

28. Mai 2024

Methylquecksilber in Fisch und Meeresfrüchten – gesundheitliche Bewertung neuer Daten aus der BfR- MEAL-Studie

Das Risiko gesundheitlicher Beeinträchtigungen aufgrund des Vorkommens von Methylquecksilber in Fisch und Meeresfrüchten lässt sich durch die Auswahl von Arten mit niedrigen Gehalten senken. Vergleichsweise hohe Gehalte an Methylquecksilber werden in Thunfisch und Rotbarsch gemessen. Ungeborene Kinder und Säuglinge sind für gesundheitliche Beeinträchtigungen durch die Aufnahme von Methylquecksilber besonders sensibel, da Methylquecksilber die neurologische Entwicklung stören kann. Insbesondere für schwangere und stillende Frauen ist es daher ratsam, gezielt zu Arten zu greifen, die geringere Mengen des unerwünschten Stoffes enthalten.

Für die meisten Menschen in Deutschland sieht das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) nach der Auswertung wissenschaftlicher Daten keine nennenswerten gesundheitlichen Risiken durch die Methylquecksilberaufnahme über den Verzehr von Fisch beziehungsweise Meeresfrüchten: Bei einem durchschnittlichen Verzehr dieser Lebensmittel liegt die aufgenommene Menge an Methylquecksilber in allen Altersgruppen unterhalb der tolerierbaren wöchentlichen Aufnahmemenge (TWI) von 1,3 Mikrogramm (μg) Methylquecksilber pro Kilogramm Körpergewicht und Woche. Dieser Wert wurde von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) abgeleitet.

Der aktuellen Bewertung durch das BfR liegen Daten der BfR-MEAL-Studie (Mahlzeiten für die Expositionsschätzung und Analytik von Lebensmitteln) zugrunde. Mit dieser Studie untersucht das BfR zum ersten Mal in Deutschland großflächig, wie viel von welchen Stoffen in zubereiteten Lebensmitteln enthalten ist. Konkret flossen in die gesundheitliche Bewertung Messungen von Methylquecksilber-Gehalten in verzehrfertig zubereiteten Fischen und Meeresfrüchten ein, also etwa in geräuchertem Lachs oder in Fischstäbchen. Diese wurden mit Daten zum Verzehr dieser Produkte der Bevölkerung in Deutschland kombiniert.

Bei hoher Aufnahme von Methylquecksilber ergeben sich TWI-Überschreitungen für einen Teil der Jugendlichen und jungen Erwachsenen im Alter von 14 bis unter 25 Jahren. Die hohen Aufnahmewerte können sowohl durch einen hohen Verzehr von Fisch und/oder Meeresfrüchten verursacht werden als auch durch den Verzehr von Arten mit hohen Gehalten. Detaillierte Analysen zeigten, dass insbesondere Verzehrende von Thunfisch in

dieser Altersgruppe hohe Mengen an Methylquecksilber aufnehmen. Allerdings sollte beim Thema Fisch nicht nur isoliert dessen Gehalt an Kontaminanten betrachtet werden. Daneben sind auch die gesundheitlichen Vorteile des Fischverzehr zu berücksichtigen, die unter anderem aus der Versorgung mit Vitaminen, Spurenelementen und bestimmten mehrfach ungesättigten Fettsäuren resultieren.

1 Gegenstand der Bewertung

Gegenstand der vorliegenden Stellungnahme ist die Bewertung gesundheitlicher Risiken für Verbraucherinnen und Verbraucher durch das Vorkommen von Methylquecksilber (MeHg) in Fisch und Meeresfrüchten auf der Basis von Daten zu Gehalten, die im Rahmen der ersten deutschen Total-Diet-Studie (TDS) erhoben wurden (BfR-MEAL-Studie, **M**ahlzeiten für die Expositionsschätzung und **A**lytik von **L**ebensmitteln (Sarvan et al., 2021)).

2 Ergebnis

Methylquecksilber (MeHg) entsteht durch die Stoffwechselprozesse verschiedener anaerober Bakterien in Gewässern aus anorganischem Quecksilber und reichert sich über die aquatische Nahrungskette in Fischen und Meeresfrüchten an.

Im Rahmen der BfR-MEAL-Studie wurden Gehalte an MeHg in Fischspezies untersucht, die zu den 90 % der am häufigsten in Deutschland verzehrten Lebensmittel gehören, sowie einzelne Fischspezies, die seltener verzehrt werden, jedoch in der Vergangenheit besonders hohe Gehalte an bestimmten Kontaminanten wie z. B. MeHg aufwiesen. Die Erhebung von Gehaltsdaten erfolgte anhand von verzehrfertigen Lebensmitteln, d. h., dass beispielsweise die MeHg-Gehalte in zubereitetem Fisch (gebraten, gekocht, geräuchert, eingelegt etc.) bestimmt wurden. Die höchsten Gehalte an MeHg wurden in Thunfisch, Dornhai und Rotbarsch gemessen.

Um den Einfluss der Verarbeitung der Lebensmittel und der unterschiedlichen Methoden der Datenerhebung auf die Gehaltsdaten für MeHg und Gesamt-Quecksilber (Hg) in Fischen und Meeresfrüchten zu untersuchen, wurden die Gehaltsdaten aus der BfR-MEAL-Studie (verzehrfertige Lebensmittel) mit Gehaltsdaten aus dem Monitoring gemäß §§ 50-52 Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB) der Jahre 2012 bis 2021 (vorrangig unverarbeitete Lebensmittel) verglichen. Insgesamt zeigten die Daten der BfR-MEAL-Studie eine gute Übereinstimmung zu den Mittelwerten der Monitoringdaten. In der Gesamtschau über alle untersuchten Spezies ist der Einfluss der Zubereitung und der Methodik der Datenerhebung insgesamt als gering einzuschätzen. Die Unterschiede in den Gehalten an Gesamt-Hg werden in erster Linie als speziesabhängig angesehen.

Im Ergebnis der Expositionsschätzung für die Gesamtbevölkerung über alle Altersgruppen trägt der Verzehr von Seelachs am meisten zur Aufnahme von MeHg bei. Fische mit hohen Gehalten an MeHg, wie Thunfisch und Rotbarsch werden vergleichsweise selten verzehrt,

tragen aber bei Verzehr aufgrund ihres hohen Gehaltes zur Aufnahme bei. Von Kindern und Jugendlichen werden diese Fische weniger verzehrt.

Ungeborene Kinder werden nach EFSA (2012) als besonders gefährdete Bevölkerungsgruppe für die entwicklungsneurotoxische Wirkung der Methylquecksilberexposition angesehen. Für die gesundheitliche Bewertung des Vorkommens von MeHg in Fisch und Meeresfrüchten legt das BfR die durch die EFSA abgeleitete tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (tolerable weekly intake, TWI) von 1,3 Mikrogramm (μg)/Kilogramm (kg) Körpergewicht (KG) und Woche zugrunde. Diese beruht auf beobachteten Zusammenhängen zwischen der Exposition gegenüber MeHg und Beeinträchtigungen der neurologischen Entwicklung von Kindern in epidemiologischen Studien.

Folgende Ergebnisse der Risikocharakterisierung lassen sich zusammenfassen:

Die im Rahmen dieser Stellungnahme berechnete mittlere MeHg-Exposition für Verzehrende von Fisch und Meeresfrüchten liegt für alle Altersgruppen unterhalb des TWI von 1,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ KG und Woche (0,19 – 0,47 $\mu\text{g}/\text{kg}$ KG und Woche, Upper Bound). Für Verzehrende von Fisch und Meeresfrüchten aller Altersgruppen in Deutschland wird bei mittlerer Exposition daher eine niedrige Wahrscheinlichkeit für das Auftreten gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch MeHg angenommen.

Die hohe MeHg-Aufnahme (95. Perzentil) für Verzehrende von Fisch und Meeresfrüchten (0,63 – 2,18 $\mu\text{g}/\text{kg}$ KG und Woche, Upper Bound) liegt für einige Altersgruppen im Bereich des TWI oder bis zu 1,7-fach darüber.

Für diese Bevölkerungsgruppen mit hoher MeHg-Aufnahme ergab die Betrachtung differenzierter Altersgruppen oder bestimmter Verzehrsmuster der verzehrten Fischarten folgende Ergebnisse:

- Die höchsten Aufnahmen wurden für Jugendliche im Alter von 14 - <18 Jahren (2,18 $\mu\text{g}/\text{kg}$ KG und Woche) und junge Erwachsene im Alter von 18 - <25 Jahren (1,53 $\mu\text{g}/\text{kg}$ KG und Woche) basierend auf den Verzehrdaten der NVS II berechnet.
- Überschreitungen des TWI ergaben sich für bestimmte Altersgruppen auch bei gesonderter Betrachtung der Verzehrenden von Thunfisch (mittlere und hohe Exposition), nicht aber bei gesonderter Betrachtung der Verzehrenden von Seelachs oder Hering. Dementsprechend kann über die Auswahl der Fischarten, die konsumiert werden, die Aufnahme von MeHg unmittelbar beeinflusst werden.

Eine Überschreitung des TWI ist als gesundheitlich bedenklich anzusehen. Für einen Teil der Personen mit einer hohen Exposition (P95) gegenüber MeHg durch den Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten wird nach der vorliegenden Expositionsschätzung eine mittlere Wahrscheinlichkeit für das Auftreten gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch MeHg angenommen.

Fisch und Meeresfrüchte stellen in der menschlichen Ernährung eine Quelle für wichtige Nährstoffe, Vitamine und Spurenelemente dar. Bei Überlegungen zu Maßnahmen zur Reduktion der Aufnahme von MeHg sollte daher neben den gesundheitlichen Risiken durch das Vorhandensein dieser Kontaminante in Fisch und Meeresfrüchten auch der gesundheitliche Nutzen des Konsums von Fisch und der darin enthaltenen positiven Inhaltsstoffe berücksichtigt werden.

3 Begründung

3.1 Risikobewertung

3.1.1 Gefahrenidentifizierung

Quecksilber (Hg) ist ein Metall, das sowohl in elementarer Form als auch gebunden in Salzen oder in organischen Verbindungen weltweit in Böden, Gewässern und in der Luft vorkommt. Der Eintrag in die Umwelt erfolgt sowohl über natürliche als auch über anthropogene Prozesse. Es gelangt z. B. durch die Ausgasung aus der Erdkruste, die Verdunstung aus Wasser, bei Vulkaneruptionen, der Metallgewinnung und bei der Verbrennung von Kohle kontinuierlich in die Atmosphäre und ist daher – wenn auch in sehr geringen Konzentrationen - ubiquitär in der Luft vorhanden (ATSDR, 2022; EFSA, 2012)

Elementares Quecksilber (Hg^0) ist bei Raumtemperatur flüssig und hat einen nennenswerten Dampfdruck. Hg^0 ist in der Atmosphäre die vorherrschende Form des Quecksilbers. Es ist in Energiesparlampen, Thermometern und Barometern enthalten und ist darüber hinaus ein wichtiger Bestandteil von amalgamhaltigen Zahnfüllungen (ATSDR, 2022; EFSA, 2012).

Anorganische Quecksilberverbindungen (iHg; inorganic Hg) sind Oxide, Sulfide oder Halogenide des Quecksilbers der Oxidationsstufe 1 (Hg^+) oder 2 (Hg^{2+}). Als natürlicher Bestandteil der Erdkruste kommt iHg weltweit in geringen Mengen ubiquitär in Böden vor, wird von Pflanzen aufgenommen und gelangt dadurch in die Nahrungskette. Darüber hinaus sind Hg^+ - und Hg^{2+} -Ionen ubiquitär in den Weltmeeren und in Binnengewässern vorhanden. iHg wird in verschiedenen industriellen Prozessen verwendet und kommt zum Beispiel in Batterien und Fungiziden vor (EFSA, 2012).

Organische Quecksilberverbindungen wie Methylquecksilber (MeHg) entstehen durch die Stoffwechselprozesse verschiedener anaerober Bakterien, die in den Weltmeeren und in Binnengewässern vorkommen. Die Bakterien setzen iHg in erster Linie zu MeHg um, das sich über die aquatische Nahrungskette in Fischen und Meeresfrüchten (Muscheln, Krabben, Tintenfische etc.) anreichert. Die Anreicherung ist abhängig von der Spezies bzw. der Ernährungsweise, und der Grad der Anreicherung korreliert mit der Größe und dem Alter der einzelnen Individuen der jeweiligen Spezies. Die höchsten Gehalte sind damit in großen und alten Raubfischen wie z. B. Hai, Schwertfisch und Thunfisch zu finden (EFSA, 2012).

Die Allgemeinbevölkerung ist gegenüber allen Formen von Quecksilber exponiert, in erster Linie jedoch gegenüber MeHg durch die Aufnahme mit der Nahrung (z. B. Fisch, Meeresfrüchte) und gegenüber Hg^0 aus Zahnamalgam. Im Vergleich zu organischem und elementarem Quecksilber ist die Aufnahme von anorganischen Quecksilberverbindungen durch die Allgemeinbevölkerung marginal (ATSDR, 2022).

3.1.2 Gefahrencharakterisierung

Ausführliche Informationen zum Gefährdungspotential von Quecksilber sind in Stellungnahmen internationaler Gremien zu finden (z. B. ATSDR 2022, EFSA 2012, JECFA 2011). Quecksilber und Quecksilberverbindungen haben im menschlichen Körper keine bekannte physiologische Funktion (ATSDR, 2022).

3.1.2.1 Toxikokinetik

Hg⁰ wird im Wesentlichen über die Lunge aufgenommen. Laut EFSA (2012) können bei Personen mit einer großen Anzahl von Amalgamfüllungen bis zu 87 % des aufgenommenen Gesamtquecksilbers auf Amalgamfüllungen entfallen (EFSA, 2012). Hg⁰ wird im menschlichen Körper zu iHg oxidiert. Die Absorptionsrate über den Magen-Darm-Trakt ist nur sehr gering (ATSDR, 2022). Für die Exposition gegenüber Hg über Lebensmittel spielt Hg⁰ keine Rolle, so dass Hg⁰ in der vorliegenden Stellungnahme nicht weiter betrachtet wird.

Die Resorptionsrate von iHg im Darm ist abhängig von der Löslichkeit der jeweiligen iHg-Verbindung und kann bis zu 16 % betragen. Nach der Verteilung im menschlichen Körper werden die höchsten Konzentrationen in Niere und Leber gefunden. In Hinblick auf den Metabolismus von iHg gibt es begrenzte Hinweise aus Studien mit Mäusen, dass eine geringe Menge an iHg zu elementarem Quecksilber reduziert und als elementarer Quecksilberdampf abgeatmet werden kann. Ferner wurde nachgewiesen, dass Bakterien im Speichel und Magen-Darm-Trakt iHg methylieren; die quantitative Bedeutung der Methylierung bleibt jedoch ungewiss. Die Ausscheidung von iHg erfolgt hauptsächlich über den Urin und z. T. über die Faeces, wobei die Halbwertszeit für die Ausscheidung aus dem menschlichen Körper ca. 49 bis 120 Tage beträgt (ATSDR, 2022).

Die Aufnahme von MeHg erfolgt über den Verzehr von Fischen und Meeresfrüchten. Anders als iHg wird MeHg sehr gut über den Darm resorbiert. Die Resorptionsrate wird mit über 80 % bis nahezu 100 % angegeben (ATSDR, 2022; EFSA, 2012). MeHg wird im menschlichen Blut zu einem großen Teil (> 90 %) in den Erythrozyten akkumuliert, während im Plasma das meiste MeHg (etwa 99 %) an Albumin gebunden ist (EFSA, 2012). Entsprechend verteilt sich MeHg nach der Aufnahme im ganzen Körper, wobei die höchsten Konzentrationen in der Leber, den Nieren und dem Gehirn auftreten. MeHg wurde außerdem im menschlichen Nabelschnurblut, in der Plazenta und in der Muttermilch gefunden. MeHg wird im menschlichen Stoffwechsel zum Teil zu iHg metabolisiert, sodass nach einer MeHg-Exposition sowohl MeHg als auch iHg in Geweben und Ausscheidungen vorkommen. Die Halbwertszeit für die Ausscheidung aus dem menschlichen Körper beträgt für MeHg etwa 80 Tage, wobei die Ausscheidung hauptsächlich über die Faeces, Urin und Haar erfolgt (ATSDR, 2022).

3.1.2.2 Biomarker

Hinsichtlich Biomarkern für die Exposition gegenüber Methylquecksilber wurde in zahlreichen Studien ein positiver Zusammenhang zwischen dem Fischkonsum und dem Gesamtquecksilbergehalt im Blut, in den roten Blutkörperchen und in den Haaren festgestellt. Außerdem wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Fischkonsum während der Schwangerschaft und dem Gesamtquecksilbergehalt im Nabelschnurblut festgestellt (FAO/WHO, 2007). Letzteres korreliert wiederum mit dem Gesamtquecksilbergehalt im Haar der Mutter (EFSA, 2012; Sakamoto et al., 2012).

Die kurzfristige Exposition gegenüber MeHg wird bei Bevölkerungsgruppen mit regelmäßigem Fischkonsum im Allgemeinen gut durch den Gesamtquecksilbergehalt in Vollblut widerspiegelt, allerdings kann auch iHg im Vollblut enthalten sein. Demzufolge kann die Bestimmung des Gesamtquecksilbergehaltes im Vollblut je nach Höhe der iHg-Exposition zu einer Überschätzung der MeHg-Exposition führen (EFSA, 2012).

Während iHg gleichmäßiger zwischen roten Blutkörperchen und Plasma verteilt ist, befindet sich mehr als 90 % des MeHg im Blut in den roten Blutkörperchen. Somit ist die Bestimmung

des Gesamtquecksilbergehaltes in den roten Blutkörperchen ein präziserer Biomarker für die MeHg-Exposition im Vergleich zum Gesamtquecksilbergehalt im Vollblut (ATSDR, 2022; EFSA, 2012).

Der Gesamtquecksilbergehalt im Haar stellt den am besten geeigneten Biomarker für die langfristige durchschnittliche Methylquecksilberexposition dar (EFSA, 2012). Das Verhältnis von Gesamtquecksilber im Blut zu Haaren liegt bei 1:250 (FAO/WHO, 2004; WHO, 1990), allerdings gibt es große Schwankungen, insbesondere bei Personen mit seltenem Fischkonsum. Ähnlich wie Quecksilber in den Haaren wird der Gesamtquecksilbergehalt in Zehennägeln und Fingernägeln für die Bestimmung der durchschnittlichen MeHg-Exposition verwendet und kann damit ebenfalls als Biomarker für die langfristige MeHg-Exposition dienen (ATSDR, 2022; EFSA, 2012).

Der Gesamtquecksilbergehalt im Urin ist hingegen kein geeigneter Indikator für die MeHg-Exposition, da über den Urin hauptsächlich iHg ausgeschieden wird. Dementsprechend gibt es keinen starken Zusammenhang zwischen dem Gesamtquecksilbergehalt im Urin und dem Fischkonsum (ATSDR, 2022; EFSA, 2012).

3.1.2.3 Toxizität in Tierstudien

Das sich entwickelnde Nervensystem und das Immunsystem gelten in Tierstudien als die empfindlichsten Zielstrukturen nach oraler Exposition gegenüber MeHg. Des Weiteren werden unter anderem adverse Effekte auf das kardiovaskuläre System, die Nieren und die Reproduktion berichtet (ATSDR, 2022; EFSA, 2012).

In einer Studie zur Entwicklungsneurotoxizität führte eine tägliche orale Dosis von 0,02 Milligramm (mg) MeHg/kg KG und Tag über einen Zeitraum von vier Wochen vor der Paarung, während der Trächtigkeit und der Säugetzeit und Weiterbehandlung der Nachkommen über einen Zeitraum von sieben Wochen nach dem Entwöhnen bei Mäusen zu kleineren Wurfgrößen und zu einer geringeren Gewichtszunahme der männlichen Nachkommen. Hinsichtlich neurologischer Parameter wurden eine veränderte Bewegungsaktivität, eine gestörte Bewegungskoordination und Störungen der Funktion des Gehörs beobachtet. In dieser Studie konnte kein NOEL¹ abgeleitet werden, da nur eine einzelne Dosis in Höhe von 0,02 mg MeHg/kg KG und Tag getestet wurde (Huang et al., 2011).

Für Ratten wurde in einer vergleichbaren Studie eine verminderte Bewegungsaktivität als empfindlichster Endpunkt identifiziert und hierfür ein NOEL von 0,4 mg/kg KG und Tag abgeleitet (Day et al., 2005).

Die niedrigste MeHg-Dosis, für die in Mäusen adverse Effekte beobachtet wurden, lag laut EFSA 2012 in einer entwicklungsimmunologischen Studie bei 0,08 mg/kg KG und Tag. Als empfindlichster Endpunkt wurde in dieser Studie eine verminderte T-Zell-abhängige Antikörperantwort identifiziert, für die ein BMDL₀₅² in Höhe von 0,01 mg/kg KG und Tag (bezogen auf MeHgCl) berechnet wurde (Tonk et al., 2010).

¹ No Observed Adverse Effekt Level: höchste getestete Dosis, bei der keine gesundheitsschädliche Wirkung zu beobachten ist

² Benchmark Dose Lower Confidence Limit: Dosis, die mit der unteren Grenze des zur Benchmark-Dosis zugehörigen Konfidenzlimits assoziiert ist. Die Benchmark-Dosis ist die über mathematische Dosis-Wirkungs-Modellierung ermittelte Dosis, die in den der Modellierung zugrundeliegenden Untersuchungen mit einer bestimmten Effektstärke assoziiert ist.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry 2022) beschreibt als niedrigsten LOAEL³ eine orale Dosis von 0,0003 mg/kg KG und Tag, bei der bei Mäusen entwicklungsimmunologische Effekte auftraten (Wild et al., 1997).

Für die Ableitung eines gesundheitsbasierten Richtwertes für MeHg wurden die Ergebnisse dieser Tierstudien in der Stellungnahme der EFSA (2012) jedoch nicht verwendet, sondern hierfür wurden die Ergebnisse epidemiologischer Studien herangezogen (siehe 3.1.2.4).

3.1.2.4 Epidemiologische Studien

Da die Exposition des Verbrauchers gegenüber MeHg stark mit dem Konsum von Fisch und Meeresfrüchten korreliert, eignen sich Bevölkerungsgruppen mit einem hohen Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten gut für die Untersuchung von möglichen Korrelationen zwischen der Exposition gegenüber MeHg und etwaigen adversen gesundheitlichen Effekten. In verschiedenen epidemiologischen Studien wurde für die Expositionsschätzung nicht auf Verzehrdaten zurückgegriffen, sondern es wurden die Hg-Gehalte im Blut oder in den Haaren der Studienteilnehmenden quantifiziert. Die Gehalte an Hg im Haar gelten als das beste Maß zur Bestimmung der durchschnittlichen Langzeitexposition gegenüber MeHg (EFSA, 2012).

Verschiedene epidemiologische Studien geben Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber MeHg und Auswirkungen auf das Nervensystem, das kardiovaskuläre System sowie andere Auswirkungen wie z. B. auf das Immun- und Reproduktionssystem. Laut EFSA (2012) sind die mit einer MeHg-Exposition assoziierten adversen Effekte auf das kardiovaskuläre System inkonsistent, aber insbesondere Beobachtungen in Bezug auf Herzinfarkt, Herzfrequenzvariabilität und Blutdruck von potenzieller Bedeutung. Eine Reihe der mit der Exposition gegenüber MeHg assoziierten Effekte z. B. auf das Immun- und Reproduktionssystem basieren auf einzelnen oder wenigen Studien mit zum Teil unzureichendem Studiendesign, und die Bedeutung der Ergebnisse dieser Studien ist schwer zu bewerten (EFSA, 2012).

Eine Vielzahl an epidemiologischen Studien zeigt, dass das sich entwickelnde Nervensystem das empfindlichste Ziel der Wirkung von MeHg ist. Insbesondere die Ergebnisse zweier Mutter-Kind-Kohorten (Färöer- und Seychellen-Kohorte) zeigten Assoziationen zwischen der pränatalen Exposition gegenüber MeHg und Beeinträchtigungen des sich entwickelnden Nervensystems (ATSDR, 2022; EFSA, 2012). Die Ergebnisse dieser beiden Kohorten-Studien werden im Folgenden zusammengefasst.

Färöer-Kohorte

Auf den Färöer-Inseln werden traditionell viel Fisch und Meeresfrüchte und darüber hinaus auch Meeressäuger (vor allem Grindwale) verzehrt. Aus diesem Grund eignet sich die Bevölkerung der Färöer-Inseln in besonderem Maße für epidemiologische Untersuchungen der gesundheitlichen Auswirkungen einer Ernährung mit Nahrungsmitteln marinen Ursprungs.

Im Zeitraum 1986 - 2009 wurden auf den Färöer-Inseln fünf Geburtskohorten (Kohorten von Mutter-Kind Paaren) gebildet, in denen u. a. die Höhe der MeHg-Exposition erhoben wurde

³ Lowest Observed Adverse Effect Level: niedrigste getestete Dosis, bei der eine gesundheitsschädliche Wirkung zu beobachten ist)

(Grandjean et al., 1997). Assoziationen der MeHg-Exposition zu Beeinträchtigungen der neurologischen Entwicklung (Entwicklung neurologischer und kognitiver Fähigkeiten) der Kinder im Alter von 2 Wochen bis 14 Jahren wurden in den beiden ersten dieser Kohorten untersucht, in Kohorte 1 (n = 1022, 1986 – 1987) und in Kohorte 2 (n = 182, 1994 – 1995) (Weihe und Grandjean, 2005). Basierend auf diesen Färöer-Kohorten erfolgten Nachfolgestudien sowie eine Vielzahl an Re-Analysen bis zu einem Alter von 22 Jahren (ATSDR, 2022). Die primäre Messgröße für die pränatale MeHg-Exposition war das Gesamtquecksilber im Nabelschnurblut, das überwiegend (> 80 %) MeHg enthielt (Grandjean et al., 1992). Zudem wurde auch Quecksilber im mütterlichen Haar und im kindlichen Haar im Alter von 1 und 7 Jahren sowie im kindlichen Blut im Alter von 7 Jahren gemessen (ATSDR, 2022; EFSA, 2012).

Die Ergebnisse zur neurologischen Entwicklung der Kinder wurden anhand einer Reihe von Tests bewertet, die sich nach dem Alter der Kinder richteten. Dazu gehörten Tests zum Lernen und Gedächtnis, zur visuell-motorischen Funktion, zur auditorischen Funktion, zur autonomen Nervenfunktion, zu den Entwicklungsmeilensteinen (z. B. Sitzen, Krabbeln, Stehen), zur intellektuellen Leistung und zum Verhalten (ATSDR, 2022). Im Ergebnis wurden auf Basis der Färöer-Kohorten und der genannten Studien laut EFSA 2012 bzw. ATSDR 2022 Zusammenhänge zwischen Konzentrationen an MeHg im Nabelschnurblut und abnehmenden Leistungen bei Tests der kognitiven Funktionen im Alter von 7 Jahren (Grandjean et al., 2003; Grandjean et al., 2014; Grandjean et al., 1998; Grandjean et al., 1997), 14 Jahren (Debes et al., 2006; Julvez et al., 2010) und 22 Jahren (Debes et al., 2016) festgestellt. Die Assoziationen wurden nicht durchgängig bei allen Tests der kognitiven Funktionen beobachtet. Als Grundlage für die Auswahl der kritischen Dosis zur Ableitung eines gesundheitsbasierten Richtwertes wurde der negative Zusammenhang zwischen der Leistung im Boston Naming Test (Fähigkeit zum Benennen von Objektdarstellungen) und steigenden Quecksilber-Gehalten im Nabelschnurblut als zuverlässigstes und empfindlichstes Ergebnis identifiziert (Budtz-Jørgensen et al., 1999; NRC, 2000). Der Zusammenhang wurde bei Kindern im Alter von 7 Jahren sowohl in Kohorte 1 als auch 2 beobachtet. Für die Ableitung eines gesundheitsbasierten Richtwertes wurde der BMDL05 in Höhe von 58 µg/kg Quecksilber im Nabelschnurblut (entsprechend einem BMDL05 von 12 mg/kg Quecksilber im mütterlichen Haar) für die entwicklungsneurologischen Einschränkungen der Kinder der Färöer-Kohorte im Alter von 7 Jahren zugrunde gelegt (EFSA, 2012).

Seychellen-Kohorte

Auch auf den Seychellen ist die Ernährung reich an Fisch und Meeresfrüchten, jedoch werden anders als auf den Färöer-Inseln kaum Meeressäuger verzehrt. Darüber hinaus gibt es auf den Seychellen kaum industrielle Quellen eines Hg-Eintrags, so dass die Hg-Exposition der Bevölkerung im Wesentlichen auf den Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten zurückzuführen ist.

Auf den Seychellen wurden zwei prospektive Studien zu Zusammenhängen der MeHg-Exposition und der neurologischen Entwicklung durchgeführt: die Seychelles Child Development Study (SCDS) und die Seychelles Child Development Nutrition Study (SCDNS).

Die SCDS umfasste eine Kohorte von 779 Mutter-Kind-Paaren (6 Monate nach der Entbindung, 1989 – 1990). Die Ergebnisse zur Untersuchung der neurologischen Entwicklung wurden im Alter von 6 Monaten begonnen und bis zum Alter von 24 Jahren fortgesetzt

(Myers et al., 1995; van Wijngaarden et al., 2017). Die primäre Messgröße für die MeHg-Exposition war der durchschnittliche mütterliche Quecksilbergehalt im Haar während der Schwangerschaft. Die neurologische Entwicklung der Nachkommen wurde anhand einer Reihe von altersentsprechenden Tests zur motorischen und kognitiven Entwicklung untersucht (zum Lernen und Gedächtnis, zur visuell-motorischen Funktion, zur Hörfunktion, zu den Entwicklungsmeilensteinen, zur intellektuellen Leistung und zum Verhalten). In der Gesamtschau hat die prospektive Studie SCDS in keinem bisher untersuchten Alter konsistente Zusammenhänge zwischen der Exposition gegenüber MeHg und der neurologischen Entwicklung nachgewiesen. Diese Schlussfolgerung wird durch weitere Nachbeobachtungen der Kohorte im Alter von 6,5 Monaten bis 24 Jahren und Längsschnittanalysen gestützt (ATSDR, 2022).

In einer weiteren prospektiven Studie (SCDNS) wurden Zusammenhänge zwischen pränataler MeHg-Exposition und der motorischen und kognitiven Entwicklung untersucht (Davidson et al., 2008; Strain et al., 2008). Als zusätzliche Parameter wurden in dieser Studie der Versorgungsstatus der Mütter mit bzw. die Aufnahme von bestimmten Nährstoffen mit der Nahrung während der Schwangerschaft untersucht, welche die neurologische Entwicklung der Kinder positiv beeinflussen. Dazu gehörten Arachidonsäure (AA), Cholin, Omega-3- und Omega-6- langkettige mehrfach ungesättigte Fettsäuren („long-chain polyunsaturated fatty acids“; LCPUFAs), Docosahexaensäure (DHA), Schilddrüsenhormonstatus und Eisenstatus. Diese Studie umfasste 300 schwangere Frauen, die im Jahr 2001 rekrutiert wurden, inklusive Nachfolgeuntersuchungen von Säuglingen und Kindern im Alter von 5 Monaten bis 5 Jahren. Die neurologische Entwicklung wurde anhand von Lern- und Gedächtnistests, visuell-motorischen Fähigkeiten und Verhalten untersucht. In dieser prospektiven Studie zeigte sich eine negative Assoziation zwischen der MeHg-Exposition der Mütter und verschiedenen entwicklungsneurologischen Endpunkten bei deren Kindern im Alter von 9 und 30 Monaten, wenn die Omega-3 LCPUFA-Gehalte im mütterlichen Blut bei der statistischen Auswertung mitberücksichtigt wurden (Davidson et al., 2008). Der adverse Effekt von MeHg auf die neurologische Entwicklung der Kinder überwog den ernährungsphysiologischen Nutzen im Rahmen einer fischreichen Ernährung der Mütter oberhalb einer MeHg-Konzentration im mütterlichen Haar von etwa 11 mg/kg Haar. Dieser Wert wurde als NOEL definiert (EFSA, 2012).

Andere Regionen

Andere epidemiologischen Studien sind verfügbar, in denen die Auswirkungen auf die neurologische Entwicklung in weiteren Bevölkerungsgruppen untersucht wurde, die eine hohe MeHg-Exposition durch die Nahrung aufweisen: Neuseeland, Nunavik-Region im arktischen Kanada, Amazonas-Becken, Madeira und Portugal (ATSDR, 2022; EFSA, 2012). Bei den Ergebnissen zur neuronalen Entwicklung fanden einige, aber nicht alle Studien einen Zusammenhang mit MeHg-Gehalten, die unterhalb derer liegen, die in den Kohorten der Färöer-Inseln und der Seychellen berichtet wurden. Jedoch bot das Gesamtbild bei niedriger Exposition laut EFSA 2012 keine ausreichenden Informationen, die sichere Schlussfolgerungen zulassen. Zusammenfassend bieten diese Studien keine bessere Grundlage für die Bewertung der Dosis-Wirkungs-Beziehung als die Studien auf den Färöer-Inseln und Seychellen (EFSA, 2012).

3.1.2.5 Ableitung der gesundheitsbasierten Richtwerte

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority; EFSA) hat in einer Stellungnahme vom 20.12.2012 (aktualisierte Version vom 10.04.2018) gesundheitsbasierte Richtwerte für MeHg abgeleitet (EFSA, 2012).

Für MeHg wurde ein TWI von 1,3 µg/kg KG und Woche abgeleitet (EFSA, 2012). Als empfindlichsten Endpunkt hat die EFSA hierbei Beeinträchtigungen bei der neurologischen Entwicklung von Kindern identifiziert, die sich sowohl in motorischen als auch in kognitiven Einschränkungen (z. B. die Feinmotorik, die Reaktionszeit, das Hörvermögen, das Sprachvermögen, die räumliche Vorstellung oder das Gedächtnis betreffend) manifestieren können. Grundlage für die TWI-Ableitung für MeHg waren die Ergebnisse zweier epidemiologischer Studien, bei denen in Mutter-Kind-Kohorten ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen einer erhöhten MeHg-Exposition der Mütter während der Schwangerschaft und schlechteren Ergebnissen der Kinder bei verschiedenen motorischen und kognitiven Tests im Alter von 7 Jahren (Färöer-Kohorte 1) bzw. 30 Monaten (Seychellen-Kohorte) festgestellt wurde. Als Ausgangspunkt für die TWI-Ableitung wurden die toxikologischen Referenzwerte genutzt, die in Untersuchungen der Färöer-Kohorte (BMDL₀₅ 12 mg Hg/kg mütterliches Haar (Budtz-Jørgensen et al., 1999; EFSA, 2012; NRC, 2000)) und der Seychellen-Kohorte (NOEL 11 mg Hg/kg mütterliches Haar (Davidson et al., 2008; EFSA, 2012)) identifiziert wurden. Der Mittelwert dieser beiden Werte in Höhe von 11,5 mg Hg/kg mütterliches Haar wurde als Ausgangspunkt für die TWI-Ableitung herangezogen (EFSA, 2012). Da der Gesamtquecksilbergehalt im Haar die langfristige durchschnittliche Methylquecksilberaufnahme widerspiegelt, wird dieser Ausgangswert von 11,5 mg Hg/kg mütterliches Haar für die Ableitung des gesundheitsbasierten Richtwertes für MeHg herangezogen.

Laut EFSA (2012) wurde in verschiedenen Biomarker-Studien für das Verhältnis der Hg-Konzentration im Blut im Verhältnis zur Hg-Konzentration im Haar ein Wert von 250 berichtet (EFSA, 2012; FAO/WHO, 2004; WHO, 1990). Unter Verwendung dieses Umrechnungsfaktors von 250 wurde eine maternale Hg-Blutkonzentration von 46 µg/L errechnet. Ausgehend von diesem Wert wurde unter Verwendung eines toxikokinetischen Modells zur Umrechnung der Gleichgewichtskonzentration an Hg im Blut in eine durchschnittliche tägliche Aufnahme von Hg (FAO/WHO, 2004) eine orale Aufnahme von 1,2 µg/kg KG und Tag berechnet. Dieser Wert gibt also die tägliche Aufnahmemenge an Hg an, die rechnerisch zu einer Blutserumkonzentration von 46 µg/L führt. Unter Berücksichtigung eines Faktors von 2, der Unsicherheiten im Verhältnis der Hg-Konzentrationen zwischen Haar und Blut Rechnung trägt und eines Standardfaktors von 3,2 für die interindividuellen Unterschiede in der Toxikokinetik sowie Umrechnung auf ein wöchentliches Aufnahmeszenario wegen der langen Halbwertszeit wurde hieraus ein TWI für MeHg in Höhe von 1,3 µg/kg KG und Woche abgeleitet (ausgedrückt als Quecksilber) (EFSA, 2012).

Die ATSDR legt ihrer Ableitung eines gesundheitsbasierten Richtwertes für MeHg eine Metaanalyse der epidemiologischen Daten zu Zusammenhängen des chronischen Fischverzehrs mit der neurologischen Entwicklung (Verringerung des Gesamt-IQ) der Bevölkerung auf den Färöern, Neuseeland und den Seychellen zugrunde (Axelrad et al., 2007). Basierend auf einem No Adverse Effect Level (NAEL) von 0,41 µg/kg und Tag und ein Faktor von 3 für die interindividuelle menschliche Variabilität wurde ein im Vergleich zum TWI der EFSA (2012) etwas niedrigerer MRL von 0,1 µg/kg KG und Tag entsprechend 1,0 µg/kg KG und Woche (0,41 µg/kg und Tag x 7 Tage / Anpassungsfaktor von 3) abgeleitet (ATSDR, 2022).

EFSA (2012) geht nicht spezifisch auf die zugrundeliegende Metaanalyse ein, schlussfolgert jedoch, dass im Gesamtbild der Ergebnisse bei niedriger Exposition keine ausreichenden Informationen für eine Ableitung eines gesundheitsbasierten Richtwertes vorliegen (EFSA, 2012).

Aus Sicht des BfR stellt der von der EFSA (2012) abgeleitete TWI von 1,3 µg/kg KG und Woche eine geeignete Basis für eine Risikocharakterisierung der alimentären Aufnahme von MeHg dar und wird in der vorliegenden Stellungnahme herangezogen. Das BfR weist darauf hin, dass dieser gesundheitsbasierte Richtwert den wissenschaftlichen Kenntnisstand von 2012 widerspiegelt.

3.1.3 Expositionsschätzung und -bewertung

3.1.3.1 Verzehrdaten

Als Datengrundlage hinsichtlich des Verzehr bei Jugendlichen und Erwachsenen diene die Nationale Verzehrsstudie II (NVS II) des Max Rubner-Instituts (MRI). Die NVS II ist die aktuelle repräsentative Studie zum Verzehr der Bevölkerung Deutschlands. Die Studie, bei der etwa 20.000 Personen im Alter zwischen 14 und 80 Jahren mittels drei verschiedener Erhebungsmethoden (Dietary History, 24h-Recall und Wiegeprotokoll) zu ihrem Ernährungsverhalten befragt wurden, fand zwischen 2005 und 2006 in ganz Deutschland statt (Krems et al., 2006; MRI, 2008). Die Verzehrsauswertungen beruhen auf den Daten der beiden unabhängigen 24h-Recalls der NVS II, die in einem computergestützten Interview mittels „EPIC-SOFT“ erhoben wurden. Es wurden die Daten von 13.926 Personen, von denen beide Interviews vorlagen, ausgewertet.

Als Datengrundlage hinsichtlich des Verzehr bei Kindern und Jugendlichen zwischen 6 und 11 Jahren diene die Ernährungsstudie als KiGGS-Modul (EsKiMo II) (Mensink et al., 2021). In den Jahren 2015 bis 2017 wurden im Rahmen von EsKiMo II 2.644 Kinder und Jugendliche im Alter von 6 bis 17 Jahren zu ihrem Lebensmittelverzehr und ihrem Ernährungsverhalten untersucht. Diese hatten zuvor an der zweiten Welle der „Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland“ (KiGGS) Welle 2 des Robert-Koch-Institutes teilgenommen. Dabei wurde der Lebensmittelverzehr der 6- bis 11-jährigen Kinder mit Hilfe der Eltern durch Wiegeprotokolle über vier Tage ermittelt.

Die Wiegeprotokolle der 6- bis 11-jährigen Kinder wurden mit Hilfe der Eltern über vier Tage erstellt. Weitere Informationen zum Ernährungsverhalten, wie gemeinsame Familienmahlzeiten, das Angebot und die Inanspruchnahme der Schulverpflegung, besondere Ernährungsweisen und die Durchführung von Gewichtsreduktionsdiäten, wurden ebenfalls erhoben. Für die Expositionsschätzung wurden die 6- bis 11-jährigen Kinder, von denen die Wiegeprotokolle vorlagen (N = 1.190), berücksichtigt.

Als Datengrundlage hinsichtlich des Verzehr bei Säuglingen, Kleinkindern und Kindern zwischen 0,5 und 5 Jahren diene die „Kinder-Ernährungsstudie zur Erfassung des Lebensmittelverzehr“ (KiESEL-Studie). An KiESEL nahmen insgesamt 1.104 Kinder im Alter von sechs Monaten bis einschließlich fünf Jahren teil. Die Befragung wurde zwischen 2014 und 2017 durchgeführt. Anhand eines Interviews füllten die Erziehungsberechtigten einen Fragebogen zur allgemeinen Ernährung, Ernährung im 1. Lebensjahr sowie einen Food Propensity Questionnaire zu selten verzehrten Lebensmitteln aus. Davon haben 1.008 Kinder bzw. deren Eltern auch an der Ernährungserhebung mittels Wiege/-Schätzprotokoll teilgenommen. Der Lebensmittelverzehr der Kinder wurde in einem Wiegeprotokoll für drei

aufeinanderfolgende Tage und in einem 1-Tages-Wiegeprotokoll an einem unabhängigen Tag dokumentiert. Ergänzend wurde der Außer-Haus-Verzehr (z. B. in den Betreuungseinrichtungen) mit Hilfe eines reduzierten Schätzprotokolls erfasst (Nowak et al., 2022a; Nowak et al., 2022b). Zur Auswertung werden die Ergebnisse aus den Wiegeprotokollen herangezogen und ausschließlich nicht-gestillte Individuen berücksichtigt (N = 952).

Die zuvor genannten Verzehrsstudien sind geeignet, um langfristige Verzehrsmengen zu schätzen.

3.1.3.2 Gehalte von MeHg und Gesamt-Hg in Fisch und Meeresfrüchten

Für die Aufnahmeberechnung von Methylquecksilber werden die Daten der BfR-MEAL-Studie, der ersten Deutschen Total Diet Studie (TDS) herangezogen (Sarvan et al., 2017). In einer TDS erfolgt die Erhebung von Gehaltsdaten in einer Lebensmittelauswahl, die mind. 90 % des mittleren Verzehrs der Bevölkerung abdecken soll. In einer TDS werden zudem verzehrfertige Lebensmittel untersucht, d. h. dass beispielsweise im Falle von Fisch die MeHg-Gehalte in zubereitetem Fisch (gebraten, gekocht, geräuchert, eingelegt etc.) bestimmt werden. Die Methodik der TDS nutzt den Ansatz von Poolproben, d.h. dass Fische derselben Spezies vor der Analyse zu einem Pool zusammengeführt werden. In der BfR-MEAL-Studie besteht eine Poolprobe in der Regel aus 15 bis 20 Einzelproben. Damit bildet der gemessene Gehalt den Mittelwert der zusammengefassten Einzelproben ab.

Für bestimmte Lebensmittel ist es in der BfR-MEAL-Studie von Interesse, ob regionale Unterschiede in den Gehalten von z. B. MeHg existieren. Um regionale Unterschiede zu untersuchen, wurden vier Regionen (Nord, Süd, Ost, West) in Deutschland definiert. Regionale Poolproben setzen sich aus 15 Einzelproben aus der jeweiligen Region zusammen (Sarvan et al., 2017).

Im Rahmen der BfR-MEAL-Studie wurden Fischspezies untersucht, die zu den 90 % der am meisten in Deutschland verzehrten Lebensmitteln gehören sowie einzelne Fischspezies, die in geringeren Mengen verzehrt werden, wie z. B. Dornhai, die in der Vergangenheit häufig erhöhte Gehalte an Kontaminanten aufwiesen. Darüber hinaus wurden für einige Fischspezies auch verschiedene gängige Zubereitungsformen separat betrachtet. So wurden beispielsweise die Gehaltsbestimmungen für das Lebensmittel „Hering“ anhand von verschiedenen, in Deutschland gängigen Zubereitungsformen von Hering (Hering in Soße; geräucherter Hering; Brathering; Matjes, Bismarckhering; Rollmops) durchgeführt. Die Auswahl der Fischspezies und der Zubereitungsformen erfolgte anhand von in Deutschland durchgeführten Verzehrsstudien (NVS II, VELS).

Für die im Rahmen der BfR-MEAL-Studie erzeugten Poolproben der Lebensmittelgruppe „Fisch und Meeresfrüchte“ wurden die Gehalte von Gesamt-Hg und MeHg unter Verwendung zweier voneinander unabhängiger Analyseverfahren bestimmt. MeHg wurde nicht, wie häufig in der Literatur beschrieben, mittels eines Umrechnungsfaktors von Hg berechnet (EFSA 2012), sondern analytisch als MeHg mittels ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) gemessen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Die Methodik und hier verwendeten Gehalts-Daten von MeHg (Sarvan et al., 2021) bzw. Gesamt-Quecksilber (Fechner et al., 2022) sind in den genannten Publikationen beschrieben.

Tabelle 1: Gehalte an Gesamt-Hg und an MeHg in gepoolten Proben von Fischen und Meeresfrüchten aus der BfR-MEAL-Studie (in mg/kg)

	Gesamt-Hg [mg/kg]	MeHg [mg/kg]	Anteil MeHg an Gesamt-Hg [%]
<i>Fisch; nationale Poolproben</i>			
Kabeljau	0,09	0,08	86
Dorschleber	0,02	0,01	68
Dornhai, geräuchert (z.B. Schillerlocke)	0,52	0,58	111*
Aal	0,10	0,10	94
Aal, geräuchert	0,08	0,08	96
Fischfilet, überbacken	0,02	0,02	97
Fischstäbchen	0,01	<0,01	
Heilbutt	0,08	0,08	104*
Heilbutt, geräuchert	0,11	0,09	86
Heringsfilet in Soße	0,04	0,03	77
Hering, geräuchert	0,08	0,07	97
Hering, Brathering	0,05	0,05	95
Marinierter Hering, Matjes, Bismarckhering	0,03	0,03	113*
Rollmops	0,04	0,04	95
Rotbarsch	0,12	0,12	96
Scholle, Seezunge	0,06	0,06	103*
Köhler, Alaska-Seelachs	0,06	0,07	108*
Lachs	0,02	0,02	91
Lachs, geräuchert	0,03	0,02	76
Pangasius	<0,001	<0,01	
Thunfisch (Filet)	0,37	0,38	102*
Thunfisch in eigenem Saft/in Soße (Konserve)	0,13	0,12	94
Thunfisch in Öl (Konserve)	0,18	0,15	87
Thunfisch, geräuchert	0,67	0,70	105*
<i>Fisch; regionale Poolproben</i>			
Karpfen (Region Ost)	0,03	0,03	96
Karpfen (Region Nord)	0,02	0,02	83
Karpfen (Region Süd)	0,02	0,01	80
Karpfen (Region West)	0,01	<0,01	
Forelle (Region Ost)	0,02	0,02	95
Forelle (Region Nord)	0,02	0,02	81
Forelle (Region Süd)	0,03	0,03	81
Forelle (Region West)	0,01	0,01	71
Forelle, geräuchert (Region Ost)	0,02	0,01	88
Forelle, geräuchert (Region Nord)	0,03	0,03	83
Forelle, geräuchert (Region Süd)	0,02	0,02	91
Forelle, geräuchert (Region West)	0,02	0,02	95
<i>Meeresfrüchte; nationale Poolproben</i>			
Muscheln	0,02	0,01	65
Garnele	0,02	0,02	82
Tintenfisch	0,02	0,02	118*

* Werte >100 % sind auf die Messunsicherheiten (30 % Gesamt-Hg und 12 % MeHg) sowie die Messung in zwei unterschiedlichen Laboren mit unterschiedlichen Methoden zurückzuführen

Sowohl die Gehalte an Gesamt-Hg als auch an MeHg lagen in nahezu allen untersuchten Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze. Im Falle von Gesamt-Hg lag nur der Gehalt der Poolprobe von Pangasius unterhalb der Bestimmungsgrenze (Limit of Quantification, LOQ) von 0,001 mg/kg. Bei MeHg lagen die Gehalte der Poolproben von Fischstäbchen, Pangasius und Karpfen (Region West) unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,01 mg/kg. Die höchsten Gehalte von sowohl Gesamt-Hg als auch von MeHg wurden in Thunfisch, Dornhai und Rotbarsch gemessen. Im Vergleich der vier Thunfisch-Pools zeigte geräucherter Thunfisch die höchsten Gehalte an Gesamt-Hg und MeHg, wohingegen Thunfisch-Filet und vor allem Thunfisch aus der Konserve niedrigere Gehalte an Gesamt-Hg und an MeHg aufwiesen (Tabelle 1).

Die Gehalte von MeHg und Gesamt-Hg unterscheiden sich deutlich in den verschiedenen Fischarten (Tabelle 1 und Tabelle 2).

MeHg-Gehalte in Relation zu den Gesamt-Hg-Gehalten in Fisch und Meeresfrüchten

Laut EFSA liegt Hg in Fisch und Meeresfrüchten zu 80-100 % als MeHg vor. Die EFSA ging in einem konservativen Ansatz davon aus, dass 100 % des Quecksilbers in Fischen in Form von MeHg vorliegen (Umrechnungsfaktor von 1,0). Bei Meeresfrüchten wurde angenommen, dass 80 % des Gesamt-Hg als MeHg vorliegt (Umrechnungsfaktor von 0,8) (EFSA, 2012). Diese Umrechnungsfaktoren sind notwendig, um Aussagen über den Gehalt an MeHg in Fischen und Meeresfrüchten treffen zu können, wenn nur der Gehalt an Gesamt-Hg bestimmt wird bzw. bestimmt werden kann.

Im Rahmen der BfR-MEAL-Studie wurden sowohl Gesamt-Hg als auch MeHg bestimmt. Das Verhältnis von MeHg zu Gesamt-Hg lag bei Fischen in den meisten Fällen zwischen 80 % und 125 %. Die höheren MeHg-Gehalte im Vergleich zu den Gesamt-Hg-Gehalten in Seelachs, geräuchertem Dornhai, mariniertem Hering/ Matjes/ Bismarckhering, Tintenfisch, Thunfischfilet, geräuchertem Thunfisch, geräuchertem Heilbutt und Scholle/ Seezunge können auf die Messung mit zwei verschiedenen Methoden in verschiedenen Laboren zurückgeführt werden. Zudem ist eine Messunsicherheit von 30 % für Gesamt-Hg und 12 % bei MeHg zu berücksichtigen. Nur für Dorschleber (68 %), Hering in Soße (77 %), Lachs geräuchert (76 %), und Forelle (Region West: 71 %) lag das Verhältnis von MeHg zu Gesamt-Hg unterhalb von 80 % (Tabelle 1). Daher bestätigen die beiden Datensätze den von der EFSA vorgeschlagenen Umrechnungsfaktor von 1,0. Für Meeresfrüchte wurden im Rahmen der BfR-MEAL-Studie nur jeweils eine Poolprobe für Muscheln, Garnelen und Tintenfisch gemessen. Hier lag das Verhältnis von MeHg zu Gesamt-Hg bei Muscheln bei 65 % und bei Garnelen bei 82 %, was den von der EFSA vorgeschlagenen Umrechnungsfaktor von 0,8 für Mollusken und Krustaceen unterstützt, wohingegen der Wert für Tintenfisch mit 118 % deutlich höher lag.

Regionale Unterschiede in den MeHg-Gehalten in Fisch und Meeresfrüchten in Deutschland

Von den im Rahmen der BfR-MEAL-Studie untersuchten Fischen sind nach Einschätzung der studienbegleitenden Expertengruppen Karpfen und Forelle die einzigen Arten, bei denen mögliche regionale Unterschiede in Deutschland in den Gehalten an MeHg bzw. Gesamt-Hg erwartet wurden. Daher wurden für Karpfen, Forelle und geräucherte Forelle regionale Poolproben eingekauft und untersucht. Diese Poolproben zeigen unabhängig von der Region vergleichsweise niedrige Gehalte an MeHg bzw. Gesamt-Hg im Bereich von 0,01 bis 0,03 mg/kg (Tabelle 1). Insgesamt lassen die Daten keinen Schluss hinsichtlich systematischer

regionaler Unterschiede der MeHg- bzw. Gesamt-Hg-Gehalte bei Süßwasserfischen in Deutschland zu.

Einfluss der Art der Zubereitung auf die MeHg-Gehalte in Fisch und Meeresfrüchten

Aus den BfR-MEAL-Daten ergeben sich Hinweise, ob und in welchem Maße die Art der Zubereitung von Fischen einen Einfluss auf die MeHg- und Gesamt-Hg-Gehalte hat. Im Falle von Seelachs haben verarbeitete Produkte wie Fischstäbchen und gebackenes Fischfilet niedrigere Gehalte an MeHg und Gesamt-Hg als Seelachs-Filet (Tabelle 1). Dies lässt sich vermutlich dadurch erklären, dass der Fischfilet-Anteil und damit die MeHg/Gesamt-Hg-Konzentration in Fischstäbchen und gebackenem Fischfilet durch den hohen Anteil an Panade und durch das Bratfett vermindert wird. Im Falle von Thunfisch wurde in geräuchertem Thunfisch ein etwa doppelt so hoher Gehalt an MeHg bzw. Gesamt-Hg im Vergleich zu Thunfischfilet bestimmt, wohingegen Thunfischprodukte aus der Konserve nur etwa halb so hohe MeHg- bzw. Gesamt-Hg-Gehalte aufweisen (Tabelle 1). Auch im Falle von Hering zeigt geräucherter Hering höhere MeHg- bzw. Gesamt-Hg-Gehalte als andere Heringsprodukte wie z. B. Hering in Soße, Brathering, Matjes, Bismarckhering oder Rollmops (Tabelle 1), allerdings ist hier ein Vergleich zu Heringsfilet nicht möglich, da Heringsfilet im Rahmen der BfR-MEAL-Studie nicht untersucht wurde. Geräucherte Fische haben jedoch nicht in jedem Fall höhere MeHg- bzw. Gesamt-Hg-Gehalte. Bei den Spezies Aal, Lachs und Forelle (regionale Proben) wiesen die geräucherten Poolproben keine höheren MeHg- bzw. Gesamt-Hg-Gehalte im Vergleich zu den Filets auf (Tabelle 1). Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Art der Zubereitung einen messbaren Einfluss auf die MeHg/Gesamt-Hg-Gehalte in Fischen hat, jedoch erlauben die Daten keine allgemeinen Rückschlüsse. Hierfür wären systematische Untersuchungen anhand von Einzelproben erforderlich. Ein Teil der hier diskutierten Unterschiede kann zudem auch darauf zurückzuführen sein, dass in die verarbeiteten und unverarbeiteten Pools derselben Spezies unterschiedliche Fische eingegangen sind, wenn beispielsweise der Fisch bereits in geräuchertem Zustand oder als paniertes Filet gekauft und nicht in der MEAL-Küche zubereitet wurde. In der Gesamtschau der Daten wird deutlich, dass die Unterschiede in den Gehalten an MeHg bzw. Gesamt-Hg zwischen den verschiedenen Fischarten größer sind als die Unterschiede durch die verschiedenen Arten der Zubereitung ein und derselben Fischart.

Als wichtiges Ergebnis der Datenerhebung zu Gesamt-Hg und MeHg in der BfR-MEAL-Studie bleibt darüber hinaus festzuhalten, dass die verschiedenen Arten der Zubereitung von Fischen nicht dazu führen, dass die Gehalte von MeHg im Vergleich zu den Gesamt-Hg-Gehalten deutlich abnehmen. Die in den Fischen enthaltenen MeHg-Verbindungen sind offenbar sehr stabil und werden nicht durch Verarbeitungsprozesse wie z. B. Kochen, Braten oder Räuchern in andere Hg-Verbindungen umgewandelt. Es wurde für keine Fischart beobachtet, dass sich das MeHg/Gesamt-Hg-Verhältnis durch die Art der Zubereitung stark änderte (Tabelle 1).

Vergleich der Gehaltsdaten aus der BfR-MEAL-Studie mit Gehaltsdaten aus dem Monitoring

Um den Einfluss der unterschiedlichen Methoden der Datenerhebung auf die Gehaltsdaten für MeHg und Gesamt-Hg in Fischen und Meeresfrüchten zu untersuchen, wurden die Gehaltsdaten aus der BfR-MEAL-Studie (verzehrfertige Lebensmittel) mit Gehaltsdaten aus dem Monitoring gemäß §§ 50-52 Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB) der Jahre 2012 bis 2021 (Agrarrohstoffe oder Lebensmittel wie im Einzelhandel erhältlich) verglichen. In Tabelle 2 sind die BfR-MEAL-Daten für diejenigen Spezies den Monitoringdaten

gegenübergestellt, für die hier im genannten Zeitraum Gehaltsdaten erhoben wurden. Da im Rahmen des Monitorings nur Gesamt-Hg, nicht jedoch MeHg bestimmt wurde, müssen die Monitoringdaten in erster Linie mit den Gesamt-Hg-Gehalten der BfR-MEAL-Studie verglichen werden. Im Falle der BfR-MEAL-Daten ist jeweils nur ein Gehalt für die jeweilige Poolprobe verfügbar. Im Falle der Monitoringdaten sind die Anzahl der Proben, der Mittelwert (MW) der Gehalte sowie das 95. Perzentil (P95) und der Maximalwert (Max.) der gemessenen Gehalte an Gesamt-Hg gelistet (Tabelle 2).

Tabelle 2: Gehaltsdaten für MeHg und Gesamt-Hg in Fisch und Meeresfrüchten aus der BfR-MEAL-Studie im Vergleich zu Monitoringdaten der Jahre 2012 bis 2021

Daten aus der BfR-MEAL-Studie			Daten aus dem Monitoring (2012 – 2021)				
Spezies	Gesamt-Hg [mg/kg]*	MeHg [mg/kg]*	Spezies	Anzahl Proben (N)	Gesamt-Hg [mg/kg]**		
					MW	P95	Max.
Aal	0,10	0,10	Aal, auch				
Aal, geräuchert	0,08	0,08	geräuchert (BVL, 2014)	79	0,11	0,25	0,90
			Hering (BVL, 2017)	82	0,05	0,08	0,12
Heringsfilet in Soße	0,04	0,03					
Hering, geräuchert	0,08	0,07					
Hering, Brathering	0,05	0,05					
Marinierter Hering, Matjes, Bismarckhering	0,03	0,03					
Rollmops	0,04	0,04					
Rotbarsch	0,12	0,12	Rotbarsch (BVL, 2019)	102	0,10	0,19	0,55
Scholle, Seezunge	0,06	0,06	Scholle (BVL, 2013)	143	0,05	0,11	0,19
Köhler, Alaska- Seelachs	0,06	0,07	Alaska Pollack (BVL, 2015)	121	0,03	0,12	0,18
Lachs	0,02	0,02	Lachs (BVL, 2015)	128	0,02	0,05	0,09
Pangasius	<0,001	<0,010	Schlankwels (Pangasius) (BVL, 2017)	109	0,01	0,01	0,08
Thunfisch (Filet)	0,37	0,38	Thunfisch (BVL, 2018)	111	0,20	0,54	0,69
Thunfisch in eigenem Saft/in Soße (Konserven)	0,13	0,12	Thunfisch im eigenen Saft (Konserven) (BVL, 2012)	74	0,14	0,39	0,48
Forelle (vier regionale Pools gemittelt)	0,02	0,02	Forelle (BVL, 2014)	108	0,02	0,05	0,14
Karpfen (vier regionale Pools gemittelt)	0,02	0,01	Karpfen (BVL, 2021)	61	0,02	0,05	0,13
Muscheln	0,02	0,01	Miesmuschel (BVL, 2013)	70	0,02	0,03	0,07
Garnele	0,02	0,01	Prawns/ Geißelgarnele (BVL, 2018)	89	0,01	0,04	0,13
			Nordseekrabbe nflfleisch (BVL, 2019)	48	0,07	0,09	0,10

* Mittelwerte von Poolproben aus je 20 Einzelproben, Ausnahme: Forelle, hier Mittelwert aus 4 Poolproben mit je 15 Einzelproben

** bezieht sich auf rohe, unverarbeitete Lebensmittel, wenn keine weiteren Angaben

Insgesamt zeigen die Daten der BfR-MEAL-Studie eine gute Übereinstimmung mit den Mittelwerten der Monitoringdaten, auch wenn die Stichproben aufgrund der teilweise unterschiedlichen Zusammensetzung und Zubereitung nicht direkt vergleichbar sind. Der größte Unterschied ist für Nordseekrabbenfleisch zum nicht direkt zu vergleichenden Pool für Garnelen zu verzeichnen, bei denen der Mittelwert der Monitoringdaten um den Faktor 3 höher liegt. Für Seelachs und Thunfisch (Filet) liegen die Gehalte der Poolproben der BfR-MEAL-Studie um den Faktor 1,9 höher als der Mittelwert der Monitoringdaten, jedoch wie auch in allen anderen Fällen unterhalb des jeweiligen P95 der Gehalte aus dem Monitoring.

3.1.3.3 Expositionsschätzung

Die folgende Expositionsschätzung für die Bevölkerung in Deutschland basiert zum einen auf den Daten der nationalen Verzehrsstudien für Kinder, Jugendliche und Erwachsene (KiESEL, EsKiMo II und NVS II) und zum anderen auf den Gehaltsdaten zu MeHg in Fisch und Meeresfrüchten aus der BfR-MEAL-Studie, da hier ein breites Spektrum an Lebensmitteln untersucht wurde und MeHg direkt gemessen wurde.

Für die Expositionsschätzungen wurden die individuellen Verzehrdaten der Studienteilnehmenden mit den MeHg-Gehalten der verzehrten Lebensmittel verknüpft und auf die individuellen Körpergewichte der Studienteilnehmenden bezogen. Dabei wurden die Gehaltsdaten aus den Regionen mit dem Verzehr der in der jeweiligen Region lebenden Individuen verknüpft, um auch regionale Unterschiede im Verzehrverhalten zu berücksichtigen. Die Exposition wurde im Lower Bound (LB)- und Upper Bound (UB)-Ansatz bestimmt. Im LB-Ansatz werden alle Messungen unterhalb des LOQ mit 0 ersetzt. Im UB-Ansatz werden alle Messungen <LOQ mit dem jeweiligen LOQ ersetzt. Da das Labor keine Differenzierung zwischen der Nachweisgrenze (Limit of Detection, LOD) und LOQ vorgenommen hat, wurde der LOD bei der Berechnung der Bounds nicht berücksichtigt.

Nach den Protokollen der Verzehrsstudien (KiESEL, EsKiMo II und NVS II) gab ein relevanter Anteil der Bevölkerung in Deutschland im Erhebungszeitraum keinen Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten an. Die Expositionsschätzung erfolgt daher für die Verzehrenden von Fisch und/oder Meeresfrüchten.

Tabelle 3 zeigt die Anzahl der Verzehrenden sowie die wöchentliche MeHg-Exposition im LB- und UB-Szenario. Da die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien gering sind, werden im Folgenden nur die UB-Werte beschrieben.

Laut KiESEL-Studie verzehren 29 % der Kinder im Alter von 0,5 bis < 6 Jahren Fisch und/oder Meeresfrüchte (279 von 952 Teilnehmenden). Bei einem durchschnittlichen Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten liegt die MeHg-Aufnahme dieser Altersgruppe bei 0,21 µg pro kg KG und Woche, bei hohem Verzehr (P95) bei 0,76 µg/kg KG und Woche (Tabelle 3). In der Altersgruppe der 6-<12-Jährigen verzehren laut der EsKiMo II-Studie 29 % der Kinder Fisch und/oder Meeresfrüchte (341 von 1.190 Teilnehmenden). Die Exposition gegenüber MeHg beträgt in dieser Gruppe im Mittel 0,24 µg/kg KG und Woche und im P95 0,93 µg/kg KG und Woche. Schließlich haben im Rahmen der NVS II-Studie (Jugendliche und Erwachsene ≥14 Jahre) 2.916 von 13.926 Teilnehmenden (21 %) angegeben, Fisch und/oder Meeresfrüchte verzehrt zu haben. Die mittlere Exposition gegenüber MeHg durch Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten liegt für diese Gruppe bei 0,34 µg/kg KG und Woche und die hohe Exposition bei 1,06 µg/kg KG und Woche (Tabelle 3).

Unter detaillierter Betrachtung der Altersgruppen zeigen Jugendlichen von 14 - <18 Jahren mit 0,47 µg/kg KG und Woche (UB, mittlerer Verzehr) die höchste MeHg-Exposition. Bei hohem Verzehr erreicht die Aufnahme dieser Gruppe einen Wert von 2,18 µg/kg KG und Woche.

Da laut EFSA 2012 ungeborene Kinder als besonders gefährdete Bevölkerungsgruppe für die entwicklungsneurotoxische Wirkung der MeHg-Exposition angesehen werden, gilt ein besonderes Augenmerk der Gruppe der schwangeren und stillenden Frauen. Unter den Verzehrenden von Fisch und Meeresfrüchten in den 24 h-Recalls der NVSII waren nur geringe Fallzahlen für schwangere und stillende Frauen. Diese erlauben keine Ableitung von repräsentativen Aussagen für Schwangere und Stillende.

Jedoch können Aussagen zur Exposition von Frauen im gebärfähigen Alter (18 - <45 Jahre) getroffen werden (Tabelle 3). Es zeigt sich, dass sich die Exposition dieser Untergruppe der Bevölkerung nicht von der Exposition der gesamten erwachsenen Bevölkerung in Deutschland unterscheidet. Allerdings kann die Expositionsrechnung für Frauen im gebärfähigen Alter nicht direkt auf Schwangere oder Stillende übertragen werden, da sich das Verzehrverhalten unterscheiden könnte.

In allen Bevölkerungsgruppen hat Seelachs den höchsten Anteil an der MeHg-Exposition (KiESEL: 63 %, EsKiMo II: 54 % und NVS II: 34 %). Seelachs gehört zu den Fischarten mit tendenziell geringen Gehalten an MeHg (siehe Tabelle 1). Der hohe Beitrag von Seelachs zur MeHg-Exposition liegt in dem hohen Verzehr begründet. Bei Kindern (KiESEL) spielen andere Fischarten eine eher untergeordnete Rolle, da sie kaum verzehrt werden. Der Anteil reicht von Lachs (8 %) bis Weichtiere (<1 %). Bei Kindern und Jugendlichen (EsKiMo II) tragen Plattfische und Thunfisch mit 17 % und 13 % zur MeHg-Aufnahme bei. Hierbei ist zu bemerken, dass der Beitrag von Thunfisch in seinem hohen Gehalt begründet liegt (siehe Tabelle 1), dieser jedoch selten von dieser Altersgruppe verzehrt wird (n = 11). Alle weiteren Fischarten haben einen Anteil von ≤ 5 %. Bei Erwachsenen (NVS II) tragen neben Seelachs auch Thunfisch (19 %), Hering (16 %) und Rotbarsch (11 %) am meisten zur Exposition gegenüber MeHg bei.

Tabelle 3: Aufnahme an Methylquecksilber für verschiedene Altersgruppen in der Bevölkerung Deutschlands (nur Verzehrende von Fisch und Meeresfrüchten)

Altersgruppe	Anzahl Verzehrende (N)*	MeHg-Aufnahme [µg/kg KG und Woche]			
		MW		P95	
		LB	UB	LB	UB
Säuglinge (0,5 - <1 Jahr) ¹	2 (57)	na	na	na	na
Kleinkinder (1 - <3 Jahre) ¹	96 (308)	0,18	0,23	0,81	0,81
Kinder (3 - <6 Jahre) ¹	180 (588)	0,15	0,19	0,63	0,63
Kinder (0,5-<6 Jahre)¹	279 (952)	0,17	0,21	0,76	0,76
Kinder (6 - <10 Jahre) ²	233 (789)	0,23	0,25	0,96	1,09
Jugendliche (10 - <12 Jahre) ²	108 (401)	0,21	0,22	0,81	0,81
Kinder und Jugendliche (6-<12 Jahre)²	341 (1.190)	0,22	0,24	0,93	0,93
Jugendliche (14 - <18 Jahre) ³	68 (744)	0,46	0,47	2,18	2,18
Erwachsene (18 - <25 Jahre) ³	184 (1.393)	0,39	0,40	1,53	1,53
Erwachsene (25 - <35 Jahre) ³	363 (1.961)	0,33	0,33	1,04	1,04
Erwachsene (35 - <45 Jahre) ³	561 (2.788)	0,30	0,31	1,00	1,00
Erwachsene (45 - <55 Jahre) ³	527 (2.443)	0,32	0,32	0,94	0,94
Erwachsene (55 - <65 Jahre) ³	508 (1.939)	0,35	0,35	1,11	1,11
Senioren (65 - <80 Jahre) ³	705 (2.657)	0,34	0,34	1,03	1,03
Jugendliche und Erwachsene (≥14 Jahre)³	2.916 (13.926)	0,34	0,34	1,06	1,06
Frauen im gebärfähigen Alter (18 - <45 Jahre) ³	521 (3.018)	0,32	0,33	1,02	1,02

*Anzahl aller Befragten in der jeweiligen Altersgruppe in Klammern; na: nicht auswertbar, aufgrund der zu geringen Anzahl von Verzehrenden (n < 20) in der entsprechenden Altersgruppe; Verzehrstudien ¹: KIESEL; ²: EsKiMo II; ³: NVS II

Die in Tabelle 3 dargestellte Expositionsschätzung wurde auf Basis der Gehaltsdaten im LB und UB durchgeführt. Die resultierenden Aufnahmewerte unterscheiden sich bei mittlerem Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten nur geringfügig voneinander und sind auch bei hohem Verzehr (P95) vergleichbar (Tabelle 3). Aus diesem Grund werden im Folgenden nur die UB-Werte angegeben, auf die Angabe der LB-Werte wird verzichtet.

Um den Einfluss der verzehrten Fischart auf die Exposition gegenüber MeHg der Verbraucherinnen und Verbraucher näher zu untersuchen, wurde exemplarisch die Exposition der Verzehrenden von Seelachs, Hering bzw. Thunfisch berechnet (Tabelle 4). Es wurden hierfür alle Zubereitungsformen der jeweiligen Fischart berücksichtigt, d.h. dass beispielsweise die Gruppe der Verzehrenden von Seelachs diejenigen Personen umfasst, die Seelachs-Filet, Fischstäbchen und/oder gebackenes Fischfilet verzehrt haben (vgl. Tabelle 1). Berechnet wurde für die jeweilige Personengruppe die MeHg-Aufnahme über die jeweilige Fischart sowie die Aufnahme über andere Fischarten.

Auf Basis der Daten der NVS II-Verzehrstudie weisen 14 - <18-Jährige, die Thunfisch verzehren, bereits bei mittleren Verzehrsmengen eine Gesamt-MeHg-Aufnahme von 2,23 µg/kg KG und Woche auf, bei hohem Verzehr beträgt ihre Gesamtaufnahme 4,64 µg/kg KG und Woche. Auf Basis der NVS II-Daten kommt es bei einem hohen Verzehr (P95) von Thunfisch in fast allen Altersgruppen der NVS II zu hohen MeHg-Aufnahmen (Tabelle 4). Zur MeHg-Aufnahme bei Kindern und Jugendlichen (KIESEL und EsKiMo II) kann lediglich eine Aussage zu Verzehrenden von Seelachs getroffen werden, da die Anzahl der Verzehrenden

für Hering und Thunfisch (zwischen 0 und 7 Verzehrende) zu gering ist, um valide Aussagen treffen zu können. Die MeHg-Exposition von Seelachs-Verzehrern liegt dabei im Bereich der Exposition von Fisch- und Meeresfrüchte-Verzehrern gesamt (vgl. Tabelle 3 und Tabelle 4).

Diese Betrachtung der Exposition bezogen auf ausgewählte Fischarten zeigt, dass der häufige Verzehr von Spezies, die hohe Gehalte an MeHg aufweisen können (wie z. B. Thunfisch), zu einer hohen Exposition führen kann. Dagegen hat bei den für die Bevölkerung in Deutschland erhobenen Verzehrsmengen auch der häufige Verzehr von Fischarten, die vergleichsweise niedrige MeHg-Gehalte aufweisen (wie Seelachs oder Hering), keine erhöhte Exposition zur Folge.

Tabelle 4: Methylquecksilber-Aufnahme verschiedener Altersgruppen der Bevölkerung Deutschlands durch den Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten (nur Verzehrende von Fisch und Meeresfrüchten), sowie bei separater Betrachtung der Verzehrenden von Thunfisch, Hering bzw. Seelachs (UB)

Altersgruppe	MeHg-Aufnahme (UB) [$\mu\text{g}/\text{kg KG}$ und Woche]								
	Verzehrende von Seelachs			Verzehrende von Hering			Verzehrende von Thunfisch		
	N	MW	P95	N	MW	P95	N	MW	P95
0,5 - <1 Jahre ¹	2	na	na	0	na	na	0	na	na
1 - <3 Jahre ¹	72	0,23	0,79	0	na	na	0	na	na
3 - <6 Jahre ¹	127	0,21	0,68	7	na	na	0	na	na
6 - <10 Jahre ²	171	0,24	1,01	4	na	na	5	na	na
10 - <12 Jahre ²	72	0,23	0,90	4	na	na	7	na	na
14 - <18 Jahre ³	68	0,36	1,18	6	0,22	0,52	6	2,23	4,64
18 - <25 Jahre ³	184	0,31	1,06	26	0,24	0,50	27	1,10	3,49
25 - <35 Jahre ³	363	0,31	0,78	54	0,19	0,41	62	0,70	1,30
35 - <45 Jahre ³	561	0,34	0,94	113	0,23	0,48	51	0,69	3,13
45 - <55 Jahre ³	527	0,42	0,91	132	0,24	0,63	49	0,53	1,07
55 - <65 Jahre ³	508	0,41	1,04	131	0,23	0,77	32	0,70	2,17
65 - <80 Jahre ³	705	0,42	0,85	240	0,20	0,54	21	0,58	2,83

N: Anzahl Verzehrende; na: nicht auswertbar, aufgrund der zu geringen Anzahl von Verzehrern (N < 20) in der entsprechenden Altersgruppe; Verzehrstudien ¹: KIESEL; ²: EsKiMo II; ³: NVS II

MeHg-Aufnahme in Deutschland im europäischen Vergleich

Im folgenden Abschnitt werden die Expositionsschätzungen für Deutschland im europäischen Vergleich dargestellt. Die hier vorliegende Expositionsschätzung für MeHg wird zum einen mit der Expositionsschätzung der EFSA aus dem Jahr 2012 verglichen und zum anderen mit den Expositionsschätzungen anderer europäischer TDS.

Beim Vergleich mit der Expositionsschätzung der EFSA (2012) gilt es zu berücksichtigen, dass die EFSA für ihre Expositionsschätzung die Daten von nationalen Verzehrstudien der Mitgliedstaaten mit Gehaltsdaten für Gesamt-Hg kombiniert hat, die in der Europäischen Union im Zeitraum von 2002 bis 2011 erhoben wurden (EFSA, 2012). Für Fisch und Meeresfrüchte wurden die gemessenen Gehalte an Gesamt-Hg entsprechend der Konversionsfaktoren von 1,0 für Fische und von 0,8 für Mollusken und Krustaceen in MeHg-Gehalte umgerechnet.

Zum Vergleich der hier vorliegenden Expositionsschätzung mit den Expositionsschätzungen für MeHg anderer europäischer TDS wurden Daten der französischen TDS für Erwachsene

(Arnich et al., 2012) und für Kinder (Sirot et al., 2018) sowie eine spanische TDS (Region Valencia (Marin et al., 2017)) herangezogen. In den Expositionsschätzungen dieser TDS wurde, wie in der hier vorliegenden Expositionsschätzung, nur die Exposition der Verzehrenden von Fisch und Meeresfrüchten gegenüber MeHg betrachtet. Hierbei wurde in einer Studie (Marin et al., 2017) MeHg parallel zu Gesamt-Hg direkt bestimmt, wohingegen in den beiden anderen Studien (Arnich et al., 2012; Sirot et al., 2018) nur Gesamt-Hg gemessen und angenommen wurde, dass Gesamt-Hg zu 100 % Methylquecksilber entspricht. Die Ergebnisse der verschiedenen Expositionsschätzungen sind für Erwachsene und Kinder in Tabelle 5 bzw. Tabelle 6 vergleichend dargestellt. Es gilt dabei zu berücksichtigen, dass die für die verschiedenen Expositionsschätzungen gewählten Altersbereiche nicht in jedem Fall identisch sind.

Tabelle 5: Hohe Exposition gegenüber Methylquecksilber durch Verzehr von Fisch bzw. Fisch und Meeresfrüchten für Erwachsene im europäischen Vergleich (nur Verzehrende von Fisch bzw. Fisch und Meeresfrüchten)

Land	Exposition [µg/kg KG und Woche]	Altersbereich	Referenz
Frankreich	P95: 0,43 ^{b,e}	18 - 79 Jahre	(Arnich et al., 2012) (dort Tabelle 4)
Spanien	P99: 12,7 - 13,0 ^{b,d}	>15 Jahre	(Marin et al., 2017)
Europa	P95: 0,58 - 6,17 (UB) ^{a,c,e}	18 - <65 Jahre	(EFSA, 2012) (dort Tabelle 15)
Deutschland	P95: 2,07 (UB) ^{a,e}	18 - <65 Jahre	(EFSA, 2012) (dort Tabelle D8)
Deutschland	P95: 1,06 (UB) ^b	≥14 Jahre	diese Stellungnahme

^a nur Verzehrende von Fisch

^b nur Verzehrende von Fisch und Meeresfrüchten

^c angegeben ist der Bereich der Exposition in Höhe des 95ten Perzentils, den die EFSA auf Basis der verschiedenen Verzehrstudien der Mitgliedstaaten errechnet hat (Minimum – Maximum)

^d optimistisches und pessimistisches Szenario. Im optimistischen Szenario wurden Messwerte < LOQ = 0 gesetzt, und es wurden nur Lebensmittel in die Expositionsschätzung einbezogen, bei denen mindestens 20 % der Messwerte > LOQ waren. Im pessimistischen Szenario wurden Messwerte < LOQ = LOQ gesetzt, und alle Lebensmittel wurden in die Expositionsschätzung einbezogen.

^e berechnet aus der Exposition gegenüber Quecksilber unter der Annahme, dass der Anteil Methyl-Quecksilber bei 100 % liegt.

Tabelle 6: Hohe Exposition gegenüber Methylquecksilber durch Verzehr von Fisch bzw. Fisch und Meeresfrüchten für Kinder im europäischen Vergleich (nur Verzehrende von Fisch bzw. Fisch und Meeresfrüchten)

Land	Exposition [µg/kg KG und Woche]	Altersbereich	Referenz
Frankreich	P95: 0,68 ^{b,e}	3 - 17 Jahre	(Arnich et al., 2012)
Spanien	P99: 23,8 - 23,9 ^{b,d}	6 - 15 Jahre	(Marin et al., 2017)
Europa	P95: 1,43 - 7,49 (UB) ^{a,c,e}	3 - <10 Jahre	(EFSA, 2012) (dort Tabelle 15)
Europa	P95: 0,81 - 7,29 (UB) ^{a,c,e}	10 - <18 Jahre	(EFSA, 2012) (dort Tabelle 15)
Deutschland	P95: 3,05 (UB) ^{a,e}	14 - <18 Jahre	(EFSA, 2012) (dort Tabelle D8)
Deutschland	P95: 0,63 (UB) ^b	3 - <6 Jahre	diese Stellungnahme
Deutschland	P95: 0,93 (UB) ^b	6 - <12 Jahre	diese Stellungnahme

^a nur Verzehrende von Fisch

^b nur Verzehrende von Fisch und Meeresfrüchten

^c angegeben ist der Bereich, in Höhe des 95-ten Perzentils den die EFSA auf Basis der verschiedenen Verzehrsstudien der Mitgliedstaaten errechnet hat

^d optimistisches und pessimistisches Szenario. Im optimistischen Szenario wurden Messwerte < LOQ = 0 gesetzt, und es wurden nur Lebensmittel in die Expositionsschätzung einbezogen, bei denen mindestens 20 % der Messwerte > LOQ waren. Im pessimistischen Szenario wurden Messwerte < LOQ = LOQ gesetzt, und alle Lebensmittel wurden in die Expositionsschätzung einbezogen.

^e berechnet aus der Exposition gegenüber Quecksilber unter der Annahme, dass der Anteil Methyl-Quecksilber bei 100 % liegt.

Da die Verzehrsmuster und auch die Verzehrsmengen von Fisch und Meeresfrüchten in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union sehr unterschiedlich sind, kann auch die Höhe der Exposition der Bevölkerung in den Mitgliedstaaten deutliche Unterschiede aufweisen.

Auf europäischer Ebene liegt die hohe Exposition (P95) der Verzehrenden von Fisch gegenüber MeHg bei der erwachsenen Bevölkerung der EU-Mitgliedstaaten im UB in einem Bereich zwischen 0,58 und 6,17 µg/kg KG und Woche (Tabelle 5) und bei Kindern in einem Bereich zwischen 0,81 und 7,49 µg/kg KG und Woche (Tabelle 6) (EFSA, 2012).

Daten zur Exposition der deutschen Bevölkerung gegenüber MeHg sind in der EFSA-Stellungnahme dem Appendix D (Exposure) zu entnehmen. Demnach liegt die Exposition im P95 der Fischverzehrenden gegenüber MeHg (UB) bei Erwachsenen in Deutschland bei 2,07 µg/kg KG und Woche. Bei Jugendlichen zwischen 14 und 18 Jahren liegt die Exposition gegenüber MeHg (P95 des Verzehr, UB) in Deutschland bei 3,05 µg/kg KG und Woche ((EFSA, 2012); Tabelle 6). Die von der EFSA berechnete Exposition für Deutschland (EFSA 2012) sowie die hier vorliegende Expositionsschätzung liegen sowohl für Kinder als auch für Erwachsene im europaweiten Vergleich im mittleren Bereich der von der EFSA geschätzten Exposition für alle Mitgliedstaaten (EFSA 2012, Tabelle 5 und Tabelle 6).

Im Vergleich zu den Ergebnissen der anderen europäischen TDS liegt die im Rahmen dieser Stellungnahme ermittelte hohe Exposition gegenüber MeHg bei Erwachsenen in Deutschland mit 1,06 µg/kg KG und Woche (UB) durch Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten zwischen der berechneten Exposition in Frankreich und in Spanien (Tabelle 5). Bei Kindern ist die Exposition gegenüber MeHg in Deutschland mit 0,63 µg/kg KG und Woche (3 - <6 Jahre) bzw. 0,93 µg/kg KG und Woche (6 - <12 Jahre) im Bereich der Aufnahme in Frankreich und deutlich niedriger als das P99 in Spanien (Tabelle 6). Die Unterschiede in der Exposition lassen sich in erster Linie mit dem Verzehr unterschiedlicher Fischarten in den verschiedenen Ländern erklären. So trägt beispielsweise der Verzehr von Schwertfisch, der hohe Gehalte an MeHg enthalten kann, in der spanischen TDS bei

Erwachsenen zu 43 % und bei Kindern zu 59 % zur Exposition gegenüber MeHg bei (Marin et al., 2017). Schwertfisch wird jedoch in Deutschland kaum verzehrt, ist daher nicht in der Food List der BfR-MEAL-Studie enthalten und trägt in der hier vorliegenden Expositionsschätzung demnach nicht zur Exposition in Deutschland bei. Es bleibt festzuhalten, dass die Exposition gegenüber MeHg insbesondere durch die Auswahl der konsumierten Fischarten beeinflusst werden kann.

3.1.4 Risikocharakterisierung

Für die Risikocharakterisierung von MeHg in Fisch und Meeresfrüchten legt das BfR den durch die EFSA abgeleiteten TWI von 1,3 µg/kg KG und Woche zugrunde. Der TWI basiert auf beobachteten Zusammenhängen zwischen der Exposition gegenüber MeHg und Beeinträchtigungen der neurologischen Entwicklung von Kindern in epidemiologischen Studien. Ungeborene Kinder werden nach EFSA 2012 als besonders gefährdete Bevölkerungsgruppe für die entwicklungsneurotoxische Wirkung der Methylquecksilberexposition angesehen.

Bei Betrachtung der Gesamtbevölkerung trägt bei Jugendlichen und Erwachsenen der Verzehr von Seelachs, Thunfisch, Hering und Rotbarsch und bei Kindern der Verzehr von Seelachs, Rotbarsch, Scholle und Hering am meisten zur Exposition gegenüber MeHg bei.

Die mittlere MeHg-Aufnahme für Verzehrende von Fisch und Meeresfrüchten liegt für alle Altersgruppen in einem Bereich von 0,19 – 0,47 µg/kg KG und Woche (UB). Dementsprechend liegt die im Rahmen dieser Stellungnahme berechnete mittlere Exposition gegenüber MeHg für alle Altersgruppen einschließlich der Frauen im gebärfähigen Alter unterhalb des TWI von 1,3 µg/kg KG und Woche (vgl. Tabelle 7). Für Verzehrende von Fisch und Meeresfrüchten aller Altersgruppen in Deutschland wird bei mittlerer Exposition daher eine niedrige Wahrscheinlichkeit für das Auftreten gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch MeHg angenommen.

Die hohe MeHg-Aufnahme (P95) für Verzehrende von Fisch und Meeresfrüchten liegt in einem Bereich von 0,63 – 2,18 µg/kg KG und Woche (UB).

Für die Bevölkerungsgruppen mit hoher MeHg-Aufnahme ergibt die Betrachtung differenzierter Bevölkerungsgruppen oder bestimmter Verzehrsmuster der verzehrten Fischarten folgende Ergebnisse:

- Die höchsten Aufnahmen wurden für Jugendliche im Alter von 14 - <18 Jahren (P95: 2,18 µg/kg KG und Woche) und junge Erwachsene im Alter von 18 - <25 Jahren (P95: 1,53 µg/kg KG und Woche) basierend auf den Verzehrdaten der NVS II berechnet. Bei diesen Altersgruppen überschreitet die hohe Exposition den TWI um das 1,2- bis 1,7-fache (Tabelle 7).
- Überschreitungen des TWI ergaben sich für bestimmte Altersgruppen auch bei gesonderter Betrachtung der Verzehrenden von Thunfisch (mittlere und hohe Exposition), nicht aber bei gesonderter Betrachtung der Verzehrenden von Seelachs oder Hering (Tabelle 7). Dementsprechend kann über die Auswahl der Fischarten, die konsumiert werden, die Aufnahme von MeHg unmittelbar beeinflusst werden.

Eine Überschreitung des TWI ist als gesundheitlich bedenklich anzusehen. Für einen Teil der Personen mit einer hohen Exposition (P95) gegenüber MeHg durch den Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten wird nach der vorliegenden Expositionsschätzung eine mittlere

Wahrscheinlichkeit für das Auftreten gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch MeHg angenommen.

Tabelle 7: Prozentuale Ausschöpfung des TWI von 1,3 µg/kg KG und Woche für verschiedene Altersgruppen der Bevölkerung Deutschlands durch Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten bzw. bei separater Betrachtung der Verzehrenden von Thunfisch, Hering bzw. Seelachs (UB, nur Verzehrende von Fisch und Meeresfrüchten). TWI-Überschreitungen sind durch Fettdruck hervorgehoben.

Altersgruppe	Ausschöpfung des TWI [%]							
	Verzehrende von Fisch und Meeresfrüchten		Verzehrende von Seelachs		Verzehrende von Hering		Verzehrende von Thunfisch	
	MW	P95	MW	P95	MW	P95	MW	P95
0,5 - <1 Jahre ¹	na	na	na	na	na	na	na	na
1 - <3 Jahre ¹	18	62	18	61	na	na	na	na
3 - <6 Jahre ¹	15	48	16	52	na	na	na	na
6 - <10 Jahre ²	19	84	18	78	na	na	na	na
10 - <12 Jahre ²	17	62	18	69	na	na	na	na
14 - <18 Jahre ³	36	167	28	91	17	40	172	357
18 - <25 Jahre ³	31	118	24	82	18	38	85	268
25 - <35 Jahre ³	25	80	24	60	15	32	54	100
35 - <45 Jahre ³	24	77	26	72	18	37	53	241
45 - <55 Jahre ³	25	72	32	70	18	48	41	82
55 - <65 Jahre ³	27	85	32	80	18	59	54	167
65 - <80 Jahre ³	26	79	32	65	15	42	45	218

na: nicht auswertbar, aufgrund der zu geringen Anzahl von Verzehrenden in der entsprechenden Altersgruppe
Verzehrsstudien: ¹KIESEL; ² EsKiMo II; ³ NVS II

3.1.5 Diskussion und Unsicherheiten

Das Konzept einer TDS beinhaltet die Erstellung einer Food List, die sich aus Lebensmitteln zusammensetzt, die repräsentativ das Verzehrverhalten von mindestens 90 % der Bevölkerung abbilden. Dies bedeutet eine Reduktion von Unsicherheiten hinsichtlich Gehaltsdaten einer TDS im Vergleich zu anderen Datenerhebungen, wie zum Beispiel dem Monitoring gemäß § 50-52 LFGB. Aus methodischer Sicht ist des Weiteren von Vorteil, dass in einer TDS Gehaltsbestimmungen anhand von zubereiteten und verzehrfertigen Lebensmitteln erfolgen und damit Gehaltsänderungen, die ggf. im Zuge der Zubereitung der Mahlzeiten erfolgen können, berücksichtigt werden. Ein anderer methodischer Aspekt der Datenerhebung im Rahmen einer TDS ist, dass hier die Gehaltsbestimmungen anhand von Poolproben erfolgen und damit keine Aussagen über eine statistische Verteilung der gemessenen Gehalte über eine größere Anzahl von Einzelproben möglich ist. Damit eignen sich die Gehaltsdaten, die im Zuge einer TDS erhoben werden, nicht für die Überwachung von Höchstgehalten. Sie stellen jedoch einen repräsentativen Datensatz hinsichtlich der durchschnittlichen Gehalte eines breiten Spektrums an Lebensmitteln dar und bieten damit eine sehr gute Basis für die Ermittlung der langfristigen Exposition (Kolbaum et al., 2022). Im Rahmen der BfR-MEAL-Studie wurde die Aufnahme von MeHg ausschließlich basierend auf den Produkten der Lebensmittelhauptgruppe „Fische und Meeresfrüchte“ bestimmt. Weitere Lebensmittel mit potentiellem Fischanteil (z. B. zusammengesetzte Lebensmittel, wie Pizza mit Meeresfrüchten) sind dabei nicht berücksichtigt, was zu einer geringfügigen Unterschätzung führen kann.

Für eine Expositionsschätzung müssen Gehaltsdaten mit Verzehrdaten kombiniert werden. Die Daten für Kinder und Jugendliche (KiESEL, EsKiMo II) wurden im Rahmen der KiGGS-Welle 2 zwischen 2014 und 2017 erhoben. Die Verzehrdaten für Erwachsene (NVS II) wurden 2005/2006 erhoben. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich seither die Verzehrsgewohnheiten in der Bevölkerung Deutschlands geändert haben, auch hinsichtlich des Verzehrs von Fisch und Meeresfrüchten. Veränderte Verzehrsgewohnheiten können sowohl die Verzehrsmengen als auch die konsumierten Fischarten betreffen. Diese Veränderungen können sowohl eine Unterschätzung als auch eine Überschätzung der Exposition zur Folge haben.

Mögliche Veränderungen im Verzehrverhalten der erwachsenen Bevölkerung Deutschlands wurden im Rahmen der NEMONIT-Studie des Max-Rubner-Instituts untersucht. Hierfür wurde bei einem Teil der Teilnehmenden der NVS II-Studie untersucht, ob sich das Verzehrverhalten im Zeitraum 2006 bis 2012 veränderte. Hinsichtlich des Verzehrs von Fischen und Meeresfrüchten konnten keine Veränderungen im Verzehrverhalten festgestellt werden (Gose et al., 2016). In der NVS II wurden Verzehrdaten nur im Rahmen von zwei 24 Stunden-Protokollen erhoben. Es ist daher wahrscheinlich, dass im Falle von selten verzehrten Lebensmitteln der Anteil der Verzehrenden unterrepräsentiert ist. So liegt beispielsweise laut NVS II der Anteil der Verzehrenden von frischem Thunfisch bei 0,3 % und der von Thunfisch aus der Konserve bei 2,5 %. Eine repräsentative Telefonumfrage in Deutschland kam jedoch zu dem Ergebnis, dass 68,7 % der Befragten gelegentlich frischen Thunfisch und 30,1 % gelegentlich Thunfisch aus der Konserve konsumieren (Ehlscheid et al., 2014). Die Unterrepräsentation von selten verzehrten Fischen und Meeresfrüchten in der NVS II führt damit vermutlich zu einer Unterschätzung der Exposition gegenüber MeHg in der Gruppe der Jugendlichen und Erwachsenen in Deutschland. Derselbe Effekt kann auch für Kinder und Jugendliche aus der KiESEL- der EsKiMo II-Studie nicht ausgeschlossen werden. Durch die Protokollierung des Verzehrs über vier Tage, fällt dieser jedoch geringer aus.

Die Exposition der Verbraucherinnen und Verbraucher gegenüber MeHg erfolgt nahezu ausschließlich über den Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten. Analog zum Vorgehen der EFSA wurde daher eine Expositionsschätzung auf Basis von Fischen und Meeresfrüchten durchgeführt. Es bleibt zu berücksichtigen, dass auch für wenige andere Lebensmittel wie z. B. Pilze (Rieder et al., 2011) und Reis (Rothenberg et al., 2014) geringfügige Gehalte an MeHg berichtet wurden und die Exposition somit unterschätzt sein kann. Eine mögliche Aufnahme von MeHg mit der Muttermilch wurde nicht betrachtet.

3.2 Weitere Aspekte

Diese Stellungnahme konzentriert sich ausschließlich auf die Risiken im Zusammenhang mit der ernährungsbedingten Exposition gegenüber MeHg und bewertet nicht den gesundheitlichen Nutzen von z. B. Fisch und Meeresfrüchten. Fisch und Meeresfrüchte stellen eine Quelle für wichtige Nährstoffe, Vitamine und Spurenelemente dar, wie Proteine, langkettige Omega-3 Fettsäuren (Eicosapentaensäure (EPA), Docosapentaensäure (DPA) und Docosahexaensäure (DHA), Vitamin D, Jod, Selen und Vitamin B12 (VKM, 2022).

Die FAO und die WHO beriefen 2010 einen gemeinsamen Expertenausschuss zur Beurteilung der Risiken und des Nutzens des Fischkonsums ein. Aufgabe der Expertenkonsultation war es, Daten über den Gehalt an Nährstoffen (Omega-3-Fettsäuren) und bestimmten Kontaminanten (MeHg und Dioxine) in einer Reihe von Fischarten zu prüfen und die

gesundheitlichen Vorteile des Fischkonsums und der Nährstoffaufnahme mit den Gesundheitsrisiken zu vergleichen, die mit den in Fisch enthaltenen Kontaminanten verbunden sind. Der Ausschuss kam zu dem Schluss, dass der Verzehr von Fisch bei Frauen im gebärfähigen Alter, Schwangeren und stillenden Müttern unter Abwägung der Vorteile von DHA gegenüber den Risiken von MeHg insgesamt das Risiko einer suboptimalen neurologischen Entwicklung ihrer Nachkommen im Vergleich zum Verzicht auf Fisch in den meisten untersuchten Fällen senkt. Bei Säuglingen, Kleinkindern und Jugendlichen reichte die Evidenz nicht aus, um einen quantitativen Rahmen für Gesundheitsrisiken und Nutzen abzuleiten (FAO/WHO, 2011).

Laut EFSA 2015 sollte bei Kleinkindern, Kindern und Frauen im gebärfähigen Alter der Nutzen des Fischverzehr durch einen erhöhten Verzehr quecksilberarmer Fischarten erreicht werden. Um den Fötus vor schädlichen Auswirkungen von MeHg auf die neurologische Entwicklung zu schützen, sollten insbesondere Frauen im gebärfähigen Alter den TWI nicht überschreiten. Abgesehen von der Begrenzung des Verzehr von Fischen/Meeresfrüchten mit hohem Hg-Gehalt in der täglichen Ernährung, um eine regelmäßige Exposition oberhalb der TWI zu vermeiden, weist die EFSA darauf hin, dass es nicht möglich ist, allgemeine Empfehlungen für den Fischkonsum in ganz Europa zu geben. Jedes Land sollte daher seinen Fischkonsum betrachten und das Risiko einer Überschreitung des TWI für MeHg sorgfältig bewerten unter gleichzeitiger Berücksichtigung des gesundheitlichen Nutzens durch den Verzehr von Fisch/Meeresfrüchten (EFSA, 2015).

Eine umfassende und aktuelle Nutzen- und Risikobewertung zum Fischkonsums wurde durch das Norwegische Wissenschaftliche Komitee für Lebensmittelsicherheit (VKM) 2022 durchgeführt. Diese besteht aus einer quantitativen Analyse des Nutzens und der Risiken des Fischkonsums sowie einer semiquantitativen Nutzenbewertung der Nährstoffe in Fisch und einer semiquantitativen Risikobewertung der Kontaminanten in Fisch. Die betrachteten Nährstoffe umfassten langkettige Omega-3-Fettsäuren, Vitamin D, Jod, Selen und Vitamin B12, und neben MeHg wurden auch weitere Kontaminanten in die Analyse einbezogen (Dioxine, dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB) und PFAS). Die Ergebnisse der Analyse weisen darauf hin, dass eine Erhöhung des Fischverzehr u. a. die Zahl der Fälle von Schlaganfall, koronarer Herzerkrankung sowie kognitiver Störungen (z. B. Alzheimer und Demenz) bei Erwachsenen in Norwegen verringern könnte. Außerdem würde bei der empfohlenen Verzehrsmenge von Fisch auch die Selen- und Jodzufuhr verbessert. Bezüglich der Vitamin-D-Zufuhr wird geschlossen, dass die niedrige Vitamin-D-Zufuhr sich nicht unbedingt allein durch eine höhere Fischzufuhr korrigieren lässt, aber eine höhere Fischzufuhr und insbesondere die Zufuhr von fettem Fisch für Bevölkerungsgruppen mit niedrigem Vitamin-D-Spiegel von Bedeutung sein könnte. Zusammenfassend würden laut VKM alle Altersgruppen in Norwegen davon profitieren, wenn der Fischverzehr auf die empfohlene Zufuhr von Fisch erhöht würde. Andererseits wurde darauf hingewiesen, dass eine Erhöhung des Fischverzehr auf die empfohlenen Verzehrsmengen dazu führen würde, dass die Exposition fast aller Altersgruppen die gesundheitsbasierten Richtwerte für die untersuchten Kontaminanten überschreitet (VKM, 2022).

Zusammenfassend ist hervorzuheben, dass bei Überlegungen zu Maßnahmen zur Reduktion der Aufnahme von MeHg neben den gesundheitlichen Risiken durch das Vorhandensein dieser Kontaminanten in Fisch und Meeresfrüchten auch der gesundheitliche Nutzen des Konsums von Fisch und der darin enthaltenen Nährstoffe und Spurenelemente berücksichtigt werden sollte.

Weitere Informationen auf der BfR-Website zu Methylquecksilber in Fisch und Meeresfrüchten

BfR-Stellungnahme: Verbrauchertipp für Schwangere und Stillende, den Verzehr von Thunfisch einzuschränken, hat weiterhin Gültigkeit
https://www.bfr.bund.de/cm/343/verbrauchertipp_fuer_schwangere_und_stillen_de_den_verzehr_von_thunfisch_einzuschaerken.pdf

BfR-Stellungnahme: Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR): Quecksilber und Methylquecksilber in Fischen und Fischprodukten – Bewertung durch die EFSA
https://www.bfr.bund.de/cm/343/quecksilber_und_methylquecksilber_in_fishe_n_und_fischprodukten___bewertung_durch_die_efsa.pdf

4 Referenzen

Arnich, N., Sirot, V., Riviere, G., Jean, J., Noel, L., Guerin, T., and Leblanc, J. C. (2012). Dietary exposure to trace elements and health risk assessment in the 2nd French Total Diet Study. *Food Chem Toxicol* 50, 2432-2449. DOI: 10.1016/j.fct.2012.04.016.

ATSDR, (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2022). Toxicological profile for mercury: draft for public comment: April 2022, Online verfügbar unter: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.pdf>, Zugriff am 14.07.2023.

Axelrad, D. A., Bellinger, D. C., Ryan, L. M., and Woodruff, T. J. (2007). Dose–response relationship of prenatal mercury exposure and IQ: an integrative analysis of epidemiologic data. *Environ. Health Perspect.* 115, 609-615. DOI: 10.1289/ehp.9303.

Budtz-Jørgensen, E., Keiding, N., and Grandjean, P. (1999). Benchmark modeling of the Faroese methylmercury data (Department of Biostatistics, University of Copenhagen).

BVL, (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2012). Monitoring-Tabellen 2012, Bericht online verfügbar unter: https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Berichte/01_LM_Monitoring/2012_lm_monitoring_bericht.pdf?__blob=publicationFile&v=5, Zugriff am 14.07.2023.

BVL, (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2013). Monitoring-Tabellen 2013, Bericht online verfügbar unter: https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Berichte/01_LM_Monitoring/2013_lm_monitoring_bericht.pdf?__blob=publicationFile&v=5, Zugriff am 14.07.2023.

BVL, (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2014). Monitoring-Tabellen 2014, Bericht online verfügbar unter: https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Berichte/01_LM_Monitoring/2014_lm_monitoring_bericht.pdf?__blob=publicationFile&v=6, Zugriff am 14.07.2023.

BVL, (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2015). Monitoring-Tabellen 2015, Bericht online verfügbar unter:
https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Berichte/01_LM_Monitoring/2015_lm_monitoring_bericht.pdf?__blob=publicationFile&v=6, Zugriff am 14.07.2023.

BVL, (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2017). Monitoring-Tabellen 2017, Bericht online verfügbar unter:
https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Berichte/01_LM_Monitoring/2017_lm_monitoring_bericht.pdf?__blob=publicationFile&v=7, Zugriff am 14.07.2023.

BVL, (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2018). Monitoring-Tabellen 2018, Bericht online verfügbar unter:
https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/01_Lebensmittel/01_lm_mon_dokument/01_Monitoring_Berichte/2018_lm_monitoring_bericht.pdf?__blob=publicationFile&v=8, Zugriff am 14.07.2023.

BVL, (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2019). Monitoring-Tabellen 2019, Bericht online verfügbar unter:
https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Berichte/01_LM_Monitoring/2019_lm_monitoring_bericht.pdf?__blob=publicationFile&v=4, Zugriff am 14.07.2023.

BVL, (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2021). Monitoring-Tabellen 2021, Bericht online verfügbar unter:
https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/01_Lebensmittel/01_lm_mon_dokument/01_Monitoring_Berichte/2021_lm_monitoring_bericht.pdf;jsessionid=26E540E0A5A53F1497F7FE22F6FF35FF.internet971?__blob=publicationFile&v=5, Zugriff am 14.07.2023.

Davidson, P. W., Strain, J. J., Myers, G. J., Thurston, S. W., Bonham, M. P., Shamlaye, C. F., Stokes-Riner, A., Wallace, J. M., Robson, P. J., Duffy, E. M., et al. (2008). Neurodevelopmental effects of maternal nutritional status and exposure to methylmercury from eating fish during pregnancy. *Neurotoxicology* 29, 767-775. DOI: 10.1016/j.neuro.2008.06.001.

Day, J. J., Reed, M. N., and Newland, M. C. (2005). Neuromotor deficits and mercury concentrations in rats exposed to methyl mercury and fish oil. *Neurotoxicol Teratol* 27, 629-641. DOI: 10.1016/j.ntt.2005.03.011.

Debes, F., Budtz-Jorgensen, E., Weihe, P., White, R. F., and Grandjean, P. (2006). Impact of prenatal methylmercury exposure on neurobehavioral function at age 14 years. *Neurotoxicol Teratol* 28, 536-547. DOI: 10.1016/j.ntt.2006.02.005.

Debes, F., Weihe, P., and Grandjean, P. (2016). Cognitive deficits at age 22 years associated with prenatal exposure to methylmercury. *Cortex* 74, 358-369. DOI: 10.1016/j.cortex.2015.05.017.

EFSA, (European Food Safety Authority) (2012). Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA Journal* 10, 2985.

EFSA, (European Food Safety Authority) (2015). Statement on the benefits of fish/seafood consumption compared to the risks of methylmercury in fish/seafood. *EFSA journal* 13, 3982.

Ehlscheid, N., Lindtner, O., Berg, K., Blume, K., Sommerfeld, C., and Heinemeyer, G. (2014). Selten verzehrte Lebensmittel in der Risikobewertung. Ergebnisse einer Telefonbefragung in Deutschland. Paper presented at: Proceedings of the German Nutrition Society. DOI: 10.1186/s40795-022-00527-6.

FAO/WHO, (Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization) (2007). Evaluation of certain food additives and contaminants - Methyl mercury. WHO Food Additives Series 940, 269-315.

FAO/WHO, (Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization) (2011). Report of the joint FAO/WHO expert consultation on the risks and benefits of fish consumption,

FAO/WHO, (Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization) (2004). Safety evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Food Additives Series, 577-623.

Fechner, C., Hackethal, C., Höpfner, T., Dietrich, J., Bloch, D., Lindtner, O., and Sarvan, I. (2022). Results of the BfR MEAL Study: In Germany, mercury is mostly contained in fish and seafood while cadmium, lead, and nickel are present in a broad spectrum of foods. Food Chemistry: X 14, 100326. DOI: 10.1016/j.fochx.2022.100326.

Gose, M., Krems, C., Heuer, T., and Hoffmann, I. (2016). Trends in food consumption and nutrient intake in Germany between 2006 and 2012: results of the German National Nutrition Monitoring (NEMONIT). Br J Nutr 115, 1498-1507. DOI: 10.1017/S0007114516000544.

Grandjean, P., Budtz - Jørgensen, E., Steuerwald, U., Heinzow, B., Needham, L. L., Jørgensen, P. J., and Weihe, P. (2003). Attenuated growth of breast - fed children exposed to increased concentrations of methylmercury and polychlorinated biphenyls. The FASEB Journal 17, 699-701. DOI: 10.1096/fj.02-0661fje.

Grandjean, P., Weihe, P., Debes, F., Choi, A. L., and Budtz-Jørgensen, E. (2014). Neurotoxicity from prenatal and postnatal exposure to methylmercury. Neurotoxicology and teratology 43, 39-44. DOI: 10.1016/j.ntt.2014.03.004.

Grandjean, P., Weihe, P., Jørgensen, P. J., Clarkson, T. W., Cernichiari, E., and Viderø, T. (1992). Impact of maternal seafood diet on fetal exposure to mercury, selenium, and lead. Archives of Environmental Health: An International Journal 47, 185-195. DOI: 10.1080/00039896.1992.9938348.

Grandjean, P., Weihe, P., White, R. F., and Debes, F. (1998). Cognitive performance of children prenatally exposed to "safe" levels of methylmercury. Environmental research 77, 165-172. DOI: 10.1006/enrs.1997.3804.

Grandjean, P., Weihe, P., White, R. F., Debes, F., Araki, S., Yokoyama, K., Murata, K., Sorensen, N., Dahl, R., and Jorgensen, P. J. (1997). Cognitive deficit in 7-year-old children with prenatal exposure to methylmercury. Neurotoxicol Teratol 19, 417-428. DOI: 10.1016/s0892-0362(97)00097-4.

Huang, C. F., Liu, S. H., Hsu, C. J., and Lin-Shiau, S. Y. (2011). Neurotoxicological effects of low-dose methylmercury and mercuric chloride in developing offspring mice. *Toxicol Lett* 201, 196-204. DOI: 10.1016/j.toxlet.2010.12.016.

Julvez, J., Debes, F., Weihe, P., Choi, A. L., and Grandjean, P. (2010). Sensitivity of continuous performance test (CPT) at age 14 years to developmental methylmercury exposure. *Neurotoxicology and Teratology* 32, 627-632. DOI: 10.1016/j.ntt.2010.08.001.

Kolbaum, A. E., Jaeger, A., Ptok, S., Sarvan, I., Greiner, M., and Lindtner, O. (2022). Collection of occurrence data in foods – The value of the BfR MEAL study in addition to the national monitoring for dietary exposure assessment. *Food Chemistry: X* 13, 100240. DOI: 10.1016/j.fochx.2022.100240.

Krems, C., Richter, A., Götz, A., Heuer, T., Hild, A., Möseneder, J., and Brombach, C. (2006). *Methoden der Nationalen Verzehrsstudie II. Ernährungs-Umschau* 53.

Marin, S., Pardo, O., Bagueña, R., Font, G., and Yusa, V. (2017). Dietary exposure to trace elements and health risk assessment in the region of Valencia, Spain: a total diet study. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 34, 228-240. DOI: 10.1080/19440049.2016.1268273.

Mensink, Gert B. M., Haftenberger, Marjolein, Lage Barbosa, Clarissa, Brettschneider, Anna-Kristin, Lehmann, Franziska, Frank, Melanie, Heide, Karoline, Moosburger, Ramona, Patelakis, Eleni, and Perlit, Hanna (2021). *EsKiMo II - Die Ernährungsstudie als KiGGS-Modul* (Robert Koch-Institut).

MRI, (Max Rubner-Institut) (2008). *Nationale Verzehrsstudie II, Ergebnisbericht Teil 2. Die bundesweite Befragung zur Ernährung von Jugendlichen und Erwachsenen*. Karlsruhe, Max-Rubner-Institut.

Myers, G. J., Marsh, D. O., Davidson, P. W., Cox, C., Shamlaye, C. F., Tanner, M., Choi, A., Cernichiari, E., Choisy, O., and Clarkson, T. W. (1995). Main neurodevelopmental study of Seychellois children following in utero exposure to methylmercury from a maternal fish diet: outcome at six months. *Neurotoxicology* 16, 653-664.

Nowak, N., Diouf, F., Golsong, N., Höpfner, T., and Lindtner, O. (2022a). KiESEL–The Children’s Nutrition Survey to Record Food Consumption for the youngest in Germany. *BMC nutrition* 8, 1-17. DOI: 10.1186/s40795-022-00527-6.

Nowak, N., Höpfner, T., Rüdiger, T., and Lindtner, O. (2022b). *Kinder-Ernährungsstudie zur Erfassung des Lebensmittelverzehrs (KiESEL) Forschungsbericht Teil 1: Ergebnisse des Fragebogens*. BfR Wissenschaft.

NRC, (National Research Council) (2000). *Toxicological Effects of Methylmercury* (Washington, DC: The National Academies Press).

Rieder, S. R., Brunner, I., Horvat, M., Jacobs, A., and Frey, B. (2011). Accumulation of mercury and methylmercury by mushrooms and earthworms from forest soils. *Environ Pollut* 159, 2861-2869. DOI: 10.1016/j.envpol.2011.04.040.

Rothenberg, S. E., Windham-Myers, L., and Creswell, J. E. (2014). Rice methylmercury exposure and mitigation: a comprehensive review. *Environ Res* 133, 407-423. DOI: 10.1016/j.envres.2014.03.001.

- Sakamoto, M., Chan, H. M., Domingo, J. L., Kawakami, S., and Murata, K. (2012). Mercury and docosahexaenoic acid levels in maternal and cord blood in relation to segmental maternal hair mercury concentrations at parturition. *Environment international* 44, 112-117. DOI: 10.1016/j.envint.2012.02.007.
- Sarvan, I., Burgelt, M., Lindtner, O., and Greiner, M. (2017). [Dietary exposure assessment of substances in foods: The BfR MEAL study - the first German total diet study]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 60, 689-696. DOI: 10.1007/s00103-017-2566-1.
- Sarvan, I., Kolbaum, A. E., Pabel, U., Buhrke, T., Greiner, M., and Lindtner, O. (2021). Exposure assessment of methylmercury in samples of the BfR MEAL Study. *Food Chem Toxicol* 149, 112005. DOI: 10.1016/j.fct.2021.112005.
- Sirota, V., Traore, T., Guerin, T., Noel, L., Bachelot, M., Cravedi, J. P., Mazur, A., Glorennec, P., Vasseur, P., Jean, J., et al. (2018). French infant total diet study: Exposure to selected trace elements and associated health risks. *Food Chem Toxicol* 120, 625-633. DOI: 10.1016/j.fct.2018.07.062.
- Strain, J. J., Davidson, P. W., Bonham, M. P., Duffy, E. M., Stokes-Riner, A., Thurston, S. W., Wallace, J. M. W., Robson, P. J., Shamlaye, C. F., and Georger, L. A. (2008). Associations of maternal long-chain polyunsaturated fatty acids, methyl mercury, and infant development in the Seychelles Child Development Nutrition Study. *Neurotoxicology* 29, 776-782. DOI: 10.1016/j.neuro.2008.06.002.
- Tonk, E. C., de Groot, D. M., Penninks, A. H., Waalkens-Berendsen, I. D., Wolterbeek, A. P., Slob, W., Piersma, A. H., and van Loveren, H. (2010). Developmental immunotoxicity of methylmercury: the relative sensitivity of developmental and immune parameters. *Toxicol Sci* 117, 325-335. DOI: 10.1093/toxsci/kfq223.
- van Wijngaarden, E., Thurston, S. W., Myers, G. J., Harrington, D., Cory-Slechta, D. A., Strain, J. J., Watson, G. E., Zareba, G., Love, T., and Henderson, J. (2017). Methyl mercury exposure and neurodevelopmental outcomes in the Seychelles Child Development Study Main cohort at age 22 and 24 years. *Neurotoxicology and teratology* 59, 35-42. DOI: 10.1016/j.ntt.2016.10.011.
- VKM, (Norwegian Scientific Committee for Food and Environment) (2022). Benefit and risk assessment of fish in the Norwegian diet. Scientific Opinion of the Scientific Steering Committee of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment VKM Report.
- Weihe, P., and Grandjean, P. (2005). FAROE ISLANDS PROSPECTIVE COHORTS. *Epidemiology* 16, S139.
- WHO, (World Health Organization) (1990). Methylmercury (Environmental Health Criteria 101). IPCS (International Programme on Chemical Safety) 1.
- Wild, L. G., Ortega, H. G., Lopez, M., and Salvaggio, J. E. (1997). Immune system alteration in the rat after indirect exposure to methyl mercury chloride or methyl mercury sulfide. *Environmental research* 74, 34-42. DOI: 10.1006/enrs.1997.3748.

Über das BfR

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) ist eine wissenschaftlich unabhängige Einrichtung im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Es berät die Bundesregierung und die Bundesländer zu Fragen der Lebensmittel-, Chemikalien- und Produktsicherheit. Das BfR betreibt eigene Forschung zu Themen, die in engem Zusammenhang mit seinen Bewertungsaufgaben stehen.

Impressum

Herausgeber:

Bundesinstitut für Risikobewertung

Max-Dohrn-Straße 8-10

10589 Berlin

T +49 30 18412-0

F +49 30 18412-99099

bfr@bfr.bund.de

bfr.bund.de

Anstalt des öffentlichen Rechts

Vertreten durch den Präsidenten Professor Dr. Dr. Dr. h.c. Andreas Hensel

Aufsichtsbehörde: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

USt-IdNr: DE 165 893 448

V.i.S.d.P: Dr. Suzan Fiack



CC-BY-ND

BfR | Risiken erkennen –
Gesundheit schützen