

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

von

Jörg Wellnitz (Umweltbundesamt, Fachgebiet II 2.5)

## 1. Ausgangssituation

Die Richtlinie 2008/105/EG (UQN-Richtlinie, zuletzt geändert durch die Richtlinie 2013/39/EU) fordert für Quecksilber und Quecksilberverbindungen die Einhaltung einer Umweltqualitätsnorm in Biota (Biota-UQN) in Höhe von 20 µg/kg Frischgewicht. Die Biota-UQN für Quecksilber bezieht sich auf Fische und dient dem Schutz höherer Lebewesen (Säugetiere, Greifvögel) vor Vergiftung über die Nahrungskette („secondary poisoning“). Die Ableitung der UQN basiert auf der von Lepper (2005) vorgeschlagenen Methodik [1]. Das Stoffdatenblatt für Quecksilber und Quecksilberverbindungen, das die Grundlagen der Ableitung der UQN dokumentiert, kann über die öffentliche Seite von CIRCABC [2] bezogen werden. Die Biota-UQN beruht auf den niedrigsten dokumentierten NOEC-Werten („no observed effect concentration“; höchste Dosis eines Stoffs, die bei andauernder Aufnahme keine erkennbare Wirkung hinterlässt) für Quecksilber in Nahrung von Säugetieren (0,22 mg/kg; Wachstum von Rhesusaffen) und Vögeln (0,25 mg/kg; Eiproduktion von Stockenten) und einem Bewertungsfaktor („assessment factor“) von 10.

Die Lebensmittelgrenzwerte als Höchstgehalte von Quecksilber in Fischen liegen im Vergleich zur Biota-UQN 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.

Basierend auf dem Bericht vom Dezember 2010 wird im vorliegenden Bericht die aktuelle Belastungssituation von Fischen mit Hg erörtert. Nach wie vor wird die UQN in Fischen aus deutschen Binnengewässern flächendeckend deutlich überschritten, während die Lebensmittelgrenzwerte für Quecksilber in Fischen eingehalten werden. Als Datengrundlage wird auf die Analyseergebnisse der Umweltprobenbank des Bundes (UPB) zurückgegriffen.

---

<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

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

Die UPB erhebt seit mehr als 20 Jahren Daten zu Quecksilber in Biota aus verschiedenen Fließgewässern, einem Binnensee und aus den Küstengewässern der Nord- und Ostsee in Deutschland.

Im Binnenbereich wird der Brassen (Brachse, Blei; *Abramis brama*) beprobt und zwar in der Altersklasse zwischen 8 und 12 Jahren. Brassen eignen sich aufgrund ihrer weiten Verbreitung und der relativen Standorttreue gut als Bioindikator in Fließgewässern und Seen. Durch seine regionale Nutzung als Speisefisch besteht auch ein direkter Bezug zur menschlichen Nahrungskette. Das Quecksilber wird in der Muskulatur analysiert.

Die Beprobungen der UPB in Binnengewässern umfassen insgesamt 17 Probenahme­flächen. 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).

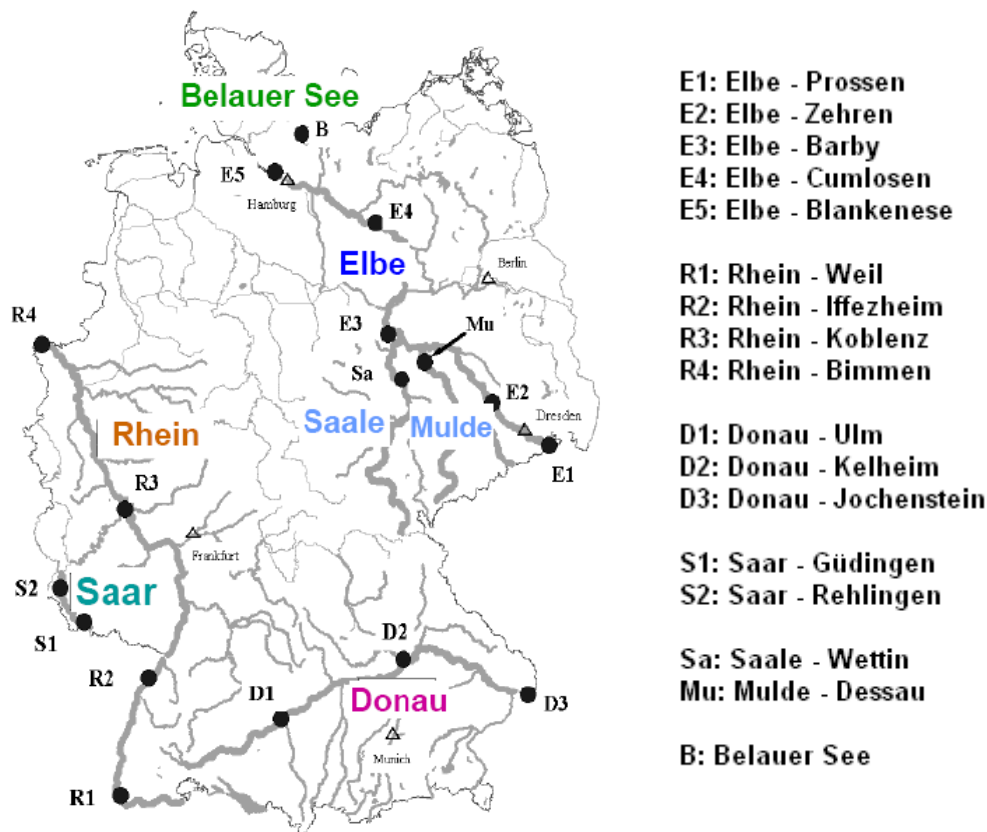
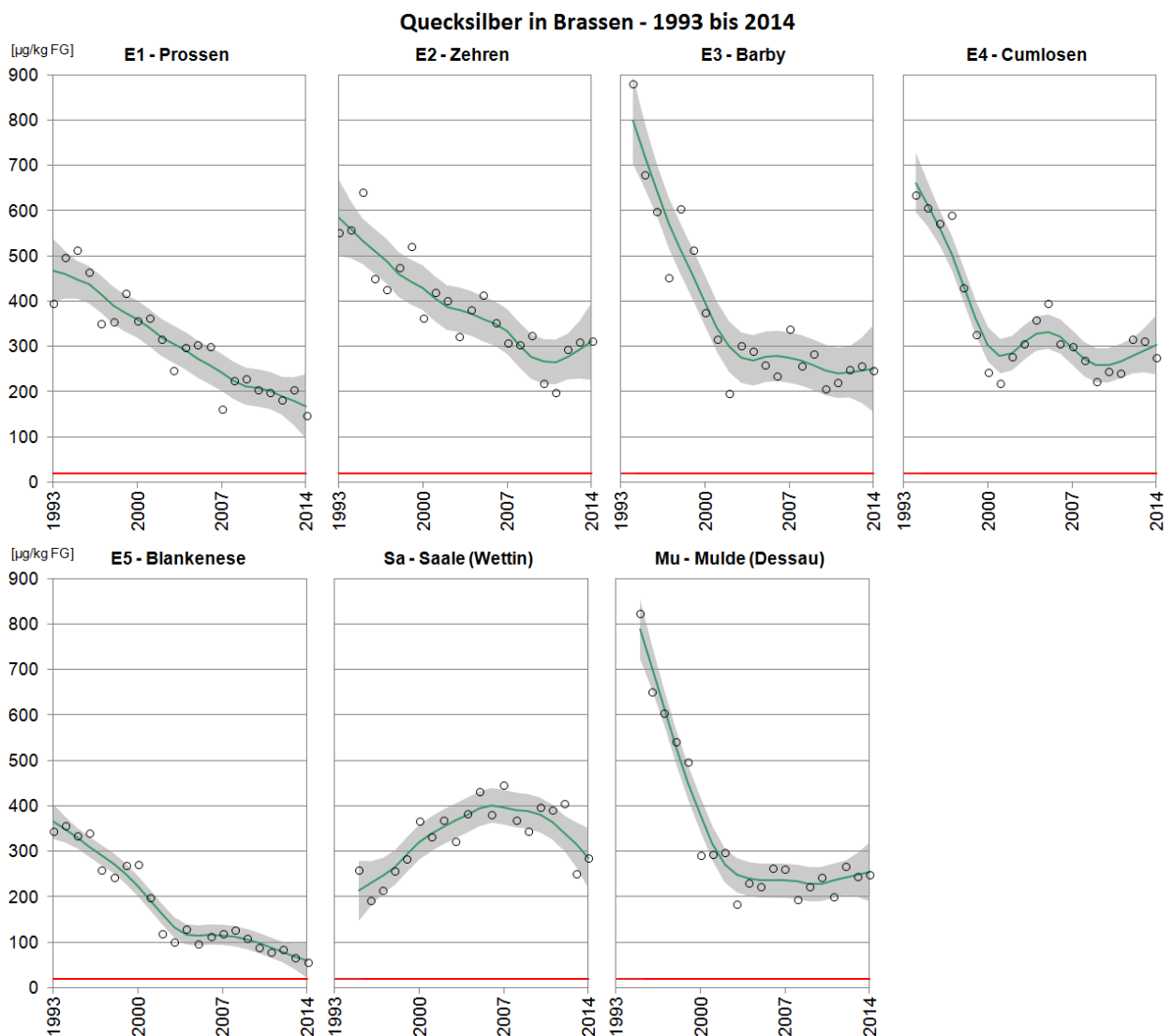


Abb. 1: Probenahme­flächen der Umweltprobenbank in Binnengewässern. Quelle der Grafik: Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie (IME), Schmallenberg

### 3. Quecksilbergehalte in Brassen

Abbildung 2 stellt die Quecksilbergehalte in Brassenproben aus Elbe und Elbe-Nebenflüssen, Rhein, Saar, Belauer See und Donau für den Zeitraum 1993 (Beginn der Untersuchungen) bis 2014 grafisch dar. Für die einzelnen Datenreihen wurde jeweils eine Glättungsfunktion („LOESS-Smoother“) inklusive Konfidenzintervall berechnet, welche die Konzentrationsverläufe veranschaulicht.

Die Quecksilbergehalte in Brassen aus der Elbe und der Mulde zeigen seit dem Beginn der Untersuchungen deutlich rückläufige Trends mit Konzentrationsabnahmen zwischen ca. 47% (Zehren) und 87% (Blankenese). In der Saale bei Wettin liegt dagegen eine Zunahme der Quecksilberkonzentration um ca. 33% zwischen 1994 und 2014 vor. Die Fische aus Rhein, Saar und Donau zeigen insgesamt weniger starke Veränderungen der Quecksilbergehalte als die des Einzugsgebiets der Elbe; die größte Abnahme liegt mit ca. 50% im Rhein bei Bimmen vor.



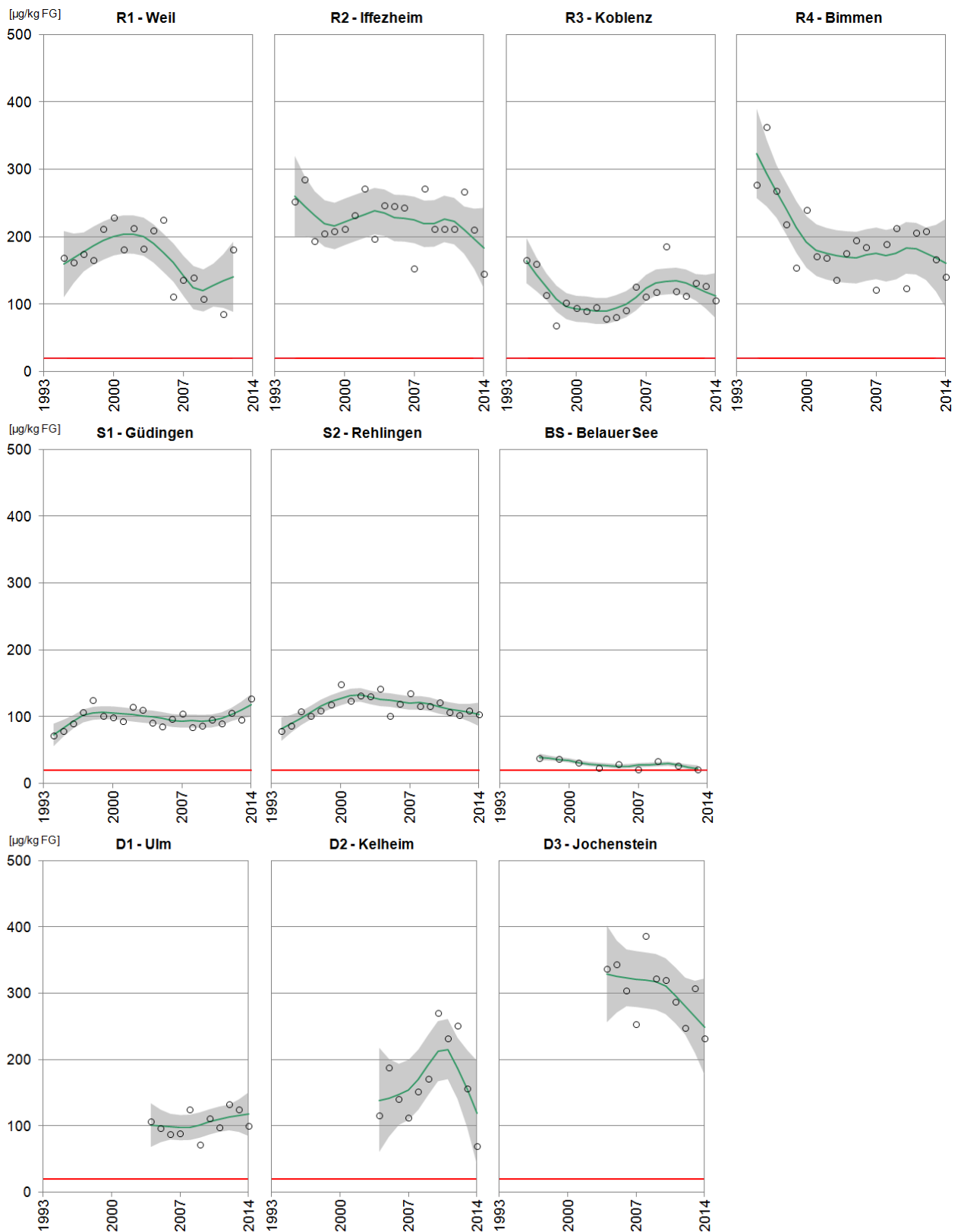


Abb. 2: Grafische Darstellung der Quecksilbergehalte in Brassen aus Elbe, Saale, Mulde, Rhein, Saar, Belauer See und Donau für den Zeitraum 1993 bis 2014. Alle Angaben in  $\mu\text{g}/\text{kg}$  Frischgewicht. Die grüne Linie und die graue Fläche stellen die LOESS-Glättungsfunktion (mit einem festen Zeitfenster von sieben Jahren) und deren 95%-Konfidenzintervall dar. Die rote Linie ist die Biotransformation Quotient von  $20 \mu\text{g}/\text{kg}$  Frischgewicht. Datenquelle: Umweltprobenbank

Um zu überprüfen, ob die Veränderungen der Quecksilberbelastungen in den Brassens statistisch signifikant sind, wurde mit jeder Datenreihe der nichtparametrische Mann-Kendall-Trendtest durchgeführt (siehe Tabelle 1). Dabei ergibt sich, dass in der Elbe und der Mulde mit statistischen Wahrscheinlichkeiten von 99% (d.h. Signifikanzniveau  $\alpha < 0,01$ ) signifikant fallende Trends vorliegen. In der Saale bei Wettin liegt dagegen mit 95%iger Wahrscheinlichkeit ein ansteigender Trend vor. In der Saar, dem Rhein und der Donau liegen keine statistisch signifikanten Veränderungen der Quecksilberkonzentrationen vor, außer am Rhein bei Bimmen und der Donau bei Jochenstein (fallende Trends mit 95%iger Wahrscheinlichkeit).

Zum Vergleich: Im Rahmen der Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer wird ein Trend mit mindestens 95%iger Wahrscheinlichkeit (Signifikanzniveau  $\alpha < 0,05$ ) als signifikant eingestuft.

Die signifikanten Trends der Hg-Gehalte in den Brassens der Elbe und der Saale/Mulde zeigen deutliche Belastungsveränderungen in diesen Gewässern.

Tabelle 1: Prozentuale Veränderung der Quecksilbergehalte in Brassens zwischen Beginn und Ende der Messungen (basierend auf der LOESS-Glättungsfunktion) sowie statistische Wahrscheinlichkeit für einen Trend in den einzelnen Datenreihen „Quecksilber in Brassens – 1993 bis 2014“ (siehe Abb. 2) basierend auf dem nichtparametrischen Mann-Kendall-Trendtest (zweiseitig)

Standort	Veränderung zwischen 1993 und 2014	Statistische Wahrscheinlichkeit P für einen Trend
<b>Elbe – Prossen</b>	Abnahme um 64%	fallend: 99%
<b>Elbe – Zehren</b>	Abnahme um 47%	fallend: 99%
<b>Elbe – Barby</b>	Abnahme um 69%	fallend: 99%
<b>Elbe – Cumlosen</b>	Abnahme um 54%	fallend: 99%
<b>Elbe – Blankenese</b>	Abnahme um 84%	fallend: 99%
<b>Saale – Wettin</b>	Zunahme um 33%	steigend: 95%
<b>Mulde – Dessau</b>	Abnahme um 68%	fallend: 99%
<b>Rhein – Weil</b>	Abnahme um 12%	unter 95%
<b>Rhein – Iffezheim</b>	Abnahme um 30%	unter 95%
<b>Rhein – Koblenz</b>	Abnahme um 31%	unter 95%
<b>Rhein – Bimmen</b>	Abnahme um 50%	fallend: 95%
<b>Saar – Gündingen</b>	Zunahme um 61%	unter 95%
<b>Saar – Rehlingen</b>	Zunahme um 27%	unter 95%
<b>Donau – Ulm</b>	Zunahme um 16%	unter 95%
<b>Donau – Kelheim</b>	Abnahme um 14%	unter 95%
<b>Donau – Jochenstein</b>	Abnahme um 24%	fallend: 95%
<b>Belauer See</b>	Abnahme um 44%	fallend: 95%

Zum Vergleich der aktuellen Belastungssituation an den einzelnen Standorten wurden in Abbildung 3 die Messergebnisse der letzten 10 Jahre grafisch dargestellt und die berechnete Glättungsfunktion für die nächsten zwei Jahre linear extrapoliert.

### Quecksilber in Brassen - 2005 bis 2014

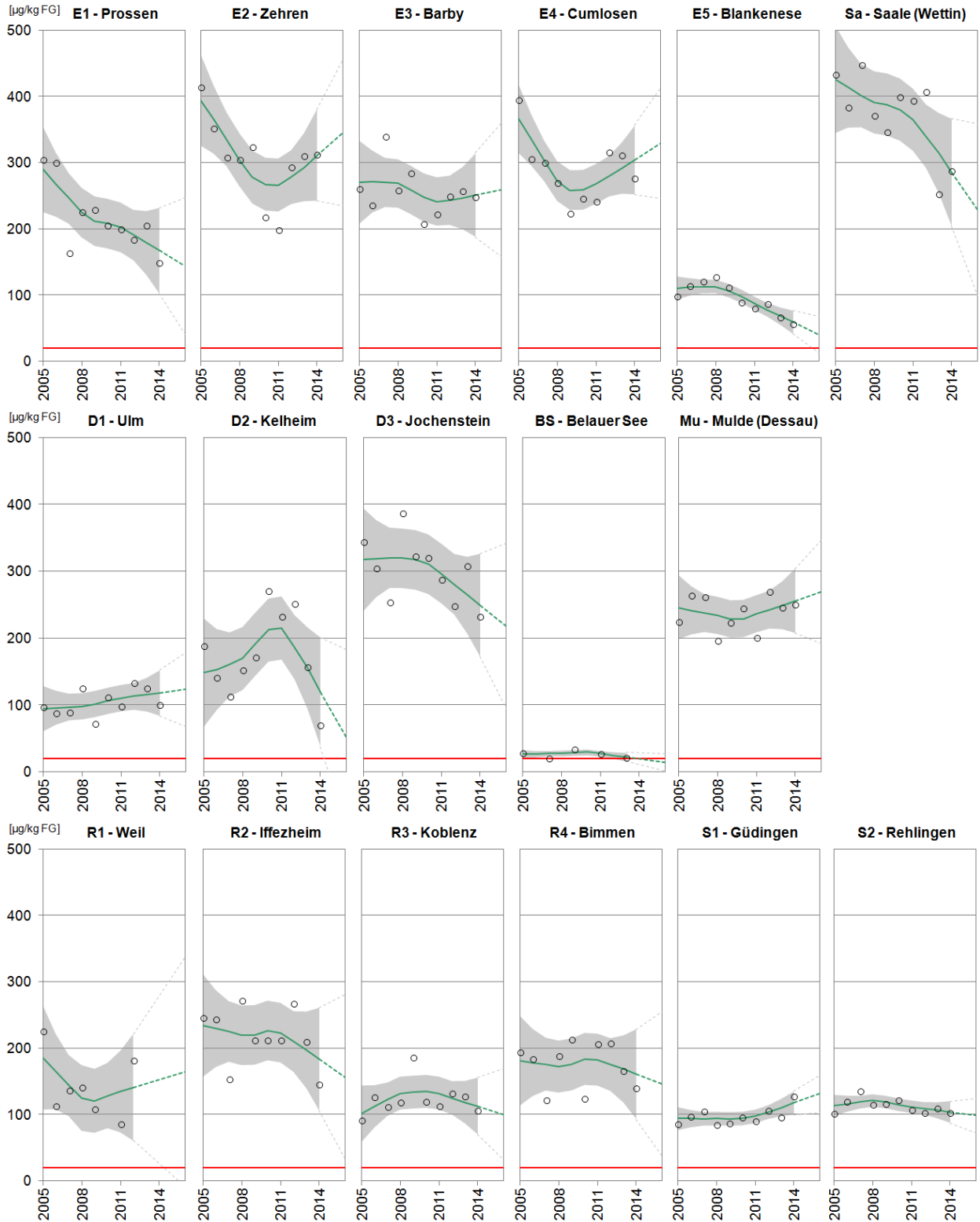


Abb. 3: Grafische Darstellung der Quecksilbergehalte in Brassen aus Elbe, Saale, Donau, Belauer See Mulde, Rhein und Saar für den Zeitraum 2005 bis 2014; linear extrapoliert bis 2016. Alle Angaben in µg/kg Frischgewicht. Die grüne Linie und die graue Fläche stellen die LOESS-Glättungsfunktion (mit einem festen Zeitfenster von sieben Jahren) und deren 95%-Konfidenzintervall dar. Die rote Linie ist die Biota-UQN von 20 µg/kg Frischgewicht. Datenquelle: Umweltprobenbank

Die Datenreihen der letzten 10 Jahre wurden ebenfalls auf prozentuale Veränderungen und statistisch signifikante Trends untersucht. In den letzten 10 Jahren lassen sich nur noch an den Elbe-Standorten Prossen und Blankenese signifikant abnehmende Trends nachweisen (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Prozentuale Veränderung der Quecksilbergehalte in Brassens zwischen 2005 und 2014 (basierend auf der LOESS-Glättungsfunktion) sowie statistische Wahrscheinlichkeit für einen Trend in den einzelnen Datenreihen „Quecksilber in Brassens – 2005 bis 2014“ (siehe Abb. 3) basierend auf dem nichtparametrischen Mann-Kendall-Trendtest (zweiseitig)

Standort	Veränderung zwischen 2005 und 2014	Statistische Wahrscheinlichkeit P für einen Trend
<b>Elbe – Prossen</b>	Abnahme um 42%	fallend: 95%
<b>Elbe – Zehren</b>	Abnahme um 21%	unter 95%
<b>Elbe – Barby</b>	Abnahme um 7%	unter 95%
<b>Elbe – Cumlosen</b>	Abnahme um 17%	unter 95%
<b>Elbe – Blankenese</b>	Abnahme um 47%	fallend: 95%
<b>Saale – Wettin</b>	Abnahme um 33%	unter 95%
<b>Mulde – Dessau</b>	Zunahme um 4%	unter 95%
<b>Donau – Ulm</b>	Zunahme um 25%	unter 95%
<b>Donau – Kelheim</b>	Abnahme um 20%	unter 95%
<b>Donau – Jochenstein</b>	Abnahme um 21%	unter 95%
<b>Rhein – Weil</b>	Abnahme um 24%	unter 95%
<b>Rhein – Iffezheim</b>	Abnahme um 22%	unter 95%
<b>Rhein – Koblenz</b>	Zunahme um 12%	unter 95%
<b>Rhein – Bimmen</b>	Abnahme um 11%	unter 95%
<b>Saar – Gündingen</b>	Zunahme um 25%	unter 95%
<b>Saar – Rehlingen</b>	Abnahme um 9%	unter 95%
<b>Belauer See</b>	Abnahme um 15%	unter 95%

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Quecksilber-Konzentrationen in Brassens aus deutschen Fließgewässern aktuell zwischen ca. 100 und 350 µg/kg Frischgewicht liegen und damit die UQN für Biota um den Faktor 5 bis 18 überschreiten (siehe Tabelle 3). Die niedrigsten Hg-Gehalte innerhalb der Beprobungen der UPB treten bei den Brassens im Referenzgewässer Belauer See mit ca. 20 µg/kg FG auf, die die UQN damit praktisch einhalten. Die höchsten Hg-Konzentrationen weisen Brassens aus der Elbe (Zehren, Barby und Cumlosen), der Mulde, der Saale und der Donau bei Jochenstein mit teilweise mehr als 300 µg/kg FG auf.

Tabelle 3: Zusammenfassung der aktuellen Belastungssituation für Quecksilber in Brassens an den 17 Binnengewässer-Probenahme­flächen der Umweltprobenbank. Alle Angaben in µg/kg Frischgewicht.

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

Konzentrationsbereiche: < 20 20 – 150 150 – 250 > 250 [µg/kg] FG

#### 4. Quecksilbergehalte in Schwebstoffen

Um zu überprüfen, inwieweit die signifikanten Trends der Quecksilbergehalte in Brassens mit den Belastungen bzw. Belastungsveränderungen in anderen Kompartimenten korrelieren, wurden die Biota-Ergebnisse mit den Quecksilbergehalten in den Schwebstoffen der beprobten Flüsse verglichen, die von der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) zur Verfügung gestellt wurden. In der Elbe wurden zum Vergleich mit Prossen (E1, Fluss-km 13) Schwebstoffdaten vom Standort Schmilka (Fluss-km 4) verwendet, für Cumlosen (E4, Fluss-km 470) Messungen aus Schnackenburg (Fluss-km 474) und für Blankenese (E5, 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 und in der Donau als Ersatz für Kelheim (D2, Fluss-km 2415) auf Daten aus Bad Abbach (Fluss-km 2397; siehe Abbildung 4).



### Quecksilber in Schwebstoff - 1990 bis 2013

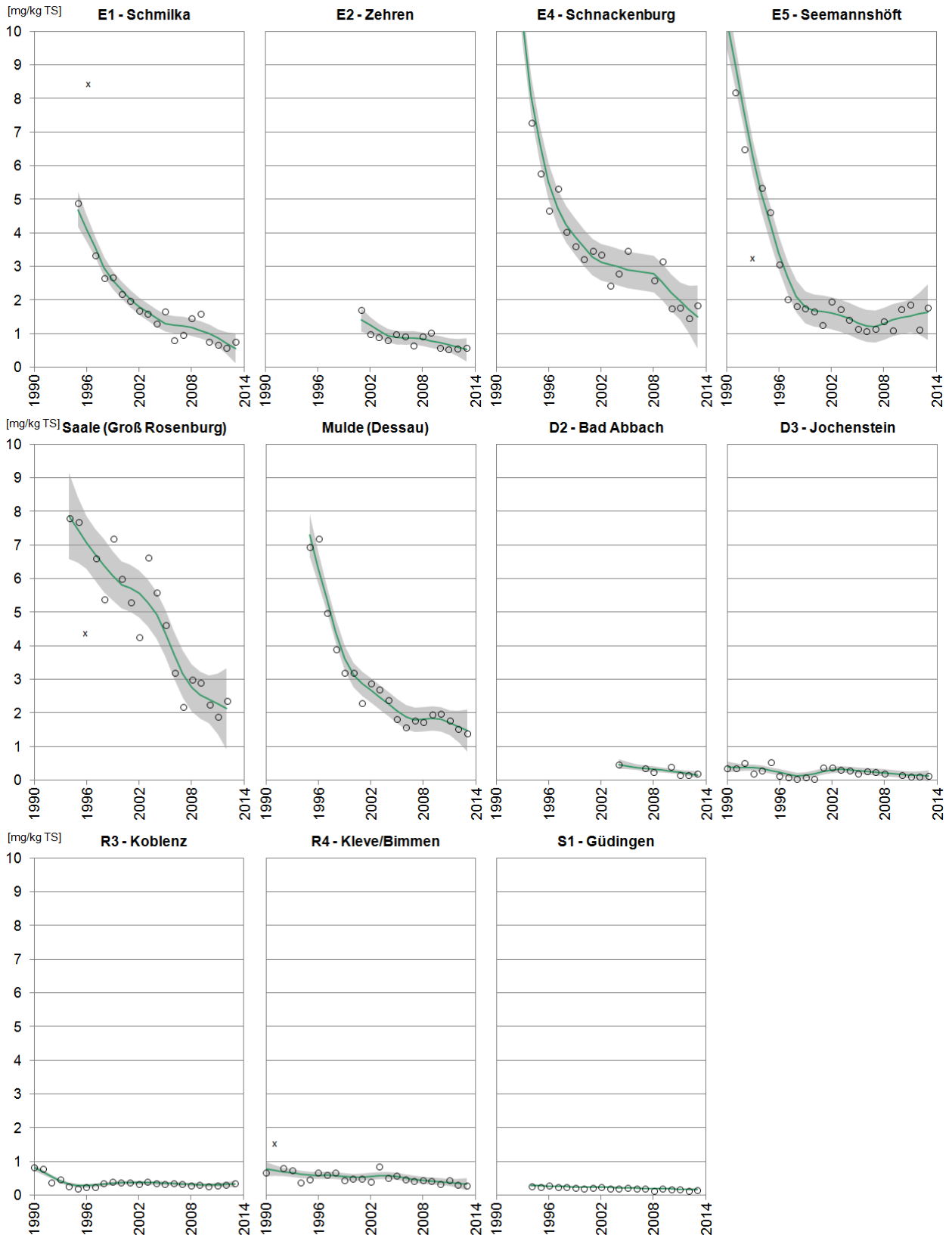


Abb. 4: Grafische Darstellung der Quecksilbergehalte in Schwebstoff aus Elbe, Saale, Mulde, Donau, Rhein und Saar für den Zeitraum 1990 bis 2013. Alle Angaben in mg/kg Trockensubstanz. Die grüne Linie und die graue Fläche stellen die LOESS-Glättungsfunktion (mit einem festen Zeitfenster von sieben Jahren) und deren 95%-Konfidenzintervall dar; x = Ausreißer, der bei der Berechnung nicht berücksichtigt wurde. Datenquelle: Zusammenstellung des Umweltbundesamtes nach Angaben der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)

Bei den Schwebstoffproben aus der Elbe und der Saale/Mulde zeigen sich deutlich abnehmende Trends; die Quecksilberkonzentrationen im Schwebstoff gehen zwischen 1994 – ab diesem Zeitpunkt liegen für fast alle Standorte Messergebnisse vor – und 2013 von ca. 5 bis 10 mg/kg auf ca. 1 bis 2,5 mg/kg zurück. Das entspricht einer Konzentrationsabnahme an den einzelnen Standorten von 63 bis 88%. In der Saar, dem Rhein und der Donau liegen die Konzentrationen dagegen fast im gesamten Zeitraum deutlich unterhalb von 1 mg/kg.

Die Signifikanz dieser Änderungen wurde wiederum mit dem Mann-Kendall-Trendtest überprüft (siehe Tabelle 4). 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 4: Prozentuale Veränderung der Quecksilbergehalte in Schwebstoff zwischen 1994 und 2013 (basierend auf der LOESS-Glättungsfunktion) sowie statistische Wahrscheinlichkeit für einen Trend in den einzelnen Datenreihen „Quecksilber in Schwebstoff – 1990 bis 2013“ (siehe Abb. 4) basierend auf dem nichtparametrischen Mann-Kendall-Trendtest (zweiseitig)

Standort	Veränderung zwischen 1994 und 2013	Statistische Wahrscheinlichkeit P für einen Trend (1994 bis 2013)
Elbe – Schmilka	Abnahme um 88%	fallend: 99%
Elbe – Zehren	Abnahme um 63%	fallend: 95%
Elbe – Schnackenburg	Abnahme um 81%	fallend: 99%
Elbe – Seemannshöft	Abnahme um 68%	fallend: 99%
Saale – Groß Rosenberg	Abnahme um 73%	fallend: 99%
Mulde – Dessau	Abnahme um 80%	fallend: 99%
Donau – Bad Abbach	Abnahme um 67%	unter 95%
Donau – Jochenstein	Abnahme um 64%	unter 95%
Rhein – Koblenz	Zunahme um 1%	unter 95%
Rhein – Kleve/Bimmen	Abnahme um 48%	fallend: 95%
Saar – Güdingen	Abnahme um 44%	fallend: 99%

Es ist festzustellen, dass die beobachteten Belastungsrückgänge in den Brassern der Elbe und der Mulde zwischen 1993 und 2014 um 47 bis 84% sehr gut mit den entsprechenden Verringerungen der Quecksilberkonzentrationen im Schwebstoff in diesen Gewässern (63 bis 88%) 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 der Brassern geeignet ist, Belastungsveränderungen durch Quecksilber in Binnengewässern abzubilden.

Die Schwebstoffdaten der letzten 10 Jahre (2004 bis 2013) zeigen Quecksilber-Gehalte in Rhein, Saar und Donau ausnahmslos im niedrigen Konzentrationsbereich unterhalb von 0,5 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 bis zu 5 mg/kg, jedoch mit fallender Tendenz auf aktuell etwa 2 bis 3 mg/kg.

In Tabelle 5 sind die aktuellen Quecksilbergehalte im Schwebstoff und in den Brassen gegenüber gestellt.

Tabelle 5: Vergleich der aktuellen Belastungssituation für Quecksilber in Schwebstoff und Brassen an verschiedenen Standorten der Elbe, Saale, Mulde, Donau, Rhein und Saar

Standort	Hg-Gehalt in Schwebstoff	Hg-Gehalt in Brassen
Elbe – Schmilka	≈ 1 mg/kg TS	150 – 200 µg/kg FG (Prossen)
Elbe – Zehren	≈ 1 mg/kg TS	250 – 350 µg/kg FG
Elbe – Schnackenburg	≈ 2 mg/kg TS	250 – 350 µg/kg FG (Cumlosen)
Elbe – Seemannshöft	1 – 2 mg/kg TS	≈ 50 µg/kg FG (Blankenese)
Saale – Groß Rosenburg	2 – 3 mg/kg TS	250 – 350 µg/kg FG (Wettin)
Mulde – Dessau	1 – 2 mg/kg TS	200 – 300 µg/kg FG
Donau – Jochenstein	≈ 0,2 mg/kg TS	200 – 300 µg/kg FG
Rhein – Weil	≈ 0,2 mg/kg TS*	100 – 200 µg/kg FG
Rhein – Iffezheim	≈ 0,3 mg/kg TS* (Karlsruhe)	150 – 250 µg/kg FG
Rhein – Koblenz	≈ 0,3 mg/kg TS	100 – 150 µg/kg FG
Rhein – Bimmen	0,3 – 0,4 mg/kg TS	150 – 200 µg/kg FG
Saar – Gündingen	≈ 0,2 mg/kg TS	≈ 100 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 Brassen feststellen: Die niedrigen Quecksilbergehalte im Schwebstoff von Saar und Rhein (unter 0,5 mg/kg) korrespondieren mit niedrigen bis mittelhohen Messwerten in den Brassen (ca. 100 bis 200 µg/kg FG). Die höheren Hg-Konzentrationen im Schwebstoff in Elbe und Saale/Mulde (1 bis 3 mg/kg) finden ihre Korrespondenz in erhöhten Befunden in den Brassen (ca. 200 bis 350 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, die nicht mit den relativ hohen Messwerten in den Brassen korrelieren.

## 5. Zusammenfassung

- Die ökotoxikologisch begründete UQN für Quecksilber in 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.
- Die Quecksilber-Konzentrationen in Brassen aus deutschen Fließgewässern liegen aktuell im Bereich 100 bis 350 µg/kg Frischgewicht und überschreiten damit die UQN für Biota um den Faktor 5 bis 18.
- Die Konzentrationsunterschiede zwischen Brassen verschiedener Probenahmestandorte reichen von ca. 20 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 200 bis 350 µg/kg Frischgewicht zurückgegangen. Der Brassen 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.

## 6. Schlussfolgerungen

Die Richtlinie 2008/105/EG (zuletzt geändert durch die Richtlinie 2013/39/EU) legt eine Umweltqualitätsnorm für Quecksilber in Biota fest, die in Fischen zu überwachen ist. Der Brassen, 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].

Die Daten der UPB für Brassen zeigen, dass die Umweltqualitätsnorm für Biota von 20 µg/kg Frischgewicht in diesen Fischen flächendeckend deutlich überschritten wird. Dass die Einhaltung der Quecksilber-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.

## Danksagung

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

## 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://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/24007/16\\_manual\\_on\\_the\\_methodological\\_framework\\_to\\_derive\\_environmental\\_quality\\_standards\\_for\\_priority\\_substances.pdf](http://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/24007/16_manual_on_the_methodological_framework_to_derive_environmental_quality_standards_for_priority_substances.pdf)
- [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"*  
[https://circabc.europa.eu/sd/d/ff8e163c-71f6-4fc0-98ef-875a20add4c8/21\\_Mercury\\_EQSdatasheet\\_150105.pdf](https://circabc.europa.eu/sd/d/ff8e163c-71f6-4fc0-98ef-875a20add4c8/21_Mercury_EQSdatasheet_150105.pdf)
- [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 Frischgewicht

Probenahmegebiet	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Belauer See	--	--	--	--	38	--	37	--	32	--	24	--	29	--	21	--	34	--	28	--	21	--
Saar – Güdingen	--	73	80	91	108	126	102	100	94	116	111	92	86	98	106	85	88	97	91	107	96	128
Saar – Rehlingen	--	80	87	109	102	110	119	149	125	133	131	142	102	120	136	116	116	122	108	103	110	104
Rhein – Weil	--	--	170	163	175	166	213	229	182	214	183	210	226	112	136	141	109	--	86	182	--	--
Rhein – Iffezheim	--	--	253	286	194	206	209	212	232	272	198	247	247	244	154	272	212	213	212	268	211	145
Rhein – Koblenz	--	--	167	161	115	70	104	96	91	96	79	82	92	128	113	119	187	121	114	133	128	106
Rhein – Bimmen	--	--	278	364	269	220	155	240	171	170	137	176	195	185	123	190	214	125	207	209	167	141
Donau – Ulm	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	108	98	89	89	126	73	112	99	134	126	101
Donau – Kelheim	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	117	189	142	114	153	172	272	234	252	157	70
Donau – Jochenstein	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	338	344	305	254	387	323	321	288	249	309	233
Elbe – Prossen	398	497	515	467	352	357	418	357	364	318	248	300	305	301	164	227	230	207	200	185	206	150
Elbe – Zehren	553	557	641	451	427	474	522	362	421	402	323	381	414	352	308	304	324	218	198	294	310	313
Elbe – Barby	--	881	679	600	453	604	514	376	316	198	303	290	260	236	340	258	285	207	222	249	257	248
Elbe – Cumlosen	--	635	607	572	591	429	327	244	218	277	307	360	395	306	300	269	223	246	241	316	312	276
Elbe – Blankenese	347	358	337	342	260	245	271	273	199	120	101	131	98	114	121	128	111	90	81	87	67	57
Saale – Wettin	--	--	262	194	217	259	286	368	334	370	323	385	434	383	448	371	346	399	394	407	252	287
Mulde – Dessau	--	--	825	653	606	544	498	294	295	300	186	232	225	264	262	196	223	245	202	270	246	251

### 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	2009	2010	2011	2012	2013
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	0,20	0,19	0,19	0,15	0,16
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	0,31	0,28	0,29	0,31	0,36
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	0,43	0,34	0,45	0,33	0,31
Donau – Bad Abbach	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,47	--	--	0,36	0,25	--	0,40	0,16	0,15	0,19
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	--	0,17	0,13	0,12	0,15
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	1,6	0,77	0,68	0,59	0,76
Elbe – Zehren	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1,7	1,0	0,91	0,82	1,0	0,92	0,65	0,93	1,0	0,59	0,55	0,58	0,60
Elbe – Schnackenburg	20,2	27,8*	12,3	10,1	7,3	5,8	4,7	5,3	4,1	3,6	3,2	3,5	3,4	2,5	2,8	3,5	--	--	2,6	3,2	1,8	1,8	1,5	1,9
Elbe – Seemannshöft	11,6	8,2	6,5	3,2*	5,4	4,6	3,1	2,0	1,8	1,8	1,7	1,3	2,0	1,7	1,4	1,2	1,1	1,2	1,4	1,1	1,7	1,9	1,1	1,8
Saale – Groß Rosenbg.	--	--	--	--	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	2,9	2,3	1,9	2,4	--
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	2,0	2,0	1,8	1,5	1,4

\* = Ausreißer