

Risiken bei der Entsorgung von Energiesparlampen

Mit Fokus auf Gesundheits- und Umweltrisiken beim Sammeln und Rückführen
gebrauchter Energiesparlampen

Messungen und Risikoabschätzung

Ueli Kasser, lic. phil. nat. (Chemiker)

Daniel Savi, dipl. Umweltnaturwissenschaftler ETH

Im Auftrag der:

Stiftung Licht Recycling Schweiz (SLRS)
Bern

Zürich, März 2013



Zusammenfassung

Wenig, aber
notwendiges
Quecksilber

Alle Gasentladungslampen (FL-Röhren, Energiesparlampen und andere Sonderformen) enthalten funktionsbedingt eine bestimmte Menge Quecksilber (Hg), die heute für Energiesparlampen (ESL) je nach Leistung per Gesetz auf 2.5-3.5 mg pro Stk. limitiert ist. Neu in Verkehr gebrachte ESL enthalten zwischen 1.5 und 2.5 mg Hg. In der Separatsammlung vor allem der stabförmigen FL-Röhren rechnet man mit 80 bis 100 mg pro kg Leuchtmittel. Bei den ESL in der Separatsammlung kann man mit 50 bis 60 mg Hg pro kg Leuchtmittel rechnen. Das sind umgerechnet rund 5 mg pro Stück.

Rücklauf 2011
in der CH etwa
1 Mio. ESL

Von den 1'120 t Gasentladungslampen, die 2011 in der Schweiz separat gesammelt wurden, sind ca. 82 t ESL gemäss Stoffbuchhaltung der Recyclingbetriebe im SLRS-System. Das entspricht etwa einer Mio. Stk., wenn man das Verhältnis von Energiesparlampen mit Schraub- / Stecksockel aus einer Warenkorbanalyse der SLRS von 2010 und die dabei ermittelten Stückgewichte als repräsentativ annimmt. Die Jahresfracht für Quecksilber beträgt rund 5 kg. Über alle nicht stabförmigen Gasentladungslampen ergibt sich eine Fracht von 10 kg pro Jahr gemäss der vorliegenden Untersuchung.

Giftig und
heimtückisch
in der Umwelt

Quecksilber gehört in fast allen seinen chemischen Formen zu den giftigsten Schwermetallen überhaupt. Die ersten Vergiftungssymptome beginnen bereits in vergleichsweise geringen Konzentrationen und betreffen vor allem Schädigungen des Nervensystems. Elementares Quecksilber ist sensibilisierend, wird vor allem als Dampf über die Atmung aufgenommen und bleibt mehrere Wochen im Körper, wo es sehr mobil ist. Auch in der Umwelt ist es ein mobiles Element, das leicht in die Luft gelangt, ausgewaschen und in den Gewässern durch biologische Prozesse in giftiges Methylquecksilber umgewandelt wird. So gelangt es akkumulierend in die Raubfische, die heute (neben Amalgam) die Hauptbelastungsquelle der allgemeinen Bevölkerung darstellen.

Strenge Normen
und
Verwendungs-
einschränkungen

In Europa existieren für Quecksilber sehr strenge Grenzwerte im Arbeitsschutz und für Emissionen in die Umwelt. Alle offenen Anwendungen (z. B. in der Landwirtschaft) sind verboten, die halb offenen stark eingeschränkt. Zu den Hauptemissionsquellen zählen heute Kohlekraftwerke, die chemische Industrie, Grossfeuerungen und Abfallbehandlungsanlagen.

Kaum Gesundheitsrisiken bei der Sammlung und Rückführung	Mit einem detaillierten Messkonzept wurden verschiedene möglicherweise kritische Situationen bei Sammelstellen und in der Vertriebszentrale eines Grossverteilers unter realistischen Bedingungen ausgemessen: ESL beim Einwurf in den Sammelbehälter durch den Konsumenten, beim Zerschlagen am Boden, bei der Lagerung und beim Umschlag von Gebinden. Für die aus den Messungen abzuleitenden Risikobewertungen wurden konservative Annahmen getroffen. Bei allen Ereignissen und Arbeitsabläufen in den Sammelstellen und Verteilzentren sind die maximal inhalierbaren Quecksilbermengen zwanzig bis tausend mal kleiner als die jährlich aufgenommenen Mengen aus der Hintergrundkonzentration im Siedlungsraum.
Worst case nicht harmlos	Bei einem worst case Szenario in einem Verteilzentrum (Herunterfallen einer ganzen Rungenpalette) könnte es zu grösseren Problemen und Gesundheitsbeeinträchtigungen kommen. Es sind allenfalls entsprechende Präventions- und Notfallmassnahmen zu treffen.
Geringe Umweltrisiken	Die Emissionen von Quecksilber in die Umwelt aus der Sammlung, dem Rückführen, der Verarbeitung und dem Recycling von gebrauchten ESL sind äusserst gering. Gemäss Schätzungen basierend auf vorhandenen Zahlen werden in der Schweiz pro Kopf der Bevölkerung und Jahr deutlich weniger als 1 mg Quecksilber an die Umwelt abgegeben, wobei ein Teil davon vermutlich durch den Bruch während der Sammlung und der Rückführung zum Recycler verursacht wird. Im Vergleich zu anderen Quellen für Quecksilber-Emissionen ist dies ausserordentlich wenig.
Keine dringenden Massnahmen erforderlich	Das heutige System des Sammelns, Rückführens und Recyclings erfordert keine zusätzlichen besonderen Massnahmen für den Schutz der Gesundheit von Beteiligten oder der Umwelt. Alle Massnahmen zur Verhinderung von Bruch sind sinnvoll, Vorsicht insbesondere mit grösseren Mengen in Gebinden ist geboten.
Ausgewogene und regelmässige Information	Zwischen der weit verbreiteten Angst in Teilen der Bevölkerung vor der möglichen Gesundheitsgefährdung durch den Bruch von Energiesparlampen und den tatsächlichen Risiken besteht eine grosse Diskrepanz. Sie verlangt nach einer regelmässigen und ausgewogenen Information, die weder verharmlost noch durch übertriebene Massnahmen Ängste schürt.
Verbesserung der Datenlage	Die statistischen Daten zu Energiesparlampen und anderen Gasentladungslampen in der Schweiz sind noch zu wenig zuverlässig. Es müssen geeignete Methoden entwickelt werden, um die Rücklaufquoten, die in Verkehr gebrachten Mengen und die im Kehricht entsorgten Leuchtmittel regelmässig zu erheben.

Inhaltsverzeichnis

1	AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG	1
1.1	Anlass	1
1.2	Bisherige Studien	1
1.3	Zielsetzungen	2
2	DATEN ZU ENERGIESPARLAMPEN	3
2.1	Zusammensetzung	3
2.2	Rücklauf	5
2.2.1	Schweiz	5
2.2.2	Europa	7
2.3	Quecksilber – Fracht	7
3	RISIKEN DURCH QUECKSILBER	10
3.1	Toxikologie	10
3.2	Umwelt	11
3.3	Expositionen durch Entsorgungslogistik	12
3.3.1	Messkonzept	12
3.3.2	Ergebnisse Entsorgungslogistik	13
3.3.3	Recyclingbetriebe	15
3.4	Risikobewertung	16
3.4.1	Gesundheit	16
3.4.2	Worst Case in Logistikzentren	18
3.4.3	Umwelt	18
3.5	Vergleich mit bisherigen Studien	20
4	MASSNAHMEN	22
	ANHANG	23
A	GESETZLICHE VORSCHRIFTEN	23
A.1	SUVA-Grenzwerte 2013	23
A.2	Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (VeVA)	24
A.3	ChemRRV / RoHS-Richtlinie der EU	24
B	SLRS / SENS-REGELUNGEN	26
B.1	Recyclingbetriebe	26
B.2	Sammelstellen	26
C	EMISSIONEN UND VERHALTEN IN DER UMWELT	27
C.1	Emissionen	27
C.2	Verhalten und Mobilität	28

Abkürzungen und Begriffe

ESL	Energiesparlampen: Kompaktleuchtstofflampen mit Steck- oder Schraubsockel (integrierte Vorschaltgeräte). Im Sprachgebrauch werden teilweise nur ESL mit Schraubsockel als solche bezeichnet, während ESL mit Stecksockel als Kompaktleuchtstofflampen bezeichnet werden. Gemäss Energieverordnung dürfen Hersteller alle Lampen als ESL bezeichnen, die bestimmte Anforderungen an die Effizienz erfüllen, also z.B. auch LED-Lampen.
FL-Röhren	Fluoreszenzröhren, auch stabförmige Gasentladungslampen, umgangssprachlich auch als Neonröhren bezeichnet.
Gasentladungslampen	Ein Leuchtmittel, das durch die Anregung eines Gases leuchtet. Alle vRG-pflichtigen Leuchtmittel sind Gasentladungslampen mit Ausnahme der LED.
Hg	Chemisches Zeichen für Quecksilber
HID	Hochdruckentladungslampen (von engl. high-intensity discharge lamp). In diesen Leuchtmitteln wird ein unter Druck stehendes Gas zum Leuchten gebracht.
Hintergrundkonzentration	Die Konzentration eines Stoffes, die sich durch diffuse Emissionen einstellt. Im Fall von Quecksilber in der Atmosphäre sind die Quellen der Emissionen natürlichen (Vulkane) und menschlichen Ursprungs (v. a. Kleinstbergbau und Kohlekraftwerke).
Lampen	In der Fachsprache synonym zu Leuchtmittel, in der Umgangssprache synonym zu Leuchte verwendet. In der deutschen und der englischen Sprache werden Leuchtmittel als Lampen, resp. lamps bezeichnet.
LED	Licht emittierende Dioden
Leuchten	Das elektrische Gerät, welches die Leuchtmittel aufnimmt und mit Betriebsenergie versorgt.
Leuchtmittel	Die elektrisch betriebene Einheit, welche Licht aussendet.
MAK-Wert	Maximale Arbeitsplatzkonzentration (Mittelwert über 8 Stunden, siehe auch Kap. A.1)
mg	Milligramm $1\text{mg} = 1000\ \mu\text{g}$
μg	Mikrogramm $1\mu\text{g} = 0.001\ \text{mg}$
SENS	Stiftung Entsorgung Schweiz
SLRS	Stiftung Licht Recycling Schweiz
WKA	Warenkorbanalyse

1 Ausgangslage und Zielsetzung

1.1 Anlass

In den letzten Jahren sind diverse Medienberichte über die Risiken des Quecksilbers in Energiesparlampen erschienen. Viele zeichnen das Bild einer Gefährdung der Gesundheit des Konsumenten durch freigesetztes Quecksilber beim Bruch von Energiesparlampen. Je nach Autor wird vor gefährlichen Folgen eines Lampenbruchs bis hin zu bleibenden körperlichen Schäden gewarnt. Die vorliegende Studie wurde im Auftrag der SLRS erarbeitet um die Risiken auf wissenschaftlicher Basis abzuklären und darzustellen.

1.2 Bisherige Studien

Über den Verbleib des Quecksilbers in der Entsorgung von Fluoreszenzlampen führten Hug et al. 2010¹ eine umfangreiche Studie durch. Eine Warenkorbanalyse im Auftrag der SLRS gibt Aufschluss über die Anteile der verschiedenen Lampentypen an der gesamten entsorgten Menge Leuchtmittel².

Zu den globalen Emissionen von Quecksilber und dem Kreislauf in der Umwelt sind zahlreiche Arbeiten erschienen. Diese Studie stützt sich auf die von der UNEP veröffentlichten Metastudien über den globalen Quecksilber-Kreislauf^{3, 4}, sowie die WHO-Studien über Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit⁵ und das Vorkommen in Trinkwasser⁶. Die Quecksilber-Bilanz für die Schweiz konnte dem Entwurf einer BAFU-Publikation über Quecksilber entnommen werden⁷.

Das deutsche Umweltbundesamt (UBA) und das Bayerische Landesamt für Umwelt haben sich mit der Frage der Emissionen von berstenden Energiesparlampen in Wohnräumen befasst. Das UBA hat die wichtigsten Studienergebnisse in Form einer Pressemitteilung⁸ veröffentlicht. Die Ergebnisse der Studie des Bayerischen

¹ Hug, G., Renner, N., Erhebung von Quecksilberkonzentrationen in Fraktionen der Leuchtmittelverarbeitung, SENS & SLRS, Zürich 2010

² SENS, Warenkorbanalyse SLRS, Kampagne OeSS, 2010

³ UNEP, Global Mercury Assessment 2013, Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland, 2013

⁴ UNEP, Global Mercury Assessment, UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland, 2002

⁵ WHO, Concise International Chemical Assessment Document 50, Elemental Mercury and Inorganic Mercury Compounds: Human Health Aspects, 2003

⁶ WHO, Mercury in Drinking-water, 2005

⁷ Verbrauch und Verbleib von Quecksilber in der Schweiz mit Szenarien für eine künftige Regelung. Entwurf vom 5. November 2012. Bundesamt für Umwelt (BAFU)

⁸ Umweltbundesamt, Energiesparlampen in der Diskussion, Dessau-Roßlau, 2011

Landesamtes sind online veröffentlicht worden⁹. In einer weiteren Publikation des UBA wird der Quecksilberverbrauch nach Branchen in Deutschland abgeschätzt¹⁰.

1.3 Zielsetzungen

Die vorliegende Studie dokumentiert eigene Messungen über die Quecksilberfreisetzung aus Energiesparlampen in der Sammlung und Rückführung.

Die Messwerte werden aufgrund einer Analyse der vorhandenen wissenschaftlichen Arbeiten für eine Einschätzung des Risikos durch Energiesparlampen verwendet.

Aufgrund von Literaturdaten über die Quecksilbergehalte in Energiesparlampen und eigenen Abklärungen bei Herstellern werden die Quecksilberemissionen aus der Entsorgung von Energiesparlampen abgeschätzt. Diese werden mit den Emissionen aus anderen Quellen verglichen und eingeordnet.

⁹ Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, Innenraumluftbelastung durch Quecksilber aus Energiesparlampen, Online-Quelle abgerufen am 30-1-2013:
http://www.lgl.bayern.de/gesundheit/arbeitsplatz_umwelt/projekte_a_z/ir_quecksilber_energiesparlampen.htm#ergebnisse

¹⁰ Reichart, A., Quecksilber – immer noch ein Problem ?, Umweltbundesamt / Fachgebiet III, 2.3 Chemische Industrie und Energieerzeugung, Berlin – Spandau 2005

2 Daten zu Energiesparlampen

2.1 Zusammensetzung

Die Energiesparlampen gehören zu den Gasentladungslampen. Ihr Leuchtprinzip beruht auf dem Phänomen, dass sich das gasförmige Quecksilber im elektrischen Feld entlädt und UV-Strahlung aussendet. Die UV-Strahlung wird durch das Leuchtpulver an den Innenflächen des Glases in sichtbares Licht umgewandelt. Je nach Zusammensetzung des Leuchtpulvers ergibt sich eine kältere oder wärmere Lichtfarbe. Quecksilber ist demnach ein funktionell notwendiger Bestandteil der Energiesparlampe (ESL).

In Tabelle 1 sind Zusammensetzungen von ESL angegeben, wobei zwischen ESL mit Schraubsockel und integriertem Vorschaltgerät und solchen mit Stecksockel und ohne integriertes Vorschaltgerät unterschieden wird.

Tabelle 1: Zusammensetzung von aktuellen Energiesparlampen¹¹

Fraktion	ESL – mit integriertem Vorschaltgerät 13 W	ESL – Stecklampe 11 W
Kunststoff	20.8 %	18.2 %
Glas	54.2 %	72.7 %
Elektronik	20.8 %	0.0 %
Metalle	3.3 %	5.5 %
Leuchtpulver	< 1 %	< 1 %
Quecksilber ¹²	≤ 2.5 mg	≤ 2.5 mg
Rest	0.8 %	3.6 %
Gewicht pro Stück	120 g	55 g

Die Zusammensetzungen der Energiesparlampen in Tabelle 1 basieren auf jeweils einer Beispiellampe und sind statistisch nicht repräsentativ für alle möglichen Bauformen. Einige allgemeingültige Grundregeln lassen sich dennoch ableiten. Der Glasanteil beträgt für alle Energiesparlampen über 50 %. Am zweitwichtigsten sind die verbauten Kunststoffe. Die Metalle machen dagegen nur einen geringen Teil des Gesamtgewichts aus. Der wesentliche Unterschied bezüglich der Zusammensetzung zwischen ESL mit Schraubsockel und ESL mit Stecksockel besteht in der enthaltenen Elektronik. Das Leuchtpulver macht mengenmässig wenig aus. Es handelt

¹¹ European Lamp Companies Federation, Environmental aspects of lamps, 2009

¹² Gesetzlich festgelegter Grenzwert ab 1.1.2012 gemäss Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung ChemRRV des Bundes.

sich um ein Leuchtstoffgemisch zur Umwandlung des UV-Lichts des Gases in unterschiedliche sichtbare Lichtspektren. Es existiert eine Vielzahl von Leuchtstoffen, die jeweils eine charakteristische Farbe erzeugen. In Leuchtstoffen für Fluoreszenzlampen werden die Seltenerdmetalle Yttrium, Lanthan, Cerium, Europium und Terbium eingesetzt. Dazu kommen Alkali- und Erdalkalimetalle (Lithium, Magnesium, Strontium, Barium), Übergangsmetalle (Mangan), Halbmetalle (Antimon) und „gewöhnlichere“ Elemente und Verbindungen wie Eisen, Silizium, Kalzium, Phosphat, Aluminium, Bor und Chlor¹³.

Das Quecksilber liegt in drei Phasen im Leuchtmittel vor: gasförmig, flüssig und gebunden. Das gasförmige Quecksilber wird im Betrieb angeregt und sendet die UV-Strahlung aus. Flüssig liegt Quecksilber nur vor, wenn die Energiesparlampe ausgeschaltet ist. Im Betrieb verdampft das flüssige Quecksilber praktisch vollständig. Mit der Zeit wird das Quecksilber im Leuchtstoffpulver gebunden und wandert in das Glas und die Elektroden der Energiesparlampe¹⁴. Dieses Quecksilber ist für den Betrieb nicht mehr verfügbar. Sobald die Quecksilberkonzentration im Gas zu niedrig wird, lässt die Leuchtwirkung nach und die Lampe erreicht das Ende ihrer Lebensdauer.

Aus den Angaben von Herstellervertretern¹⁵ kann eine Übersicht über den Quecksilbergehalt in Energiesparlampen über die letzten 20 Jahre erstellt werden (Tabelle 2). Die Angaben verstehen sich als grobe Schätzungen.

Tabelle 2: Quecksilbergehalt in Energiesparlampen

Zeitraum	2012	ca. 2005	ca. 2000	ca. 1995
Quecksilbergehalt Energiesparlampe [mg/Stk.]	1.5-2.5	ca. 5	ca. 8	15 - 20

Ebenfalls zu den Gasentladungslampen gehören die stabförmigen Fluoreszenzlampen (FL-Röhren) und die Hochdruckentladungslampen (HID), die hauptsächlich für Strassenbeleuchtungen und in Stadien verwendet werden. Sie alle enthalten Quecksilber als funktionellen Bestandteil in teilweise erheblich grösseren Mengen. Es besteht ein Zusammenhang zwischen Quecksilbermenge und Leistung des Leuchtmittels. Die Vielfalt an Gasentladungslampen in Bezug auf Form, Funktionsprinzip, Lichtfarbe und Anwendung ist ausserordentlich gross (vgl. Abbildung 1). Hersteller und Importeure haben deshalb auf freiwilliger Basis in der Schweiz 2005 für alle Gasentladungslampen eine vorgezogene Entsorgungsgebühr mit separater Sammellogistik in geeignete Behandlungs- und Recyclingbetriebe eingeführt.

¹³ Prof. Dr. T. Jüstel, Unterlagen zur Vorlesung „Inkohärente Lichtquellen“, Fachhochschule Münster, Fachbereich Chemieingenieurwesen, Münster 2012

¹⁴ Einlagerung Hg in Leuchtstoffpulver, Glas und Elektroden: persönliche Mitteilung J. Daams 2012

¹⁵ Mündliche Angaben von Job Daams, Philips Lighting und Hans-Rudolf Bosshard, Osram Sept. 2012

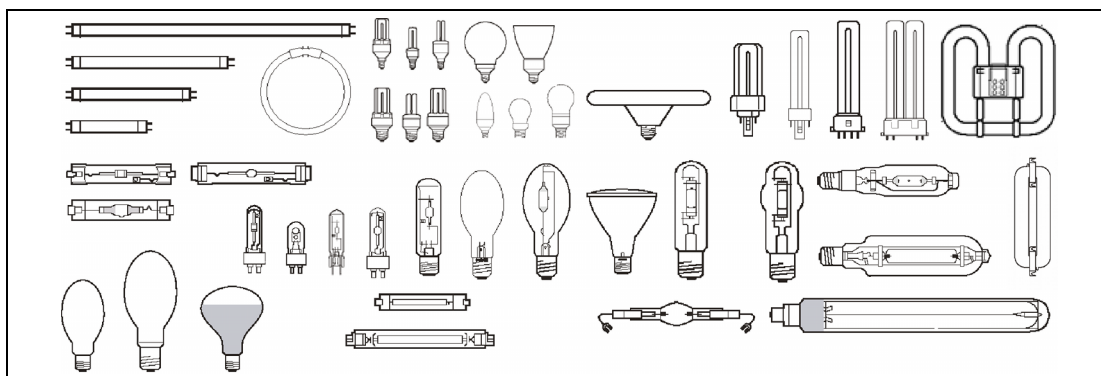


Abbildung 1: Übersicht Typologie Gasentladungslampen (Bilder SLRS)

2.2 Rücklauf

2.2.1 Schweiz

Die statistischen Daten über die insgesamt verarbeiteten Leuchtmittel sind in der Schweiz verhältnismässig gut. Bereits seit 2005 besteht eine Stoffbuchhaltungspflicht für die schweizerischen Entsorgungsbetriebe der SLRS (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Rücklauf von Leuchtmitteln in das Recycling in der Schweiz

[Tonnen / Jahr]	2007	2008	2009	2010	2011
Stabförmige	894	922	954	863	926
Nicht stabförmige	63	131	165	125	194
Total	956	1'053	1'119	989	1'120

Die Mengen werden in Kilogramm erfasst und repräsentieren die Summe aller bei den fünf schweizerischen Entsorgungsbetrieben angelieferten Leuchtmittel. Dabei wird lediglich zwischen stabförmigen und nicht stabförmigen Gasentladungslampen unterschieden. Die Energiesparlampen (ESL) sind nur eine Teilmenge unter den nicht stabförmigen Leuchtmitteln. Eine zu erwartende Zunahme der nicht stabförmigen Leuchtmittel aufgrund des Glühbirnenverbots ist bis 2011 nicht direkt erkennbar. Die Schwankungen der Rücknahmemengen von nicht stabförmigen Leuchtmitteln sind aufgrund der Daten nicht erklärbar.

Aus einer im Jahr 2009 durchgeführten Warenkorb-Analyse¹⁶ (WKA) kennt man die ungefähre Zusammensetzung der nicht stabförmigen Leuchtmittel. Damals wurden insgesamt 2 t nicht stabförmige Leuchtmittel manuell separiert und ausgewogen. Dabei wurden auch die Fremdstoffe und der Leuchtmittelbruch berücksichtigt. Die WKA wurde nur bei einem Recycler durchgeführt. Die Stichprobe von 1 % der ge-

¹⁶ SENS, Warenkorbanalyse SLRS, Kampagne OeSS, 2010

samten Jahresmenge von nicht stabförmigen Leuchtmitteln ist nicht repräsentativ. Dennoch sind die Daten aus dieser WKA die bisher einzigen verfügbaren.

In Tabelle 4 ist die Zusammensetzung der nicht stabförmigen Leuchtmittel aus der Warenkorbanalyse auf die angelieferten Gesamtmengen (vgl. Tabelle 3) hochgerechnet. Von allen in der Schweiz gesammelten Gasentladungslampen sind demnach etwa 7 % Energiesparlampen. Der gewichtsmässige Anteil der Energiesparlampen mit integrierten Vorschaltgeräten beträgt etwa 40 %, die Stückzahlen wurden im Verhältnis 3 zu 7 (Schraubsockel/Stecksockel) ermittelt.

Tabelle 4: Abschätzung der separat gesammelten Menge Gasentladungslampen

Kennzahlen aus der Sammlung von Gasentladungslampen 2011		
Gesammelte Leuchtmittel insgesamt gemäss Statistik	1'120 t ¹⁷	
Davon nicht stabförmige gemäss Statistik	194 t	100 %
Die nicht stabförmigen Leuchtmittel setzen sich gemäss WKA SLRS zusammen aus:		
– Energiesparlampen ESL (Stecksockel) entspricht etwa 700'000 Stk	50.5 t	26 %
– Energiesparlampen ESL integriert (Schraubsockel) entspricht etwa 350'000 Stk.	31.8 t	16 %
– FL-Röhren (kurze Bauformen)	11.7 t	6 %
– Hochdruckgasentladungslampen	9.7 t	5 %
– Glühbirnen	44.9 t	23 %
– Elektronik- und andere Abfälle	31.5 t	16 %
– Leuchtmittelbruch	13.9 t	7 %

Die Daten in Tabelle 4 unterscheiden sich erheblich in ihrer Genauigkeit. Die Angaben zu den gesammelten Leuchtmitteln insgesamt und zu den nicht stabförmigen stammen aus der Stoffflusserfassung der Recycler. Diese Zahlen können als vergleichsweise zuverlässig angesehen werden. Die weiteren Zahlen zu den ESL, kurzen FL-Röhren, Hochdruckgasentladungslampen und Glühbirnen sind aus der WKA 2009 hochgerechnet und mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

Die FL-Röhren, die zu kurz für die Sammlung auf Rungenpaletten sind, werden zusammen mit den nicht stabförmigen Leuchtmitteln gesammelt und verbucht. In den Paletten mit nicht stabförmigen Leuchtmitteln finden sich auch erhebliche Mengen von anderen Abfällen. Interessanterweise wurden viele Wasserfilter in den Paletten gefunden. Es konnte nicht eruiert werden, inwieweit es sich dabei um einen Sondereffekt



Abbildung 2: Gebinde nicht stabförmiger Leuchtmittel beim Recycler angeliefert

¹⁷ SENS, Fachbericht, 2010

handelt, der nur bei einzelnen Abgebern auftritt. Genauere Angaben könnten nur durch eine systematische und repräsentative WKA durch die SLRS erhoben werden.

2.2.2 Europa

Nach Angaben der European Lamp Companies Federation werden jährlich etwa 1 Milliarde Stk. Leuchtmittel verkauft, die unter die WEEE Direktive fallen. Diese Zahl umfasst alle Gasentladungslampen und LEDs, nicht nur ESL. Gemäss ELC Federation sind 24 Rücknahmesysteme in Europa operativ tätig. Im WEEE Forum sind 16 davon Mitglieder, die die Rücknahme und Behandlung von Leuchtmitteln organisieren. Sie registrierten im Jahr 2009 insgesamt ca. 15'000 t Leuchtmittel-Abfälle¹⁸. Das WEEE Forum ist die europäische Dachorganisation für Elektronik-Recyclingsysteme.

2.3 Quecksilber – Fracht

Als Fracht bezeichnet man diejenige Menge eines Stoffes, Elementes oder eines Stoffgemisches, die pro Zeiteinheit in einem definierten Güterfluss umgesetzt wird. Zusammen mit einer umfangreichen Studie über die Quecksilberrückhaltung aus stabförmigen FL-Röhren in schweizerischen und ausländischen Recyclingbetrieben¹⁹ und den vorhandenen statistischen Daten lassen sich Hg-Frachten in der Schweiz abschätzen (Tabelle 5). Es handelt sich um die Gesamtmenge Hg, die in den gebrauchten Gasentladungslampen enthalten ist. Bedingt durch die lückenhafte Datenlage sind die Abschätzungen mit Unsicherheiten behaftet.

Gemäss der Untersuchung über die Hg-Rückhaltung¹⁹ enthalten FL-Röhren im heutigen Abfall ca. 16 mg pro Röhre resp. 80 mg pro kg. Für gebrauchte Energiesparlampen kann aufgrund des gesetzlichen



Abbildung 3: Bruch aus einer Palette (WKA)

¹⁸ www.weeeforum.org, Key figures 2009

¹⁹ Hug, G., Renner, N., Erhebung von Quecksilberkonzentrationen in Fraktionen der Leuchtmittelverarbeitung, SENS & SLRS, Zürich 2010

Grenzwertes und den Herstellerangaben (siehe Tabelle 2) eine Quecksilbermenge von 5 mg pro Stück angenommen werden. Die in Tabelle 5 ausgewiesenen Stückzahlen sind aus den Durchschnittsgewichten aus der SLRS-Warenkorbanalyse hochgerechnet. Mit den Stückzahlen und den abgeschätzten Quecksilbergehalten kann die jährliche Hg-Fracht aus Energiesparlampen auf 5.3 kg geschätzt werden.

Tabelle 5: Abschätzung der Quecksilbermenge in den gesammelten Leuchtmitteln

Gasentladungslampen Typ	Menge insgesamt 2011		Quecksilberfracht pro Jahr
Gesammelte Leuchtmittel insgesamt gemäss Statistik	1'120 t ²⁰		80 – 90 kg
– davon stabförmige Leuchtmittel (FL-Röhren)	926 t		70 – 80 kg
– davon nicht stabförmige Leuchtmittel	194 t	100 %	≈ 10 kg
Die nicht stabförmigen Leuchtmittel setzen sich gemäss WKA SLRS zusammen aus:			
– Energiesparlampen ESL (Stecksockel) entspricht etwa 700'000 Stk	50.5 t ²¹	26 %	≈ 3.5 kg
– Energiesparlampen ESL integriert (Schraubsockel) entspricht etwa 350'000 Stk	31.8 t	16 %	≈ 1.8 kg
– FL-Röhren kurze Bauformen	11.7 t	6 %	≈ 1 kg
– Hochdruckgasentladungslampen	9.7 t	5 %	≈ 4 kg
– Glühbirnen	44.9 t	23 %	0
– Elektronik- und andere Abfälle	31.5 t	16 %	unbekannt
– Leuchtmittelbruch	13.9 t	7 %	≈ 1 kg

Sowohl Philips wie auch Osram weisen in den Produktdatenblättern zu den Hochdrucklampen die Hg-Gehalte aus. Für eine Abschätzung der durchschnittlichen Hg-Menge wurden die Angaben zu 95 Modellen von Osram und Philips ausgewertet. Da für die Analyse keine Marktdaten zur Verfügung standen, konnte keine Gewichtung nach Marktanteilen der Lampentypen vorgenommen werden. Aufgrund einer Abschätzung des Haupteinsatzgebietes in der Strassen- und Sportplatzbeleuchtung wurden nur dafür geeignete Modelle betrachtet. Das ungewichtete Mittel der ausgewerteten Datenblätter beträgt 30 mg Hg pro Leuchtmittel. Die Hg-Fracht für Hochdruckentladungslampen wird nach derselben Methode berechnet wie diejenige der Energiesparlampen.

Der Quecksilbergehalt der FL-Röhren kurze Bauformen sowie des Leuchtmittelbruchs wurde aus den Daten für die stabförmigen Leuchtmittel umgerechnet.

Der Hg-Gehalt von Energiesparlampen im Recycling liegt vermutlich über dem Gehalt heutiger Energiesparlampen, da das Durchschnittsalter bedingt durch die lange Lebensdauer von Energiesparlampen 5 Jahre und mehr betragen dürfte. Gemäss WKA ist bis zum Eintreffen der Gebinde mit nicht stabförmigen Lampen beim Recycler, d.h. also beim Sammeln und Rückführen mit rund 7 % Bruch zu rechnen.

²⁰ SENS, Fachbericht, 2010

²¹ SENS, Warenkorbanalyse SLRS, Kampagne OeSS, 2010

Insgesamt werden jährlich mit allen Gasentladungslampen etwa 90 kg, durch die Energiesparlampen etwa 5 kg Quecksilber umgesetzt. Diese Jahresfrachten ergeben pro Kopf der Bevölkerung etwa 12 resp. 0,5 Milligramm pro Jahr [mg/a]. Das sind im Vergleich zu den Hg-Emissionen aus anderen Quellen ausserordentlich geringe Frachten (vgl. Kap. 3.4.3).

3 Risiken durch Quecksilber

3.1 Toxikologie

Quecksilber (Hg) ist ein chemisches Element das verschiedene chemische Verbindungen eingehen kann. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften sowie die Giftigkeit von Hg hängen von der chemischen Form ab. In Energiesparlampen wird elementares Quecksilber eingesetzt. Das Quecksilber ist bei Raumtemperatur flüssig und während des Betriebs der Lampe gasförmig. Ein Teil davon wandelt sich während des Betriebs in anorganisches Hg (Leuchtpulver) und in Amalgam im Metall der Elektroden um. Die Anteile der verschiedenen Formen hängen ausgesprochen vom Alter, vom Lampentyp und von der jeweiligen Temperatur ab.

Für die Gesundheitsgefährdung beim Handling von Energiesparlampen ist hauptsächlich das als Dampf oder Aerosol vorhandene Quecksilber massgebend. Es wird über die Lunge zu rund 80 % im Körper aufgenommen²², wo es im Gewebe zu Hg²⁺(anorganische Form) umgewandelt wird.

Die ersten akuten Symptome einer Quecksilbervergiftung sind Zittern, emotionale Störungen, Vergesslichkeit, Gedächtnisverlust, Veränderungen der Nerven- und Muskelzellen und Kopfschmerzen. Zusätzlich können Nieren und die Schilddrüse geschädigt werden. Wie bei jedem Gift sind die Effekte von der Dosis abhängig, die ein Mensch innerhalb einer gewissen Zeitperiode aufnimmt. Je nach Publikation werden verschiedene Zahlen über die Konzentrationen von elementarem Quecksilberdampf publiziert, welche gesundheitliche Folgen haben können (Tabelle 6).

Tabelle 6: Wirkungsdosen von Quecksilber-Dampf

Toxikologie Quecksilber-Dampf	Konzentration [µg/m ³]	Expositionsdauer
Akute gesundheitliche Effekte	50-350	kurzzeitige Exposition ²³
Klare Symptome für Störungen des zentralen Nervensystems	> 100	ständige Exposition während Berufstätigkeit ²⁴
Milde nicht-klinische Anzeichen von nachteiligen Effekten auf das zentrale Nervensystem möglich	20	ständige Exposition während Berufstätigkeit ²⁵

²² Global Mercury Assessment, UNEP Chemicals, 2002, S. 4

²³ WHO, Mercury in Drinking-water, 2005

²⁴ UNEP Chemicals, Global Mercury Assessment, 2002, S. 44

²⁵ WHO, Concise International Chemical Assessment Document 50, Elemental Mercury and Inorganic Mercury Compounds: Human Health Aspects, 2003, S. 30

Die Halbwertszeit von Hg im Körper, das als Hg-Dampf über die Lunge aufgenommen wurde, beträgt rund 60 Tage.²⁶ Deshalb ist die Kontrolle von Blut und Urinwerten bei Arbeitern eine wichtige Massnahme zur Überwachung der Exposition.

Aus epidemiologischen Untersuchungen und berufsbedingten Expositionen wurde durch eine WHO-Arbeitsgruppe eine tolerierbare Dosis für anorganische Hg-Verbindungen abgeleitet (Tolerable Daily Intake TDI). Diese gilt für die allgemeine Bevölkerung für die Hg-Aufnahme über den Magen-Darm-Trakt und bemisst sich nach dem Körpergewicht. Diese tolerierbare Tagesdosis kann ein Mensch jeden Tag aufnehmen, ohne dass nach derzeitigem Wissen über die chronische Wirkung von Quecksilber irgendwelche Gesundheitsschäden zu befürchten sind. Sie beträgt 2 µg Hg/kg Körpergewicht und Tag^{25, 27}.

Diese von der WHO herausgegebene Empfehlung soll dazu verwendet werden, um in den verschiedenen Nahrungsmittel, Trinkwasser und Luft Grenzwerte festzulegen, die unter Berücksichtigung der allgemeinen Exposition der Bevölkerung ein Unterschreiten der TDI garantieren. Der WHO TDI bezieht sich nicht auf elementares Quecksilber, wie es in Sparlampen vorkommt und kann deshalb nicht für die Beurteilung der Risiken durch das Handling von Energiesparlampen während der Sammlung und Rückführung herangezogen werden.

3.2 Umwelt

Weitere Angaben zum Umweltverhalten und der weltweiten Emissionen sind im Anhang C zusammengestellt. Die vom Menschen verursachten anthropogenen Hauptquellen sind der Kleinstbergbau, industrielle Emissionen und Grossfeuerungsanlagen. Die weltweiten anthropogenen Emissionen wurden 2010 auf 284 Milligramm [mg] pro Kopf der Bevölkerung und Jahr geschätzt^{28, 29}. Man schätzt heute, dass die vom Menschen verursachten Einträge in die Biosphäre den natürlichen Hg-Gehalt in der Atmosphäre und die Ablagerung auf Böden und in Gewässer etwa verdreifacht haben³⁰.

Quecksilber ist ein sehr mobiles Schwermetall, das sich verhältnismässig rasch ausbreitet, umwandelt und akkumuliert. Durch menschliche Aktivität wird Hg zu rund zwei Drittel in die Atmosphäre emittiert und zu einem Drittel direkt in die Gewässer. Das Quecksilber aus der Atmosphäre wird ausgewaschen und verteilt sich auf die Gewäs-

²⁶ Thomas W. Clarkson et al, The Toxicology of Mercury — Current Exposures and Clinical Manifestations, The new england journal of medicine 349, 18, 2003

²⁷ In diesem Bericht wird die TDI für elementares Quecksilber zitiert, wie 2003 vorgeschlagen. Ältere Vorschläge des „Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives“ von 1978 schlagen eine tolerierbare wöchentliche Aufnahme von 300µg pro Person vor. Diese Empfehlung wird u. A. vom BAG im Faktenblatt Quecksilber vom Juli 2012 zitiert.

²⁸ UNEP, Global Mercury Assessment 2013, Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland, 2013

²⁹ UN DESA, World Population Prospects, the 2010 Revision, Online Database: <http://esa.un.org/unpd/wpp/Excel-Data/population.htm>

³⁰ Reichart, A., Quecksilber – immer noch ein Problem ?, Umweltbundesamt / Fachgebiet III, 2.3 Chemische Industrie und Energieerzeugung, Berlin – Spandau 2005

ser und Böden. In Gewässern wird Quecksilber in das sehr giftige Methylquecksilber umgewandelt und in der aquatischen Nahrungsmittelkette akkumuliert.²⁸

Die Hintergrundbelastung der allgemeinen Bevölkerung durch Quecksilber wurde im UNEP-Report von 2002 abgeschätzt³¹ und ist in Tabelle 7 wiedergegeben. Die Werte gelten für Personen, die keiner beruflichen Hg-Belastung ausgesetzt sind. Zahnfüllungen aus Amalgam sind der grösste Risikofaktor für eine Belastung mit elementarem Hg. Neben dem Amalgam ist das wesentlich giftigere Methylquecksilber für die allgemeine Belastung der Bevölkerung massgebend. Methylquecksilber wird vor allem durch den Verzehr von Fisch aufgenommen.

Tabelle 7: Geschätzte durchschnittliche Quecksilberaufnahme der allgemeinen Bevölkerung ohne berufliche Belastung in µg pro Tag³¹

Quelle	Elementares Quecksilber	Anorganische Quecksilber-Verbindungen	Methylquecksilber
Luft	0.024	0.001	0.0069
Amalgam	3-17	0	0
Fisch(100g Fisch / Woche)	0	0.042	2.3
Andere Lebensmittel	0	0.25	0
Trinkwasser	0	0.0035	0
Total	3.1-17	0.3	2.31

Wegen dieser vergleichsweise hohen Belastung der allgemeinen Bevölkerung ist die Verwendung von Quecksilber in offenen Anwendungen in Europa bereits in den Achtziger- und Neunzigerjahren verboten worden. Heute sind neben den Energiesparlampen nur noch wenige Anwendungen vom allgemeinen Verbot ausgenommen und es gelten im Vergleich zu anderen Schwermetallen sehr strenge Grenzwerte für Mensch und Umwelt (vgl. Anhang A).

3.3 Expositionen durch Entsorgungslogistik

3.3.1 Messkonzept

Im Rahmen dieser Studie wurden Messungen der Hg-Konzentrationen in der Luft an verschiedenen Punkten der Rücknahmelogistik vorgenommen. Hintergrund dieser Messungen ist die Tatsache, dass sich bei der Rücknahmelogistik kaum vermeiden lässt, dass hin und wieder ESL oder FL-Röhren beschädigt werden. Deshalb wurden bei der Rückgabestelle eines Verkaufsgeschäfts und in der Verteilzentrale eines Grossverteilers verschiedene kritische Situationen gemessen. Im Verkaufsgeschäft werden die ESL durch den Kunden eingeworfen, in die Verteilzentrale zurückgeführt, in grössere Gebinde umgeladen und auf die Transportmittel aufgeladen.

³¹ UNEP Chemicals, Global Mercury Assessment, 2002, S. 59

den. Zudem wurden Situationen gemessen, bei denen ESL und FL-Röhren am Boden zerbrechen.

Die Luftkonzentrationen wurden jeweils mit einer Messlanze in der Regel an dem Ort gemessen, wo die höchsten Konzentrationen zu erwarten waren. Die Quecksilberkonzentration in der Luft während dieser Ereignisse wurde mit einem Messgerät Typ VM 3000 der Firma Mercury Instruments gemessen. Das Messprinzip beruht auf der Strahlungsabsorption von gasförmigem Hg. Damit lässt sich die Konzentration kontinuierlich ablesen und aufzeichnen. Zwischen dem Auftreten der Konzentration und dem Vorliegen der Messung liegt nur eine kurze Verzögerung. Das Gerät ist kalibriert und getestet worden, seine Nachweisgrenze beträgt $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die Messungen inkl. Anzeige der Quecksilberkonzentrationen wurden gefilmt, so dass sich der Konzentrationsverlauf simultan ablesen lässt. Der Film ist auf Anfrage verfügbar³².

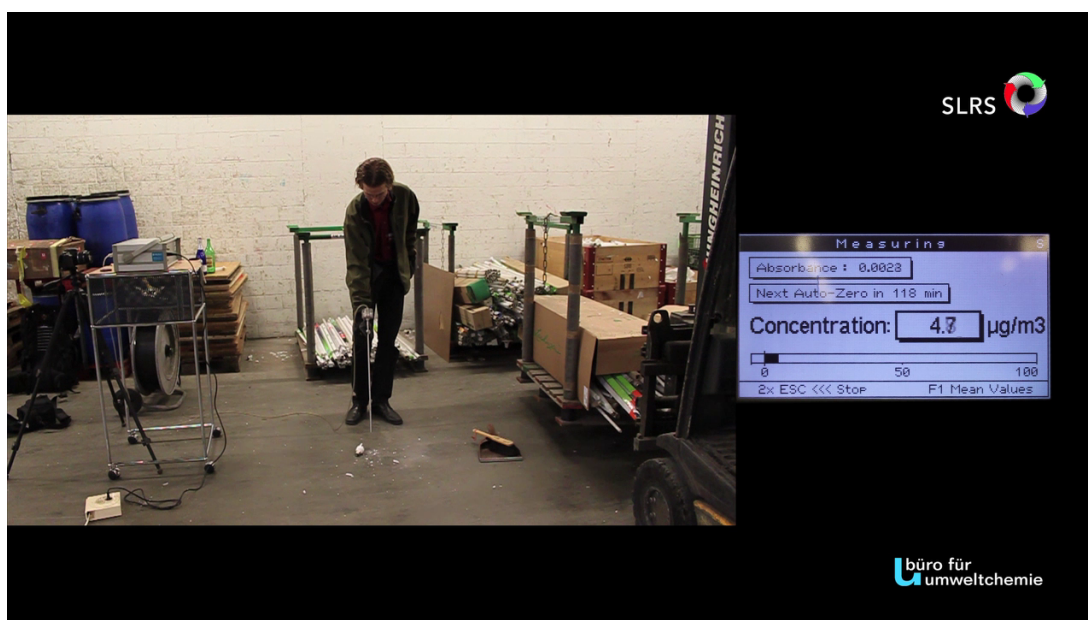


Abbildung 4: Quecksilbermessung einer zerbrochenen ESL in einer Verteilzentrale, Messlanze wird ganz nahe an die Bruchware herangeführt

3.3.2 Ergebnisse Entsorgungslogistik

In Tabelle 8 sind die wichtigsten Messungen in der Verkaufsfiliale und in einem Verteilzentrum zusammenfassend festgehalten. Alle Messungen wurden unter realen Bedingungen durchgeführt. Mit der kontinuierlichen Methode lassen sich die Zusammenhänge zwischen Ort, Zeit und Konzentration viel präziser erfassen als mit punktuellen Einzelmessungen. Dadurch lässt sich der Ort mit der höchsten Konzentration leicht eruieren. Dieser liegt beim Bruch unmittelbar über dem Boden. Mit

³² Auskunft erteilt büro für umweltchemie in Zürich, 043 300 50 40

zunehmender Messhöhe sinken die Konzentrationen von Hg in der Luft rasch. Auf Kopfhöhe war bei den Messungen nur ein leichter bis gar kein Anstieg messbar.

In den Situationen 1 und 2 wurden vier verschiedene ESL und eine FL-Röhre am Boden zerbrochen und mit einer kleinen Schaufel und Besen aufgenommen. Alle Messungen wurden in einem geschlossenen Raum vorgenommen. Die Spitzenkonzentrationen wurden unmittelbar über dem Boden registriert. Bereits einen halben Meter über dem Boden, wo beim Aufwischen eingeatmet wird, waren die Konzentrationen deutlich niedriger. Für die unterschiedlichen Messergebnisse beim Bruch der ESL kommen mehrere Einflussfaktoren in Frage. Das Alter der Lampe, die Lage der Messlanze, die lokalen Luftverwirbelungen oder die Art des Aufwischens können eine Rolle spielen. Der Unterschied zwischen den ESL und den klassischen FL-Röhren ist signifikant. Beim Bruch einer FL-Röhre wird der MAK-Wert für kurze Zeit überschritten.

Tabelle 8: Gemessene Hg-Konzentrationen in verschiedenen Situationen während dem Sammeln und Rückführen von ESL und stabförmigen FL

Messsituation	Anzahl Ereignisse	Spitzenwerte der kontinuierlichen Messung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Geschätzte Durchschnittswerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Expositionsdauer [s]
1: Bruch ESL auf dem Boden mit anschließendem Aufwischen	4	2 97 46 33	0.5 15 6 9	90 100 90 90
2: Bruch FL-Röhre 36 cm auf dem Boden mit anschließendem Aufwischen	1	268	76	100
3: Einwurf ESL in Sammelstelle ohne Beschädigung	1	< 0.1	< 0.1	nicht relevant
4: Einwurf ESL in Sammelstelle mit Beschädigung	1	34	9	50
5: Zwischenlagerung in Verteilzentrale bei Anlieferung	2	nicht relevant	8 5	je nach Arbeitsgang mehrere Minuten
6: Lagerung in Transportgebinde in Verteilzentrale	3	nicht relevant	1 2 6	je nach Arbeitsgang mehrere Minuten
7: Umschlag Leuchtmittel in Verteilzentrale	1	nicht relevant	< 0.1	je nach Arbeitsgang mehrere Minuten

In den Situationen 3 und 4 wird die Exposition von Konsumenten beim Einwurf von ESL in das vorhandene Gebinde durch das Loch bei der Sammelstelle gemessen, ohne Bruch beim Einwerfen und im Falle eines Bruchs. Dabei wurde der Konzentrationsverlauf im Einwurfschacht und unmittelbar im Behälter wie auch vor dem Einwurf gemessen, wo die Luft durch die Personen eingeatmet wird. Wenn die ESL nicht bricht, lässt sich keine erhöhte Konzentration messen, im Falle eines Bruchs steigt die Konzentration unmittelbar über dem Einwurfbehälter für kurze Zeit an. Ein Bruch der ESL beim Einwurf in eine Sammelstelle ist eher unwahrscheinlich.

In den Situationen 5 bis 7 wurden verschiedene Lager und Umladesituationen in der Verteilzentrale ausgemessen. Die höchsten Konzentrationen sind unmittelbar über den Rahmenpaletten gemessen worden. Im Bereich des Kopfes von Personal bei den Arbeiten sind die Konzentrationen deutlich niedriger. Diese Umladearbeiten und internen Transporte beanspruchen einen Mitarbeiter sehr konservativ geschätzt höchsten für eine halbe Stunde pro Tag.

Die Hintergrundkonzentrationen betragen in allen ausgemessenen Räumen in den Verkaufs- und Verteilzentralen $< 0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Hg. Das allenfalls durch den Bruch von Leuchtmitteln freigesetzte Quecksilber wird durch den Luftwechsel sehr rasch auf nicht messbare Konzentrationen unter der Nachweisgrenze von $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ verdünnt.

3.3.3 Recyclingbetriebe

Die mit dem Rücknahmesystem SLRS vertraglich gebundenen Leuchtmittel-Recyclingbetriebe im In- und Ausland müssen neben den gesetzlichen Anforderungen an den Arbeits- und Gesundheitsschutz auch die durch die SENS definierten technischen Anforderungen im Vertrag (vgl. Anhang B) erfüllen. Diese werden mindestens einmal jährlich durch spezialisierte Kontrollexperten auditiert.

Die Betriebsverantwortlichen haben die Schutzmassnahmen auf der Basis einer Risikoanalyse zu definieren und deren Wirksamkeit zu überwachen. Zur Reinigung von Anlagen und Betrieben sind Staubsauger mit Aktivkohlefilter vorgeschrieben. Darüber hinaus gelten Grenzwerte für Quecksilber in den Fraktionen, die für eine stoffliche Verwertung weitergegeben werden. Sie sollen eine möglichst hohe Hg-Abscheiderate garantieren.

Aufgrund mehrjähriger Erfahrung in der Kontrolle von Betrieben können die Expositionen an den kritischen Arbeitsplätzen abgeschätzt werden (Tabelle 9)³³. Die Durchschnittskonzentrationen in der Normalsituation an den am meisten exponierten Arbeitsplätzen liegen mehr als Faktor 10 unter dem MAK-Wert. Ausser bei der Bestückung hält sich kein Mitarbeiter längere Zeit an diesen Stellen auf. Daneben gibt es periodische Arbeiten die mit deutlich höheren Expositionen verbunden sind. Die Zeitdauer der Exposition ist entweder sehr gering oder die Mitarbeiter haben besondere persönliche Schutzmassnahmen zu treffen.

³³ Ausgenommen sind die Betriebe mit chemischer Quecksilberfällung, die keine Emissionen in die Luft verursachen.

Tabelle 9: Erfahrungswerte über die Expositionen in Recyclingbetrieben

Konzentrationen	Situationen	Massnahmen
2 – 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Konzentrationen in unmittelbarer Nähe der Anlagen (Bestückung und beim Austrag der Fraktionen).	Keine besonderen
5 – 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Erhöhte Konzentrationen misst man über den Gebinden, beim Umladen und beim Sortieren von angenommenen Gebinden mit Bruchware. Auch beim Öffnen der Anlagen für kleinere Reparaturen oder Behebung von Funktionsstörungen.	Neben den Handschuhen sind bei solchen Routinearbeiten Schutzmasken mit Aktivkohlefilter zu tragen.
> 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (MAK-Wert)	Beim Bersten von Hochdrucklampen in Gebinden oder bei kleineren Havarien mit Paletten und Gebinden, beim Umladen von Leuchtpulver etc.: wird bei seltenen Ereignissen etwa 2 bis 4 mal pro Jahr überschritten.	Gutes Entlüften der Hallen in denen die Anlagen stehen, danach persönliche Schutzmassnahmen wie oben beschrieben.

3.4 Risikobewertung

3.4.1 Gesundheit

Der Bruch einer Energiesparlampe ist ein seltenes Ereignis. Auch die Situationen in Tabelle 10, welchen die Mitarbeiter von Sammelstellen und Logistikzentren ausgesetzt sein können, ereignen sich nicht täglich. Deshalb wird die Belastung der Betroffenen in den jeweiligen Situationen mit der Hintergrundbelastung der Bevölkerung in urbanen Gebieten verglichen. Die Hintergrundkonzentration der Luft in urbanen Gebieten³⁴ beträgt $10 \text{ ng}/\text{m}^3 = 0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In Tabelle 10 sind die Ergebnisse des Vergleichs zusammengefasst. Dort wo dieselben Ereignisse mehrmals ausgemessen wurden, werden jeweils die höchsten Hg-Konzentrationen zu Grunde gelegt. Für die Berechnungen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Bruch mit anschliessendem Aufwischen: Die Dosis berechnet sich aus der geschätzten Durchschnittskonzentration und der Zeitdauer der Exposition. Die zur Berechnung verwendeten Konzentrationen wurden unmittelbar über dem Boden gemessen. Auf Kopfhöhe, auch beim Aufwischen der Scherben, sind sie signifikant tiefer.
- Lagerung und Umschlag: Für die berechnete Dosis wurde eine Expositionsdauer von 30 Minuten pro Tag resp. Schicht angenommen. Die zur Berechnung verwendeten Konzentrationen wurden unmittelbar über den Gebinden gemessen. Dort wo sich der Kopf befindet, sind die Konzentrationen bereits deutlich tiefer.
- Die Inhalationsdosis aufgrund der Hintergrundkonzentration berechnet sich zu $84 \mu\text{g Hg}/\text{a}$ aus der Hintergrundkonzentration in urbanem Gebiet, dem Atemvo-

³⁴ WHO, Air Quality Guidelines for Europe, Second edition, WHO regional publications. European series ; No. 91, Copenhagen, 2000

lumen (20 l / min), der Lungenresorption von 80% und der Expositionsdauer von einem Jahr.

- Die Dosis für eine MAK-Spitze ist die Menge Hg, die ins Blut einer Person gelangt, wenn sie während einer Viertelstunde der erlaubten Spitzenkonzentration gemäss MAK-Liste³⁵ von 400µg Hg/m³ ausgesetzt ist. Die Annahmen zu Atemvolumen und Lungenresorption sind dieselben wie für die Hintergrundbelastung.

Tabelle 10: Dosis eines Ereignisses pro Jahr im Verhältnis zur Hintergrundbelastung

Ausgemessene Situationen gemäss Tabelle 8	Erwachsene		
	Maximal aufgenommene Hg-Dosis [µg]	% bezüglich Hintergrundbelastung urban pro Jahr	% bezüglich einer MAK-Spitze
1: Bruch ESL auf dem Boden mit anschliessendem Aufwischen	0.4	0.5 %	0.4 %
2: Bruch FL-Röhre 36 cm auf dem Boden mit anschliessendem Aufwischen	2.0	2.4 %	2.1 %
3: Einwurf ESL in Sammelstelle ohne Beschädigung	< 0.001	< 0.002 %	< 0.001 %
4: Einwurf ESL in Sammelstelle mit Beschädigung	0.1	0.1%	0.1 %
5: Zwischenlagerung in Verteilzentrale bei Anlieferung: 30 Minuten arbeiten an der Palette	3.7	4.5 %	3.9 %
6: Lagerung in Transportgebinde in Verteilzentrale: 30 Minuten arbeiten an der Palette	3	3.5 %	3.1 %
7: Umschlag Leuchtmittel in Verteilzentrale	< 0.05	< 0.06 %	< 0.1 %

Beim Bruch einer Sparlampe wird im schlimmsten Fall eine zusätzliche Menge elementaren Quecksilberdampfs aufgenommen, die um den Faktor 200 unter dem jährlich aufgenommenen Quecksilberdampf aufgrund der Hintergrundkonzentration liegt. Die höchste Dosis pro Ereignis ist beim Bruch einer 36cm langen FL-Röhre gemessen worden. Selbst wenn man direkt neben der Bruchstelle liegen würde, entspräche die aufgenommene Menge nur 2.4 % der jährlich eingeatmeten Quecksilbermenge. Etwas höhere Dosen ergeben sich durch die längere Exposition beim Umgang mit gelagerten Leuchtmitteln. Die berechneten Expositionen für jeweils 30 Minuten liegen zwischen 3 % und 5 % der Hintergrundbelastung pro Jahr.

Für die berufliche Belastung ist der Vergleich mit der erlaubten Hg-Spitze gemäss MAK-Werte-Liste der SUVA das aussagekräftigere Mass. Für einen Mitarbeiter oder eine Mitarbeiterin einer Verteilzentrale stellt die Arbeit an und mit Leuchtmittelgebinden eine kurzzeitige Belastung dar. Es ist jedoch kaum davon auszugehen, dass sich ein Mitarbeiter einer Verteilzentrale während 30 Minuten pro Arbeitstag mit der

³⁵ SUVA, Grenzwerte am Arbeitsplatz, 2013

Umladung von Gebinden beschäftigt. Die Annahme ist also konservativ. Dieser Vergleich zeigt, dass die Belastung durch den Gebindeumschlag deutlich unter der gesundheitlich bedenklichen Dosis liegt.

Das Quecksilber aus einer zerbrochenen Energiesparlampe und auch die Arbeit mit Gebinden während der Rücknahme von ESL stellen keine Gesundheitsgefährdung dar. Viel höher ist die Quecksilberbelastung aus der Nahrung, die zudem über das weit giftigere Methylquecksilber erfolgt. Siehe dazu auch Tabelle 7.

3.4.2 Worst Case in Logistikzentren

Der schlimmste anzunehmende Unfall mit Energiesparlampen oder FL-Röhren in der Logistik wäre das Herunterfallen und Zerschlagen einer ganzen Rahmenpalette vom Lastwagen, Gabelstapler oder von einem Gestell in einem geschlossenen Raum. Das würde kurzfristig zu Konzentrationen führen, die über dem Kurzzeitgrenzwert der SUVA liegen könnten. Leichte Vergiftungssymptome für anwesende Personen sind dabei nicht auszuschliessen. Durch Lüften oder Absaugen der Luft kann jedoch die Konzentration rasch wieder auf unbedenkliche Werte gesenkt werden. Als Vorsichtsmassnahme müssten sich die Personen nach einem solchen Unfall rasch möglichst ins Freie begeben.

3.4.3 Umwelt

Mithilfe der in Kap. 1.4 abgeleiteten Jahresfrachten von Quecksilber in Gasentladungslampen lassen sich die Emissionen aus gesammelten gebrauchten Leuchtmitteln grob abschätzen. Es handelt sich um diejenigen Anteile, die beim Sammeln und Rückführen durch Bruch, sowie beim Behandeln der Gasentladungslampen diffus in die Umwelt gelangen.

Die Abschätzung ist mit mehreren Unsicherheiten verbunden, da die Behandlung und das Recycling der ESL bis vor kurzem ausschliesslich im Ausland erfolgte. In der Tabelle 11 sind die abgeschätzten Werte der einzelnen Lampentypen angegeben. Dabei muss man von einem bestimmten Bruchanteil bei der Sammlung und Rückführung ausgehen. Er wurde für die stabförmigen FL-Röhren mit 5 % und für die ESL gemäss Warenkorbanalyse mit 7 % angenommen. Beim Bruch wird angenommen, dass die gesamte Quecksilber-Menge entweder direkt oder über das Leuchtpulver diffus in die Umwelt gelangt. Bei denjenigen Leuchtmitteln, die intakt zum Recycler gelangen und ordnungsgemäss verarbeitet werden, wurde angenommen, dass 90 % des Input-Quecksilbers in den entsprechenden Systemen zurückgehalten werden. Das ist vor allem Quecksilber im Leuchtpulver und Aktivkohlefilter sowie in den Fraktionen die weiterbehandelt oder deponiert werden. Die verbleibenden 10 % gelangen diffus während der Verarbeitung und Lagerung und als Restgehalte in den verwertbaren Fraktionen von Glas und Metallen in die Umwelt. Diese Annahmen basieren auf einer umfangreichen Studie über die Quecksilber-

Outputs aus der Leuchtmittelverarbeitung mit verschiedenen Technologien³⁶. Die Untersuchung wurde nur mit stabförmigen FL-Röhren durchgeführt. Es sind nach derzeitigem Kenntnisstand jedoch keine Gründe ersichtlich, weshalb sie nicht für die Behandlung von ESL gelten sollte.

Tabelle 11: Hg-Emissionen in die Umwelt durch Sammlung, Rückführung und Behandlung von gebrauchten Gasentladungslampen

Gasentladungslampen Typ	Menge insgesamt 2011		Hg-Fracht pro Jahr	Hg-Emissionen pro Jahr
Gesammelte Leuchtmittel insgesamt gemäss Statistik	1'120 t ³⁷		80 – 90 kg	≈ 11 - 13 kg
– davon stabförmige Leuchtmittel (FL-Röhren)	926 t		70 – 80 kg	≈ 9 - 10 kg
– davon nicht stabförmige Leuchtmittel	194 t	100 %	≈ 10 kg	≈ 1.7 kg
Die nicht stabförmigen Leuchtmittel setzen sich gemäss WKA SLRS zusammen aus:				
– Energiesparlampen ESL (Stecksockel) entspricht etwa 700'000 Stk)	50.5 t ³⁸	26 %	≈ 3.5 kg	≈ 0.4 kg
– Energiesparlampen ESL (Schraubsockel) entspricht etwa 350'000 Stk.	31.8	16 %	≈ 1.8 kg	≈ 0.2 kg
– FL-Röhren kurze Bauformen	11.7 t	6 %	≈ 1 kg	≈ 0.1 kg
– Hochdruckgasentladungslampen	9.7 t	5 %	≈ 4 kg	≈ 0 kg
– Glühbirnen	44.9 t	23 %	0	0 kg
– Elektronik- und andere Abfälle	31.5 t	16 %	unbekannt	≈ 0 kg
– Leuchtmittelbruch	13.9 t	7 %	≈ 1 kg	≈ 1 kg

Tabelle 12: Hg-Emissionen von Gasentladungslampen im Vergleich zu anderen Quellen

Gasentladungslampen Typ	Hg-Fracht pro Jahr	Hg-Emissionen pro Jahr	Hg-Emissionen pro Kopf und Jahr in der CH
Gesammelte Leuchtmittel insg. gem. Statistik	80 – 90 kg	≈ 11 - 13 kg	1.6 mg
– davon stabförmige Leuchtmittel (FL-Röhren)	70 – 80 kg	≈ 9 - 10 kg	1.3 mg
– davon nicht stabförmige Leuchtmittel	≈ 10 kg	≈ 1.7 kg	0.2 mg
Gesamte atmosphärische Hg-Emissionen zum Vergleich	Jahr	Hauptquelle	pro Kopf und Jahr
– Schweiz ³⁹	2011	Stahlerzeugung, Erdölprodukte	29-53 mg/a
– Weltweit ⁴⁰	2010	Gold-Kleinstbergbau, Kohlekraftwerke	284 mg/a

³⁶ Hug, G., Renner N., Erhebung von Quecksilberkonzentrationen in Fraktionen der Leuchtmittelverarbeitung, SENS & SLRS Zürich, 2010

³⁷ SENS, Fachbericht, 2010

³⁸ SENS, Warenkorbanalyse SLRS, Kampagne OeSS, 2010

³⁹ Verbrauch und Verbleib von Quecksilber in der Schweiz mit Szenarien für eine künftige Regelung. Entwurf vom 5. November 2012. Bundesamt für Umwelt (BAFU)

⁴⁰ UNEP, Global Mercury Assessment 2013, Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland, 2013

Gemäss dieser Abschätzung (vgl. Tabelle 12) gelangen jährlich in der Schweiz durch Sammlung, Rückführung und Behandlung von ESL und anderen nicht stabförmigen Leuchtmitteln rund 2 kg Quecksilber in die Umwelt. Diese Schätzung darf als konservativ betrachtet werden.

Zum Vergleich sind in Tabelle 12 Zahlen zu den geschätzten gesamten Quecksilberemissionen für die Schweiz und weltweit dargestellt. Danach machen die Quecksilberemissionen aus ESL weniger als 1 % der gesamten Hg-Emissionen aus. ESL und andere Gasentladungslampen sind keine bedeutende Quelle der heutigen Quecksilberbelastung in der Umwelt. Eine Erhebung des Bundesumweltamts schätzt den Quecksilberbedarf der Lampenindustrie in Europa für die Neuproduktion auf 20 t pro Jahr oder 7 % des Gesamtbedarfs für die Industrie⁴¹.

3.5 Vergleich mit bisherigen Studien

Die Studien im Auftrag des deutschen Umweltbundesamtes⁴² (UBA) und des bayrischen Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit⁴³ (BLGL) massen Innenraumluftbelastungen nach dem Zerschlagen von Energiesparlampen. Die Ergebnisse werden zum Vergleich mit den im Rahmen dieser Studie vorgenommenen Messungen summarisch in Tabelle 13 aufgeführt.

Im Auftrag des UBA bestimmte das Fraunhofer-Wilhelm-Klauditz-Institut die Konzentration von Hg in der Innenraumluft für drei Situationen. Die Messungen erfolgten in einer Prüfkammer. Die ESL wurden während des Betriebs zerbrochen, also im heissen Zustand. Die Hg-Konzentration in der unbelüfteten Kammer wurde dann über 52 Stunden verfolgt. Gemessen wurde 30 cm und 1.2 m über Boden⁴². Die rapportierten Spitzenkonzentrationen liegen deutlich unter den Spitzen aus den Messungen dieser Studie. Da die Pressemitteilung keine genaueren Angaben zur Messmethodik macht, können die Gründe dafür nicht ermittelt werden. Die Pressemitteilung des UBA vergleicht die gemessenen Spitzenkonzentrationen mit den Richtwerten der Ad-hoc-Arbeitsgruppe IRK/AOLG⁴⁴ für langfristige Innenraumluftkonzentrationen von Hg⁴⁵. Ein solcher Vergleich ist wenig aussagekräftig, da sich die Wirkung eines Giftes aus der Dosis und der Expositionszeit ergibt. Eine Spitzenkonzentration kann deshalb nicht mit einem Richtwert für Dauerbelastungen verglichen werden, ohne dass die Expositionsdauer berücksichtigt wird.

⁴¹ Reichart, A., Quecksilber – immer noch ein Problem ?, Umweltbundesamt / Fachgebiet III 2.3 Chemische Industrie und Energieerzeugung, Berlin – Spandau 2005

⁴² Umweltbundesamt, Energiesparlampen in der Diskussion, Dessau-Roßlau, 2011

⁴³ Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, Innenraumluftbelastung durch Quecksilber aus Energiesparlampen, Online-Quelle abgerufen am 30-1-2013:
http://www.lgl.bayern.de/gesundheits/Arbeitsplatz_Umwelt/projekte_a_z/ir_quecksilber_energiesparlampen.htm#ergebnisse

⁴⁴ Ad-hoc Arbeitsgruppe Innenraumkommission/Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden des Umweltbundesamts Deutschland

⁴⁵ Richtwert II = 0.35 µg Hg/m³, Richtwert I = 0.035 µg Hg/m³ zitiert nach:
B. Link, Richtwerte für die Innenraumluft – Quecksilber, Sozialministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 2·1999

Die BLGL Studie mass die Quecksilberkonzentration nach dem Bruch einer Kompaktleuchtstofflampe (Energiesparlampe) in einem möblierten Zimmer mit 50 m³ Luftvolumen. Die Messung erfolgt auf 1m Höhe, ca. 1m von der Bruchstelle entfernt. Die Messungen erfolgten quasi kontinuierlich alle 20 Sekunden über mehrere Tage⁴³. Auch die Studie im Auftrag des BLGL rapportiert tiefere Spitzenwerte als in dieser Studie gemessen.

Tabelle 13: Messergebnisse Studien deutscher Umweltämter zum Lampenbruch

Studie	Konzentration nach Lampenbruch [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	Mittel	Spitze
UBA 1m	nicht dokumentiert	7
UBA 0.3m	nicht dokumentiert	8
BLGL	0.1 – 8	0.1 – 10.3

Die Erkenntnisse aus der vorliegenden Studie bestätigen die Untersuchungsergebnisse, die aus den deutschen Studien publiziert wurden.

4 Massnahmen

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie lassen sich folgende Massnahmen ableiten:

- Bei der Sammlung und Rückführung von ESL zum Recycler sind keine besonderen oder dringenden Massnahmen erforderlich. Das Sammelsystem ist zweckmässig und auftretende Quecksilberemissionen gefährden die Mitarbeiter der Leuchtmittelhändler, Sammelstellen und Logistikzentren nicht, wenn hin und wieder einzelne Lampen zerbrechen.
- Beim Personal von Sammelstellen von Gemeinden und Detailhandel und Logistikzentren besteht ein Informationsbedarf über die Gefährdung durch Quecksilber aus Sparlampen und über die angemessenen Massnahmen im Falle eines Bruchs einzelner Fluoreszenzlampen. In diesem Bereich ist auf ausgewogene Informationen zu achten. Weder sollen die Risiken verharmlost noch dramatisiert werden.
- Eine kontinuierliche Information der Öffentlichkeit über die Risiken des Gebrauchs und der Entsorgung von Sparlampen ist nötig. Durch verschiedene dramatisierende Medienberichte besteht eine Diskrepanz zwischen den Ängsten in Teilen der Bevölkerung und den effektiven Gesundheits- und Umweltrisiken. Diese lässt sich nur durch eine regelmässige und fundierte Information korrigieren.
- Der Rücklauf der Energiesparlampen ins Recycling ist nicht bekannt. Zudem konnte die Zusammensetzung der nicht stabförmigen Leuchtmittel nur unzureichend abgeschätzt werden. Bessere Daten zur Zusammensetzung der nicht stabförmigen Leuchtmittel könnten mittels einer regelmässigen Warenkorbanalyse bei den Recyclern erhoben werden. Der Kenntnisstand über den Rücklauf ins Recycling könnte durch Hauskehrichtanalysen auf enthaltende ESL und die Auswertung der Verkaufsstatistiken nach Lampentypen verbessert werden.
- Die Sammelgebilde, die Logistik und der Umschlag von der Sammelstelle bis zum Recycler sind ständig auf möglichst geringe Bruchraten zu optimieren.
- Bei Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften und Vorgaben sowohl der Technischen Kontrollstelle wie auch der SUVA besteht in der Regel für die ganz stark überwiegende Zahl der Mitarbeiter in Recyclingbetrieben kein Gesundheitsrisiko. Die Recyclingbetriebe werden durch die Kontrollexperten der Technischen Kontrollstelle der SLRS und durch die SUVA geprüft.

Anhang

A Gesetzliche Vorschriften

A.1 SUVA-Grenzwerte 2013

Die Maximale Arbeitsplatzkonzentration MAK gilt als Durchschnittswert über 8 Stunden während einer 42-Stundenwoche. Die Einhaltung des MAK-Wertes soll auch über längere Perioden bei der ganz stark überwiegenden Zahl der gesunden, am Arbeitsplatz Beschäftigten die Gesundheit nicht gefährden⁴⁶.

Da der MAK-Wert als Durchschnittswert definiert ist, können auch Überschreitungen des Mittelwertes auftreten. Diese werden für Quecksilber hinsichtlich Höhe, Dauer und Häufigkeit pro Arbeitstag oder Schicht begrenzt. Diese Beschränkung wird als Kurzzeitgrenzwert bezeichnet.

Tabelle 14: In der Schweiz gültige MAK- und BAT-Werte für Quecksilber

in [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] als Hg berechnet	Quecksilber Dampf und Aerosol	Anorganische Quecksilberverbindungen	Organische Quecksilberverbindungen
MAK-Wert CH	50	20	10
Kurzzeitgrenzwert CH	400	160	keine
	Oberer Grenzwert für höchstens 4 maliges Überschreiten des Durchschnittswertes während max. einer Viertelstunde pro Schicht		
Zusätzliche Gefährdungen	sensibilisierend, verstärkt gehörschädigende Wirkung von Lärm	sensibilisierend und hautresorbierend	
BAT-Wert	Je nach Art der Exposition gelten Grenzwerte in Urin oder Blut, bei deren Beurteilung jedoch Umwelteinflüsse zu berücksichtigen sind (z.B. Rauchen)		
BAT-Wert Blut in [$\mu\text{g}/\text{l}$]	–	15	–
BAT-Wert Urin in $\mu\text{g Hg} / \text{g Kreatinin}$	–	25	–

⁴⁶ SUVA, Grenzwerte am Arbeitsplatz, 2013

Die MAK-Werte sind keine sicheren Grenzen zwischen gefährlichen und ungefährlichen Bereichen. Besonders empfindliche oder in ihrer Gesundheit beeinträchtigte Personen können auch durch tiefere Konzentrationen gefährdet werden. Zu den besonders empfindlichen Personen gehören diejenigen, bei denen Haut oder Atemwege gegenüber gewissen Arbeitsstoffen sensibilisiert sind. Bei diesen können allergische Reaktionen durch zahlreiche Stoffe schon in minimalen Konzentrationen ausgelöst werden. Das Einhalten der MAK-Werte bietet hier nur eine beschränkte Sicherheit.⁴⁶ Quecksilber führt besonders häufig zu Überempfindlichkeitsreaktionen und ist deshalb in der MAK-Werte-Liste als sensibilisierend gekennzeichnet. Anorganische Quecksilberverbindungen und Methylquecksilber können zudem über die Haut aufgenommen werden, nicht jedoch Quecksilberdampf.

Der BAT-Wert (Biologischer Arbeitsstofftoleranzwert) beschreibt die Konzentration eines Arbeitsstoffes, seiner Abbauprodukte oder eines Beanspruchungsindikators z. B. in Blut oder Urin, bei dem im Allgemeinen die Gesundheit eines Beschäftigten auch bei wiederholter und langfristiger Exposition nicht beeinträchtigt wird. Der BAT-Wert ist überschritten, wenn bei mehreren Untersuchungen einer Person die mittlere Konzentration des Parameters oberhalb des BAT-Wertes liegt. Aus einer alleinigen Überschreitung des BAT-Wertes kann nicht notwendigerweise eine gesundheitliche Beeinträchtigung abgeleitet werden⁴⁶.

A.2 Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (VeVA)

Gasentladungslampen gelten gemäss VeVA als Sonderabfälle. Gemäss Art. 6 VeVA müssen Abgeberbetriebe bei der Übergabe von Sonderabfällen Begleitscheine nach Anhang 1 der Verordnung verwenden und die erforderlichen Angaben eintragen.

A.3 ChemRRV / RoHS-Richtlinie der EU

Die ChemRRV verbietet das Inverkehrbringen von quecksilberhaltigen Zubereitungen und Gegenständen durch die Hersteller und die Verwendung von elementarem Quecksilber, Quecksilberverbindungen und quecksilberhaltigen Zubereitungen.

Zu diesem Verbot werden verschiedene Ausnahmen definiert. Für Quecksilber in Elektro- und Elektronikgeräten hat die Schweiz die Bestimmungen der Richtlinie 2011/65/EU zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (RoHS⁴⁷) übernommen. Somit gelten bezüglich Quecksilber in Elektrogeräten die Ausnahmen gemäss Tabelle 15 und Tabelle 16.

⁴⁷ Restrictions of Hazardous Substances (RoHS)

Tabelle 15: Grenzwerte für Hg für allgemeine Beleuchtungszwecke gemäss Anhang III ROHS-Richtlinie EU⁴⁸

Gerätekategorie	Höchstmenge Quecksilber
Kompaktleuchtstofflampen < 30 W	2.5 mg je Brennstelle
Kompaktleuchtstofflampen ≥ 30 W und < 50 W	3.5 mg je Lampe
Kompaktleuchtstofflampen ≥ 50 W und < 150 W	5 mg
Kompaktleuchtstofflampen ≥ 150 W	15 mg
FL-Röhren mit Tri-Phosphor als Leuchtschicht	Röhren mit normaler Lebensdauer: 4 mg je Röhre mit $\varnothing < 9$ mm 3 mg je Röhre mit $\varnothing \leq 17$ mm 3.5 mg je Röhre mit $\varnothing > 17$ mm Röhren mit langer Lebensdauer: 5 mg je Röhre

Tabelle 16: Ausgewählte Grenzwerte für Quecksilber gemäss ChemRRV CH

Kategorie	Höchstmenge Quecksilber
Batterien	5 mg pro Batterie
Knopfzellen-Batterien	20'000 mg / kg
Batterien für Not- & Alarmsysteme und Notbeleuchtungen, medizinische Geräte sowie handgehaltene, batteriebetriebene Elektrowerkzeuge für Instandhaltungs-, Bau- oder Gartenarbeiten	keine Begrenzung des Quecksilbergehalts

Weitere Ausnahmen vom Quecksilber-Verbot werden in der ChemRRV definiert für neue Fahrzeugwerkstoffe und -bauteile, Verpackungen, Arzneimittel, Antiquitäten und kosmetische Mittel. Das Verbot gilt ebenfalls nicht, wenn nach dem Stand der Technik ein Ersatz fehlt für: Laborgeräte und -bauteile, Künstlerfarben für Restaurierungen, Medizinprodukte für die berufliche Verwendung (ausgenommen Fieberthermometer), Zubereitungen für Laboratorien und Hilfsstoffe für Herstellungsprozesse.

⁴⁸ Für besondere Verwendungszwecke und spezielle FL-Röhren bestehen weitere Ausnahmen, die hier nicht im Detail aufgeführt werden

B SLRS / SENS-Regelungen

B.1 Recyclingbetriebe

In den Verträgen zwischen der SLRS / SENS und den Recyclingbetrieben sind technische Anforderungen festgelegt, die im Folgenden zusammengefasst sind:

- Die Arbeitsschritte und Anlagen zur Aufbereitung von Leuchtmitteln sind so auszugestalten, dass die Emissionen von gas- und staubförmigem Quecksilber so niedrig wie möglich sind.
- Die Anlagen sind mit geeigneten Rückhaltesystemen auszurüsten und so zu betreiben, dass die Funktionstüchtigkeit ständig überprüft werden kann.
- Recyclingbetriebe müssen über Industriestaubsauger mit funktionstüchtigen Aktivkohlefiltern sowie verschliessbaren Gebinden für quecksilberhaltige Fraktionen und Leuchtmittelbruch verfügen.
- Fraktionen die direkt oder über eine weitere Aufbereitung einer stofflichen Verwertung zugeführt werden, dürfen folgende Quecksilbertotalgehalte pro kg Trockensubstanz (TS) nicht überschreiten:

Glas: 5 mg/kg, Metall: 10 mg/kg, Andere: 10 mg/kg

Damit wird sichergestellt, dass über verwertbare Fraktionen keine diffusen Hg-Emissionen erfolgen.

- Die Luftemissionen von Quecksilber aus Produktionsräumen und Anlagen mit Prozessabluft sind kontinuierlich zu überwachen.
- Es hat eine regelmässige Kontrolle der Immissionen an den kritischen Arbeitsplätzen nach Massgabe der Ergebnisse und Anordnung der arbeitsrechtlichen Vollzugsinstanzen zu erfolgen. Zusätzlich sind die Mitarbeiter an exponierten Arbeitsplätzen mindestens einmal pro Jahr medizinisch auf Quecksilberaufnahme und Exposition zu untersuchen.
- Der Quecksilbertotalgehalt von Fraktionen, die durch Verwertung oder Verbrennung eine diffuse Emissionsquelle darstellen können, ist mindestens einmal pro Jahr chemisch-analytisch zu überprüfen.

B.2 Sammelstellen

In den Verträgen zwischen der SLRS / SENS und den SENS-Sammelstellen sind technische Anforderungen festgelegt, die im Folgenden zusammengefasst sind:

- Leuchtmittel müssen bruchsicher und vor Witterungseinflüssen geschützt gelagert werden.
- Der Transport der Leuchtmittel geschieht in speziell für diesen Zweck geeigneten Behältnissen (stabförmige Leuchtmittel getrennt von anderen Formen).
- Die einschlägigen Bestimmungen der VeVA sind zu beachten.
- Die Sammelstellen müssen veranlassen, dass die Abgabe von Leuchtmitteln so erfolgt, dass eine Beschädigung der Leuchtmittel vermieden wird.

C Emissionen und Verhalten in der Umwelt

C.1 Emissionen

In Tabelle 17 sind die weltweit wichtigsten Hg-Quellen aus menschlicher Tätigkeit aufgezeichnet. Diese Quellen sind für rund 30 % der Emissionen in die Atmosphäre verantwortlich. Weitere 60 % stammen aus erneut emittiertem Quecksilber, das zuvor auf dem Boden oder in Gewässern abgelagert wurde. Die restlichen 10 % stammen aus natürlichen Quellen, vor allem Vulkanen.⁴⁹ Die Daten für die einzelnen Kontinente stammen aus den Emissionsregistern der EU, USA und Australiens. Die weltweiten Daten aus dem UNEP-Report. Die UNEP-Daten für die einzelnen Kontinente sind bis zum Abschluss dieses Berichts noch nicht veröffentlicht worden.

Tabelle 17: Geschätzte anthropogene Emissionen von Quecksilber in die Atmosphäre 2010

[Tonnen]	Verbrennung fossiler Energieträger und Ölraffinerie	Metall & Goldproduktion	Zementproduktion	Abfall und Altlasten	Kleinbergbau zur Goldgewinnung	Chlor-Alkali-Industrie	Weitere	Alle Quellen
Europa ⁵⁰	17.5	4.7	2.9	1.6	–	3.2	0.5	30.5 ⁵¹
Nordamerika 2008 ⁵²	35.1	8.1	4.4	1.9	–	1.9	3.7	55.1 ⁵³
Australien ⁵⁴	3.6	8.2	0.3	0.03	–	0.07	0.1	12.4
Weltweit ⁴⁹	500	348	173	182	727	28		1960

Der Kleinbergbau ist die wichtigste Quelle von Hg-Emissionen aus menschlicher Tätigkeit, gefolgt von der Verbrennung fossiler Energieträger. Unter den fossilen Energieträgern ist die Kohleverbrennung die wichtigste Quelle. Eine effektive Kon-

⁴⁹ UNEP, Global Mercury Assessment 2013, Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland, 2013

⁵⁰ European Pollutant Release and Transfer Register E-PRTR, Online-Quelle abgerufen am 30.1.2013: <http://prtr.ec.europa.eu/PollutantReleases.aspx>

⁵¹ Die in E-PRTR ausgewiesenen Emissionen liegen etwa um den Faktor 8 unter den Literaturwerten für die europ. Hg-Emissionen, siehe z. B. UN ECE, Hemispheric Transport of Air Pollution 2010 - Part B: Mercury, Geneva, 2011, S. 82

⁵² US Environmental Protection Agency EPA, National Emissions Inventory 2008, Mercury, Online-Quelle abgerufen am 30.1.2013

⁵³ Die in NEI ausgewiesenen Emissionen liegen etwa um den Faktor 3 unter den Literaturwerten für die amerikan. Hg-Emissionen, siehe z. B. UN ECE, Hemispheric Transport of Air Pollution 2010 - Part B: Mercury, Geneva, 2011, S. 82

⁵⁴ Australian Government, Dept. of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities, National Pollution Inventory, 2010/2011 data within Australia - Mercury & compounds from All Sources, Online-Quelle abgerufen am 30.1.2013

trolle des Kleinstbergbaus und die Reduktion der Stromproduktion aus Kohle wären somit die wirkungsvollsten Massnahmen zur Reduktion der Quecksilberbelastung der Umwelt.

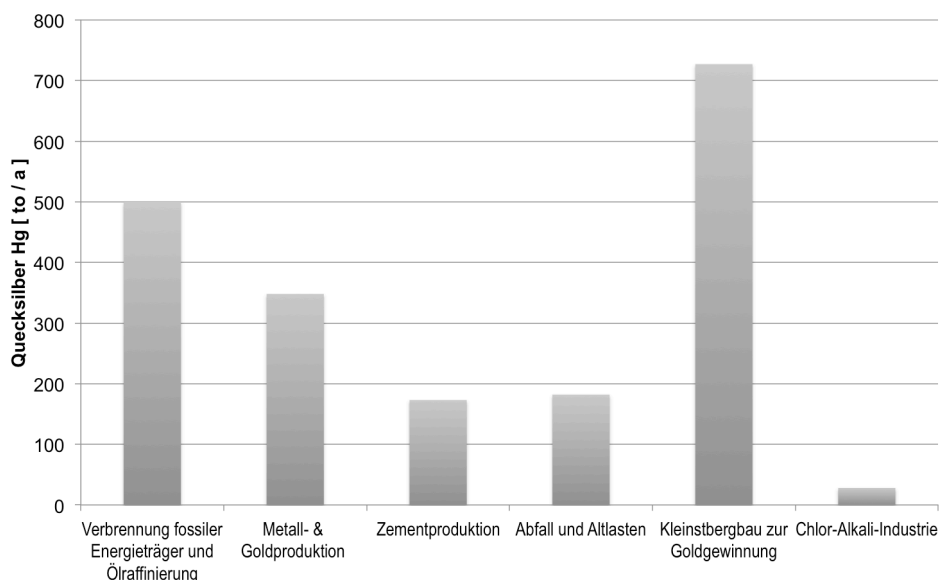


Abbildung 5: Weltweite Quecksilberemissionen in die Atmosphäre 2010⁴⁹

C.2 Verhalten und Mobilität

Quecksilber ist ein chemisches Element und kommt natürlicherweise in der Umwelt vor. Es existiert äusserst selten in metallischer Form. Normalerweise ist es als anorganisches Salz gebunden. Es kann auch in organischen oder anorganischen Verbindungen auftreten.

In der Atmosphäre wird elementares Hg relativ rasch oxidiert und kann als Oxid durch Regen und Staubpartikel aus der Atmosphäre entfernt und in Gewässern oder auf der Erde deponiert werden. Wie lange Hg effektiv in der Atmosphäre verbleibt, ist Gegenstand aktueller Forschung und nicht abschliessend geklärt. Im wässrigen Umfeld wird Methylquecksilber aus anderen Quecksilberformen durch Bakterien gebildet. Methylquecksilber ist die giftigste Form, welche auch in die aquatische Nahrungsmittelkette gelangt.

Quecksilber kann in allen Formen von Organismen aufgenommen werden, in der organischen Form ist es als Methylquecksilber am leichtesten verfügbar. Deshalb stellt man bei Organismen an der Spitze der Nahrungspyramide durch Bioakkumulation, zum Beispiel in Raubfischen, hohe Konzentrationen von Methylquecksilber fest. Fische binden Methylquecksilber besonders stark an ihre Proteine. Ältere Tiere weisen höhere Konzentrationen auf als junge.

Im Boden bindet Hg stark an organische und anorganische Bestandteile. Es wird kaum ausgewaschen und verbleibt sehr lange in den obersten Bodenschichten.