

Earth System Knowledge Platform - die Wissensplattform des Forschungsbereichs Erde und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft, www.eskp.de

Schadstoffe · Wasser

TUNA-STEAK UND CO: METHYLQUECKSILBER IM FISCH

Jana Kandarr¹, Florian Wittmann²

¹ Earth System Knowledge Platform | ESKP

² Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Aueninstitut

Zuerst publiziert: 26. September 2019, 6. Jahrgang

Digitaler Objektbezeichner (DOI): <https://doi.org/10.2312/eskp.013>

Teaser

Sushi erfreut sich immer größerer Beliebtheit. Weltweit nimmt der Appetit auf Fisch zu, in den letzten 50 Jahren hat sich dessen Verzehr verdoppelt. Nicht unwesentlich ist daher die Schadstoff-Belastung von Speisefischen für den Menschen. Insbesondere Raubfische weisen hohe Konzentrationen an Methylquecksilber auf.

Keywords

Stausee, Methylquecksilber, Quecksilber, Staudamm, Auswirkungen, giftig, Auswirkung, Damm, Sedimente, Fisch, Speisefisch, Ebinghaus, Gesundheit

Weltweit sind viele Menschen nach wie vor auf Fisch als beinahe ausschließliche Eiweißquelle angewiesen. Für mehr als drei Milliarden Menschen sind Meeresfrüchte und Fisch essentieller Bestandteil ihrer Ernährung. Global gesehen verzehrt jeder Mensch im Schnitt circa 22,3 Kilo Fisch* im Jahr, Tendenz steigend (European Commission, 2018). Wie stark die einzelnen Fischarten mit Schadstoffen belastet sind, hat daher Relevanz. Weil im Wasser lebend, sind Fische auch den dort vorhandenen Schadstoffen wie Quecksilber rund um die Uhr und ein Leben lang ausgesetzt. Methylquecksilber ist eine bioverfügbare Form von Quecksilber. Es reichert sich insbesondere in Raubfischen am Ende der Nahrungskette stark an. Hierzu zählen Thunfische, Aale, Heilbutte, Seeteufel, Hechte oder auch Rotbarsche.

Woher stammt das Quecksilber in der Umwelt?

Quecksilber ist ein Metall, das sowohl auf natürlichen Wegen als auch aufgrund menschlicher Aktivitäten in die Umwelt freigesetzt wird. Es gelangt bei Vulkanausbrüchen, an Geysiren, bei Waldbränden bzw. generell durch brennende Biomasse in die Atmosphäre. Mit dem Regen aber auch über Flüsse kommt es schließlich auch ins Meer.

Darüber hinaus wird Quecksilber bei jeder Verbrennung von Kohle und anderen fossilen Energieträgern mobilisiert und gerät während der Zementproduktion und der Nicht-Eisen-Metall-Verhüttung in die Atmosphäre.

Laut Umweltbundesamt schlägt der Energiesektor mit 73 Prozent der gesamten Quecksilber-Emissionen Deutschlands zu Buche (Umweltbundesamt, 2016).

Wärme Kraftwerke und andere Verbrennungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von > 50 MW stechen dabei besonders heraus. Quecksilber wird aber auch gezielt abgebaut und genutzt. Der Kleinbergbau (Artisanal Small-Scale Gold Mining) beispielsweise verwendet es zum Teil auch heutzutage noch, um die begehrten Edelmetalle Gold und auch Silber aus dem Gestein zu lösen. Ein Großteil des dafür benötigten Quecksilbers gelangt in der Regel legal in diese Länder - typischerweise aus Ländern der Europäischen Union.

Eintrag von Quecksilber in die Umwelt



Abb. 1: Haupteintragsquellen von Quecksilber (Grafik: eskp.de, Lizenz: CC BY 4.0)

Quecksilber ist in unserer Umwelt mal mehr und mal weniger bioverfügbar - je nachdem in welcher Form es vorliegt und wo es sich im Kreislauf befindet. Seit etwa 1850 hat der Mensch den Quecksilbergehalt in der Atmosphäre und im Ozean um etwa den Faktor 3 erhöht. Bis dieses Quecksilber dem Kreislauf wieder entzogen wird - es also im tiefen Ozeansediment festgelegt wird - dauert es sehr lange. Denn nach seiner Freisetzung durchläuft Quecksilber eine Reihe komplexer Umwandlungen und Zyklen zwischen Atmosphäre, Ozean und Land.

Methylquecksilber im Meer und Raubfischen

80 Prozent des anorganischen Quecksilbers, das aus natürlichen und menschlichen Quellen in die Atmosphäre abgegeben wird, landet im Ozean. Der größte Teil des Quecksilbers

stammt aus dem atmosphärischen Niederschlag an die Meeresoberfläche. In größeren Meerestiefen, d. h. in circa 200 bis 700 Metern Tiefe, wird es dann von Bakterien, die in dieser Tiefe beispielsweise abgestorbene Algen zersetzen, in das hoch giftige und bioverfügbare Methylquecksilber umgewandelt (U.S. Geological Survey; Schartup et al., 2019). In den Küstengewässern gewinnt der Eintrag über Flüsse an Bedeutung.

Warum ist es überhaupt relevant, die Formen von Quecksilber zu unterscheiden? Kurz gesagt: Methyliertes Quecksilber ist nochmals wesentlich giftiger und wirkt insbesondere auf das Nervensystem aber auch auf das ungeborene Leben. Quecksilber (Hg^{2+}) und Methylquecksilber (MeHg^+) unterscheiden sich dadurch, dass die organische Form (Methylquecksilber) aufgrund seiner Fettlöslichkeit auch Membrangrenzen wie die Blut-Hirn-Schranke und die Blut-Plazenta-Schranke überwinden kann und so direkt auf das zentrale Nervensystem einwirkt. Ansonsten wird vor allem die Niere in Mitleidenschaft gezogen. Aber Methylquecksilber wirkt allerdings auch auf die Leber und unser Fortpflanzungs- und Entwicklungssystem.

Anreicherung in der Nahrungskette

Von den verschiedenen chemischen Formen von Quecksilber ist Methylquecksilber die mit Abstand häufigste Form in der Nahrungskette. Forschungsergebnisse konnten zeigen, dass die Quecksilberkonzentration in Raubfischen im Vergleich zum umgebenden Meerwasser um das Millionenfache ansteigen kann (Schartup et al., 2019, Watras und Bloom, 1992). Man bezeichnet dies als Bioakkumulation.

Methylquecksilber reichert sich dabei sehr schnell an (U.S. Geological Survey, 2018). Im Verdauungstrakt von Fischen zeigen sich Aufnahmezeiten von bis zu 90 Prozent (Wiener et al., 2002). Gleichzeitig werden Organismen das giftige Methylquecksilber nur sehr langsam wieder los. Gerade einmal die Hälfte der aufgenommenen Methylquecksilbermenge wurde bei Untersuchungen an Fischen nach mehr als 2 Jahren und 9 Monaten wieder ausgeschleust (Wiener et al., 2002). Für die Entgiftungsmechanismen des Körpers ist Methylquecksilber nicht erkennbar, weil es sich an Methionin bindet.

Quecksilber in unserem Körper stammt vor allem von Fischen

Der Konsum von Fisch und anderen Meeresfrüchten gilt als die wichtigste Ursache für die Quecksilberbelastung der europäischen Bevölkerung. In allen Altersgruppen ist Frischfisch der dominierende Faktor für die Methylquecksilberbelastung, gefolgt von Fischprodukten.

Der Quecksilbergehalt variiert dabei stark zwischen den verschiedenen Fischarten. Im Allgemeinen überschreitet die mittlere Nahrungsexposition nicht die tolerierbare wöchentliche Aufnahme von Methylquecksilber in allen Altersgruppen. Ungeborene Kinder stellen dabei die am stärksten gefährdete Gruppe für entwicklungsbedingte Auswirkungen der Methylquecksilberbelastung dar. Menschen, die größere Mengen Fisch zu sich nehmen,

können die Grenzwerte allerdings bis zum sechsfachen überschreiten. Beim Verzehr von Fischarten mit einem hohen Methylquecksilbergehalt können nur wenige Portionen wöchentlich gegessen werden. Für Europa empfiehlt die Europäische Kommission weniger als 1-2 Portionen pro Woche (European Commission).

Quecksilber in Speisefischen

Überblick über ausgewählte Speisefische, die Quecksilber in besonderem Maße anreichern:

Seeteufel *Lophius species*

Steinbeißer *Anarhichas lupus*

Echte Aale *Anguilla species*

Heilbutt *Hippoglossus hippoglossus*

Hecht *Esox lucius*

Zwergdorsch *Tricopterus minutus*

Rotbarsch *Sebastes marinus, S. mentella, S. viviparus*

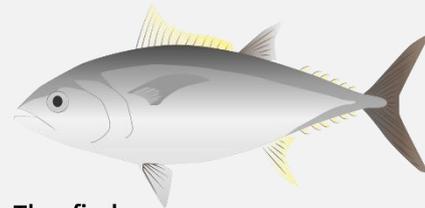
Haifische alle Arten

Stör *Acipenser species*

Schwertfisch *Xiphias gladius*

Thunfische *Thunnus species, Euthynnus species,*

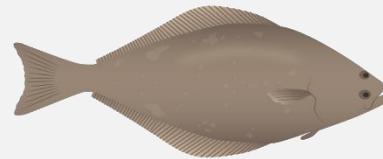
Katsuwonus pelamis



Thunfisch
Thunnus species



Hecht
Esox lucius



Heilbutt
Hippoglossus hippoglossus

Trends

Laut dem US-amerikanischen Geological Survey gibt es Belege dafür, dass der Gesamt-Quecksilbergehalt im Wasser des Nordpazifiks zwischen 1989 und 2009 um etwa 30 Prozent gestiegen ist (U.S. Geological Survey; Sunderland et al., 2009). Die Autoren der Studie führen den Anstieg auf einen Anstieg der globalen Quecksilberemissionen in die Atmosphäre, insbesondere in Asien, zurück. Noch spiegeln weder die Langzeitmessungen von Quecksilber im Niederschlag durch das Mercury-Deposition-Netzwerk im Norden der USA noch die Messungen des gesamten gasförmigen Quecksilbers in der Luft bei Mace Head in Irland, diese Entwicklungen wider (Lindberg et al., 2007).

Artspezifika, Veränderungen in der Nahrungskette und die zukünftig höheren Meerwassertemperaturen bestimmen unter anderem die Quecksilberbelastung der Fische. So ändern sich durch Überfischung die Beuteorganismen von Raubfischen, was wiederum die Methylquecksilberbelastung beeinflusst - beim Kabeljau in der Vergangenheit zum

Negativen, beim Dornhai beispielsweise positiv (Schartup et al., 2019). Je besser man demnach zurückverfolgen könnte, wovon sich die Art momentan ernährt, desto eher gäbe das Aufschluss über seine Belastung mit dem Schadstoff.

Von den Vereinigten Staaten weiß man, dass jedes Jahr mindestens 316.000 Kinder mit Quecksilberwerten im Nabelschnur-Blut geboren werden, die ausreichen, um neurologische Entwicklungsstörungen zu verursachen (Trasande et al., 2005). Es lohnt sich also, genauer hinzuschauen. Und weniger ist mehr - beim Verzehr von räuberisch lebenden Fischen gilt das ganz besonders.

Methylquecksilber in den Flüssen des Amazonasgebietes

Die Menschen in den großen Industrienationen können den wöchentlichen Fischverzehr einigermaßen bequem regulieren. Aber für die Bevölkerung im Amazonasbecken ist Fisch nach wie vor die wichtigste Proteinquelle. Dort kann das Methylquecksilber insbesondere das Nervensystem von Säuglingen und Kleinkindern schädigen, wenn deren Mütter während der Schwangerschaft belastete Fische verzehrten ([FAO](#)). Sehr viele Fische sind in bestimmten Amazonasgebieten bereits stark belastet, denn Quecksilber findet sich schon allein deshalb im Amazonasbecken in erhöhten Mengen, weil Böden und Gesteine des Einzugsgebietes von Natur aus hohe Gehalte aufweisen (Fent, 2003).

Wenn Wälder abgeholzt oder in Weiden umgewandelt werden, wird aber noch mehr Quecksilber aus den Böden ausgewaschen. Seit Ende der 1970er Jahre sind im Zuge des Goldrausches in der Amazonasregion zudem mindestens 3000 Tonnen Quecksilber in die Umwelt gelangt, geschätzt 44 Tonnen pro Jahr in Flüsse (Lacerda et al., 1998; Veiga et al., 2006). Wenn nun unzählige Stauanlagen im Amazonasgebiet in Betrieb genommen werden, schafft das Bedingungen, die die Umwandlung von Quecksilber zu seiner giftigsten chemischen Form, dem Methylquecksilber weiter begünstigt.

Methylquecksilber an Staudämmen

Die thermische Schichtung in Wasserkraftwerken befördert die Methylierung von Quecksilber. Während der Trockenzeit ist die Schichtung stärker ausgeprägt, insbesondere in tiefen Stauseen und nah an den Turbinen, wo eine gewisse Wassertiefe ständig benötigt wird. Infolgedessen ist die Sauerstoffversorgung des Tiefenwassers (Hypolimnion) auch in dieser Zeit begrenzt, was hohe Quecksilber-Methylierungsraten nach sich zieht.

Während der Regenzeit gelangt das im Bodensediment produzierte Methylquecksilber dann in das Oberflächenwasser (Epilimnion), die Konzentrationen in der Wassersäule gleichen sich an. Folglich sind planktonisch lebende, sprich im Wasser treibende Mikroorganismen, in besonderem Maße dieser Dynamik zwischen Trocken- und Regenzeit ausgesetzt.

Wie lässt sich die Methylquecksilber-Bildung an Staudämmen verringern?

Um die Umwandlung von Quecksilber in Methylquecksilber zu erschweren, sollten in Stauanlagen die Rohrturbinen durch horizontale Turbinen ersetzt werden. Horizontale Turbinen nutzen die hohen Fließgeschwindigkeiten der Flüsse aus. Sie erfordern keine großen Investitionen und auch keine Reservoirs für die Stromerzeugung. Das verhindert die thermische Schichtung und die Schichtung des Sauerstoffs in Staubecken. In der Folge mindert sich die Umwandlung von Quecksilber zu Methylquecksilber.

Von Bedeutung ist außerdem die Entfernung der Vegetation in Überschwemmungsbereichen. Dies verringert den Gehalt an organischer Substanz im Boden und damit auch die Quecksilber-Methylierungsrate in den Sedimenten. Bei bereits gebauten Wasserkraftwerken kann man die Belüftung des Bodensediments fördern. Das vermindert die Verbreitung von sulfat- und eisenreduzierenden Bakterien, die zur Bildung des besonders giftigen Methylquecksilbers benötigt werden (Mailman et al., 2006).

Fachliche Prüfung: Prof. Dr. Ralf Ebinghaus (HZG)

Referenzen

- Fent, K. (2003). *Ökotoxikologie. Umweltchemie. Toxikologie. Ökologie*. Stuttgart: Thieme.
- European Commission. (o.D.). Mercury [ec.europa.eu, Food Safety > Food > Chemical safety > Contaminants]. Aufgerufen am 09.09.2019.
- European Commission. (2018, 27. September). How much fish do we consume? First global seafood consumption footprint published [ec.europa.eu, EU Science Hub > News]. Aufgerufen am 09.09.2019.
- Lindberg, S., Bullock, R., Ebinghaus, R., Engstrom, D., Feng, X., Fitzgerald, W., Pirrone, N., Prestbo, E. & Seigneur, C. (2007). A Synthesis of Progress and Uncertainties in Attributing the Sources of Mercury in Deposition. Panel on Source Attribution of Atmospheric Mercury. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(1), 19-33. doi:10.1579/0044-7447(2007)36[19:ASOPAU]2.0.CO;2
- Mailman, M., Stepnuk, L., Cicek, N. & Bodaly, R. A. D. (2006). Strategies to lower methylmercury concentrations in hydroelectric reservoirs and lakes: A review. *Science of The Total Environment*, 368(1), 224-235. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.041
- Nicklisch, S. C. T., Bonito, L. T., Sandin, S. & Hamdoun, A. (2017). Mercury levels of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) are associated with capture location. *Environmental Pollution*, 229, 87-93. doi:10.1016/j.envpol.2017.05.070
- Pestana, I. A., Azevedo, L. S., Bastos, W. R. & Magalhães de Souza, C. M. (2019). The impact of hydroelectric dams on mercury dynamics in South America: A review. *Chemosphere*, 219, 546-556. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.12.035
- Schartup, A. T., Thackray, C. P., Qureshi, A., Dassuncao, C., Gillespie, K., Hanke, A. & Sunderland, E. M. (2019). Climate change and overfishing increase neurotoxicant in marine predators. *Nature*, 572, 648-650. doi:10.1038/s41586-019-1468-9
- Sunderland, E. M., Krabbenhoft, D. P., Moreau, J. W., Strode, S. A. & Landing, W. M. (2009). Mercury sources, distribution, and bioavailability in the North Pacific Ocean - Insights from data and models: *Global Biogeochemical Cycles*, 23(2), 1-14. doi:10.1029/2008GB003425

Trasande, L., Landrigan, P. J. & Schechter, C. (2005). Public health and economic consequences of methyl mercury toxicity to the developing brain. *Environmental Health Perspectives*, 113(5), 590-596. doi:10.1289/ehp.7743

Umweltbundesamt. (2016, 4. Mai). Häufige Fragen zu Quecksilber [umweltbundesamt.de]. Aufgerufen am 09.09.2019.

U.S. Geological Survey. (2018, 23. August). A New Source of Methylmercury Entering the Pacific Ocean [usgs.gov]. Aufgerufen am 09.09.2019.

Watras, C. J. & Bloom, N. S. (1992). Mercury and methylmercury in individual zooplankton: implications for bioaccumulation. *Limnology and Oceanography*, 37(6), 1313-1318. doi:10.4319/lo.1992.37.6.1313

Wiener, J. G., Krabbenhoft, D. P., Heinz, G. H. & Scheuhammer, A. M. (2003). Ecotoxicology of mercury. In D. J. Hoffman, B. A. Rattner, G. A. Burton & J. Cairns (Hrsg.), *Handbook of Ecotoxicology* (S. 409-463). Boca Raton: CRC Press.

Veiga, M. M., Maxson, P. A. & Hylander, L. (2006). Origin and consumption of mercury in small-scale gold mining. *Journal of Cleaner Production*, 14(3), 436-447. doi:10.1016/j.jclepro.2004.08.010

Zitiervorschlag

Kandarr, J. & Wittmann, F. (2019, 26. September). Tuna-Steak und Co: Methylquecksilber im Fisch. *Earth System Knowledge Platform* [www.eskp.de], 6. doi:10.2312/eskp.013



Text, Fotos und Grafiken soweit nicht andere Lizenzen betroffen: eskp.de | [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

eskp.de | Earth System Knowledge Platform - die Wissensplattform des Forschungsbereichs Erde und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft