

# Vergleich der EU-Umweltqualitätsnorm (UQN) für Quecksilber in biologischen Matrices mit der Belastungssituation in deutschen Oberflächengewässern – Stand der Belastung und Vorschläge für Handlungsoptionen

von

Jörg Wellmitz (Umweltbundesamt, Fachgebiet II 2.5)

## 1. Ausgangssituation

Die Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 (UQN-Richtlinie) fordert die Einhaltung einer Umweltqualitätsnorm (UQN) für Quecksilber und Quecksilberverbindungen in Biota in Höhe von 20 µg/kg Frischgewicht. Dabei soll unter Fischen, Weichtieren, Krebstieren und anderen Biota der geeignetste Indikator ausgewählt werden. Dieser Grenzwert dient dem Schutz höherer Lebewesen (Säugetiere, Greifvögel) vor Vergiftung über die Nahrungskette („secondary poisoning“). Die Entwicklung der UQN basiert auf der von Lepper (2005) vorgeschlagenen Methodik [1]. Das Stoffdatenblatt für Quecksilber und seine Verbindungen, das die Grundlagen der Entwicklung der UQN dokumentiert, kann über die öffentliche Seite von CIRCA [2] bezogen werden.

Die Lebensmittelgrenzwerte als Höchstgehalte von Quecksilber in Fischen liegen für viele Fische um den Faktor 50 höher bei 1,0 mg/kg Frischgewicht<sup>1</sup>, für alle anderen immer noch um den Faktor 25 höher bei 0,5 mg/kg Frischgewicht. Die Unterschiede sind dadurch begründet, dass sich Otter und Seeadler fast ausschließlich von Fischen ernähren, der Mensch aber vergleichsweise und verhältnismäßig wesentlich weniger Fisch zu sich nimmt. Die Ernährungsgewohnheiten schlagen sich in der Höhe der Grenzwerte nieder.

Im vorliegenden Bericht wird die derzeitige Belastungssituation von Biota mit Hg ausführlich erörtert. Während die UQN in Fischen aus deutschen Binnengewässern flächendeckend deutlich überschritten wird, werden die Lebensmittelgrenzwerte für Quecksilber in Fischen in der Regel eingehalten, vereinzelt treten jedoch auch hier Überschreitungen der Höchstwerte auf. Als Datengrundlage wird auf die Analysenergebnisse der Umweltprobenbank des Bundes (UPB) zurückgegriffen. Aufbauend auf diesen Untersuchungen werden Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise gegeben.

## 2. Untersuchungsprogramm der Umweltprobenbank des Bundes (UPB)

Die UPB erhebt seit mehr als 15 Jahren Daten zu Quecksilber in Biota aus verschiedenen Fließgewässern und einem Binnensee sowie aus den Küstengewässern der Nord- und Ostsee in Deutschland.

Im Binnenbereich wird die Brasse (Brachse, Blei; *Abramis brama*) beprobt und zwar in der Altersklasse zwischen 8 und 12 Jahren. Brassens eignen sich aufgrund ihrer weiten Verbreitung

---

<sup>1</sup> Seeteufel, Steinbeißer, Barsch, Blauleng, Bonito, Echter Aal, Atlantischer Sägebauch, Grenadierfisch, Heilbutt, Langschwänziger Speerfisch, Hecht, Einfarb-Pelamide, Rochen, Rotbarsch, Pazifischer Fächerfisch, Haarschwänze, Haifisch, Buttermakrele, Schlangemakrele, Gemeiner Stör, Schwertfisch, Thunfisch

und der relativen Standorttreue gut als Bioindikator in Fließgewässern und Seen. Durch ihre regionale Nutzung als Speisefisch besteht auch ein direkter Bezug zur menschlichen Nahrungskette. Das Quecksilber wird in der Muskulatur analysiert.

Ferner untersucht die UPB in Binnengewässern die Dreikantmuschel (Wandermuschel, Zebromuschel; *Dreissena polymorpha*). Die Muschel dient als Nahrungsquelle für Fische, u.a. auch den Brassen. Selbst ernährt sie sich durch Filtration von Mikroorganismen aus dem Wasser und gehört damit zur Gruppe der Primärkonsumenten. Aufgrund ihrer weiten Verbreitung und der intensiven Exposition gegenüber Schadstoffen ist sie ein häufig verwendeter Organismus für passives und aktives Monitoring. Analysiert wird der gesamte Weichkörper adulter Muscheln im zweiten Lebensjahr mit ca. 15 bis 25 mm Schalenlänge.

Die Beprobungen der UPB in Binnengewässern umfassen insgesamt 17 Probenahmegebiete. Es sind fünf in der Elbe, vier im Rhein, zwei in der Saar, jeweils eine in den Elbe-Nebenflüssen Saale und Mulde und seit 2002 drei in der Donau. Als unbelastetes Referenzgewässer wird außerdem der Belauer See (Bornhöveder Seengebiet, Schleswig-Holstein) untersucht (siehe Abb. 1).

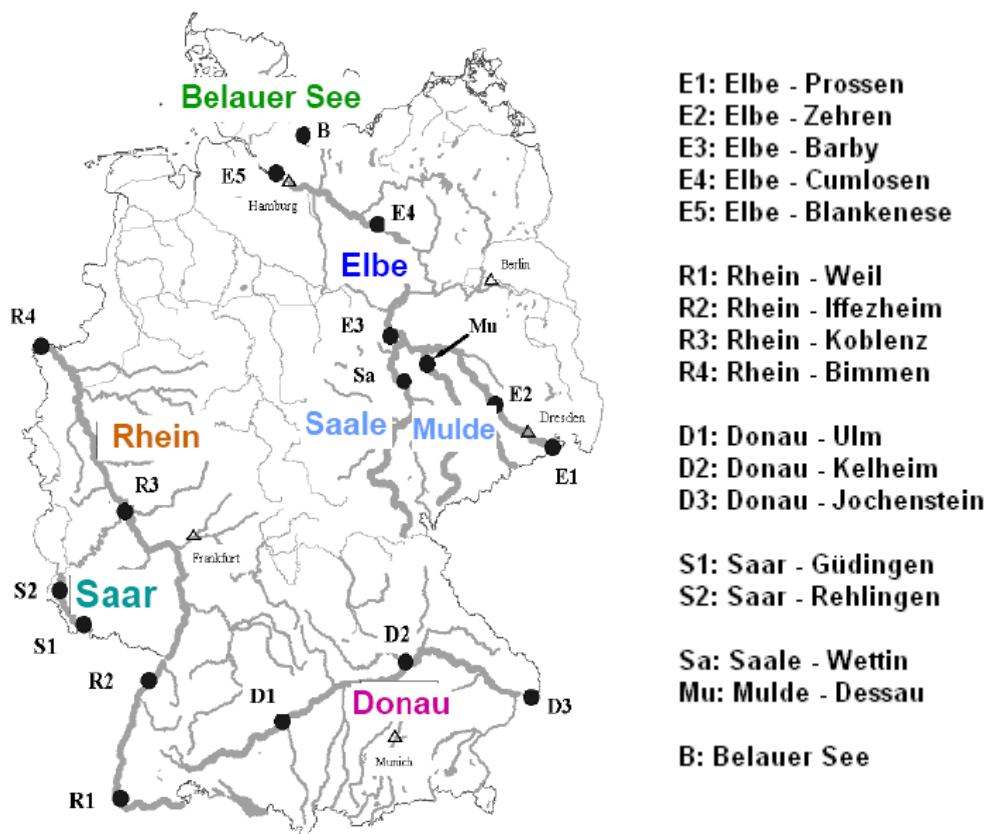
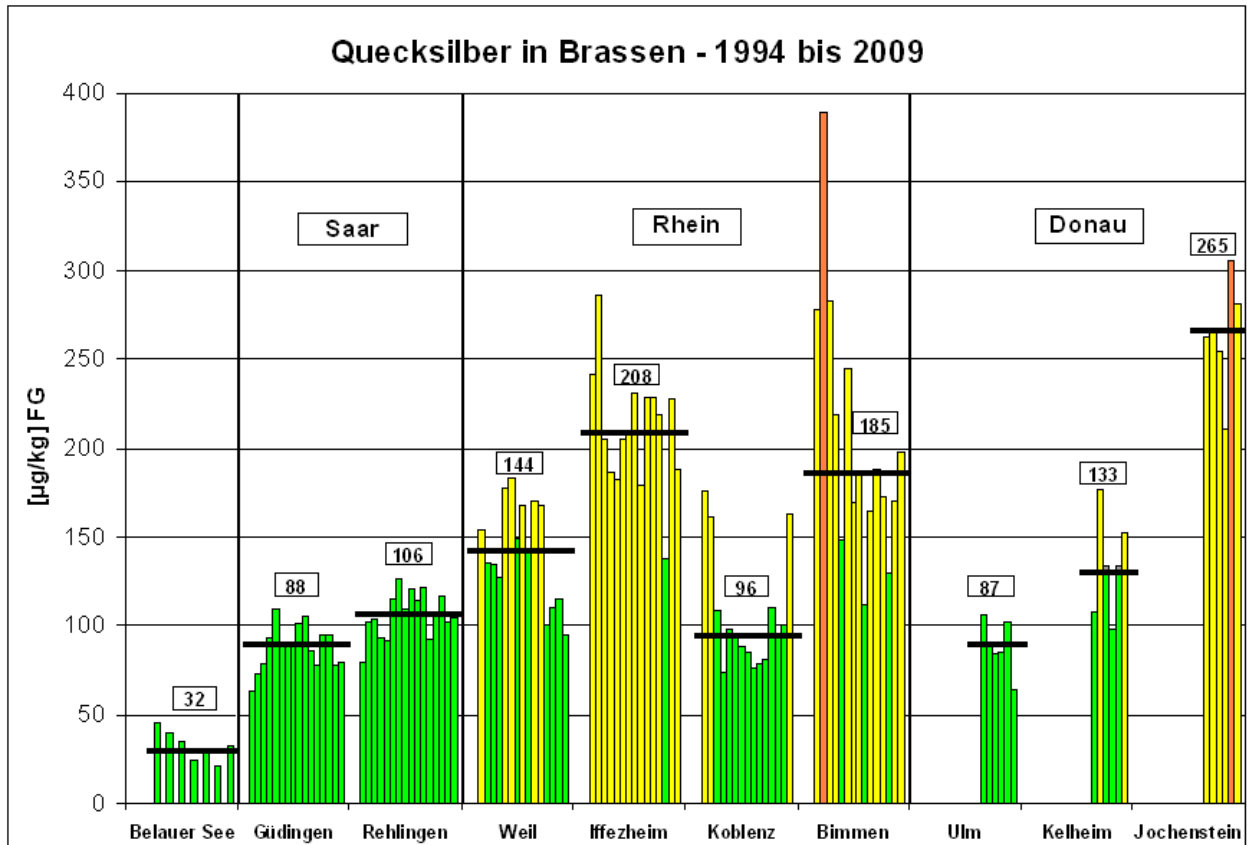


Abb. 1: Probenahmegebiete der Umweltprobenbank in Binnengewässern. Quelle der Grafik: Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie (IME), Schmallenberg

### 3. Quecksilbergehalte in Brassen

Die Quecksilbergehalte der Brassenproben zeigen zum Teil auffällige Konzentrationsunterschiede zwischen den einzelnen Probenahmestandorten. Die gemessenen Gehalte liegen jedoch alle mehr oder weniger deutlich oberhalb der UQN von 20 µg/kg Frischgewicht. Abbildung 2 stellt die Ergebnisse aus Belauer See, Saar, Rhein und Donau für den Zeitraum 1994 (Beginn der Untersuchungen) bis 2009 vergleichend dar. Die Originalangaben der UPB in µg/kg Trockengewicht wurden mit dem Faktor 0,2 in Frischgehalte (FG) umgerechnet (80 % Wassergehalt der Tiere).



Konzentrationsbereiche: < 20 20 – 150 150 – 300 300 – 500 > 500 [µg/kg] FG

Abb. 2: Graphische Darstellung der Quecksilbergehalte in Brassen aus Belauer See, Saar, Rhein und Donau für den Zeitraum 1994 bis 2009. Alle Angaben in µg/kg Frischgewicht. Waagerechte Balken und eingerahmte Zahlen = Mediane. Datenquelle: Umweltprobenbank

Ob und inwieweit die auftretenden Konzentrationsunterschiede zwischen den Standorten signifikant sind, lässt sich mit statistischen Testverfahren überprüfen. Die einzelnen Datenreihen wurden hierfür jeweils anhand des nichtparametrischen Mann-Whitney U-Tests (setzt keine bestimmte Verteilung der Daten voraus – ein sogenannter „robuster“ Test) und des klassischen Mittelwert-*t*-Tests (setzt formal eine Normalverteilung der Daten voraus, ist gegenüber Abweichungen hiervon jedoch ebenfalls recht unempfindlich) gegenübergestellt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Konzentrationsunterschiede zwischen den einzelnen Probenahmestellen zum Teil hochsignifikant sind (statistische Wahrscheinlichkeit für einen Unterschied mehr als 99,9 %), wobei die Ergebnisse für beide Tests gut übereinstimmen.

Tabelle 1: Statistische Wahrscheinlichkeit von Konzentrationsunterschieden zwischen den einzelnen Datenreihen „Quecksilber in Brassens – 1994 bis 2009“ (siehe Abb. 2) basierend auf dem nichtparametrischen Mann-Whitney U-Test (zweiseitig) bzw. einem klassischen Mittelwert-*t*-Test (unabhängige Stichproben, zweiseitig); jeweils obere Zeile: U-Test, untere Zeile: *t*-Test

P [%]	Güdingen	Rehlingen	Weil	Iffezheim	Koblenz	Bimmen	Ulm	Kelheim	Jochenstein
<b>Belauer See</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
<b>Güdingen</b>		> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 > 95	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
<b>Rehlingen</b>	> 99,9 > 99,9		> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9	> 95 > 95	> 95 > 99	> 99,9 > 99,9
<b>Weil</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9		> 99,9 > 99,9	> 99 > 99	> 99 > 99	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9
<b>Iffezheim</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9		> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99 > 99
<b>Koblenz</b>	< 95 > 95	< 95 < 95	> 99 > 99	> 99,9 > 99,9		> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9
<b>Bimmen</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99 > 99	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9		> 99,9 > 99,9	> 95 > 95	> 95 < 95
<b>Ulm</b>	< 95 < 95	> 95 > 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9		> 99 > 99	> 99 > 99,9
<b>Kelheim</b>	> 99,9 > 99,9	> 95 > 99	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 95 > 95	> 99 > 99		> 99 > 99,9
<b>Jochenstein</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99 > 99	> 99,9 > 99,9	> 95 < 95	> 99 > 99,9	> 99 > 99,9	

Klassifizierung:	nicht signifikant < 95%	signifikant > 95%	sehr signifikant > 99%	hochsignifikant > 99,9%
------------------	----------------------------	----------------------	---------------------------	----------------------------

Für einen Vergleich der Messungen aus Elbe und Saale/Mulde werden die betrachteten Messwerte vorerst auf den Zeitraum ab dem Jahr 2000 beschränkt (siehe Abbildung 3), da an diesen Standorten in den Jahren zuvor ein starker zeitlicher Trend vorliegt, der noch gesondert behandelt wird. Es ist zu erkennen, dass die durchschnittlichen Quecksilbergehalte der Brassen aus Elbe und Saale/Mulde, mit Ausnahme der Probenahmestelle Blankenese, deutlich oberhalb derer aus Rhein und Saar liegen.

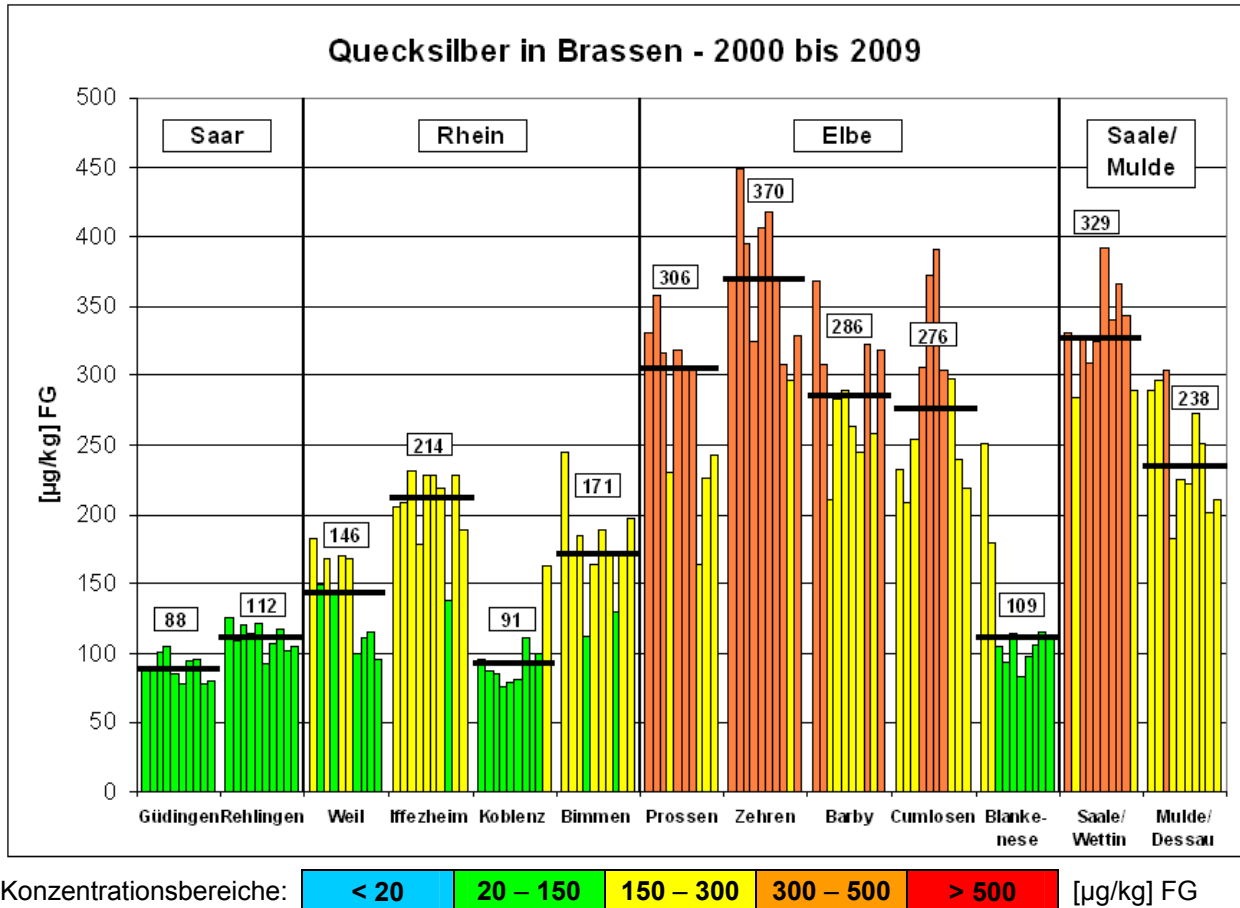


Abb. 3: Graphische Darstellung der Quecksilbergehalte in Brassen aus Saar, Rhein, Elbe und Saale/Mulde für den Zeitraum 2000 bis 2009. Alle Angaben in µg/kg Frischgewicht. Waagerechte Balken und eingerahmte Zahlen = Mediane. Datenquelle: Umweltprobenbank

Die Signifikanz der einzelnen Konzentrationsunterschiede lässt sich wiederum mit Hilfe der beiden beschriebenen statistischen Tests überprüfen (siehe Tabelle 2). Die Konzentrationsunterschiede zwischen den einzelnen Probenahmestellen sind auch hier zum großen Teil hochsignifikant.

Tabelle 2: Statistische Wahrscheinlichkeit von Konzentrationsunterschieden zwischen den einzelnen Datenreihen „Quecksilber in Brassen – 2000 bis 2009“ (siehe Abb. 3) basierend auf dem nichtparametrischen Mann-Whitney U-Test (zweiseitig) bzw. einem klassischen Mittelwert-t-Test (unabhängige Stichproben, zweiseitig); jeweils obere Zeile: U-Test, untere Zeile: t-Test

P [%]	Rehlingen	Weil	Iffezheim	Koblenz	Bimmen	Prossen	Zehren	Barby	Cumlosen	Blankenese	Saale/Wettin	Mulde/Dessau
Güdingen	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99 > 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
Rehlingen		< 95 > 95	> 99,9 > 99,9	> 95 < 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
Weil	< 95 > 95		> 99,9 > 99,9	> 99 > 99	> 95 > 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
Iffezheim	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9		> 99,9 > 99,9	> 95 > 95	> 99 > 99	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99 > 99	> 99 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 > 95
Koblenz	> 95 < 95	> 99 > 99	> 99,9 > 99,9		> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 95 < 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
Bimmen	> 99,9 > 99,9	> 95 > 95	> 95 > 95	> 99,9 > 99,9		> 99 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 95 > 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
Prossen	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99 > 99	> 99,9 > 99,9	> 99 > 99,9		> 99 > 99	< 95 < 95	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9	< 95 > 95	< 95 < 95
Zehren	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99 > 99		> 99 > 99	> 99 > 99	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9
Barby	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 99 > 99		< 95 < 95	> 99,9 > 99,9	> 95 > 95	< 95 < 95
Cumlosen	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99 > 99	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 99 > 99	< 95 < 95		> 99,9 > 99,9	< 95 > 95	< 95 < 95
Blankenese	< 95 < 95	< 95 < 95	> 99 > 99,9	> 95 < 95	> 95 > 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9		> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
Saale/Wettin	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 > 95	< 95 < 95	> 95 > 95	< 95 > 95	> 99,9 > 99,9		> 99,9 > 99,9
Mulde/Dessau	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 > 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	

Klassifizierung:

nicht signifikant < 95%	signifikant > 95%	sehr signifikant > 99%	hochsignifikant > 99,9%
----------------------------	----------------------	---------------------------	----------------------------

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Quecksilber-Konzentrationen in Brassen aus deutschen Fließgewässern aktuell zwischen 100 und 400 µg/kg Frischgewicht liegen und damit die UQN für Biota um den Faktor 5 bis 20 überschreiten (siehe Tabelle 3). Die niedrigsten Hg-Gehalte innerhalb der Beprobungen der UPB treten bei den Brassen im Referenzgewässer Belauer See mit ca. 20 bis 50 µg/kg FG auf, die die UQN damit nur relativ knapp verfehlen. Die höchsten Hg-Konzentrationen weisen Brassen aus der Elbe und der Saale mit mehr als 300 µg/kg FG auf.

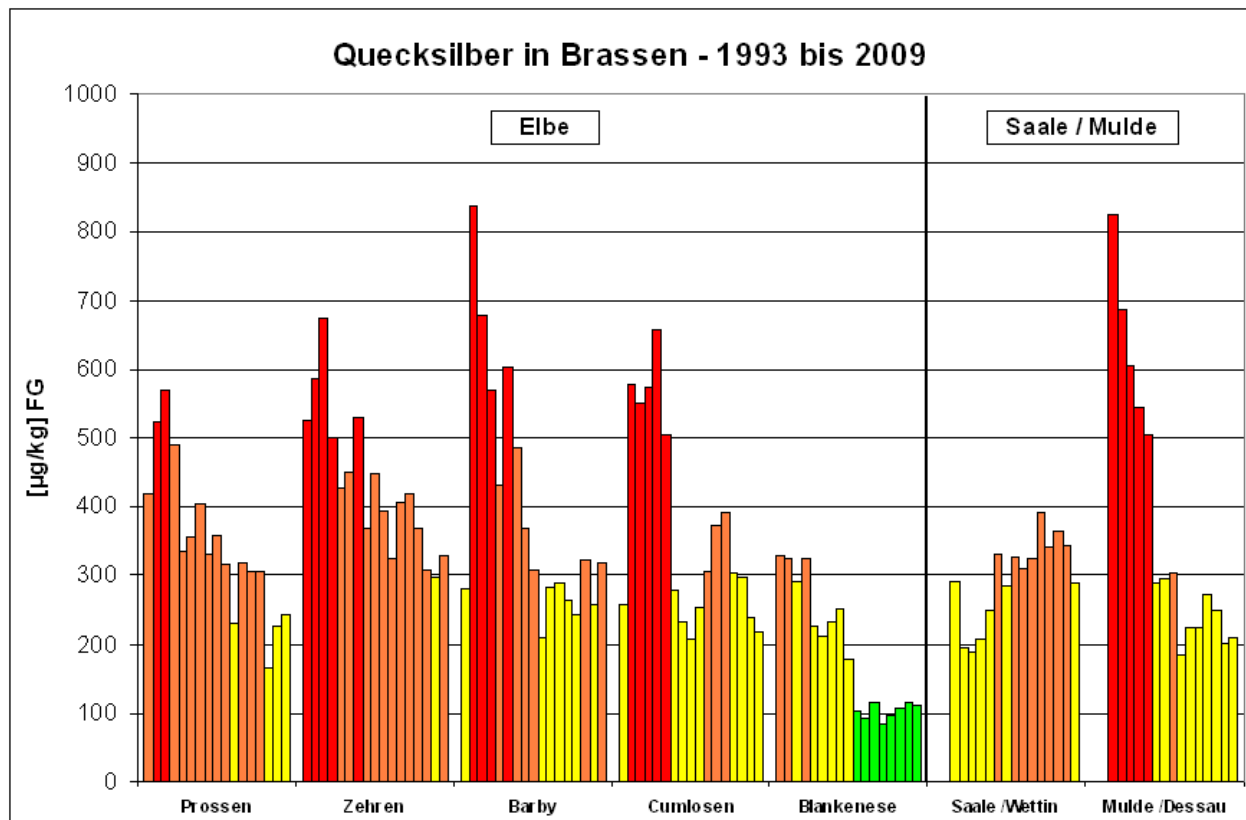
Die auftretenden Konzentrationsunterschiede in den Brassen der einzelnen Gewässer bzw. Standorte sind statistisch zum Teil hochsignifikant, was auf Belastungsunterschiede zwischen den Standorten hinweist, die sich in den Quecksilberbefunden der Brassen widerspiegeln. Die Quecksilbergehalte in den Brassen korrelieren allerdings nicht in allen Fällen mit den messbaren Belastungen in den Gewässern (siehe Tabelle 7: Vergleich mit Schwebstoffgehalten).

Tabelle 3: Zusammenfassung der Messergebnisse für Quecksilber in Brassen an den 17 Binnengewässer-Probenahme­flächen der Umweltprobenbank für den Zeitraum 2000 bis 2009. Alle Angaben in µg/kg Frischgewicht.

Gewässer	Konzentrationsbereich für Hg in Brassen in [µg/kg] FG	Konzentrationen an den einzelnen Standorten in [µg/kg] FG
Belauer See	20 – 50	--
Saar	≈ 100	Güdingen: ≈ 100 Relingen: ≈ 100
Rhein	100 – 250	Weil: 100 – 150 Iffezheim: 200 – 250 Koblenz: ≈ 100 Bimmen: 150 – 200
Donau	100 – 300	Ulm: ≈ 100 Kelheim: 100 – 150 Jochenstein: 250 – 300
Elbe	100 – 400	Prossen: 250 – 350 Zehren: 300 – 400 Barby: 250 – 350 Cumlosen: 200 – 350 Blankenese: ≈ 100
Saale/Mulde	200 – 350	Saale /Wettin: 300 – 350 Mulde /Dessau: 200 – 300

Konzentrationsbereiche: < 20 20 – 150 150 – 300 300 – 500 > 500 [µg/kg] FG

Die Quecksilbergehalte der Brassen der Elbe und der Mulde zeigen ab 1993 einen deutlich rückläufigen Trend der Quecksilberkonzentrationen mit einem Faktor zwei bis drei (siehe Abbildung 4). In der Saale bei Wettin liegt dagegen ein ansteigender Trend um knapp den Faktor zwei vor.



Konzentrationsbereiche: < 20 20 – 150 150 – 300 300 – 500 > 500 [µg/kg] FG

Abb. 4: Graphische Darstellung der Quecksilbergehalte in Brassen aus Elbe und Saale/Mulde für den Zeitraum 1993 bis 2009. Alle Angaben in µg/kg Frischgewicht.  
Datenquelle: Umweltprobenbank

Um zu überprüfen ob die Veränderungen der Quecksilberbelastungen in den Brassens der Elbe und der Saale/Mulde statistisch signifikant sind, wurde mit jeder Datenreihe der nicht-parametrische Mann-Kendall-Trendtest durchgeführt (siehe Tabelle 4). Dabei ergibt sich, dass in der Elbe und der Mulde mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit von 99% fallende Trends vorliegen (Standort Elbe bei Cumlosen nur mit 95%iger Wahrscheinlichkeit). In der Saale bei Wettin liegt dagegen mit 99%iger Wahrscheinlichkeit ein ansteigender Trend vor. In der Saar, dem Rhein und der Donau liegen keine Trends der Quecksilberkonzentrationen vor, außer am Standort Rhein bei Bimmen (fallender Trend mit 95%iger Wahrscheinlichkeit).

Zum Vergleich: Im Rahmen der Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer wird ein Trend mit 95%iger Wahrscheinlichkeit als signifikant eingestuft.

Die signifikanten Trends der Hg-Gehalte in den Brassens der Elbe und der Saale/Mulde deuten auf Belastungsveränderungen in diesen Gewässern hin, die sich in den Befunden der Brassens niederschlagen.

Tabelle 4: Statistische Wahrscheinlichkeit von Trends in den einzelnen Datenreihen „Quecksilber in Brassens – 1993 bis 2009“ (siehe Abb. 2 und Abb. 4) basierend auf dem nichtparametrischen Mann-Kendall-Trendtest (einseitig)

Standort	Statistische Wahrscheinlichkeit P für einen Trend
<b>Belauer See</b>	fallend: 95%
<b>Saar – Güdingen</b>	kein Trend
<b>Saar – Rehlingen</b>	kein Trend
<b>Rhein – Weil</b>	kein Trend
<b>Rhein – Iffezheim</b>	kein Trend
<b>Rhein – Koblenz</b>	kein Trend
<b>Rhein – Bimmen</b>	fallend: 95%
<b>Donau – Ulm</b>	kein Trend
<b>Donau – Kelheim</b>	kein Trend
<b>Donau – Jochenstein</b>	kein Trend
<b>Elbe – Prossen</b>	fallend: 99%
<b>Elbe – Zehren</b>	fallend: 99%
<b>Elbe – Barby</b>	fallend: 99%
<b>Elbe – Cumlosen</b>	fallend: 95%
<b>Elbe – Blankenese</b>	fallend: 99%
<b>Saale – Wettin</b>	steigend: 99%
<b>Mulde – Dessau</b>	fallend: 99%

#### 4. Quecksilbergehalte in Schwebstoffen

Um zu überprüfen, inwieweit die signifikanten Trends der Quecksilbergehalte in Brassen mit den Belastungen bzw. Belastungsveränderungen in anderen Kompartimenten korrelieren, wurden die Biota-Ergebnisse mit den Quecksilbergehalten in den Schwebstoffen der beprobten Flüsse verglichen. In der Elbe wurden zum Vergleich mit Prossen (Fluss-km 13) Schwebstoffdaten vom Standort Schmilka (Fluss-km 4) verwendet, für Cumlosen (Fluss-km 470) Messungen aus Schnackenburg (Fluss-km 474) und für Blankenese (Fluss-km 634) Ergebnisse aus Seemannshöft (Fluss-km 629). In der Saale wurde als Ersatz für Wettin (ca. 70 km vor der Elbmündung) auf Schwebstoffmessungen aus Groß Rosenberg (unmittelbar an der Elbmündung) zurückgegriffen (siehe Abbildung 5).

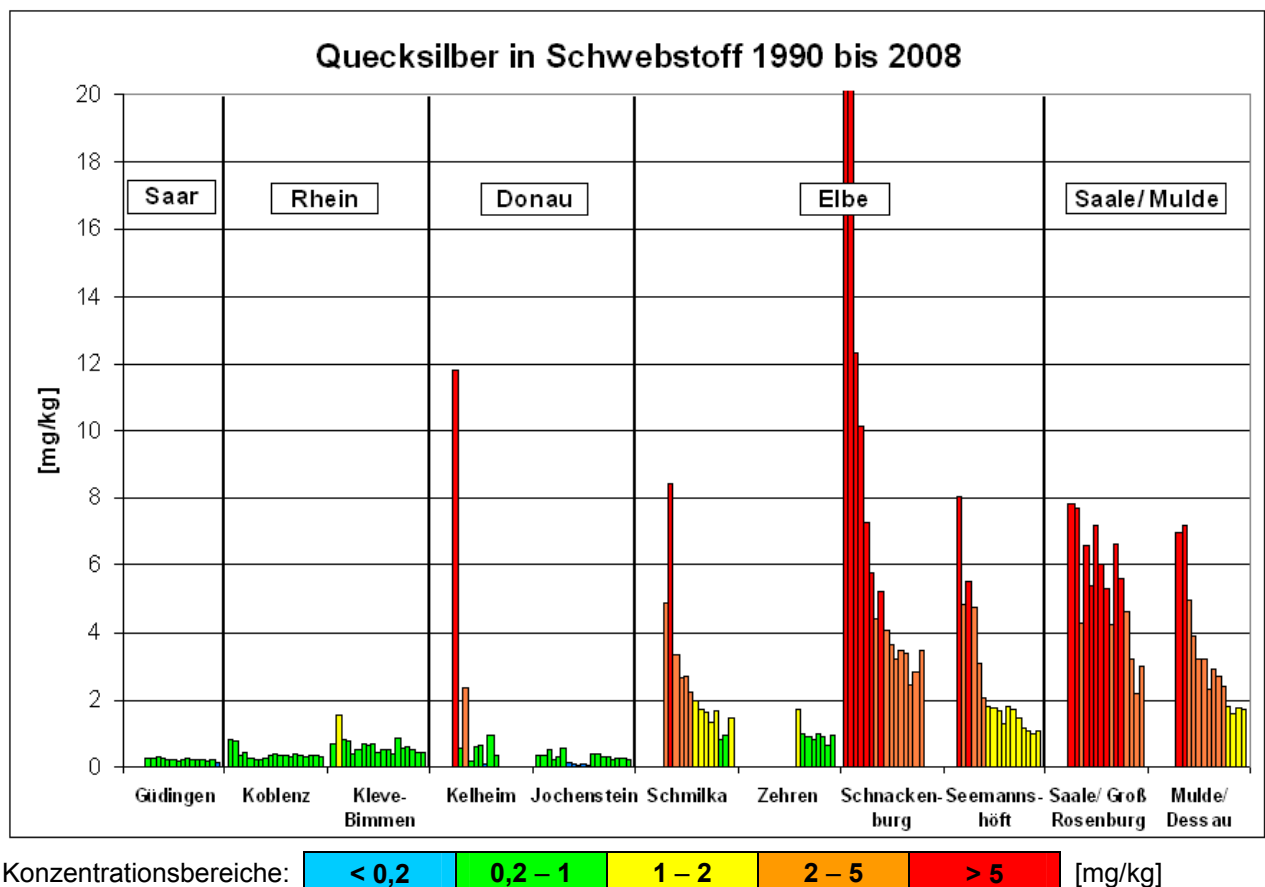


Abb. 5: Graphische Darstellung der Quecksilbergehalte in Schwebstoff aus Saar, Rhein, Donau, Elbe und Saale/Mulde für den Zeitraum 1990 bis 2008. Alle Angaben in mg/kg Trockengewicht. Datenquelle: Zusammenstellung des Umweltbundesamtes nach Angaben der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)

Es zeigen sich bei den Schwebstoffproben aus der Elbe und der Saale/Mulde deutliche abnehmende Trends, während in Saar, Rhein und Donau keine eindeutigen Tendenzen sichtbar sind. In der Elbe und der Saale/Mulde gehen die Quecksilberkonzentrationen im Schwebstoff zwischen 1993/94 – ab diesem Zeitpunkt liegen für fast alle Standorte Messergebnisse vor – und 2008 von ca. 5 bis 10 mg/kg auf ca. 1 bis 3 mg/kg zurück. Das entspricht einer Konzentrationsabnahme an den einzelnen Standorten um den Faktor 3 bis 5. In

der Saar, dem Rhein und der Donau liegen die Konzentrationen, von wenigen Ausnahmen abgesehen, im gesamten Zeitraum unterhalb von 1 mg/kg.

Die Signifikanz dieser Änderungen wurde wiederum mit dem Mann-Kendall-Trendtest überprüft (siehe Tabelle 5). Es bestätigt sich, dass an den Probenahmestellen der Elbe (außer Zehren, wo die Messungen erst im Jahr 2001 beginnen) und der Saale/Mulde mit 99%iger Wahrscheinlichkeit fallende Trends vorliegen. Im Rhein und der Donau sind dagegen keine Trends nachweisbar, außer bei Kleve-Bimmen – mit 95%iger Wahrscheinlichkeit fallend. In der Saar bei Güdingen liegt ein signifikant fallender Trend auf sehr niedrigem Konzentrationsniveau vor.

Tabelle 5: Statistische Wahrscheinlichkeit von Trends in den einzelnen Datenreihen „Quecksilber in Schwebstoff – 1990 bis 2008“ (siehe Abb. 5) basierend auf dem nichtparametrischen Mann-Kendall-Trendtest (einseitig)

Standort	Statistische Wahrscheinlichkeit P für einen Trend
Saar – Güdingen	fallend: 99%
Rhein – Koblenz	kein Trend
Rhein – Kleve-Bimmen	fallend: 95%
Donau – Kelheim	kein Trend
Donau – Jochenstein	kein Trend
Elbe – Schmilka	fallend: 99%
Elbe – Zehren	kein Trend
Elbe – Schnackenburg	fallend: 99%
Elbe – Seemannshöft	fallend: 99%
Saale – Groß Rosenberg	fallend: 99%
Mulde – Dessau	fallend: 99%

Es ist festzustellen, dass die beobachteten Belastungsrückgänge in den Brassern der Elbe und der Mulde zwischen 1993 und 2009 um den Faktor 2 bis 3 sehr gut mit den entsprechenden Verringerungen der Quecksilberkonzentrationen im Schwebstoff in diesen Gewässern (Faktor 3 bis 5) korrespondieren. Die einzige Ausnahme bildet dabei die Saale, da am Probenahmeort Wettin – entgegen dem allgemeinen Trend – ein Anstieg der Hg-Gehalte in den Brassern vorliegt.

**Insgesamt kann diese Übereinstimmung als deutlicher Hinweis dafür angesehen werden, dass die Brasse geeignet ist, Belastungsveränderungen durch Quecksilber in Binnengewässern abzubilden.**

Die Schwebstoffdaten der Jahre 2000 bis 2008 zeigen Quecksilber-Gehalte in Saar, Rhein und Donau ausnahmslos im niedrigen Konzentrationsbereich unterhalb von 1 mg/kg, in der Elbe im Bereich 1 bis 3 mg/kg. Die höchsten Quecksilberbelastungen im Schwebstoff finden sich in diesem Zeitraum in der Saale bei Groß Rosenberg mit durchschnittlich mehr als 4 mg/kg, jedoch mit fallender Tendenz auf etwa 2 bis 3 mg/kg (siehe Abbildung 6).

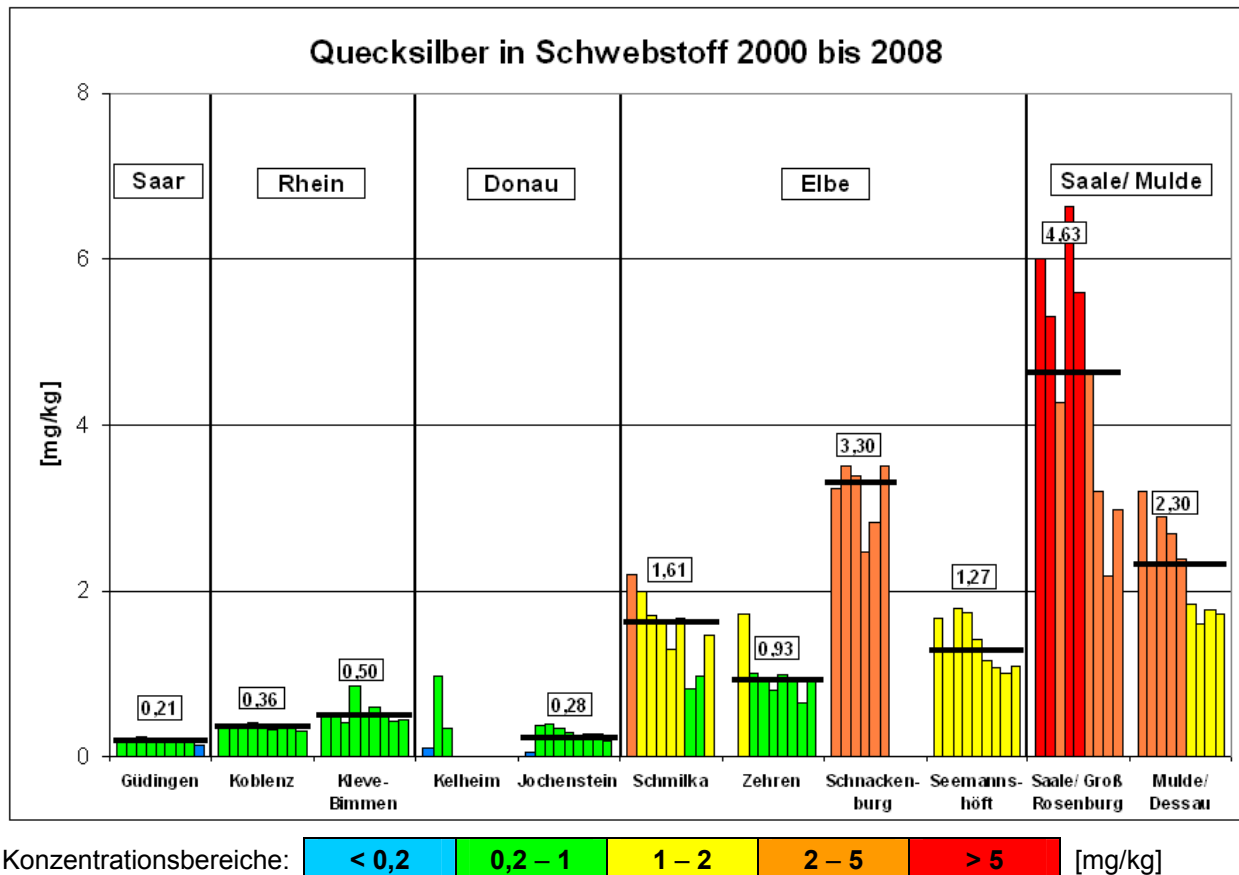


Abb. 6: Graphische Darstellung der Quecksilbergehalte in Schwebstoff aus Saar, Rhein, Donau, Elbe und Saale/Mulde für den Zeitraum 2000 bis 2008. Alle Angaben in mg/kg. Waagerechte Balken und eingerahmte Zahlen = Mediane. Datenquelle: Zusammenstellung des Umweltbundesamtes nach Angaben der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)

Die Signifikanz der Konzentrationsunterschiede im Schwebstoff zwischen den einzelnen Probenahmestellen ist zum großen Teil hoch (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Statistische Wahrscheinlichkeit von Konzentrationsunterschieden zwischen den einzelnen Datenreihen „Quecksilber in Schwebstoff – 2000 bis 2008“ (siehe Abb. 6) basierend auf dem nichtparametrischen Mann-Whitney U-Test (zweiseitig) bzw. einem klassischen Mittelwert-*t*-Test (unabhängige Stichproben, zweiseitig); jeweils obere Zeile: U-Test, untere Zeile: *t*-Test

P [%]	Güdingen	Koblenz	Kleve-Bimmen	Jochenstein	Schmilka	Zehren	Schnackenburg	Seemannshöft	Saale/ Gr. Rosenb.	Mulde/ Dessau
<b>Güdingen</b>		> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
<b>Koblenz</b>	> 99,9 > 99,9		> 99,9 > 99	< 95 > 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
<b>Kleve-Bimmen</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99		> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
<b>Jochenstein</b>	< 95 < 95	< 95 > 95	> 99,9 > 99,9		> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
<b>Schmilka</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9		< 95 > 95	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9	> 99 > 99
<b>Zehren</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99	> 99,9 > 99,9	< 95 > 95		> 99,9 > 99,9	> 99 > 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
<b>Schnackenburg</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9		> 99,9 > 99,9	< 95 > 95	> 99 > 99
<b>Seemannshöft</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	> 99 > 95	> 99,9 > 99,9		> 99,9 > 99,9	> 99 > 99,9
<b>Saale/ Groß Rosenburg</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 > 95	> 99,9 > 99,9		> 99 > 99,9
<b>Mulde/ Dessau</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99 > 99	> 99,9 > 99,9	> 99 > 99	> 99 > 99,9	> 99 > 99,9	

Klassifizierung:	<b>nicht signifikant</b> < 95%	<b>signifikant</b> > 95%	<b>sehr signifikant</b> > 99%	<b>hochsignifikant</b> > 99,9%
------------------	-----------------------------------	-----------------------------	----------------------------------	-----------------------------------

In Tabelle 7 sind die Quecksilbergehalte im Schwebstoff und in den Brassens für den Zeitraum 2000 bis 2008/09 gegenüber gestellt.

Tabelle 7: Vergleich der Quecksilbergehalte in Schwebstoff und Brassens für den Zeitraum 2000 bis 2008/09 an verschiedenen Standorten der Saar, Rhein, Donau, Elbe, Saale und Mulde

Standort	Hg-Gehalt in Schwebstoff	Hg-Gehalt in Brassens
Saar /Güdingen	0,2 – 0,3 mg/kg	≈ 100 µg/kg FG
Rhein /Weil	≈ 0,2 mg/kg*	100 – 150 µg/kg FG
Rhein /Iffezheim	≈ 0,4 mg/kg*	200 – 250 µg/kg FG
Rhein /Koblenz	0,3 – 0,5 mg/kg	≈ 100 µg/kg FG
Rhein /Bimmen	0,5 – 1,0 mg/kg	150 – 200 µg/kg FG
Donau /Jochenstein	0,2 – 0,5 mg/kg	250 – 300 µg/kg FG
Elbe /Schmilka	1 – 2 mg/kg	250 – 350 µg/kg FG (Prossen)
Elbe /Zehren	1 – 2 mg/kg	300 – 400 µg/kg FG
Elbe /Schnackenburg	3 – 4 mg/kg	200 – 350 µg/kg FG (Cumlosen)
Elbe /Seemannshöft	1 – 2 mg/kg	≈ 100 µg/kg FG (Blankenese)
Saale /Groß Rosenberg	3 – 6 mg/kg	300 – 350 µg/kg FG (Wettin)
Mulde /Dessau	2 – 3 mg/kg	200 – 300 µg/kg FG

\* Datenquelle: Internationale Kommission zum Schutz des Rheins / Deutsches Untersuchungsprogramm Rhein (IKSR/DUR)

Es lassen sich folgende Zusammenhänge zwischen den Hg-Konzentrationen im Schwebstoff und in Brassens feststellen: Die niedrigen Quecksilbergehalte im Schwebstoff von Saar und Rhein (unter 1 mg/kg) korrespondieren mit niedrigen bis mittelhohen Messwerten in den Brassens (100 bis 200 µg/kg FG). Die höheren Schwebstoffkonzentrationen in Elbe und Saale/Mulde (1 bis 6 mg/kg) finden ihre Parallele in entsprechend erhöhten Befunden in den Brassens (200 bis 400 µg/kg FG). Ausnahmen stellen die Schwebstoffmesswerte aus Seemannshöft dar, die weniger gut zu den relativ niedrigen Brassengehalten aus Blankenese passen und die niedrigen Schwebstoffgehalte in der Donau bei Jochenstein und im Rhein bei Iffezheim, die nicht mit den relativ hohen Messwerten in den Brassens korrelieren.

## 5. Quecksilbergehalte in Dreikantmuscheln

Die Dreikantmuschel ist neben der Brasse das zweite Biota, das in Binnengewässern durch die UPB beprobt und analysiert wird. Die Originalangaben der UPB in  $\mu\text{g}/\text{kg}$  Trockengewicht wurden mit dem Faktor 0,15 in Frischgehalte (FG) umgerechnet (ca. 85 % Wassergehalt).

Die Quecksilberkonzentrationen in den Dreikantmuscheln liegen zwischen 10 und 50  $\mu\text{g}/\text{kg}$  FG. Damit sind diese etwa um den Faktor 10 kleiner als in Brassens und überschreiten die UQN für Biota maximal um den Faktor 2,5. Mehr als die Hälfte der Messwerte hält die UQN von 20  $\mu\text{g}/\text{kg}$  FG ein (siehe Abbildungen 7 und 8).

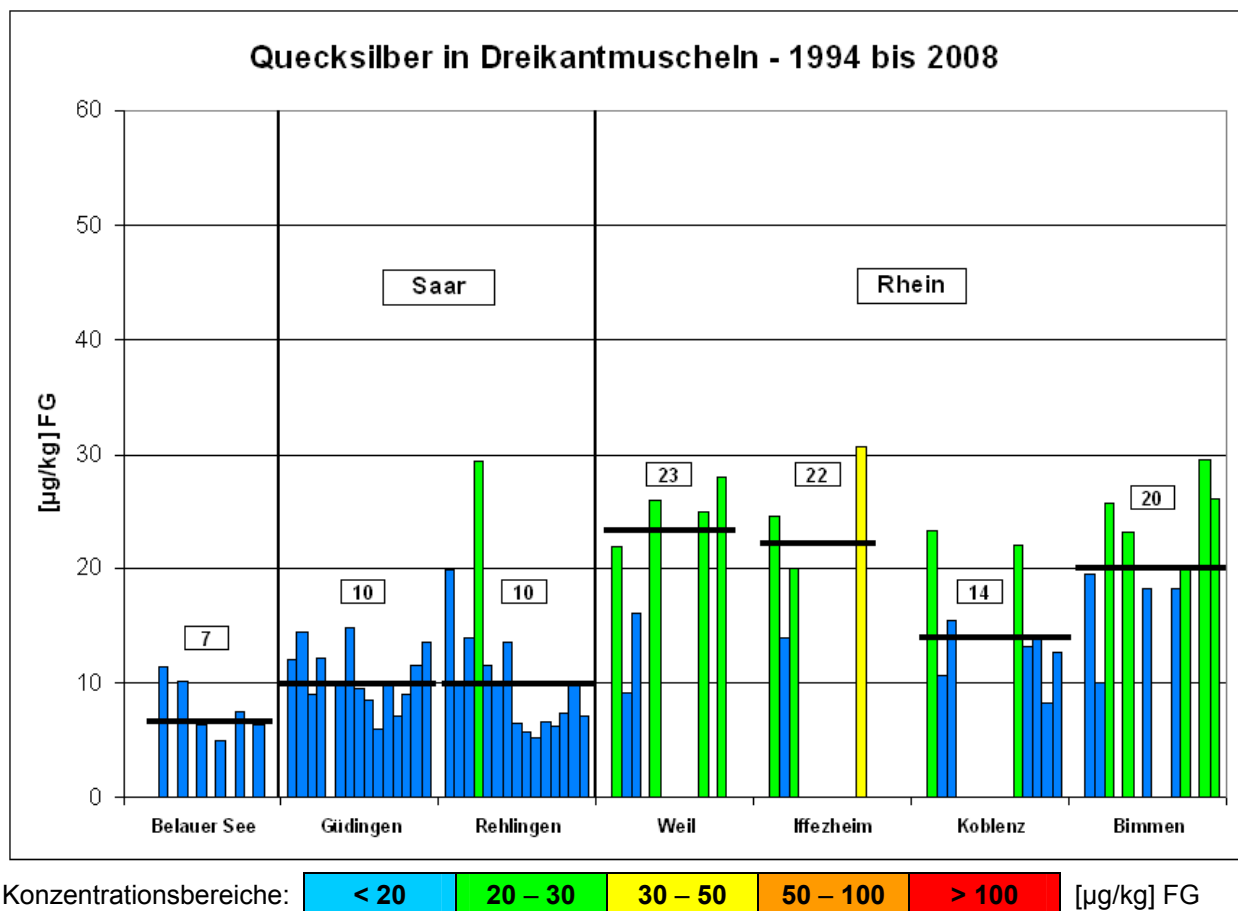
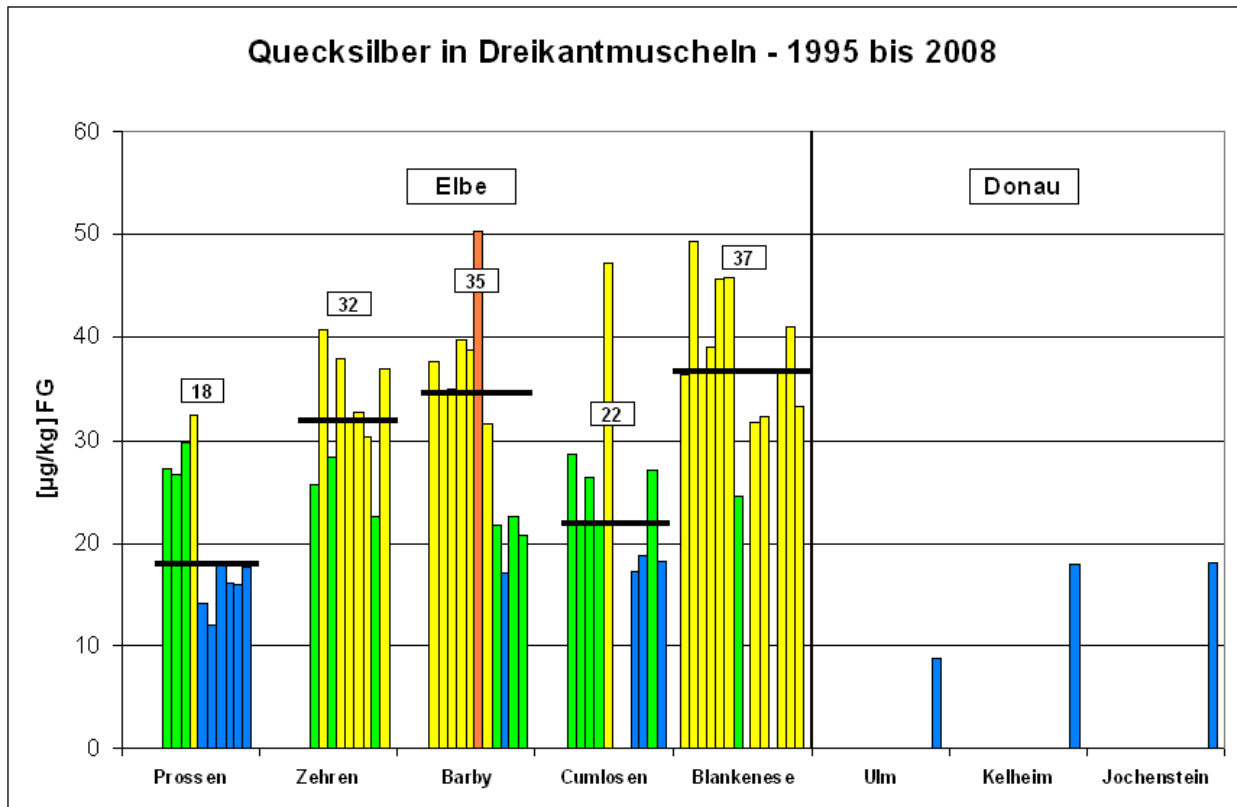


Abb. 7: Graphische Darstellung der Quecksilbergehalte in Dreikantmuscheln aus Belauer See, Saar und Rhein für den Zeitraum 1994 bis 2008. Alle Angaben in  $\mu\text{g}/\text{kg}$  Frischgewicht. Waagerechte Balken und eingrahmte Zahlen = Mediane. Datenquelle: Umweltprobenbank



Konzentrationsbereiche: < 20 20 – 30 30 – 50 50 – 100 > 100 [µg/kg] FG

Abb. 8: Graphische Darstellung der Quecksilbergehalte in Dreikantmuscheln aus Elbe und Donau für den Zeitraum 1995 bis 2008. Alle Angaben in µg/kg Frischgewicht. Waagerechte Balken und eingerahmte Zahlen = Mediane. Datenquelle: Umweltprobenbank

Die statistischen Untersuchungen zur Signifikanz von Konzentrationsunterschieden und Trendentwicklungen wurden in der bereits bei den Brassens beschriebenen Weise durchgeführt (siehe Tabellen 8 und 9).

Tabelle 8: Statistische Wahrscheinlichkeit von Konzentrationsunterschieden zwischen den einzelnen Datenreihen „Quecksilber in Dreikantmuscheln – 1994 bis 2008 bzw. 1995 bis 2008“ (siehe Abb. 7 und Abb. 8) basierend auf dem nichtparametrischen Mann-Whitney U-Test (zweiseitig) bzw. einem klassischen Mittelwert-t-Test (unabhängige Stichproben, zweiseitig); jeweils obere Zeile: U-Test, untere Zeile: t-Test

P [%]	Güdingen	Rehlingen	Weil	Iffezheim	Koblenz	Bimmen	Prossen	Zehren	Barby	Cumlosen	Blankenese
<b>Belauer See</b>	< 95 > 95	< 95 < 95	> 99 > 99	> 99 > 99	> 99 > 99	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
<b>Güdingen</b>		< 95 < 95	> 99 > 99,9	> 99 > 99,9	> 95 > 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
<b>Rehlingen</b>	< 95 < 95		> 95 > 99	> 99 > 99	> 95 < 95	> 99 > 99,9	> 99,9 > 99	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
<b>Weil</b>	> 99 > 99,9	> 95 > 99		< 95 < 95	< 95 < 95	< 95 < 95	< 95 < 95	> 99 > 99	< 95 > 95	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9
<b>Iffezheim</b>	> 99 > 99,9	> 99 > 99	< 95 < 95		< 95 < 95	< 95 < 95	< 95 < 95	< 95 > 95	< 95 < 95	< 95 < 95	> 99 > 99
<b>Koblenz</b>	> 95 > 95	> 95 < 95	< 95 < 95	< 95 < 95		> 95 > 95	> 95 < 95	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99 > 95	> 99,9 > 99,9
<b>Bimmen</b>	> 99,9 > 99,9	> 99 > 99,9	< 95 < 95	< 95 < 95	> 95 > 95		< 95 < 95	> 99 > 99	> 95 > 95	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9
<b>Prossen</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99	< 95 < 95	< 95 < 95	> 95 < 95	< 95 < 95		> 99 > 99	> 99 > 95	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9
<b>Zehren</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99 > 99	< 95 > 95	> 99,9 > 99,9	> 99 > 99	> 99 > 99		< 95 < 95	> 95 < 95	< 95 < 95
<b>Barby</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 > 95	< 95 < 95	> 99,9 > 99,9	> 95 > 95	> 99 > 95	< 95 < 95		< 95 < 95	< 95 < 95
<b>Cumlosen</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	< 95 < 95	> 99 > 95	< 95 < 95	< 95 < 95	> 95 < 95	< 95 < 95		> 99 > 99
<b>Blankenese</b>	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99 > 99	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	< 95 < 95	> 99 > 99	

Klassifizierung:	<b>nicht signifikant</b> < 95%	<b>signifikant</b> > 95%	<b>sehr signifikant</b> > 99%	<b>hochsignifikant</b> > 99,9%
------------------	-----------------------------------	-----------------------------	----------------------------------	-----------------------------------

Tabelle 9: Statistische Wahrscheinlichkeit von Trends in den einzelnen Datenreihen „Quecksilber in Dreikantmuscheln – 1994 bis 2008 bzw. 1995 bis 2008“ (siehe Abb. 7 und Abb. 8) basierend auf dem nichtparametrischen Mann-Kendall-Trendtest (einseitig)

Standort	Statistische Wahrscheinlichkeit P für einen Trend
<b>Belauer See</b>	kein Trend
<b>Saar – Güdingen</b>	kein Trend
<b>Saar – Rehlingen</b>	fallend: 95%
<b>Rhein – Weil</b>	kein Trend
<b>Rhein – Iffezheim</b>	kein Trend
<b>Rhein – Koblenz</b>	kein Trend
<b>Rhein – Bimmen</b>	kein Trend
<b>Elbe – Prossen</b>	kein Trend
<b>Elbe – Zehren</b>	kein Trend
<b>Elbe – Barby</b>	fallend: 95%
<b>Elbe – Cumlosen</b>	kein Trend
<b>Elbe – Blankenese</b>	kein Trend

Die niedrigsten Hg-Gehalte in Dreikantmuscheln finden sich – wie bei den Brassen – im Referenzgewässer Belauer See mit ca. 5 bis 10 µg/kg FG, die damit die UQN für Biota sicher einhalten. Die höchsten Hg-Konzentrationen weisen die Dreikantmuscheln aus der Elbe auf, mit 20 bis 50 µg/kg FG (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Zusammenfassung der Messergebnisse für Quecksilber in Dreikantmuscheln an den 15 Binnengewässer-Probenahme­flächen der Umweltprobenbank für den Zeitraum 1994/95 bis 2008. Alle Angaben in µg/kg Frischgewicht.

Gewässer	Konzentrationsbereich für Hg in Dreikantmuscheln in [µg/kg] FG	Konzentrationen an den einzelnen Standorten in [µg/kg] FG
Belauer See	5 – 10	--
Saar	5 – 20	Güdingen: 5 – 15 Relingen: 5 – 20
Rhein	10 – 30	Weil: 15 – 30 Iffezheim: 15 – 30 Koblenz: 10 – 20 Bimmen: 20 – 30
Donau	10 – 20	Ulm: ≈ 10 Kelheim: ≈ 20 Jochenstein: ≈ 20
Elbe	20 – 50	Prossen: 15 – 30 Zehren: 25 – 40 Barby: 20 – 40 Cumlosen: 20 – 40 Blankenese: 25 – 50

Konzentrationsbereiche: **< 20** **20 – 30** **30 – 50** **50 – 100** **> 100** [µg/kg] FG

Die Konzentrationsverhältnisse zwischen den verschiedenen Standorten entsprechen größtenteils denen, die bereits für Brassen festgestellt wurden (siehe Tabelle 3), nur auf einem insgesamt deutlich niedrigeren Konzentrationsniveau und mit geringerer Spreizung der Konzentrationen (ca. 20 bis 400 µg/kg FG bei Brassen ab dem Jahr 2000: Faktor 20; ca. 5 bis 50 µg/kg FG bei Dreikantmuscheln: Faktor 10). Die geringsten Quecksilbergehalte weisen die Proben aus dem Belauer See auf, etwas höhere Konzentrationen (aber oftmals noch unterhalb der UQN für Biota) finden sich in Saar, Rhein und Donau. Die Proben mit den höchsten Belastungen stammen wie bei den Brassen aus der Elbe. Quecksilberbefunde für Dreikantmuscheln aus Saale und Mulde liegen in der UPB nicht vor.

Ausnahmen für diese Übereinstimmungen gibt es an den Standorten Jochenstein (im Vergleich geringere Belastungen in den Muscheln als in den Brassen) und Blankenese (im Vergleich höhere Belastung als in den Brassen). Die Ergebnisse in den Dreikantmuscheln korrelieren an diesen beiden Probenahme­flächen besser mit den Quecksilbergehalten im Schwebstoff (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Vergleich der Quecksilbergehalte in Schwebstoff, Brassen und Dreikantmuscheln für den Zeitraum 2000 bis 2008/09 an verschiedenen Standorten der Saar, Rhein, Donau und Elbe

Standort	Hg-Gehalt in Schwebstoff	Hg-Gehalt in Brassen	Hg-Gehalt in Dreikantmuscheln
Saar /Güdingen	0,2 – 0,3 mg/kg	≈ 100 µg/kg FG	5 – 15 µg/kg FG
Rhein /Weil	≈ 0,2 mg/kg*	100 – 150 µg/kg FG	15 – 30 µg/kg FG
Rhein /Iffezheim	≈ 0,4 mg/kg*	200 – 250 µg/kg FG	15 – 30 µg/kg FG
Rhein /Koblenz	0,3 – 0,5 mg/kg	≈ 100 µg/kg FG	10 – 20 µg/kg FG
Rhein /Bimmen	0,5 – 1,0 mg/kg	150 – 200 µg/kg FG	20 – 30 µg/kg FG
Donau /Jochenstein	0,2 – 0,5 mg/kg	250 – 300 µg/kg FG	≈ 20 µg/kg FG
Elbe /Schmilka	1 – 2 mg/kg	250 – 350 µg/kg FG (Prossen)	15 – 30 µg/kg FG (Prossen)
Elbe /Zehren	1 – 2 mg/kg	300 – 400 µg/kg FG	25 – 40 µg/kg FG
Elbe /Schnackenburg	3 – 4 mg/kg	200 – 350 µg/kg FG (Cumlosen)	20 – 40 µg/kg FG (Cumlosen)
Elbe /Seemannshöft	1 – 2 mg/kg	≈ 100 µg/kg FG (Blankenese)	25 – 45 µg/kg FG (Blankenese)

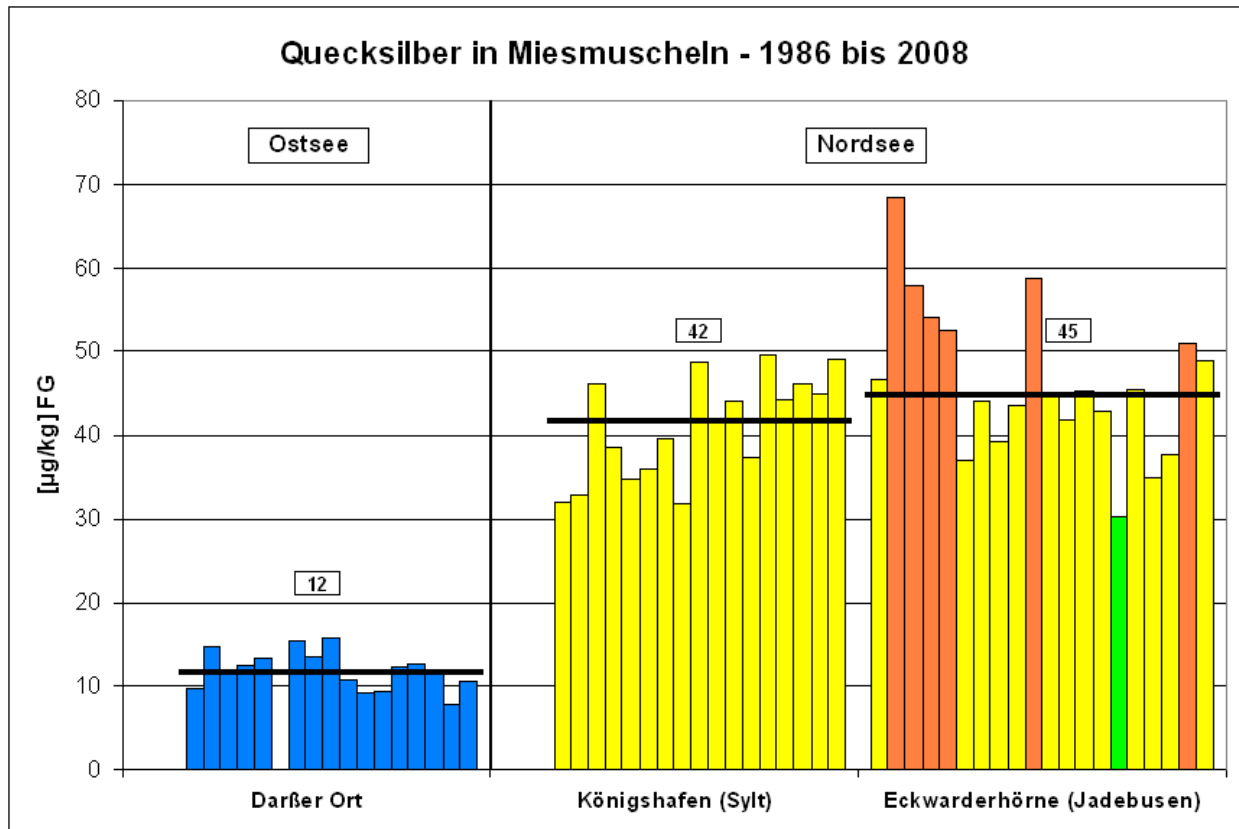
\* Datenquelle: Internationale Kommission zum Schutz des Rheins / Deutsches Untersuchungsprogramm Rhein (IKSR/DUR)

Die signifikant abnehmenden Trends der Quecksilbergehalte im Schwebstoff der Elbe, die sich sehr gut in korrespondierenden Trends in den Brassen wiederfinden, lassen sich in den Dreikantmuscheln nicht nachweisen. Das könnte zum Teil darin begründet sein, dass die meisten Messreihen für Dreikantmuscheln erst in den späten 90er Jahren begonnen haben (Blankenese bereits 1995, Cumlosen und Barby 1998, Prossen 1999, Zehren 2000), während die stärksten Konzentrationsrückgänge beim Schwebstoff und in den Brassen bereits in den Jahren zuvor stattfanden.

## 6. Quecksilbergehalte in Miesmuscheln

Zusätzlich zur Dreikantmuschel beprobt die UPB die Miesmuschel (*Mytilus edulis*), die in den Küstengewässern der Nord- und Ostsee verbreitet ist. Sie sind Primärkonsumenten im marinen Ökosystem, die ihre Nahrung durch Filtrieren des vorbeiströmenden Wassers gewinnen. Miesmuscheln haben für zahlreiche Stoffe eine gute Aufnahme- und Akkumulationsrate und sind dabei relativ schadstoffresistent. Analysiert wird der gesamte Weichkörper der mittleren Alters- bzw. Größenklasse.

Die Proben stammen von zwei Probenahmeflächen in der Nordsee und einer in der Ostsee. Die Messwerte aus der UPB in µg/kg Trockengewicht wurden mit dem Faktor 0,15 in Frischgehalte (FG) umgerechnet (85% Wassergehalt). Während die Miesmuscheln aus der Ostsee die UQN für Biota mit ca. 10 bis 15 µg/kg FG einhalten, liegen die von beiden Probenahmestandorten der Nordsee, mit im Durchschnitt mehr als 40 µg/kg FG, deutlich darüber (siehe Abbildung 9).



Konzentrationsbereiche: < 20 20 – 30 30 – 50 50 – 100 > 100 [µg/kg] FG

Abb. 9: Graphische Darstellung der Quecksilbergehalte in Miesmuscheln aus Ostsee und Nordsee für den Zeitraum 1986 bis 2008. Alle Angaben in µg/kg Frischgewicht. Waagerechte Balken und eingerahmte Zahlen = Mediane. Datenquelle: Umweltprobenbank

Die statistischen Prüfungen zur Signifikanz von Konzentrationsunterschieden und Trendentwicklungen sind den Tabellen 12 und 13 dargestellt.

Tabelle 12: Statistische Wahrscheinlichkeit von Konzentrationsunterschieden zwischen den einzelnen Datenreihen „Quecksilber in Miesmuscheln – 1986 bis 2009“ (siehe Abb. 9) basierend auf dem nichtparametrischen Mann-Whitney U-Test (zweiseitig) bzw. einem klassischen Mittelwert-*t*-Test (unabhängige Stichproben, zweiseitig); jeweils obere Zeile: U-Test, untere Zeile: *t*-Test

P [%]	Darßer Ort	Königshafen	Eckwarderhörne
<b>Darßer Ort</b>		> 99,9 > 99,9	> 99,9 > 99,9
<b>Königshafen</b>	> 99,9 > 99,9		< 95 < 95
<b>Eckwarderhörne</b>	> 99,9 > 99,9	< 95 < 95	

Klassifizierung:	nicht signifikant < 95%	signifikant > 95%	sehr signifikant > 99%	hochsignifikant > 99,9%
------------------	----------------------------	----------------------	---------------------------	----------------------------

Tabelle 13: Statistische Wahrscheinlichkeit von Trends in den einzelnen Datenreihen „Quecksilber in Miesmuscheln – 1986 bis 2008“ (siehe Abb. 9) basierend auf dem nichtparametrischen Mann-Kendall-Trendtest (einseitig)

Standort	Statistische Wahrscheinlichkeit P für einen Trend
<b>Darßer Ort</b>	kein Trend
<b>Königshafen</b>	steigend: 99%
<b>Eckwarderhörne</b>	fallend: 95%

Tabelle 12 zeigt hochsignifikante Konzentrationsunterschiede zwischen den Miesmuscheln der Nordsee und der Ostsee, die auf verschiedene Belastungssituationen in diesen Gewässern schließen lassen. Am Standort Königshafen (Sylt) liegt zudem ein signifikant ansteigender Trend der Quecksilberkonzentrationen in den Miesmuscheln vor.

## 7. Zusammenfassung

- Die ökologisch begründete UQN für Biota in Höhe von 20 µg/kg Frischgewicht wird in Fischen flächendeckend überschritten. Die zum Schutz der menschlichen Gesundheit abgeleiteten Höchstwerte für Quecksilber in Speisefischen in Höhe von 1,0 bzw. 0,5 mg/kg Frischgewicht werden hingegen in der Regel eingehalten. Vereinzelt Überschreitungen treten aber auch hier auf.
- Die Quecksilber-Konzentrationen in Brassen aus deutschen Fließgewässern liegen aktuell im Bereich 100 bis 400 µg/kg Frischgewicht und überschreiten damit die UQN für Biota um den Faktor 5 bis 20.
- Die Konzentrationsunterschiede zwischen Brassen verschiedener Probenahmestandorte sind statistisch signifikant und reichen von 20 - 50 µg/kg Frischgewicht im Referenzgewässer Belauer See bis zu mehr als 300 µg/kg Frischgewicht in Elbe und Saale.
- In den Brassen der Elbe und der Saale/Mulde sind die Maximalwerte von bis zu 800 µg/kg Frischgewicht in den 1990er-Jahren auf aktuell 300 bis 400 µg/kg Frischgewicht zurückgegangen. Die Brasse ist somit geeignet Belastungsveränderungen mit Quecksilber in Binnengewässern abzubilden.
- Die Quecksilbergehalte in den Schwebstoffen der Elbe und der Saale/Mulde haben seit den frühen 1990er-Jahren ebenfalls kontinuierlich und signifikant abgenommen.
- Die Quecksilber-Konzentrationen in Dreikantmuscheln aus deutschen Fließgewässern liegen zwischen 10 und 50 µg/kg Frischgewicht und überschreiten die UQN für Biota damit maximal um den Faktor 2,5. Die Proben aus Belauer See, Saar, Rhein und Donau halten die UQN oftmals ein bzw. liegen nur geringfügig darüber.
- Die Belastungsverhältnisse der Dreikantmuscheln zwischen den einzelnen Probenahmestandorten sind mit denen der Brassen gut vergleichbar, allerdings auf einem deutlich niedrigeren Niveau und mit einer geringeren Spreizung der Konzentrationen. Die niedrigsten Quecksilbergehalte weisen – wie bei den Brassen – die Muscheln aus dem Belauer See auf, die Proben mit den höchsten Belastungen stammen aus der Elbe. Die abnehmenden Belastungstrends in der Elbe lassen sich in den Dreikantmuscheln allerdings nicht

nachweisen, was daran liegen könnte, dass die Beprobungen erst in den späten 1990er-Jahren begonnen haben.

- Miesmuscheln aus deutschen Küstengewässern weisen Quecksilberkonzentrationen zwischen 10 und 60 µg/kg Frischgewicht auf und liegen damit in der gleichen Größenordnung wie Dreikantmuscheln aus Binnengewässern. Miesmuscheln aus der Ostsee halten dabei mit etwas mehr als 10 µg/kg Frischgewicht die UQN für Biota ein, während Miesmuscheln aus der Nordsee mit durchschnittlich mehr als 40 µg/kg Frischgewicht relativ deutlich darüber liegen.

## **8. Schlussfolgerungen und Empfehlungen**

Die Richtlinie 2008/105/EG legt eine Umweltqualitätsnorm für Quecksilber in Biota fest. Eine Übertragung dieser Anforderung auf gleichwertige Qualitätsziele für die Wasserphase oder Sediment ist nach heutigem Kenntnisstand nicht möglich. Die Brasse, als weit verbreitete und weitgehend standorttreue Fischart, bietet sich zur Überwachung dieser Umweltqualitätsnorm an. Fische bilden die hauptsächliche Nahrung u.a. von Otter und Fischadler, die vor Vergiftung über die Nahrungskette („secondary poisoning“) geschützt werden sollen [1].

Allerdings zeigen die Daten, dass die Umweltqualitätsnorm für Biota von 20 µg/kg Frischgewicht in der Brasse flächendeckend deutlich überschritten wird. Dass die Einhaltung dieser UQN in Fischen prinzipiell problematisch ist, zeigen auch Literaturdaten aus anderen Ländern, insbesondere solche aus abgelegenen Gebieten („remote areas“) [3, 4, 5, 6, 7]. Die Quecksilbergehalte in Friedfischen solcher Gebiete (z.B. Kanada, Alaska, Norwegen) liegen meist im Bereich von 20 bis 100 µg/kg Frischgewicht, oft auch darüber und nur in wenigen Einzelfällen unterhalb von 20 µg/kg (die Gehalte sind auch abhängig vom Alter bzw. der Größe der untersuchten Fische). Dieses Konzentrationsniveau, das auch im Referenzgewässer der UPB Belauer See vorliegt, kann daher als ubiquitäre Grundbelastung in Fischen aus ansonsten anthropogen weitgehend unbeeinträchtigten Gewässern angesehen werden, die (neben geogenen Einflüssen) hauptsächlich auf den globalen atmosphärischen Quecksilbertransport und die daraus resultierende Hg-Deposition zurückzuführen ist.

Untersuchungen von Dreikantmuscheln sind ebenfalls geeignet, Belastungsunterschiede mit Quecksilber in Binnengewässern zu erkennen. Die deutlich geringeren Quecksilberkonzentrationen in den Dreikantmuscheln gegenüber den Brassern dürften darauf zurückzuführen sein, dass die beprobten Muscheln mit ca. 1 bis 2 Jahren wesentlich jünger sind als die Brassern mit etwa 8 bis 12 Jahren und eine Anreicherung entlang der Nahrungskette erfolgt.

Bei der Untersuchung von Muscheln ist deren sesshafte Lebensweise vorteilhaft, die große Standorttreue und erleichterte Probenahme mit sich bringt. Nachteilig ist anzumerken, dass die Konzentrationsverteilung zwischen wenig und stärker belasteten Standorten eine geringere Spreizung als bei den Brassern aufweist und dass in den Analysenergebnissen der Muscheln im Gegensatz zu den Brassern keine signifikanten Trends festzustellen sind.

## **Danksagung**

Der Autor dankt Katrin Blondzik (Umweltbundesamt) für die Bereitstellung der Schwebstoffdaten sowie der Umweltprobenbank für die Überlassung der chemischen Analysen der biologischen Matrices.

## Literatur

- [1] P. Lepper  
*"Manual on the methodological framework to derive environmental quality standards for priority substances in accordance with Article 16 of the Water Framework Directive (2000/60/EC)"*  
Fraunhofer Institute for Molecular Biology and Applied Ecology: Schmallenberg, Germany;  
15 September 2005  
[http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework\\_directive/thematic\\_document/s/priority\\_substances/supporting\\_background/manual\\_methodology/EN\\_1.0\\_&a=d](http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/thematic_document/s/priority_substances/supporting_background/manual_methodology/EN_1.0_&a=d)
- [2] European Commission  
*"Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive, Environmental Quality Standards (EQS), Substance Data Sheet, Priority Substance No. 21, Mercury and its Compounds, CAS-No. 7439-97-6, Final version Brussels, 15 January 2005"*  
[http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework\\_directive/thematic\\_document/s/priority\\_substances/supporting\\_background/substance\\_sheets/eqsdatasheet\\_150105pdf\\_6/EN\\_1.0\\_&a=d](http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/thematic_document/s/priority_substances/supporting_background/substance_sheets/eqsdatasheet_150105pdf_6/EN_1.0_&a=d)
- [3] M.C. Gabriel, R. Kolka, T. Wickman, E. Nater, L. Woodruff  
*"Evaluating the spatial variation of total mercury in young-of-year yellow perch (*Perca flavescens*), surface water and upland soil for watershed-lake systems within the southern Boreal Shield"*  
Science of the Total Environment 407 (2009) 4117-4126
- [4] S.C. Jewett, L.K. Duffy  
*"Mercury in fishes of Alaska, with emphasis on subsistence species"*  
Science of the Total Environment 387 (2007) 3-27
- [5] W.L. Lockhart, G.A. Stern, G. Low, M. Hendzel, G. Boila, P. Roach, M.S. Evans, B.N. Billeck, J. DeLaronde, S. Friesen, K. Kidd, S. Atkins, D.C.G. Muir, M. Stoddart, G. Stephens, S. Stephenson, S. Harbicht, N. Snowshoe, B. Grey, S. Thompson, N. DeGraff  
*"A history of total mercury in edible muscle of fish from lakes in northern Canada"*  
Science of the Total Environment 351–352 (2005) 427-463
- [6] M.S. Evans, D. Muir, W. L. Lockhart, G. Stern, M. Ryan, P. Roach  
*"Persistent organic pollutants and metals in the freshwater biota of the Canadian Subarctic and Arctic: An overview"*  
Science of the Total Environment 351–352 (2005) 94-147
- [7] M.T. Solhaug Jenssen, R. Borgstrøm, B. Salbu, B.O. Rosseland  
*"The importance of size and growth rate in determining mercury concentrations in European minnow (*Phoxinus phoxinus*) and brown trout (*Salmo trutta*) in the subalpine lake, Øvre Heimdalsvatn"*  
Hydrobiologia 642 (2010) 115-126

## Anhang: Daten

### Quecksilber in Brassen, Angaben in µg/kg Trockengewicht (Originalwerte der UPB)

Probenahmegebiet	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Belauer See	--	--	--	--	226	--	195	--	175	--	120	--	145	--	106	--	162
Saar – Güdingen	--	316	363	396	469	549	449	444	441	507	526	430	390	474	476	392	399
Saar – Rehlingen	--	398	512	517	466	459	575	633	546	603	569	610	462	536	584	510	524
Rhein – Weil	--	--	772	678	673	639	886	916	746	841	718	850	841	500	553	575	476
Rhein – Iffezheim	--	--	1206	1429	1022	935	913	1023	1042	1155	896	1142	1142	1098	688	1140	943
Rhein – Koblenz	--	--	878	805	546	367	493	478	441	426	381	393	408	553	472	500	815
Rhein – Bimmen	--	--	1391	1945	1415	1099	740	1223	847	927	561	823	942	863	648	851	988
Donau – Ulm	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	530	448	421	423	508	322
Donau – Kelheim	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	538	884	667	495	668	761
Donau – Jochenstein	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1313	1336	1270	1053	1530	1407
Elbe – Prossen	2093	2618	2859	2456	1678	1784	2027	1658	1787	1585	1152	1592	1523	1532	824	1130	1213
Elbe – Zehren	2632	2934	3376	2505	2133	2259	2650	1852	2248	1973	1624	2033	2090	1852	1540	1488	1647
Elbe – Barby	1402	4196	3397	2856	2158	3022	2430	1843	1540	1050	1415	1447	1316	1220	1613	1292	1592
Elbe – Cumlosen	1299	2887	2758	2860	3286	2526	1398	1162	1041	1270	1532	1867	1956	1518	1492	1200	1095
Elbe – Blankenese	1650	1628	1464	1629	1133	1067	1159	1258	901	524	465	572	418	489	534	578	556
Saale – Wettin	--	--	1455	969	943	1035	1248	1655	1422	1638	1546	1622	1962	1698	1830	1717	1450
Mulde – Dessau	--	--	4127	3439	3032	2719	2521	1445	1487	1520	916	1122	1115	1363	1255	1007	1053

### Quecksilber in Brassen, Angaben in µg/kg Frischgewicht (umgerechnet mit dem Faktor 0,2)

Probenahmegebiet	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Belauer See	--	--	--	--	45	--	39	--	35	--	24	--	29	--	21	--	32
Saar – Güdingen	--	63	73	79	94	110	90	89	88	101	105	86	78	95	95	78	80
Saar – Rehlingen	--	80	102	103	93	92	115	127	109	121	114	122	92	107	117	102	105
Rhein – Weil	--	--	154	136	135	128	177	183	149	168	144	170	168	100	111	115	95
Rhein – Iffezheim	--	--	241	286	204	187	183	205	208	231	179	228	228	220	138	228	189
Rhein – Koblenz	--	--	176	161	109	73	99	96	88	85	76	79	82	111	94	100	163
Rhein – Bimmen	--	--	278	389	283	220	148	245	169	185	112	165	188	173	130	170	198
Donau – Ulm	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	106	90	84	85	102	64
Donau – Kelheim	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	108	177	133	99	134	152
Donau – Jochenstein	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	263	267	254	211	306	281
Elbe – Prossen	419	524	572	491	336	357	405	332	357	317	230	318	305	306	165	226	243
Elbe – Zehren	526	587	675	501	427	452	530	370	450	395	325	407	418	370	308	298	329
Elbe – Barby	280	839	679	571	432	604	486	369	308	210	283	289	263	244	323	258	318
Elbe – Cumlosen	260	577	552	572	657	505	280	232	208	254	306	373	391	304	298	240	219
Elbe – Blankenese	330	326	293	326	227	213	232	252	180	105	93	114	84	98	107	116	111
Saale – Wettin	--	--	291	194	189	207	250	331	284	328	309	324	392	340	366	343	290
Mulde – Dessau	--	--	825	688	606	544	504	289	297	304	183	224	223	273	251	201	211

### Quecksilber in Dreikantmuscheln, Angaben in µg/kg Trockengewicht (Originalwerte der UPB)

Probenahmegebiet	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Belauer See	--	--	--	77	--	68	--	42	--	33	--	50	--	43	--
Saar – Gündingen	80	96	60	81	--	68	99	63	57	40	65	47	60	78	91
Saar – Rehlingen	133	68	93	196	78	66	91	44	38	35	44	42	49	65	48
Rhein – Weil	--	146	62	108	--	173	--	--	--	--	167	--	187	--	--
Rhein – Iffezheim	--	164	94	134	--	--	--	--	--	--	204	--	--	--	--
Rhein – Koblenz	--	156	71	103	--	--	--	--	--	--	147	88	95	55	84
Rhein – Bimmen	--	130	67	172	--	155	--	122	--	--	122	136	--	197	173
Elbe – Prossen	--	--	--	--	--	182	178	199	216	94	80	121	107	106	118
Elbe – Zehren	--	--	--	--	--	--	170	272	189	253	213	219	202	151	246
Elbe – Barby	--	--	--	--	251	231	234	265	258	336	211	145	114	151	138
Elbe – Cumlosen	--	--	--	--	191	147	176	146	315	--	--	115	125	180	121
Elbe – Blankenese	--	242	329	244	260	305	306	164	--	211	216	--	245	273	222
Donau – Ulm	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	58
Donau – Kelheim	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	119
Donau – Jochenstein	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	120

### Quecksilber in Dreikantmuscheln, Angaben in µg/kg Frischgewicht (umgerechnet mit dem Faktor 0,15)

Probenahmegebiet	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Belauer See	--	--	--	11	--	10	--	6	--	5	--	8	--	6	--
Saar – Gündingen	12	14	9	12	--	10	15	9	8	6	10	7	9	12	14
Saar – Rehlingen	20	10	14	29	12	10	14	7	6	5	7	6	7	10	7
Rhein – Weil	--	22	9	16	--	26	--	--	--	--	25	--	28	--	--
Rhein – Iffezheim	--	25	14	20	--	--	--	--	--	--	31	--	--	--	--
Rhein – Koblenz	--	23	11	15	--	--	--	--	--	--	22	13	14	8	13
Rhein – Bimmen	--	19	10	26	--	23	--	18	--	--	18	20	--	30	26
Elbe – Prossen	--	--	--	--	--	27	27	30	32	14	12	18	16	16	18
Elbe – Zehren	--	--	--	--	--	--	26	41	28	38	32	33	30	23	37
Elbe – Barby	--	--	--	--	38	35	35	40	39	50	32	22	17	23	21
Elbe – Cumlosen	--	--	--	--	29	22	26	22	47	--	--	17	19	27	18
Elbe – Blankenese	--	36	49	37	39	46	46	25	--	32	32	--	37	41	33
Donau – Ulm	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	9
Donau – Kelheim	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	18
Donau – Jochenstein	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	18

### Quecksilber in Schwebstoff, Angaben in mg/kg Trockengewicht

Probenahmegebiet	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Saar – Güdingen	--	--	--	--	0,27	0,26	0,30	0,25	0,25	0,24	0,20	0,24	0,26	0,20	0,22	0,23	0,20	0,21	0,14
Rhein – Koblenz	0,83	0,78	0,37	0,46	0,26	0,21	0,25	0,25	0,37	0,39	0,38	0,38	0,34	0,41	0,36	0,33	0,36	0,34	0,30
Rhein – Kleve-Bimmen	0,69	1,53	0,81	0,75	0,39	0,49	0,69	0,62	0,68	0,45	0,50	0,50	0,41	0,86	0,52	0,59	0,48	0,43	0,46
Donau – Kelheim	--	--	--	--	11,8	0,53	2,34	0,20	0,60	0,65	0,10	0,97	0,35	--	--	--	--	--	--
Donau – Jochenstein	0,37	0,36	0,52	0,21	0,30	0,55	0,15	0,10	0,05	0,10	0,05	0,39	0,40	0,34	0,30	0,22	0,28	0,27	0,21
Elbe – Schmilka	--	--	--	--	--	4,9	8,4	3,3	2,7	2,7	2,2	2,0	1,7	1,6	1,3	1,7	0,8	1,0	1,5
Elbe – Zehren	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1,7	1,0	0,91	0,82	0,99	0,92	0,65	0,93
Elbe – Schnackenburg	20,2	27,8	12,3	10,1	7,3	5,8	4,4	5,2	4,1	3,6	3,2	3,5	3,4	2,5	2,8	3,5	--	--	--
Elbe – Seemannshöft	--	--	8,1	4,8	5,5	4,8	3,1	2,0	1,8	1,8	1,7	1,3	1,8	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	1,1
Saale – Groß Rosenberg	--	--	--	--	7,8	7,7	4,3	6,6	5,4	7,2	6,0	5,3	4,3	6,6	5,6	4,6	3,2	2,2	3,0
Mulde – Dessau	--	--	--	--	--	7,0	7,2	5,0	3,9	3,2	3,2	2,3	2,9	2,7	2,4	1,8	1,6	1,8	1,7

### Quecksilber in Miesmuscheln, Angaben in µg/kg Trockengewicht (Originalwerte der UPB)

Probenahmegebiet	1986	1988	1990	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Darßer Ort	--	--	--	65	98	79	82	88	--	102	90	105	72	61	62	81	84	77	52	71
Königshafen (Sylt)	--	--	--	212	219	308	258	232	240	265	212	325	278	294	249	332	295	308	300	328
Eckwarderhörne (Jadebusen)	310	457	386	361	351	247	293	261	289	392	298	279	302	287	202	303	233	251	339	326

### Quecksilber in Miesmuscheln, Angaben in µg/kg Frischgewicht (umgerechnet mit dem Faktor 0,15)

Probenahmegebiet	1986	1988	1990	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Darßer Ort	--	--	--	10	15	12	12	13	--	15	13	16	11	9	9	12	13	12	8	11
Königshafen (Sylt)	--	--	--	32	33	46	39	35	36	40	32	49	42	44	37	50	44	46	45	49
Eckwarderhörne (Jadebusen)	47	69	58	54	53	37	44	39	43	59	45	42	45	43	30	45	35	38	51	49