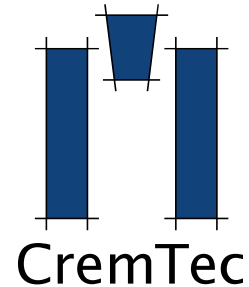


Svend-Jörk Sobolewski



Quecksilbermessungen in Krematorien

CremTec GmbH

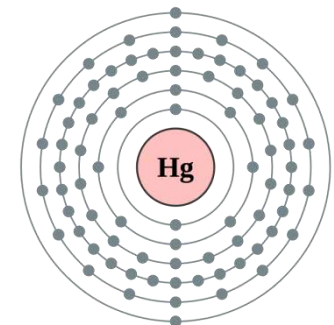
Ferdinand-Porsche-Straße 5
21684 Stade

Tel. 04141 – 922 693
Fax 04141 – 922 692

www.cremtec.de
info@cremttec.de

Inhalt

Zur Geschichte von Quecksilberemissionen	S. 1
Quellen von anthropogenen Quecksilberemissionen	S. 2
Quecksilbermessungen in Krematorien	S. 6
Quecksilber in Form von Dentalamalgam	S. 7
Zur Geschichte von Dentalamalgam	S. 8
Zahlen und Daten zur Verwendung von Dentalamalgam	S. 9
Quecksilberemissionen im Kontext von Krematorien	S. 10
Fazit	S. 15
Quellen	S. 16



Zur Geschichte von Quecksilberemissionen

Um 1970 herum erschienen erste Berichte zu alarmierend hohen Quecksilbergehalten in verschiedenen Tierarten, vor allem in Thunfischen.¹

Diese Dokumente gaben den Anstoß für umfangreiche Recherchen auf dem Gebiet der Umweltkontamination durch Quecksilber. Bis dato gab es allerdings nur ausgesprochen wenig Fachliteratur und erhobene Statistiken zu dieser Thematik. Dem zufolge blicken wir auf einen relativ jungen Teilbereich der wissenschaftlichen Betrachtungen von Quecksilberemissionen zurück.

Grundsätzlich lassen sich seit Anbeginn der Forschung zwei Arten von Quecksilberemissionen unterscheiden.¹ Hierbei ist das Kriterium der verursachenden Quelle ausschlaggebend. Solche Quecksilberemissionen, die ohne menschliches Zutun in die Atmosphäre gelangen, werden als **natürliche Quecksilberemissionen** bezeichnet. Zu diesen zählen insgesamt 3 elementare Entstehungsquellen:



1. Aus quecksilberhaltigen Boden- und Gesteinsschichten können durch **Winderosionen und Entgasungen** Hg-Emissionen frei werden.
2. Eine weitere Möglichkeit, wie Quecksilber auf natürlichem Weg in die Atmosphäre gelangt, sind **geothermische Aktivitäten** oder **Vulkanausbrüche**.
3. Auch können Quecksilberdämpfe aus unteren **Schichten der Erdkruste** entweichen.



Den natürlichen Quecksilberemissionen stehen diejenigen gegenüber, die durch menschliches Handeln verursacht werden. Diese werden als **anthropogene Quecksilberemissionen** bezeichnet.

Im Folgenden soll auf diese Art der Quecksilberemission genauer eingegangen werden.

Quellen von anthropogenen Quecksilberemissionen

Die von Menschen verursachten Quecksilberemissionen lassen sich grundsätzlich in fünf Kategorien einteilen:

1. Prozesse der Verbrennung

zu dieser Gruppe zählen unter anderem die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Kohle, Öl, Gas) und Holz, sowie die Verbrennung von kommunalem / medizinischem Abfall, Giftmüll und Klärschlamm. Auch Krematorien werden zu dieser Kategorie gezählt.

2. Alle Prozesse, die einer hohen Temperatur bedürfen jedoch primär keine Verbrennungsfunktion erfüllen

hierunter fallen beispielsweise jegliche Schmelzprozesse, die Herstellung von Koks, Beton und Kalk, sowie die Erzzöstung.

3. Produktionsprozesse der Industrie

zu diesen zählen Chlor-Alkali Fabriken, Metallveredelungen und die Herstellung von chemischen und industriellen Gütern (z.B. Farben, Batterien, Thermometer, Katalysatoren, etc.).

4. Extraktion von Gold

5. sonstige Quellen

u.a. werden hier Beispiele wie Leuchtstoffröhren, Giftmülldeponien, Bergbau und Devastierung angeführt.



Die Einteilung von Quecksilberemissionen in Entstehungskategorien ermöglicht es, einen Überblick über die relevanten Quellen zu gewinnen und deren Anteil an der Gesamtbelastung herausstellen zu können.

Etwa 60 % der jährlich auftretenden Quecksilberemissionen werden von der Industrie verursacht, die restlichen ca. 40 % werden durch diverse Verbrennungsprozesse erzeugt (ohne Kraftwerke).

Unseren Untersuchungen für freigesetztes Quecksilber durch Krematorien in Deutschland liegen die Daten aus dem Jahr 2009 zugrunde. Der größte Anteil an Quecksilberemissionen wird demnach von Kraftwerken verursacht (Gesamtmenge von über 4.000 kg pro Jahr), gefolgt von Müllverbrennungsanlagen mit ca. 210 kg.



Dagegen sollen Krematorien für ca. 39 kg Quecksilberemissionen verantwortlich sein¹, was etwa 0,6 % der Gesamtverunreinigung bedeuten würde!

Doch nicht nur in Feuerbestattungsanlagen wird Dentalamalgam verbrannt; die gleiche Problematik entsteht im Übrigen auch bei der Verbrennung von Klärschlamm, in dem ebenfalls dentales Amalgam vorzufinden ist.

¹ Wiechmann & Gleis, 2012

Quecksilberemissionen von Kohlekraftwerken 2013

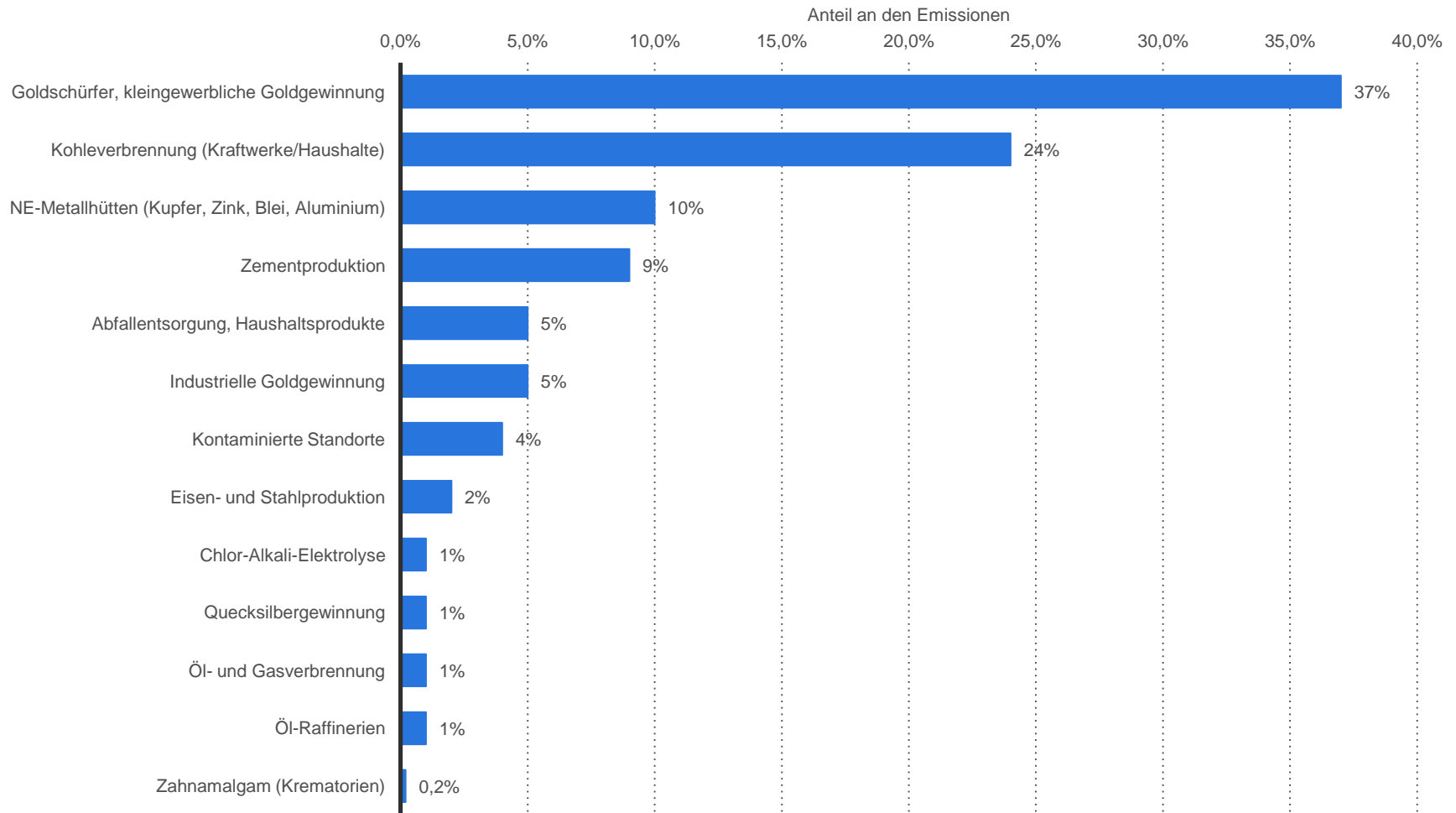
	Kilogramm pro Jahr
Neurath (NW)	569
Niederaußem (NW)	440
Schkopau (ST)	413
Lippendorf (SN)	375
Boxberg (SN)	313
Jänschwalde CBB)	254
Weisweiler (NW)	171
Schwarze Pumpe CBB)	160
Scholven (NW)*	125
Mannheim CBW)	134
Farge CHB)	108
Voerde(NW)	71,1
Walsum(NW)	70,5
Bexbach (SL)	66,0
Heilbronn (BW)	61,8
Wedel (SH)	58,5
Frimmersdorf CNW)	56,0
Chemnitz (SN)	47,1
Mehrum (NI)	45,6
Heyden (NW)	41,6
Goldenberg (NW)	40,3
Hafen (HB)**	39,8
Herne (NW)	36,3
München Nord (BY)	31,7
Marl (NW)	30,2

	Kilogramm pro Jahr
Frechen (NW)	26,1
Altbach (BW)	25,8
Voerde-West (NW)	24,8
Karlsruhe (BW)	24,0
Völklingen (SL)	23,9
Frankfurt (HE)	23,6
Braunschweig (NI)	23,4
Buschhaus (NI)**	22,8
Duisburg HKW (NW)**	22,4
Stoudinger (HE)	22,2
Reuter-West (BE)	21,8
Kiel (SH)	20,1
Deuben (SD)	18,3
Bergkamen (NW)	18,3
Moabit (BE)	16,2
Fortuna (NW)	14,2
Rostock (MV)	13,4
Hannover (NI)	13,0
Hastedt (HB)	11,6
Offenbach (HE)	11,5
Lünen STEAG (NW)	10,9
Zolling (BY)	5,1
Ibbenbüren (NW)	5,1
Werne (NW)**	3,8

* teilweise stillgelegt ** Stilllegung geplant

Quelle: Ökopol

Verteilung der Quecksilberemissionen weltweit nach Quelle im Jahr 2010



Quecksilbermessungen in Krematorien

Das steigende Umweltbewusstsein und die fortschreitenden wissenschaftlichen und technischen Erkenntnisse führen zunehmend zu Forschungen und Diskussionen im Bereich des Umweltschutzes. Ein aktuelles Thema im Kontext von Feuerbestattungsanlagen ist die Beschäftigung mit Quecksilberemissionen, die durch die Verbrennung von dentalem Amalgam verursacht werden. In der Zahnmedizin ist Quecksilber ein elementarer Bestandteil zur Herstellung von Dentalamalgam, welches als Füllmaterial bei kariösen Defekten im Seitenzahnbereich eingesetzt wird.



Quecksilber in Form von Dentalamalgam

Der Begriff „Amalgam“ entstammt dem Griechischen und wird zurückgeführt auf die Komponenten:

„Malagma“, was so viel bedeutet wie etwas Weiches, „malatto“ (= weichmachen) und „gameo“ (= verbinden). Anhand dieses Worthintergrundes lässt sich der chemische Charakter der Substanz bereits erahnen.

Quecksilber (Hg) ist das einzige Metall, welches schon bei Raumtemperatur flüssig ist. Des Weiteren legiert es leicht mit Silber (Ag), Gold (Au), Bismut (Bi), Cadmium (Cd), Blei (Pb), Zinn (Sn) und allen Alkalimetallen.



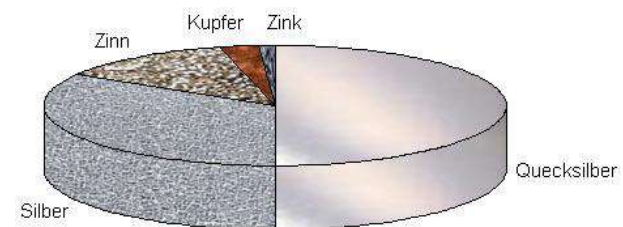
Nach Jahrzehnten der Forschung mit Quecksilberlegierungen haben sich in der Zahnmedizin zwei Arten durchgesetzt:²

1. Kupfer-Amalgame

die allerdings aufgrund ihrer Eigenschaft der ausgedehnten Verfärbung im Mund seit einigen Jahren nicht mehr eingesetzt werden.

2. Silber-Zinn-Amalgame

haben sich in der Zahnmedizin bis heute bewährt. Ihre Zusammensetzung beinhaltet ferner zu geringen Prozentanteilen weitere Substanzen, wie bspw. Zinn, Zink oder auch Kupfer.



Je nach Größe der Füllung weist diese ein Gewicht von 0,2 bis 1,8 g auf.³

Der Quecksilbergehalt einer einzelnen Amalgamfüllung liegt bei 50 % was einem Gewicht von 0,1 bis 0,9 g entspricht.

² Kappert & Eichner, 2008

³ Vivadent, n.d.

Zur Geschichte von Dentalamalgam⁴

Der Chinese Su Kung schrieb 659 n.Chr. in der *Materia Medica* erstmals von einem so genannten „silbernen Teig“.

1505 war es der Chinese Liu Wen-T'Al, der bereits eine Legierungszusammensetzung beschrieb und diese als Füllungstherapie für Zähne empfahl.

In Europa wurde man durch den aus Ulm stammenden Arzt Johannes Stocker um das Jahr 1500 herum zum ersten Mal auf das Füllungsmaterial aufmerksam. Er bezeichnete es in seinen Anweisungen zur Verarbeitung als „amalgama“.

Erst 1818 wurde eine niedrig schmelzende Legierung mit Quecksilber von dem in Paris niedergelassenen Zahnarzt Regnart erwähnt, die Jahrzehnte zuvor von Newton entwickelt und in Frankreich durch Darcet verbreitet wurde.

In der deutschen Zahnmedizin wurden Amalgamfüllungen ca. 1830 eingeführt.

Die Diskussionen über Amalgam reichen fast so weit zurück, wie seine Etablierung als Füllwerkstoff in der Dentalmedizin. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts wird Amalgam von Fachleuten kontrovers diskutiert.



Doch geht es anfänglich nicht um dessen potentiell gesundheitsschädliche Auswirkungen, sondern um die gegenseitige Zuschreibung von Profitorientierung. Das zu dieser Zeit übliche Material, das zu Zwecken der Zahnfüllung genutzt wurde, war Gold. Dieses hatte einen höheren Rohmaterialpreis, weshalb es als wertvoller galt als das umstrittene Amalgam.

Jedoch war dies seit jeher nicht die einzige Kritik, die bezüglich des quecksilberhaltigen Amalgams ausgesprochen wurde. Bis heute halten sich mehr oder weniger wissenschaftlich fundierte Nutzen-Risiko-Analysen, die es sich zur Aufgabe gemacht haben, die gesundheitlichen Auswirkungen von Dentalamalgam in jeglicher Hinsicht zu erörtern. Doch allen Diskussionen zum Trotz, ist Amalgam bis zum heutigen Tag ein gebräuchlicher zahnärztlicher Werkstoff.⁵

⁴ Kappert & Eichner, 2008

⁵ RKI, 2007

Zahlen und Daten zur Verwendung von Dentalamalgam

Die Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“ des Robert Koch Instituts (2007) ermittelte:

Der prozentuale Anteil gelegter Amalgamfüllungen an der Zahl der Gesamtfüllungen sank in Deutschland von 75% im Jahr 1985 auf 50% im Jahr 1992 und auf 30% im Jahr 1995 (Hickel, et al. 2000). Die Zahl der behandelten Zähne blieb laut dieser Studie nahezu konstant.

Die zahnärztliche Anwendung von Amalgam ist derzeit nur in Norwegen verboten. Es gibt jedoch in vielen Ländern Empfehlungen im Umgang mit Amalgam.

Zur Umweltbelastung mit Quecksilber trägt dentales Amalgam jedoch nur in sehr geringem Umfang bei.



Es gibt vier Möglichkeiten auf welche Weise der Eintrag in die Umwelt stattfinden kann:

1. Während der zahnärztlichen Behandlung

kann beim Legen von Amalgamfüllungen Quecksilber in das Abwasser gelangen. Ein Amalgamabscheider für zahnärztliche Abwässer ist in Deutschland allerdings gesetzlich vorgeschrieben und mindert den Anteil des freiwerdenden Quecksilbers erheblich.

2. Durch verlorene Zähne

die eine Amalgamfüllung enthalten.

3. Durch Erdbestattungen

gelangt das Quecksilber aus dentalem Amalgam in den Boden und somit auch in das Grundwasser.

4. Bei Feuerbestattungen

wird dentales Amalgam verbrannt, wodurch Quecksilber freigesetzt wird und somit in die Atmosphäre gelangt.

Quecksilberemissionen im Kontext von Krematorien

Die für Deutschland geltende 27. BImSchV stellt vorrangig Anforderungen an die Emissionsgrenzwerte, den Brennstoff und die Verbrennungstemperatur. Im Rahmen der Verordnung für Feuerbestattungsanlagen gibt es keine Regelung über den Ausstoß von Quecksilber.

Vergleicht man Quecksilberemissionen von deutschen Krematorien mit anderen Ländern, so ist die Emissionsfracht trotz einer hohen Anzahl an Einäscherungen relativ gering.⁶

In vielen europäischen Ländern werden Feuerbestattungsanlagen noch immer ohne Filtersysteme betrieben (u.a. Spanien, Polen, Tschechien).⁶



Laut OSPAR (Oslo-Paris-Kommission zum Schutz der Nordsee und des Nordatlantik) waren im Jahr 2003/04 insgesamt 137 deutsche Krematorien mit dem bestmöglichen Stand der Technik ausgestattet. Diese Krematorien emittierten 25,2 kg Quecksilber.

Die übrigen 16 Krematorien emittierten 13,5 kg, was etwa der 4,5-fachen Menge pro Krematorium mit BAT entsprach.

Insgesamt summierte sich laut dieser internationalen Studie das freigesetzte Quecksilber auf **38,7 kg** Quecksilber für das Jahr 2004 (mit etwa 456.654 Einäscherungen).⁷

⁶ Wiechmann & Gleis, 2012

⁷ Wiechmann & Gleis, 2011

Quecksilberemissionen im Kontext von Krematorien

Insgesamt lassen sich in Deutschland 65 % der Verstorbenen einäschern.⁸ Dies entspricht einer Gesamtzahl von zurzeit 601.250 Feuerbestattungen (insg.: 925.000 Sterbefälle in 2015).

925.000 Sterbefälle x 65 %
= **601.250 Einäscherungen p.a.**

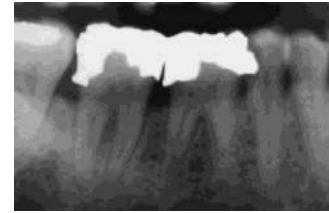
Eine Studie der RAL Gütegemeinschaft Feuerbestattungsanlagen e.V. und des Instituts für Rechtsmedizin der Universitätsklinik Hamburg aus dem Jahr 2013 untersuchte den Zahnstatus von 668 Verstorbenen in 5 deutschen Krematorien. Die Ergebnisse der Untersuchung weisen ein Amalgamaufkommen von 0,39 Füllungen pro Verstorbener aus.

Der Quecksilbergehalt einer Amalgamfüllung liegt bei 0,1 bis 0,9 g je nach Größe und Zusammensetzung der Füllung. Laut Hersteller liegt der mengenmäßige Durchschnitt bei 0,2 g Quecksilber je Füllung.

Mit Hilfe dieser Angaben lässt sich der Quecksilbereintrag durch Zahnfüllungen in Krematorien berechnen (Stand 2015):

601.250 Einäscherungen x 0,39 x 0,2 g
= **46,89 kg Hg-Eintrag p.a.**

Hg pro Füllung	jährlicher Hg-Eintrag
0,1 g	23,45 kg
0,3 g	70,35 kg
0,4 g	93,80 kg



Zur Vervollständigung der Beurteilung von Quecksilber in Krematorien hat die **IFU GmbH**, Saalfeld, im Auftrag der **CremTec GmbH** im Jahr 2016 Quecksilbermessungen im Roh- und Reingas (bei Trockensorptionsanlagen) durchgeführt.

Ebenso untersucht wurde; der Quecksilbergehalt im Staub am Arbeitsplatz (Wischproben im Anlagenbereich), sowie der Quecksilbergehalt außerhalb des Krematoriumgebäudes im Boden (zweifache Entfernung Hauptwindrichtung Schornstein).

Die Auswertung der Proben aus 26 Krematorien ergab folgende Messwerte:



Quecksilbergehalt im Roh- und Reingas:
(Trockensorptionsanlagen)

Rohgas: 0,003 – 0,22 mg/m³ Ø 0,030 mg/m³
Reingas: < 0,001 – 0,001 mg/m³ Ø 0,001 mg/m³

Plausibilitätsklärung zur Zahnstuserhebung:

Rohgas: 0,030 mg/m³ x 2.000 Nm³ p. EÄ ± 0,06 g p. EÄ
601.250 EÄ x 0,06 g = **36,08 kg p.a.**

Reingas: 0,001 mg/m³ x 2.000 Nm³ p. EÄ ± 0,002 g p. EÄ
601.250 EÄ x 0,002 g = **1,2025 kg p.a.**

Dies entspricht einem

Abscheidegrad von 96,66 %.

Der ermittelte Rohgaswert von 36,08 kg pro Jahr entspricht dem Ergebnis der Zahnstuserhebung der RAL (2013). Hier liegt der ermittelte Durchschnittswert für Deutschland bei 35,17 kg.

Es ergeben sich nachfolgende Werte:

Hg pro Füllung	jährlicher Hg-Eintrag	jährlicher Hg-Austrag
0,1 g	23,45 kg	0,94 kg
0,2 g	46,89 kg	1,20 kg
0,3 g	70,35 kg	2,81 kg
0,4 g	93,80 kg	3,75 kg

Die Auswertung der Proben aus 26 Krematorien ergab folgende Messwerte:

Quecksilbergehalt im abgeschiedenen Filterstaub:

0,01 – 0,10 mg Hg p. EÄ

Ø 0,055 g Hg p. EÄ x 601.250 EÄ = **33,06 kg**

Diese Werte basieren auf den Durchschnittsergebnissen von Feststoffproben für Krematoriumsstäube der Firma SAT Sonderabfall und Transport, Hamburg, für die Krematorien Stade und Cuxhaven.

Ermittelter Wert Rohgas	601.250 EÄ x 0,06 g	= 36,07 kg
Ermittelter Wert Filterstaub	601.250 EÄ x 0,055 g	= 33,06 kg
Ermittelte Hg-Emissionsfracht		= 3,01 kg

Quecksilbergehalt im Staub am Arbeitsplatz:

(Wischproben im Technik-Bereich)

Je Probe < 0,0001 mg/kg = **< 0,1 µg/kg**

µg = Mikrogramm ≙ 1 Millionstel Gramm



Quecksilbergehalt im Boden:

(zweifache Entfernung Hauptwindrichtung Schornstein)

0,15 – 0,42 mg/kg

Zum Vergleich:

Kinderspielfläche Bundesbodenschutzgesetz: 10,0 mg/kg

Relevante Maß- und Prüfwerte des Bundesbodenschutzgesetzes:

2 – 80 mg/kg

- A) Prüfwerte nach § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes für die direkte Aufnahme von Schadstoffen **auf Kinderspielflächen, in Wohngebieten, Park- und Freizeitanlagen und Industrie- und Gewerbegrundstücken**

	Kinderspielflächen	Wohngebiete	Park-/Freizeitanlagen	Industrie- /Gewerbegrundstücke
	10 mg/kg TM	20 mg/kg TM	50 mg/kg TM	80 mg/kg TM
Krematorium	0,15 – 0,42 mg/kg			

- B) Prüf- und Maßnahmenwerte nach § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 und 2 des Bundes-Bodenschutz-gesetzes für den Schadstoffübergang Boden – Nutzpflanze **auf Ackerbauflächen und in Nutzgärten** im Hinblick auf die Pflanzenqualität

	Prüfwert	Maßnahmenwert
	5 mg/kg TM	0 mg/kg TM
Krematorium	0,15 – 0,42 mg/kg	

- C) Maßnahmenwerte nach § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 2 des Bundes-Bodenschutzgesetzes für den Schadstoffübergang Boden – Nutzpflanze **auf Grünlandflächen** im Hinblick auf die Pflanzen-qualität (Feinboden)

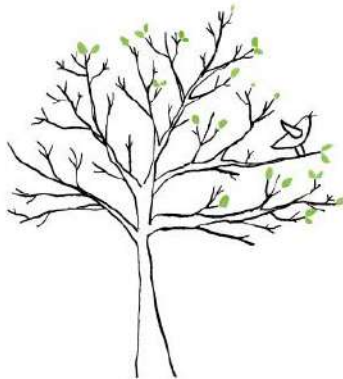
	Prüfwert
	2 mg/kg TM
Krematorium	0,15 – 0,42 mg/kg



Fazit

Es ist nicht von der Hand zu weisen, dass bei der Einäscherung von Verstorbenen aufgrund vorhandener Amalgamfüllungen Quecksilberemissionen entstehen.

Die Überprüfung verschiedener Ansätze zu Quecksilberemissionsmessungen in deutschen Krematorien lassen den Schluss zu, dass die entstehenden Quecksilberemissionen sicher absorbiert werden.



Der Hauptanteil des eingetragenen Quecksilbers findet sich in den Filterstäuben der Anlagen wieder, sodass jährlich lediglich **max. 2-6 Kg Quecksilber in allen deutschen Krematorien zusammen** an die Umwelt abgegeben werden.

(minimaler Größe der Amalgamfüllung = 0,1 g Hg;
maximale Größe der Amalgamfüllung = 0,9 g Hg)

Dass dies plausibel scheint, ergaben die niedrigen Werte beim Quecksilbergehalt im Boden rund um Krematorien, die zum Teil schon über Jahrzehnte betrieben werden.

Quellen

- Ebinghaus, R., Turner, R. R., de Lacerda, L.D. (Hrsg.), (1999). Mercury Contaminated Sites. Characterization, Risk Assessment and Remediation, Berlin : Springer-Verlag.
- Hellwig, A. (1979). Meßtechnik und meteorologische Aspekte zur Luftüberwachung. Technik und Umweltschutz - Luft- Wasser- Boden- Lärm. Leipzig: VEB.
- Kappert, Heinrich F. & Eichner, Karl (Hrsg.), (2008). Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Bd. 2 Werkstoffe unter klinischen Aspekten, 6. vollständig überarb. und erw. Aufl., Stuttgart : Thieme Verlag.
- Kommission Reinhaltung der Luft (KrdL im VDI und DIN – Normenausschuß: VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft. Emissionsminderung Einäscherungsanlagen, Bd. 3, Berlin: Beuth 2000
- Lichtner Dr., Rolf (Hrsg.) (2012) Handbook on Cremation. Commemorative publication for the 75th anniversary of the International Cremation Federation (ICF), Düsseldorf: Fachverlag des deutschen Bestattungsgewerbes
- Schetter, Dr., G.: Schetter GmbH & Co. KG [online] www.schetter-gmbH.de
- Ökopohl – Institut für Ökologie und Politik GmbH, Studie Quecksilber-Emissionen aus Kohlekraftwerken
- Wiechmann, B. & Gleis, M. (2012). Stand der Technik bei Krematorien und Erfahrungen mit der Anwendung der 27. BImSchV. In: G. Schetter (Hrsg.): Krematorium – Aktualisierung der VDI-Richtlinie 3891.
- [BMU] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Staatengemeinschaft beschließt weltweite Quecksilberkonvention (Artikel Nr. 009/13)
- [OSPAR] OSPAR Commission „Overview assessment of implementation reports on OSPAR Recommendation 2003/4 on controlling the dispersal of mercury from crematoria“
- [RKI] Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“ des Robert Koch-Instituts (Hrsg.): Materialband zur Kommissionsmitteilung „Amalgam“ .
- [VDI] Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss KrdL www.vdi.de/technik/fachthemen/reinhaltung-der-luft
- [RAL] RAL Gütegemeinschaft Feuerbestattungsanlagen e.V. – GZ 906 www.feuerbestattungsanlagen-ral.de
- [SGS] SGS Institut Fresenius GmbH, Hamburg

