur an zwei Probenahmestellen wurde Cadmium während der Muschelexposition angereichert. In Muscheln von sechs Probenstellen nahmen die Quecksilbergehalte während der Exposition im Fließgewässer nicht zu. Trendberechnungen für Cadmium- und Quecksilbergehalte sind daher nicht an allen Stellen und für alle Zeiträume möglich.

Aufgrund der eingeschränkten Verwendbarkeit der Ergebnisse aus dem Muschelschadstoffmonitoring bei der Trendermittlung für Blei, Cadmium und Quecksilber ist es deshalb unumgänglich, die Trends für diese Schwermetalle in Schwebstoffen zu berechnen, sobald ein ausreichender Datensatz von fünf Jahren aus dem Schwebstoffmonitoring zur Verfügung steht.

4.1 Quecksilber

Quecksilber (Hg) ist ein toxisches und (in Form von Methylquecksilber) bioakkumulierendes Schwermetall, dessen Verwendung aufgrund internationaler Vereinbarungen (z. B. Minamata-Übereinkommen, EU-Gemeinschaftsstrategie für Quecksilber) und resultierender europäischer Regelungen, z. B. durch die EU-Quecksilberverordnung (2017/852 vom 17.05.2017) deutlich eingeschränkt wurde. Die in Deutschland eingesetzten Mengen sind rückläufig. Quecksilber kann lange (> 1 Jahr) in der Atmosphäre verbleiben und daher über weite Strecken in der Luft verfrachtet werden. Es wird mit dem Regen teilweise ausgewaschen und so oftmals in die Böden und Gewässer weit entfernter Regionen eingetragen. Aufgrund von Anwendungsbeschränkungen und emissionsmindernden Maßnahmen z. B. bei Kraftwerken sind auch die atmosphärischen Quecksilberkonzentrationen in Europa rückläufig. Bis in die ersten Jahre des 21. Jahrhunderts wurde Hg in großen Mengen auch an drei bayerischen Standorten in der Chloralkali-elektrolyse nach dem Amalgamverfahren verwendet, was zu lokalen Einträgen in Gewässer führte. Gewässersedimente sind in der Regel eine relevante Quelle für die Aufnahme von Hg durch Gewässerorganismen.

In den einzelnen Muschelweichkörperproben der Jahre 2002 bis 2021 betrug der Quecksilbergehalt zwischen < 0,002 und 0,410 mg/kg FG. Der höchste Messwert von 0,410 mg/kg FG wurde an der Alz unterhalb des Werks Gendorf im Frühjahr 2013 ermittelt, der mittlere Hg-Gehalt an dieser Probenahmestelle betrug 0,083 mg/kg FG (2012 – 2021). Die BG konnte im Laufe der Untersuchungsjahre von 0,01 mg/kg FG auf 0,002 mg/kg FG gesenkt werden. Die Berechnung eines Medians über den gesamten Untersuchungszeitraum ist nicht möglich, da viele Messwerte etwa bei 0,01 oder 0,02 mg/kg FG liegen. Daher ist auch die Trendauswertung der gesamten Zeitreihe seit 2002 nur für wenige Stellen an Alz, Alzkanal und Lech durchführbar, die aufgrund vergangener lokaler Emissionen erhöhte Belastungen aufweisen. Für die meisten Stellen wurden Trends ab 2012 berechnet, da ab 2012 eine einheitliche BG von 0,002 mg/kg FG erreicht wurde.

Die niedrigsten Gehalte von 0,008 bis 0,010 mg/kg FG im Mittel wurden in den letzten zehn Jahren (2012 bis 2021) in Muscheln aus dem Starnberger See, sowie der Donau bei Günzburg, Bad Abbach und Jochenstein, der Naab sowie dem Main bei Kahl und Wipfeld gemessen. Abgesehen vom Starnberger See waren daher an diesen Stellen keine Trendauswertungen möglich. An allen anderen Expositionsstellen reicherten die Muscheln Hg an, so dass dort Trendauswertungen möglich waren.

Signifikant abnehmende Hg-Gehalte im Muschelgewebe konnten an den belasteten Probenahmestellen an der Alz bei Hohenwart und am Lech (Abb. 5) nachgewiesen werden. Diese Stellen liegen unterhalb von Industriestandorten, an welchen bis Anfang des 21. Jahrhunderts das Amalgamverfahren (Chloralkali-Elektrolyse) verwendet und dadurch Hg in die Gewässer eingeleitet wurde. Sie geben daher keine Anhaltspunkte, ob die Quecksilbergehalte in Muscheln auch an Stellen abnehmen, die nicht durch Altlasten oder ehemalige Direkteinleitungen belastet sind.

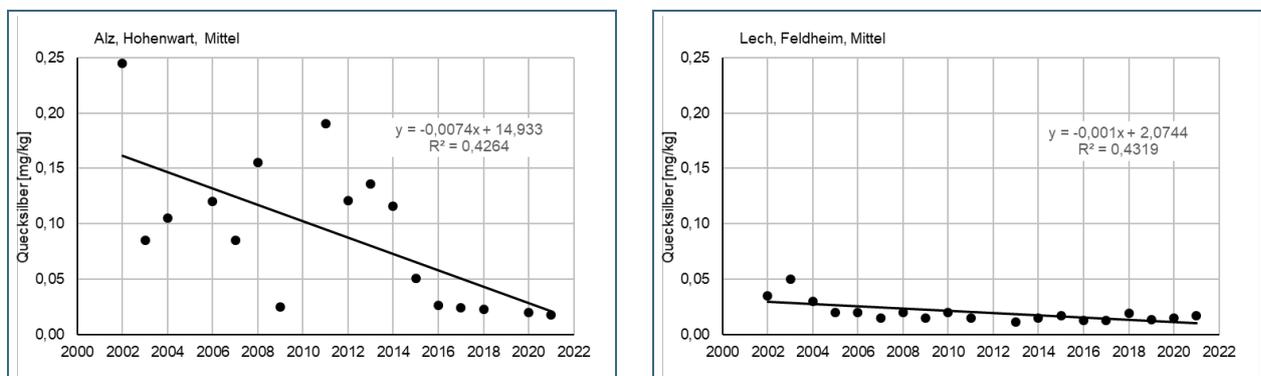


Abb. 5: Mittlerer jährlicher Quecksilbergehalt im Weichkörper von Dreikantmuscheln an den Probenahmestellen Alz bei Hohenwart und Lech bei Feldheim

Aufgrund zunehmender Hg-Gehalte in den Besatzmuscheln (Abb. 4) können steigende Trends nach der Exposition auch auf die Ausgangsbelastung der Muscheln zurückzuführen sein und bilden nicht zwingend die Belastung an der Probenahmestelle ab. Daher wurden auch Trendberechnungen für die Zunahme des Hg-Gehaltes während des Expositionszeitraumes (Hg-Gehalt am Ende des Expositionszeitraumes minus Vorbelastung) durchgeführt. An keiner der untersuchten Probenahmestellen wies diese Zunahme des Hg-Gehaltes in den Muscheln einen positiven Trend auf (Die Steigungen der Trendlinien waren nicht signifikant unterschiedlich). Die steigenden Trends in Muschelproben aus der Isar, der Alz bei Burgkirchen, dem Inn und dem Main bei Hallstadt sind daher vermutlich durch die steigenden Gehalte in den Besatzmuscheln bedingt.

4.2 Cadmium

Cadmium (Cd) ist ein toxisches, bioakkumulierendes Schwermetall. Wegen seiner hohen Toxizität nimmt die Verwendung in Deutschland ab. Seit Dezember 2011 ist es in Schmuck, Legierungen zum Lötten und in PVC in der Europäischen Union verboten. Die wichtigste aktuelle Verwendung ist der Einsatz in Batterien. Die Emissionen sind seit 1985 deutlich zurückgegangen.

In den Jahren 2002 bis 2021 betrug der Cd-Gehalt in den Muschelweichkörpern zwischen 0,03 und 0,85 µg/kg FG. Der Median lag bei 0,15 µg/kg FG. An der Naab bei Heitzenhofen wurden in den letzten zehn Jahren (2012 bis 2021) die höchsten Cd-Gehalte in Muscheln festgestellt. Sie sind mit hoher Wahrscheinlichkeit geogen bedingt. Der mittlere Cd-Gehalt betrug dort 0,35 mg/kg FG (Maximum 0,85 µg/kg FG, Frühjahr 2004). Die niedrigsten Gehalte von 0,10 mg/kg FG im Mittel wurden in diesem Zeitraum in Muscheln aus dem Lech gemessen und nicht in den Muscheln aus dem Starnberger See (0,17 mg/kg FG). Dies bedeutet, dass die exponierten Muscheln Cadmium weder am Lech, aber auch an kaum einer anderen Probenahmestelle anreicherten, sondern eher abgaben. Nur in den Muscheln aus Naab und Inn wurde Cadmium ab 2008 jeweils während des Expositionszeitraumes angereichert. In den Jahren davor gaben die exponierten Muscheln auch an diesen Stellen Cadmium ab. Trendberechnungen sind daher nur für den Starnberger See, sowie Naab und Inn ab 2008 möglich.

An den Trendmonitoringstellen an Naab und Inn, waren keine Trends der mittleren Cd-Gehalte im Muschelweichkörper nachweisbar. Die Ursache des steigenden Trends in den Muscheln aus dem Starnberger See (Abb. 4) ist bisher ungeklärt.

4.3 Blei

Blei (Pb) ist ein toxisches, bioakkumulierendes Schwermetall. Der Verbrauch ist stark von der Konjunktur in der Automobilindustrie abhängig, da etwa 60 Prozent des Weltbedarfs auf die Produktion von Starterbatterien entfallen. Die in Deutschland eingesetzten Mengen – besonders wichtige aktuelle Verwendungen sind Akkumulatoren, Halbzeug und Pigmente – nehmen leicht zu. Die Emissionen sind dagegen seit 1985 deutlich zurückgegangen.

Der Bleigehalt in den Muschelweichkörperproben betrug in den Jahren 2002 bis 2021 zwischen < 0,01 und 0,76 µg/kg FG (Main bei Wipfeld, Herbst 2015). Der Median lag bei 0,07 µg/kg FG. In Muscheln aus Naab und Inn wurden in den letzten zehn Jahren (2012 bis 2021) mit 0,2 mg/kg FG die höchsten mittleren Bleigehalte festgestellt. Sie sind mit hoher Wahrscheinlichkeit geogen bedingt. In diesem Zeitraum wurden die niedrigsten mittleren Gehalte mit 0,02 mg/kg FG in Muscheln aus dem Starnberger See bei Garatshausen gemessen.

Insbesondere die Besatzmuscheln von der Entnahmestelle bei Starnberg wiesen oftmals höhere Bleigehalte auf, als die Muscheln nach der Exposition im Fließgewässer. Abgesehen von der Probenreihe vom Starnberger See bei Garatshausen konnten nur für folgende Zeiträume und Probenstellen Trendberechnungen durchgeführt werden:

- ab 2009: Naab, Inn
- ab 2010: Main bei Wipfeld
- ab 2016: Donau bei Günzburg, Lech, Isar, Alz, sowie Regnitz Frühjahrsreihe

Wie in den Muscheln aus dem Starnberger See (Abb. 3) wurden auch in keiner dieser Probenreihen Trends für Bleigehalte nachgewiesen.

4.4 Fluoranthen

Fluoranthen ist wie Benzo(a)pyren ein Stoff aus der Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK). PAK sind in Steinkohleteer und Rohöl enthalten und entstehen bei natürlichen und anthropogenen Verbrennungsprozessen. In der Atmosphäre liegt Fluoranthen sowohl gasförmig als auch partikelgebunden vor. Gasförmiges Fluoranthen kann unter UV-Licht abgebaut werden, wohingegen partikelgebundenes Fluoranthen durch Nass- und Trockendeposition in Böden und Gewässer gelangen kann. Es besitzt ein hohes Bioakkumulationspotenzial und ist in der Umwelt schwer abbaubar.

Der Fluoranthengehalt wurde ab 2012 in den Muschelweichkörperproben untersucht. Er betrug zwischen < 2 und 68 µg/kg FG (Alzkanal linksufrig, Frühjahr 2014). Der Median lag bei 4,6 µg/kg FG. Am Alzkanal bei Neuhoften wurde die UQN von 30 µg/kg FG für Fluoranthen an der Probenahmestelle am linken Ufer zeitweise überschritten (Abb. 6). Der Trend an dieser Probenahmestelle war im Untersuchungszeitraum fallend. Ab 2017 wurde die UQN auch dort eingehalten.

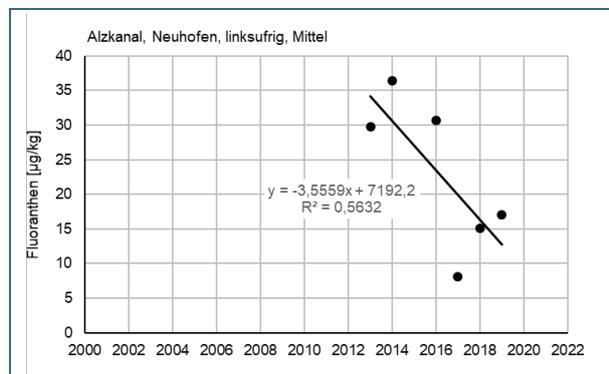


Abb. 6: Mittlerer jährlicher Fluoranthengehalt im Weichkörper von Dreikantmuscheln an der Probenahmestelle Alzkanal bei Neuhoften, linksufrig

An keiner der untersuchten Probenahmestellen nahm der mittlere Fluoranthengehalt im Muschelweichkörper während des Untersuchungszeitraumes zu. Fallende Trends waren hingegen an 11 der insgesamt 17 untersuchten Probenahmestellen bzw. an vier (Naab, Isar, Donau und Regnitz) der sieben WRRL-Trendmonitoringstellen zu verzeichnen.

4.5 Benzo(a)pyren

Benzo(a)pyren ist wie Fluoranthen ein Stoff aus der Gruppe der PAK. Die höchsten Emissionen an PAK gehen naturgemäß in die Luft - nach einer Abschätzung für die Referenzsubstanz Benzo(a)pyren mehr als 45 % durch Hausfeuerungen und etwa 20 % durch Industrieanlagen. Benzo(a)pyren liegt dabei an Feinstaubpartikel gebunden vor. In Böden und Gewässer gelangt es über Trocken- und Nassdeposition. Benzo(a)pyren ist toxisch und besitzt ein hohes Bioakkumulationspotenzial.

Der Benzo(a)pyrengengehalt in den Muschelweichkörperproben betrug in den Jahren 2012 bis 2021 zwischen < 2 und 58 µg/kg FG (Alzkanal linksufrig, Frühjahr 2014). Die BG konnte im Laufe der Untersuchungsjahre von 10 µg/kg FG auf 2 µg/kg FG gesenkt werden. In 7% der untersuchten Proben konnten

Benzo(a)pyrengelalte größer der jeweiligen BG gemessen werden. Nur an den Probenahmestellen am rechten und linken Ufer des Alzkanals wurden regelmäßig Gehalte > BG gemessen, was Trendberechnungen ermöglicht. Der Trend an diesen Probenahmestelle war im Untersuchungszeitraum in den Frühjahrsproben fallend (Abb. 7). Trendberechnungen für die Herbstprobenserie oder das Jahresmittel konnten nicht durchgeführt werden, da hierfür nur Daten aus drei Jahren vorlagen.

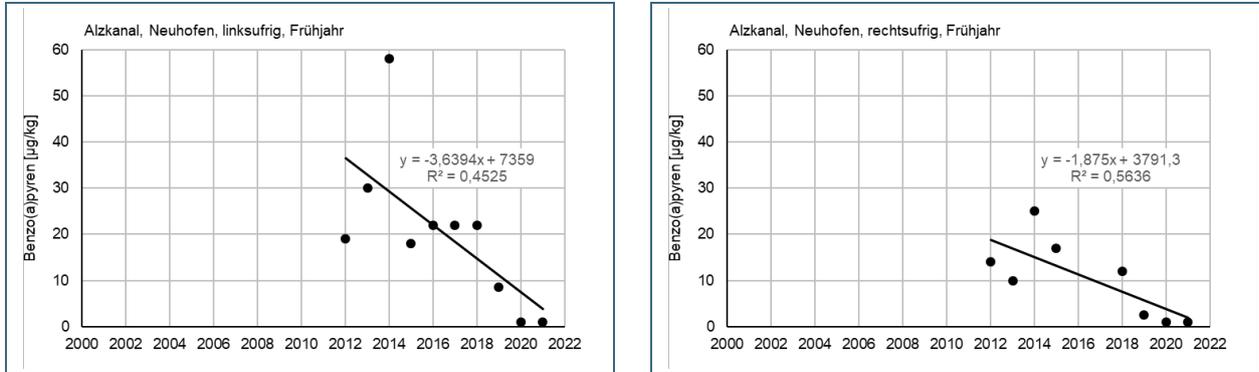


Abb. 7: Benzo(a)pyrengelalt im Frühjahr im Weichkörper von Dreikantmuscheln an der Probenahmestelle Alzkanal bei Neuhausen. Werte < BG sind als 1 µg/kg FG = ½ Bestimmungsgrenze in die Berechnung eingegangen bzw. dargestellt.

Am Alzkanal bei Neuhausen wurde die UQN von 5 µg/kg FG für Benzo(a)pyren in Muschelgewebe zeitweise überschritten (Linksufrig zwischen 2012 und 2019, rechtsufrig zwischen 2012 und 2018). Seit 2020 wurden keine UQN-Überschreitungen mehr an dieser Stelle beobachtet.

4.6 Pentachlorbenzol

Pentachlorbenzol (PeCB) ist eine toxische, bioakkumulierende, organische Verbindung. In Deutschland und Europa wurde PeCB als Ausgangsprodukt für die Herstellung von Pflanzenschutzmitteln eingesetzt. Die Anwendung dieses Pflanzenschutzmittels ist in Deutschland seit 1992 vollständig verboten. Aufgrund der geringen Abbaubarkeit und Immobilität ist dieser Stoff noch in Altlasten nachzuweisen.

In den Muschelweichkörperproben betrug der PeCB-Gehalt in den Jahren 2002 bis 2021 zwischen < 0,2 und 0,8 µg/kg FG (Alzkanal rechtsufrig, Frühjahr 2014). In 6% der untersuchten Proben konnten PeCB-Gehalte > BG gemessen werden. Nur an den Probenahmestellen am Alzkanal wurden regelmäßig Gehalte > BG gemessen, so dass Trendberechnungen möglich waren. Es waren jedoch keine Trends nachweisbar (Abb. 8).

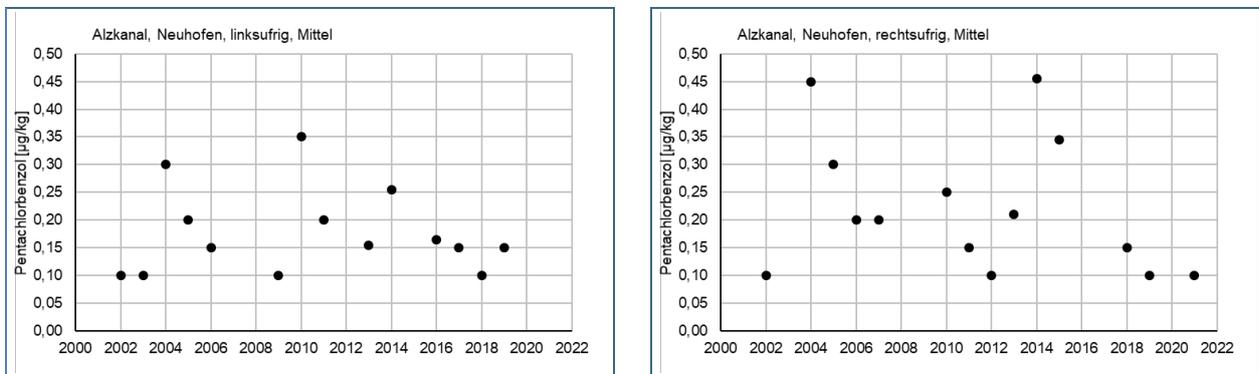


Abb. 8: Mittlerer jährlicher Pentachlorbenzolgehalt im Weichkörper von Dreikantmuscheln an der Probenahmestelle Alzkanal bei Neuhausen. Werte < BG sind als 0,1 µg/kg FG = ½ Bestimmungsgrenze in die Berechnung eingegangen bzw. dargestellt.

4.7 Hexachlorbenzol

Hexachlorbenzol (HCB) ist eine toxische, bioakkumulierende Verbindung. Es ist chemisch sehr stabil und praktisch nicht abbaubar. Aufgrund des hohen Dampfdrucks ist HCB in der Umwelt mobil und verbreitet sich ubiquitär. In Deutschland wird HCB nicht mehr gezielt eingesetzt, auch ist die Produktion seit 1993 eingestellt. Teilweise fällt es als Neben- oder Abfallprodukt bei der Herstellung von verschiedenen organischen Verbindungen, insbesondere von chlorierten Lösungsmitteln und Pestiziden, an.

Der HCB-Gehalt in den Muschelweichkörperproben betrug in den Jahren 2002 bis 2021 zwischen $< 0,2$ und $14 \mu\text{g}/\text{kg}$ FG (Alz bei Hohenwart, Frühjahr 2010). In 42% der untersuchten Proben konnten HCB-Gehalte $> \text{BG}$ gemessen werden.

An vier von 17 untersuchten Stellen (Starnberger See, Alz bei Burgkirchen, Main bei Hallstadt und bei Kahl) waren keine Trendberechnungen möglich, da die Messwerte in der Regel $< \text{BG}$ waren. An keiner der untersuchten Probenahmestellen nahm der HCB-Gehalt im Muschelweichkörper während des Untersuchungszeitraumes signifikant zu. Signifikant abnehmend war der mittlere HCB-Gehalt im Muschelgewebe nur an der Trendmonitoringstelle an der Regnitz (Abb. 9).

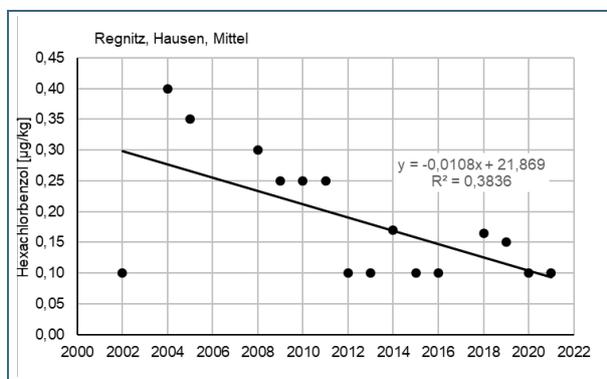


Abb. 9: Mittlerer jährlicher Hexachlorbenzolgehalt im Weichkörper von Dreikantmuscheln an der Probenahmestelle Regnitz bei Hausen. Werte $< \text{BG}$ sind als $0,1 \mu\text{g}/\text{kg}$ FG = $\frac{1}{2}$ Bestimmungsgrenze in die Berechnung eingegangen bzw. dargestellt.

4.8 Hexachlorbutadien

Hexachlorbutadien (HCBd) ist eine toxische, bioakkumulierende organische Verbindung. Aufgrund seines relativ hohen Dampfdrucks ist HCBd in der Umwelt mobil und ubiquitär verbreitet. In Deutschland wird HCBd nicht hergestellt und nicht verwendet. Es kann allerdings als Neben- oder Abfallprodukt bei einigen chemischen Produktions- und Verbrennungsprozessen entstehen.

In den Jahren 2002 bis 2021 konnten HCBd-Gehalte $> \text{BG}$ von $0,2 \mu\text{g}/\text{kg}$ nur in den Muschelproben unterhalb einer großen Altlastenfläche bei Burghausen, die seit Jahren aufwendig saniert wird, gemessen werden. Der maximal gemessene Gehalt betrug $29 \mu\text{g}/\text{kg}$ FG (Alzkanal linksufrig, Frühjahr 2014). Da der Eintrag in den Alzkanal und die Salzach nicht vollständig gestoppt, sondern nur stark vermindert ist, sind im Alzkanal selbst und unterhalb im Inn und in der Donau bei Jochenstein HCBd-Belastungen in Muscheln nachweisbar, so dass auch Trendberechnungen durchgeführt werden konnten.

An keiner dieser Probenahmestellen nahm der mittlere HCBd-Gehalt im Muschelweichkörper während des Untersuchungszeitraumes signifikant zu. In der Herbstprobenserie der Muscheln des linken Alzkanalufers (Abb. 10), das direkt an die Altlastenfläche angrenzt, nahm der HCBd-Gehalt signifikant ab. In der Frühjahrsserie und im Jahresmittel war dieser Trend nicht nachweisbar.

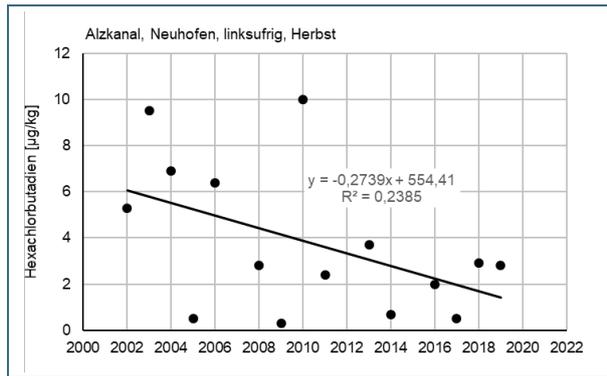


Abb. 10:
Hexachlorobutadiengehalt im Herbst im Weichkörper von Dreikantmuscheln an der Probenahmestelle Alzkanal bei Neuhofen, linksufrig

4.9 Perfluorooctansulfonsäure

Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) ist eine synthetische Substanz und kommt nicht natürlich vor. Sie wird seit den 1950er-Jahren produziert und fand in vielen Bereichen Anwendung: in Löschschäumen, der Industrie (z. B. Galvanik, Foto- und Halbleiterindustrie) sowie in Haushalten (z. B. Imprägnierungsmittel für Teppiche und Möbelleder, Beschichtung für Papiere). Nachdem PFOS weltweit in Menschen und anderen Lebewesen nachgewiesen wurde, entschied sich der weltweit größte PFOS-Hersteller 3M im Jahr 2000 für einen freiwilligen stufenweisen Rückzug aus der Produktion und Nutzung von PFOS bis zum Ende des Jahres 2002. Diese Unternehmensentscheidung bewirkte einen erheblichen Rückgang der Nutzung von PFOS in der EU. Seit 2009 ist die Anwendung von PFOS EU-weit erheblich beschränkt, von Deutschland wurde im Jahr 2015 letztmalig eine PFOS-Produktion von 9 Tonnen gemeldet.

Der PFOS-Gehalt wurde in den Muschelweichkörperproben der Trendmonitoringstellen ab 2006 untersucht. Er betrug zwischen $< 0,5$ und $6,1 \mu\text{g/kg}$ FG. In 40 % der untersuchten Proben konnten PFOS-Gehalte $> \text{BG}$ gemessen werden. An der Donau bei Jochenstein und am Main bei Hallstadt wurden in den Muschelproben immer PFOS-Gehalte $< \text{BG}$ gemessen.

Für den Inn, den Main bei Kahl und die Naab konnten Trendberechnungen durchgeführt werden, da zu wenige Messwerte $> \text{BG}$ vorlagen. Ausreichend viele Messwerte $> \text{BG}$ waren nur in den Probenserien aus der Regnitz und der Herbstprobenserie aus der Isar vorhanden. An der Isar war die Abnahme der PFOS-Gehalte im Muschelweichkörper nicht signifikant. Signifikant abnehmend waren die mittleren PFOS-Gehalte in Muscheln aus der Regnitz. (Abb. 11).

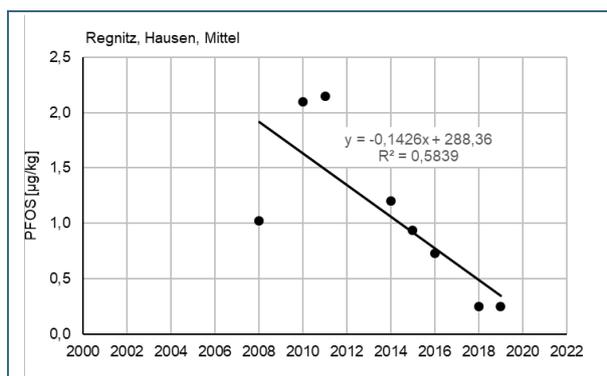


Abb. 11:
Mittlerer jährlicher Gehalt von Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) im Weichkörper von Dreikantmuscheln an der Probenahmestelle Regnitz bei Hausen. Werte $< \text{BG}$ sind als $0,25 \mu\text{g/kg}$ FG = $\frac{1}{2} \text{BG}$ in die Berechnung eingegangen bzw. dargestellt.

4.10 Hexachlorcyclohexan

Gamma-Hexachlorcyclohexan (γ -HCH) ist ein Insektizid. Bei seiner Herstellung entsteht nicht nur das für die insektizide Wirkung verantwortliche γ -HCH-Isomer, sondern auch ca. 85 % andere Isomere (α -HCH, β -HCH, δ -HCH, ϵ -HCH). Als Lindan bezeichnet man das Produkt, das zu mindestens 99 % aus γ -HCH besteht. Seit 1949 wurde Lindan in zahlreichen Anwendungen vor allem als Kontaktinsektizid in Land- und Forstwirtschaft sowie als Biozid im Haushalt und in Holzschutzmitteln eingesetzt. In Europa ist die Verwendung als Pflanzenschutzmittel seit 2002 nicht mehr zugelassen.

Ab 2012 wurde der HCH-Gehalt im Muschelweichkörper untersucht. Die α -, β -, γ - und δ -, Isomere von HCH wurden in keiner der untersuchten Muschelgewebeproben mit Gehalten über der Bestimmungsgrenze von 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG detektiert. Auch in Fischmuskulatur oder -leberproben aus dem bayerischen Schadstoffmonitoring liegen nahezu keine Ergebnisse $>$ BG vor, so dass auch in diesen Medien kein Trendmonitoring möglich ist.

4.11 Dicofol

Dicofol ist ein gesundheitsgefährdendes und hormonell wirksames Pestizid auf Basis von DDT. Die Verwendung und das Inverkehrbringen von Dicofol sind in der EU bereits seit 1991 eingestellt oder sehr stark eingeschränkt.

Der Dicofolgehalt wurde ab 2012 in Muschelgewebe bestimmt, wobei in keiner der untersuchten Proben Gehalte über der BG von 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG nachgewiesen wurden. Dies gilt ebenfalls für die untersuchten Fischmuskulatur- oder -leberproben.

4.12 Quinoxifen

Quinoxifen ist ein Fungizid zur Bekämpfung von Pilzbewuchs an der Getreide- und Traubenernte. Seit 2020 darf es in Deutschland nicht mehr verwendet werden. Da die Auftragung auf den Boden durch Aufsprühen erfolgte, konnte es hierbei durch Abflüsse zu Einträgen in die Gewässer kommen. Auch die Auswaschung kontaminierter Böden und Sedimente stellt eine potentielle Eintragsquelle dar.

Der Quinoxifengehalt wurde in den Muschelweichkörperproben ab 2012 analysiert, aber in keiner der untersuchten Proben mit Gehalten über der BG von 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG detektiert. Auch in Proben aus dem Fischschadstoffmonitoring liegen keine Ergebnisse $>$ BG vor.

4.13 Zusammenfassende Übersicht zur Trendermittlung

In Tab. 3 sind die Ergebnisse der Trendanalysen des Muschelschadstoffmonitorings zusammengefasst. Die Trendanalysen wurden nach den Vorgaben der Oberflächengewässerverordnung 2016 (OGewV) durchgeführt. Dementsprechend wurden für die Trendermittlung die Mediane der einzelnen Untersuchungsjahre herangezogen.

Die auswertbaren Datensätze zeigen in zwei Fällen steigende Trends sowie in 15 Fällen fallende Trends.

Für die Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber waren Trendberechnungen nur eingeschränkt möglich, da die Muscheln nach der Exposition in den Fließgewässern teilweise niedrigere Gehalte aufwiesen als die Besatzmuscheln aus dem Starnberger See und bereits in den Besatzmuscheln steigende Trends für Quecksilber und Cadmium ermittelt wurden.

Für Benzo(a)pyren lagen die Messwerte an den Probenahmestellen am Alzkanal zwar größtenteils über der BG, es lagen aber noch keine fünf Messjahre mit Ergebnissen aus der Frühjahrs- und Herbstbeprobung vor. Daher konnte hier keine Trendermittlung für das Jahresmittel durchgeführt werden.

Für viele der untersuchten Stoffe konnten an den meisten Probenahmestellen keine Trendberechnungen durchgeführt werden, da mehr als 50 % der Jahresmittelwerte $<$ BG waren.

Tab. 3: Berechnung von Schadstofftrends im Weichkörper von *Dreissena polymorpha* an Probenahmestellen des bayerischen Muschelschadstoffmonitorings. Es bedeuten: ↑ signifikant steigender Trend; ↓ signifikant fallender Trend; ↔ kein signifikanter Trend nachweisbar; << alle Messwerte kleiner Bestimmungsgrenze; < mehr als 50 % der Messwerte kleiner Bestimmungsgrenze; x keine Trendberechnung möglich; kein Eintrag: keine Analysendaten verfügbar

Einzelstoff ----- Probenahmestelle	Quecksilber	Cadmium	Blei	Fluoranthen	Benzo(a)pyren	Pentachlorbenzol	Hexachlorbenzol	Hexachlorbutadien	Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	Hexachlorcyclohexan	Dicofol	Quinoxifen
Starnberger See, Garatshausen	↑	↑	↔	↔	<<	<<	<<	<<		<<	<<	<<
Donau, Günzburg	x	x	↔	↓	<<	<<	↔	<<		<<	<<	<<
Lech, Feldheim	↓	x	↔	↓	<	<<	↔	<<		<<	<<	<<
Donau, Abbach	x	x	x	↔	<<	<	↔	<		<<	<<	<<
Naab, Heitzenhofen	x	↔	↔	↓	<	<<	↔	<<	<	<<	<<	<<
Isar, Altheim	x	x	↔	↓	<<	<<	↔	<<	↔	<<	<<	<<
Alz Burgkirchen	x	x	↔	↔	<<	<<	<	<<		<<	<<	<<
Alz, Gendorf	↔	x	↔	↓	<<	<<	↔	<<		<<	<<	<<
Alz, Hohenwart	↓	x	↔	↓	<<	<	↔	<<		<<	<<	<<
Alzkanal, rechtsufrig	↔	x	x	↓	x	↔	↔	↔		<<	<<	<<
Alzkanal, linksufrig	↔	x	x	↓	x	↔	↔	↔		<<	<<	<<
Inn, Simbach	x	↔	↔	↔	<<	<	↔	↔	<	<<	<<	<<
Donau, Jochenstein	x	x	x	↓	<<	<	↔	↔	<<	<<	<<	<<
Main, Hallstadt	x	x	x	↔	<<	<<	<	<<	<<	<<	<<	<<
Regnitz, Hausen	x	x	x	↓	<<	<<	↓	<<	↓	<<	<<	<<
Main, Wipfeld	x	x	↔	↓	<<	<<	↔	<<		<<	<<	<<
Main, Kahl	x	x	x	↔	<<	<<	<	<<	<	<<	<<	<<

5 Literatur

Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.], 2013. Bayerisches Fisch- und Muschel-Schadstoffmonitoring. UmweltSpezial, Augsburg, 62 S + Anhang 205 S. - Download 18.4.2023 [https://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=eshop&DIR=eshop&ACTIONxSETVAL\(artdtl.htm,APGxNO-DENR:3774,AARTxNR:lfu_all_00114,AARTxNODENR:310860,USERxBODYURL:artdtl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG.ALLE:x\)=X](https://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=eshop&DIR=eshop&ACTIONxSETVAL(artdtl.htm,APGxNO-DENR:3774,AARTxNR:lfu_all_00114,AARTxNODENR:310860,USERxBODYURL:artdtl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG.ALLE:x)=X)

Hillenbrand, T.; Marscheider-Weidemann, F.; Strauch, M.; Heitmann, K.; Schaffrin, D. (2007): Emissionsminderung für prioritäre und prioritäre gefährliche Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie – Stoffdatenblätter, UBA Texte 29/07, ISSN 1862-4804, 483 S. Download 18.4.2023 <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3312.pdf>

Oberflächengewässerverordnung (OGewV) vom 20. Juni 2016 (BGBl. 2016 I, Nr. 28, 1373-1443). Download 18.4.2023 https://www.gesetze-im-internet.de/ogewv_2016/OGewV.pdf

Tettenborn, F.; Hillenbrand, T. (2014): Neue prioritäre/prioritär gefährliche Stoffe der Richtlinie 2013/39/EU des Europäischen Parlaments und des Rates - Stoffdatenblätter – Download 18.4.2023 www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3709_67_219_emissionen_anhang_g_bf.pdf

Verordnung (EU) 2017/852 des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2017 über Quecksilber und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1102/2008 – Download 18.4.2023

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0852&from=DE>

Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Telefon: 0821 9071-0
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung

LfU, Georgia Buchmeier

Bildnachweis

LfU, Georgia Buchmeier

Stand

Juni 2023

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 0 89 12 22 20 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.