

Quecksilber: Weiterhin verkannte Gefahr im Innenraum und der Außenluft

von *Almut Gebhardt, Sonja Pfeil* und *Wigbert Maraun*

Zusammenfassung

Die am 01.01.2018 in Kraft getretene EU-Verordnung 2017/852 soll dem zukünftigen Eintrag von Quecksilber in die Umwelt und damit einer zunehmenden Exposition des Menschen entgegenwirken. Davon unberührt bleiben jedoch giftige Quecksilber-Altlasten in älteren Gebäuden oder Emissionen aus Kohlekraftwerken. Aus der früheren Verwendung von Quecksilber zum Beispiel als Holzschutz- oder Desinfektionsmittel oder bei medizinischer Vornutzung eines Gebäudes resultieren nach unseren Ergebnissen auch heute noch Raumluftbelastungen mit Überschreitung der Innenraumrichtwerte – sowohl des Vorsorgewertes von 35 ng/m³ aber auch des Gefahrenwertes von 350 ng/m³. Eine mögliche Belastung durch Quecksilber sollte deshalb bei der umweltmedizinischen Gefährdungsbeurteilung stärker berücksichtigt werden.

Schlüsselwörter: Quecksilber, Amalgam, Humanbiomonitoring, Luftanalyse

Abstract

Mercury: still underestimated hazard in indoor and outdoor air

Almut Gebhardt, Sonja Pfeil, and Wigbert Maraun

The European Regulation 2017/852 is supposed to reduce the environmental contamination with mercury to avoid increasing exposition of humans. Mercury loads in indoor sites or actual emissions from coal plants are not taken into account with this regulation. Former use of mercury compounds as wood preservative or as disinfectant in old buildings lead to indoor air pollutions with increased concentrations above the German indoor air benchmark of 35 ng/m³ and even the risk value of 350 ng/m³. Therefore risk assessments have to take into account mercury as an actual pollutant in the air of old buildings with wooden bars or in buildings that have been used for medical purposes.

Keywords: mercury, amalgam, human biomonitoring, air analysis

UMWELT & GESUNDHEIT 1 (2018) 16-9

Toxizität von Quecksilber

Quecksilber ist das einzige Metall, das bei Raumtemperatur flüssig ist und aufgrund seines hohen Dampfdrucks leicht in die Gasphase übergeht. Je nach aufgenommener Quecksilbermodifikation und Aufnahmepfad erfolgen unterschiedliche Wege der Metabolisierung. Bei akuten Vergiftungen durch inhalative Aufnahme von Konzentrationen oberhalb 1 mg/m³ zeigen sich Symptome wie Husten und Durchfall bis hin zu Herz-Kreislauf- und Nierenversagen mit Todesfolge bei extremen Aufnahmezeiten.

Quecksilber wirkt vor allem nervenschädigend. In Folge langanhaltender inhalativer Exposition in niedrigeren Konzentrationsbereichen werden chronische Vergiftungen mit den klassischen Symptomen wie erhöhte Erregbarkeit, Tremor und Zahnfleischentzündung beobachtet. Weitere Symptome wie Abgeschlagenheit, Gedächtnisschwund, Schwächung des Hör- und Sehvermögens bis zu Lähmungserscheinungen werden beschrieben. (Wichmann et al 2017)

In der Schwangerschaft überschreiten Quecksilberverbindungen die Plazentaschranke und können schon in relativ geringen Mengen den Entwicklungsprozess des Fötus stören. Dieser Prozess führt später zu Aufmerksamkeitsstörungen und Entwicklungsverzögerungen in der Kindheit. (BUND 2007)

Folgende Human Biomonitoring(HBM)-Werte werden von der Kommission Humanbiomonitoring des Umweltbundesamtes von 2017 bekannt gegeben (UBA 2017a):

Tabelle 1: HBM-Werte der Kommission Humanbiomonitoring für Quecksilber

Medium	Kinder und Erwachsene
HBMI I Vollblut	5 µg/l
HBMI II Vollblut	15 µg/l
HBMI I Urin	7 µg/l
HBMI I Urin	25 µg/l

HBMI Humanbiomonitoringwerte; HBM-I: tolerable Konzentration, HBM-II gerade noch tolerable Konzentration oberhalb der Handlungsbedarf zur Reduktion der Konzentration besteht.

Für Speichel liegt der Referenzbereich bei < 2,7 µg/l. (Wichmann et al. 2017) Der biologische Grenzwert (BGW) für den beruflich exponierten Personenkreis und Umgang mit Quecksilber als Gefahrstoff gemäß TRGS 903 bezieht sich auf metallisches Quecksilber sowie seine anorganischen Verbindungen als Arbeitsstoff und beträgt im Urin 30 µg/l (25 µg/g Kreatinin). (TRGS 903 2018)

Bei erhöhten Quecksilberkonzentrationen in Blut oder Urin bei beruflich nicht exponierten Personen kommen folgende Belastungsursachen in Frage:

Ursachen für erhöhte Quecksilberwerte in Blut oder Urin

Als Haupt-Aufnahmepfad für metallisches Quecksilber werden vor allem **Amalgamfüllungen** genannt, (Link 1999) die chronisch oder kurzzeitig nach Entfernen der Füllungen zu erhöhten Quecksilberwerten im Blut und in der Luft des Mundraumes führen. Dabei spielt vor allem die Anzahl sowie die Qualität der Amalgamfüllungen eine Rolle. (Wichmann et al. 2017)

Über die **Nahrung** wird durch den Verzehr von Seefischen vor allem Methylquecksilber aufgenommen. Besonders hohe Quecksilberwerte finden sich in Raubfischen, die sehr alt werden wie zum Beispiel Thunfisch, Hai, Heilbutt oder Aal. (UBA 2016, Link 1999) Das im Fisch enthaltene Methylquecksilber stammt dabei aus der im Meer stattfindenden mikrobiellen Umsetzung von Quecksilber zu Dimethylquecksilber. (Hohenblum 2011)

Für die Aufnahme von anorganischen Quecksilber-Verbindungen werden keine konkreten Quellen genannt, diese spielen jedoch bei der durchschnittlichen täglichen Quecksilber-Zufuhr eine größere Rolle als der übermäßige Verzehr von Fisch. (Link 1999) Als Quelle ist hier wahrscheinlich eine Kontamination der Luft anzunehmen. Vielfach unberücksichtigt bleibt die über einen langen Zeitraum anhaltende inhalative Aufnahme von Quecksilber in privaten

Schwerpunkt

Räumlichkeiten oder am Arbeitsplatz (ohne direkten Umgang mit Gefahrstoffen).

Die Verwendung von Quecksilberverbindungen als Mittel zur Hautaufhellung wurde erst 1976 in Europa verboten, wird aber auch heute noch im afrikanischen oder osteuropäischen Raum verwendet. (Steinhausen 2013)

Kohlekraftwerke stellen die größten Emittenten für Belastungen der **Außenluft** mit metallischem Quecksilber dar. In Deutschland tragen sie mit 70 % zur Gesamt-Emission von Quecksilber in die Umwelt bei. (UBA 2017b) In der Nähe von Mülldeponien wird Dimethylquecksilber in der Luft nachgewiesen, das aus der mikrobiellen Umwandlung von quecksilberhaltigen Abfällen in der Deponie entsteht. (Munthe 2001).

Quecksilber verbreitet sich dann über weite Strecken in der Umwelt, wird in das aquatische System eingebracht und gelangt so in die Nahrungskette.

Quecksilberquellen im Innenraum

Metallisches Quecksilber findet sich in alten Thermometern oder Manometern. Auch wurde es früher in Kippschaltern benutzt oder, in Ampullen eingeschweißt, zu dekorativen Uhrenpendeln verarbeitet.

Solange das metallische Quecksilber in den Werkstücken fest eingeschlossen ist, besteht keine gesundheitliche Gefährdung. Sobald aber ein solches Relikt alter Zeiten zerbricht, tritt metallisches Quecksilber aus, geht aufgrund seines hohen Dampfdrucks leicht in die Luft über und führt zu erhöhten Quecksilber-Raumluftbelastungen. Das noch metallisch vorliegende Quecksilber hat dabei die unangenehme Eigenschaft, in kleinsten Ritzen, Bodenfugen oder hinter Fußleisten zu „fließen“. Damit **stellt es noch nach Jahrzehnten eine Quecksilberquelle** dar, die zu Raumluftbelastungen bis oberhalb des Gefahrenwertes von 350 ng/m³ führen kann.

Zu erwarten sind solche Quecksilberbelastungen in älteren **Schulen**, dabei vornehmlich in den Physik- und Chemie-Bereichen. Wie unsere Laborbefunde zeigen, kann es dabei zu einer hohen Belastung der Raumluft kommen, die unter Umständen schon jahrzehntelang nicht erkannt wurde. Eine gesundheitliche Gefährdung für die Raumnutzer,

aber auch des Reinigungspersonals, ist möglich. Auch ältere **Kliniken**, in denen vor Jahren noch quecksilberhaltige Thermometer oder Blutdruckmessgeräte benutzt wurden, sind oft betroffen. Dort sind zusätzlich auch Belastungen durch früher eingesetzte anorganische quecksilberhaltige Desinfektionsmittel zu erwarten. Metallisches Quecksilber wurde zum Beispiel noch bis ins 19. Jahrhundert oral als Mittel gegen Darmverschluss verabreicht. (Steinhausen 2013) Ein weiterer gefährdeter Bereich sind auch heute noch medizinische oder chemische **Labore, in denen quecksilberhaltige Geräte verwendet werden.**

Sofortmaßnahmen bei Thermometer-Bruch

Ruhe bewahren. Weitere Personen aus dem Raum geleiten und Fenster öffnen. Das Quecksilber zum Beispiel vorsichtig mit Pinsel auf Papier, in welches zuvor eine Ablaufrinne geknickt wurde, zusammenfegen und in einem dichten Glasgefäß sammeln. Reste mit einem Absorbiermaterial (erhältlich bei der örtlichen Feuerwehr) binden! Das absorbierte Material oder gar die Kügelchen selbst dürfen auf keinen Fall mit dem Staubsauger aufgenommen werden, um eine Verteilung des Quecksilbers über die Luft zu vermeiden! Das gesammelte Quecksilber muss zur Schadstoffsammelstelle gebracht werden.

Spezialfirmen oder die Feuerwehr können gegebenenfalls bei der Beseitigung des Quecksilberschadens helfen. Nach solch einem Ereignis ist es wichtig, die Raumluft auf Quecksilber zu untersuchen, um den Raum wieder zur Nutzung freizugeben. Verborgene Quecksilberkügelchen können noch lange Zeit als Quecksilber an die Raumluft übergehen und eine erhöhte Quecksilberbelastung erzeugen.

Amalgam stellt eine Verbindung von Quecksilber mit Gold, Silber oder Kupfer dar, das je nach Quecksilbergehalt pastös oder fest sein kann. Neben den bekannten Zahnfüllungen findet sich Amalgam in Leuchtstoffröhren, die im Betrieb metallisches Quecksilber freisetzen. Solange die Leuchtstoffröhre funktionsfähig ist, erfolgt keine Freisetzung, jedoch bei Glasbruch. (UBA 2014) Bis 1886 wurden auch Spiegel mit einem Quecksilber-Zinn-Amalgam belegt. Dieses Amalgam ist nur wenig stabil und zersetzt sich unter Freisetzung von metallischem Quecksilber – der Spiegel

„erblindet“. Daher finden sich mitunter kleine Quecksilbertröpfchen in den Rillen alter Spiegel. (Torge et al 2012) Antiquitätensammler oder Händler von alten Spiegelrahmen sollten diese Materialien deshalb nur gut verpackt lagern. In Museen oder alten Gemäuern mit Spiegelsälen kann dies zu erhöhten Raumluftbelastungen führen.

Der wichtigste Vertreter der **anorganischen Quecksilber-Verbindungen** ist das Quecksilber(II)chlorid (HgCl₂), welches auch als „Sublimat“ bezeichnet wird. Dieser Stoff weist eine biozide Wirkung auf und wurde bis in die 1970er Jahre als Holzschutzmittel eingesetzt. Dabei wurden Zaunpfähle, Bahnschwellen, Leitungsmasten oder Balken für Dachkonstruktionen in eine 3%-ige Quecksilber(II)chlorid-Lösung getaucht. Je nach Dauer des Tauchvorgangs konnte der Wirkstoff tief ins Holz eindringen. Der Prozess wird auch als Kyanisierung bezeichnet. (Nowak 1952) In älteren Häusern findet man daher im Holz der Dachkonstruktion oft noch hohe Gehalte an Quecksilber. Da Sublimat ebenfalls leicht in die Gasphase übergeht, kann dies bei Modernisierungsmaßnahmen mit Erhalt der alten Sichtbalken und guter Außendämmung zu massiven Raumluftbelastungen führen. Vor dem Ausbau eines alten Dachgeschosses sollte Holz deshalb auf den Gehalt an schwermetallhaltigen Holzschutzmitteln geprüft werden. Eine bisher noch nicht erkannte Quelle ist der Einsatz von Quecksilber(II)chlorid als Topfkonservierer in älteren Wandputzen.

Auch **organische Quecksilber-Verbindungen** lassen sich in Räumlichkeiten finden, vornehmlich in Museen oder in Häusern mit Tierexponaten. Früher wurden neben Quecksilberchlorid auch organische Verbindungen wie Phenylquecksilber und Quecksilber-Naphthenate als Konservierungsmittel eingesetzt. (TRGS 907 2011)

Quecksilberanalytik

Bei positivem Befund einer erhöhten Quecksilber-Belastung in Blut oder Urin ist eine Ursachenforschung angezeigt. Sofern eine erhöhte Aufnahme durch Fischkonsum oder Exposition am Arbeitsplatz ausgeschlossen werden kann, sollte eine Innenraum-Belastung am Wohn- oder (Büro-) Arbeitsplatz erfolgen. Hierzu eignet sich zum Beispiel die meist kostengünstige Untersuchung einer Hausstaubprobe. Wird auch hier

eine Überschreitung des nach der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) abgeleiteten Auffälligkeitswertes von 1 mg/kg ermittelt, sind differenzierende Analysen der Raumluft notwendig, um eine weitere Einteilung der Quecksilber-Modifikationen zu erreichen.

Bisher wurde hier das weitläufig anerkannte Verfahren der VDI-Norm 2267, Blatt 9 herangezogen. Dabei wird eine definierte Menge Luft über goldbeschichtete Quarzglaskügelchen geleitet und ausschließlich metallisches Quecksilber als Amalgam abgeschieden. Das gesammelte Quecksilber wird dann thermisch desorbiert und mit einem Atom-Absorptions-Spektrometer quantitativ nachgewiesen.

Schon die Norm beschreibt Befunde, wonach bei paralleler Probenahme von realer Luft Diskrepanzen zwischen den beiden Sammlern oder auch Durchbrüche bei zwei in Reihe geschalteten Sammelröhrchen beobachtet wurden. (Maraun und Ulrichson 2017) Diese Diskrepanzen konnten darauf zurückgeführt werden, dass mit dieser Methode ausschließlich **metallisches Quecksilber** gesammelt und nachgewiesen wird, während die **nicht metallischen Quecksilberverbindungen** mit diesem Verfahren nur unvollständig und nicht reproduzierbar erfasst werden. Das ARGUK-Umweltlabor nahm dies zum Anlass, ein differenziertes Verfahren zur **Bestimmung des Gesamtquecksilbers sowie verschiedener Quecksilberspezies** zu entwickeln. Durch den Einsatz von drei verschiedenen Sammelmedien bietet diese Methode einzigartig die parallele Bestimmung von metallischem Quecksilber, Quecksilber-Chlorid sowie des Gesamtgehalts an Quecksilber und seiner Verbindungen.

Ein klassisches Beispiel aus unserer Praxis macht dies deutlich: Aufgrund zum Teil erhöhter Quecksilbermesswerte im Blut wurden auch erhöhte Konzentrationen im Staub am Büroarbeitsplatz eines Patienten ermittelt. Untersuchungen nach VDI-2267 ergaben zunächst auffällige, aber völlig irreguläre und nicht reproduzierbare Messwerte für die Konzentration an metallischem Quecksilber in der Raumluft. Erst nach Einführung der differenzierenden Methode zur Raumluftuntersuchung konnte neben der Belastung durch metallisches Quecksilber auch eine hohe Belastung mit „Sublimat“ nachgewiesen

werden. Das Gebäude diente zuvor als Sanatorium. Es ist davon auszugehen, dass Sublimat als Desinfektionsmittel zur Anwendung gekommen sein muss. Eine eindeutige Quelle konnte in diesem Gebäude aufgrund der großflächigen Verteilung des Sublimats sowie des metallischen Quecksilbers nicht zugeordnet werden, jedoch wurden Räume mit auffällig hohen Raumluftbelastungen daraufhin saniert.

Quecksilber-Passivsammler für die Luftuntersuchung

Im ARGUK-Umweltlabor wurde darüber hinaus ein Passiv-Sammelsystem weiterentwickelt, das eine einfache Messung der Gesamt-Quecksilberkonzentration der Raum- oder Außenluft ermöglicht. Der Passivsammler arbeitet ohne Strom, ist damit völlig flexibel an jedem Ort einsetzbar und auch für den Einsatz im Außenbereich geeignet. Seine Handhabung ist unkompliziert und kann auch von Privatpersonen durchgeführt werden. Der Passivsammler erfasst neben dem metallischen Quecksilber zusätzlich auch toxikologisch ebenfalls bedenkliche Quecksilberverbindungen oder organisch gebundenes Quecksilber als mittlere Konzentration über den entsprechenden Sammelzeitraum. Belastungsspitzen werden jedoch nicht erfasst.

Zur Durchführung einer Messung wird der Quecksilber-Passivsammler im zu untersuchenden Raum oder, geschützt von einer Überdachung, im Außenbereich für den Zeitraum von einem Tag bis zu vier Wochen aufgehängt.

Nach dieser Sammeldauer wird der Passivsammler im Labor auf den Quecksilbergehalt untersucht. Aus der Sammeldauer und den Sammlereigenschaften lässt sich die Quecksilberkonzentration in der Luft ermitteln.

Abbildung 1: Der Radiello® Passivsammler besteht aus einer Kunststoffhülle und einem nicht sichtbaren Sammlersystem im Innern der Kunststoffhülle.



Quecksilber-Messstation Oberursel / Vordertaunus

Für das Bundesgebiet gibt es innerhalb des Luftmessnetzes des Umweltbundesamtes (UBA) nur wenige Stationen wie in Zingst, Schmücke oder Waldhof, an denen Quecksilber in der Außenluft erfasst wird. Die Messwerte dieser Stationen liegen alle im Bereich von zirka 2 ng/m³ und geben die Hintergrundbelastung der Außenluft für Quecksilber in Deutschland wieder. Für Ballungsräume oder Gebiete in der Umgebung von starken Emittenten werden keine Daten erhoben. (Ad Hoc AG et al 2016)

Das ARGUK-Umweltlabor hat sich seine Erfahrungen mit dem Einsatz eines Passivsammlers zur Bestimmung von Quecksilber der Außenluft zu Nutze gemacht und eine eigene Messstelle aufgebaut.

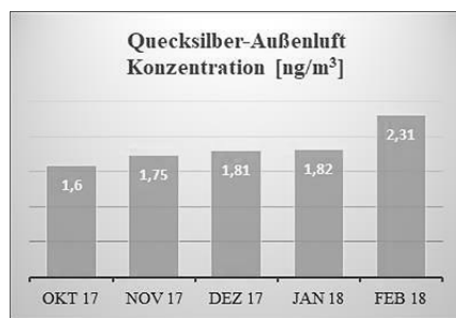


Abbildung 2: mittlere monatliche Quecksilberkonzentration der Außenluft an der Messstation Oberursel

In Abbildung 2 sind die mittleren Quecksilberkonzentrationen in der Außenluft der Messstation in Oberursel für die letzten Monate dargestellt. Diese mit dem Passivsammler ermittelten Werte liegen bei 1,7 - 2,2 ng/m³ und stehen damit in guter Übereinstimmung mit den Werten der offiziellen Messstationen.

Das zeigt die gute Reproduzierbarkeit des vergleichsweise einfachen Verfahrens. Bemerkenswert ist auch die niedrige Bestimmungsgrenze von zirka 0,01 ng/m³. Demgegenüber zeigen mobile Quecksilber-Analysegeräte oft nur eine Nachweisgrenze oberhalb von einigen Mikrogramm pro Kubikmeter Luft. Das Passiv-Sammelsystem ist also in der Lage, auch die unteren Konzentrationsbereiche zu erfassen, die noch weit unter den Richtwerten für Innenraumluft liegen und im Außenbereich bei geringer Quecksilberbelastung zu erwarten sind.



Abbildung 3: Außenluft-Passivsammler für Quecksilber im Shelter

Verbreitungsanalyse von Emissionen einer Mülldeponie

Im Rahmen von Umlagerungsarbeiten an einer Mülldeponie wurden zur Expositionsabschätzung Außenluftmessungen mittels Passivsammler durchgeführt. An fünf Messpunkten rund um die Deponie wurde die Quecksilberkonzentration über einen Zeitraum von einem halben Jahr bestimmt: Direkt nach den Umbauarbeiten im Mai lagen die Quecksilberkonzentrationen der Außenluft an den quellennahen Messpunkten mit 5-7 ng/m³ über dem normalen Hintergrundwert von 1-2 ng/m³. Im Jahresverlauf zeigt sich eine deutliche Abnahme der Immission:

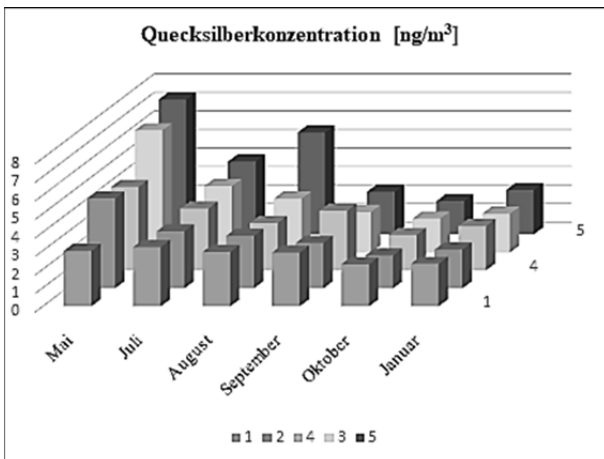


Abbildung 4: Ausbreitung von Quecksilber-Emissionen einer Mülldeponie

Ausblick

Quecksilber-Belastungen bedingt durch die frühere Verwendung als Holzschutz- oder Desinfektionsmittel sowie durch metallische Quecksilberquellen können auch heute noch zu unerkannter chronischer Exposition im Innenraum führen. Kohlekraftwerke oder auch Mülldeponien stellen als Emittenten nach wie vor

die Hauptursache für erhöhte Quecksilberbelastungen der Außenluft dar. Auch mit Inkrafttreten der neuen europäischen Regulation zur Reduktion des weiteren Eintrags von Quecksilber in die Umwelt bleiben diese Quellen weiterhin unberücksichtigt.

Nach unseren Ergebnissen ist die Belastung durch Quecksilber im Innenraum sowie der Außenluft viel zu wenig von der Innenraumdiagnostik, der Umweltmedizin und seitens der Umweltbehörden beachtet worden. Wir sehen hier einen Handlungsbedarf für alle, die sich mit gesundem Innenraum und sauberer Umwelt auseinandersetzen.

Dr. Almut Gebhardt,
Sonja Pfeil,
Dr. Wigbert Maraun
ARGUK-Umweltlabor GmbH
Krebsmühle 1
61440 Oberursel
e-mail: info@arguk.de

Literatur:

Bayrisches Landesamt für Umweltschutz: Schadstoffratgeber Gebäuderückbau, Stoffdaten 507 Holzschutzmittel und Pestizide, März 2004, http://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/507.pdf, zuletzt abgerufen am 08.03.2018

Bericht zum Kenntnis- und Diskussionsstand betreffend Quecksilberbelastungen in Gewässern und diesbezügliche Relevanz luftbürtiger Quellen, 2. Bericht der Ad-hoc-AG LAWA, LAI, LABO betreffend Hg-Belastungen, August 2016, http://www.lawa.de/documents/Bericht_AdhocAG_Hg_LAWA_LAI_LABO_Stand_08_2016_fa0.pdf, zuletzt abgerufen am 07.03.2018

BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland) e.V., „Stay Healthy, Stop Mercury“-Kampagne, Health Care Without Harm: Quecksilber Globale Belastung und Gefährdung kindlicher Fähigkeiten, 03/2007, http://www.env-health.org/IMG/pdf/quecksilber_studie_032007.pdf

Link B: Richtwerte für die Innenraumluft – Quecksilber, Bundesgesundhbl. 39 11 (1996) 422-6

Maraun W, Ulrichson S: Quecksilber in der Raumluft, Studienreihe Teil 1: Irreguläre Prozesse bei der Anreicherung von Quecksilber an Gold nach der VDI-Norm 2267, Blatt 9, Januar 2017, http://www.arguk.de/leistung/innenraum/documents/Quecksilber-in-der-Raumluft_Studienreihe-Teil-1.pdf, zuletzt abgerufen am 07.03.2018

Maraun W, Ulrichson, S: Differenzierende Bestimmung von Gesamt-Quecksilber und Quecksilber (II)chlorid („Sublimat“) in der Raumluft, April 2017, http://www.arguk.de/leistung/innenraum/documents/Quecksilber-in-der-Raumluft_Studienreihe-Teil-2.pdf, zuletzt abgerufen am 07.03.2018

Munthe J, Wangberg I, Pirrone N, Iverfeldt A, Ferrara R, Ebinghaus R, Feng X, Gardfeldt K, Keeler G, Lanzillotta E, Lindberg SE, Lu J, Mamane Y, Prestbo E, Schmolke S, Schroeder WH, Sommar J, Sprovieri F, Stevens RK, Stratton W, Tuncel G, Urba A: Intercomparison of methods for sampling and analysis of atmospheric mercury species, Atmospheric Environment 35 (2001) 3007-17

Nowak A: Die Kyanisierung von Leitungsmasten, Holz als Rohstoff und Werkstoff. 10 1 (1952) 12-5

Sperlich K, Ohme I, Kraus K, Süring K, Gleis M, Butz W, Schnee E, Lehmann C, Friedrich B, Krüger F, Mordziol C: Quecksilber in Umwelt und Produkten- Schwerpunkt Lampen, 04/2014, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hgp_quecksilber_05.08.2014.pdf, zuletzt abgerufen am 08.03.2018

Steinhausen M: Toxikologie von Quecksilber. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), 07/2013, http://www.dguv.de/medien/ifa/de/vera/2013_saet_gefahrstoffe/11_steinhausen.pdf, zuletzt abgerufen am 08.03.2018

TRGS 907: Begründung zu Quecksilberverbindungen in TRGS 907, Ausschuss für Gefahrstoffe, Ausgabe: Dezember 2011, Stand: Mai 2011

TRGS 903: Biologische Grenzwerte (BGW) der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Ausgabe Februar 2013 in der Fassung vom 31.01.2018

Torge M, Krug S, Bücker M, Feldmann I, Scharf H, Witthuhn H, Sander C: Flüchtiges Quecksilber - Emission von Quecksilber aus historischen Zinnamalgamspiegeln, Restaura 3, April/Mai 2012, 30-7

UBA (Umweltbundesamt): Häufige Fragen zu Quecksilber, 05/2016, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/chemische-stoffe/haeufige-fragen-zu-quecksilber#textpart-1>, zuletzt abgerufen am 08.03.2018

UBA: Human-Biomonitoring (HBM)-Werte, abgeleitet von der Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes, Stand Februar 2017a, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/bilder/dateien/hbm-werte_dt_stand_2017_02_06_0.pdf, zuletzt abgerufen am 08.03.2018

UBA Umweltbundesamt: Emissionen von Wärmekraftwerken und anderen Verbrennungsanlagen, 08/2017b, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/emissionen-von-waermekraftwerken-anderen#textpart-6>, zuletzt abgerufen am 08.03.2018

Hohenblum P, Hutter HP: Schadstoffe im Menschen - Ergebnisse einer Human-Biomonitoring-Studie in Österreich, Report REP-0324, Umweltbundesamt GmbH, Wien 2011, Seite 24-55 <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/schadstoff/methylhg/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2018

UMID – Umweltmedizinischer Informationsdienst 1/2000, <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/umid0100.pdf>, zuletzt abgerufen am 08.03.2018

Verordnung (EU) 2017/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2017 über Quecksilber und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1102/2008, Amtsblatt der Europäischen Union, 24.5.2017, L 137/1

Wichmann HE, Fromme H: Handbuch für Umweltmedizin, ecomed MEDIZIN Verlag (Landsberg am Lech 2017), 59. Ergänzungslieferung