



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

**„Aktuelle Problematik der
Fischkonsumempfehlung – im Hinblick auf das
Schwermetall Quecksilber und gefährdeten
Fischbeständen“**

Verfasserin

Sandra Erkner

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Steyr, im März 2011

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 474

Studienrichtung lt. Studienblatt: Ernährungswissenschaften

Betreuerin / Betreuer: Ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Rosa Lemmens

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich allen Menschen danken, die mich auf diesem Weg begleitet haben.

Großer Dank gilt Frau Prof. Rosa Lemmens für die Erlaubnis zur Durchführung dieser Arbeit sowie für ihre geduldige Betreuung und stets rasche Hilfestellung.

Bei meiner Mutter möchte ich mich für die Ermöglichung meines Studiums bedanken und dass sie immer an mich geglaubt hat.

Meinem Lebensgefährten Harald möchte ich Dank aussprechen für seine kritischen Anmerkungen, seine Geduld und stets liebevollen Unterstützung für mich.

Am Schluss möchte ich noch meinen lieben Freunden danken, die zu Diskussionen bereit waren, mir mit Rat zur Seite standen und immer ein offenes Ohr für mich hatten.

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS.....	1
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	3
TABELLENVERZEICHNIS	5
1 EINLEITUNG.....	7
2 SCHWERMETALLBELASTUNG.....	12
2.1 Allgemein	12
2.2 EU-Rechtsrahmen	13
2.2.1 RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed)	13
2.3 Analytik	15
2.3.1 Prinzip der Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)	15
2.4 Einschätzungen von Konsumenten	17
3 QUECKSILBER.....	18
3.1 Vergiftungsfälle aus der Vergangenheit.....	18
3.1.1. Der Fall Minamata	19
3.2 Chemie und Vorkommen	19
3.3 Quellen der menschlichen Aufnahme	24
3.4 Bioverfügbarkeit und beeinflussende Faktoren.....	29
3.5 Quecksilber-Toxikokinetik	37
3.6 Toxikologie.....	43
3.6.1 Immunsystem und Nieren	44
3.6.2 Kardiovaskuläre Toxizität	46
3.6.3 Kanzerogenität	47
3.6.4 Schilddrüse	48
3.6.5 Fruchtbarkeit	48

3.6.6	Nervensystem	49
3.6.7	Feersche Krankheit (Akrodynie).....	52
3.7	Therapie	54
3.8	Antagonisten.....	56
3.9	Grenzwerte	59
3.10	Analytik	61
3.11	Gehalte in ausgewählten Beispielen.....	64
3.12	Risikogruppen.....	72
3.13	Empfehlungen.....	77
3.14	2 Methoden zur Elimination von Quecksilber aus dem Wasser	79
3.14.1	Phytoremediation	80
3.14.2	Ionenaustauschharze	81
4	AKTUELLE PROBLEMATIK AUS ÖKOLOGISCHER SICHT	82
4.1	Nachhaltigkeit und Gütesiegel	84
4.1.1	Marine Stewardship Council (MSC)	93
4.2	Aquakultur – Risiko oder Chance?	96
4.3	Illegale Fischerei und Kontrollmaßnahmen.....	101
5	SCHLUSSBETRACHTUNG	104
6	ZUSAMMENFASSUNG	108
7	ABSTRACT	109
8	LITERATURVERZEICHNIS	110
9	ANHANG.....	116

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Beitrag von Fisch zur Versorgung mit tierischem Eiweiß (Durchschnitt 2005-2007) (FAO, 2010).....	7
Abb. 2: Quellen von Umweltchemikalien am Beispiel aquatischer Ökosysteme (Fent, 2003).....	12
Abb. 3: Verteilung der Quecksilberfrachten auf die wichtigsten Konsumgüter, 2005 (Berechnungen der TU-Wien) (Reisinger et al., 2009).....	23
Abb. 4: Quecksilberfrachten in die Abfallwirtschaft und zugehörige Güter, 2007 (Berechnungen der TU-Wien, Umweltbundesamt) (Reisinger et al., 2009).....	23
Abb. 5: Geochemischer Kreislauf von Quecksilber-Verbindungen (Fent, 2003).....	31
Abb. 6: Modell eines Säugetier-Metallothioneins (Fuhrmann, 2006).....	42
Abb. 7: Versorgung mit Speisefisch: Pro Kopf Versorgung (Durchschnitt 2005- 2007) (FAO, 2010).....	83
Abb. 8: Mariner- und Inlandfischfang: Die Top 10 Erzeugerländer 2008 (FAO, 2010).....	84
Abb. 9: Weltweite Fangmengen und Aquakulturproduktion (FAO, 2010).....	86
Abb. 10: Fischfangproduktion: marine Hauptfanggebiete 2008 (FAO, 2010).....	87
Abb. 11: Marine Fischfangproduktion: Top 10 der Fischarten 2008 (FAO, 2010).....	88
Abb. 12: Verwendungsweise von Fischereierzeugnissen 1962-2008 (FAO, 2010).....	88
Abb. 13: Nachhaltigkeit in der Fischverarbeitung (Oehlenschläger, 2010b).....	90
Abb. 14: Übersicht von Produkten und Nebenprodukten einer ganzheitlichen Fisch-Nutzung (Blanco et al., 2007).....	92
Abb. 15: Trends von weltweiten Aquakulturerzeugnissen: Hauptspezies (FAO, 2010)	98

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Gesamtzahl der durchgeführten Untersuchungen und Anzahl positiver Proben nach Substanzgruppe (Elmadfa et al., 2009).....	14
Tab. 2: Geschätzte menschliche Durchschnittsaufnahmen und Retention von Quecksilber (nach Form) für beruflich nicht exponierte Personen (Holmes et al., 2009).....	25
Tab. 3: Faktoren, welche die Ökotoxizität beeinflussen (Fent, 2003).....	29
Tab. 4: Für die Bioverfügbarkeit wichtige Umweltfaktoren und ihre Einflussstärke (Fent, 2003).....	30
Tab. 5: Überblick über Toxikokinetik und Toxizitätsprofile im menschlichen Körper für die verschiedenen Formen von Quecksilber (Holmes et al., 2009).....	53
Tab. 6 (Auszug): Toxische Spurenelemente und ihre Antagonisten in Lebensmitteln (Lobner, 2009).....	56
Tab. 7a (Auszug): Gehalt an ω -3-Fettsäuren (EPA + DHA), Selen und Quecksilber in häufig konsumiertem Fisch, Fleisch und anderen Lebensmitteln (Widhalm et al., 2007).....	66
Tab. 7b (Auszug): Gehalt an ω -3-Fettsäuren (EPA + DHA), Selen und Quecksilber in häufig konsumiertem Fisch, Fleisch und anderen Lebensmitteln (Widhalm et al., 2007).....	66
Tab. 7c (Auszug): Gehalt an ω -3-Fettsäuren (EPA + DHA), Selen und Quecksilber in häufig konsumiertem Fisch, Fleisch und anderen Lebensmitteln (Widhalm et al., 2007).....	67
Tab. 8: Mittlerer Quecksilbergehalt von handelsüblichen Fischen in den österreichischen Bundesländern Wien, Burgenland und Niederösterreich (Widhalm et al., 2007).....	69
Tab. 9 (Auszug): Durchschnittswerte für Blei, Cadmium und Quecksilber (mg/kg Feuchtgewicht) nach Spezies, N (Probenvolumen) (SUPPIN et al., 2005)...	70
Tab. 10: Weltweite Fischerei und Aquakulturproduktion sowie Verwendung (FAO, 2010).....	86
Tab. 11: Top 15 Aquakulturerzeuger nach Menge und Wachstum, 2008 (FAO, 2010).....	98

1 EINLEITUNG

Wasser bedeckt zwei Drittel unseres Planeten. Meere und Ozeane bilden den größten zusammenhängenden Lebensraum der Erde. Somit stellen Meerestiere eine der umfangreichsten biologischen Ressourcen der Welt dar. Etwa 100 Millionen Tonnen Fisch werden pro Jahr aus dem Meer gefangen. Diese Tatsachen lassen erkennen, dass Fisch zu den wichtigsten Nahrungsmitteln der gesamten Weltbevölkerung zählt (aidInfodienst., 2009) und als Hauptproteinquelle für viele Populationen weltweit essentiell ist (Canuel et al., 2006).

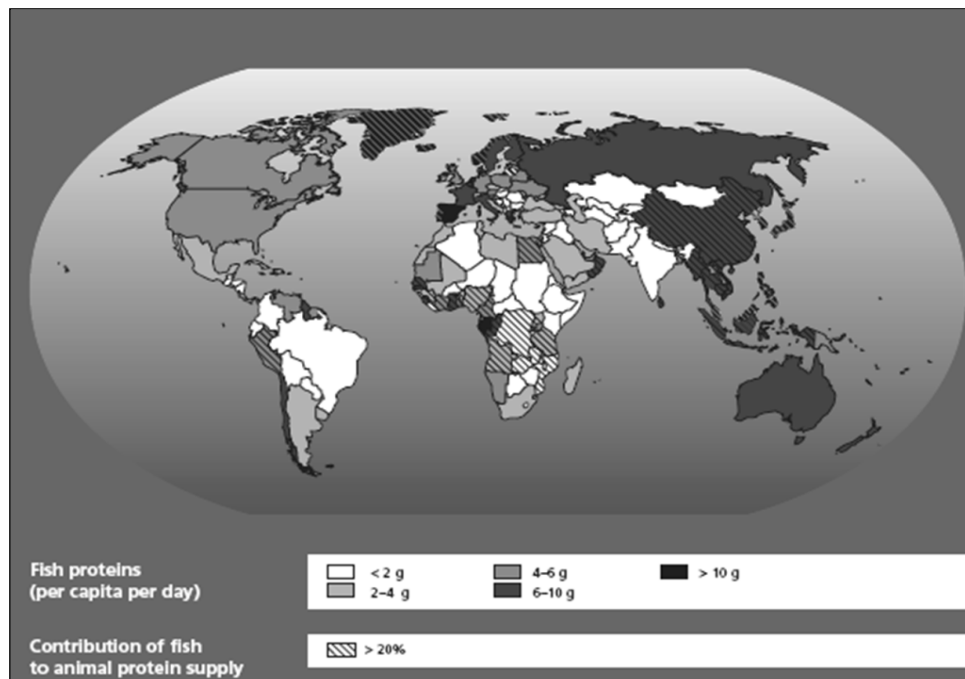


Abb. 1: Beitrag von Fisch zur Versorgung mit tierischem Eiweiß (Durchschnitt 2005-2007) (FAO, 2010).

Aus ernährungsphysiologischer Sicht liefert Fisch dem Menschen eine Reihe wichtiger Nährstoffe. Die Fischempfehlung von anerkannten Ernährungsgesellschaften, wie der Deutschen Gesellschaft für Ernährung, lautet 1-2 mal pro Woche Fisch, optimaler Weise 80-150g fettarmen Seefisch (z.B. Scholle, Kabeljau, Seelachs) und 70g fettreichen Seefisch (z.B. Lachs, Thunfisch, Hering). Fisch enthält hochwertiges als auch leicht verdauliches

Protein und trägt besonders zur Deckung der ernährungsphysiologisch wichtigen, essentiellen Nährstoffe Jod, Selen, Vitamin A sowie Vitamin D bei (Elmadfa et al., 2009). Weiters enthält Fisch nennenswerte Gehalte an Vitamin B12 und Taurin (Oehlenschläger, 2010a).

Dies ist von besonderer Bedeutung, da Jod und Vitamin A gemeinsam mit Eisen zu dem weltweit größten Problem hinsichtlich Mangelversorgung zählen. Ein Vitamin A-Mangel kann zu verminderter Infektabwehr, Immunkompetenz und Fortpflanzungsfähigkeit führen und bei anhaltendem Mangel Erblindung zur Folge haben (Elmadfa and Leitzmann, 2004).

Jod ist Bestandteil der Schilddrüsenhormone und spielt eine große Rolle bei der kognitiven Entwicklung von Kindern und der gesamten Leistungsfähigkeit. Durch einen Mangel wird beides beeinflusst, und es können klinische Symptome wie Kropf (Struma) und schwere Entwicklungsstörungen (Kretinismus) auftreten.

Vitamin D ist ausschlaggebend für einen funktionierenden Knochenstoffwechsel (Elmadfa and Leitzmann, 2004).

Ein Vergleich der Ernährungssituation der österreichischen Bevölkerung mit den Verzehrsempfehlungen laut den D-A-C-H-Referenzwerten im Hinblick auf Vitamin D war nicht zufriedenstellend. Die Vitamin D Zufuhr könnte durch Fischkonsum verbessert werden (Elmadfa et al., 2009).

Selen spielt als Bestandteil der Glutathion-Peroxidase, einem Enzym mit Schutzwirkung vor oxidativen Schädigungen, eine entscheidende Rolle. Gleichzeitig trägt es zur Entgiftung von Schwermetallen bei und stimuliert die humorale und zelluläre Immunität. Ein Mangel kann zu Lipidperoxidation, Hämolyse (Zerstörung der Erythrozyten*) und verminderter Zellimmunität führen (Elmadfa und Leitzmann, 2004).

Fisch, insbesondere fettreiche Fischarten, weisen außerdem einen hohen Gehalt an langkettigen, mehrfach ungesättigten -3-Fettsäuren wie

Eicosapentaensäure (EPA) und Docosahexaensäure (DHA) auf. Die günstige Wirkung dieser Fettsäuren auf die Gesundheit des Herzens und der Gefäße wurde bereits in mehreren Studien dokumentiert (Widhalm et al., 2007).

So zeigt ein Überblick im Journal „Current Atherosclerosis Reports“ aus dem Jahr 2010 die Bedeutung von ω -3 Fettsäuren für die primäre als auch sekundäre Prävention von kardiovaskulären Erkrankungen auf (Roth and Harris, 2010).

Weitere Untersuchungen geben Hinweise auf die wichtige Funktion der DHA in der Neuroentwicklung während der Schwangerschaft und der Kindheit (Widhalm et al., 2007, Mozaffarian and Rimm, 2006).

Auch in der Therapie von entzündlichen Erkrankungen wie z.B. chronischer Polyarthrititis können gute Therapieerfolge durch Verwendung von Fischölen erzielt werden (Adam, 2009). Außerdem wird eine mögliche Risikosenkung der Alzheimer-Krankheit durch Fischkonsum diskutiert (Oehlenschläger, 2010).

Weltweit hat der Fischverzehr in den letzten Jahren stark zugenommen (FAO, 2011), und auch in Österreich konnte ein gesteigerter Fischkonsum beobachtet werden. Diese Steigerung wird durch zahlreiche Faktoren - z.B. Trends wie der „Asien-Welle“ in Verbindung mit zunehmendem Konsum von Sushi, einer japanischen Spezialität aus rohem Fisch, Meeresfrüchten, Reis, Gemüse oder Ei – beeinflusst (Elmadfa et al., 2009).

Trotz dieser Entwicklung liegt der Fischverzehr in Österreich immer noch unter den gewünschten Empfehlungen mit einer Verbrauchsmenge von etwa einer Fischmahlzeit (150g) pro Woche. Hinsichtlich des Lebensmittelkonsums spielt sicher auch die persönliche Einschätzung eines möglichen gesundheitlichen Risikos eine Rolle. Dieses wird aber aus Sicht des Konsumenten anders wahrgenommen als aus Sicht der Wissenschaft (Elmadfa et al., 2009).

Als Ursachen für die Verunsicherung des Konsumenten sind Lebensmittelskandale, Umweltbelastung, ungenügende Informationen oder

auch eine Uneinigkeit der Experten zu nennen. Besonders die mediale Berichterstattung, die ganz gezielt soziale und emotionale Komponenten mit einfließen lässt, kann zu einer falschen Einschätzung des tatsächlichen Risikos führen (Elmadfa et al., 2009).

Auch Schwermetalle wie Quecksilber, Blei und Cadmium werden vom Konsumenten als mögliche Gefahrenquelle eingestuft (Böl, 2010). Folglich treten immer wieder Konflikte hinsichtlich der Risiko-Nutzen-Abwägung beim Fischkonsum auf (Burger et al., 2005) und führen zur Verunsicherung beim Konsumenten (Widhalm et al., 2007).

Quecksilber (Hg) ist ein weit verbreiteter und persistierender Schadstoff in der Umwelt. Es gehört zu den Metallen mit der höchsten Biokonzentration in der menschlichen Nahrungskette. Unter allen Quecksilberformen stellt Methylquecksilber die Hauptform des im Fisch analysierten Quecksilbers dar. Methylquecksilber trägt wesentlich zur Umweltverschmutzung und Gesundheitsgefährdung bei. Gründe dafür sind die leichte Permeabilität durch biologische Membrane, die effiziente Bioakkumulation, hohe Stabilität und eine nur langsame Entfernung aus dem Gewebe (Cabañero et al., 2007).

Schwermetallvergiftungen erregten in der Vergangenheit immer wieder weltweite Aufmerksamkeit. Zu einem der schwersten Vorfälle zählte die Umweltverschmutzung durch Quecksilber in den 1950er Jahren in der Minamata-Bucht in Japan. Quecksilberhaltige Industrieabwässer gelangten in umliegende Flüsse sowie Küstengewässer und verseuchten Fische und Schalentiere. Durch Konsum der verseuchten Fische kam es in Folge bei der dort lebenden Bevölkerung zu schweren Vergiftungserscheinungen mit über 1000 Todesfällen (Harada, 1995).

Im Amazonasbecken konnte ebenfalls ein Zusammenhang mit dem Konsum von quecksilberkontaminiertem Fisch und neurologisch bedingten Veränderungen bei der lokalen Bevölkerung nachgewiesen werden (Gochfeld, 2003).

Eine negative Berichterstattung über Lebensmittelskandale, Meeresverschmutzung, Arzneimittelrückstände und Überfischung führen zu Verunsicherung und Beeinflussung des Konsumenten beim Fischkauf. Deshalb ist es von großer Bedeutung - neutrale, unabhängige und wissenschaftlich fundierte Informationen an den Konsumenten weiterzugeben (Oehlenschläger, 2010).

Ziel dieser Arbeit ist, eine aktuelle Risikoeinschätzung bezüglich der Schwermetallbelastung durch Quecksilber im Fisch vorzunehmen. Außerdem werden relevante Fakten zum Fischkonsum aus ökologischer Sicht kurz erwähnt.

2 SCHWERMETALLBELASTUNG

2.1 Allgemein

Schwermetalle zählen zu den Umweltkontaminanten und sind Stoffe, die unbeabsichtigt auf Lebensmittel gelangen und auch teilweise in diese übergehen. Sie wandern aus der Umwelt (über Luft, Boden oder Niederschlag) in die Nahrungskette. Eine Verunreinigung mit Umweltkontaminanten kann nie vollständig verhindert werden, da sie sowohl natürlich in der Umwelt vorkommen als auch durch industrielle Prozesse in der Vergangenheit eingetragen wurden. Durch eine Verminderung bzw. Verhinderung von gegenwärtigen und zukünftigen industriellen Einträgen, kann die Kontamination reduziert werden. Um Verbraucher vor unerwünschten Kontaminanten zu schützen, wurden nationale und internationale Regelungen zum Umgang mit Lebensmitteln festgelegt. Die Verordnung (EWG) Nr. 315/93 besagt, dass Lebensmittel, die Kontaminanten in nicht vertretbaren Mengen enthalten, auch nicht in den Verkehr gebracht werden dürfen (Vohr, 2010).

Folgende Abbildung zeigt die unterschiedlichen Wege, wodurch ökotoxikologisch bedeutende Chemikalien in die Umwelt gelangen können.

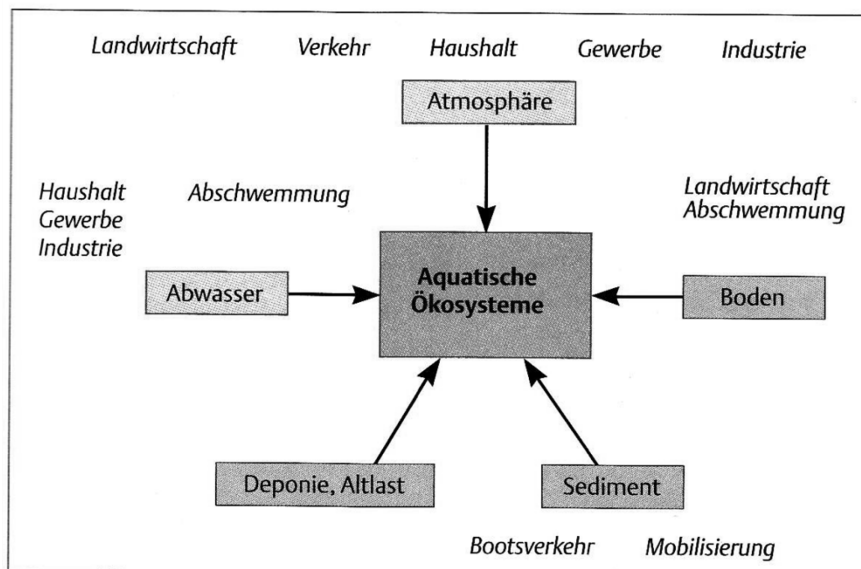


Abb. 2: Quellen von Umweltchemikalien am Beispiel aquatischer Ökosysteme (Fent, 2003).

2.2 EU-Rechtsrahmen

Zunächst sind in der Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 der Kommission der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) die Höchstgehalte für Metalle wie Blei, Cadmium, Quecksilber und anorganisches Zinn in Lebensmitteln festgelegt. Die Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 der Kommission regelt weiter Probenahmeverfahren und Analysemethoden für die amtliche Kontrolle der Höchstgehalte der genannten Metalle. Für die Überwachung der Rückstände von Metallen in Lebensmitteln und tierischen Erzeugnissen, wurde die Richtlinie 96/23/EG erlassen (EFSA, 2006).

2.2.1 RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed)

Bezüglich der Lebensmittelsicherheit spielt das europäische Schnellwarnsystem RASFF eine wichtige Rolle. Es dient dem raschen Informationsaustausch über getroffene Maßnahmen bezüglich eines ernsthaften Risikos in Futter- oder Lebensmitteln. Auch Österreich ist als EU-Mitgliedstaat in dieses System eingebunden. Wird ein Risiko für den Konsumenten identifiziert, ist dieses sofort der Europäischen Kommission zu melden. Sie wiederum informiert über das RASFF alle in das System eingebundene Staaten – die Mitgliedstaaten der EG (Europäische Gemeinschaft) und EFTA (European Free Trade Association, Europäische Freihandelsassoziation) sowie die Europäische Lebensmittelsicherheits-Behörde (European Food Safety Authority, EFSA).

Indirekt sind auch Drittstaaten, bedingt durch deren Importe in den Europäischen Raum bzw. durch Exporte aus diesem in deren Staatsgebiet, durch Meldungen im RASFF-System mit eingebunden (Elmadfa et al., 2009).

Neben der Einzelerfassung von Meldungen wird auch eine statistische Auswertung von RASFF-Meldungen durchgeführt, die dann anhand regelmäßiger Berichte und Risikokommunikation über das Internet veröffentlicht werden. Gleichzeitig erlauben diese Erfassungen eine gute Einschätzung der aufgetretenen Risiken. EU-weit wurden in den Jahren 2004 bis 2007, neben

pathogenen Mikroorganismen und Mykotoxinen, die Schwermetalle als die am häufigsten vorkommenden Gefahren identifiziert und fanden sich vor allem in Fischprodukten (Elmadfa et al., 2009).

Folgende Tabelle zeigt die Gesamtzahl der durchgeführten Untersuchungen und Anzahl positiver Proben nach Substanzgruppen (Jahre 2003-2007).

Tab. 1: Gesamtzahl der durchgeführten Untersuchungen und Anzahl positiver Proben nach Substanzgruppe (Elmadfa et al., 2009).

Substanzgruppe	Gesamtzahl der untersuchten Proben	Anzahl positiver Proben	Anteil	Konfidenzintervall
Gruppe A	Stoffe mit anaboler Wirkung und nicht zugelassene Stoffe			
	13.277	10	0,08%	0,04-0,1%
Gruppe B	Tierarzneimittel und Kontaminanten			
	27.220	255	0,9%	0,8-1,1%
Gruppe B1	Stoffe mit antibakterieller Wirkung, einschl. Sulfonamide			
	14.528	19	0,1%	0,1-0,2%
Gruppe B2	Sonstige Tierarzneimittel			
	6.741	56	0,8%	0,6-1,1%
Gruppe B3	Andere Stoffe und Umweltkontaminanten			
	5.951	180	3%	2,6-3,5%

Gruppe B3 (Andere Stoffe und Umweltkontaminanten): von insgesamt 5.951 Proben wurden in 180 Proben Rückstände gefunden. Diese verteilten sich wie folgt: Organische Chlorverbindungen (1), Schwermetalle (156), Mykotoxine (1) und Malachitgrün bzw. Leukomalachitgrün (22).

Insgesamt stellt die Rückstandssituation der Jahre 2003-2007 keine unmittelbare Gesundheitsgefährdung für den Konsumenten dar. Lebensmittel tierischer Herkunft können als gering belastet eingestuft werden (Elmadfa et al., 2009).

2.3 Analytik

Zur Bestimmung verschiedener Schwermetalle (z.B. Blei, Quecksilber, Zink, Cadmium, Arsen) sowie von Erdalkalien eignet sich die Atomabsorptionsspektrometrie (Matissek et al., 2010).

2.3.1 Prinzip der Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)

Kurz gefasst wird die Resonanz-Absorption von Strahlungsenergie (Lichtenergie) durch Atome gemessen. Erste Untersuchungen gab es schon Anfang des 18. Jahrhunderts wobei festgestellt wurde, dass die ursprüngliche Bestrahlungsstärke in drei Teile zerfällt – reflektierte, durchgelassene und absorbierte Strahlung.

Mitte des 19. Jahrhunderts wurde das Prinzip der Atomabsorption von Kirchhoff und Bunsen erkannt und der Zusammenhang zwischen Absorption und Emission in einem allgemeingültigen Gesetz von Kirchhoff formuliert. Dieses lautet: „Die Absorption der Atome findet auf derselben Wellenlänge statt, auf der diese Atome auch Strahlung/Licht emittieren“ (Matissek et al., 2010).

Planck stellte danach das Gesetz der quantenhaften Emission und Absorption auf. Das Gesetz besagt, dass jedes Atom nur in bestimmten Energiezuständen existenzfähig ist, und Übergänge zwischen den einzelnen Energiezuständen jeweils mit der Aufnahme und Abgabe einer genau definierten Energiemenge verbunden sind.

„Unter Atomabsorption wird demnach nichts anderes als ein Übergang von einem niedrigen Energiezustand A in einen höheren Energiezustand B durch Aufnahme der für den Übergang erforderlichen Energie in Form von Strahlungs-/Lichtquanten $h\nu$ verstanden:

$$e = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

-
- h Plancksches Wirkungsquantum
 - c Lichtgeschwindigkeit
 - ν Frequenz
 - λ Wellenlänge“ (Matissek et al., 2010).

Werden also Atome thermisch oder elektrisch angeregt, so senden diese die aufgenommene Energie in Form des Emissionsspektrums aus und wenn die Anregung durch Strahlungsenergie erfolgt, so nehmen die Atome nur genau definierte Energiebeträge (d.h. also Strahlung/Licht von einer bestimmten Frequenz) auf. Auf diesem Weg lässt sich das Absorptionsspektrum ablesen. Die auf diese Weise aufgenommene Energie wird auch in Form des Emissions- bzw. Fluoreszenzspektrums wieder abgegeben. Die Atomabsorption kann zur quantitativen Analyse verwendet werden, da sie dem Lambert-Beerschen Gesetz folgt. Nachdem sich die untersuchten Atome vornehmlich im Grundzustand befinden, ist diese Methode empfindlicher als die Flammenphotometrie (Matissek et al., 2010).

Die wesentlichen Komponenten eines AAS-Gerätes sind zunächst eine Strahlungsquelle, meist in Form einer Hohlkathodenlampe, die auch das Spektrum des zu untersuchenden Elementes aussendet. Weiters eine Absorptionszelle – dort werden aus der zu untersuchenden Probe durch thermische Dissoziation Atome gebildet. Im Monochromator findet die spektrale Zerlegung der Strahlung statt und durch einen Austrittsspalt wird die Resonanzlinie ausgesondert.

Am Ende befindet sich ein Empfänger, welcher die Strahlungsintensität misst, gefolgt von einem Verstärker und einem Anzeigegerät. Somit ist die Ablesung der Absorptionswerte möglich. Die endgültige Auswertung erfolgt durch Messung der Schwächung von der Strahlungsintensität bedingt durch die Resonanzabsorption. Diese wird dann auf einen Standard (Referenz) bezogen (Relativmethode) und mittels einer Kalibrierkurve ausgewertet (Matissek et al., 2010).

Die Analysemethoden werden nochmals in Kapitel 3.10. Analytik behandelt.

2.4 Einschätzungen von Konsumenten

Wie bereits erwähnt, spielen auch Medien bei der Risikobewertung durch den Konsumenten eine entscheidende Rolle. Über 90% der Informationen werden aus Fernsehen, Tageszeitungen und dem Internet bezogen (Böl, 2010).

Dabei entscheiden Menschen selten rational. Die Risikoeinschätzung erfolgt eher danach, wie gut das Risiko selbst kontrolliert und beeinflusst werden kann, wie die persönliche Risiken-Nutzen-Bilanz aussieht, oder wie erschreckend ein Risiko in den Medien dargestellt wird. Eine entsprechend negative Darstellung von Lebensmittelskandalen kann sehr schnell zu massiver Verunsicherung, Änderung von bisherigen Essgewohnheiten und Kaufverweigerung des Konsumenten führen.

Es kann somit zu einer Abwendung von der Lebensmittelgruppe Fisch kommen, wenn auch nur geringe Mengen Schadstoffe oder Mikroorganismen nachgewiesen werden und der Verbraucher durch Medien zusätzlich verunsichert wird. Der Konsument wird somit möglicherweise auf andere Lebensmittelgruppen ausweichen und z.B. verstärkt dunkle Fleischsorten verzehren, obwohl bei dieser Lebensmittelgruppe eine Reduzierung erwünscht ist. Die Risikokommunikation muss daher von allen Seiten mit entsprechender Transparenz und Bedacht erfolgen (Böl, 2010).

Für Verbraucher gehört zur Lebensmittelqualität eindeutig auch die Lebensmittelsicherheit. Sie wollen sich darauf verlassen können, beim Essen keinen Schaden zu nehmen und achten auf Qualität, Frische und Geschmack. Auch Zusammensetzung der Lebensmittel und Prozesseigenschaften werden immer wichtiger. Gesundheitliche Aspekte sind ebenso von Bedeutung wie der Umwelt- und Tierschutz oder fairer Handel. Laut einer Verbraucherbefragung aus dem Jahr 2008 waren den Befragten die Kennzeichnung und Kontrolle von Lebensmitteln besonders wichtig. Auch die Herkunft von Lebensmitteln wird vom Konsument beim Einkauf berücksichtigt (Billen, 2010).

Bei einer Befragung im Auftrag des Bundesverbraucherministeriums stellte sich heraus, dass zwei von drei Verbrauchern immer oder meistens beim Lebensmitteleinkauf auf die regionale Herkunft achten. Auf der anderen Seite ergab eine aktuelle Studie des Rheingold-Instituts im Auftrag von Lebensmittelwirtschaft und Handel, dass die Lebensmittelskandale der letzten Jahre zu einer Beeinflussung der Einstellungen und dem Verhalten von Verbrauchern geführt haben. Bei 61% der Befragten kam es zu einer Änderung des Einkaufsverhaltens. Somit zeigen sich insgesamt ein Vertrauensverlust und eine Zukunftsskepsis bei den Verbrauchern (Billen, 2010).

Mögliche gesundheitliche Risiken müssen daher immer entsprechend erforscht, kritisch und unabhängig bewertet, sowie verständlich kommuniziert werden (Böl, 2010).

3 QUECKSILBER

3.1 Vergiftungsfälle aus der Vergangenheit

Erste Methylquecksilberverbindungen wurden in einem Chemielabor in London im Jahre 1860 synthetisiert. Dabei starben zwei Laboranten infolge einer Methylquecksilbervergiftung. Dieses Ereignis führte zunächst zum Stillstand an Versuchen mit Quecksilberverbindungen (Clarkson, 2002).

Erst im frühen 20. Jahrhundert wurde die ausgezeichnete antimykotische Wirksamkeit von kurzkettigen Alkylquecksilberverbindungen entdeckt, was wiederum zum großzügigen Einsatz als Antipilzmittel für Saatkörner führte. Darauf folgten immer wieder schwere Vergiftungen mit Alkylquecksilberverbindungen, der schwerwiegendste Fall ereignete sich im ländlichen Irak im Winter von 1971-1972, wobei von rund 40.000 Vergiftungsfällen berichtet wurde. Ursache dieser tragischen Kontaminationen war der Gebrauch von mit Alkylquecksilber behandelten Saatkörnern. Die ländliche Bevölkerung erkannte die Gefahrenhinweise nicht und verwendete die

Saatkörner für selbstgebackenes Brot. Auch in Schweden ereignete sich eine solche Vergiftung durch Saatkörner im Jahre 1950. Parallel dazu kam es zur weltweit größten Verseuchung mit Methylquecksilber durch Fischverzehr aus der Minamata-Bucht in Japan (Clarkson, 2002).

3.1.1. Der Fall Minamata

Die Methylquecksilberintoxikation wurde durch eine Massenvergiftung in der japanischen Minamata-Bucht zwischen den Jahren 1950 und 1960 entdeckt und in Folge als Minamata-Erkrankung (Minamata disease) bekannt.

Die in der Meeresbucht angesiedelte Fabrik hatte sich auf die Herstellung von Acetaldehyd konzentriert und jahrelang die dabei anfallenden, quecksilberverseuchten Abwässer in die Bucht eingeleitet (Gochfeld, 2003).

Daraufhin kam es zu einer Anreicherung von Methylquecksilber (MeHg) in Fischen und durch selbigen Konsum zu schweren Vergiftungen von Hunderten Fischern und deren Familien durch Methylquecksilber.

Diese extrem hohen Aufnahmen verursachten schwere neurologische Erkrankungen bei Erwachsenen und eine dramatische Manifestation bei Säuglingen von Müttern mit hoher Quecksilberexposition. Viele Neugeborene kamen mit schweren zerebralen Lähmungen, tiefgreifenden mentalen Retardierungen und/oder blind zur Welt. Erst nach dem Jahr 1990 wurde die Bucht wieder als ausreichend sicher erklärt und eine Wiederaufnahme des Fischens erlaubt (Gochfeld, 2003).

Von den 2.252 Patienten, die offiziell an der sogenannten Minamata-Erkrankung litten, starben letztendlich 1.043 Patienten (Harada, 1995).

3.2 Chemie und Vorkommen

Quecksilber (Hg) wird im englischen Sprachgebrauch nach dem schnellen und beweglichen römischen Götterboten Merkur (engl.: mercury) bezeichnet - die griechische Übersetzung lautet „wässriges Silber“ (hydrargyros) (Biesalski et al., 2010).

Quecksilber ist ein sehr reaktives (Widhalm et al., 2007), natürlich vorkommendes Schwermetall (Holmes et al., 2009). Es ist silbrig, flüssig bei Raumtemperatur und besitzt keine essentielle biologische Funktion (Gochfeld, 2003). Quecksilber wird durch Naturphänomene wie Vulkanausbrüche oder Erosionen aus Mineralvorkommen in die Umwelt freigesetzt.

Der größere Teil wird jedoch durch menschliche Aktivitäten wie Bergbau, Metall-Verhüttung, Steinkohle-Produktion, Kohlekraftwerke, Papier- und Zellstoffproduktion, Wohn-Heizsysteme, Abfallsysteme, Müllverbrennungsanlagen, chemische Synthese und chemischen Gebrauch in Umlauf gebracht (Holmes et al., 2009).

Quecksilber kommt in der Umwelt in verschiedenen Formen vor. Dazu gehört elementares Quecksilber (Hg^0), anorganisches Quecksilber (Hg^+) und Quecksilbersalze (Hg^{2+}) sowie organische Verbindungen (z.B. Methyl-, Ethyl- und Phenylquecksilber). Jede Form besitzt unterschiedliche physikalisch-chemische Eigenschaften und Toxizitätsprofile. Nach Eintritt in die Umwelt sind die verschiedenen Quecksilberformen komplexen, gegenseitigen Umwandlungen ausgesetzt. Vorwiegend erfolgen die Umwandlungen durch Oxidationsreduktionen und bakteriell bedingten Methylierungs- und Demethylierungsprozessen. Diese Prozesse werden auch als „Quecksilber-Kreislauf“ bezeichnet.

Die einzig bekannte, längerfristige Absenkung von Quecksilber aus der Biosphäre ist die Ablagerung in Tiefseesedimenten (Holmes et al., 2009).

Die mobilisierte und anschließend in die Biosphäre entlassene Quecksilbermenge hat seit dem Industriezeitalter zugenommen. Den größten Anteil in der Atmosphäre hat elementarer Quecksilberdampf, welcher dort bis zu einem Jahr zirkulieren kann und demnach über sehr weite Strecken transportiert und verteilt wird.

Das meiste Quecksilber in Wasser, Erde, Sedimenten oder Pflanzen und Tieren kommt als anorganisches Quecksilbersalz und als organische Quecksilberform (z.B. Methylquecksilber) vor. Anorganisches Quecksilber, entweder gebunden an Luftpartikel oder gasförmig, wird leicht aus der Atmosphäre durch Ausfällung

oder auch durch trockene Ablagerung entfernt. Die Nassablagerung ist jedoch der Hauptmechanismus für den Quecksilbertransport aus der Atmosphäre in Oberflächengewässer und auf Landoberflächen. Nach der Ablagerung wird Quecksilber wieder, entweder als Gas oder an Partikel gebunden, in die Atmosphäre zurück emittiert, um woanders erneut abgelagert zu werden (USEPA, 1997).

Während dieses Kreislaufs zwischen Atmosphäre, Land und Wasser unterliegt Quecksilber einer Reihe von komplexen chemischen und physikalischen Umwandlungen. Viele davon sind bis heute noch nicht vollständig geklärt. Am effizientesten akkumuliert Quecksilber in der aquatischen Nahrungskette und somit enthalten räuberische Organismen, die sich an der Spitze der Nahrungskette befinden, generell höhere Quecksilberkonzentrationen (USEPA, 1997).

Fisch zählt bezüglich den organischen Quecksilberformen, insbesondere bei Methylquecksilber, als die Hauptaufnahmequelle für den Menschen (Holmes et al., 2009, Gochfeld, 2003, Burger et al., 2005). Alle Organo-Quecksilberformen zeigen ein hohes Bioakkumulationspotential, und besonders hohe Gehalte finden sich in Raubfischen. Methylquecksilber ist die stabilste aller organischen Quecksilberverbindungen, und daher gilt dieser Form das Hauptinteresse hinsichtlich der menschlichen Aufnahme (Holmes et al., 2009).

Methylierung ist der Schlüsselprozess der Umwandlung von anorganischem Quecksilber in Methylquecksilber, welches dann im Nahrungsnetz bioakkumuliert. Es gibt drei potentielle Bereiche der Methylierung in marinen Ökosystemen: Böschungs- und Küstensedimente, sauerstoffarmes Wasser unterhalb der produktiven ozeanen Schicht und Tiefseesedimente.

Marine Küstensedimente sind laut aktuellen Forschungen eine wichtige Quelle, besonders für die Methylquecksilberproduktion, und folglich auch eine potentielle Quelle für MeHg in Fischen. Die Methylierung in Küstensedimenten wird größtenteils durch die Bakterienaktivität und die Bioverfügbarkeit von anorganischem Quecksilber kontrolliert. Letztere ist wiederum stark abhängig

von Kohlenstoff- und Schwefelkonzentrationen im Sediment und Grundwasser. Sulfat-reduzierende Bakterien scheinen primär für die Quecksilbermethylierung verantwortlich. Es gibt jedoch noch weitere, zur Methylierung fähige Bakterien, wie z.B. die eisenreduzierenden Bakterien (Chen et al., 2008).

Die Demethylierung wird beeinflusst durch sowohl abiotische (nicht durch Lebewesen verursachte, z.B. photochemische) als auch biotische (durch Lebewesen verursachte) Prozesse, jedoch bedarf es auf diesem Gebiet noch weiterer Forschung. Ebenso gibt es noch viele offene Fragen bezüglich der Rolle des benthischen (bodennahen) Biotransfers von Quecksilber in das aquatische Nahrungsnetz. Kürzlich durchgeführte Studien in Süßwasser und marinen Systemen berichten über eine höhere Methylquecksilberkonzentration in der pelagischen (uferfernen) Tierwelt, im Gegensatz zu benthischen Systemen. Dies lässt darauf schließen, dass möglicherweise der chemische Fluss in die Wassersäule von größerer Bedeutung ist, als Biotransfermechanismen (Chen et al., 2008).

In Österreich wird der Großteil von Quecksilber für die Zahnmedizin, aber auch für Leuchtstofflampen, Batterien und Schalter verwendet.

Der größte Quecksilberanteil stammt aus dem Industrie- und Gewerbeabfall. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Produktgruppen wie Elektroaltgeräte, Hg-Dampflampen und Gasentladungslampen oder Batterien.

Bezüglich Quecksilberimporten stellt das für die Zahnmedizin verwendete Quecksilber den Hauptanteil dar. Große Lager befinden sich in den Deponien (rund 60 t) sowie in privaten Haushalten (rund 20 t) – dort vor allem in Form von Amalgamplomben im menschlichen Körper. Verglichen mit Cadmium ist der Quecksilbergehalt, der durch Ausschwemmungen des Oberbodens in die Umwelt gelangt, höher (Reisinger et al., 2009).

Ansätze zur Reduzierung von Quecksilber sind ein beschleunigtes Auslaufen der Verwendung von Zahnamalgam, die Überwachung bzw. Verringerung der Schwermetallemissionen aus Krematorien, sowie weitere Rückgabeaktionen für Quecksilberthermometer (Reisinger et al., 2009).

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Verteilung der Quecksilberfrachten auf die wichtigsten Konsumgüter und Abfälle in Österreich.

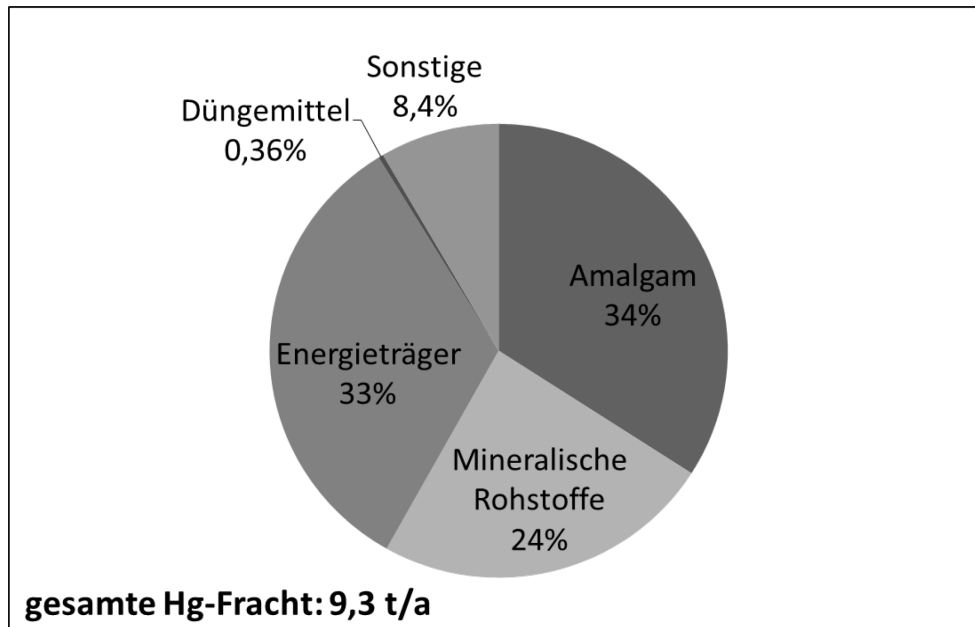


Abb. 3: Verteilung der Quecksilberfrachten auf die wichtigsten Konsumgüter, 2005 (Berechnungen TU-Wien), (Reisinger et al., 2009).

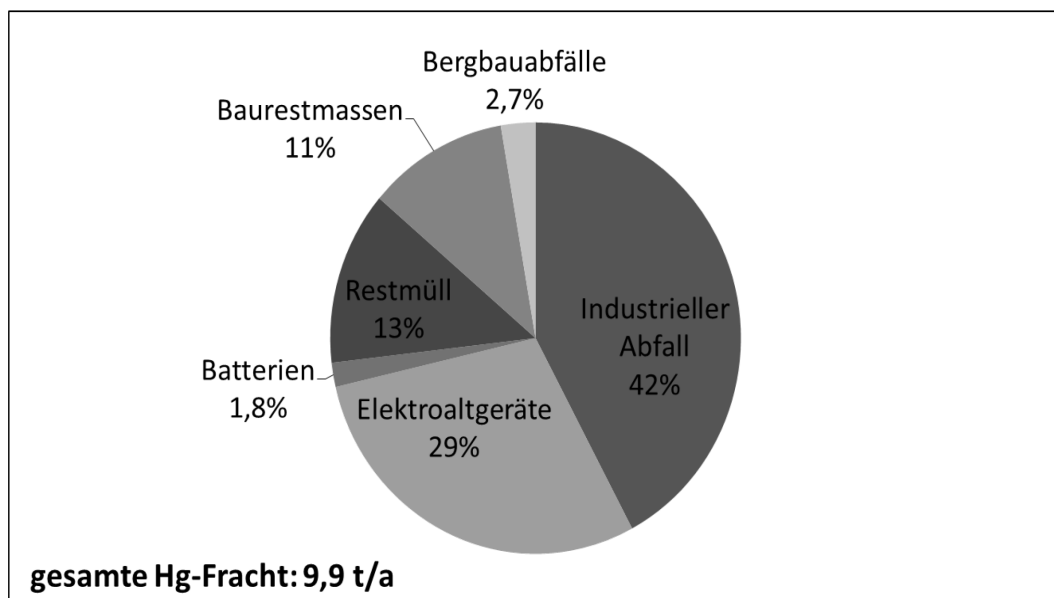


Abb. 4: Quecksilberfrachten in die Abfallwirtschaft und zugehörige Güter, 2007 (Berechnungen TU-Wien, Umweltbundesamt), (Reisinger et al., 2009).

3.3 Quellen der menschlichen Aufnahme

Beim Mensch stellt der Konsum von methylquecksilberkontaminiertem Fisch den Hauptaufnahmeweg für organische Quecksilberformen dar. Aber auch andere Nahrungsmittel (z.B. Trinkwasser, Getreide, Gemüse und Fleisch) tragen in einem gewissen Maß zur Gesamtbelastung bei. Die tägliche Aufnahme aller Formen von Quecksilber über Fisch und Meeresfrüchte wurde auf 2,3 ng/Tag geschätzt, durch andere Quellen jedoch nur auf 0,3 ng/Tag (Holmes et al., 2009).

Ein Überblick über mögliche Aufnahmequellen von elementarem Quecksilber für amerikanische Kinder wurde kürzlich von der Arbeitsgruppe der „United States Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)“ und „Centre for Disease Control and Prevention (CDC)“ publiziert.

Dabei wurden folgende Expositionsquellen identifiziert: der Gebrauch und die Lagerung von Quecksilber in Schulen, zerbrochene Thermometer, Blutdruckmessgeräte und andere quecksilberhaltige Geräte sowie Absonderungen von Belägen, die Quecksilber als Katalysator enthielten. In einigen Fällen wurde die Exposition durch die Entwendung von Quecksilber aus Schulen und Industriegeländen verursacht. Eine weitere potentielle Quelle stellen zerbrochene fluoreszierende Glühbirnen dar.

Auch Zahnamalgam wird immer wieder als mögliche Expositionsquelle diskutiert. Ein geringer potentieller Beitrag zur Gesamtaufnahme ist möglicherweise zurückzuführen auf den Gebrauch des Impfstoff-Konservierungsmittels Thiomersal, welches 50% Ethylquecksilber enthält. Quecksilber ist ebenso Bestandteil einiger Kosmetikprodukte und Säuglings-Zahnungspuder und wird auch heute noch bei einigen traditionellen Therapien, in der Volksmedizin sowie bei religiösen Praktiken angewendet (Holmes et al., 2009).

Quecksilbertropfen erscheinen als silbrige Flüssigkeit besonders interessant und es wurde berichtet, dass Kinder das flüssige Quecksilber sogar zum Spielen mit nach Hause brachten. Elementares Quecksilber verdunstet jedoch

sehr schnell und es kommt zur Absonderung von Quecksilberdämpfen, welche wiederum rasch über die Lunge resorbiert werden (Gochfeld, 2003).

Garetano et al. verglichen in ihrer Studie die Belastung mit elementarem Quecksilber in Wohngebäuden, in welchen Quecksilber für kulturelle Zwecke eingesetzt wurde, mit einer Referenzgruppe. Nachdem mögliche beeinflussende Faktoren abgeklärt wurden, war die plausibelste Erklärung für höhere Hg°-Gehalte der Zusammenhang mit der kulturellen Verwendung von Quecksilber. Besonders in südasiatischen und chinesischen Kulturkreisen ist die Verwendung verbreitet. Auch in Amerika wird es assoziiert mit afrokaribischen Traditionen wie z.B. Santeria oder Voodoo. Die Verteilung von Quecksilber in Häusern, Autos usw. dient dazu, Glück zu bringen, die Gesundheit zu erhalten und Böses abzuwenden (Garetano et al., 2008).

Weitere potentielle, nicht-berufliche Aufnahmequellen sind der Kontakt oder Aufnahme von kontaminierten Oberböden, Fischkonsum (ein kleiner Anteil ist auch in anorganischer Form im Gewebe zu finden) und Aufnahme über Außenluft und Trinkwasser (Holmes et al., 2009).

Folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über geschätzte, menschliche Durchschnittsaufnahmen.

Tab. 2: Geschätzte menschliche Durchschnittsaufnahmen und Retention von Quecksilber (nach Form) für beruflich nicht exponierte Personen (Holmes et al., 2009).

Quellen der Aufnahme	Tägliche Aufnahme und Retention (µg/d) verschiedener Quecksilberformen		
	Elementar	Anorganisch	Methylquecksilber
-			
Luft	0,04-0,2	Minimal	0,008 (0,0069)
(Gehalt 2-10 ng/m ³)	(0,03-0,16)	0	0
Zahnamalgam	1,2 -27 (1-21,6)	0	0
Lebensmittel			
- Fisch (100g/Woche mit 0,2 mg Hg/kg)	0	0,60 (0,06)	2,4 (2,3)
- Andere	0	3,6 (0,36)	0
Trinkwasser	0	0,05 (0,005)	0
Total	1,2-27 (1-22)	4,3 (0,43)	2,41 (2,31)

Die Bergbauindustrie liefert einen signifikanten Beitrag zur Metall-Umweltverschmutzung in Luft, Erde und Wasser. Eines der größten Probleme stellt dabei die unzureichende Abwasserentsorgung dar. Die freigesetzten Abwässer enthalten ein komplexes Gemisch von toxischen Komponenten, ev. auch von bioverfügbaren Metallen. Die vergangenen Ablagerungen in der Erde können für dort ansässige Personen ein mögliches Gesundheitsrisiko darstellen, besonders für Kinder aufgrund der höheren Empfindlichkeit für akute und chronische Effekte durch Umweltgefährdung.

Moreno et al. untersuchten 50 Kinder im Alter von 6-11 Jahren hinsichtlich einer möglichen Metall-Belastung innerhalb einer Bergbauzone in Südmexiko. Sie fanden bei den Kindern eine umweltbedingte höhere Metallbelastung vor. Geschlecht, Alter oder BMI (Body Mass Index) stellten keine Einflussgrößen dar, was aber auch auf den kleinen Stichprobenumfang zurückzuführen sein könnte (Moreno et al., 2010).

Zahlreiche epidemiologische Studien fanden negative gesundheitliche Effekte durch anorganisches Quecksilber in Goldabbaugebieten. Umwelt- und Gesundheitsbeurteilungen dieser Gebiete in Indonesien, Tansania und Zimbabwe zeigten eine hohe Belastung mit anorganischem Quecksilber. Vor allem ansässige Goldabbau-Kleinunternehmer in Entwicklungsländern waren betroffen. Diese nutzen für gewöhnlich flüssiges Quecksilber, um Gold vom Erz zu extrahieren und sind aus diesem Grund einer besonderen Belastung ausgesetzt. Hauptsächlich beim Schmelzen (Verbrennen) von Goldamalgam, einem Gold-Quecksilbergemisch, nehmen die Bergarbeiter und die einheimische Bevölkerung hohe Gehalte an Quecksilberdampf auf (Bose-O'Reilly et al., 2008).

Bose-O'Reilly et al. analysierten insgesamt 46 Muttermilchproben von Quecksilber-exponierten Müttern aus Goldabbaugebieten. Wie erwartet, wurden die höchsten Quecksilbergehalte in Urin und Blut jener Mütter nachgewiesen, die beruflich besonders exponiert waren, insbesondere Metall-Schmelzerinnen. Erhöhte Quecksilberwerte in beruflich nicht-exponierten Gruppen erklärten sich aus vermehrten Ablagerungen von Hg in Erde und Luft in diesen Gebieten. Bei

Fischen wurde keine ernsthafte Kontamination mit Methylquecksilber festgestellt und somit konnte auch kein Zusammenhang mit erhöhten Gehalten in der Muttermilch nachgewiesen werden. Das Hauptgesundheitsrisiko ging bei dieser Studie von Quecksilberdampf aus.

Im Vergleich zu anderen Daten ist der Quecksilbergehalt in Muttermilch von Frauen aus Goldabbaugebieten hoch. Weltweit sind ca. 100 Millionen Menschen direkt oder indirekt in der Goldabbau-Kleinindustrie dem Quecksilber ausgesetzt, ein großer Anteil davon sind Kinder. In Entwicklungsländern ist es üblich, dass Kinder gestillt werden – viele über ein Jahr hinaus. In Anbetracht dieser Tatsache sind dringend weitere Untersuchungen zur Einschätzung des Gesundheitsrisikos für Kinder in Goldabbaugebieten und möglicherweise entsprechende Empfehlungen für Frauen in dieser Berufsgruppe notwendig (Bose-O'Reilly et al., 2008).

Die Metall-Verschmutzung durch Bergwerksbetriebe hat ebenso negative Effekte für die Wasserqualität, für Flora und Fauna, reduziert die Artenvielfalt und gefährdet die Nutzung von Oberflächenwasser und Grundwasser. Stillgelegte Bergwerke und Abraumhalden steigern Erosionen und die Verschmutzung von Gewässern. Ein Beispiel für den Zusammenhang von Wasserverschmutzung und Bergbauaktivitäten ist der „Tinhela“-Fluss in Portugal. Dort wurde im Zeitraum von 1933 bis 1992 intensiver Goldabbau betrieben und die Abwässer in den Fluss geleitet (Carrola et al., 2009).

Es ist bekannt, dass Fische Metalle über Wasser, Futter und Sedimente aufnehmen können. Subletale Metallkonzentrationen verursachen demnach multiple negative Effekte von Wildfischen und wirken auf praktisch alle Vitalfunktionen. Die Leber spielt eine besondere Rolle für Vitalfunktionen, Stoffwechsel und Akkumulation sowie Umwandlung und Ausscheidung von Kontaminanten. Sie stellt gleichzeitig auch einen zuverlässigen Indikator für Gesundheitsschädigungen bei Fischen dar (Carrola et al., 2009).

Im Jahr 2002 wurden Bachforellen aus den belasteten Gewässern untersucht und toxikopathische Leberschäden festgestellt. Danach wurde von den

portugiesischen Behörden ein Programm zur Minderung der negativen Auswirkungen auf die Flussumgebung und Luftqualität erarbeitet. Dabei wurden die Oberflächen entsprechend bearbeitet und mit speziellen Geotextilien und Geomembranen bedeckt, um den Zugang zu Wasser und Sauerstoff zu limitieren. Anschließend wurde nicht-kontaminierte Erde aufgetragen, um das Pflanzenwachstum zu fördern und einer weiteren Erosion entgegenzuwirken. Carrola et al. (2009) verglichen Gewebeproben von Bachforellen aus dem Jahr 2002 mit jenen nach der Regierungsmaßnahme im Jahr 2006. Die Gewebeproben aus dem Jahr 2006 zeigten keine Auffälligkeiten mehr.

Durch den Datenvergleich wurde sichtbar, dass Bergwerkabwässer schädliche, toxikologische Effekte auf lokale Fischbestände, im Vergleich zu Referenzgebieten, hatten. Die Untersuchungen bekräftigen die negativen Auswirkungen von Schwermetallen auf aquatische Ökosysteme. Letztendlich deuten die Erhebungen vom Jahr 2006 darauf hin, dass die Belastung durch Bergbauerosionen aufgrund der Regierungsmaßnahme gesenkt werden konnte. In den kommenden Jahren wird laufendes Monitoring erfolgen, um die Auswirkungen des Regierungsprogramms weiter zu beobachten (Carrola et al., 2009).

Auch im Amazonasbecken fanden beträchtliche Goldabbauaktivitäten statt. Große Mengen flüssigen Quecksilbers wurden eingesetzt, um Gold aus dem Sediment des Flussbeckens zu lösen. Laut einer Abschätzung wurden jährlich über 130 Tonnen Quecksilber in das Amazonasbecken abgegeben.

Clarkson zählt in seinem Rückblick die Quecksilberbelastung durch Fischkonsum, Amalgamplomben und Impfstoffe zu den Relevantesten in unserer Zeit.

Etliche epidemiologische Studien fanden keinen Zusammenhang zwischen Zahnamalgam und der Alzheimer-Erkrankung. Dennoch wird eine mögliche Auswirkung durch kleine Mengen abgegebenen Quecksilberdampfs aus Zahnamalgam auf den Fortschritt und die Schwere dieser Krankheit diskutiert.

Das Hauptinteresse gilt jedoch der Quecksilberbelastung durch Fischkonsum (Clarkson, 2002).

3.4 Bioverfügbarkeit und beeinflussende Faktoren

Die wesentliche Voraussetzung für eine Stoffaufnahme, ist die biologische Verfügbarkeit und es sind nur jene Fremdstoffe toxisch, die mit dem Organismus in Berührung kommen bzw. dann von diesem aufgenommen werden. Somit kann die Bioverfügbarkeit auch als die Aufnahmefähigkeit definiert werden. Weiters kann noch zwischen der ökotoxikologischen Bioverfügbarkeit (=Aufnahmefähigkeit aus der Umwelt) und der toxikologischen Bioverfügbarkeit (=Verfügbarkeit innerhalb des Körpers) unterschieden werden. Die Bioverfügbarkeit hängt von zahlreichen Faktoren ab. Dazu gehören Stoffeigenschaften, physikalisch-chemische Eigenschaften der Umweltsysteme und biologische Charakteristika der Organismen (Fent, 2003).

Tab. 3: Faktoren, welche die Ökotoxizität beeinflussen (Fent, 2003).

abiotische	pH Salzgehalt (Salinität, Ionenstärke) Wasserzusammensetzung - gelöste anorganische Stoffe (Wasserhärte) - gelöste organische Stoffe (Huminstoffe) - suspendierte Stoffe - weitere Umweltchemikalien Sauerstoffgehalt Temperatur
biotische	Lebensstadium, Alter, Größe, Geschlecht Ernährungs- und Gesundheitszustand (Anfälligkeit geschwächter Tiere) saisonale Schwankungen in der Empfindlichkeit (z.B. Muscheln) Grad der Akklimatisation an die Labor- bzw. Umweltbedingungen Adaption an Umweltchemikalien Soziobiologie (Verhalten, intra- und interspezifische Konkurrenz)

Auch die in der Umwelt stattfindenden Transformationsprozesse können sich auf die Bioverfügbarkeit auswirken. Bei der Bildung von Organometallen durch mikrobielle Prozesse, erhöht sich die Bioverfügbarkeit. Als Beispiel kann die Methylierung von Quecksilber genannt werden - die so gebildeten Verbindungen sind lipophiler und werden demnach leichter von der Zelle

aufgenommen. Metalle kommen in der Umwelt sowohl als freie Ionen, als gelöste anorganische oder organische Komplexe, als unlösliche Komplexe als auch an suspendierte Partikel gebunden, vor (Fent, 2003).

Folgende Umwelteigenschaften sind für die Verfügbarkeit von Metallen relevant:

- pH-Wert
- Gesamthärte bzw. Alkalinität
- Konzentration an natürlich organischen Liganden (Komplexbildner)
- Salinität (Cl^- -Konzentration)
- Konzentration an konkurrierenden Absorptions-Oberflächen (Partikel)
- Umweltchemikalien mit Komplex- bzw. Chelat-Eigenschaften (Fent, 2003).

Tab. 4: Für die Bioverfügbarkeit wichtige Umweltfaktoren und ihre Einflussstärke (Fent, 2003).

Faktor	Schwermetalle	organische, organometallische Verbindungen
pH-Wert	+++ freie Metall-Ionen entscheidend	+++ (Säuren, Basen, Organometalle)
Wasserhärte	+++ höhere Toxizität in weichem H_2O freie Metall-Ionen entscheidend	- bis +
Salinität	+	+ (lipophile Chemikalien)
DOC (Huminstoffe)	+++ (Komplexierung)	+++ (Bindung, Komplexierung)
Sulfide (Sediment)	+++ (Komplexierung)	- bis +
Temperatur	+ (oft höhere Bioakkumulation/ Toxizität bei Temperaturzunahme)	+ (oft höhere Bioakkumulation/ Toxizität bei Temperaturzunahme)

+++ großer Einfluss; ++ mittlerer Einfluss; + geringer Einfluss; - kein Einfluss

Auch in aquatischen Systemen beeinflussen pH-Wert, Vorhandensein von gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) und andere Nährstoffe die Bioakkumulation von Methylquecksilber (Chen et al., 2008).

Studien haben gezeigt, dass gleiche Fischarten aus derselben Region unterschiedliche Quecksilberkonzentrationen aufweisen. Eine höhere Azidität des Gewässers (niedrigerer pH-Wert) und höhere Gehalte an gelöstem organischem Kohlenstoff fördern die Mobilisierung von Quecksilber in die Umwelt und erleichtern den Eintritt in die Nahrungskette. Gebiete, die eine Methylquecksilberproduktion begünstigen, sind gewöhnlich reich an bestimmten Formen von Feuchtgebieten und Seen mit niedrigen pH-Werten. Dazu gehören z.B. Seen im Nordosten von Amerika, Teile der Florida Everglades und kürzlich überflutete Sammelbecken, besonders entlang des Golfs von Mexiko, Atlantischen Ozeans und San Francisco Bay (USEPA, 1997).

Folgende Abbildung zeigt die Entstehung von Methyl- und Dimethylquecksilber durch mikrobielle Prozesse im aeroben und anaeroben Teil (Sediment) eines stehenden Gewässers.

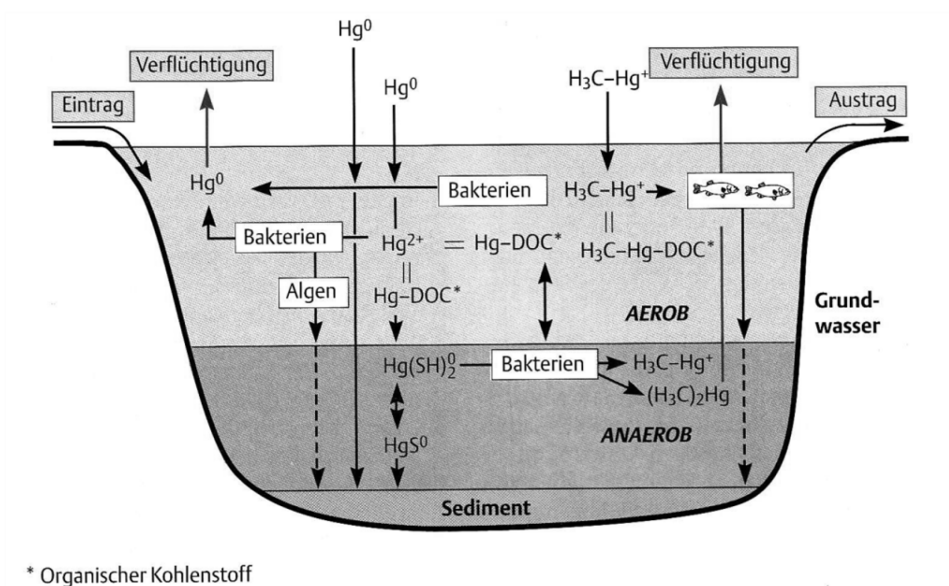


Abb. 5: Geochemischer Kreislauf von Quecksilber-Verbindungen (Fent, 2003).

Simonin et al. (2008) untersuchten die Quecksilberkonzentrationen in Fischen aus insgesamt 131 Seen rund um New York. Neben der Fischgröße fanden sie folgende Einflussfaktoren: pH-Wert der Seen, spezifische Leitfähigkeit, Chlorophyll A, Wasserquecksilberkonzentration, Anwesenheit von Ablaufstauseen sowie Menge an angrenzenden Feuchtgebieten. Die

Wasserchemie und Charakteristik von Niederschlagsgebieten variierte stark zwischen den einzelnen untersuchten Seen. Die Variablen, die am besten mit hohen Quecksilberkonzentrationen korrelierten, unterschieden sich zwar zwischen den verschiedenen Fischarten, umfassten aber am häufigsten pH-Wert, Leitfähigkeit, Säureneutralisierungskapazität und Basenkationkonzentrationen.

Verschiedene Faktoren tragen demnach zu einer höheren Quecksilberkonzentration bei, die Wasserazidität ist jedoch ein Schlüsselfaktor. Feuchtgebiete begünstigen die Methylierung. Durch höhere Gehalte an gelöstem organischem Kohlenstoff in diesen Systemen erfolgt ein besserer Transport von MeHg in den See. Zu den weiteren Parametern, die die Azidität beeinflussen, gehören die Säureneutralisierungskapazität, Kalzium, Magnesium, Natrium, Kalium, Aluminium sowie die Leitfähigkeit (Simonin et al., 2008).

Amerikanische Flussbarsche, die aus Seen mit einem größeren Anteil an Chlorophyll A gefangen wurden, wiesen eine geringere Quecksilberbelastung auf. Die An- oder Abwesenheit von angrenzenden Dämmen war ebenso ein wichtiger Faktor für die Quecksilberkonzentration im Fisch. Die Untersuchungen ergaben eine höhere Quecksilberbelastung bei Anwesenheit von Dämmen und deckten sich mit den Ergebnissen von anderen Studien. Die periodischen Überflutungen von Ufer- und Feuchtgebieten fördern anscheinend die Quecksilbermethylierung (Simonin et al., 2008).

Auch im Amazonasgebiet werden höhere Quecksilberkonzentrationen mit Regenwaldabholungen und dem Stauen von Flüssen in Verbindung gebracht. Auf diesem Weg wird das in der Erde natürlich vorkommende Quecksilber für aquatische Organismen zugänglich und es folgt vermehrte Biomethylierung. Ebenso die saisonalen Überschwemmungen von Waldgebieten führten zu der Erkenntnis, dass Quecksilbermethylierung auch in relativ trockenen Wäldern möglich ist. Überflutete Wälder und Wasserpflanzenteppiche sind spezifische Merkmale des Amazonas und assoziiert mit dem Ausmaß der

Methylquecksilberbelastung der lokalen Bevölkerung durch Fischkonsum (Gochfeld, 2003).

Selch et al. (2007) stellten fest, dass der Quecksilbergehalt im Amerikanischen Zander aus Seen innerhalb der Prairie Pothole Region mit schwankendem Wasserspiegel assoziiert ist.

Dieses Gebiet im Nordosten von Amerika zeichnet sich durch umfangreiche Feuchtgebiete und Gletscherseen aus. Klimabedingte Nass-Trocken-Perioden verursachen große Schwankungen des Wasserspiegels. Aufeinanderfolgende Jahre mit viel Niederschlag führten Mitte der 90er Jahre zu einem dramatischen Anstieg des Wasserspiegels in einigen Feuchtgebieten und Gletscherseen. Gleichzeitig wurden erhöhte Quecksilberkonzentrationen in Fischen festgestellt, was die lokalen Behörden dazu veranlasste, Fischkonsumanweisungen herauszugeben.

Eine mögliche Erklärung für den Anstieg ist der erhöhte Sulfatgehalt, welcher sich durch Trocknung und erneute Überschwemmung der Erde ergibt. Dieser Umstand führt zu vermehrter Bildung von Sulfat-reduzierenden Bakterien, die wiederum für die Produktion von Methylquecksilber verantwortlich sind. Seen, die jährliche Nass-Trocken-Kreisläufe durchleben, scheinen einer geringeren Sulfat-Mobilisierung unterworfen zu sein als jene, die zuvor für viele Jahre nicht überflutet wurden. Aus diesem Grund wurde ein regelmäßiges Monitoring für Fische aus entsprechenden Seen vorgeschlagen, besonders unmittelbar nach einem Anstieg des Wasserspiegels (Selch et al., 2007).

Jeremiason et al. (2006) verglichen die Methylquecksilbergehalte in Feuchtgebieten im Nordosten von Minnesota vor und nach Zugabe von Sulfat. Bisherige Labor- und Feldstudien demonstrierten einen Anstieg von Methylquecksilber in Sedimenten und Mooregebieten nach Zugabe von Sulfat.

Auch in dieser experimentellen Studie wurde eine gesteigerte Methylierung und infolge eine erhöhte Methylquecksilberkonzentration in Feuchtgebieten und deren Abfluss, bedingt durch die Sulfatzugabe, festgestellt. Die biologische Verfügbarkeit von Sulfat ist ein wesentlicher limitierender Faktor für methylierende Bakterien und die Reduzierung von Sulfatablagerungen könnte

zu einer geringeren Methylquecksilberbelastung führen (Jeremiason et al., 2006).

Boening erwähnt in seiner Studie folgende Einflussfaktoren für die Toxizität von Quecksilber: die Quecksilberform, die Entwicklungsstufe von Organismen (Larvenstadium ist empfindlicher), Temperatur, Salzgehalt, Gehalt an gelöstem Sauerstoff, Wasserhärte und in einigen Fällen auch die Wasserdurchflussrate. Die Quecksilbertoxizität steigt mit der Temperatur und sinkt mit der Wasserhärte. In Systemen mit Fließwasser scheint die Toxizität höher zu sein. In weiteren Untersuchungen wurde ein Zusammenhang zwischen der Quecksilberkonzentration im Fischgewebe und dem Kalziumgehalt des Wassers beobachtet. Organismen sind jedoch meist einer Mischung aus mehreren Metallen in ihrer Umwelt ausgesetzt. Deshalb sind weitere Untersuchungen hinsichtlich dem Verhalten von Metallgemischen nötig (Boening, 2000).

Jahanbakht et al. (2002) prüften in einer experimentellen, ökotoxischen Studie den Einfluss von Temperatur, pH-Wert und die An- bzw. Abwesenheit von Sediment und Sand auf den Quecksilbergehalt. Die Ergebnisse zeigten, dass Prozesse der Quecksilberumwandlung und Bioakkumulation in der Umwelt sehr komplex sind. Wenn Temperatur und pH-Wert konstant sind, steigt der Quecksilbergehalt in der Luft mit der Zeit an. Bei konstantem pH-Wert aber einer unterschiedlichen Temperatur, wurde ein Hg-Anstieg bei gleichzeitiger Erhöhung der Temperatur beobachtet. Mehrere Untersuchungen zeigen, dass ein Temperaturanstieg den Quecksilbergehalt in der Luft zu erhöhen scheint, während eine Erhöhung der Temperatur einen geringeren Quecksilbergehalt in Wasser und Sediment bewirkt (Jahanbakht et al., 2002).

Eine andere Untersuchung zeigte keinen Einfluss der Temperatur, jedoch wurde die chemische Form des Quecksilbers nicht erwähnt.

Bei variierendem pH-Wert und konstanter Temperatur wurde Quecksilber in die Luft abgegeben, wobei die Konzentration entsprechend dem pH-Wert stieg. Jahanbakht et al. zeigten in einer früheren Studie aus dem Jahr 1998, dass bei

Quecksilber(II)-chlorid eine Stabilität im Wasser bei $\text{pH} < 5$ erfolgte und die Luft nicht kontaminiert wurde. Betrug der pH -Wert > 5 , wurde Quecksilber sehr wohl aus dem System an die Luft abgegeben. Folglich hängt die Luftbelastung mit der chemischen Form des Wasserschadstoffs zusammen. Eine weitere Untersuchung berichtet von einem Anstieg von Quecksilber im Wasser und einer Absenkung der Menge im Sediment, wenn der pH -Wert abfällt (Jahanbakht et al., 2002).

Die Anwesenheit von Sedimenten spielt eine wesentliche Rolle. In der Studie von Jahanbakht et al. (2002) konnte nachgewiesen werden, dass bei Sediment-Anwesenheit beinahe das gesamte zugefügte Quecksilber im Sediment fixiert wurde. Dies war unabhängig von pH -Wert und Temperatur, und weder im Wasser noch in der Luft konnte Quecksilber nachgewiesen werden. Ebenso verlängerte sich die Lebensdauer der Fische, die dem Methylquecksilber ausgesetzt waren, in jenen Versuchen, denen Sediment beigelegt wurde. Bei Sandzugabe wurde nur ca. 17% des Quecksilbers fixiert und die Luft entsprechend belastet. Die Quecksilberkonzentration ist stark von der Korngrößenverteilung im Medium abhängig. Diese ist höher in Sedimenten als im Sand und deshalb scheint Sand nur zu einer geringeren Fixierung fähig zu sein.

Jahanbakht et al. schließen aus den Ergebnissen, dass Wasser einen schlechten Expositionsindikator für die Wasserverschmutzung darstellt. Hinsichtlich einer chronischen Verschmutzung seien Sedimente, Fische und Wasserpflanzen aussagekräftiger (Jahanbakht et al., 2002).

De Carvalho et al. untersuchten ebenfalls welche Rolle Sedimente hinsichtlich der Lagerung und Abgabe von Quecksilber spielen. Dabei konnten sie beobachten, dass im Sediment fixiertes Quecksilber kaum für Fische verfügbar war. Nur der Nil-Tilapia akkumulierte mehr Quecksilber. Dies könnte mit der spezifischen Gewohnheit dieser Fischart zusammenhängen. Der Nil-Tilapia durchwühlt für gewöhnlich den Sediment-Grund, hat somit mehr Kontakt zum Sediment und nimmt möglicherweise dadurch mehr Schadstoffe auf. In allen Experimenten wiesen Fische, die eine Quecksilberexposition ohne

Sedimentzugabe erfuhren, mehr Quecksilber auf, als jene mit einem Sedimentanteil in ihrer Umgebung.

Diese Ergebnisse zeigen, dass Sedimente als erste Instanz eine sehr wichtige und effiziente Rolle für die Quecksilberadsorption spielen. Solange die physikalischen und chemischen Bedingungen in den Ablagerungen die Methylierung von Quecksilber nicht begünstigen, bleibt die Verfügbarkeit des Metalls für Lebewesen gering. Es wird solange abgelagert, bis physikalische, chemische oder biologische Faktoren eine Bioverfügbarkeit ermöglichen (de Carvalho et al., 2006).

3.5 Quecksilber-Toxikokinetik

Wie zuvor erwähnt, ist die Quecksilberform eine wichtige Bestimmungsgröße für das toxikokinetische Verhalten (Holmes et al., 2009).

Elementares Quecksilber

Elementares Quecksilber in metallischer Form besitzt nur ein geringes toxisches Potential, und auch eine orale Aufnahme größerer Mengen ist nicht gefährlich. Nicht so verhält es sich mit gasförmigem Quecksilber - dieses ist wesentlich gefährlicher. Aufgrund des hohen Dampfdruckes von Quecksilber ist bei Anwesenheit von metallischem Quecksilber auch mit einer gleichzeitigen Belastung der Luft durch Quecksilberdampf zu rechnen (Fuhrmann, 2006).

Quecksilberdampf (Hg^0) wird vom Menschen leicht über den Respirationstrakt (ca. 80%) aber nur schlecht über den Gastrointestinaltrakt (GI-Trakt) (ca. 0,01%) und nur zu einem kleinen, limitierten Teil über die Haut aufgenommen. Das Maß der Aufnahme von zweiwertigem Quecksilber durch Inhalation oder der Weg über die Haut ist ungewiss. Die orale Aufnahme von anorganischen Quecksilbersalzen wird auf 2-38% geschätzt, abhängig von der Form und den Testbedingungen (Holmes et al., 2009).

Nach Inhalation gelangt gasförmiges Quecksilber aufgrund seiner Lipophilie und Beweglichkeit über die kurze alveolare Diffusionsstrecke ins Blut. Darauf erfolgt eine rasche metabolische Umwandlung, die bereits in den roten Blutzellen aber auch in anderen metabolisch aktiven Zellen beginnt. In den Erythrozyten findet die Umwandlung zu Hg^{2+} durch das Enzym Katalase, mit meist gleichzeitiger Immobilisierung, statt. Wird die Kapazität für gasförmiges Quecksilber überschritten, gelangt ein Teil des lipophilen Hg^0 über die Blut-Hirn-Schranke in das zentrale Nervensystem. Dort erfolgt ebenfalls eine Umwandlung in ionisches Quecksilber und möglicherweise die Bildung eines biologisch unwirksamen Selenid-Komplexes. Ähnlich verhält es sich an der

Plazentaschranke und somit gelangt gasförmiges Quecksilber auch leicht in fetales Gewebe (Fuhrmann, 2006).

Ionisches Quecksilber

Zweiwertige Quecksilberionen (Hg^{2+}) werden aus dem Gastrointestinaltrakt aufgenommen (2-15%) und im Blut an Plasmaproteine oder Erythrozyten gebunden transportiert. Auf diesem Weg gelangt es zu allen Organen, kann aber schlecht Membranen passieren und reichert sich deshalb vor allem in der Niere an.

Wechselwirkungen mit Proteinen erfolgen über Thiolgruppen und führen zu einer Denaturierung und Enzyminhibition.

Falls Quecksilberionen aus Hg^0 oder organischen Molekülen innerhalb des Organismus freigesetzt werden, verteilen sie sich wie zuvor beschrieben.

Umgekehrt kann, durch Reduktion von ionischem zu elementarem Quecksilber, letzteres ins Gehirn gelangen oder aber über die Lunge abgeatmet werden (Fuhrmann, 2006).

Organisch gebundenes Quecksilber

Organische Formen werden sehr leicht sowohl über Inhalation als auch über den Gastrointestinaltrakt aufgenommen (ca. 95%) (Holmes et al., 2009). Methylquecksilberchlorid gilt z.B. als leicht flüchtig und wird fast vollständig (90%) über die Lunge aufgenommen. Dimethylquecksilber wird über die Haut sehr rasch resorbiert (Fuhrmann, 2006).

Methylquecksilber wird im Blut und anderen Geweben an Sulfhydrylgruppen gebunden und kann so von Aminosäure-Carriern durch die Blut-Hirnschranke transportiert werden, wo es dann akkumuliert. Ein ähnlicher Prozess wurde für den Transport durch die Plazenta beobachtet.

Aufgrund seiner hohen Lipophilie wird auch metallisches Quecksilber leicht durch die Blut-Hirnschranke und die Plazenta transportiert. Tatsächlich werden oft höhere Quecksilbergehalte im Nabelschnurblut als im mütterlichen Blut

nachgewiesen (Holmes et al., 2009, Morrissette et al., 2004). Im fetalem Gehirn sind die Quecksilberwerte 5-7 Mal so hoch wie im mütterlichem Blut (Clarkson, 2002).

Methylquecksilber wird ebenfalls zu anorganischem Quecksilber umgewandelt (10-90% im Nierenzytosol, 5% in Hirnmitochondrien und 30% in Lebermitochondrien), entweder bedingt durch die mikrobielle Flora oder durch Produktion von reaktiven Sauerstoffspezies und auch durch Wechselwirkung mit Sulfhydrylgruppen.

Aufgrund dieser Reaktionen akkumulieren relativ hohe Mengen an Quecksilber (von metallischen oder organischen Formen stammend) in Hirn- oder Fötusgewebe, da diese Formen leicht die Blut-Hirn- und Plazentaschranke durchdringen können.

Ernährungsstatus, Medikament-Wechselwirkungen, Temperatur, die individuelle intestinale Bakterienflora, Genetik und Alter – all diese Faktoren können den Quecksilbermetabolismus beeinflussen (Holmes et al., 2009).

Hajeb et al. (2008) untersuchten mögliche Verbindungen zwischen dem Haarquecksilbergehalt von 4 Küstengemeinschaften in Malaysia und dem Fischkonsum. Sie fanden durchschnittliche Haargehalte von 13,69/10,85/9,94 und 6,78 µg/g. Hinsichtlich des Einflusses vom Geschlecht gibt es sehr widersprüchliche Ergebnisse. Einige Studien berichten von höheren Quecksilbergehalten im Haar bei Frauen, andere haben höhere Gehalte bei Männern festgestellt. Viele Studien zeigen jedoch überhaupt keinen Einfluss durch das Geschlecht auf die Quecksilberakkumulation im Haar. In der Studie von Hajeb et al. konnte eine höhere Quecksilberkonzentration im Haar von Frauen beobachtet werden.

Fischkonsum stellte sich als signifikantester Faktor heraus, um Vorhersagen hinsichtlich der Quecksilberexposition von Populationen treffen zu können (Hajeb et al., 2008).

In ländlichen Gebieten wurde eine höhere Quecksilberexposition beobachtet als in urbanen Gegenden. Dies könnte auf Unterschiede hinsichtlich Ernährung,

Lebensstil und Umweltfaktoren zurückzuführen sein. In der urbanen Bevölkerung bestand der Hauptteil vom Fischkonsum aus Dosenthunfisch, Sardinen, Sardellen, Fischbällchen und -stäbchen und Fischen von lokalen Märkten.

Die am Land oder in Fischerdörfern lebenden Menschen konsumierten hingegen frisch gefangenen Fisch. Zusätzlich war der Fischkonsum in ländlichen Gebieten allgemein höher als in urbanen Gebieten (Hajeb et al., 2008).

Seit der Minamata-Vergiftung stieg das Bewusstsein für ein Risiko durch fetale Exposition. Quecksilbergehalte im mütterlichen Haar über 10-20 µg/g erhöhen vermutlich das Risiko für eine Gehirnschädigung beim Fötus (Li et al., 2010).

In der Studie konnten keine Unterschiede innerhalb der Völkergruppen (Malaier, Chinesen und indigene Völker) beobachtet werden (Hajeb et al., 2008).

Manche Studien erwähnen die Möglichkeit, dass Quecksilbergehalte in Haaren zwischen den verschiedenen ethnischen Gruppen variieren könnten. Eine Hypothese besagt, dass sich die Natur des Haares (Dichte, molekulare Struktur und Wachstumsrate) zwischen den Gruppen unterscheidet. Andere Beobachtungen weisen darauf hin, dass die Haarmolekularstruktur sich bei den Gruppen nicht wesentlich unterscheidet.

Allerdings wurde bei Bevölkerungsgruppen mit asiatischer Abstammung ein genetischer Polymorphismus nachgewiesen, der sehr wohl die Eliminationsrate beeinflussen könnte (Canuel et al., 2006).

Der Gehalt an transportiertem Quecksilber hängt sowohl von der Bioverfügbarkeit, als auch der Absorption ab. Im lebenden Organismus findet ebenso Methylierung und Demethylierung statt und diese komplexen Prozesse beeinflussen den Gehalt an Methylquecksilber, welches zwischen Blut und verschiedenen Organen ausgetauscht wird (Gochfeld, 2003).

Die Ausscheidung von Quecksilber erfolgt hauptsächlich über Urin, Fäzes oder ausgeatmete Luft, obwohl auch eine gewisse Anzahl anderer Nebenwege existiert.

Elementares Quecksilber wird als Hg^0 mit der Ausatemluft, Schweiß, Speichel, und als Hg^{2+} mit Fäzes und Urin ausgeschieden.

Die Ausscheidung von Methylquecksilber erfolgt als Hg^{2+} (90% über Fäzes und 10% über Urin) und ebenso in Muttermilch (16% des Gesamtquecksilbers in Muttermilch ist Methylquecksilber) (Holmes et al., 2009).

Methylquecksilber unterliegt dem enterohepatischen Kreislauf. Es wird in die Galle sezerniert und teilweise in den Pfortaderkreislauf reabsorbiert und gelangt schließlich wieder zur Leber. Ein Bruchteil des Gallenquecksilbers wird durch die Mikroflora in anorganische Formen umgewandelt. Das meiste Quecksilber wird durch Demethylierung und Ausscheidung von anorganischen Formen eliminiert.

Die Exkretion von anorganischen Formen erfolgt prinzipiell über Urin, ein Teil über Galle und Fäzes. Ausatemluft, Haare, Schweiß, Muttermilch und Speichel tragen jedoch auch zu einem gewissen Maß zur Elimination bei. Nach Umwandlung des metallischen Quecksilbers in Hg^{2+} , akkumuliert dieses beim Menschen primär in der Niere (Clarkson, 2002).

Organische Quecksilberverbindungen zeigen ebenfalls die Tendenz in der Niere zu akkumulieren. Tatsächlich sind renale Quecksilbergehalte um eine Zehnerpotenz höher als in anderen Geweben. Dies beruht zum Teil auf der Anbindung an das Metallothionein, welches in renalen Geweben vorkommt (dieses Protein findet sich auch in fetaler und maternaler Leber und in einigen anderen Organen). Die Produktion von Metallothionein in der Niere wird wiederum durch die Anwesenheit von Quecksilber stimuliert (Holmes et al., 2009).

Bei den Metallothioneinen (Abb. 6) handelt es sich um nicht-enzymatische Proteine, welche aus ca. 60 Aminosäuren, vor allem Cystein, aufgebaut sind. Sie haben die Fähigkeit neben Cadmium und Zink auch Quecksilber, Kupfer,

Silber und Antimon zu binden, gleichzeitig zu immobilisieren und zu entgiften (Fuhrmann, 2006).

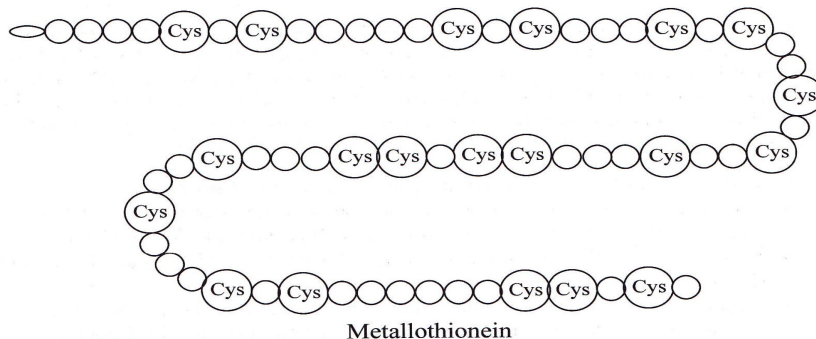


Abb. 6: Modell eines Säugetier-Metallothioneins (Fuhrmann, 2006).

Die Halbwertszeit der Elimination von verschiedenen Quecksilberformen wird beeinflusst durch Spezies, Stamm, Dosis und Geschlecht. Das Alter ist ebenfalls ein wichtiger Faktor, da Neugeborene und Kinder höhere Absorptions- und Retentionsraten zeigen. Die Halbwertszeit für Methylquecksilber beträgt 70-80 Tage, 58 Tage für elementares Quecksilber und 1-2 Monate für anorganische Formen. Im Gegensatz dazu wurden bei Fischen Halbwertszeiten von bis zu 700 Tagen gemessen. Dieser Unterschied ergibt sich vermutlich durch die unterschiedliche Größe und Umgebungstemperatur (Holmes et al., 2009).

Hightower und Moore nennen als durchschnittliche Halbwertszeit von Methylquecksilber im Blut bei Erwachsenen 70 Tage, für Kinder 90 Tage und bei stillenden Frauen 46 Tage (Hightower and Moore, 2003).

Die Methylquecksilber-Demethylierung durch die Mikroflora im Darm ist ein Schlüsselprozess in der Entfernung von Methylquecksilber aus dem Körper und möglicherweise auch geschwindigkeitsbestimmend.

Der Demethylierungsprozess im Darm kann auch als wichtiger Punkt hinsichtlich eines möglichen Zusammenspiels von Ernährung (z.B. durch Ballaststoffe) und Akkumulation des Methylquecksilbers in Verbindung gebracht werden (Clarkson, 2002).

Nachdem Fische und Meeressäuger möglicherweise auch andere halogenhaltige Stoffe wie z.B. Dioxine oder polychlorierte Biphenyle (PCB) akkumulieren können, sind Wechselwirkungen mit Quecksilber nicht auszuschließen. In einer Studie aus New York potenzierte sich die Methylquecksilberwirkung durch erhöhte PCB- Exposition, andere zeigten kaum Einfluss. Weitere Studien sind notwendig, um eventuelle Wechselwirkungen aufklären zu können (Li et al., 2010).

3.6 Toxikologie

Historische Berichte über klinische Fälle mit Methylquecksilbervergiftungen reichen zurück bis ins 19. Jahrhundert. In dieser Zeit fand erstmals eine chemische Synthese statt (Clarkson, 2002).

Während die Wirkungen von kurzzeitigen hohen Expositionen mit verschiedenen Quecksilberformen bekannt sind, wurden die Konsequenzen von chronischen, niedrigen Dosen noch nicht vollständig charakterisiert.

Akute toxische Wirkungen werden gewöhnlich bei Gehalten von 50 µg Hg/L Blut oder 100 µg Hg/L Urin, im Vergleich zu Normalwerten von bis zu 10 µg Hg/L Blut oder 10 µg Hg/L Urin, erwartet. Die tödliche Dosis für Menschen wird auf 100 mg für organisches Quecksilber oder 1 g für Quecksilbersalze geschätzt. Zielorgane einer akuten Toxizität sind das Nerven- und Immunsystem und die Nieren. Je nach der Expositionsroute können auch Gastrointestinaltrakt und Lungen betroffen sein. Bei anorganischen Formen können sich Hautsymptome zeigen (Holmes et al., 2009).

Bei Einatmung einer großen Menge gasförmigen Quecksilbers, kann das Bild einer akuten Vergiftung beobachtet werden. Dabei können Symptome wie Metallgeschmack, Erbrechen, blutige Durchfälle und Nierenschädigung mit Polyurie (erhöhtes Harnvolumen*) und Proteinurie (erhöhte Proteinausscheidung im Harn*) auftreten. Seltener ist eine Reaktion mit Lungenentzündung, Fieber, Husten und Atemnot zu erwarten. Die Vergiftung führt erst nach einer längeren Krankheitsphase zum Tod. Typisch nach oraler

Aufnahme von löslichen anorganischen Quecksilberverbindungen sind der Metallgeschmack sowie Erbrechen und Durchfälle, die durch Sulfide schwarz gefärbt sein können (Fuhrmann, 2006).

Die chronische Exposition von Menschen mit elementarem oder anorganischem Quecksilber zeigt sich durch bleibende Schäden des Zentralnervensystems (ZNS) sowie einer großen Auswahl an Effekten wie fortschreitender Anämie, Magenstörungen, erhöhter Speichelfluss, metallischer Geschmack im Mund und empfindliches Zahnfleisch. Diese Wirkungen wurden vor allem bei beruflich exponierten Personen beobachtet (Holmes et al., 2009).

Das Nervensystem scheint das empfindlichste Zielorgan zu sein und zahlreiche neurologische Probleme wurden bei Erwachsenen beobachtet. Dazu gehören z.B.: Tremor (unwillkürliches Muskelzittern*), Insomnie (Schlaflosigkeit*), Polyneuropathien (Erkrankung peripherer Nerven aus nichttraumatischer Ursache*), Parästhesien (subjektive Missempfindung*), emotionale Labilität, Reizbarkeit, Persönlichkeitsveränderungen, Kopfschmerzen, Schwäche, unscharfe Sicht, Dysarthrie (Sprechstörung*), Sprachbehinderung, verzögerte mentale Antwort und schwankender Gang. Prä- und postnatale Exposition mit hohen Methylquecksilbergehalten verursacht mentale Retardierung, zentrale Lähmungen, Krämpfe, und schließlich den Tod.

Beim Menschen ist die Niere besonders empfindlich gegenüber Quecksilbersalzen, wodurch pathologische Veränderungen wie akute tubuläre Nekrose und immunologische Glomerulonephritis entstehen. Quecksilber kann ebenso Arrhythmien und Kardiomyopathien hervorrufen (Holmes et al., 2009).

3.6.1 Immunsystem und Nieren

In zahlreichen In-vitro-Studien wurden Veränderungen von humanen Zell-Linien beobachtet, welche auf eine Immunmodulation infolge von Quecksilberexposition hindeuten. Bei Quecksilberchlorid wurde eine erhöhte Desoxyribonukleinsäure-Synthese in kultivierten Immunzellen festgestellt - mit anschließend ausgelöster erhöhter Apoptose (programmierter Zelltod*) in neutrophilen Granulozyten. Es existieren wenige Daten über die chronischen immunologischen Auswirkungen durch eine Quecksilberexposition. Jedoch

deuten einige Studien, vor allem bei berufsbedingter Exposition mit elementarem Quecksilber in moderater Menge, auf Veränderungen bei der Immunantwort hin. Ebenso wurde sowohl von nicht-allergischer als auch allergischer Dermatitis (entzündliche Hautreaktion*) nach Quecksilberdampfexposition, und auch Hautsensibilisierungen nach Aufnahme von zweiwertigen Quecksilberverbindungen, berichtet.

Es sind weitere Studien gefordert, insbesondere longitudinale Kohortenstudien, um immunologisch relevante Endpunkte, vor allem bei älteren Personen, festzulegen. Dadurch könnte untersucht werden, ob mit dem Alter die Anfälligkeit für Störungen des Immunsystems steigt, und ob sich eine Prädisposition für die Entstehung von immuninduzierten Erkrankungen ergibt (Holmes et al., 2009).

Auch Li et al. beobachteten, dass Methylquecksilber sowie anorganisches Quecksilber eine Autoimmunantwort und einen immunsuppressiven Effekt in bestimmten, genmanipulierten Mäuse-Stämmen auslösten. Jedoch sind bisherige Daten spärlich und weitere Studien nötig (Li et al., 2010).

Nach Exposition reagiert die Niere anfänglich mit einer Polyurie, und bei weiterer Schädigung durch höhere Konzentrationen mit einer Proteinurie. Darauf kann eine Anurie (Harnausscheidung unter 100ml/24h*) folgen und nach einer vollständigen Zerstörung der Nierenfunktion schließlich eine Urämie (Niereninsuffizienz, Harnvergiftung*), welche innerhalb einer Woche zum Tode führt.

Geringere Dosierungen äußern sich in subakuten Verlaufsformen. Hierbei kann Quecksilber in den Speichel übergehen und eine Entzündung des Mund- und Rachenraumes bei gleichzeitiger Lockerung der Zähne auslösen (Fuhrmann, 2006).

Die Niere stellt ein kritisches Zielorgan für die Quecksilbertoxizität dar, und entsprechende Effekte sind größtenteils immunvermittelt. Bei beruflich hoch exponierten Personen konnte ein Risiko hinsichtlich einer immunkomplex-vermittelten Glomerulonephritis mit assoziierter Proteinurie und nephrotischen Symptomen festgestellt werden. Bei Männern aus spanischen, italienischen,

ukrainischen und slowenischen Goldabbaugebieten, in denen Quecksilber zur Extraktion genutzt wird, wurde eine erhöhte Mortalitätsrate für Nephritis (Nierenentzündung*) und Nephrose (degenerative Nierenerkrankung*) festgestellt. Bei geringer Aufnahme und niedrigen Exkretionsmengen wurden nur geringfügige Veränderungen im renalen Tubulus festgestellt. Die Aussagekraft von diesen Veränderungen im renalen Exkretionsprofil erscheint hinsichtlich der toxikologischen Bedeutung ungewiss. Bei niedrigeren Mengen, welche normalerweise in der Umwelt vorhanden sind, erscheint die Niere als potentiell Ziel von anorganischen Quecksilberverbindungen - besonders von Quecksilberchlorid (Holmes et al., 2009).

3.6.2 Kardiovaskuläre Toxizität

Es liegen mehrere Studien vor, welche den Zusammenhang zwischen Quecksilber und dem Auftreten von kardiovaskulären Erkrankungen untersucht haben. Durch die widersprüchlichen Ergebnisse ist keine ausreichende Evidenz für eine kardiovaskuläre Toxizität von Quecksilber gegeben. In 2 Studien wurde zwar ein erhöhtes Risiko festgestellt, jedoch erhöhte sich das Gesamtrisiko nicht, und der Nettoeffekt des Fischkonsums war immer noch günstiger (Widhalm et al., 2007).

Die „Health Professional Follow-up“ Studie ist eine amerikanische, prospektive Kohortenstudie mit 12-jähriger Follow-up-Periode. Bei dieser Studie wurde der Zusammenhang von Fischkonsum sowie Aufnahme von langkettigen ω -3-FS mit dem möglichen Risiko eines ischämischen Schlaganfalles (Hirnschlag infolge einer arteriellen Durchblutungsstörung*) untersucht. Insgesamt nahmen 43.671 Männer im Alter von 40-75 Jahren teil. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass das Risiko für einen ischämischen Schlaganfall durch Fischkonsum, wenn dieser mindestens ein Mal pro Monat oder öfter erfolgt, gesenkt werden kann (He et al., 2002).

Mozaffarian und Rimm untersuchten in ihrem Rückblick Risiken und Vorteile von moderatem Fischkonsum. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass maßvoller Fischkonsum (z.B. 1-2 Mahlzeiten/Woche), besonders von Fischarten die reich

an ω -3-FS sind, das Risiko eines Herztodes um 36% und die Gesamtsterblichkeit um 17% senken können.

Während die Docosahexaensäure eine positive Wirkung auf die frühe Neuroentwicklung zu haben scheint, können hingegen auch niedrige Gehalte an Methylquecksilber diese negativ beeinflussen. Die Wirkung von geringen Dosen Methylquecksilbers auf die Gesundheit ist noch nicht vollständig geklärt. Die kardiovaskulären Vorteile vom Fischkonsum werden aber möglicherweise durch das Methylquecksilber herabgesetzt. Dennoch überwiegen insgesamt die Vorteile des Fischkonsums gegenüber einem möglichen Risiko für Erwachsene. Dies gilt auch für Risikogruppen, solange gewisse Fischarten gemieden, und Empfehlungen befolgt werden. Mozaffarian und Rimm warnen vor einer Vermeidung von moderatem Fischkonsum, da dies möglicherweise eine gesteigerte kardiovaskuläre Mortalität und suboptimale Neuroentwicklung bei Kindern bewirken könnte (Mozaffarian and Rimm, 2006).

3.6.3 Kanzerogenität

Eine Untersuchung der Europäischen Union aus dem Jahr 2007 betreffend der Mutagenität von Quecksilber beim Menschen, ließ aufgrund unterschiedlicher Studienqualitäten keinen klaren Rückschluss zu. Die U.S. EPA (Environmental Protection Agency) konnte keinen Zusammenhang zwischen der Exposition von elementarem Quecksilberdampf und Krebsinzidenz finden und erwähnte ebenfalls die limitierten existierenden Studien. Die „International Agency on Research of Cancer“ (IARC) hat elementares Quecksilber und seine anorganischen Verbindungen als „nicht klassifizierbar für die Kanzerogenität beim Menschen“ eingestuft, mitunter auch aufgrund unzureichend klarer Studienaussagen.

Methylquecksilber wurde hingegen als „möglicherweise kanzerogen für den Menschen“ beschrieben. Die Studienergebnisse sind jedoch bislang nicht ausreichend, um eine eindeutige Schlussfolgerung abzuleiten (Holmes et al., 2009).

3.6.4 Schilddrüse

Es besteht der Verdacht, dass Quecksilber bei anhaltender Exposition möglicherweise in der Schilddrüse akkumuliert und das Schilddrüsen-Enzymsystem negativ beeinflussen könnte - vor allem bei Urinkonzentrationen von 15-30 µg Hg/g Kreatinin. Nachdem keine aktuellen Studien vorliegen, können keine klaren Aussagen getroffen werden und es bedarf weiterer Untersuchungen (Holmes et al., 2009).

3.6.5 Fruchtbarkeit

Obwohl es keine eindeutigen Beweise für negative Effekte auf die menschliche Fruchtbarkeit bei Quecksilberexposition gibt, besonders in Relation zu geringen Dosen, konnten ungünstige Wirkungen bei Populationen mit hohen Methylquecksilberaufnahmen beobachtet werden.

Bei Müttern aus der stark kontaminierten Minamata-Region in Japan wurde von einer hohen Inzidenz von Spontanaborten und Totgeburten (15% aller Schwangerschaften) berichtet. Eine aktuellere Studie aus der Minamata-Gegend weist auf geschlechtsbezogene Unterschiede in der Empfindlichkeit gegenüber Methylquecksilberexposition hin. Das Geschlechterverhältnis veränderte sich signifikant bei der Geburt (Holmes et al., 2009). Dabei wurde eine Absenkung bei den Geburten von männlichen Säuglingen festgestellt (Li et al., 2010).

In einer weiteren kleinen Fall-Kontroll-Studie aus Hong Kong mit unfruchtbaren Paaren, die sich einer Behandlung zur künstlichen Befruchtung unterzogen, wurde der Zusammenhang von Unfruchtbarkeit, Blutquecksilbergehalten und dem Konsum von Fisch und Meeresfrüchten untersucht. Im Gegensatz zur Kontrollgruppe zeigte sich Blutquecksilber als signifikanter Prädiktor für Schwierigkeiten hinsichtlich der Fruchtbarkeit bei Frauen. Ein ähnlicher, wenngleich statistisch nicht signifikanter, Zusammenhang wurde auch bei Männern beobachtet. Gleichzeitig wurde eine positive Korrelation zwischen Quecksilbergehalt im Blut und Fischmahlzeiten festgestellt (Choy et al., 2002).

3.6.6 Nervensystem

Bei einer chronischen Toxizität durch anorganisches oder elementares Quecksilber tritt die Wirkung auf das zentrale Nervensystem in den Vordergrund, besonders durch chronische Inhalation von Quecksilberdampf.

Bei der chronischen Vergiftung wurden Zahnlockerung und Zahnausfall, Ablagerungen von Quecksilbersulfid am Zahnfleisch (Quecksilbersaum) sowie Nierenreizungen beobachtet. Zusätzlich können Symptome wie Stirnkopfschmerzen, Schwindelanfälle, Metallgeschmack, Stockschnupfen mit Vereiterungen (Quecksilberschnupfen) und Blutarmut auftreten. Ebenso charakteristisch sind eine nervöse Reizbarkeit, Tremor (besonders Zitterschrift), erschwertes Sprechen und abnehmende geistige Leistungsfähigkeit.

Bei organischen Quecksilberverbindungen wie Methylquecksilber, steht ebenfalls nach monatelanger Latenzperiode eine Schädigung des zentralen Nervensystems im Vordergrund, mit Symptomen wie Missempfindungen, Gesichtsfeldeinengungen sowie Sprach- und Koordinationsstörungen.

Bei Kindern und Säuglingen treten Entwicklungsschäden am zentralen Nervensystem auf, da Methylquecksilber die Plazentaschranke leicht überwinden kann (Fuhrmann, 2006).

Es sind mehrere Mechanismen möglich, wodurch das sich entwickelnde Gehirn geschädigt werden könnte. Dazu gehören z.B. Umbau in Mikrotubuli, oxidative Schädigung von Neuronen, Beeinträchtigung der neuronalen und glialen Kalziumhomöostase sowie eine Potenzierung der durch Glutaminsäure ausgelösten Erregungsübertragung zwischen den Nervenzellen. Der Eingriff in Mikrotubuli wirkt sich auch auf Mitose, Wanderung, und kortikaler Organisation von Neuronen aus. Als besonders empfindlich erscheint die pränatale Phase. Allerdings finden diese Prozesse auch postnatal statt. Methylquecksilber besitzt eine starke Affinität zu Sulfhydrylgruppen, welche in Proteinen und Glutathion vorkommen. Wenn Methylquecksilber an diese Gruppen bindet, können gravierende Veränderungen von anabolen Prozessen und der Proteinsynthese ausgelöst werden. Durch Inaktivierung von sulfhydrylhaltigen Enzymen, kann Methylquecksilber in den zellulären Metabolismus und die zelluläre Funktion

eingreifen. Ebenso wurde eine übermäßig beschleunigte Entstehung von reaktiven Sauerstoffspezies bei Anwesenheit von Methylquecksilber beobachtet. In experimentellen Tierversuchen konnte eine Induktion von Chromosomenanomalien nachgewiesen werden (Myers et al., 2009).

Es liegt strenge epidemiologische Evidenz für das neurotoxische Potential von Quecksilber, unter Umweltbedingungen mit hohen akuten oder chronischen Aufnahmen, vor. Dies veranlasste zur Durchführung zahlreicher prospektiver und epidemiologischer Querschnittstudien. Dabei wurden Populationen ausgewählt, die bekannter Weise einem besonders hohen Risiko durch Langzeitaufnahme, vor allem von Methylquecksilber aus Konsum von Fisch und Meeresfrüchten, ausgesetzt sind. Insbesondere die Seychellen-, Neuseeland- und Färöer-Insel-Studie führten zu wichtigen Erkenntnissen (Holmes et al., 2009).

Die Seychellen-Studie aus den 1980er Jahren (Seychelles Child Development Study) ist eine longitudinale Kohortenstudie mit 779 Kindern von Müttern, welche ausreichende Fischmahlzeiten während der Schwangerschaft konsumierten. Bei den untersuchten, mütterlichen Haarproben wurden durchschnittliche pränatale Expositionsgehalte von 6.8 ppm ermittelt (Davidson et al., 2010).

In der Studie wurden mögliche Auswirkungen einer Quecksilberaufnahme während der Schwangerschaft untersucht. Es konnte jedoch kein Zusammenhang zwischen dem Quecksilbergehalt in mütterlichen Haarproben und den vier untersuchten Kennzahlen hinsichtlich Neuroentwicklung nachgewiesen werden. In dieser Studie wurde aber kein Abgleich mit möglichen Vorteilen durch Fischkonsum vorgenommen (Holmes et al., 2009).

In einer Follow-up Studie wurden mögliche Zusammenhänge zwischen schulischer Leistung und sowohl pränataler als auch kürzlicher Methylquecksilberaufnahmen untersucht. Auch hier konnten keine Zusammenhänge festgestellt werden. Bei einer Untergruppe des

Studienkollektivs wurden bei einem Leistungstest jedoch nachteilige Zusammenhänge zwischen Prüfungsbewertungen und kürzlicher Quecksilberaufnahmen beobachtet - allerdings nur bei männlichen Teilnehmern. Dieses Ergebnis war überraschend - für eine mögliche Bestätigung sind weitere Studien, welche auch andere Lernfaktoren mit einbeziehen, nötig (Davidson et al., 2010).

Eine neuseeländische, prospektive Kohortenstudie (New Zealand Cohort Study) aus dem Jahre 1980 untersuchte 1000 werdende Mütter, welche mindestens drei Fisch- oder Meeresfrüchtemahlzeiten pro Woche während der Schwangerschaft zu sich nahmen. Die Quecksilbergehalte in den Haarproben der Mütter betrugen in der Gruppe mit der höchsten Exposition 6 µg Hg/g. Später wurde eine Gruppe von je 31 gering exponierten Kindern mit der Gruppe von hoch exponierten Kindern (jeweils im Alter von 4 Jahren) verglichen. Hierbei wiesen Kinder aus der höher exponierten Gruppe schlechtere Testergebnisse beim „Denver Development Screening Test“ auf, nachdem zuvor beeinflussende Faktoren (z.B. Geburtsort etc.) abgeglichen wurden. Im Alter von 6 Jahren wurden diese Kinder nochmals untersucht, und es konnte ein verminderter Intelligenzquotient in Zusammenhang mit mütterlichen Haargehalten bei der höher exponierten Gruppe nachgewiesen werden (Holmes et al., 2009).

Auf den Färöer Inseln wurde ebenfalls eine Kohortenstudie mit 1022 Kindern durchgeführt, um mögliche Zusammenhänge zwischen dem Haargehalt in Müttern und Auswirkungen auf die Neuroentwicklung von Kindern aufzuspüren. Diese Population ist traditioneller Weise mit dem Fischfang verbunden und in der Studie wurde ein regelmäßiger Konsum von Pilotwal-Fleisch erhoben. Auch hier konnten Beeinflussungen wie sinkende Aufmerksamkeit oder geringere motorische Geschwindigkeit festgestellt werden.

Vermutlich sind die hohen Gehalte auf die großen Mengen konsumierten Walfleischs zurückzuführen, allein durch Fischkonsum sind keine so hohen Werte zu erwarten. In einem kritischen Rückblick hinsichtlich pränataler Quecksilberaufnahme wurden 12 epidemiologische Humanstudien bewertet, die

seit 1980 publiziert wurden. Dabei wiesen die Autoren auf uneinheitliche sowie widersprüchliche Ergebnisse hin. Auf Basis der derzeitigen Evidenz kann nicht eindeutig festgestellt werden, ob pränatale Quecksilberexposition zu einer Entwicklungsabnormität bei Populationen mit fischreicher Ernährung führen kann. Es sind weitere Untersuchungen, auch hinsichtlich des Studiendesigns (verwendete Biomarker, Methoden etc.) notwendig (Holmes et al., 2009).

3.6.7 Feersche Krankheit (Akrodynie)

Bei Personen, die an der Feerschen Krankheit leiden, kann immer eine erhöhte Quecksilberexposition beobachtet werden. Sie tritt fast ausschließlich bei Kleinkindern, manchmal auch noch im Jugendalter auf. Der Zusammenhang der Feerschen Krankheit mit einer Quecksilberkontamination wurde ca. im Jahr 1950 entdeckt. Seitdem ist die Krankheit zwar selten geworden, aber dennoch nicht ganz verschwunden. Bis Mitte des vergangenen Jahrhunderts war diese Krankheit, bedingt durch den Einsatz von quecksilberhaltigen Pharmaka, häufiger anzutreffen. Heute tritt sie sporadisch auf, verursacht durch z.B. verschüttetes metallisches Quecksilber und daraus resultierende Quecksilberdämpfe. Bei Kleinkindern sind vorwiegend das Nervensystem und die Haut betroffen.

Untersuchungen zeigten, dass die Krankheit nach Exposition mit metallischem Quecksilber und anorganischen Salzen, nicht aber durch organische Quecksilberverbindungen ausgelöst wird. Bei Kindern auf den Färöern Inseln wurden relativ hohe Blutkonzentrationen, bedingt durch organische Quecksilberverbindungen aus Fischverzehr, festgestellt. Doch weder bei diesen Kindern, noch nach der Intoxikation in Minamata wurde das Auftreten der Feerschen Krankheit bei Kindern beobachtet. Somit ist durch Fischkonsum kein erhöhtes Risiko für die Feersche Krankheit festgestellt worden.

Die häusliche Verwendung von Quecksilber sollte jedoch aufgrund immer wieder auftretender Unfälle, z.B. durch zerbrochene Fieberthermometer oder Messgeräte, nicht mehr akzeptabel sein (Mühlendahl, 2008).

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über Toxikokinetik und Toxizitätsprofile von Quecksilber.

Tab. 5: Überblick über Toxikokinetik und Toxizitätsprofile im menschlichen Körper für die verschiedenen Formen von Quecksilber (Holmes et al., 2009).

Parameter		Type of mercury		
		Elemental	Inorganic	Organic (MeHg)
Toxicokinetic profile				
Absorption	Inhalation	High (approximately 80%)	Uncertain	High (approximately 95%)
	Oral	Minimal (approximately 0.01%)	Potentially significant (2–38% depending on compound and conditions)	High (approximately 95%)
	Dermal	Very limited (2.6%)	Limited	Uncertain
Excretory route	Main	Faeces (>50%) and urine (<50%)	Faeces and urine (urinary excretion predominant at high exposures)	Faeces (approximately 90%; in inorganic form)
	Secondary	Exhalation, sweat, saliva, transplacental transfer	Exhalation, sweat, saliva, breast milk; transplacental transfer (minimal)	Exhalation, saliva, sweat (as inorganic); Breast milk (as organic at approximately 5% maternal blood level) and transplacental transfer
Half-life of elimination		Approximately 60 days	Approximately 25 days (depending on compound)	70–80 days
Toxicity profile				
Acute toxicity	Potential for lethal effects	Well tolerated orally up to 240 g; symptoms of respiratory distress at 1.1–44 mg/m ³ (equivalent urine levels of 169–520 µg/L)	Death may occur at oral dose of 10–> 50 mg Hg/kg or ingestion of approximately 1 g mercury salt; gastrointestinal tract and renal lesions at necropsy	Potential lethal dose of 100 mg
	Respiratory system	Pulmonary changes may occur after vapour inhalation	Pulmonary changes may occur after oral exposure	–
	Gastrointestinal tract	Irritation and disturbance may occur after oral ingestion	Irritation and disturbance may occur after oral ingestion, particularly with mercuric chloride	–
	Cardiovascular system	Vapour inhalation may lead to hypertension and tachycardia	Oral ingestion may lead to hypertension and tachycardia	–
	Liver	Hepatocellular toxicity may develop in some individuals		
	Kidney	Dose-related effects may occur (proteinuria, haematuria, acute renal failure)	Dose-related effects may occur (oliguria, anuria, acute renal failure)	
	Neuromuscular and neurological	Inhalation may lead to tremor and irritability	Skeletal muscle wasting noted after high oral doses in some individuals	
	Possible dose-relationships	At urine levels (µg/L) of: 21–39—no apparent effects; 40–60—limited neurobehavioural changes > 60—respiratory effects may be manifest		At blood levels (µg/L) of: <10—no apparent effects; 50–100—non-specific 'feeling unwell' in adults and possible neurological changes in children; 100–200—neurological and neuromuscular impairment; >200—increased prevalence/severity in adults and delay in child development
	Irritation and sensitization potential	Erythema and puritic skin rashes may occur irrespective of route; Vapour exposure leads to ocular irritation	Erythema and puritic skin rashes may occur, irrespective of route; dermal exposure may result in contact dermatitis	Some individuals sensitised to inorganic mercury may show cross-reactivity at Patch testing
	Chronic toxicity			
	Gastrointestinal tract		Very long-term ingestion of mercurous chloride associated with colitis. Exposure of children to mercurous chloride caused effects (e.g. swollen gums, excess salivation, anorexia, diarrhoea or abdominal pain)	
	Respiratory system	Chronic cough may occur under long-term inhalation exposure conditions		
	Haematology	Some changes occur in some individuals		
	Cardiovascular system		Possible increase in risk of myocardial infarcts suggested by some studies on adults	Possible increase in risk of myocardial infarcts suggested by some studies on adults; limited evidence of <i>in utero</i> exposure leading to elevation of blood pressure during childhood
	Thyroid	Limited evidence of impairment of function at urine level of 15–30 µg Hg/g creatinine		
	Kidney	Changes (proteinuria and enzymuria only at lower doses) of increasing severity detectable at urine levels of > 5–10 µg Hg/g creatinine or above; possible threshold for clear toxicity at 35 µg Hg/g creatinine (approximately 25–30 µg Hg/m ³) for adults	Changes (proteinuria and enzymuria at low doses, possible renal failure at high doses) of increasing severity at urine levels of > 5–10 µg Hg/g creatinine or above; possible threshold for clear toxicity at 35 µg Hg/g creatinine (approximately 25–30 µg Hg/m ³) for adults; very long-term ingestion of mercurous chloride associated with renal failure	Organic mercury compounds generally well tolerated and historically used medically as diuretics
	Neuromuscular and nervous systems	Subtle CNS changes noted after long-term (occupational) exposure to >20 µg/m ³ (equivalent to 4.8 µg/m ³ per 24 h); minor neurological changes noted at (occupational) exposures of 0.1 mg/m ³ ; subclinical neuromuscular change detected at urine level of 60 µg Hg/g creatinine (following exposure to 50 mg Hg/m ³ or above); tremor, fasciculation, myoclonus and muscle pain may occur at higher levels	Subclinical changes detectable at (occupational) exposures of greater than 50 mg Hg/m ³ ; clear neuromuscular impairment noted in some individuals at higher exposure levels; very long-term ingestion of mercurous chloride associated with dementia; exposure of children to mercurous chloride caused irritability, weakness, insomnia, photophobia, muscle twitching or confusion	Possible threshold for paraesthesia identified as 24–48 µg/dL blood; Mild, moderate or severe paraesthesia (and other effects) apparent at 120–600, 200–600 or 400–1600 mg/kg hair, respectively

(continued on next page)

Parameter	Type of mercury		
	Elemental	Inorganic	Organic (MeHg)
Reproductive organs and function (adult)	No consistent evidence of effect. Limited reports of oestrus disturbance associated with occupational exposure	No consistent evidence of effect; limited reports of elevated risk of spontaneous abortions and other impairments associated with occupational exposure	No consistent evidence of effects, although some apparent changes (e.g. elevated stillbirths, altered oestrus cycles) reported in highly exposed populations
Developmental (foetus/children)			<i>In utero</i> exposure may lead to neurobehavioural impairment (potentially profound e.g. Minamata disease) at high exposure (e.g. offspring blood levels of 319–422 ng Hg/L. Most sensitive estimate of an effect-threshold (based on BMDL ¹) from epidemiological studies are: 58 ppb in cord blood in Faroe Island study; 21.6–26.6 ppm in maternal hair in Seychelles study; 7.4–10 mg/kg in maternal hair in New Zealand study
Genotoxicity	No consistent evidence of effect	No consistent evidence of effect	
Cancer	No consistent evidence of effect	No consistent evidence of effect	Possible human carcinogen (IARC Group 2B)

¹ BMDL- Bench mark dose lower confidence limit.

*(Pschyrembel, 2002).

3.7 Therapie

Unter einem Antidot (Gegengift) versteht man eine Substanz, die mehr oder weniger spezifisch die Toxizität von einem aufgenommenen Gift aufheben oder zumindest herabsetzen kann.

Zu den wichtigsten Antidoten bei der Schwermetallvergiftung gehören die Chelatbildner. Als Chelate werden Komplexverbindungen von mehrwertigen Schwermetallen bezeichnet - bei diesen gehen mehrere Bindungsstellen eines Moleküls mit einem Metallatom eine Bindung ein. Somit entsteht eine spezielle Art von Komplex, genannt Chelat.

Allerdings kann ein Schwermetall auch durch bestimmte Nebenreaktionen an der Komplexbildung mit dem Chelatbildner gehindert werden. Dazu gehören z.B. die Komplexbildung mit einer Reihe körpereigener Substanzen wie Glutathion, SH-hältige Aminosäuren, Proteine und Membrane oder die Änderung der Affinität eines Schwermetalls durch Oxidation und Reduktion (Fuhrmann, 2006).

Therapieziele bei der Entgiftung von Schwermetallen:

- Loslösung der Schwermetalle aus funktionell wichtigen Bindungsstellen indem eine höhere Affinität zum Chelatbildner hergestellt wird,
- Abfangen und Inaktivierung von zirkulierenden Schwermetallen,
- Mobilisierung von Metallen aus ihren Depots - dort liegen sie in ihrer nicht-aktiven Form vor,
- rasche Ausscheidung der gebildeten Schwermetall-Chelate über Harn, Galle oder Kot (Fuhrmann, 2006).

Bei einem Chelatbildner werden grundsätzlich bestimmte Eigenschaften vorausgesetzt, diese lauten:

- hohe Bindungskonstante für das toxische Schwermetall,
- gute Löslichkeit und leichtes Vordringen bis zu den Bindungsstellen,
- gute Harn- und Gallengängigkeit sowie eine Stabilität bis pH 4 (Urin),
- geringe Toxizität für den Organismus (Fuhrmann, 2006).

Bei der angewendeten Therapie müssen weitere Richtlinien befolgt werden. Nachdem sich das Metall und der Chelatbildner gegenseitig entgiften - soll die Dosierung des Chelators so gewählt werden, dass sie sich an der aufgenommenen Schwermetallmenge orientiert. Zusätzlich muss auf mögliche Nebenwirkungen und Verluste an essentiellen körpereigenen Schwermetallen wie z.B. Kalzium geachtet werden. Ebenso muss die Ausscheidung über Harn und Kot ständig überwacht werden.

Die Chelatbildner nehmen eine besonders wichtige Rolle bei der Entgiftung von Schwermetallen ein und können aufgrund des Prinzips der gleichzeitigen Entgiftung und Ausscheidung durch kein anderes Verfahren ersetzt werden.

Ein hoch wirksames Antidot ist BAL (British Anti Lewisit), welches sich aus der Kampfstoff-Chemie entwickelt hat.

Um eine Beschleunigung der renalen Ausscheidung von ionischem Quecksilber zu erreichen, eignen sich die Chelatoren BAL (Dimercaprol), DMPS

(Dimercaptopropansulfonsäure), DMSA (Dimercaptosuccinic acid, Dimercaptobernsteinsäure), und D-Penicillamin (2-Amino-3-methyl-3-thiobuttersäure). Diese sind aber nur anwendbar, solange die Nierenfunktion noch intakt ist (Fuhrmann, 2006).

Bei eingeschränkter Nierenfunktion kann auch eine Hämodialyse erforderlich werden (Wegner, 2002).

Der Einsatz von Chelatoren nach Vergiftungen mit organischen Quecksilberverbindungen ist aufgrund einer beschleunigten Einschleusung von Quecksilber in das zentrale Nervensystem nicht möglich (Fuhrmann, 2006).

3.8 Antagonisten

Auf der einen Seite akkumulieren toxische Spurenelemente im Organismus weil sie die Resorptions- und Speichermechanismen der essentiellen Spurenelemente zum Teil mitbenutzen können – auf der anderen Seite scheint eine gute Versorgung mit Eisen, Zink, Selen und Kupfer vor erhöhter Schwermetallaufnahme zu schützen. Eine ausgewogene Ernährung und gute Versorgung mit Spurenelementen können dazu beitragen, eine mögliche Belastung gering zu halten.

Bei Quecksilber konnte eine antagonistische Wirkung durch Selen und Vitamin E beobachtet werden (Lobner, 2009).

Tab. 6 (Auszug): Toxische Spurenelemente und ihre Antagonisten in Lebensmitteln (Lobner, 2009).

Schwermetall	Lebensmittel (hohe Gehalte)	Antagonist	Lebensmittel
Blei	Cerealien, Gemüse (besonders oberirdisch wachsende Sorten), Obst, tierische Lebensmittel, v.a. Leber, Nieren.	Kalzium Phosphat, Zink, Eisen, Vitamin D	Milch und Milchprodukte, Fleisch, Eier, Mohn Sesam, Haselnüsse.
Quecksilber	Meeresfische wie Schwertfisch, Pfeilhecht, Haifisch.	Selen, Vitamin E	pflanzliche Öle (Weizenkeim-, Sonnenblumen-, Rapsöl).

Einige Studien geben Hinweise, dass Selen möglicherweise fähig ist, negative Effekte durch Quecksilber zu verhindern (Boening, 2000).

Selen (Se) ist ein essentielles Spurenelement für Mensch und Tier und wirkt auf den toxischen Metallmetabolismus, speziell auch bei Quecksilber. Es besitzt die Fähigkeit, toxische Effekte zu minimieren sowie die Elimination und Detoxifikation zu stimulieren.

Carvalho et al. (2009) untersuchten die Verteilung und Bioakkumulation von sowohl Hg als auch Se in Fischgeweben vom Nilbarsch (*Oreochromis niloticus*). Die Nieren stellten das Hauptzielorgan für die Aufnahme von sowohl Quecksilber als auch Selen dar, und die Anwesenheit von Quecksilber induzierte gleichzeitig die Selenelimination aus der Leber. Die Quecksilberbioakkumulation in Kiemen, Milz und Herz war bei Anwesenheit von Selenat (Se^{6+}) höher als bei Selenit (Se^{4+}). Bei Anwesenheit von Selen, wurde bei beiden Oxidationsstufen (Selenit und Selenat), ein systematischer Trend für steigende Hg-Konzentrationen in der Niere beobachtet.

Der Quecksilberentgiftungsprozess findet in Leber und Erythrozyten statt, mit anschließender Akkumulation von Hg^{2+} in den Nieren. Die abfallende Konzentration von Selen in der Leber vom Nilbarsch kann möglicherweise mit diesem Mechanismus in Verbindung gebracht werden. Folglich könnte der Entgiftungsprozess von Hg in Leber und Niere möglicherweise der Metallbindung zu Metallothionein oder anderen Thiolresten, wie Glutathion und Protein-Thiolen, zugeschrieben werden (Carvalho et al., 2009).

Auch Li et al. (2010) erwähnen in ihrem Rückblick einen Zusammenhang von Selen und Methylquecksilber. Bei gleichzeitiger Anwesenheit kann es zur Bildung von Selen-Methylquecksilberkomplexen kommen. Ein bekannter Zusammenhang zwischen dem Metabolismus von Selen und Methylquecksilber ist das Thiolgruppen-enthaltende Peptid Glutathion. Bei einer Studie mit Bergbauarbeitern fand man erhöhte Werte von Selenoprotein und Glutathion-Peroxidase bei gleichzeitiger Quecksilberexposition, im Vergleich mit der Kontrollgruppe. Selenoproteine binden möglicherweise mehr Quecksilber durch die Selenol-Gruppen. Ihre antioxidativen Eigenschaften helfen die reaktiven

Sauerstoffspezies, welche durch Quecksilber induziert wurden, zu eliminieren. In zahlreichen Studien wurde eine Interaktion zwischen Selen und Methylquecksilber geprüft. Obwohl in keiner epidemiologischen Studie eine Korrelation zwischen Selenaufnahme und dem Vorkommen oder Ausbleiben von Symptomen einer Methylquecksilbervergiftung gezeigt werden konnte, bleibt die Rolle von Selen bei der Vergiftung bestehen (Li et al., 2010).

Ein gesundheitlicher Einfluss von Quecksilber basiert unter anderem auf einer Inaktivierung von Selenoprotein, welche wiederum durch adäquate Selenaufnahme kompensiert werden kann. Selen ist vermutlich in der Lage, eine Akkumulation von Quecksilber im Fischgewebe zu reduzieren, gleichzeitig stellen Fisch und Meeresfrüchte eine ergiebige Selenquelle dar.

Der protektive Effekt von Selen ist möglicherweise mitverantwortlich für widersprüchliche Studienergebnisse hinsichtlich Quecksilberaufnahme, Neuroentwicklung von Kindern und dem Zusammenhang von einer Quecksilberexposition und dem kardiovaskulären Risiko.

Eine potentielle Selen-Quecksilber-Interaktion würde wesentliche Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheitspolitik haben, und weitere Forschung ist auf diesem Gebiet notwendig (Mozaffarian and Rimm, 2006).

Cabañero et al. (2007) analysierten die Gesamtkonzentration sowie die vorliegende Form von Quecksilber und Selen in häufig konsumierten Fischen (Thunfisch, Schwertfisch, Sardine). Der Methylquecksilbergehalt in Fischen lag bei den Untersuchungen über 90% des Gesamtquecksilbers. Die Ergebnisse zeigten, dass bei allen untersuchten Proben das Se/Hg Verhältnis signifikant höher als eins war; das Maximum wurde bei Sardinen ermittelt.

Die Bioverfügbarkeit von Selen und Quecksilber war, aufgrund unterschiedlicher Abbau-Effektivität der Nahrung und der anschließenden Abgabe dieser Elemente, von der analysierten Fischart abhängig. Ein simulierter Verdauungsvorgang des menschlichen Magen-Darm-Trakts zeigte eine hohe Selen-Bioverfügbarkeit, jedoch nur geringe Quecksilber-Bioverfügbarkeit. Außerdem wurde in keiner Probe während des Verdauungsvorgangs eine Veränderung der Selen- oder Quecksilberform

beobachtet. Aus diesem Grund könnte die potentielle Toxizität von Methylquecksilber im Fisch, z.B. Thunfisch, signifikant durch einen antagonistischen Effekt von Selen vermindert werden. Der günstigste Fisch für den menschlichen Konsum könnte zusätzlich durch eine Kalkulation des molaren Se/Hg Verhältnisses ermittelt werden.

Somit empfiehlt sich hinsichtlich eines potentiellen Risikos nicht allein die Analyse des Gesamtquecksilbers und Methylquecksilbers zu berücksichtigen. Auch durch den Selen-Gehalt können wichtige Erkenntnisse gewonnen werden, da dieser die Hg-Bioverfügbarkeit signifikant beeinflussen könnte (Cabañero et al., 2007).

3.9 Grenzwerte

Hinsichtlich Höchstmengen und Aufnahmegrenzen für Quecksilber unterliegen Fische der EU-Verordnung Nr. 466/2001 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. Diese besagt, dass der Hg-Gehalt von Fischereierzeugnissen den Höchstgehalt von 0,5 mg/kg Frischgewicht nicht überschreiten darf. Für stärker belastete Arten wie fettreiche Fische und Raubfische (z.B. Seeteufel, Barsch, Bonito, Heilbutt, Hecht, Rotbarsch, Haifisch, Schwertfisch und Thunfisch) wurde der obere Grenzwert von 1 mg/kg festgesetzt. Vom National Research Council in den USA (US-NRC) wird eine wöchentliche Aufnahmegrenze (intake limit) von 0,7 µg/kg Körpergewicht für den Verbraucher angegeben.

Beim Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) liegt der Wert der vorläufig tolerierbaren wöchentlichen Aufnahme von Methylquecksilber bei 1,6 µg/kg Körpergewicht (Widhalm et al., 2007).

Allgemein wurde für Quecksilber eine duldsame wöchentliche Aufnahmemenge für Erwachsene von 300µg festgelegt, wobei nicht mehr als 200µg als Methylquecksilber vorkommen sollten (Schweinsberg, 2003).

Das wissenschaftliche Gremium für Kontaminanten in der Lebensmittelkette (CONTAM) der EFSA wurde von der Europäischen Kommission um eine

Einschätzung des Gesundheitsrisikos in Lebensmittel durch Quecksilber, speziell Methylquecksilber, gebeten. Als Basis dienten die für Europa geschätzten Aufnahmemengen.

Das Gremium konzentrierte sich auf die Einschätzung von Methylquecksilber in Lebensmitteln, da dieses toxischer ist als anorganisches Quecksilber. Dabei wurde die vorläufig duldsame wöchentliche Aufnahmemenge (Provisional Tolerable Weekly Intake = PTWI) für Methylquecksilber berücksichtigt. Diese wurde vom gemeinsamen Sachverständigenausschuss für Lebensmittelzusatzstoffe (JECFA), der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) festgelegt. Weiter berücksichtigte das Gremium die festgelegten Aufnahmegrenzen vom Nationalen Forschungsrat der USA (US-NRC) (EFSA, 2004).

Als Hauptaufnahmequellen des Menschen für Methylquecksilber gelten Fisch und Meeresfrüchte. Auch wenn die durchschnittlichen geschätzten Aufnahmemengen von Methylquecksilber für europäische Verbraucher niedriger waren, näherten sie sich teilweise dem von der JECFA festgelegten PTWI-Wert und überschritten den vom US NRC festgesetzten Grenzwert.

Nachdem die Exposition mit Methylquecksilber als besonders kritisch während der Schwangerschaft und frühen Kindheit eingeschätzt wird, empfahl das Gremium weitere Studien über die Aufnahme von Quecksilber über die Nahrung bei diesen besonders gefährdeten Bevölkerungsgruppen einschließlich Kindern und Frauen im gebärfähigen Alter durchzuführen.

Aufgrund der Schlussfolgerungen des CONTAM-Gremiums empfiehlt die EFSA, die von den nationalen Behörden für Lebensmittelsicherheit in einigen Mitgliedsstaaten ausgegebenen Empfehlungen hinsichtlich Fischverzehr einzuhalten. Damit sollen Menschen in besonders empfindlichen Lebensphasen, wie ungeborene Kinder, gestillte Säuglinge sowie Kleinkinder, geschützt werden (EFSA, 2004).

Fisch trägt wesentlich zu einer ausgewogenen Ernährung bei und deshalb empfiehlt die EFSA für Frauen im gebärfähigen Alter (besonders mit

Kinderwunsch), schwangeren und stillenden Frauen sowie Kleinkindern, aus dem breiten Angebot an Fischarten, jene zu meiden, die am Ende der Nahrungskette stehen (Raubfische wie z.B. Schwertfisch, Thunfisch) (EFSA, 2004).

3.10 Analytik

Quecksilber ist im Erdboden hauptsächlich als Sulfid fixiert. Im aquatischen Milieu wird es hingegen durch mikrobiologische Methylierungsreaktionen zu organischen Quecksilberverbindungen, den stark toxischen Methylquecksilberverbindungen, umgewandelt. Diese reichern sich leicht in der Nahrungskette an, da sie stark lipophil und gut resorbierbar sind.

Aus diesem Grund ist eine ständige Kontrolle von Qualität und Sicherheit unumgänglich. Die Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) ist dafür die beste Methode und wird von keiner anderen Analysenmethode übertroffen. Speziell die sogenannte Kaltdampftechnik (CV-AAS, Cold Vapour-AAS) wird zur Quecksilberbestimmung angewendet (Matissek et al., 2010).

Prinzip der Methode

Zunächst wird das Probenmaterial chemisch aufgeschlossen, weiters wird das Quecksilber aus alkalischer Lösung nach Reduktion mit Zinnchlorid-Lösung an Goldwolle amalgamiert und durch Messung der Absorption bei 253,7 nm mittels Graphitrohr-AAS bestimmt. Die Durchführung erfolgt wie in Kapitel 2.2. erläutert (Matissek et al., 2010).

Die Verordnung (EG) Nr. 333/2007 der Kommission legt Standards für Probenahmeverfahren und Analysemethoden für die amtliche Kontrolle des Gehalts an Blei, Cadmium, Quecksilber, anorganischem Zinn, 3-MCPD und Benzo(a)pyren in Lebensmitteln fest. Dabei sind genaue Richtlinien hinsichtlich

- Probenahmeverfahren: z.B. Personal, Versiegelung und Kennzeichnung der Probe, Verpackung und Versand der Probe, etc.

-
- Probenvorbereitung und Probenanalyse: z.B. Laborqualitätsstandards, Spezifische Verfahren für Blei, Cadmium, Quecksilber und anorganischem Zinn, etc.
 - Darstellung und Interpretation der Ergebnisse: Angabe der Ergebnisse, Messunsicherheit, etc.

einzuhalten (Kommission, 2007).

Aufgrund unterschiedlicher Toxizität sowie verschiedenen biologischen und präventiven Konsequenzen, ist es oft unerlässlich, die vorhandene Quecksilberform in der Probe zu kennen. Erfahrungen haben gezeigt, dass Quecksilber in Fischen meist (75-95%) in Form von Methylquecksilber vorliegt. Aus diesem Grund und da eine Speziesbestimmung keinen trivialen Prozess darstellt, ist es meist üblich das Gesamtquecksilber zu analysieren und anzunehmen, dass es sich in der Methylform befindet. In anderen Fällen muss die Anwesenheit und der Gehalt von Methylquecksilber zur Risikoabschätzung ermittelt werden. Dazu sind verbesserte und effektive Bestimmungsmethoden wünschenswert.

Um den Gesamtquecksilbergehalt zu analysieren, ist eine Vielfalt von Techniken verfügbar. Dazu gehören z.B. Kaltdampf-Atomabsorptionsspektrometrie (CV-AAS) und induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS). Standard CV-AAS bietet gewünschte Ergebnisse im ppb-Bereich. Dies erfordert jedoch eine destruktive Probenvorbereitung (üblicherweise Wärme oder Säure), wobei möglicherweise flüchtiges Quecksilber verloren geht. Einige neue Geräte erlauben direkte Pyrolyse (thermische Zersetzung) von flüssigen oder festen Proben und bieten die Aussicht auf eine Messung im ppt-Bereich.

Die Röntgenfluoreszenz ermöglicht eine nicht-destruktive Analyse von Quecksilber in Feststoffen, und kann für Haarproben zur Segmentanalyse verwendet werden. Auf diesem Weg kann die zeitliche Abfolge der Exposition abgeschätzt werden (Gochfeld, 2003).

Der Blutquecksilbergehalt gilt, besonders bei hoher Exposition, als nützlicher Kurzzeit-Marker (Blut-Halbwertszeit von ca. 3 Tagen) und wird vor allem für berufsbedingte Expositionsstudien verwendet.

Allerdings wird das Expositionslevel bei einer nur einmaligen Zeitpunktmessung einer Reihe von signifikant beeinflussenden Faktoren unterworfen und kann sich möglicherweise auf die Größe eines eventuell bestehenden Messfehlers auswirken. Dazu zählen besonders Frequenz, Größe und Dauer der Exposition. Trotzdem gelten Blutquecksilbergehalte als am besten geeignet zur Messung der letzten Exposition. Der Quecksilbergehalt in Haaren bietet Informationen hinsichtlich Langzeitaufnahmen und vergangener Exposition.

Die Gesamtquecksilbergehalte in roten Blutzellen und Haaren sind gute Vertreter des Methylquecksilbergehalts, während gesamtes Urinquecksilber eine Schlussfolgerung auf die anorganische Quecksilberexposition zulässt (Holmes et al., 2009).

Allerdings sollen Überlegungen hinsichtlich einer möglichen Anbindung von Quecksilberdampf aus der Umwelt an das Haar oder Einfluss durch Haarbehandlung und Färbung bei der Messung der Quecksilberkonzentration mit eingebunden werden (Hajeb et al., 2008).

Carbonell et al. (2009) entwickelten eine kosteneffektive Methode zur Analyse von Methylquecksilber in Meeresfischgewebe. Die Besonderheit dieser Methode liegt in der Verwendung von mikrowellenunterstützter Extraktion mit saurer Lösung, Beigabe von Toluol (Methylbenzol) und anschließender Extraktion mit Cystein-Acetat-Lösung. In der Cystein-Acetat-Lösung befindet sich am Ende, aufgrund der Affinität zu Cysteingruppen, nur Methylquecksilber. Sowohl Methylquecksilber in der Cysteinphase als auch Gesamtquecksilber im homogenen Muskelgewebe wurden durch einen direkten Hg-Analyzer (DMA-80) gemessen. Zu den am häufigsten angewendeten Analysetechniken gehören Gas-Chromatographie (GS), Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (GC-ICP-MS), Überkritische Fluidchromatographie (SFC), Ionenaustauschchromatographie (IC),

Hochleistungsflüssigkeitschromatographie-Kaltdampf-AAS (HPLC-CVAAS) oder ICP-MS.

Die von Carbonell et al. (2009) entwickelte Methode kombiniert im Wesentlichen die mikrowellenunterstützte Extraktion mit anschließender Reinigung durch Cystein-Acetat-Lösung und MeHg-Quantifikation durch direkten Hg-Analyzer (DMA).

Der relevanteste Vorteil dieser Methode liegt in den kurzen Durchlaufzeiten (<120 min) hinsichtlich Extraktion und Analyse von einer beachtlichen Anzahl von Proben. Zusätzlich kann eine präzise und schnelle Ermittlung beider chemischer Formen (Gesamt- und Methylquecksilber) im Fischgewebe durch Verwendung des gleichen analytischen Systems ermittelt werden. Dadurch reduziert sich die Variabilität in berichteten Ergebnissen (Carbonell et al., 2009).

3.11 Gehalte in ausgewählten Beispielen

Sowohl Feldstudien als auch Laborexperimente zeigten, dass die Akkumulation von Schwermetallen in Geweben wesentlich von der Metallkonzentration im Wasser und der Expositionsdauer abhängt. Gleichzeitig spielen andere Umweltfaktoren wie Salzgehalt, pH, Wasserhärte und Temperatur eine signifikante Rolle für die Metallakkumulation. Im Gewebe von marinen Lebewesen wird die Akkumulation nochmals von Faktoren wie ökologischen Bedürfnissen, Geschlecht, Größe oder Mauser (z.B. bei Meeresvögeln) beeinflusst. Die Größe spielt eine entscheidende Rolle hinsichtlich des Metallgehalts im Gewebe (Canli and Atli, 2003). Besonders bei Quecksilber ist ein positiver Zusammenhang zwischen Gehalt im Gewebe und Fischgröße gegeben (Canli and Atli, 2003, Widhalm et al., 2007, Mozaffarian and Rimm, 2006).

Die Methylquecksilberkonzentration von Wassertieren ist sowohl stark von der Umweltkontamination als auch von der räuberischen Natur und der Lebensdauer der jeweiligen Spezies abhängig. So wurden bei großen, langlebigen Raubfischen wie zum Beispiel Schwertfisch und Hai immer wieder

sehr hohe Konzentrationen von Methylquecksilber nachgewiesen, während kleinere und kurzlebige Arten, wie zum Beispiel Schalentiere oder Lachs, eher geringere Konzentrationen enthalten (Widhalm et al., 2007).

In den folgenden Tabellen sind die Quecksilbergehalte von häufig konsumierten Fischen und Meeresfrüchten ersichtlich.

Tab. 7a (Auszug): Gehalt an ω -3-Fettsäuren (EPA + DHA), Selen und Quecksilber in häufig konsumiertem Fisch, Fleisch und anderen Lebensmitteln (Widhalm et al., 2007).

	Lebensmittel	Selen pro g(ppm)	Hg pro kg (ppm)
Fisch und Meeresfrüchte	Sardellen, Anchovis	0,68 μ g	< 0,05 mg
	Wels (Farm)	0,15 μ g	< 0,05 mg
	Kabeljau, Dorsch (Atlantik)	0,38 μ g	0,10 mg
	Fischburger (Fast Food)	0,17 μ g	< 0,05 mg
	Fischstäbchen (tiefgekühlt)	0,17 μ g	< 0,05 mg
	Ziegelbarsch (Golf von Mexico)	0,52 μ g	1,45 mg
	Ziegelbarsch (Atlantik)	0,52 μ g	0,14 mg
	Heilbutt	0,47 μ g	0,25 mg
	Hering (Atlantik)	0,47 μ g	< 0,05 mg
	Markrele (Atlantik)	0,52 μ g	0,05 mg

Tab. 7b (Auszug): Gehalt an ω -3-Fettsäuren (EPA + DHA), Selen und Quecksilber in häufig konsumiertem Fisch, Fleisch und anderen Lebensmitteln (Widhalm et al., 2007).

	Lebensmittel	Selen pro g(ppm)	Hg pro kg (ppm)
Fisch und Meeresfrüchte	Königsmakrele	0,47 μ g	0,73 mg
	Mahimahi	0,47 μ g	0,15 mg
	Köhler, Seelachs	0,43 μ g	< 0,05 mg
	Lachs, Salm (Zucht)	0,41 μ g	< 0,05 mg
	Lachs, Salm (Wild)	0,46 μ g	< 0,05 mg
	Sardine	0,53 μ g	< 0,05 mg
	Haifisch	0,34 μ g	0,99 mg
	Schnapper(fisch)	0,49 μ g	0,19 mg
	Schwertfisch	0,62 μ g	0,98 mg
	Forelle	0,15 μ g	0,07 mg

Tab. 7c (Auszug): Gehalt an ω -3-Fettsäuren (EPA + DHA), Selen und Quecksilber in häufig konsumiertem Fisch, Fleisch und anderen Lebensmitteln (Widhalm et al., 2007).

	Lebensmittel	Selen pro g(ppm)	Hg pro kg (ppm)
Fisch und Meeresfrüchte	Thunfisch, leicht (Skipjack)	0,80 μ g	0,12 mg
	Thunfisch, weiß (Albacore)	0,66 μ g	0,35 mg
	Miesmuschel	0,64 μ g	< 0,05 mg
	Krabbe, Krebs	0,40 μ g	0,09 mg
	Hummer	0,43 μ g	0,31 mg
	Muscheln	0,90 μ g	< 0,05 mg
	Auster	0,77 μ g	< 0,05 mg
	Jakobsmuschel	0,28 μ g	< 0,05 mg
	Shrimps	0,40 μ g	< 0,05 mg

Auch Simonin et al. (2008) konnten die Fischgröße als Schlüsselvariable für den Quecksilbergehalt nachweisen. In dieser Studie wurden die Quecksilbergehalte vom Amerikanischen Flussbarsch, Schwarzbarsch, Forellenbarsch und Amerikanischen Zander untersucht. Diese Fische gehören zur Gruppe der Raubfische und die Fischlängen betrugen zwischen 229 mm und 457 mm. Zander stellte hier die größte Fischart dar und wies auch die höchsten Quecksilbergehalte von durchschnittlich 660ng/g auf (n= 260) (Simonin et al., 2008).

Julshamn et al. (2006) untersuchten die Quecksilbergehalte im Grönland-Heilbutt nachdem im November 2005 Gehalte über den maximal von der EU erlaubten Grenzwerten von 0,5 mg/kg Frischgewicht nachgewiesen wurden. Von den 65 analysierten Fischen (Grönland-Heilbutt), erreichten 15 Exemplare, alle mit einem Gewicht von über 3 kg, Quecksilber-Fischmuskelkonzentrationen über der erlaubten Höchstgrenze. Grönland-Heilbutt kommt in Tiefen von 200-2000m vor, wächst sehr langsam und erreicht Längen von ca. 80-130cm. Junge

Fische ernähren sich zunächst von Krebstieren während größere Exemplare andere Fischarten jagen. Die höheren Quecksilbergehalte ergeben sich also möglicherweise dadurch, dass Fische mit einem Gewicht über 3 kg vielleicht bereits 10 Jahre oder älter sind. Als langlebiger Raubfisch ist dieser der Bioakkumulation von Methylquecksilber ausgesetzt. Kleinere Fische unter 3 kg zeigten keine erhöhten Werte und stellen somit kein Risiko für eine Überschreitung der Grenzwerte dar. Für den Konsument ist entscheidend, dass nur Fische in den Handel gelangen, die die Grenzwerte nicht überschreiten (Julshamn et al., 2006).

Auch in Österreich fanden in den letzten Jahren mehrere Untersuchungen hinsichtlich des Quecksilbergehaltes von handelsüblichen Fischen statt. In den Bundesländern Niederösterreich, Burgenland und Wien wurden 106 Frischfische und Dosenfische von der Veterinärmedizinischen Universität Wien in Zusammenarbeit mit der AGES (Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit) getestet. Dabei fanden sich die höchsten Quecksilbergehalte in Proben von Schwertfisch (5,6 mg/kg) und Haifischfilet (1,9 bzw. 1,7 mg/kg). In vier Fischproben wurde das von der Europäischen Kommission festgelegte Sicherheitslimit überschritten (1mg/kg). Dazu gehörten Haifisch (1,05, 1,20, 1,0, 1,07 mg/kg), Butterfisch (1,12 mg/kg), Schwertfisch (5,6 mg/kg) und Thunfisch (1,6 mg/kg).

Weiters wurden in den Jahren 2000 bis Anfang 2007 von der AGES insgesamt 519 Proben von Meeres- und Süßwasserfischen untersucht. Dabei konnte bei 19 Proben eine Überschreitung der Grenzwerte von 1 mg/kg beobachtet werden – auch hier waren hauptsächlich Hai-Arten und Schwertfisch betroffen. Zu diesem Zeitpunkt ging die AGES von keiner relevanten Quecksilberbelastung bei heimischen Süßwasserfischen aus.

Auch Greenpeace führte im Jahr 2006 eine Untersuchung von bedrohten Fischen aus österreichischen Super- und Großmärkten durch. Die höchsten Konzentrationen fanden sich in Thunfisch (0,29 mg/kg), Rotbarsch (0,22 mg/kg) und Schwertfisch. Der Quecksilbergehalt im Schwertfisch war besonders hoch (5,3 mg/kg Frischfleisch). Der in Österreich gezüchtete Alpenlachs lag mit seinen Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze (Widhalm et al., 2007).

Diese Ergebnisse decken sich mit anderen Studien (Canli and Atli, 2003, Mozaffarian and Rimm, 2006, Julshamn et al., 2006) und allgemeinen Empfehlungen hinsichtlich des Risikos durch Konsum größerer und älterer Raubfischarten wie Schwertfisch, Haifisch, Thunfisch, Heilbutt oder Hecht. (Widhalm et al., 2007).

Tab. 8: Mittlerer Quecksilbergehalt von handelsüblichen Fischen in den österreichischen Bundesländern Wien, Burgenland und Niederösterreich (Widhalm et al., 2007).

	n Probe	Hg pro kg
Butterfisch	3	0,63 mg
Schnapperfisch	1	0,47 mg
Schwertfisch	3	0,42 mg
Atlantischer Heilbutt	2	0,29 mg
Hai	5	0,26 mg
Thunfisch	12	0,19 mg
Rotbarsch	1	0,17 mg
Atlantischer Hering	4	0,15 mg
Dosenthunfisch	37	0,11 mg
Sardellen	1	0,05 mg
Dorsch	2	0,038 mg
Makrele	3	0,036 mg
Seelachs	2	0,033 mg
Sardinen	6	0,014 mg
Seezunge	1	0,03 mg

Suppin et al. (2005) untersuchten insgesamt 93 Frisch- und Dosenfische aus dem österreichischen Einzelhandel der Bundesländer Niederösterreich, Burgenland und Wien. Dabei reichten die Quecksilbergehalte von <0,01 (Bestimmungsgrenze) bis 0,89 mg/kg (jeweils Frischmasse) mit einem Mittelwert von 0,14 mg/kg.

Die höchsten Quecksilbergehalte konnten in Butterfisch (Mittelwert von 0,63 mg/kg), gefolgt von Schwertfisch (Mittelwert von 0,42 mg/kg) und Heilbutt (Mittelwert von 0,29 mg/kg) nachgewiesen werden. Sardinen wiesen die niedrigsten Muskel-Quecksilber-Konzentrationen auf. Die Bestimmung der Quecksilbergehalte in den Fischen erfolgte mittels Kaltdampf-Atomabsorptionsspektrometrie. Als Probenmaterial dienten importierte Fische

aus dem Mittelmeer und Nordatlantik. In dieser Studie konnte kein signifikantes Gesundheitsrisiko durch Blei-, Cadmium- und Quecksilbergehalte, ausgehend von den in Österreich ausgewählten Fischproben, nachgewiesen werden (SUPPIN et al., 2005).

In folgender Tabelle sind Quecksilberdurchschnittswerte aufgelistet.

Tab. 9 (Auszug): Durchschnittswerte für Blei, Cadmium und Quecksilber (mg/kg Feuchtwicht) nach Spezies, N (Probenvolumen) (SUPPIN et al., 2005).

	N	Lead	Mercury
Sardinen (<i>Sprattus sprattus</i>)	6	0,041	0,014
Tunfisch (<i>Thunnus thynnus</i>)	12	0,013	0,19
Thunfischkonserve (<i>Thunnus thynnus</i>)	37	0,014	0,11
Atlantischer Hering (<i>Clupea harengus</i>)	4	0,018	0,15
Sardellen (<i>Engraulis</i>)	1	0,15	0,05
Goldbrasse (<i>Sparus aurata</i>)	1	< 0,02	0,041
Hai	5	0,034	0,26
Makrele	3	0,02	0,036
Steinbutt (<i>Psetta maxima</i>)	1	< 0,02	0,026
Köhler (<i>Pollachius pollachius</i>)	2	< 0,02	0,033
Dorsch (<i>Gadus macrocephalus</i>)	2	< 0,02	0,038
Atlantischer Heilbutt (<i>Hippoglossus hippoglossus</i>)	2	0,02	0,29
Schwertfisch (<i>Xiphias gladius</i>)	3	0,015	0,42
Rotbarsch (<i>Sebastes marinus</i>)	1	< 0,02	0,17
Pangasius	1	< 0,02	0,022
Roter Schnapper (<i>Lutjanus malabaricus</i>)	1	< 0,02	0,47
Europäische Sardelle (<i>Engraulis encrasicolus</i>)	2	0,02	0,057
Buttermakrele (<i>Lepidocybium flavobrunneum</i>)	3	0,021	0,63
Polardorsch (<i>Boreogadus saida</i>)	1	< 0,02	0,014
Europäische Scholle (<i>Pleuronectes platessa</i>)	3	0,05	0,079
Echte Rotzunge (<i>Microstomus kitt</i>)	1	< 0,02	0,03
Strumpfbandfisch	1	0,021	0,18

Der Verein für Konsumenteninformation (VKI) untersuchte im Jahr 2010 in Österreich insgesamt 13 Thunfischprodukte, davon 12 Thunfischdosen und ein Filet im Glas. Von den Herstellern wurden hauptsächlich Skipjack und Gelbflossenthunfisch verwendet. Erfreulicherweise wies keines der untersuchten Produkte Quecksilbergehalte über dem für frisches Muskelfleisch von Thunfischen festgelegten Wert von 1,0 mg Quecksilber pro kg auf.

Fischkonserven enthalten, wie auch in diesem Test, generell meist wenig Quecksilber. Dies liegt daran, dass vor allem kaum belastete Thunfischarten wie Skipjack und Gelbflossenthunfisch sowie kleinere Thunfische verwendet werden (VKI, 2010b).

Ikem und Egiebor führten eine Abschätzung von Spurenelement- und Quecksilbergehalten in Dosenfischen (Makrele, Thunfisch, Lachs, Sardine, Hering) aus Amerika (Georgia und Alabama) durch. Die Quecksilbergehalte lagen alle in einem Bereich von 0,02-0,74 mg/kg Frischgewicht. In den insgesamt 104 untersuchten Fischproben lagen nur drei Thunfischproben beim Quecksilbergehalt über 0,5 mg Hg/kg. Im Vergleich zu anderen Fischarten ist Thunfisch dafür bekannt, höhere Quecksilbergehalte zu akkumulieren. Für Personen die größere Mengen an Thunfisch konsumieren, kann sich dadurch möglicherweise ein erhöhtes Gesundheitsrisiko ergeben (Ikem and Egiebor, 2005).

Beim Blauflossenthunfisch wurden auch unterschiedliche Quecksilbergehalte in Abhängigkeit zum Lebensraum beobachtet. Die drei Hauptlebensräume des Blauflossenthunfischs sind Westatlantik, Ostatlantik und Mittelmeer sowie Pazifik. Besonders im Mittelmeerraum weisen die marinen Lebewesen oft höhere Quecksilbergehalte auf, bedingt durch enorme natürliche Zinnober (HgS)-Ablagerungen. Im Mittelmeer angesiedelte Blauflossenthunfische weisen drei bis vier mal höhere Quecksilberrückstände auf als jene, die vom Atlantik nur zum Laichen kommen (Vizzini et al., 2010).

Auch beim Glatten Hammerhai, der aus dem Mittelmeer stammte, wurden höhere Quecksilberwerte gemessen. Bei Arten mit einer längeren Lebensdauer und fischfressenden Gewohnheiten kann generell von einer höheren Quecksilberbelastung ausgegangen werden (Ruelas-Inzunza and Páez-Osuna, 2005).

Escobar-Sánchez et al. (2010) untersuchten 37 Exemplare des Glatten Hammerhais aus Baja California Sur, Mexiko. Dabei konnte nur bei einem

Exemplar ein Quecksilbergehalt über dem Grenzwert nachgewiesen werden. Bei diesem Exemplar handelte es sich um einen weiblichen Hai, der gleichzeitig auch das größte Exemplar darstellte. Im Muskel fanden sich höhere Gehalte als in Knorpelfasern.

Als generelle Einflussfaktoren werden in dieser Studie Alter, Größe, Quecksilberkonzentrationen im Ökosystem, Nahrungskontamination, Position des Fisches in der Nahrungskette, chemische, biologische und physikalische Prozesse in der aquatischen Umwelt sowie saisonale Unterschiede genannt. Auch der Umstand, dass es sich bei Hammerhaien um migratorische Organismen handelt, trägt zu unterschiedlichen Quecksilberbelastungen bei. Ebenso spielt der Quecksilbergehalt der bevorzugten Beute eines Raubfisches eine wesentliche Rolle (Escobar-Sánchez et al., 2010).

Sowohl Süßwasserfische als auch marine Fische scheinen mit steigendem Alter und Größe auch höhere Methylquecksilberwerte aufzuweisen.

Aufgrund von großen Schwankungen hinsichtlich Messeinheiten, gewählter Spezies, Alter, Geschlecht und Gewebetyp sind jedoch standardisierte Quecksilbermonitoring-Protokolle erforderlich (Chen et al., 2008).

3.12 Risikogruppen

Fisch hat weltweit große Bedeutung als Nahrungsquelle und stellt wichtige Nährstoffe für die Gehirnentwicklung zur Verfügung. Gleichzeitig enthält Fisch aber auch immer einen gewissen Anteil an Methylquecksilber, welches wiederum neurotoxisch wirkt. Gerade das sich entwickelnde Gehirn scheint besonders empfindlich für eine Methylquecksilbertoxizität zu sein. Wenn Mütter während der Schwangerschaft Fisch konsumieren, erfolgt gleichzeitig eine pränatale Exposition des Fötus. Die Gehirnentwicklung findet hauptsächlich im fetalen Stadium statt – wird aber noch über einige Jahre nach der Geburt fortgesetzt. In dieser Zeit kann eine Exposition über Muttermilch erfolgen oder wenn das Kind selbst Fisch konsumiert (Myers et al., 2009).

Auch Frauen im gebärfähigen Alter gehören zu den Risikogruppen. Bei hoher Quecksilberaufnahme akkumulieren entsprechende Mengen über einen gewissen Zeitraum im Körper und können dann bei einer eintretenden Schwangerschaft zur Exposition des Fötus führen (FDA, 2004).

Das fetale Gehirn nimmt sehr rasch an Größe und Komplexität zu. Es besitzt einen Lipidanteil von ca. 50%, hauptsächlich mehrfach gesättigte, langkettige Fettsäuren wie die Docosahexaensäure (DHA). Diese essentiellen Fettsäuren dienen z.B. als Vorstufen von Prostaglandinen, werden in Zellmembrane eingebaut und erfüllen viele weitere wichtige Funktionen im Zentralnervensystem. Besonders hohe Mengen der DHA werden vom sich entwickelnden Gehirn benötigt – allerdings kann der Körper diese nicht selbst in ausreichender Menge synthetisieren. Der größte Teil wird über die Nahrung zugeführt, was eine adäquate mütterliche Aufnahme voraussetzt. Fisch und Meeresfrüchte weisen einerseits einen hohen Anteil an essentiellen Fettsäuren auf, andererseits enthält Fisch auch immer gewisse Mengen an Methylquecksilber. In unterschiedlichen Studien wurden Veränderungen der Neuroentwicklung durch hohe maternale Quecksilberexposition beobachtet (Myers and Davidson, 2007).

Wie bereits erwähnt, kann Methylquecksilber die Plazentaschranke durchdringen und korreliert mit der mütterlichen Exposition. In einigen Studien wurden markante neurologische Entwicklungsstörungen beobachtet, nachdem Kinder während der Schwangerschaft sehr hohen Methylquecksilberkonzentrationen ausgesetzt waren. Besonders bei der Minamatavergiftung und im Irak wurde dies beobachtet.

Das Journal „Lancet“ veröffentlichte 2007 das Ergebnis der großen „Avon Longitudinal Study of Parents and Children“. Dabei wurde bei über 11.000 Frauen aus England der Einfluss von mütterlichem Fischverzehr auf die Neuroentwicklung des Kindes untersucht. In der Studie wurden günstige Effekte bei einem wöchentlichen Verzehr von mehr als 340g Fisch und Meeresfrüchten ermittelt. Im Gegensatz dazu wurde bei geringer oder fehlender Aufnahme ein signifikant höheres Risiko für einen niedrigen verbalen Intelligenzquotienten,

suboptimale Feinmotorik und Kommunikation sowie soziale Entwicklung beobachtet.

Obwohl keine eindeutigen Studienergebnisse hinsichtlich symptomatischer oder subklinischer neurologischer Störungen vorliegen, wurden von entsprechenden Behörden Empfehlungen für Risikogruppen verfasst (Widhalm et al., 2007).

Gundacker et al. untersuchten im Jahr 2002 die Quecksilber- und Bleigehalte in Muttermilch von österreichischen Frauen. Weder für Blei noch für Quecksilber konnte eine Überschreitung von kritischen Gehalten ermittelt werden. Gundacker et al. kamen zu dem Schluss, dass die Vorteile des Stillens ein mögliches Risiko überwiegen (Gundacker et al., 2002).

Im Jahr 2005 fand eine weitere Studie mit 53 Mutter-Kind-Paaren statt. Dabei wurden Blei- und Quecksilbergehalte in mütterlichem Haar und Blut, Plazenta, Nabelschnurblut, Mekonium (erster abgesetzter Stuhl von Neugeborenen*) sowie Muttermilch gemessen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass möglicherweise für Blei und Quecksilber unterschiedliche Transfermechanismen durch die Plazenta bestehen. Es wurden signifikant höhere Quecksilbergehalte im Fötus, im Vergleich zur Mutter, beobachtet.

Aus diesem Grund kann vermutlich ein aktiver Transport durch Aminosäuretransporter über die Plazenta zum Fötus angenommen werden. Der Mechanismus für Blei scheint ähnlich, jedoch waren Nabelschnurgehalte bei Blei deutlich geringer als im mütterlichen Blut. Für ein besseres Verständnis ist weitere Forschung notwendig und beobachtete Ergebnisse müssen durch ein größeres Studienkollektiv bestätigt werden. Hinsichtlich des Quecksilbers waren die Gehalte, mit Ausnahme von Muttermilch und Mekonium, von fetalem Gewebe mit Gehalten in mütterlichem Gewebe häufig korreliert. In Muttermilch wurde kein Methylquecksilber nachgewiesen. Fischkonsum hatte einen signifikanten Einfluss auf Quecksilbergehalte im mütterlichen Haar (Gundacker et al., 2010).

Herreros et al. (2008) untersuchten den Beitrag von Fischkonsum zur Schwermetallbelastung bei spanischen Frauen im gebärfähigen Alter. Zur

Untersuchung wurden Schwertfische (*Xiphias gladius*) und Dianafische (*Luvarus imperialis*) von spanischen Fischmärkten verwendet. Dabei wurde festgestellt, dass 90% der Dianafischproben und 35% der Schwertfischproben die maximal duldsame Quecksilbermenge für Frauen im gebärfähigen Alter überstiegen. Aus diesem Grund ist regelmäßiges Monitoring zur Abschätzung der Quecksilberaufnahme durch Fisch- und Meeresfrüchtekonsum wie auch maximal duldsamer Mengen in den verschiedenen Fischarten nötig. Konsumenten sollten über mögliche Risiken bei fischreicher Ernährung entsprechend seriös informiert werden. Besonders Frauen im gebärfähigen Alter sollten weiterhin Fisch konsumieren, um von den Vorteilen der ω -3-FS und anderen Komponenten zu profitieren – allerdings sind möglichst gering kontaminierte Fischarten zu bevorzugen (Herreros et al., 2008).

Methylquecksilbergehalte können sich in der aquatischen Nahrungskette anreichern, und die höchsten Gehalte finden sich in Raubfischen, welche an der Spitze der Nahrungskette stehen. Aus diesem Grund stellen fischkonsumierende Populationen eine höhere Risikogruppe hinsichtlich Methylquecksilberexposition dar (Hajeb et al., 2008).

Eine Hypothese des „Mercury Study Reports“ lautet, dass Verbraucher ohne limitiertes Einkommen und bei denen ein großer Teil des Nahrungsproteins aus Fisch stammt, einem höheren Risiko für eine Quecksilberexposition ausgesetzt sind – speziell wenn große Raubfische wie Schwertfisch bevorzugt werden.

In der Studie von Hightower und Moore (2003) wurden die Ernährungsgewohnheiten und daraus resultierende Quecksilbergehalte von Patienten einer Privatklinik in San Francisco, California untersucht. Diese Patienten konsumierten große Mengen an Fisch, und es wurden teilweise Gehalte über den Grenzwerten der U.S. EPA gefunden. Es konnte eine Präferenz für höherpreisigen Fisch, besonders Raubfische wie z.B. Schwertfisch, nachgewiesen werden. Bei Schwertfisch zeigte sich gleichzeitig die höchste Korrelation mit dem Quecksilbergehalt. Weiters gaben die Patienten an, regelmäßig Sushi zu konsumieren. Bei der Auswahl an Sushi wurde vor allem Ahi (Gelbflossenthunfisch)-Sushi der Vortritt gegeben. Somit

kommt ein höherer ökonomischer Status und Bildungsgrad als Risikofaktor in Frage und dieser Bevölkerungsteil wurde in der Studie von Hightower und Moore als Risikogruppe für eine Quecksilberüberschreitung angesehen. Nachdem Fisch für eine gesunde Ernährung und zur Prävention von Herzkrankheiten empfohlen wird, sollen gleichzeitig relevante Ergebnisse und Beratung beim Fischkauf leicht verfügbar sein, damit ein mögliches Risiko der Überschreitung reduziert werden kann (Hightower and Moore, 2003).

Auch die Übertragung auf Landsäugetiere ist nicht zu vernachlässigen. Einige Fische mit höherem Quecksilbergehalt wie z.B. Pazifischer Hering werden für die Tiermehlproduktion als Nahrungsergänzung in der Tierernährung verwendet - so kann Quecksilber auch auf Landtiere übergehen (Ruelas-Inzunza and Pérez-Osuna, 2005).

Für Personen aus Goldabbaugebieten besteht aufgrund der Quecksilberverwendung ebenfalls ein erhöhtes Risiko. Besonders bei Frauen im gebärfähigen Alter sowie schwangeren und stillenden Frauen muss das Bewusstsein für ein solches Risiko vermittelt werden – vor allem soll von der Tätigkeit des Metall-Schmelzens Abstand genommen werden (Bose-O'Reilly et al., 2008).

Die Erkenntnisse aus epidemiologischen Studien haben bei Behörden weltweit zu einer Verunsicherung hinsichtlich der Fischempfehlung geführt. Einerseits sollen Konsumenten von den Vorteilen profitieren, andererseits vor möglichen Risiken geschützt werden. Aus diesem Grund wurden entsprechende Empfehlungen für Risikogruppen erarbeitet. Dazu gehört z.B. die Meidung von höher belasteten Raubfischen wie Schwertfisch, Königsmakrele etc. Dabei entsteht aber möglicherweise die Gefahr, dass Konsumenten generell ihren Fischkonsum einschränken. Seriöse kompetente Beratung erscheint aus diesem Grund umso wichtiger (Myers and Davidson, 2007).

3.13 Empfehlungen

Für gefährdete Personengruppen wie Frauen im gebärfähigen Alter mit Kinderwunsch, schwangere und stillende Frauen sowie Kleinkinder, empfiehlt es sich, entsprechende Maßnahmen zur Verminderung eines potentiellen Risikos zu treffen. Dazu gehört die Einschränkung vom Verzehr stark belasteter Fischarten. Dazu zählen größere, ältere, am Ende der Nahrungskette stehende Raubfische wie Schwertfisch, Haifisch, Thunfisch oder Königsmakrele. Die Risiken der Quecksilberaufnahme über Fisch und Schalentiere hängen wesentlich von der verzehrten Menge und dem Quecksilbergehalt im jeweiligen Fisch ab.

Im Jahr 2004 wurden vom U.S. Department for Health and Human Services und der U.S. Environmental Protection Agency drei wesentliche Empfehlungen für gefährdete Personengruppen erlassen. Damit sind gleichzeitig ein Nutzen des Fischkonsums und eine Minimierung der Hg-Exposition möglich. Die Empfehlungen besagen:

1. Verzicht auf Haifisch, Schwertfisch, Königsmakrele oder Ziegelbarsch – diese Fische enthalten sehr hohe Quecksilberkonzentrationen.
2. Verzehr von wöchentlich maximal zwei durchschnittlich großen Portionen Fisch oder Schalentieren (ca. 340g) mit niedrigerem Quecksilbergehalt. Folgende fünf Fischarten werden häufig konsumiert und enthalten geringere Mengen an Quecksilber: Shrimps, Dosenthunfisch (Thunfisch leicht, Skipjack), Lachs, Seelachs und Wels. Albacore-Thunfisch (Weißer Thunfisch) akkumuliert höhere Mengen an Quecksilber als Skipjack-Thunfisch und es empfiehlt sich der Verzehr von maximal einer Portion pro Woche (~170g).
3. Zur eigenen Sicherheit sollen lokale Beratungsstellen bezüglich der Quecksilbergehalte von regional gefangenem Fisch, aus heimischen Gewässern, kontaktiert werden. Falls keine Auskunft verfügbar ist, empfiehlt es sich maximal eine Portion regional gefangenem Fisch pro Woche zu verzehren und keinen zusätzlichen Fisch in dieser Woche zu konsumieren (JADA, 2005, Widhalm et al., 2007).

Diese Empfehlungen werden auch von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit, dem Deutschen Bundesinstitut für Risikobewertung und der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit unterstützt (Widhalm et al., 2007).

Für Kleinkinder gelten die gleichen Empfehlungen, aber es sollen kleinere Portionen verzehrt werden (FDA, 2004).

Der Grund warum Dosenthunfisch meist geringere Quecksilbergehalte aufweist als frischer Thunfisch, liegt in der Verwendung von kaum belasteten Thunfischarten und kleineren Exemplaren.

Der Thunfisch ist ein Salzwasserfisch, von räuberischer Natur und gehört zur Gruppe der Fettfische. Er kann ein Alter von bis zu 18 Jahren erreichen (VKI, 2010a) und entsprechend zählt er zu den Arten mit höherer Quecksilberbelastung (Widhalm et al., 2007).

Viele Konsumenten sind der Meinung, dass Dosenthunfisch generell hohe Quecksilbergehalte aufweist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in den 60er Jahren häufig große ältere Thunfische zu Dauerkonserven verarbeitet wurden und deshalb die Richtwerte überschritten. Als Konsequenz daraus werden heute überwiegend bis ausschließlich kleinere Thunfische verwendet (Oehlenschläger, 2010a).

Die Empfehlungen hinsichtlich Fischkonsums gelten auch für Frauen im gebärfähigen Alter mit Kinderwunsch. Durch den regelmäßigen Genuss von Fischarten mit hohem Quecksilbergehalt akkumuliert Hg über längere Zeit im Blutkreislauf, und es kann möglicherweise über ein Jahr dauern, um den Gehalt wieder signifikant abzusenken.

Fischstäbchen und „Fast-Food“-Sandwiches stammen üblicherweise von quecksilberarmen Fischarten. Bezüglich Thunfisch-Steaks gilt ebenfalls die Empfehlung von maximal einer Portion pro Woche, da dieses generell höhere Quecksilbermengen enthält. Falls die wöchentlichen Empfehlungen überschritten werden, empfiehlt es sich, in nächster Zeit den Konsum wieder einzuschränken, um die durchschnittlichen wöchentlichen Empfehlungen nicht

zu überschreiten. Beim Verzehr von regional gefangenem Fisch ist es ratsam, sich bei lokalen Beratungsstellen zu informieren, da der Quecksilbergehalt im Fisch auch stark vom Quecksilbergehalt im Wasser, aus dem der Fisch gefangen wurde, abhängt (FDA, 2004).

Während gründliches Waschen von Obst und Gemüse die Quecksilberbelastung von exponierten Nahrungsmitteln reduzieren kann (Biesalski et al., 2010), hat die Zubereitungsart nur wenig Einfluss auf den Quecksilbergehalt (Widhalm et al., 2007, Mozaffarian and Rimm, 2006). Quecksilber kann nicht durch Kochen oder Filetieren entfernt werden (USGS, 2000).

Durchschnittliche Quecksilbermuskelgehalte sind meist verhältnismäßig geringer als in anderen Organen. Dies ist wesentlich für die Gesundheitspolitik und dem toxikologischen Gesichtspunkt, da Muskelgewebe üblicherweise den essbaren Teil vom Fisch für den menschlichen Konsum darstellt (Carvalho et al., 2009).

Die chemische Form von Methylquecksilber im Fischgewebe wurde als gebunden an die Thiolgruppe, von Cysteinresten in Fischproteinen, identifiziert. Diese können ebenfalls durch keine Koch- oder Waschprozesse entfernt oder zerstört werden (Li et al., 2010, Hightower and Moore, 2003).

3.14 2 Methoden zur Elimination von Quecksilber aus dem Wasser

Die Entwicklung von neuen Technologien zur Entfernung von Quecksilber ist schon seit längerer Zeit Gegenstand von Untersuchungen, und bildet auch heute noch einen sehr aktiven Bereich der Forschung (USEPA, 1997). Einer Schätzung zufolge beläuft sich der totale, weltweite, jährliche Eingang von Quecksilber in die Umwelt auf 5.500 Tonnen. Diese stammen von natürlichen, anthropogenen und ozeanischen Emissionen (Liu et al., 2003).

Quecksilberverschmutzung im Wasser stellt eine ernste Bedrohung für natürliche Ökosysteme dar. Verschiedene Methoden und Technologien zur Entfernung von Quecksilber aus der Umwelt sind bereits in Verwendung. Dazu gehört die Phytoremediation (Sanierung durch Pflanzen), Bioremediation (Sanierung durch mikroskopische Organismen), aktivierte Kohle-Adsorption, Membranfiltration, Umkehrosmose, Ionenaustauscharze und weitere. Hier soll nur kurz auf die Phytoremediation und Ionenaustauscharze eingegangen werden (Atwood et al., 2006).

3.14.1 Phytoremediation

Die Verwendung von Pflanzen zur Beseitigung von Umweltverschmutzungen ist eine der elegantesten Methoden. Dazu ist es notwendig, bestimmte Pflanzenarten in kontaminierte Areale einzubringen bzw. zu kultivieren. Dort sollen sie die Umweltschadstoffe über ihre Wurzeln aufnehmen, um diese dann zu entgiften. Obwohl die Phytoremediation bei vielen Kontaminanten wie z.B. Cadmium, Nickel, oder Blei gute Erfolge erzielt, ergibt sich bei Quecksilber das Problem der starken toxischen Wirkung auf Pflanzen (Atwood et al., 2006).

Viele Pflanzenarten können in quecksilberkontaminierten Bereichen nicht lange genug überleben um ihre entgiftende Wirkung zu entfalten. Die Wasserhyazinthe jedoch gehört zu den Pflanzen, die Quecksilber unbeschadet aufnehmen und entgiften können. Diese Pflanze kommt ursprünglich aus Südamerika und Südostasien und wurde schon erfolgreich zur Entgiftung an der kalifornischen Küste eingesetzt (Riddle et al., 2002).

Bei diesem Vorgang entsteht allerdings das Problem, dass die Quecksilberangereicherten Pflanzen danach als toxischer Abfall zu behandeln sind. Eine Lösung dafür fand sich in der Entdeckung von Bakteriengen, die in der Lage sind, organisches in elementares Quecksilber umzuwandeln. Durch Genmanipulation ist es Biologen gelungen, diese Gene auf gewisse Pflanzenarten zu übertragen. Das Quecksilber wurde durch die Pflanzen in

elementares Quecksilber umgewandelt und wieder abgegeben. Dadurch findet zwar in den Pflanzen keine Speicherung mehr statt, allerdings trägt das elementare Quecksilber wieder zur Anreicherung in der Atmosphäre bei (Atwood et al., 2006).

3.14.2 Ionenaustauschharze

Ionenaustauschharze haben sich zur Abtrennung von Quecksilber im Wasser als sehr nützlich erwiesen. Dazu gehört z.B. das Phenylethylen-divinylbenzol-Copolymer mit angehängten Arylthiolgruppen. Es vermag ungefähr 0,7g Quecksilber pro g Harz zu adsorbieren und kann durch konzentrierte Salzsäure wieder regeneriert werden. Eine weitere effiziente Möglichkeit zur Entfernung von Quecksilber aus Wasser ist der Einsatz von schwachbasischen Anionenaustauschern.

Auch die Entwicklung der selektiven Extraktion durch schwachbasische Austauscherharze trägt zur Entfernung von Quecksilber und Cadmium aus dem Wasser bei. Der Mechanismus beruht auf eben dieser selektiven Entfernung, bedingt durch Lewis-Säure-Basen-Interaktionen. Besonders im neutralen oder basischen pH-Bereich zeigt das Harzmaterial eine hohe Leistung. Eine geringe Beeinträchtigung ergibt sich möglicherweise durch im Wasser vorhandene Huminsäuren, welche zur Komplexbindung mit Quecksilber fähig sind und dadurch bei der Diffusion hinderlich sein können (Atwood et al., 2006).

4 AKTUELLE PROBLEMATIK AUS ÖKOLOGISCHER SICHT

Die Fischerei ist ein sehr altes Handwerk und spielt seit Beginn der Zivilisation in der menschlichen Gesellschaft eine wichtige Rolle. Durch bessere Organisation und Erlangung von technischem Wissen, veränderte sich die Fischerei entsprechend. Während des 19. und 20. Jahrhunderts vollzog sich ein spektakulärer und dramatischer Wandel in der Fischerei, bedingt durch mehrere Faktoren, wie die Erfindung der Gefriertechnik, die Kapazitätssteigerung durch den Einsatz von Dampfschiffen, sowie verbesserte Anglergeräte und Ausrüstung. Erste Bedenken hinsichtlich der Abnahme von gewissen Fischbeständen in Küstengewässern wurden bereits im Jahre 1885 geäußert (Blanco et al., 2007).

Der Verbraucher wird mit dem Thema Überfischung immer wieder konfrontiert und viele sind der Meinung, dass etliche Fischarten vom Aussterben bedroht sind (Oehlenschläger, 2010a).

Die Zeitschrift Science veröffentlichte im Jahr 2006 eine Studie, welche basierend auf verschiedenen Datenanalysen vor einem globalen Kollaps der zurzeit gefischten Fischbestände warnt. Ohne Änderung der gängigen Fischereipraktiken sind laut der Studie bis Mitte dieses Jahrhunderts ernsthafte Bedrohungen für die weltweite Lebensmittelsicherheit, die küstennahe Wasserqualität und die Ökosystemstabilität zu erwarten. Dies würde sowohl jetzige als auch künftige Generationen betreffen (Worm et al., 2006).

An dieser Studie wurde jedoch einige Kritik geäußert - besonders im Hinblick auf die Studienmethodik sowie Pauschalierungen. Einzelne Behauptungen wurden mittlerweile widerlegt (Gröger and Ehrich, 2007).

Laut Oehlenschläger (2010a) wird beim Konsument häufig der Eindruck erweckt, dass die Fischbestände in den Weltmeeren überwiegend überfischt sind. Es wird sogar vom Aussterben einzelner Arten berichtet. In der Fischerei-Industrie wird der Fischfang jedoch schon lange bevor eine Fischart ausstirbt eingestellt, da dieser sich aus ökonomischer Sicht, aufgrund der anfallenden

hohen Kosten, nicht mehr lohnen würde. Somit gilt ein Bestand als überfischt, wenn dieser so stark befischt wurde, dass sich ein weiterer Fang wirtschaftlich nicht mehr lohnt. Nach der Auffassung HUMBOLDS (Generalsekretär des ICES, Internationaler Rat für Meeresforschung, Kopenhagen) stellt der geregelte Fischfang einen eher vertretbaren Eingriff dar.

Als größere Probleme müssen z.B. der Missbrauch der Meere als Mülldeponie, die dramatisch angewachsene Schifffahrt, militärische Übungen und Öl- und Gasförderung gesehen werden. Die Fischerei kann aber durch Beifänge und Veränderungen am Meeresboden die Umwelt beeinträchtigen. Die Lösung dieser Probleme ist Thema von internationalen Fischereiabkommen sowie der Gemeinsamen Fischereipolitik der EU und hat entsprechend hohe Priorität (Oehlenschläger, 2010a).

In einem kürzlich erschienenen Artikel der FAO wird deutlich, dass sich die Situation der weltweiten Fischbestände noch nicht verbessert hat. Beim jährlichen Fischverbrauch wurde weltweit ein Rekord von durchschnittlich fast 17 kg pro Person verzeichnet, der Beitrag von Fisch zur Welternährung ist so hoch wie nie zuvor. Diese Steigerung ist mitunter auch bedingt durch die stets wachsende Aquakultur (FAO, 2011).

Folgende Abbildung zeigt die Pro-Kopf-Versorgung der Jahre 2005-2007.

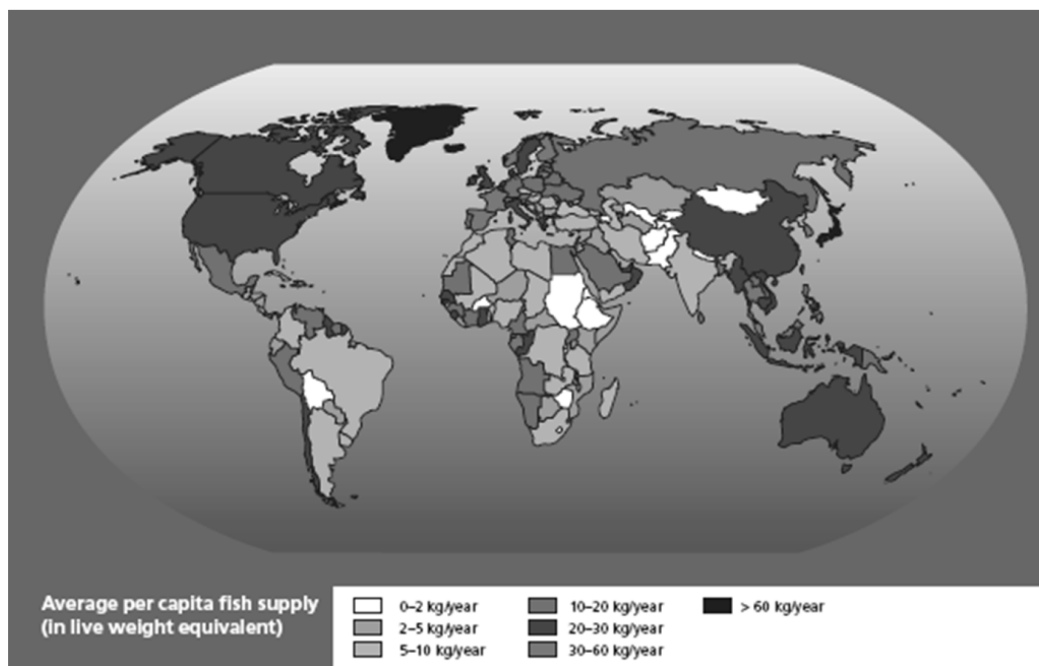


Abb. 7: Versorgung mit Speisefisch: Pro Kopf Versorgung (Durchschnitt 2005-2007) (FAO, 2010).

Obwohl zwischen den einzelnen Ländern, Fanggebieten und Fischarten hinsichtlich des gesamten jährlichen Fischfangs Schwankungen bestehen, erscheint die weltweit gesamte marine und Inland-Fischerei im Zeitraum von 2006 bis 2008 sehr stabil und liegt bei rund 89,8 Millionen Tonnen. Bezüglich der Top 10 Erzeuger-Länder (Abb. 8) befindet sich China an der Spitze, gefolgt von Peru und Indonesien. Die signifikanteste Veränderung war der Positionswechsel von den USA und Chile – diese wurden von Indonesien und Indien überholt (FAO, 2010).

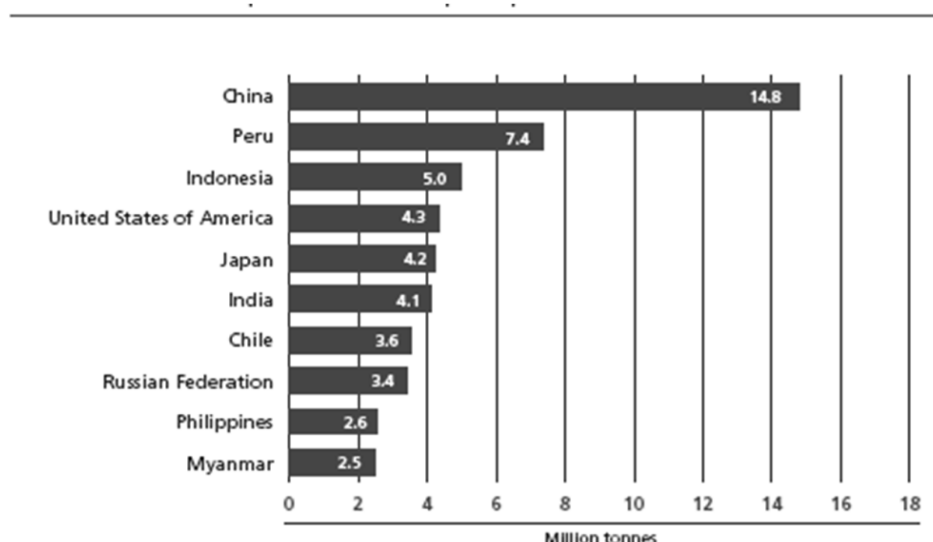


Abb. 8: Mariner- und Inlandfischfang: Die Top 10 Erzeugerländer 2008 (FAO, 2010).

4.1 Nachhaltigkeit und Gütesiegel

Nachhaltigkeit bedeutet in der Fischerei, dass nicht mehr Fische gefangen werden als natürlich nachwachsen können. Der Nachwuchs von den kommerziell genutzten Fischarten hängt stark von den jeweils vorliegenden Umweltbedingungen ab. Darum ist es wichtig, die jährlich stark schwankenden Nachwuchsjahrgänge abzuschätzen. Dies erfolgt durch sogenannte Forschungsfänge der entsprechenden Fischereiforschungsinstitute. Durch die gesammelten Informationen werden die jährlichen Fangquoten festgesetzt. Die

Informationen werden länderübergreifend zusammengetragen und im Rahmen der internationalen, gemeinsamen Fischereipolitik ausgewertet.

Wenn allerdings die Fangquoten aus politischen Gründen zu hoch bemessen werden oder sich Fischer nicht an die festgelegten Quoten halten, kann es zu Überfischungen kommen. Dies kann auch eintreten, wenn der Fischnachwuchs infolge natürlicher Einflüsse geringer ausfällt als erwartet.

Diese Faktoren können im Extremfall den Zusammenbruch einer ganzen Fischerei bedeuten. Deswegen gilt die entsprechende Fischart aber noch nicht als ausgestorben. Zunächst kommt es zu einem ökonomischen Verlust, da keine ausreichenden Mengen mehr gefangen werden (aidInfodienst., 2009).

Als Beispiel dafür kann der Kabeljau in der Nordsee erwähnt werden. Jahrelange Überfischung hat zusammen mit natürlichen klimatischen Effekten wie Erwärmung der südlichen Nordsee dazu geführt, dass für diese Spezies praktisch keine lohnende Fischerei mehr möglich ist.

Aus diesem Grund bedarf es dringend einer Quotenpolitik, die sich an den entsprechenden Umweltbedingungen orientiert. Ebenso ist eine verantwortungsvolle Fischerei sowie ein angepasstes Verbraucherverhalten, durch Konsum von anderen häufig vorkommenden Fischarten, notwendig (aidInfodienst., 2009).

Die gesamte weltweite Produktion von Fisch und Fischprodukten stieg von 140 Millionen Tonnen im Jahr 2007 auf 145 Millionen Tonnen im Jahr 2009 (Tab. 10) – ein großer Teil stammt aus der Aquakultur. Geschätzte 32% der weltweiten Fischbestände gelten als übernutzt, erschöpft oder erholen sich und müssen dringend wieder aufgebaut werden (FAO, 2011).

Abbildung 9 zeigt die weltweiten Fangmengen und Aquakulturproduktion der Jahre 1950-2008.

Tab. 10: Weltweite Fischerei und Aquakulturproduktion sowie Verwendung (FAO, 2010).

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
<i>(Million tonnes)</i>						
PRODUCTION						
INLAND						
Capture	8.6	9.4	9.8	10.0	10.2	10.1
Aquaculture	25.2	26.8	28.7	30.7	32.9	35.0
Total inland	33.8	36.2	38.5	40.6	43.1	45.1
MARINE						
Capture	83.8	82.7	80.0	79.9	79.5	79.9
Aquaculture	16.7	17.5	18.6	19.2	19.7	20.1
Total marine	100.5	100.1	98.6	99.2	99.2	100.0
TOTAL CAPTURE	92.4	92.1	89.7	89.9	89.7	90.0
TOTAL AQUACULTURE	41.9	44.3	47.4	49.9	52.5	55.1
TOTAL WORLD FISHERIES	134.3	136.4	137.1	139.8	142.3	145.1
UTILIZATION						
Human consumption	104.4	107.3	110.7	112.7	115.1	117.8
Non-food uses	29.8	29.1	26.3	27.1	27.2	27.3
Population (<i>billions</i>)	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.8
Per capita food fish supply (<i>kg</i>)	16.2	16.5	16.8	16.9	17.1	17.2

Note: Excluding aquatic plants. Data for 2009 are provisional estimates.

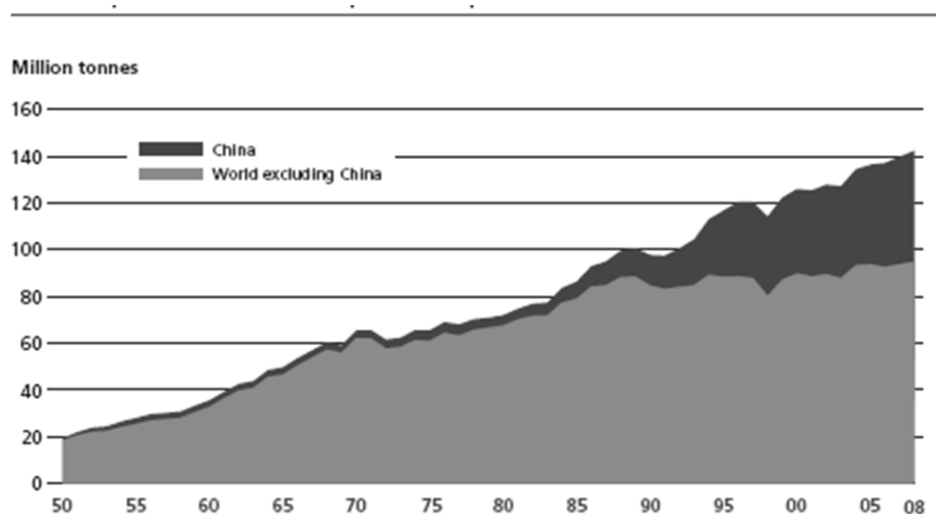
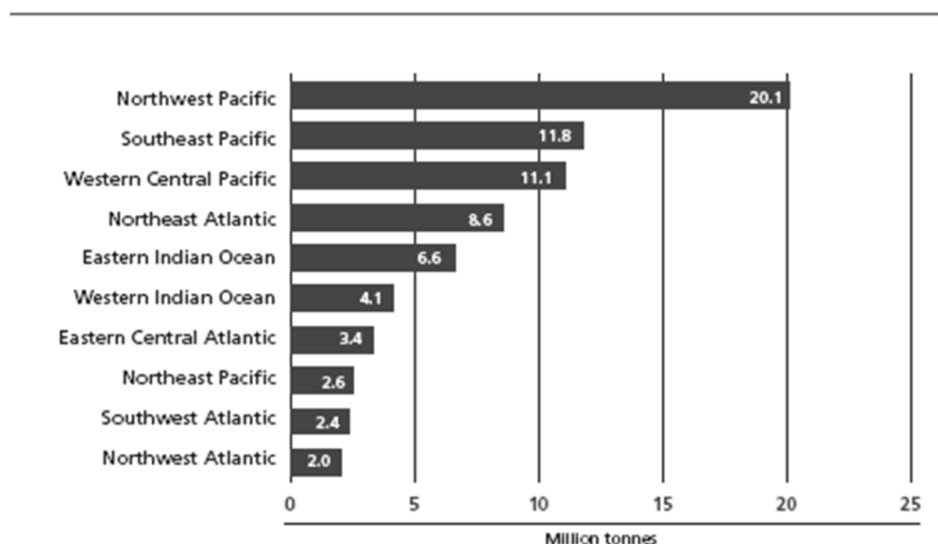


Abb. 9: Weltweite Fangmengen und Aquakulturproduktion (FAO, 2010).

Die zwei Hauptbestände an Sardellen im Südostpazifik, die Bestände von Alaska-Seelachs im Nordpazifik und der Blaue Wittling im Atlantik gelten als völlig übernutzt. Neben der Verwendung als Fischmehl bzw. -öl haben auch Naturphänomene wie El Niño die Sardellenbestände dezimiert. Beim Atlantischen Hering wurden sowohl übernutzte als auch erschöpfte Bestände registriert. Die japanische Sardelle im Nordwest-Pazifik und die chilenische Stachelmakrele im Südost-Pazifik werden ebenfalls als völlig übernutzt eingestuft. Auch die Thunfischbestände gelten großteils als mehr oder weniger übernutzt (FAO, 2010).

Abbildung 10 zeigt die marinen Hauptfanggebiete und Abbildung 11 die Top 10 der gefangenen Fischarten aus dem Jahr 2008.



Note: Fishing areas listed are those with a production of at least 2 million tonnes.

Abb. 10: Fischfangproduktion: marine Hauptfanggebiete 2008 (FAO, 2010).

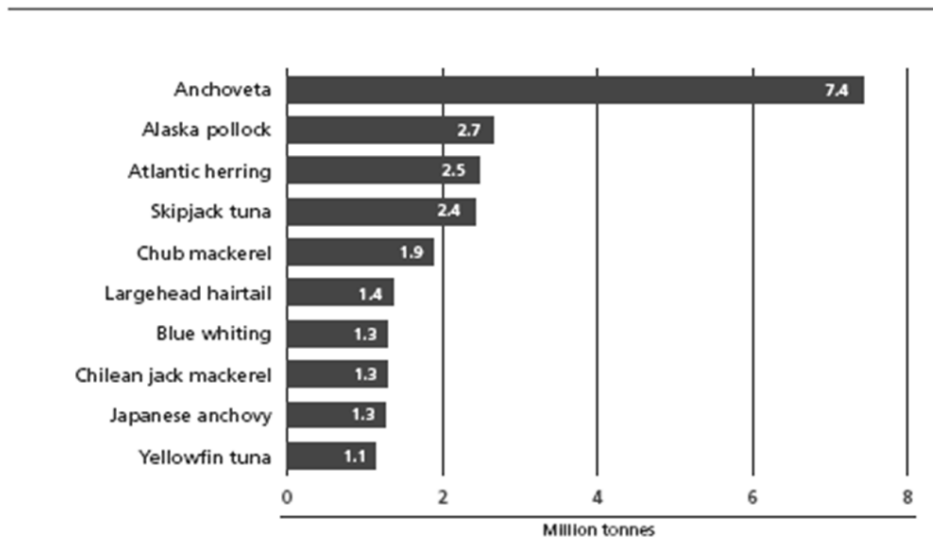


Abb. 11: Marine Fischfangproduktion: Top 10 der Fischarten 2008 (FAO, 2010).

Auf der anderen Seite gibt es auch Fischarten, die kaum oder nur moderat genutzt werden – bei diesen Arten ist noch eine Steigerung der Fangmenge möglich. Dadurch würden gefährdete Bestände entlastet werden (FAO, 2010).

Folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Verwendungsweise von Fischerzeugnissen der Jahre 1962-2008.

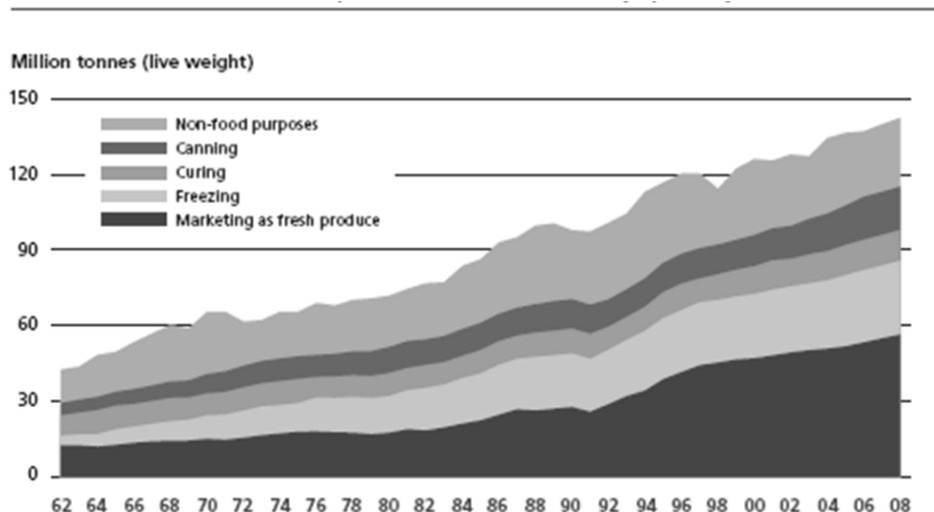


Abb. 12: Verwendungsweise von Fischereierzeugnissen 1962-2008 (FAO, 2010).

Das Konzept der Nachhaltigkeit beschreibt die Nutzung eines regenerierbaren Systems, welches in seinen Eigenschaften langfristig erhalten bleibt und

dessen Bestand sich auf natürliche Weise regenerieren kann (Oehlenschläger, 2010b).

Was die Fischwirtschaft betrifft, sind dort die zentralen Themen die Nachhaltigkeit, sowie Transparenz und Rückverfolgbarkeit in der Rohwarenbeschaffung und Verarbeitung. In der Fischindustrie ist nachhaltiger Fischfang möglich, wenn eingesetzte Fischerei-Methoden und ihre Anwendungsweisen bestandserhaltend sind und die Reproduktionsfähigkeit der Zielfischarten nicht herabgesetzt wird (Vermeidung von Überfischung). Das gesamte Ökosystem (z.B. der Meeresboden oder nicht zur Nahrung bestimmte Fischarten) darf nicht geschädigt werden und der Anteil an ungewolltem Beifang soll gesenkt werden. Die Fangmengen müssen sich entsprechend am Alter, genetischer Struktur und Geschlechtsverhältnis von Fischbeständen orientieren und die Fortpflanzung der Arten darf nicht beeinträchtigt werden.

Des Weiteren ist darauf zu achten, dass die natürlichen Verhältnisse zwischen den verschiedenen Arten innerhalb eines Ökosystems erhalten bleiben. Auch die Tötung und/oder Verletzung von gefährdeten, bedrohten oder geschützten Arten ist auf das absolute Minimum zu reduzieren.

Es besteht die Notwendigkeit, umweltverträgliche Fangmethoden einzusetzen und sowohl Laich- und Aufzuchtgebiete als auch einmalige Lebensräume zu schützen.

Generell können nachhaltig produzierte Fischerzeugnisse aus der Meeresfischerei, der Binnenfischerei, der Anglerfischerei und aus Aquakultur stammen (Oehlenschläger, 2010b).

Nachhaltigkeit endet jedoch nicht mit der Fischerei - alle Stufen der Handelskette und/oder der Verarbeitung sollten den strengen Kriterien der Nachhaltigkeit unterliegen. Die folgende Übersicht soll einen Einblick in die Möglichkeiten der nachhaltigen Fischverarbeitung geben (Oehlenschläger, 2010b).

-
1. **Verluste vermeiden:** Fisch sollte unmittelbar nach dem Fang und auch auf allen Stufen der Kette so behandelt oder gelagert werden, dass Verluste durch Fehler in der Kühlkette, unsachgemäße Lagerung und anderen Verderb so weit wie möglich ausgeschlossen werden.
 2. **Neuartige Verarbeitungsmethoden:** Fisch (hier sind besonders auch bislang nur wenig genutzte Arten gemeint) sollte ggf. durch neuartige alternative Verarbeitungsmethoden so zu Erzeugnissen verarbeitet werden, dass der Fang weitgehend der menschlichen Ernährung zugeführt wird. Industriefische, die bislang gezielt für die Produktion von Fischmehl und Fischöl gefangen werden, besitzen die gleichen ernährungsphysiologischen Vorteile wie die kommerziell gefischten Arten, sodass die alternative Verarbeitung direkt zu Produkten für die menschliche Ernährung eine Herausforderung an Forschung und Industrie darstellt. Hiermit könnten auch die unter zunehmenden Fischereidruck geratenen traditionellen Konsumfische entlastet werden.
 3. **Bessere Verwertung der Ressource Fisch:** Die Filetier-Ausbeute kann, wie Untersuchungen gezeigt haben, deutlich verbessert werden. Fisch kann etwa 50% (bezogen auf das Fanggewicht) verzehrbaren Anteil (Muskelfleisch) liefern, wovon das Filet nur die Hälfte ausmacht. Die restlichen 25% können als zerkleinertes Fischfleisch gewonnen und zu Lebensmitteln verarbeitet werden. Der Verbraucher muss dann ggf. Abschied vom lieb gewonnenen gewachsenen Filet nehmen und sich auch Erzeugnissen aus zerkleinertem Fischfleisch zuwenden, zumal er ja auch Hackfleischerzeugnisse im Fleischbereich schon lange akzeptiert.
 4. **Reduktion der Rückwürfe (Discards):** Untersuchungen haben gezeigt, dass die Mehrzahl der gefangenen Fische nach Rückwurf nicht überlebensfähig ist, was sowohl für Nicht-Zielarten als auch für untermassige Fische gilt. Auch hier sind neue Ansätze erforderlich.

Abb. 13: Nachhaltigkeit in der Fischverarbeitung (Oehlenschläger, 2010b).

Möglichkeiten einer besseren Ausnutzung von Beifängen zeigt die „BEFAIR-Initiative“, mitbegründet vom „LIFE Environment Program of the European Union“. Nahe ein Drittel des jährlichen Fischfangs wird verschwendet (Alonso et al., 2010).

Dazu gehören zu kleine Individuen mit wenig kommerziellem Nutzen oder Nicht-Zielarten (Beifang), die normalerweise als Ausschuss (Discard) wieder ins Meer zurückgeworfen werden. Dabei sind geschätzt die Hälfte der Schalentiere und 98% der Kopffüßer bereits tot, wenn sie verworfen werden.

Durch Verwerfen von juvenilen Fischen, Fischen von wenig bis keinem wirtschaftlichen Interesse und Mengen, die über der Fangquote liegen, sind die gesamten Zukunftserträge gefährdet. Auch der Ausschuss an ausgewachsenen Tieren kann die zukünftige Produktivität herabsetzen. Ein fortlaufendes Verwerfen in dem gleichen Fanggebiet kann zu vielfältigen Beeinträchtigungen des Ökosystems führen. Eine mögliche Strategie in Richtung verantwortungsvolles Fischerei-Management ist die Förderung einer „no-discard“ und „zero-waste“ Politik, sowohl am Schiff als auch an Land. Die Ausnutzung der sonst verworfenen Fische ist im Bereich der Aquakultur, Lebensmittelindustrie, als auch Pharmazie möglich z.B. in Form von Fischmehl, Protein-Hydrolysaten, Peptonen, Enzymmischungen, Fischöl mit hohem Gehalt an ungesättigten Fettsäuren, Hyaluronsäure, Fischhaut als Rohmaterial für Fisch-Gelatine oder Chondroitinsulfat (Alonso et al., 2010).

Auch die Studie von Blanco et. al (2007) behandelt drei wesentliche Probleme des Fischfangs: Ausschuss, Abfall am Schiff sowie Nebenprodukte und Abfall an Land.

Derzeitige Lösungsansätze für eine gute Ausnutzung der Fischressourcen sind Produkte wie Fischmehl, Fischhack, umstrukturierte Produkte wie Surimi, Kollagen und Gelatine aus Haut/Knochen/Flossen für die Kosmetik, biomedizinische Materialien, pharmazeutische Anwendungen, Fischsilagen, Proteinhydrolysate, Enzyme und Fischöl.

Zukünftige Trends zur vollständigen Ausnutzung sind, aus Fischabfall isolierte bioaktive Bindungen (antifungale und antibakterielle Wirkung der Epidermis), Pigmente, Frostschutz-Proteine, Lektine und Fischleder.

Diese neuen Varianten stellen Möglichkeiten zur besseren Ausnutzung dar. Der Rückgang vieler Fischarten erfordert dringendes Handeln. Länder sollten eine gute Fisch-Praxis entsprechend fördern und Standards für Handlungsweisen in allen Abschnitten der Fischerei vorantreiben – hinführend zu einem Fortschritt

im Bewusstsein für Umweltschutz. Auch die am Fischfang beteiligten Personen (Boot-Crew, etc.) sollen in Aufklärungsprogramme für verantwortungsvolle und nachhaltige Praktiken involviert werden (Blanco et al., 2007).

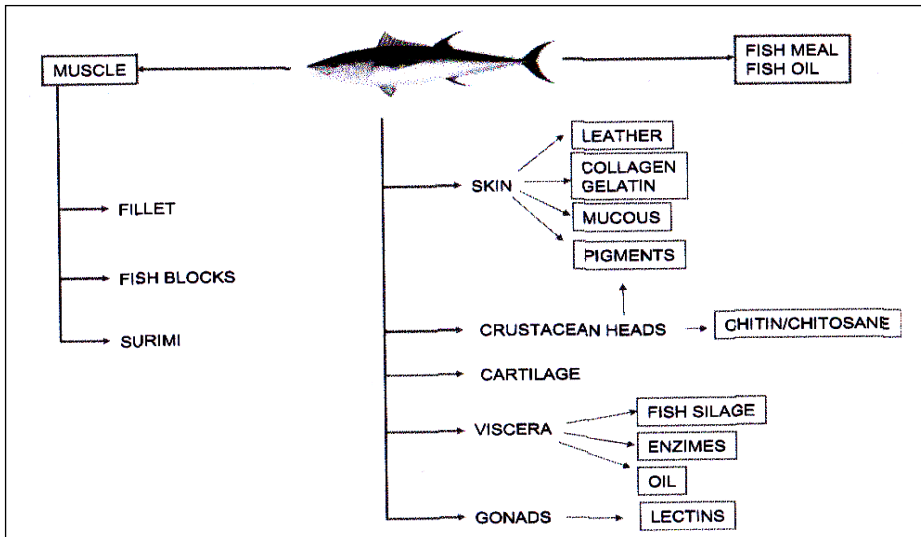


Abb. 14: Übersicht von Produkten und Nebenprodukten einer ganzheitlichen Fisch-Nutzung (Blanco et al., 2007).

In vergangener Zeit konnten Trends in Richtung Nachhaltigkeit vernommen werden wie z.B. Ethik Food – Essen mit gutem Gewissen oder Slow Food. Hierbei handelt es sich um ökologisch bewusste, politisch korrekte und oft biologisch produzierte Nahrung - wobei auch Genuss und Geschmack neben ethischen Richtlinien eine große Rolle spielen. Auch die Rückverfolgbarkeit des konsumierten Produkts ist für den Konsumenten entscheidend. Solche Trends eröffnen Chancen für nachhaltige und ökologisch bewusste Herstellungsmethoden. Außerdem hat der Konsument durch sein Kaufverhalten enormen Einfluss auf die künftigen Entwicklungen hinsichtlich Produktionsverfahren (Rützler, 2005).

Entsprechende Gütesiegel für nachhaltige Fischereierzeugnisse bieten dem Konsumenten eine Hilfestellung beim Kauf (Widhalm et al., 2007).

4.1.1 Marine Stewardship Council (MSC)



Ein Beispiel für Nachhaltigkeit ist der „Marine Stewardship Council“ (MSC), auch als Rat zur Bewahrung der Meere bezeichnet. Dieser wurde bereits im Jahre 1997 gegründet und ist eine unabhängige Organisation, die in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern und Umweltschutzorganisationen das MSC-Gütesiegel entwickelt hat (VKI, 2010a).

Dieser Verein hat es sich zur Aufgabe gemacht, Lösungen für das globale Problem der Überfischung zu finden. In Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern, Fischereiexperten und Umweltschutzorganisationen wurde vom MSC ein Umweltstandard zur Beurteilung und Auszeichnung vorbildlich geführter Fischereien erstellt. Jede Fischerei hat die Möglichkeit, sich freiwillig nach diesem Standard bewerten zu lassen und darf bei entsprechender Einhaltung das Gütesiegel verwenden.

Mittlerweile genießt das MSC-Siegel weltweit Vertrauen und ist das bekannteste Label für Fisch und Meeresfrüchte aus nachhaltigem Wildfang. Zu den Umweltstandards gehören der Einsatz umweltverträglicher Fangmethoden, verantwortungsvolle Nutzung der Fischbestände, Schutz von anderen Fischarten, Meeressäugern und Wasservögeln (aidInfodienst., 2009) sowie Absage an die illegale Fischerei (VKI, 2010a). Seit diesem Jahr ist auch eine Zertifizierung in der Aquakultur möglich. Nachdem die Aquakultur nur eine Alternative zu wild gefangenem Fisch darstellt - wenn diese umweltfreundlich ist, wurde das ASC (Aquaculture Stewardship Council)-Gütesiegel entwickelt (WWF, 2011).

Thunfisch gehört zu den weltweit beliebtesten Fischarten, gleichzeitig zählt dieser aber auch zu den gefährdetsten. Besonders die Verwendung von Thunfisch in Dosen und der gesteigerte Konsum von Sushi haben viele Bestände dramatisch reduziert. Die Situation des roten Thunfisches (Northern Bluefin Tuna) ist extrem besorgniserregend und diese Art steht knapp vor dem Aussterben. Der rote Thunfisch zeichnet sich durch hohe Qualität (v.a. für Sushi

und Sashimi) aus, und erzielt die höchsten Marktpreise. Ebenso als bedroht gilt der Blauflossenthunfisch (Southern Bluefin Tuna). Beim weißen Thunfisch (Albacore Tuna) fehlen entsprechende Daten. Laut dem Fischführer von Greenpeace sollte diese Art, ausgenommen Produkte mit dem MSC-Gütesiegel, besser nicht gekauft werden. Als Dosen-Thunfisch weist er die höchste Qualität auf (VKI, 2010a).

Der Bonito (auch Skipjack genannt), ist die kleinste Thunfischart (VKI, 2010a) und gilt als am wenigsten überfischt. Erfreulicherweise zeigte sich bei einer aktuellen Untersuchung vom Verein für Konsumenteninformation, dass hauptsächlich diese Thunfischart für Dosen verwendet wird (VKI, 2010b).

Beim Thunfischfang wurde auch die Gefährdung der Delphine immer besonders kritisiert. Daraufhin wurden zahlreiche Logos entwickelt wie z.B. „Delphin-sicher“, Delphin-freundlich“ oder ähnliches. Diese Logos sind jedoch in vielen Fällen irreführend, denn eigentlich schwimmen nur Gelbflossen-Thunfische im Verbund mit Delphinschulen. Diese Bezeichnung bei anderen Thunfischarten zu verwenden ist unsinnig. Jedoch stehen anerkannte Gütesiegel auch für Fangmethoden, bei denen Delphine nicht verletzt oder getötet werden. Der Verein Konsument gibt als einzig in Österreich vertretbares Nachhaltigkeits-Label für Wildfische das MSC-Gütesiegel an (VKI, 2010a).

Die Gesellschaft zur Rettung der Delphine aus München nennt das vom amerikanischen Earth Island Institute in Europa geschützte Logo „Safe“ als Gütesiegel zum Delphinschutz. Die Firmen, welche dieses Logo verwenden, nehmen am Thunfisch-Kontrollprogramm teil und verpflichten sich weder Treibnetze noch Ringwadennetze beim Thunfischfang zu verwenden. Thunfischware die nicht diesen Anforderungen entspricht darf weder zugekauft noch verkauft werden (aidInfodienst., 2009). Der Verein für Konsumenteninformation kritisiert aber, dass eine wissenschaftliche Belegung und ein strenges Kontrollsystem fehlen. Der Konsument muss sich bewusst sein, dass dieses Logo kein Nachhaltigkeits-Siegel darstellt, sondern zum Schutz von Delphinen gegründet wurde (VKI, 2010a).



Der Verein „fair-fish“ wurde im Jahr 2000 gegründet und arbeitet an der Gründung eines Labels für nachhaltigen Fischkonsum. Die drei wesentlichen Ziele umfassen den Tierschutz, die Nachhaltigkeit und den fairen Handel. Die Kriterien des Vereins sind jenen von „biofisch“ ähnlich, allerdings setzt der Verein „fair-fish“ auch einen fairen Handel in der Fischindustrie voraus. Hinsichtlich des MSC-Gütesiegels kritisiert der Verein, dass weder Tierschutz noch fairer Handel im Gütesiegel bewertet werden. Bis jetzt sind aber noch keine entsprechenden Produkte mit dem „fair-fish“-Label im Handel (fair-fish, 2011).

Die Arbeitsgemeinschaft „Biofisch“ setzt sich für die biologische Wirtschaftsweise auf dem Gebiet der Fischzucht ein und produziert nach den Richtlinien von anerkannten österreichischen Bioverbänden (Bio ERNTE Austria und Freiland) sowie nach Kriterien des Österreichischen Lebensmittelcodex Bio. Mittlerweile sind Karpfen und Forellen aus Bio-Zucht in ausgewählten Geschäften und Märkten erhältlich (biofisch, 2011).

„Followfish“ ist eine Fischmarke, welche sowohl nach den nachhaltigen Kriterien des WWFs als auch des MSC-Standards handelt. Weiter verfügt diese Marke bei Tiefkühlfisch über ein Online-Tracking-System. Der Konsument hat die Möglichkeit, mit einem Tracking-Code auf der Verpackung den Weg des Fisches bis zurück ins Wasser nachzuverfolgen. Die Marke bietet Bio-Fisch aus Aquakultur. Nur bei gezüchtetem Fisch ist eine Bio-Zertifizierung möglich, bei Wildfisch kann der Mensch keinen Einfluss auf Nahrung etc. nehmen. Weiters sind auch verschiedene Sorten an tiefgekühltem Wildfisch erhältlich. Dabei wird darauf geachtet, dass nur Fischarten verwendet werden, die nicht als gefährdet gelten und aus entsprechenden Fanggebieten stammen (followfish, 2011).

Produkten mit entsprechenden Gütesiegeln beim Einkauf den Vorzug zu geben, ist eine gute Maßnahme, einen Beitrag für die Nachhaltigkeit zu leisten (Widhalm et al., 2007). Allerdings stuft Oehlenschläger die Situation, dass Bestände von zertifizierten Fischereien und anderen unkoordiniert gleichzeitig befischt werden mehr als bedenklich ein (Oehlenschläger, 2010b).

Der Verein „World Wide Fund For Nature“ (WWF) und die Umweltorganisation Greenpeace haben für den Konsumenten als Orientierungshilfe einen Einkaufsführer für Fisch und Meeresfrüchte herausgegeben. Dabei dienen Bestandslage, Haltung, Fangmethoden, Nachhaltigkeit und Umweltauswirkungen als Bewertungsgrundlage (Widhalm et al., 2007).

4.2 Aquakultur – Risiko oder Chance?

Als Aquakultur wird die kontrollierte Aufzucht von Fischen, Algen, Muscheln, Krebsen und Weichtieren bezeichnet. Sie hat sich neben der Küsten- und Hochseefischerei mittlerweile zum zweiten Standbein der Fischwirtschaft entwickelt (aidInfodienst., 2009).

Fisch und Meeresfrüchte tragen wesentlich zur Deckung des weltweiten Eiweißbedarfs bei und die Aquakultur gewinnt als Alternative zum klassischen Wildfang immer mehr an Bedeutung – somit kann z.B. eine Entlastung von überfischten Gewässern erreicht werden (ErnährungsUmschau, 2011).

Obwohl einige Länder eine über Jahrhunderte lange Tradition bei Aquakultur-Praktiken aufweisen, stellt diese weltweit gesehen einen sehr jungen Lebensmittelsektor dar, welcher in den letzten 50 Jahren besonders rasant gewachsen ist.

Im Jahr 2008 betrug die weltweite Produktion von Speisefisch aus Aquakultur 52,5 Millionen Tonnen und der Beitrag zur gesamten Fischproduktion stieg von 34,5% im Jahr 2006 auf 36,9% im Jahr 2008. Im Zeitraum von 1970 bis 2008 betrug die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate 8,3%. Aquakultur-Produkte sind hauptsächlich für den menschlichen Konsum bestimmt. Weltweit

gesehen betrug der Anteil aus der Aquakultur für den menschlichen Konsum 45,7% im Jahr 2008.

China ist der weltweit größte Aquakultur-Erzeuger; 80,2% des konsumierten Speisefisches stammt aus der Aquakultur. Nach China folgen Indien, Vietnam und Indonesien als Top-Aquakulturerzeuger. Die folgenden Grafiken zeigen die Top-15-Erzeugerländer und Trends von Aquakulturerzeugnissen (FAO, 2010).

Tab. 11: Top 15 Aquakulturerzeuger nach Menge und Wachstum, 2008 (FAO, 2010).

	Production			Average annual rate of growth		
	1990	2000	2008	1990–2000	2000–2008	1990–2008
	(Thousand tonnes)			(Percentage)		
China	6 482	21 522	32 736	12.7	5.4	9.4
India	1 017	1 943	3 479	6.7	7.6	7.1
Viet Nam	160	499	2 462	12.0	22.1	16.4
Indonesia	500	789	1 690	4.7	10.0	7.0
Thailand	292	738	1 374	9.7	8.1	9.0
Bangladesh	193	657	1 006	13.1	5.5	9.6
Norway	151	491	844	12.6	7.0	10.0
Chile	32	392	843	28.3	10.1	19.8
Philippines	380	394	741	0.4	8.2	3.8
Japan	804	763	732	–0.5	–0.5	–0.5
Egypt	62	340	694	18.6	9.3	14.4
Myanmar	7	99	675	30.2	27.1	28.8
United States of America	315	456	500	3.8	1.2	2.6
Republic of Korea	377	293	474	–2.5	6.2	1.3
Taiwan Province of China	333	244	324	–3.1	3.6	–0.2

Note: Data exclude aquatic plants.

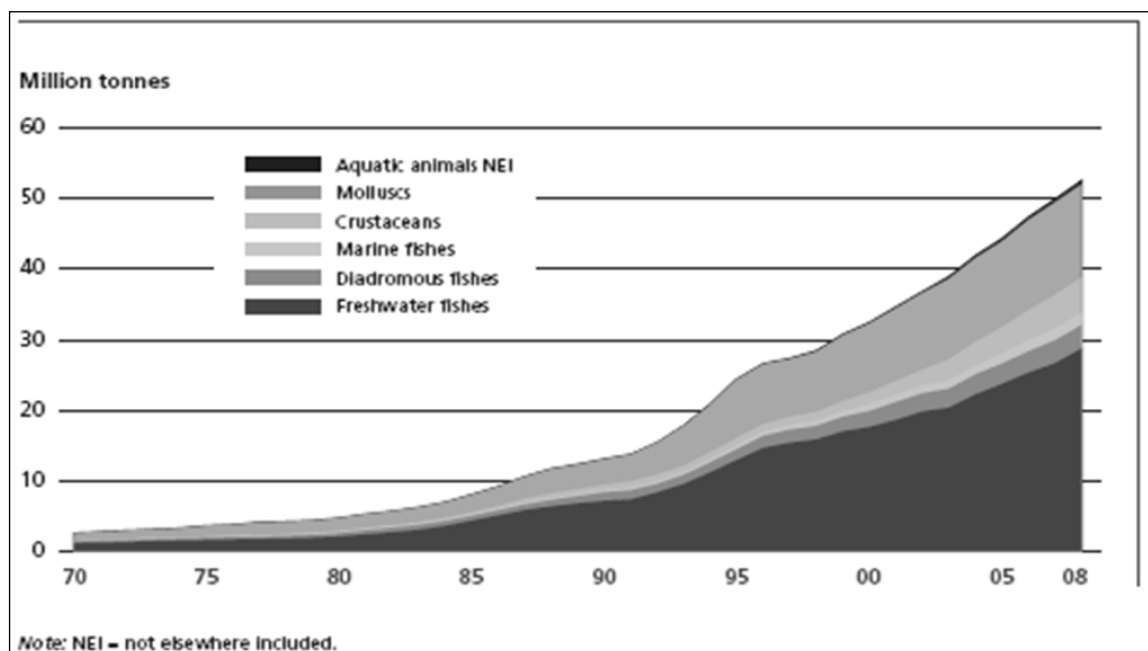


Abb. 15: Trends von weltweiten Aquakulturerzeugnissen: Hauptspezies (FAO, 2010).

Auf der anderen Seite birgt die Aquakultur auch Gefahren wie z.B. die Zunahme von Schadstoffen im Wasser durch Fischkot und Futtermittelreste. Ebenso kann es zum Verlust von Naturräumen durch den Bau von Zuchtanlagen sowie zu einer Bedrohung der Wildbestände durch ausgebrochene Zuchttiere kommen (ErnährungsUmschau, 2011).

Cole et al. (2009) nennen als mögliche Gefahren zunächst die genetische Manipulation in der Aquakultur wie z.B. durch Wachstumshormone, krankheitsresistente Gene oder Frostschutzgene. Genetisch veränderte Fische mit sogenannten „Frostschutz-Proteinen“ können, wenn sie aus der Aquakultur in die Wildnis entkommen, in kältere Gebiete vordringen und möglicherweise das natürliche Artenverhältnis verändern. Weiters kommt es durch den bei der Aquakultur entstehenden Abfall zur Umweltverschmutzung – dies kann zu vermehrter Algenblüte, Verringerung des Sauerstoffgehaltes, Reduktion der Wasserqualität, Zerstörung von Korallen und Schwinden von natürlichen Lebensräumen führen.

Für die Aufzucht werden große Mengen an wild-gefangenem Fisch als Fischfutter (Fischmehl) benötigt. Ein Schwinden der als Fischfutter verwendeten Bestände kann allerdings gleichzeitig das Ökosystem beeinflussen, wenn z.B. nicht mehr genug Futter für dort lebende Raubfische zur Verfügung steht. Aus diesem Grund wird nach Fütterungsalternativen gesucht. Mittlerweile kommen bereits pflanzliche Quellen wie Sojabohnen, Raps und Weizen zum Einsatz (Cole et al., 2009).

In den letzten Jahren konnte hinsichtlich der Nachfrage nach Fisch und Krustentieren aus Aquakultur eine jährliche Steigerung von etwa 8,5% vernommen werden. Dies hat zur Folge, dass auch die Futtermittelproduktion für die Fischzucht in einem gleichen Maß zunehmen muss. Dominierend ist der Bedarf für die Lachsfütterung mit 43%.

Ein wesentlicher Teil der Futtermittel besteht aus Fischölen, wobei in letzter Zeit ein Rückgang zu verzeichnen ist. Gründe für den Rückgang sind vor allem der Fischölpreis, der sich von 2007 auf 2008 pro Tonne nahezu verdoppelt hat sowie sinkende Verfügbarkeit des Beifangs. Dadurch steigt der Druck auf die

Futtermittelindustrie Alternativen zu finden. Gleichzeitig werden von Händlern und Verbrauchern nachhaltige Methoden zur Erhaltung des Rohstoffs und Verhinderung des Beifangs gefordert. Obwohl ein völliger Verzicht von Fischölen in der Lachszucht nicht möglich ist, kann ein erheblicher Teil durch pflanzliche Öle ersetzt werden.

Dazu wurde an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg eine Studie durchgeführt, wobei ein teilweiser Ersatz des Fischöls mit Rapsöl vorgenommen wurde. Rapsöl besitzt eine ernährungsphysiologisch vorteilhafte Fettsäureverteilung und wurde aus diesem Grund als Alternative gewählt. Es konnte aufgezeigt werden, dass Lachsproben aus diesem Fütterungsversuch vereinzelt sehr geringe und sensorisch kaum wahrnehmbare Unterschiede für ungeschulte Konsumenten zeigten (Schacht et al., 2009).

Die Aquakultur hat oftmals mit vielen Vorurteilen zu kämpfen, wie z.B. eine mögliche Belastung mit Arzneimitteln. Bis in die 1990er Jahre war dies tatsächlich der Fall und es kamen große Mengen Antibiotika in der Aquakultur zum Einsatz. Heute ist dieser durch neue Impfstoffe und die Einführung der Impfung von z.B. Junglachsen um bis zu 98% zurückgegangen (Oehlenschläger, 2010a).

Aus ökologischer Sicht sind nachhaltige Standards für einen weiteren Ausbau dieses Wirtschaftszweiges unerlässlich. Als ressourcenschonend gelten z.B. geschlossene Kreislaufanlagen in der Fischzucht. Bei dieser Methode erfolgt eine Filterung des zirkulierenden Wassers und somit kann ein Großteil des Wassers wiederverwendet werden. Zusätzlich können auf diesem Weg keine Verunreinigungen (z.B. Exkrememente) in die Umwelt gelangen. Derartige Produktionsanlagen werden schon in der Aquakultur verwendet, es bedarf aber noch weiterer Verbesserungen (ErnährungsUmschau, 2011).

Durch geschlossene Kreislaufanlagen kann eine standortunabhängige Erzeugung erfolgen. Diese sehr aufwendige Methode wird allerdings fast ausschließlich für hochpreisige Fische wie Wels, Stör oder Heilbutt verwendet (aidInfodienst., 2009).

Fische aus Aquakultur werden ca. zu 80% im Süßwasser, 15% im Meerwasser und 5% im Brackwasser (Mischung von Süß- und Salzwasser) gezüchtet (Oehlenschläger, 2010b).

Die gesetzliche Regulierung und internationale Aufsicht der Aquakultur-Industrie ist sehr komplex mit einer Reihe unterschiedlicher Behörden. Diese versuchen Standortwahl, Schadstoffbekämpfung, Wasserqualität, Futterbereitstellung, Lebensmittelsicherheit- und Produktion etc. zu regulieren. Die Praktiken unterscheiden sich zwischen den Ländern und auch oft innerhalb von Staaten und Territorien eines Landes. Aus diesem Grund sind standardisierte Praktiken über die Grenzen hinweg gefordert.

Damit die Aquakultur auch in Zukunft eine sichere und verlässliche Nahrungsquelle für Millionen Menschen weltweit bleibt und der ökonomischen Absicherung vieler Länder dient, muss die Umwelt entsprechend geschont werden (Cole et al., 2009).

4.3 Illegale Fischerei und Kontrollmaßnahmen

Ein gravierendes Problem stellt die illegale Piratenfischerei dar. Geschätzte 30-40% des weltweiten Fangs werden illegal gefischt – dies trägt besonders zum Schwinden von Fischbeständen bei. Bedauerlicherweise arbeiten viele Fischereifirmen mit den Piraten zusammen. Die gefangenen Fische werden üblicherweise auf offener See auf die Schiffe von großen Markenherstellern verladen und landen schließlich in den Supermärkten von reichen Ländern des Nordens. Aufgrund mangelnder Kontrollen kann die Herkunft der Fische kaum zurückverfolgt werden. Die illegalen Fänge können natürlich statistisch nicht erfasst werden, weshalb auch die Situation der weltweiten Überfischung schwierig einzuschätzen ist (VKI, 2010a).

Auch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) zählt die illegale, unregulierte und ungemeldete Fischerei (IUU-Fischerei) zu den weltweit größten Bedrohungen für die Nachhaltigkeit von Fischbeständen sowie die biologische Vielfalt der Meere.

Der wirtschaftliche Wert wird auf bis zu 9 Milliarden Euro geschätzt. Die IUU-Fischerei findet sowohl in den Wirtschaftszonen von Küstenstaaten als auch auf hoher See statt und macht somit ein sachgerechtes Fischereimanagement auf hoher See unmöglich. Zusätzlich fügt sie der legalen Fischerei in Küstengewässern, vor allem jenen von Entwicklungsländern, einen großen Schaden zu.

Bewirtschaftungsmaßnahmen auf hoher See werden durch regionale Fischereiorganisationen (RFO) wie die Nordostatlantische Fischereikommission (NEAFC) und die Nordwestatlantische Fischereiorganisation (NAFO) getroffen. Allerdings führen die Betreiber von Fischereifahrzeugen ihre Schiffe oft unter Billigflaggen und sind so seerechtlich nicht an diese Maßnahmen gebunden. Dahinter steckt ein massives Wirtschaftsinteresse und es muss davon ausgegangen werden, dass ein großer Teil der IUU-Fänge über Drittländer in die EU gelangt (BMELV, 2011).

Um diese profitgetriebene Fischerei zu erschweren hat die RFO verschiedene Maßnahmen ergriffen. Entsprechende Schiffe wurden auf schwarze Listen gesetzt und dürfen nicht mehr unmittelbar in Mitgliedstaaten der RFO anlanden. Ergänzt wurde diese Maßnahme noch durch ein Versorgungsverbot solcher Schiffe – diese dürfen auch seit dem Jahr 2006 nicht mehr in den Vertragsstaaten der NEAFC einlaufen. Zusätzlich müssen alle Frostschiffe seit Mai 2007 die Rechtmäßigkeit ihrer Fänge vom entsprechenden Flaggenstaat bestätigen lassen. Auch andere regionale Fischereiorganisationen wie die NAFO haben vergleichbare Maßnahmen getroffen. Die schwarzen Listen werden zwischen den Organisationen ausgetauscht, um den Anwendungsbereich räumlich auszubreiten. Für besondere Fischarten wurden von regionalen Fischereiorganisationen entsprechende Fangdokumentationssysteme entwickelt.

Auch in der europäischen Union stellt die Schwarzfischerei ein Problem dar – beim Dorschbestand in der Ostsee wird der Anteil an illegalen Fängen auf 40% geschätzt. Im Jahr 2010 wurde die IUU-Verordnung (Verordnung zur Verhinderung, Bekämpfung und Unterbindung der illegalen, nicht gemeldeten und unregulierten Fischerei) erlassen. Drittländer welche Fischereierzeugnisse

in die EU einführen wollen, müssen entsprechende Fangbescheinigungen mitführen. Durch diese Zertifikate bescheinigt die jeweils zuständige Drittlandbehörde die Rechtmäßigkeit der Fänge (BMELV, 2011).

Auch die FAO fordert in einem kürzlich erschienen Report strengere Kontrollen im Kampf gegen die IUU-Fischerei und bei Nichteinhaltung entsprechende Handelssanktionen (FAO, 2011).

5 SCHLUSSBETRACHTUNG

Der Konsument ist hinsichtlich der Risiko-Nutzen-Abwägung beim Fischkonsum oftmals verunsichert (Burger et al., 2005). Einerseits wird der Fischkonsum aus ernährungsphysiologischer Sicht mit einem hohen gesundheitsfördernden Nutzen in Verbindung gebracht (Widhalm et al., 2007), andererseits stellt Fisch für den Menschen die Hauptaufnahmequelle von organischen Quecksilberformen, besonders von Methylquecksilber, dar (Holmes et al., 2009, Gochfeld, 2003, Burger et al., 2005). Konsumenten denen ökologische Aspekte wichtig sind, sehen sich ebenfalls mit vielen Fragen konfrontiert (Widhalm et al., 2007).

Die Zielorgane einer akuten Toxizität durch Quecksilber sind das Nerven- und Immunsystem und die Niere (Holmes et al., 2009). Bei einer chronischen Vergiftung durch anorganisches oder elementares Quecksilber steht eine Schädigung des Zentralnervensystems im Vordergrund. Ebenso verhält es sich mit organischen Quecksilberverbindungen wie Methylquecksilber (Fuhrmann, 2006). Besonders das sich entwickelnde Gehirn scheint empfindlich für eine Methylquecksilbertoxizität (Myers et al., 2009).

Die Bioverfügbarkeit von Quecksilber hängt von zahlreichen Faktoren ab (Fent, 2003). Im Wasser scheinen besonders eine höhere Azidität (niedriger pH-Wert) und höhere Gehalte an gelöstem organischen Kohlenstoff (USEPA, 1997) sowie die Anwesenheit von Feuchtgebieten (Simonin et al., 2008) und vorkommende Überschwemmungen die Mobilisierung von Quecksilber in die Umwelt und einen erleichterten Eintritt in die Nahrungskette zu fördern (Gochfeld, 2003).

Was die Methylquecksilbergehalte in Fischen betrifft, wurde vor allem ein positiver Zusammenhang zwischen Gehalt im Gewebe und Fischgröße beobachtet (Canli and Atli, 2003, Mozaffarian and Rimm, 2006). Besonders große, langlebige Raubfische wie Schwertfisch und Hai enthalten oft hohe Konzentrationen von Methylquecksilber. Auch in Österreich erfolgten in den letzten Jahren mehrere Untersuchungen über den Quecksilbergehalt in

handelsüblichen Fischen. Die höchsten Gehalte fanden sich auch hier bei Schwertfisch, Haifisch, Butterfisch und Thunfisch. Allerdings wurden die Grenzwerte nur bei wenigen Exemplaren überschritten (Widhalm et al., 2007) und in Österreich wird von keinem signifikanten Gesundheitsrisiko durch Quecksilber ausgegangen (SUPPIN et al., 2005). Eine im Jahr 2010 durchgeführte Untersuchung von Schwermetallgehalten in Dosenfisch aus dem österreichischen Handel konnte keine Überschreitung der Grenzwerte feststellen (VKI, 2010b). Weiters wurden bei einer in Österreich durchgeführten Analyse von Quecksilbergehalten in Muttermilch keine Überschreitungen von kritischen Gehalten festgestellt und die Autoren betonen, dass die Vorteile des Stillens gegenüber dem Risiko durch Quecksilber überwiegen (Gundacker et al., 2002).

Grundsätzlich werden bei einigen Fischarten die üblicherweise höhere Gehalte aufweisen (z.B. Weißer Heilbutt, Thunfisch, Marlin, Hai) ab einer bestimmten Größe regelmäßige Kontrollen auf Quecksilber durchgeführt und Tiere, die die Grenzwerte übersteigen, gelangen erst gar nicht auf den Markt (Oehlenschläger, 2010a).

Der Konsument kann das Methylquecksilber im Fisch nicht durch Koch- oder Waschprozesse entfernen (Li et al., 2010, Hightower and Moore, 2003), allerdings sind die Quecksilbergehalte im Fischmuskelgewebe, welches den üblicherweise verzehrbaren Anteil darstellt, meist verhältnismäßig geringer als in anderen Organen (Carvalho et al., 2009).

Insgesamt überwiegen die Vorteile eines moderaten Fischkonsums die potentiellen Risiken durch Methylquecksilber (Torpy et al., 2006, Widhalm et al., 2007, Oehlenschläger, 2010a) sofern entsprechende Empfehlungen (z.B. Einschränkung vom Verzehr stark belasteter Arten wie Schwertfisch, Haifisch oder Königsmakrele) von Risikogruppen wie Frauen im gebärfähigen Alter mit Kinderwunsch, schwangeren und stillenden Frauen sowie Kleinkindern, befolgt werden (JADA, 2005). Zu den empfindlichen Bevölkerungsgruppen gehören auch Personen, die sehr häufig Fisch konsumieren (> 5mal wöchentlich) (Widhalm et al., 2007) und Personen aus generell höher belasteten Gebieten, z.B. dort wo intensiver Goldabbau betrieben wurde (Bose-O'Reilly et al., 2008).

Fisch stellt für viele Populationen die Hauptproteinquelle dar und der Beitrag von Fisch zur Welternährung ist so hoch wie nie zuvor. Gleichzeitig betont ein kürzlich erschienener Report der FAO hinsichtlich Fischerei und Aquakultur, dass sich der Status der weltweiten Fischbestände noch nicht verbessert hat. Geschätzte 32% der weltweiten Fischbestände werden als übernutzt, erschöpft oder rückbildend eingestuft und auch die illegale, unregulierte und ungemeldete Fischerei stellt ein großes Problem dar (FAO, 2011). Die stetig wachsende Aquakultur kann, sofern nachhaltig betrieben, sowohl zur Entlastung überfischter Gewässer (ErnährungsUmschau, 2011) als auch zur künftigen weltweiten Versorgung mit Fisch beitragen (Cole et al., 2009).

Endverbraucher, denen ein nachhaltiger Konsum wichtig ist, können sich an entsprechenden Gütesiegeln für nachhaltige Fischerei wie z.B. dem MSC-Gütesiegel orientieren oder auch auf heimische Fischarten zurückgreifen (Widhalm et al., 2007). Seit dem Jahr 2002 gibt es eine Kennzeichnungspflicht für die Handelsbezeichnung, die Produktionsmethode (z.B. ob der Fisch aus Aquakultur stammt) sowie das Fanggebiet (FIZ, 2001). Der Konsument hat also die Möglichkeit mithilfe von Fischeinkaufsführern von Umweltorganisationen wie WWF oder Greenpeace entsprechend empfohlene Fische (nach Art, Produktion oder Fanggebiet) auszuwählen (Widhalm et al., 2007). Durch sein Kaufverhalten hat der Konsument auch gleichzeitig Einfluss auf künftige Entwicklungen in der Industrie (Rützler, 2005).

Zu den derzeitigen Lösungsansätzen einer nachhaltigen Fischerei gehören z.B. die bessere Ausnutzung bzw. Minderung von Beifang (Alonso et al., 2010) und die Durchsetzung von nachhaltigen Standards bei Verfahren und Technologien in der Fischindustrie (Blanco et al., 2007). Konsumenten und Fischwirtschaft müssen sich möglicherweise auch auf ein wechselndes Arten- und Produktangebot einstellen (Oehlenschläger, 2010b).

In vielerlei Hinsicht bleiben noch Fragen offen und es bedarf weiterer Forschung sowie entsprechendem Monitoring. Zusätzlich werden weitere

Verbesserungen der Analysemethoden und standardisierte Messmethoden gefordert (Chen et al., 2008).

Für den Konsumenten ist eine kompetente Verbraucherberatung entscheidend und ihm sollen entsprechende Informationen zur Verfügung stehen. Besonders bei Risikogruppen sollen bei einer Beratung hinsichtlich des Fischkonsums mögliche Risiken und entsprechende Empfehlungen kommuniziert werden.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Der wöchentliche Verzehr von ein bis zwei Portionen Fisch ist laut nationalen und internationalen Fachgesellschaften mit einem hohen gesundheitsfördernden Nutzen, besonders für das kardiovaskuläre System und der Neuroentwicklung von Kindern, verbunden. Gleichzeitig enthält Fisch immer eine gewisse Menge an toxischem Methylquecksilber und auch aus ökologischer Sicht wirft der Fischkonsum Fragen auf. Der Konsument ist hinsichtlich der Risiko-Nutzen-Abwägung beim Fischkonsum oftmals verunsichert und es bedarf einer kompetenten Verbraucherberatung mit entsprechenden Empfehlungen.

Quecksilber gilt als weit verbreiteter und persistierender Schadstoff in der Umwelt und gehört zu den Metallen mit der höchsten Biokonzentration in der menschlichen Nahrungskette. Fisch stellt für den Menschen die Hauptaufnahmequelle für Methylquecksilber dar. Mögliche Auswirkungen auf die Gesundheit durch eine chronische Methylquecksilberexposition betreffen vor allem das Nervensystem und führen zu vielfältigen neurologischen Symptomen. Die Quecksilbergehalte im Wasser, als auch im Fisch, werden durch zahlreiche Faktoren beeinflusst. Beim Fisch gelten besonders ältere, an der Spitze der Nahrungskette stehende Raubfische (z.B. Schwertfisch, Thunfisch, Hai) als höher belastet und sollten von Risikogruppen gemieden werden.

In Österreich wird von keiner Gesundheitsgefährdung durch die üblicherweise konsumierten Fische ausgegangen. Risikogruppen sollen sich aber an entsprechenden Empfehlungen orientieren. Generell überwiegen die Vorteile eines moderaten Fischkonsums die potentiellen Risiken.

Beim Fischkonsum sollte neben dem gesundheitlichen und kulinarischen Aspekt auch auf ökologische Kriterien sowie die Herkunft des Fisches geachtet werden. Endverbraucher, denen ein nachhaltiger Konsum wichtig ist, können sich dabei an entsprechenden Gütesiegeln sowie Fisch-Einkaufsführern orientieren. Gleichzeitig haben Konsumenten durch ihr Kaufverhalten Einfluss auf künftige Entwicklungen in der Fischindustrie.

7 ABSTRACT

According to national and international societies, consumption of 1 to 2 portions of fish per week is connected with a high benefit for health, especially for the cardiovascular system and the neurodevelopment of children. At the same time, nearly all fish contain traces of methylmercury and furthermore, also different questions arise from the ecological aspect. Consumers often are insecure with respect to the risk-benefit-weighting of fish consumption and therefore a qualified consumer counselling with corresponding recommendations is necessary.

Mercury is a widespread and persistent contaminant in the environment and belongs to metals with the most highly bio-concentration in the human food chain. For humans, fish is the main source for methylmercury absorption. Possible health impacts due to chronic methylmercury exposure primarily affect the nervous system and lead to several neurologic disorders. Mercury content in water and also in fish depends on numerous factors. Especially predatory fish at the top of the food chain with a long life span (e.g. swordfish, tuna, and shark) often contain high levels of mercury, and risk groups should avoid such fish species.

In Austria, the risk of mercury by usually consumed fish is not a health concern but risk groups should follow corresponding recommendations. Overall, the health benefits of moderate fish consumption greatly outweigh potential risks.

Next to health and culinary aspects of fish consumption, consumers should also pay attention to ecological criteria as well as the origin of fish. Consumer preference of products with seals of quality or regard to fish shopping guides can help to support a sustainable consumption. Simultaneously, consumers' buying behaviour is impacting future developments in the fishing industry.

8 LITERATURVERZEICHNIS

- AIDINFODIENST. 2009. *Fisch und Fischerzeugnisse*, Bonn, 15. Auflage, aid Infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e.V.
- ALONSO, A. A., ANTELO, L. T., OTERO-MURAS, I. & PÉREZ-GÁLVEZ, R. 2010. Contributing to fisheries sustainability by making the best possible use of ther. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 569-578.
- ATWOOD, D. A., BEBOUT, D. C., BERRY, S. M., ANDREWS, J. C., GRANT, G. J., RABINOVICH, D., ZAMAN, M. K. & ZHANG, H. 2006. *Recent Developments in Mercury Science*, Berlin, Springer-Verlag.
- BIESALSKI, H. K., BISCHOFF, S. C. & PUCHSTEIN, C. 2010. *Ernährungsmedizin*, Stuttgart, New York., 4.Auflage, Georg Thieme Verlag.
- BILLEN, G. 2010. Lebensmittelimporte und Lebensmittelqualität. *Ernährungs Umschau*, 9/10, 497-9.
- BIOFISCH. 2011. www.biofisch.at (Stand: 20.02.2011).
- BLANCO, M., SOTELO, C. G., CHAPELA, M. J. & PÉREZ-MARTÍN, R. I. 2007. Towards sustainable and efficient use of fishery resources: present and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 18, 29-36.
- BMELV. 2011. Illegale, unregulierte und ungemeldete Fischerei.: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. http://www.bmelv.de/cln_172/SharedDocs/Standardartikel/Europa-Internationales/Fischereipolitik-Meeresschutz/IllegaleFischerei.html (Stand: 01.03.2011).
- BOENING, D. W. 2000. Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. *Chemosphere*, 40, 1335-51.
- BOSE-O'REILLY, S., LETTMEIER, B., ROIDER, G., SIEBERT, U. & DRASCH, G. 2008. Mercury in breast milk - a health hazard for infants in gold mining areas? *Int J Hyg Environ Health*, 211, 615-23.
- BURGER, J., STERN, A. & GOCHFELD, M. 2005. Mercury in commercial fish: optimizing individual choices to reduce risk. *Environ Health Perspect*, 113, 266-71.
- BÖL, G.-F. 2010. Wie bewerten wir die Qualität unserer Lebensmittel? *Ernährungs Umschau*, 5/10, 243-5.
- CABAÑERO, A. I., MADRID, Y. & CÁMARA, C. 2007. Mercury-selenium species ratio in representative fish samples and their bioaccessibility by an in vitro digestion method. *Biol Trace Elem Res*, 119, 195-211.
- CANLI, M. & ATLI, G. 2003. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environ Pollut*, 121, 129-36.
- CANUEL, R., DE GROSOIS, S. B., ATIKESSÉ, L., LUCOTTE, M., ARP, P., RITCHIE, C., MERGLER, D., CHAN, H. M., AMYOT, M. & ANDERSON, R. 2006. New evidence on variations of human body burden of methylmercury from fish consumption. *Environ Health Perspect*, 114, 302-6.
- CARBONELL, G., BRAVO, J. C., FERNÁNDEZ, C. & TARAZONA, J. V. 2009. A new method for total mercury and methyl mercury analysis in muscle of seawater fish. *Bull Environ Contam Toxicol*, 83, 210-3.

-
- CARROLA, J., FONTAÍNHAS-FERNANDES, A., MATOS, P. & ROCHA, E. 2009. Liver histopathology in brown trout (*Salmo trutta* f. *fario*) from the Tinhela River, subjected to mine drainage from the abandoned Jales Mine (Portugal). *Bull Environ Contam Toxicol*, 83, 35-41.
- CARVALHO, G. G., DE FRANÇA, J. G., DIAS, D. C., LOMBARDI, J. V., DE PAIVA, M. J., CARVALHO, S., SARRIÉS, G. A. & FERREIRA, J. R. 2009. Selenite and selenate effects on mercury (Hg(2+)) uptake and distribution in tilapia, *Oreochromis niloticus* L., assessed by chronic bioassay. *Bull Environ Contam Toxicol*, 82, 300-4.
- CHEN, C. Y., SERRELL, N., EVERS, D. C., FLEISHMAN, B. J., LAMBERT, K. F., WEISS, J., MASON, R. P. & BANK, M. S. 2008. Meeting report: Methylmercury in marine ecosystems--from sources to seafood consumers. *Environ Health Perspect*, 116, 1706-12.
- CHOY, C. M., LAM, C. W., CHEUNG, L. T., BRITON-JONES, C. M., CHEUNG, L. P. & HAINES, C. J. 2002. Infertility, blood mercury concentrations and dietary seafood consumption: a case-control study. *BJOG*, 109, 1121-5.
- CLARKSON, T. W. 2002. The three modern faces of mercury. *Environ Health Perspect*, 110 Suppl 1, 11-23.
- COLE, D. W., COLE, R., GAYDOS, S. J., GRAY, J., HYLAND, G., JACQUES, M. L., POWELL-DUNFORD, N., SAWHNEY, C. & AU, W. W. 2009. Aquaculture: Environmental, toxicological, and health issues. *Int J Hyg Environ Health*, 212, 369-77.
- DAVIDSON, P. W., LESTE, A., BENSTRONG, E., BURNS, C. M., VALENTIN, J., SLOANE-REEVES, J., HUANG, L. S., MILLER, W. A., GUNZLER, D., VAN WIJNGAARDEN, E., WATSON, G. E., ZAREBA, G., SHAMLAYE, C. F. & MYERS, G. J. 2010. Fish consumption, mercury exposure, and their associations with scholastic achievement in the Seychelles Child Development Study. *Neurotoxicology*, 31, 439-47.
- DE CARVALHO, S., LOMBARDI, J. V., PAIVA, M. J., DE FRANÇA-MONKOLSKI, J. G. & FERREIRA, J. R. 2006. Bioaccumulation of mercury in fish exposed to experimentally contaminated water and sediment. *Bull Environ Contam Toxicol*, 77, 854-60.
- EFSA. 2004. EFSA legt Risikobewertung von Quecksilber in Fisch vor: Vorsorgliche Empfehlung für besonders gefährdete Bevölkerungsgruppen.: European Food Safety Authority. <http://www.efsa.europa.eu/de/press/news/contam040318.htm> (Stand: 12.02.2011).
- EFSA. 2006. Metalle als Kontaminanten in Lebensmitteln.: European Food Safety Authority. <http://www.efsa.europa.eu/de/contamtopics/topic/metals.htm?wtrl=01> (Stand: 02.09.2010).
- ELMADFA, I., FREISLING, H., NOWAK, V. & HOFSTÄDTER, D. 2009. Österreichischer Ernährungsbericht 2008. 1. Auflage, Wien, März 2009.
- ELMADFA, I. & LEITZMANN, C. 2004. *Ernährung des Menschen*, Stuttgart, 4. Auflage, Verlag Eugen Ulmer.
- ERNÄHRUNGSSUMSCHAU. 2011. Aquakultur - Entlastung der Meere, aber Belastung der Umwelt? <http://www.ernaehrungs-umschau.de/suche/?id=3985> (Stand: 28.02.2011).

-
- ESCOBAR-SÁNCHEZ, O., GALVÁN-MAGAÑA, F. & ROSÍLES-MARTÍNEZ, R. 2010. Mercury and selenium bioaccumulation in the smooth hammerhead shark, *Sphyrna zygaena* Linnaeus, from the Mexican Pacific Ocean. *Bull Environ Contam Toxicol*, 84, 488-91.
- FAIR-FISH. 2011. www.fair-fish.ch (Stand: 20.02.2011).
- FAO. 2010. The State of World Fisheries and Aquaculture 2010.: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/docrep/013/i1820e/i1820e00.htm> (Stand: 20.02.2011).
- FAO. 2011. Fish consumption reaches all-time high. No improvement in level of global fish stocks - FAO reviews latest data and trends.: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/news/story/en/item/50260/icode/> (Stand: 31.01.2011).
- FDA. 2004. What you need to know about mercury in fish and shellfish.: U.S. Food and Drug Administration. <http://www.fda.gov/Food/FoodSafety/Product-SpecificInformation/Seafood/FoodbornePathogensContaminants/Methylmercury/ucm115662.htm> (Stand: 23.12.2010).
- FENT, K. 2003. *Ökotoxikologie*, Stuttgart, New York, 2. Auflage, Georg Thieme Verlag.
- FIZ. 2001. Neue Zusatzinformationen beim Fischkauf ab 2002.: Fisch- Informationszentrum. http://www.fischinfo.de/index.php?1=1&page=presse_det&link=c&id=462 (Stand: 28.02.2011).
- FOLLOWFISH. 2011. www.followfish.de (Stand: 02.03.2011).
- FUHRMANN, G. F. 2006. *Toxikologie für Naturwissenschaftler*, Wiesbaden, 1. Auflage, Teubner Verlag.
- GARETANO, G., STERN, A. H., ROBSON, M. & GOCHFELD, M. 2008. Mercury vapor in residential building common areas in communities where mercury is used for cultural purposes versus a reference community. *Sci Total Environ*, 397, 131-9.
- GOCHFELD, M. 2003. Cases of mercury exposure, bioavailability, and absorption. *Ecotoxicol Environ Saf*, 56, 174-9.
- GRÖGER, J. & EHRICH, S. 2007. Kommentar zum Worm-et-al.-Artikel "Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services". *Inf. Fischereiforsch.* 54: 1-8., 54: 1-8.
- GUNDACKER, C., FRÖHLICH, S., GRAF-ROHRMEISTER, K., EIBENBERGER, B., JESSENIG, V., GICIC, D., PRINZ, S., WITTMANN, K. J., ZEISLER, H., VALLANT, B., POLLAK, A. & HUSSLEIN, P. 2010. Perinatal lead and mercury exposure in Austria. *Sci Total Environ*, 408, 5744-9.
- GUNDACKER, C., PIETSCHNIG, B., WITTMANN, K. J., LISCHKA, A., SALZER, H., HOHENAUER, L. & SCHUSTER, E. 2002. Lead and mercury in breast milk. *Pediatrics*, 110, 873-8.
- HAJEB, P., SELAMAT, J., ISMAIL, A., BAKAR, F. A., BAKAR, J. & LIOE, H. N. 2008. Hair mercury level of coastal communities in Malaysia: a linkage with fish consumption. *Eur Food Res Technol*, 227, 1349-1355.
- HARADA, M. 1995. Minamata disease: methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution. *Crit Rev Toxicol*, 25, 1-24.

-
- HE, K., RIMM, E. B., MERCHANT, A., ROSNER, B. A., STAMPFER, M. J., WILLETT, W. C. & ASCHERIO, A. 2002. Fish consumption and risk of stroke in men. *JAMA*, 288, 3130-6.
- HERREROS, M. A., IÑIGO-NUÑEZ, S., SANCHEZ-PEREZ, E., ENCINAS, T. & GONZALEZ-BULNES, A. 2008. Contribution of fish consumption to heavy metals exposure in women of childbearing age from a Mediterranean country (Spain). *Food Chem Toxicol*, 46, 1591-5.
- HIGHTOWER, J. M. & MOORE, D. 2003. Mercury levels in high-end consumers of fish. *Environ Health Perspect*, 111, 604-8.
- HOLMES, P., JAMES, K. & LEVY, L. 2009. Is low-level environmental mercury exposure of concern to human health? *Sci Total Environ*, 408, 171-82.
- IKEM, A. & EGIEBOR, N. O. 2005. Assessment of trace elements in canned fish (mackerel, tuna, salmon, sardines and herings) marketed in Georgia and Alabama (United States of America). *Journal of Food Composition and Analysis*, 18, 771-787.
- JADA. 2005. What to tell your clients about eating fish. *Journal of the AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION*, 518-19.
- JAHANBAKHT, S., LIVARDJANI, F. & JAEGER, A. 2002. An experimental ecotoxicological study and its application to the behavioural study of organic mercury (CH₃HgCl) in the environment: influence of temperature and pH. *Chemosphere*, 49, 1399-405.
- JEREMIASON, J. D., ENGSTROM, D. R., SWAIN, E. B., NATER, E. A., JOHNSON, B. M., ALMENDINGER, J. E., MONSON, B. A. & KOLKA, R. K. 2006. Sulfate addition increases methylmercury production in an experimental wetland. *Environ Sci Technol*, 40, 3800-6.
- JULSHAMN, K., GRØSVIK, B. E., NEDREAAS, K. & MAAGE, A. 2006. Mercury concentration in fillets of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) caught in the Barents Sea in January 2006. *Sci Total Environ*, 372, 345-9.
- KOMMISSION. 2007. Verordnung (EG) Nr. 333/2007 der Kommission vom 28.März 2007.: Europäische Kommission. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:088:0029:01:DE:HTML> (Stand: 13.02.2011).
- LI, P., FENG, X. & QIU, G. 2010. Methylmercury exposure and health effects from rice and fish consumption: a review. *Int J Environ Res Public Health*, 7, 2666-91.
- LIU, C., HUANG, Y., NAISMITH, N., ECONOMY, J. & TALBOTT, J. 2003. Novel polymeric chelating fibers for selective removal of mercury and cesium from water. *Environ Sci Technol*, 37, 4261-8.
- LOBNER, K. 2009. Natürliche Blockade gegen Schwermetalle. *ernährung heute*, 1/2009, 07-08.
- MATISSEK, R., STEINER, G. & FISCHER, M. 2010. *Lebensmittelanalytik*, Berlin, 4.Auflage, Springer-Verlag.
- MORENO, M. E., ACOSTA-SAAVEDRA, L. C., MEZA-FIGUEROA, D., VERA, E., CEBRIAN, M. E., OSTROSKY-WEGMAN, P. & CALDERON-ARANDA, E. S. 2010. Biomonitoring of metal in children living in a mine tailings zone in Southern Mexico: A pilot study. *Int J Hyg Environ Health*, 213, 252-8.

-
- MORRISSETTE, J., TAKSER, L., ST-AMOUR, G., SMARGIASSI, A., LAFOND, J. & MERGLER, D. 2004. Temporal variation of blood and hair mercury levels in pregnancy in relation to fish consumption history in a population living along the St. Lawrence River. *Environ Res*, 95, 363-74.
- MOZAFFARIAN, D. & RIMM, E. 2006. Fish intake, contaminants, and human health: evaluating the risks and the benefits. *JAMA*, 296, 1885-99.
- MYERS, G. J. & DAVIDSON, P. W. 2007. Maternal fish consumption benefits children's development. *Lancet*, 369, 537-8.
- MYERS, G. J., THURSTON, S. W., PEARSON, A. T., DAVIDSON, P. W., COX, C., SHAMLAYE, C. F., CERNICHIARI, E. & CLARKSON, T. W. 2009. Postnatal exposure to methyl mercury from fish consumption: a review and new data from the Seychelles Child Development Study. *Neurotoxicology*, 30, 338-49.
- MÜHLEND AHL, K. E. 2008. Die Feersche Krankheit (Akrodynie) - eine seltsame Krankheit. *Umweltmed Forsch Prax* 13 (2), 73-79.
- OEHLENSCHLÄGER, J. 2010a. Fisch: Ein natürlich funktionelles Lebensmittel. *Ernährungs Umschau*, 57, 246-251.
- OEHLENSCHLÄGER, J. 2010b. Fischerei-Erzeugnisse weltweit - Herkunft, Qualität, Sicherheit. *Ernährungs Umschau*, 57, 490-6.
- PSCHYREMBEL, W. 2002. *Pschyrembel Klinisches Wörterbuch*, Berlin, 259. Auflage, Walter de Gruyter GmbH & Co.KG.
- REISINGER, H., SCHÖLLER, G., MÜLLER, B. & OBERSTEINER, E. 2009. RUSCH - Ressourcenpotential und Umweltbelastung der Schwermetalle Cadmium, Blei und Quecksilber in Österreich. Umweltbundesamt. Klagenfurt/Wien.
- RIDDLE, S., TRAN, H., DEWITT, J. & ANDREWS, J. 2002. Field, laboratory, and X-ray absorption spectroscopic studies of mercury accumulation by water hyacinths. *Environ Sci Technol*, 36, 1965-70.
- ROTH, E. & HARRIS, W. 2010. Fish oil for primary and secondary prevention of coronary heart disease. *Curr Atheroscler Rep*, 12, 66-72.
- RUELAS-INZUNZA, J. & PÁEZ-OSUNA, F. 2005. Mercury in fish and shark tissues from two coastal lagoons in the Gulf of California, Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol*, 74, 294-300.
- RÜTZLER, H. 2005. *Was essen wir morgen?*, Wien, Springer-Verlag.
- SCHACHT, K., BUSCH-STOCKFISCH, M., KOPPE, W. & STRUKSNAES, G. 2009. Lachs aus Aquakultur. *Ernährungs Umschau*, 56, 416-421.
- SCHWEINSBERG, F. 2003. Mercury in fish and its effect on health: German methods of assessment. *Int J Hyg Environ Health*, 206, 241-3.
- SELCH, T. M., HOAGSTROM, C. W., WEIMER, E. J., DUEHR, J. P. & CHIPPS, S. R. 2007. Influence of fluctuating water levels on mercury concentrations in adult walleye. *Bull Environ Contam Toxicol*, 79, 36-40.
- SIMONIN, H. A., LOUKMAS, J. J., SKINNER, L. C. & ROY, K. M. 2008. Lake variability: key factors controlling mercury concentrations in New York State fish. *Environ Pollut*, 154, 107-15.
- SUPPIN, D., R., Z., KRAPFENBAUER-CERMAK, C., HASSAN-HAUSER, C. & SMULDERS, F. J. M. 2005. Mercury, lead and cadmium content of fresh and canned fish collected from Austrian retail operations. *ERNÄHRUNG/NUTRITION*, 29/11, 456-460.
- TORPY, J. M., LYNM, C. & GLASS, R. M. 2006. JAMA patient page. Eating fish: health benefits and risks. *JAMA*, 296, 1926.

-
- USEPA. 1997. Mercury Study report to Congress.: U.S. Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/mercury/reportover.htm> (Stand: 27. 01. 2011).
- USGS. 2000. Mercury in the environment.: U.S. Geological Survey. <http://www.usgs.gov/themes/factsheet/146-00/> (Stand: 27.01.2011).
- VIZZINI, S., TRAMATI, C. & MAZZOLA, A. 2010. Comparison of stable isotope composition and inorganic and organic contaminant levels in wild and farmed bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the Mediterranean Sea. *Chemosphere*, 78, 1236-43.
- VKI. 2010a. Fischbestände dramatisch reduziert. Verein für Konsumenteninformation. <http://www.konsument.at/cs/Satellite?pagename=Konsument/MagazinArtikel/Detail&cid=318873515843> (Stand: 14.01.2011).
- VKI. 2010b. Thunfisch - Um Dosen besser.: Verein für Konsumenteninformation. <http://www.konsument.at/cs/Satellite?pagename=Konsument/MagazinArtikel/Detail&cid=318873517300&pn=1> (Stand: 14.01.2011).
- VOHR, H.-W. 2010. *Toxikologie*, Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- WEGNER, R. 2002. [Poisoning due to heavy metals and arsenic]. *Internist (Berl)*, 43, 818, 821-7.
- WIDHALM, K., FUSSENEGGER, D., SUPPIN, D. & RAHEEM, A. 2007. Welcher Fisch soll auf den Tisch? Omega-3-Fettsäuren versus Quecksilberbelastung. *Journal für Ernährungsmedizin*, 9 (3), 6-13.
- WORM, B., BARBIER, E. B., BEAUMONT, N., DUFFY, J. E., FOLKE, C., HALPERN, B. S., JACKSON, J. B., LOTZE, H. K., MICHELI, F., PALUMBI, S. R., SALA, E., SELKOE, K. A., STACHOWICZ, J. J. & WATSON, R. 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, 314, 787-90.
- WWF. 2011. WWF ermöglicht Öko-Siegel für Trend-Fisch Pangasius.: World Wide Fund For Nature. <http://www.wwf.at/de/menu58/subartikel1550/> (Stand: 02.03.2011).

9 ANHANG

CURRICULUM VITAE

Sandra Erkner

Persönliche Daten:

Geburtsdatum: 28. Juli 1979 Geburtsort: Steyr

Familienstand: ledig E-Mail: erknersandra@yahoo.de

Ausbildung:

Seit 10/1999

Studium der Ernährungswissenschaften, Universität Wien

Wahlschwerpunkt: Psychologie der Ernährung

10/2009

VEÖ Workshop „Projektmanagement für die Praxis“, Wien

06/2005

Seminar: „Telefonische Kommunikation: Aktive

Gesprächsführung“, Call Center Academy, Wien

05/1999

Matura an der HBLA für wirtschaftliche Berufe, Steyr

Zweig Ernährungslehre und spezielle Betriebswirtschaft

Praktika:

06/2007-08/2007

AKH Wien, Adipositasambulanz der Klinik für Innere

Medizin III, Mitarbeit im Rahmen der Studie „Diabetes und Migration“

08/2006

Firma Ardo Austria Frost GmbH, Groß Enzersdorf, Produktion

10/2005

Universität Wien, Institut für Mikrobiologie und Hygiene,
Praktikum im Bereich Lebensmitteluntersuchungen
(Babynahrung, Trinkwasser, etc.)

09/2004-10/2004

Krankenhaus Kreuzschwestern, Sierning, Mitarbeit in
der Diabetesambulanz und Ernährungsberatung

07/1998-08/1998

Verein Lebensfreude, Sierning, Ferialpraktikum im Bereich
Altenpflege und Mobilisation

Berufserfahrung:

Seit 2009

„Schatzkiste“, Verkauf, Steyr

04/2000-07/2007

Call Center Agent-Tätigkeiten, Inbound- und Outbound-
Telefonie (Hotlinebetreuung und Telefonverkauf)

(u.a. Fa. Your-Office-Management, Call Now

Telekommunikationsservice, Fa. Teleperformance, Fessel-
GFK Marktforschung, etc.), Wien

Persönliche Interessen:

Ausdauersport, Kochen, Lesen, Tauchen, Reiten, Reisen