

**Eine kleine Dosis Quecksilber
oder
*Eine Einführung in die Toxikologie des
Quecksilbers***

Ein Buchkapitel aus
Eine kleine Dosis Toxikologie – Quecksilber
von
Steven G. Gilbert, PhD, DABT
Institute of Neurotoxicology & Neurological Disorders (INND)
Seattle, WA 98115

E-mail: sgilbert@innd.org

Supporting web sites
web: www.asmalldoseof.org - "A Small Dose of Toxicology"
web: www.toxipedia.org - Connecting Science and People

Eine kleine Dosis Quecksilber oder Eine Einführung in die Toxikologie des Quecksilbers

Dossier

Name: Quecksilber (Hg) (anorganisch)
Verwendung: Konsumprodukte, Industrie, Zahnfüllungen, Schalter, Thermometer
Quelle: Bergbau, Umwelt, Arbeitsplatz
Empfohlene Tagesdosis: keine (nicht essentiell)
Aufnahme: Einatmen, Darm (gering)
Empfindliche Personen: Fetus, Kinder, Frauen im gebärfähigen Alter
Toxizität/Symptome: Nervensystem, Reizbarkeit Zittern, Benommenheit, Depression, Gleichgewichtsstörungen und Zittern, („verrückt wie ein Hutmacher“)
Grenzwerte: ATSDR – MRL – Inhalation $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Generelles: schon früh in der Geschichte verwendet, flüssiges Quecksilber verdampft bei Raumtemperatur, Bakterien wandelt es in organisches Methylquecksilber um
Umwelt: in der gesamten Umwelt zu finden
Empfehlungen: weitestgehende Vermeidung, Wiederverwertung quecksilberhaltiger Geräte

Name: Quecksilber (organisch) (Methylquecksilber - Hg-CH_3)
Verwendung: eingeschränkter Gebrauch in Labors
Quelle: in einigen belasteten Fischen (z. B. Thunfisch, Hai, Hecht)
Empfohlene Tagesdosis: keine (nicht essentiell)
Aufnahme: Darm (90%)
Empfindliche Personen: Fetus, Kinder, Frauen im gebärfähigen Alter
Toxizität/Symptome: Nervensystem, Entwicklungsstörungen mit Zerebralparese ähnlichen Symptome unter Beteiligung der visuellen, sensorischen und auditiven Systeme, Kribbeln um die Lippen und Mund, Kribbeln in Fingern und Zehen, Vision, Hörverlust
Grenzwerte : EPA – RfD – $0.1 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{d}$
später – EPA 0.3 ppm empfohlen für MeHg in Fisch basierend auf den Wassergrenzwerten
FDA – 1 ppm in verkaufsfähigem Fisch
ATSDR – MRL – $0.30 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{d}$
Canada - 0.5 ppm Hg für den Fisch im Einzelhandel und Seefrüchte
Umwelt: Bakterien wandelt anorganisches in organisches Methylquecksilber um, reichert sich dann in der Nahrungskette an
Empfehlungen: weitestgehende Vermeidung, Wiederverwertung quecksilberhaltiger Geräte

Fallstudien

“Nun, Herr Baldwin, dieser Fisch ist eine schöne Bescherung.”
Königin Mary von England

Minamata, Japan – Quecksilber und Fisch

In den späten neunziger Jahren wurden die subtilen und schwerwiegenden Folgen einer Methylquecksilberbelastung im japanischen Minamata deutlich. Die ersten Anzeichen bei Fischer und ihren Familien waren unkoordinierte Bewegungen und Taubheit um die Lippen und Extremitäten, gefolgt von einer Einbindung des Gesichtsfeldes, was die Gesundheitsexperten verblüffte. Auswirkungen auf die Entwicklung waren bei Säuglingen deutlich zu erkennen, die zu leichten bis schweren Behinderungen führten. Dieses Spektrum an Nebenwirkungen konnte schließlich auf die Methylquecksilberexposition durch den Verzehr kontaminierter Fische zurückgeführt werden. Die Minamata-Bucht wurde mit Quecksilber und Methylquecksilber verseucht, welches aus einer Fabrik, die Acetaldehyd herstellt, stammte. Quecksilber wurde in dem Herstellungsprozess verwendet, was zur Freisetzung sowohl des Quecksilbers als auch des Methylquecksilbers führte. Die Fische in der Bucht reicherten große Mengen Methylquecksilber an und so gelangte dieses in die Nahrungskette. Dies war eine der ersten Lektionen für die Folgen der Bioakkumulation von Methylquecksilber.

Quecksilber und Goldabbau

Die Umweltbelastung aufgrund des Quecksilbergebrauchs im Goldabbau begann vor Jahrhunderten und dauert bis heute an. Die peruanischen Inka verwendeten zuerst elementares Quecksilber zur Goldgewinnung um 1500. Das Gold bindet an Quecksilber und beim Entfernen des Quecksilbers bleibt das Gold zurück. Stellt man sich eine silberfarbene Pfanne (bestehend aus einem Goldamalgam) vor und sieht wie sie zu Gold wird, so ist dies ein Trick, der jedem Alchemist zur Ehre gereicht. Das Quecksilber verdampft buchstäblich in der Atmosphäre und lässt das Gold zurück. Diese Methode wird heute noch in Zentral- und Südamerika, Afrika den Philippinen angewandt. Es wird geschätzt, dass man ungefähr 3-5 kg Quecksilber benötigt, um ein kg Gold zu gewinnen. Ein großer Teil dieses Quecksilbers verunreinigt das lokale Umfeld und gelangt in die Atmosphäre. Dort kann es durch Regen viele Kilometer entfernt vom Eintragsort zur globalen Quecksilberbelastung beitragen. Elementares Quecksilber wird durch Bakterien in Methylquecksilber umgewandelt und gelangt so in die Nahrungskette, häufig in Fische, die von zahlreichen anderen Tieren und dem Menschen verzehrt werden. Bergleute, ihre Familien, vor allem die Kinder leiden unter dieser Quecksilberexposition.

Quecksilber beschichtetes Saatgut im Irak

Die toxischen Eigenschaften für Pilze der organischen Quecksilberverbindungen sind vorteilhaft, um das Saatgut zu schützen. Aber beim Verzehr dieses Saatguts gab es tragische Folgen. Während des 20. Jahrhunderts wurde das Saatgut mit organischen Quecksilberverbindungen behandelt, um die Zerstörung durch Pilze im Boden zu verhindern. Häufig waren diese Samen rosa gefärbt, um anzuzeigen, dass sie ausschließlich zur Bepflanzung und nicht für den Verzehr geeignet sind. In den frühen siebziger Jahre trat im Irak ein schwere Dürrezeit auf und führte zu einem Verlust des Saatgutes als die dortige Bevölkerung mit Unterernährung kämpfte. Rosa gefärbtes quecksilbergetränktes Saatgut wurde in den Irak zur Bepflanzung ausgeliefert. Leider konnte die dortige Bevölkerung die Fremdsprache auf den Etiketten der Samentüten nicht lesen und die rosa gefärbten Samen nicht als gefährlich erkennen. Brot aus diesen Samen war rosa, lecker und giftig, vor allem für die Entwicklung von Kindern. Viele Menschen starben oder wurden auf tragische Weise für das weitere Leben behindert. Dies stellte eine weitere Lehre für die Kommunikation und Quecksilbervergiftung dar.

Quecksilber in Farbe

Vor 1990 wurden routinemäßig Quecksilberverbindungen zu Innen- und Außenfarben hinzugefügt, um Bakterien- und Pilzwachstum zu verhindern. Der Zusatz von Quecksilber in Farben wurde gestoppt, nachdem negative Auswirkungen von eingeatmetem Quecksilber bei einem vierjährigen Jungen beobachtet wurden. Das ungelüftete Schlafzimmer des Kindes wurde mit quecksilberhaltiger Latexfarbe gestrichen. Bei den Jungen wurde ein Akrodynie diagnostiziert, eine seltene Erkrankung, die durch Quecksilberexposition verursacht wird und durch gerötete Wangen, rosafarbene, geschuppte Handflächen und Zehen, starkes Schwitzen, Schlaflosigkeit und Reizbarkeit gekennzeichnet ist. Die Hersteller erklärten sich bereit, die Verwendung von Quecksilber in Farbe 1991 einzustellen, aber weil die Menschen die Farbe für längere Zeit aufbewahren, kann diese immer noch zu gesundheitlichen Problemen führen.

Quecksilber unter Dielen

Quecksilber wird in vielen industriellen Anwendungen eingesetzt und ist eine Quelle für böse Überraschungen, wenn es nicht vollständig entfernt wird. 1996 wurde von sechs Kindern und eine Reihe Erwachsener berichtet, die in zu Eigentumswohnungen umbautem Produktionsgebäude Quecksilberdämpfe ausgeliefert waren. Vor diesem Umbau wurde in diesem Gebäude Quecksilberdampflampen hergestellt. Quecksilberpfützen wurden unter den Dielen der Eigentumswohnungen entdeckt.

Einführung und Geschichte

Quecksilber kommt in unterschiedlichen Formen mit unterschiedlichen Eigenschaften vor: daher ist jeder Abschnitt dieses Kapitels eingeteilt in anorganisches Quecksilber – das bekannte flüssige Silber – und organisches Quecksilber (meist Methylquecksilber – Hg-CH_3), welches aus Quecksilber entsteht und sich in einigen, der am häufigsten verzehrten Fischarten anreichert.

Die zweiseitige Natur des Quecksilbers, sowohl industriell nützlich, als auch potenziell schädlich, ist lange bekannt, aber erst in den letzten 20 Jahren wurde damit begonnen, es genauer zu untersuchen. Die Gegensätzlichkeit von Quecksilber spielt auch in der römischen Mythologie eine Rolle. Dort ist der geflügelte Bote Merkur (nachdem das Quecksilber im Englischen benannt ist) für seine Schlaueit und Beredsamkeit bekannt und ist sowohl der Gott der Kaufleute, als auch der Gott der Diebe und Vagabunden. Die Geschichte der Verwendung von Quecksilber durch den Menschen, zeigt den Kampf des Zwiespaltes zwischen Nutzen und Schaden auf Mensch und Umwelt. Wir bekämpfen Quecksilber als globaler Schadstoff, seit wir die potenziellen Risiken auf Kinder erkannten.

„Denn sie gebar einen Sohn der vielseitigste Dienstleister, gewandter schlauer Fuchs, ein Räuber, ein Herdentreiber, ein Überbringer der Träume, ein Beobachter in der Nacht, ein Dieb vor der Türe, einer der schon sehr bald Wundertaten unter den unsterblichen Göttern...“

Beschreibung der Geburt von dem griechischen Gott Merkur

Anorganisches Quecksilber

Elementares Quecksilber, auch bekannt als flüssige Silber oder metallisches Quecksilber, ist bei Raumtemperatur eine silbrig glänzende Flüssigkeit mit niedrigem Siedepunkt, hohem Dampfdruck bei Raumtemperatur und einer hohen Dichte, es wiegt 16,6 mal mehr als Wasser. Stein, Eisen, Blei und sogar Menschen gehen in Quecksilber nicht unter (siehe Putman, 1972). Die Giftigkeit des Quecksilbers ist seit der Römerzeit bekannt, als durch Sklaven im spanischen Almaden Quecksilber abgebaut wurde.

Diese Mine ist heute noch in Betrieb und stellt weiterhin eine Hauptquelle für Quecksilber dar. Während alle Gesteinsarten etwas Quecksilber enthalten, ist die Quecksilberkon-

Hg

Quecksilber

Atomnummer: 80

Atommasse 200

zentration in Zinnober sehr hoch (> 80 %). Elementares Quecksilber wird durch Kondensieren des Dampfes aus dem erhitzten Erz gewonnen. In den Vereinigten Staaten wird elementares Quecksilber hauptsächlich als Nebenprodukt im Bergbau gewonnen.

Elementares Quecksilber wird industriell in elektrischen Lampen und Schalter, Anzeigen- und bedienen Elemente (z. B. Thermometer, Barometer, Thermostat), Batterieherstellung, in der Kernwaffenproduktion und in Spezialbereiche der chemischen Industrie, einschließlich der Herstellung von Natronlauge eingesetzt. Da elementares Quecksilber eine hohe Affinität zu Gold und Silber hat, wurde es zur Edelmetallgewinnung aus Erzen verwendet. Elementares Quecksilber findet seit über 100 Jahren in Quecksilber-Amalgamzubereitungen für Zahnblomben Verwendung. Auch in Naturheilmittel wird es eingesetzt mit unbekanntem Konsequenzen für die Gesundheit der Öffentlichkeit.

Die Chinesen verwendeten um 1000 v. Chr. Zinnober für rote Tinte, Kosmetika, Seifen und Abfuhrmittel. Anorganisches Quecksilber (Quecksilbernitrat) wurde in der Filzindustrie verwendet, um die Verfilzung zu unterstützen. Das Verfilzen war eine Hauptquelle für eine berufliche Quecksilberexposition in den Vereinigten Staaten der 1940er Jahre. Eine Statistik der Hersteller von 1937 berichtet von 2300 t Filze für über 30 Millionen Filzhüte für 140 Fabriken in den Vereinigten Staaten und eine weitere Studie von 25 Hutfabriken in Connecticut belegt eine Quecksilbervergiftung bei 59 von 534 Hutmachern.

Bereits 1557 verwendeten peruanische Inka elementares Quecksilber, um goldhaltigen Kies zu waschen. Der erste Extraktionsprozess, der ursprünglich 20-30 Tage dauerte, führte zu Änderungen, so dass schließlich der Prozess in einer über dem Feuer erhitzten Pfanne um 1830 schließlich weniger als 6 Stunden betrug. Mit wenigen Änderungen wird dieses Verfahren heute noch angewendet, besonders in Mittel- und Südamerika, Afrika und den Philippinen, wobei 3-5 kg Quecksilber benötigt werden, um 1 kg Gold zu extrahieren.

Amalgamfüllungen waren bereits im siebten Jahrhundert in Gebrauch und die erste kommerzielle Amalgamfüllung wurde 1830 in New York verwendet. Chronische Quecksilberexposition bei Zahnärzten und zahnmedizinische Fachpersonal ist ein anerkanntes Berufsrisiko. Die Gesundheitsrisiken von Amalgamfüllungen lösten auch in der wissenschaftlichen Literatur Besorgnis aus und werden immer noch kontrovers diskutiert. Aktuelle Studien zeigen, dass die Quecksilbermenge im Urin mit den Amalgamfüllungen korreliert ist und dass eine ähnliche Beziehung auch für die Quecksilberausscheidung über die Muttermilch zutrifft. Einige Länder empfehlen gebärfähigen Frauen und Kindern keine Amalgamfüllungen zu verwenden. Die amerikanische Überwachungsbehörde (FDA) gibt zu diesem Punkt keine Stellungnahmen ab und fordert stattdessen zusätzliche Informationen und überprüft Ihre Beratertätigkeit. Der vielleicht wichtigste Punkt ist, dass es eine annehmbare Alternative zu Amalgamfüllungen gibt, die dem Vorsorgeprinzip gerecht wird und die den Verzicht auf deren Verwendung vorschlagen. Schweden verbietet die Verwendung von Zahn

Amalgam in der normalen Zahnbehandlung und bei der Anwendung in Kindern und Jugendlichen.

Quecksilberthermometer wurden seit Jahrzehnten benutzt. In einigen Fällen wurde ihre Verwendung eingestellt, so in Säuglingsinkubatoren, wo eine erhebliche Quecksilberkonzentration erreicht werden konnte, wenn die Thermometer in einem geschlossenen Raum zerbrachen. Die Entsorgung von Thermometer und die Thermostat toxisch trug signifikant zur Toxizität von Siedlungsabfällen bei. 1995 betrug allein die Quecksilbermenge der wegverworfen Thermometer in den kommunalen Feststoffabfälle 16,9 t.

Organisches Quecksilber

Die ersten Berichte über die Verwendung organischer Quecksilberverbindungen in der chemischen Forschung erschienen 1863. Kurz nach ihrer Synthese erkannte man ihre höhere Toxizität im Vergleich zu den anorganisches Quecksilberverbindungen. Im Jahre 1866 starben zwei Chemiker an Quecksilbervergiftung. Organische Quecksilberverbindungen in der Behandlung von Syphilis, die 1887 in die Therapie eingeführt wurden, führten zu einer nicht berufsbedingten Vergiftung. Die Verwendung organisch-quecksilberbasierte Medizin wurde bald darauf aufgrund der hohen Toxizität eingestellt. Die Anwendung synthetisch hergestellter organischer Quecksilberverbindungen als Antipilzmittel in Beizen für den Schutz des Saatgutes begann 1914. Der industrielle Einsatz hatte vereinzelt Fallberichte zu akuten Vergiftungen mit chemischen Produkten, Anwendungen und unbeabsichtigter Aufnahme des behandelten Saatguts oder dessen Verfütterung an Tiere zur Folge. Die Verwendung dieser Quecksilberverbindungen in der Landwirtschaft führte auch zu weltweiten Vergiftungen größeren Ausmaßes, wie zum Beispiel im Irak.

Sowohl elementares Quecksilber als auch anorganisches Quecksilber werden in der chemischen Industrie verwendet: Vinylchlorid und Acetaldehyd-Synthese (anorganisches Quecksilber) und Chlor-Alkali-Produktion (elementares Quecksilber). Die Fabrik in Minamata verwendete beispielsweise Quecksilberoxid in Schwefelsäure als Katalysator für die Hydrierung von Acetylen zu Acetaldehyd. Darüber hinaus wurde in dieser Fabrik bei der Herstellung von Vinylchlorid an Aktivkohle gebundenes Quecksilberchlorid für diese Umsetzung benützt. Es sind diese Prozesse, die direkt zur Kontamination der Minamata-Bucht und dem Agano-Fluß durch quecksilberhaltiges Abwasser führten. Diese Eintragung führte zu der großen Quecksilberexposition und -vergiftung während der 1950er und 1960er Jahre und schließlich zu dem heutigen Verständnis der Quecksilberzirkulation, -iomethylierung und aufnahme in die Nahrungskette.

Organische Quecksilberverbindungen werden auch in Latexfarbe verwendet, um die Haltbarkeit zu verlängern. Diese Anwendungen wurden in den Vereinigten Staaten beschränkt, als die potentielle Gefahr für Kinder erkannt wurde. Nachfolgende Untersuchungen in Innenräumen mit quecksilberhaltiger Latexfarbe belasteten

Wohnungen zeigten eine Erhöhung der Quecksilberkonzentrationen. In einigen Fällen lagen die Messwerte über der von der Agency for Toxic Substances and Disease Registry empfohlenen Konzentration von $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Biologische Eigenschaften

Anorganisches Quecksilber

Anorganisches Quecksilber kommt als Salz sowohl einwertig (Hg^+) als auch zweiwertig (Hg^{2+}) vor. Zwei wichtige Quecksilbersalze, Kalomel (Quecksilber(I)chlorid) und Sublimat (Quecksilber(II)chlorid) wurden zum ersten Mal im Mittelalter hergestellt. Hautcremes, die auf anorganischen Quecksilbersalzen basierten, wurden zum ersten Mal in dieser Zeit zur Behandlung der Syphilis verwendet und anorganisches Quecksilber wurde als ein klinisches Diuretikum um 1900 gebraucht.

Wenn Quecksilberdampf aus elementarem Quecksilber eingeatmet wird, wird es leicht und schnell in das Blut aufgenommen. Es überwindet leicht die Blut-Hirnschranke und die Plazentaschranke. Aufgrund der schlechten Absorption im Darm ist die Einnahme von elementarem Quecksilber weniger gefährlich als die Inhalation von Quecksilberdampf. Nach dem Eintritt in das Gehirn wird Quecksilber oxidiert und kann die Blut-Hirnschranke nicht mehr überwinden, daher führt eine weitere Exposition mit Quecksilberdampf zu einer Anreicherung im Nervensystem.

Organisches Quecksilber

Obwohl es viele synthetische organische Quecksilberverbindungen gibt, ist das wichtigste dieser Verbindungen das natürlich vorkommende Methylquecksilber (MeHg). In der Umwelt wird anorganisches Quecksilber zu Methylquecksilber vor allem durch mikrobielle Methylhydrierung in Sedimenten und Meerwasser umgewandelt. Einmal hergestellt, tritt MeHg in die aquatische Nahrungskette und reichert sich in den Geweben Wasserorganismen an. Da MeHg während der gesamten Lebensdauer der Wasserorganismen gespeichert wird, steigt die Konzentration in der Nahrungskette in größeren, langlebigen, räuberischen Arten wie Schwertfisch, Hecht und Thunfisch. Der Großteil des Quecksilbers in Fisch ist in den Muskel gespeichert und fast das gesamte Quecksilber im Muskel ist MeHg . Die Konzentration des MeHg hängt vom Alter und dem Ernährungszustand des jeweiligen Fisches ab und kann sehr beträchtlich sein ($>1000 \mu\text{g}/\text{kg}$ (ppm)). So kann die Gesamtquecksilbermenge in essbarem Gewebe von Hai und Schwertfisch bis zu $120 \text{ g}/\text{kg}$ im Durchschnitt betragen. Organische Quecksilberverbindungen wurden als Fungizid, Konservierungsmittel für Farben und für den medizinischen Gebrauch verwendet, die aber eingestellt wurden, als die Neurotoxizität bekannt wurde. Daher stellen der Verbrauch von Fische und Meeressäuger die Hauptquellen der MeHg -Belastung für den Menschen dar und in geringerem Maße Anwendungen in der Forschung, die MeHg und andere organische Quecksilberverbindungen verwenden.

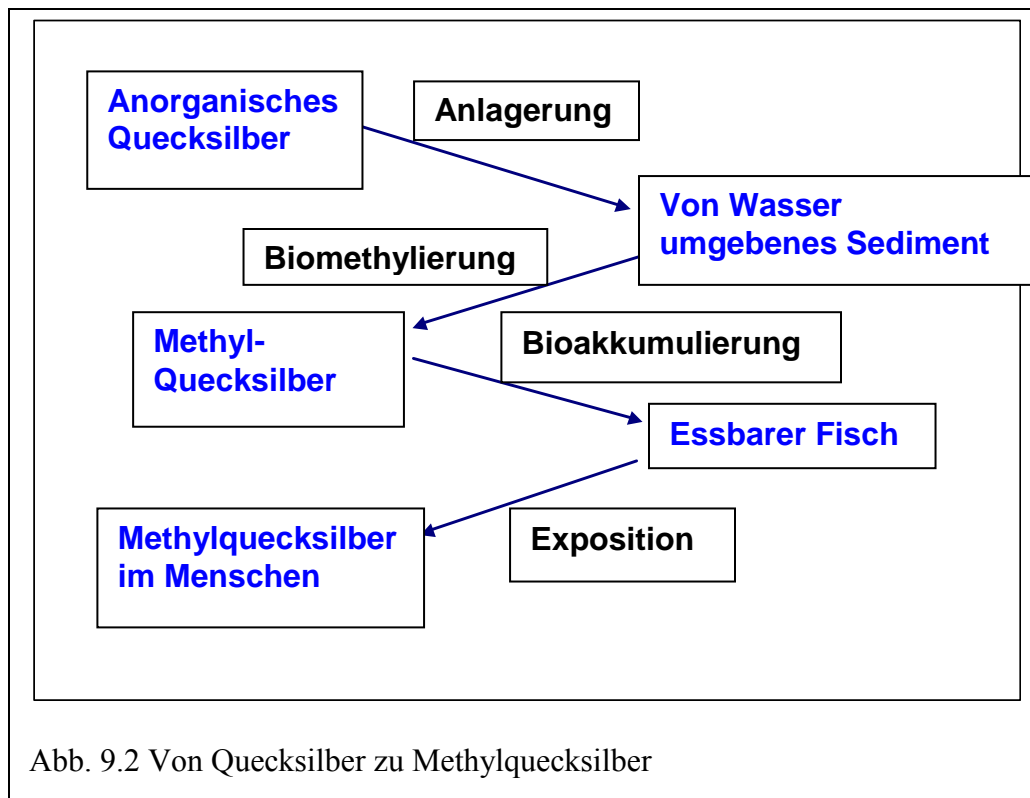


Abb. 9.2 Von Quecksilber zu Methylquecksilber

Auswirkungen auf die Gesundheit

Anorganisches Quecksilber

Elementares Quecksilber in Form von Quecksilberdampf gelangt leicht und schnell in das Blut und erreicht dort die Blut-Hirn-Schranke, sowie die Plazentaschranke. Orale Einnahme von Quecksilber ist weit weniger gefährlich als die Inhalation von Quecksilberdampf, da Quecksilber im Darm schlecht aufgenommen wird. Eine hohe akute Exposition von Quecksilberdampf kann zu Atemwegs-, Herzkreislauf-, Magendarmbeschwerden, neurologische Beschwerden und sogar zum Tod führen.

Sowohl akute hohe Dosen als auch chronisch niedrigen Dosen an Quecksilberdampf können eine Zunahme und eine Unumkehrbarkeit neurologische Effekte zur Folge haben. Symptome sind Zittern, Betäubung der Händen (Parästhesien), emotionale Labilität, Schlaflosigkeit, Gedächtnisverlust und neuerer muskuläre Schwäche. Eine Quecksilberdampfexposition führt zu zittern, Benommenheit, Depressionen und Reizbarkeit. Solche Symptome zeigen sich in dem englischen Ausdruck „verrückt wie ein Hutmacher“ („mad as a hatter“) und dem Hutmacher in Lewis Carols „Alice im Wunderland“. Eine verminderte Leistung im Gedächtnistests und verbale Begriffsbildung

konnte auch in Quecksilberdampf ausgesetzten Industriearbeitern dokumentiert werden. Neurologische Effekte, wie Schwindel, Schwäche, Schlaflosigkeit, Benommenheit und zittern wurden bei einem zwölfjährigen Mädchen, welches verschüttetes Quecksilber ausgesetzt war, beobachtet.

Organisches Quecksilber

Die verheerenden gesundheitlichen Folgen einer Exposition mit Methylquecksilber (MeHg) konnten auch in einigen tragischen Zwischenfällen gezeigt werden (siehe den Abschnitt über Fallstudien). Die MeHg-Exposition erregte weltweite Aufmerksamkeit durch die Folgen einer Schadstoffbelastung durch die Industrie, die nicht nur die Arbeitnehmer, sondern auch die breite Öffentlichkeit betraf. 1950 wurden die Folgen einer MeHg-Exposition auf die Menschen in Minamata und Niigata (Japan) erfasst. In beiden Fällen gelangte Methylquecksilber durch den Verzehr belasteter Speisefische, die durch das Abwasser industriell freigesetztes Quecksilber aufgenommen hatten. Dieser Fall zeigte eindeutig, dass eine Methylquecksilbervergiftung durch eine Übertragung mittels einer Nahrungskette auftreten konnte. 1974 traten mehr als 2150 Fälle allein in der Region von Minamata auf und daher wurde die Krankheit Minamata-Krankheit genannt. Beobachtungen einer ungewöhnlich hohen Inzidenz von Zerebralparese ähnlichen Symptomen mit Beteiligung der visuellen, sensorischen und auditiven Systeme bei Kindern aus der Region Minamata sorgten für eine erhöhte Aufmerksamkeit der potentiellen Entwicklungstoxizität im Zusammenhang mit industriell eingeleitetem Methylquecksilber. Ähnlich den Fällen von Methylquecksilbervergiftungen bei Erwachsenen, war es auch schwierig, einen kausalen Zusammenhang zwischen der Methylquecksilberkonzentration in der Umwelt und den beobachteten Entwicklungsstörungen bei Kindern zu ermitteln. Die Schwierigkeit bestand darin, dass die betroffenen Kinder keinen Fisch gegessen hatten und es gab keine neurologischen Auswirkungen nach den Bewertungskriterien zu dieser Zeit. Die Empfindlichkeit des Fötus im Verhältnis zu den Erwachsenen wurde später in anderen Studien berichtet.

Ein tragischer Unfall im Irak zeigt klar die fetalen Auswirkungen der maternalen Methylquecksilberbelastung (vergleiche den Abschnitt über Fallstudien). Im Winter des Jahres 1971 wurden 73.000 t Weizen und 22.000 t Gerste in den Irak importiert. Das zur Aussaat bestimmte Getreide war mit verschiedenen organischen Quecksilberverbindungen behandelt. Leider wurde dieses Getreide im ganzen Land zu Mehl verarbeitet und konsumiert, was zur Einlieferung von 6530 Menschen in das Krankenhaus und den Tod von 459 Personen zur Zeit der Studie führte (Tab. 9.1).

Die gesammelten Fälle lassen keinen Zweifel zu, dass MeHg ein ernst zunehmendes, auf die Entwicklung des Menschen wirkendes Gift ist, das vor allem auch auf das Nervensystem einwirkt. Während es keine Zweifel an den Auswirkungen hoher Konzentrationen an MeHg *in utero* gibt, bleibt die Frage nach dem Risiko und den Mechanismen nach einer chronischen und geringen Quecksilberbelastung *in utero* unklar.

Ein Bericht des US National Research Council hält fest, dass „mehr als 60.000 Neugeborenen jährlich mit einem Risiko für Entwicklungsstörungen des Nervensystems aufgrund einer Methylquecksilberbelastung *in utero* betroffen sind“. Dieser Bericht macht deutlich, dass viele Kleinkinder höheren Quecksilberbelastungen ausgesetzt sind, die jedoch als sicher betrachtet werden.

Tab. 9.1 Wichtige Quecksilbervergiftungen

Ort	Jahr	Betroffene
Minamata	1953-60	1000
Nigata	1964-65	646
Guatemala	1963-65	45
Ghana	1967	144
Pakistan	1969	100
Irak	1956	100
Irak	1960	1 002
Irak	1971	40 000

Eine Schwierigkeit der Quecksilberdiagnose besteht darin, dass die Symptome erst nach einer Latenzzeit auftreten, während der keine Wirkungen beobachtet werden. Die Latenzzeit ist bestimmt durch die Höhe der Exposition, wobei höhere Expositionen in einer kürzeren Latenzzeit resultieren. Die genauen biologischen Mechanismen, die dieser Latenzzeit zu Grunde liegen, sind unklar. Einige Forscher haben vorgeschlagen, dass die Latenzzeit nicht nur die Anreicherung von MeHg im Gehirn widerspiegelt, sondern auch eine Schwelle angibt, bei der genügend Gewebe zerstört ist, so dass die Fähigkeit des zentralen Nervensystems zur Kompensation des Schadens überfordert ist. Beobachtungen langer Latenzzeiten nach Beendigung der MeHg-Gabe bei Tieren und Menschen können auch durch eine Demethylierung von MeHg zu Quecksilber zurückzuführen sein.

Expositionsreduzierung

Anorganisches Quecksilber

Es gibt zahlreiche Quellen für metallisches Quecksilber in der Wohnung und am Arbeitsplatz. Der beste Rat ist, quecksilberhaltige Produkte zu entsorgen und die Exposition, insbesondere Inhalation besonders bei Kleinkindern, zu vermeiden. In den vergangenen Jahren haben viele Firmen daran gearbeitet, die Verwendung von Quecksilber in den Produkten zu senken. Darüber hinaus haben viele Staaten die Verwendung von Quecksilber beschränkt oder haben Programme zur Verwertung und Rückgewinnung von Quecksilber entwickelt. Der durchschnittliche Wert eines Fieberthermometer beträgt etwa 3 g Quecksilber, was nicht viel erscheint, bis man es mit 105 Millionen Haushalte multipliziert, die es allein in den vereinigten Staaten gibt. Selbst

wenn nur die Hälfte der Haushalte Quecksilberthermometer haben, ist die Gesamtmenge an Quecksilber immer noch sehr groß. Zu den Quellen atmosphärischen Quecksilbers gehören Kohle betriebenen elektrischen Erzeugungsanlagen, Krankenhausabfälle, Leuchtstoffröhren Zahnarztpraxis und sogar Krematorien. An mehreren Fronten werden Anstrengungen unternommen, um die Freisetzung von Quecksilber in die Atmosphäre und den Quecksilbergebrauch zu reduzieren. Jeder Einzelne muss helfen, Quecksilberprodukte ordnungsgemäß zu recyceln und das atmosphärische Quecksilber zu reduzieren.

Wenn Quecksilber doch einmal auslaufen sollte, ist es wichtig den Bereich zu lüften und nicht mit einem Staubsauger zu reinigen. Ein Staubsauger erwärmt nur das Quecksilber und verteilt es dadurch noch mehr im Raum. Anschließend wird das Quecksilber eingesammelt und in einem verschlossenen Behälter an einer sicheren Stelle aufbewahrt. Bei einem größeren Quecksilberaustritt, sollte ein Fachmann gerufen werden.

Tab. 9.2 Generelle Quellen von metallischem Quecksilber

Schalter in Gasöfen, Heizungen etc.
Haushalts-Großgeräte (Kippschalter in Gefriergeräte, Trockner, etc.)
Bügeleisen (Kippschalter)
Automobilschalter
Lenzpumpen, Ölwanne Pumpen usw. (Schwimmerschalter)
Zahnamalgam
Messgeräte und Laborgeräte, wie Barometer, Manometer, usw.
Medizinische Geräte und Materialien
Leuchtstofflampen
Batterien
Computer

Organisches Quecksilber

Das Hauptproblem des organischen Quecksilbers ist das Methylquecksilber in Fischen. Kinder und gebärfähige Frauen sollten vorsichtig beim Konsumieren von Raubfischen wie Thunfisch, Hai Schwertfisch und Hecht sein, dass diese Quecksilber anreichern. Außerdem sollten die lokale Hinweise und die gesetzliche Vorschriften beachtet werden.

Anorganisches Quecksilber

Flüssiges, anorganisches Quecksilber verdampft in die Atmosphäre. Beim Einatmen gelangt Quecksilber sehr leicht über das Blut in das Gehirn und daher ist dies die Hauptgefahr. Metallisches Quecksilber wird bei oraler Aufnahme nur sehr schlecht

absorbiert, wodurch die Gefahr geringer ist als beim Einatmen. Vollständigkeitshalber sind im Folgenden einige Grenzwerte für eingeatmeten Quecksilberdampf genannt.

- ATSDR - Minimale Risikostufe (MRL, minimal risk level) - 0,2 ug/m³
- OSHA - erlaubte Expositionsgrenze (PEL, permissible Exposure Level) -TWA - 0,05 mg/m³
- ACGIH - Schwellenwert (TLV, Threshold Limit Value) -TWA - 0,05 mg/m³

Organisches Methylquecksilber

Die hauptsächliche Belastung mit Methylquecksilber kommt durch den Verzehr kontaminierter Fische zu Stande. Die empfindlichsten Personen sind sich entwickelnden Föten oder Säuglinge aufgrund der Wirkungen auf das Nervensystem (neurotoxisch) und die Entwicklung. Expositionsbegrenzung und Beratungen über den Fischkonsum richten sich an Schwangere, gebärfähige Frauen und Kinder. Die Behörden wissen auch, dass der Fischverzehr viele ernährungsphysiologische Vorteile hat und ein wichtiger Bestandteil der Ernährung ist. Dennoch erfordert die weite Verbreitung und die sich anschließende Bioakkumulation von Methylquecksilber, dass Behörden Empfehlungen für Quecksilberwerte in Fischen aufstellen. Im Folgenden ist eine Liste dieser Empfehlungen, aber es ist wichtig bei Fischkonsum die lokalen Ratschläge zu befolgen.

FDA - 1 ppm in kommerziell genutzten Fisch (d.h. Thunfisch)

FDA - Aktionsebene - 0,47 g/kg/Tag

ATSDR - Minimale Risikostufe (MRL) - 0,30 g/kg/Tag

Staat Washington – tägliche Gesamtaufnahme - 0,035 bis 0,08 g/kg/Tag

(Im Jahr 1997 schätzte die EPA, dass 7% der Frauen im gebärfähigen Alter in den Vereinigten Staaten den festgesetzten RfD um 0,1 g/kg/Tag übertreffen.)

41 Staaten haben mehr als 2.000 Ratschläge über Fischkonsum in Bezug auf Quecksilber gegeben.

Empfehlungen des Staates Washington (U.S.)

- Gebärfähige Frauen sollen die aufgenommenen Menge an Thunfisch aus Konserven auf eine Dose pro Woche begrenzen (170 g). Eine Frau mit weniger als 60 kg sollte weniger als eine Dose Thunfisch pro Woche essen.
- Kinder unter sechs Jahren sollten weniger als eine Dose Thunfisch (85 g) pro Woche essen. Die Wochenration liegt für Kinder unter sechs Jahren und einem Gewicht bis 10 kg bei 30 g und bei 85 g für Kinder mit einem Gewicht mit 30 kg.

Vgl. : <http://www.doh.wa.gov/fish/FishAdvMercury.htm>

Empfehlungen und Konsequenzen

Quecksilber ist ein potenter und globaler Umweltschadstoff. Es gibt zahlreiche Taten, die belegen, dass niedrige Exposition gegenüber Methylquecksilber oder Quecksilberdampf das Nervensystem schädigen, besonders das in der Entwicklung sich befindende empfindliche Nervensystem. Quecksilberdampf gelangt über die Atmosphäre rund um den Globus. Einmal im Boden oder im Wasser wird es zu Methylquecksilber umgewandelt und gelangt in die Lebensmittelversorgung, wo es sich anreichert, die Fische belastet, die eine Hauptproteinquelle für viele Menschen darstellt. Es bedarf einer globalen Anstrengung, die Freisetzung von Quecksilber in die Umwelt durch den Menschen zu reduzieren. Die Produktion, der Verkauf und die Verwendung von Quecksilber muss in Anbetracht Auswirkungen auf die Gesundheit eingeschränkt werden. Die Verwendung Quecksilber in Konsumprodukten, wie Thermostate, Thermometer und Schmuck sollten beseitigt und durch bereits gut bewährten kostengünstigen Alternativen ersetzt werden. Kohle enthält geringe Mengen an Quecksilber, die freigesetzt werden, wenn die Kohle verbrannt wird. Die Freisetzung von Kohle in Kohlekraftwerken kann mit modernster Technik reduziert werden. Schließlich sollte eine laufende Überwachung der mit Quecksilber belasteten Fische den entsprechenden Ratschlägen folgen, um den empfindlichen Teil der Bevölkerung zu schützen. Dies beinhaltet auch Hinweise für den Konsumenten über einen eingeschränkten Verzehr von Quecksilber anreichernden Fische.

Zusammenfassung der Empfehlungen von Quecksilber

- Reduzieren der Umweltfreisetzung
- Beschränkung der globalen Produktion, des Verkaufs und der Anwendung
- Reinigen kontaminierter Bereiche
- Reduzieren der Quecksilberemissionen von Kohlekraftwerken
- Reduzieren oder Eliminieren von Konsumprodukten (Autos, Thermometer, Thermostate, Schmuck)
- Beratung gebärfähiger Frauen über Fischkonsum
- Beobachten der Quecksilberwerte in Fischen

Weitere Informationen und Nachweise

Bilderpräsentation

- A Small Dose of Mercury presentation material and references online:
<http://www.toxipedia.org> or <http://www.toxipedia.org/display/toxipedia/Mercury>.
Web site contains presentation material related to the health effects of mercury.

Europäische, asiatische und Internationale Behörden

- United Nations Environment Program's Global Mercury Assessment. Online:
<<http://www.chem.unep.ch/mercury/>> (accessed: 5 April 2009).
This program aims to develop a global assessment of mercury and its compounds, including an outline of options for addressing any significant global adverse impacts of mercury.
- World Health Organization – Elemental Mercury and Inorganic Mercury: Human Health Aspects. Online:
<<http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad50.htm> > (accessed: 5 April 2009).
Document on human health aspects of inorganic and organic mercury.
- Swedish Chemicals Agency – Dental Amalgams. Online:
<http://www.kemi.se/templates/Page.aspx?id=5233>. (accessed: 5 April 2009).
Sweden bans the use of dental amalgams.

Nordamerikanische Behörden

- Health Canada - Mercury. Online: <
http://www.chemicalsubstanceschimiques.gc.ca/interest-interet/mercury-mercure_e.html> (accessed: 5 April 2009).
Health Canada provides information on the health effects and environmental distribution of mercury.
- Health Canada - The Safety of Dental Amalgam. Online: < http://www.hc-sc.gc.ca/dhp-mps/md-im/applic-demande/pubs/dent_amalgam-eng.php> (accessed: 5 April 2009).
Health Canada provides information on the health effects mercury dental amalgams.
- U.S. Food and Drug Administration (FDA) – Advisory on Methyl Mercury and Fish. Online:

- <<http://www.fda.gov/Food/ResourcesForYou/Consumers/ucm110591.htm> >
(accessed: 5 April 2009).
Site has recent FDA consumer information on methyl mercury.
- U.S. Food and Drug Administration (FDA) – Questions and Answers on Dental Amalgam. Online: < <http://www.fda.gov/cdrh/consumer/amalgams.html> >
(accessed: 5 April 2009).
Recent information from FDA regarding the use and safety of mercury amalgams.
 - U.S. Environmental Protection Agency (EPA)
 1. EPA – Main site on Mercury. Online: <<http://www.epa.gov/mercury/>>
(accessed: 5 April 2009).
 2. EPA Advice on Eating Non Commercial Fish -- Advice for Women and Children. Online: <<http://www.epa.gov/waterscience/fishadvice/advice.html>>
(accessed: 5 April 2009).
 3. EPA Fact Sheet: Fish Caught by Family and Friends -- Advice for Women and Children. Online:
<<http://www.epa.gov/waterscience/fishadvice/factsheet.html>> (accessed: 5 April 2009).
 4. EPA (1997). Mercury Study Report to Congress. Office of Air Quality Planning and Standards and Office of Research and Development. EPA-452-R-97-003 through -010 (Volumes I-VIII). Online: <
<http://www.epa.gov/mercury/report.htm> > (accessed: 5 April 2009)
 5. EPA Integrated Risk Information System. Online:
<<http://www.epa.gov/iris/index.html>>
 - U.S. Agency for Toxic Substance Disease Registry (ATSDR) – Toxicology Profile Series on Mercury. Online:
<http://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=24> (accessed: 5 April 2009).
ATSDR produces toxicology profile documents on many compounds including mercury.
 - U.S. Agency for Toxic Substance Disease Registry (ATSDR) – Toxicology Profile Series on Mercury. Online: <<http://www.atsdr.cdc.gov/mrls.html>>
(accessed: 5 April 2009).
ATSDR's list of minimal risk levels.

- U.S. Department of Labor - Occupational Safety & Health Administration (OSHA). Online: <<http://www.osha.gov/>> (accessed: 5 April 2009).
- U.S. Geological Survey (USGS). Online: <<http://www.usgs.gov/>> (accessed: 5 April 2009).
Site has maps and supply information on mercury.
- U.S. National Research Council (NRC) – Toxicological Effects of Methylmercury. Online: <<http://www.nationalacademies.org/publications/>> (accessed: 5 April 2009).
The full NRC report on mercury can be read on the web, search on mercury.
- Washington State Department of Health – Fish Facts for Health Nutrition. Online: <<http://www.doh.wa.gov/fish/>> (accessed: 5 April 2009).
Site has information on Washington State’s advisory of fish consumption and mercury.
- Washington State Department of Ecology – Mercury Reduction in Washington – Including the Mercury Chemical Action Plan. Online: <<http://www.ecy.wa.gov/mercury/>> (accessed: 5 April 2009).
Comprehensive information on uses and release of mercury in Washington and efforts to reduce mercury use and release. .

Regierungsunabhängige Organisationen

- The Mercury Policy Project (MPP). Online: <<http://www.mercurypolicy.org/>> (accessed: 5 April 2009).
“MPP works to raise awareness about the threat of mercury contamination and promote policies to eliminate mercury uses, reduce the export and trafficking of mercury, and significantly reduce mercury exposures at the local, national, and international levels.”
- Got Mercury. Online: www.gotmercury.org (accessed: 26 May 2010).
A calculator that estimates mercury intake from fish and shellfish.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH®). Online: <<http://www.acgih.org/home.htm>> (accessed: 5 April 2009).
“ACGIH is a member-based organization and community of professionals that advances worker health and safety through education and the development and dissemination of scientific and technical knowledge.”

- Northwest Compact Fluorescent Lamp (CFL) Recycling Project. Online: http://www.zerowaste.org/cfl/cfl_index.htm. (accessed: 5 April 2009).

Referenzen

- Clarkson, T. (1998). Methylmercury and fish consumption: Weighing the risks. *Can Med Assoc J*, 158, 1465-1466.
- Clarkson, T. W. (2002). The three modern faces of mercury. *Environ Health Perspect*, 110 Suppl 1, 11-23.
- Gilbert, S. G., & Grant-Webster, K. S. (1995). Neurobehavioral effects of developmental methylmercury exposure. *Environ Health Perspect*, 6, 135-142.
- Kales, S. N., & Goldman, R. H. (2002). Mercury exposure: current concepts, controversies, and a clinic's experience. *J Occup Environ Med*, 44(2), 143-154.
- Martin, D. M., DeRouen, T. A., & Leroux, B. G. (1997). Is Mercury Amalgam Safe for Dental Fillings? *Washington Public Health*, 15(Fall), 30-32.
- MMWR. (1996a). Mercury exposure among residents of a building formerly used for industrial purposes - New Jersey, 1995. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 45(20), 422-424. Online: <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/00041880.htm> (accessed: 5 July 2009).
- MMWR. (1996b). Mercury poisoning associated with beauty cream - Arizona, California, New Mexico and Texas, 1996. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 45(29), 633-635. Online: <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/00043182.htm> (accessed: 5 July 2009).
- John Putman (1972). Quicksilver and Slow Death. *National Geographic* 142(4), October, 1972, 507-527.
- Zeitz, P., Orr, M. F., & Kaye, W. E. (2002). Public health consequences of mercury spills: Hazardous Substances Emergency Events Surveillance system, 1993-1998. *Environ Health Perspect*, 110(2), 129-132.