

Quecksilberemissionen bei der Sammlung und Entsorgung von Leuchtmitteln

I. Thullner, K.-E. Buchwald, W. Wegscheider, L. Hohenberger

Zusammenfassung Gasentladungslampen, dazu gehören u. a. Kompaktleuchtstofflampen und Leuchtstoffröhren, benötigen zu ihrer Funktion Quecksilber. Gebrauchte („ausgebrannte“) Lampen müssen deshalb getrennt vom Hausmüll entsorgt werden. Der Beitrag berichtet über ein Projekt der Unfallversicherungsträger, das zum Ziel hatte, mittels Befragung Informationen zu erhalten zur Sammelpraxis von gebrauchten Leuchtmitteln und zum Recycling von Flachbildschirmen mit deren Kaltkathoden-Leuchtstofflampen. Parallel dazu wurden Tätigkeiten mit Leuchtmitteln in einer Prüfkammer nachgestellt und die Quecksilberkonzentration gemessen. Untersucht wurde, welche Quecksilberemissionen beim Bruch von Kaltkathoden-Leuchtstoffröhren, die aus Flachbildschirmen ausgebaut werden, auftreten können. Ferner wurde die Quecksilberexposition ermittelt, die bei der Sammlung von gebrauchten Leuchtmitteln und bei deren Wechseln auftreten kann, wenn diese dabei zerbrechen. Zusätzlich wurden Schutzmaßnahmen zur Reduzierung der Quecksilberexposition getestet.

Mercury emissions during collection and disposal of lamps

Abstract For their functioning, gas-discharge lamps, which include compact fluorescent lamps and fluorescent tubes among others, need mercury. Used (“burnt-out“) lamps therefore have to be disposed of separately from domestic waste. The article reports on a project of the social accident insurance institutions to obtain information on collection practice with used lamps and on the recycling of flat screens with their cold-cathode fluorescent lamps by interviewing the persons concerned. Currently, the project replicated activities with lamps in a test chamber and measured the mercury concentration. It investigated the level of mercury emissions that can arise on breakage of cold-cathode fluorescent tubes removed from flat screens. Furthermore, it also determined the mercury exposure that can arise during the collection of used lamps and during their replacement when they break in the process. Also tested were protective measures for reducing mercury exposure.

1 Einleitung

Die Europäische Union hat in zwei Verordnungen [1; 2] die Anforderungen an die Energieeffizienz, Gebrauchseigenschaften und Produktinformation bestimmter Leuchtmittel

Dipl.-Ing. Ingrid Thullner,

Unfallkasse Hessen, Prävention, Frankfurt am Main.

Dipl.-Ing. Karl-Ernst Buchwald,

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

Dipl.-Ing. Wolfgang Wegscheider,

Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege, Köln.

Dipl.-Ing. Ludger Hohenberger,

Unfallkasse Nordrhein-Westfalen, Prävention, Münster.

formuliert. Leuchtmittel, die diese Effizienzleistungen nicht mehr erbringen, dürfen nicht mehr in den Verkehr gebracht werden. Eine Folge davon ist, dass Kompaktleuchtstofflampen (KKL) („Energiesparlampen“) zunehmend die klassischen Glühlampen verdrängen.

Gebrauchte (entsorgte) KLL sind wie Leuchtstoffröhren (LStR) Elektronikschrott im Sinne des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes (ElektroG). Mit diesem Gesetz wurden im März 2006 die EU-Richtlinien WEEE¹⁾ zum Umgang mit Elektronikschrott und RoHS²⁾ zum Verbot gefährlicher Stoffe umgesetzt [3]. Mit der RoHS-Richtlinie sind für neu in den Verkehr gebrachte Elektro- und Elektronikgeräte Stoffverbote, z. B. für Quecksilber (Hg), in Kraft getreten. Im Anhang dieser Richtlinie sind zulässige Ausnahmen genannt. Darunter fällt auch die Verwendung von Hg in Leuchtmitteln, dessen zulässige Höchstmenge stufenweise abgesenkt wird. Bei neu in Verkehr gebrachten Leuchtmitteln muss seit September 2010 der Hg-Gehalt auf der Verpackung angegeben werden. So darf beispielsweise in einer KLL mit einer Leistung < 30 W der Hg-Gehalt 3,5 mg und 2,5 mg ab 2015 nicht übersteigen. Im Handel sind bereits KLL erhältlich, die diese Werte deutlich unterschreiten, z. B. 1,5 mg. Stabförmige Standardleuchtstoffröhren dürfen seit Januar 2012 zwischen 3,5 und 7 mg Hg enthalten. Hochdruckquecksilberdampflampen enthalten derzeit bis zu 30 mg Hg. Die Ausnahme für Letztere endet im April 2015. Das bedeutet auch für diese Lampen ein Verschwinden vom Markt. Hochdruckquecksilberdampflampen verbrauchen deutlich mehr Strom als andere Hochdrucklampen [4].

Zum Vergleich: Fieberthermometer können 500 bis 3 000 mg, Barometer ca. 1 000 bis 3 000 mg und ältere Blutdruckmessgeräte sogar ca. 150 000 mg Hg enthalten [5 bis 7]. Das ElektroG regelt auch die Sammlung von zu entsorgenden KLL, LStR und Hochdruckquecksilberdampflampen sowie Elektronikaltgeräten. Dies betrifft auch Kaltkathoden-Leuchtstofflampen zur Hintergrundbeleuchtung aus entsorgten Flachbildschirmen (Computer und Fernsehgeräte). Private und gewerbliche Verbraucher sind verpflichtet, diese Produkte getrennt vom Hausmüll zu entsorgen. Nach § 9 ElektroG sind Kommunen und Landkreise verpflichtet, dazu Sammelstellen einzurichten. Die Rücknahmepflicht für LStR-Röhren besteht bereits seit einigen Jahrzehnten.

2 Funktionsprinzip von Leuchtstofflampen

KLL sind wie LStR Niederdruckgasentladungslampen aus einem oder mehreren kurzen gebogenen oder gewendelten Glasrohren. Sie enthalten Argon oder ein Argon/Krypton-Gemisch, eine geringe Menge Hg und an der Innenseite einen Leuchtstoff mit einer geringen Menge Seltener Erden. Früher verwendete man metallisches Quecksilber in den

¹⁾ Richtlinie 2002/96/EG (Waste Electric and Electronic Equipment), ersetzt durch die Richtlinie 2012/19/EU.

²⁾ Richtlinie 2002/95/EG (Restriction of the Use of Hazardous Substances), ersetzt durch die Richtlinie 2011/65/EU.

Tabelle 1. Einstufung und Kennzeichnung von Quecksilber nach CLP-VO.

Gefahrenklasse	Gefahrenkategorie	H-Satz
Akute Toxizität, Einatmen	Kat. 2	H330, Lebensgefahr bei Einatmen
Reproduktionstoxizität	Kat. 1B	H360D, Kann das Kind im Mutterleib schädigen
Spezifische Zielorgan-Toxizität (wiederholte Exposition)	Kat. 1	H372, Schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition
Akut und chronisch Gewässergefährdend	Kat. 1	H400, Sehr giftig für Wasserorganismen H410, Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung

Leuchtstofflampen. Heute wird es in Form eines kleinen Quecksilber-Eisen-Presskörpers oder als Amalgam eingeführt. Beim Einschalten der Lampe verdampft ein Teil des Quecksilbers und füllt den gesamten Lampenkolben mit dem für die Entladung erforderlichen Hg-Dampf. Die Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden erzeugt einen Elektronenstrom, der die Hg-Atome anregt, die daraufhin UV-Strahlung aussenden. Der Leuchtstoff an den Wänden der Glasrohre wandelt diese Strahlung in sichtbares Licht um [8; 9].

3 Gefahrstoffrechtliche Regelungen

Nach der Verordnung (EU) 1272/2008 zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (CLP-VO) ist Hg, wie in **Tabelle 1** dargestellt, eingestuft [10]. Zusätzlich ist Hg mit dem Signalwort „Gefahr“ zu kennzeichnen.

Spezifische Arbeitsschutzregelungen für Hg und seine Verbindungen existieren nicht; anzuwenden ist die Gefahrstoffverordnung. In der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ (AGW) ist für Hg und seine anorganischen Verbindungen ein AGW in Höhe von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0,02 \text{ mg}/\text{m}^3$) festgelegt. Kurzzeitig (15-min-Mittelwert) darf das Achtfache des o. g. Wertes ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nicht überschritten werden (Spitzenbegrenzung Kategorie II) [11]. Die TRGS 903 „Biologische Grenzwerte“ (BGW) enthält für Hg einen BGW in Höhe von $25 \mu\text{g}/\text{g}$ Kreatinin [12].

4 Aufnahmewege in den Körper

Quecksilber ist das einzige bei Raumtemperatur flüssige Metall und weist einen relativ hohen Dampfdruck auf. Metallisches Hg geht daher leicht in die Dampfphase über und wird über die Lungen gut aufgenommen. Die Resorptionsquote beträgt ca. 80 %. Dagegen ist die Aufnahme von metallischem Hg über die Haut und den Magen-Darm-Trakt vernachlässigbar. Anorganische Hg-Verbindungen werden aus pflanzlichen Nahrungsmitteln im Darm zu ca. 2 bis 15 % resorbiert. Organische Hg-Verbindungen, wie Methylquecksilber aus dem Fischverzehr, werden dagegen aus dem Magen-Darm-Trakt nahezu vollständig aufgenommen. Nach WHO-Angaben hängt wegen der geringen Resorptionsrate anorganischer Hg-Verbindungen die insgesamt im Körper resorbierte Hg-Menge im Wesentlichen von der Aufnahme über Zahnamalgam und den Fischverzehr ab [13].

5 Hintergrundbelastung

Bereits im Jahr 1999 wies die Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes in ihrer Stoffmonografie

zu Quecksilber auf natürliche Hg-Emissionen in die Umwelt durch Vulkantätigkeit, Gesteinsverwitterung und Ausgasen aus der Erdkruste und Ozeanen hin. Anthropogene Quellen der Außenluftbelastung sind das Verbrennen fossiler Brennstoffe, z. B. bei der Stromerzeugung aus Kohle, das Schmelzen sulfidischer Erze, die Zementproduktion, die Müllverbrennung und der frühere Einsatz von Hg-Verbindungen in der Landwirtschaft. Quecksilber

wird auch bei der Erdöl-/Erdgasförderung als Nebenprodukt freigesetzt. Die Hintergrundkonzentration in der Außenluft liegt in Deutschland bei 2 bis $4 \text{ ng}/\text{m}^3$, in der Stadtluft bei bis zu $10 \text{ ng}/\text{m}^3$ [14]. Die „Ad-hoc-Arbeitsgruppe“ der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) beim Umweltbundesamt und der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) hat Richtwerte für Stoffe in der Innenraumluft in nicht gewerblich genutzten Innenräumen festgelegt. Der Richtwert II (RW II), ein wirkungsbezogener Wert, liegt für Hg bei $0,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($350 \text{ ng}/\text{m}^3$) und der Richtwert I (RW I = Vorsorgerichtwert) beträgt $0,035 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($35 \text{ ng}/\text{m}^3$). Systematische Messungen in Innenräumen liegen nicht vor. In Wohnungen, die ehemals als Werkstätten zur Spiegelbelegung dienten, waren in der Raumluft Hg-Gehalte bis zu $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nachweisbar. Als Folge der Anwendung von Latexfarben, die zur Konservierung Phenylquecksilberacetat enthielten, wurden in den USA Innenraumbelastungen bis zu $10 \mu\text{g Hg}/\text{m}^3$ festgestellt. Untersuchungen des Bayerischen Landesamts für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit aus dem Jahr 2011 in dessen Labor- und Büroräumen ergaben Hg-Konzentrationen von 5 bis $50 \text{ ng}/\text{m}^3$ (im Mittel $15 \text{ ng}/\text{m}^3$) [5; 6; 13].

6 Aktivitäten der Unfallversicherungsträger

Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) gründete unter der Federführung der Unfallkasse Hessen (UKH) einen Arbeitskreis mit den Mitgliedern:

- Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW),
- Berufsgenossenschaft Energie, Textil, Elektro und Medienerzeugnisse (BG ETEM),
- Berufsgenossenschaft Handel und Warendistribution (BGHW),
- Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG),
- Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft (BG Verkehr),
- Unfallkasse Nordrhein-Westfalen (UK NRW),
- Unfallkasse Rheinland-Pfalz (UK RLP),
- Unfallkasse Post und Telekom (UKPT),
- Gemeindeunfallversicherungsverband Hannover (GUVH),
- Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA),
- Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V. – Fachverband Elektrische Lampen (ZVEI) und
- Verband der kommunalen Unternehmen (Vku).

Eine Hauptaufgabe des Arbeitskreises war die Ermittlung von Verfahren und Tätigkeiten, in denen Hg-Expositionen eine Rolle spielen. Der wesentliche Einsatz von Hg und seinen anorganischen Verbindungen erfolgt in der Leuchtmittel- und Leuchtreklameproduktion. Bei der Sammlung ent-

sorgter Lampen kann Hg freigesetzt werden, wenn Lampen zerbrechen und zerbrochene Lampen angeliefert werden. Ebenso kann Hg aus zerbrochenen Leuchtstoffröhren bei der Demontage von Flachbildschirmen freigesetzt werden. Quecksilberhaltige Leuchtmittel müssen dem Recycling zugeführt werden. Im Recyclingprozess wird u. a. das Quecksilber wiedergewonnen. Dabei kann es verfahrensbedingt zu Hg-Emissionen kommen.

6.1 Fragebogenaktion der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand

Da über die Sammelpraxis von entsorgten Lampen nur ungenügend Informationen vorhanden waren, wurden diese über eine Fragebogenaktion in repräsentativen Großbetrieben der öffentlichen Hand (Tabelle 2) erfragt. Beteiligt haben sich acht Unfallversicherungsträger, 86 Fragebögen wurden ausgewertet.

Danach werden Alllampen in über 80 % über Entsorgungsbetriebe mit ihren Wertstoffhöfen (Bauhöfen) und Schadstoffmobilen gesammelt. Flachbildschirme werden in 95 % der Betriebsstätten gesammelt. Das Zerlegen der Bildschirme und Ausbauen der Kaltkathoden-Leuchtstofflampen erfolgt in spezialisierten Betrieben (siehe Abschnitt 6.2) oder in Beschäftigungsgesellschaften der öffentlichen Hand.

LStR werden überwiegend in Rungenpaletten (Bild 1), KLL und Sonderformen der LStR in offenen Gitterboxen (Bild 2) gesammelt. Es werden aber auch geschlossene Behälter aus Kunststoff (60 bzw. 150 l) oder Metall (Bilder 3 und 4) eingesetzt.

Mehr als drei Viertel aller Betriebe sammeln im Freien oder in offenen/halboffenen Hallen, also bei freier Lüftung. Neun

Tabelle 2. Befragte Betriebe durch die Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand (Mehrfachnennungen möglich).

Art des Betriebs	Anteil in %
Entsorgungsunternehmen	22,0
Bauhof/Wertstoffhof	58,0
Beschäftigungsgesellschaft	2,2
Universität	6,6
Klinikum	2,6
JVA	1,8
Stadtverwaltung	1,3
Sonstiger Betrieb	1,3
Schadstoffmobil	4,4

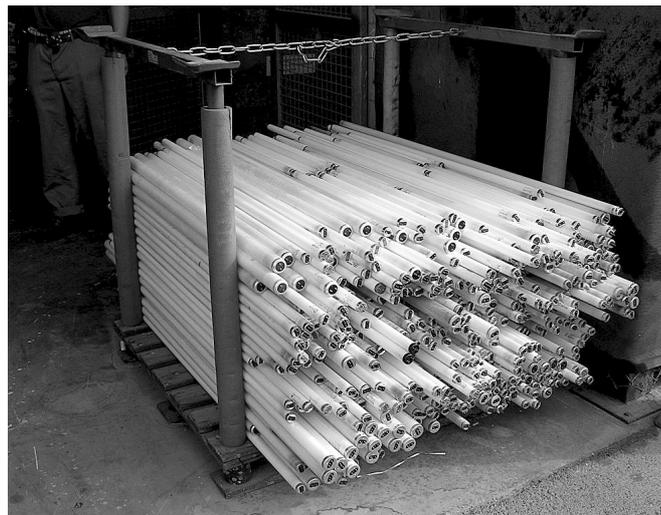


Bild 1. Rungenpalette.



Bild 2. Gitterbox.

Prozent der befragten Betriebe machen keine Angaben zum Aufstellungsort der Sammelbehälter. Nur die Betriebe mit mobilen Sammelstellen (Schadstoffmobil) geben an, dass diese mit einer Raumlufttechnischen Anlage mit fünffachem Luftwechsel ausgestattet sind. Die Anforderungen an die



Bild 3. Kunststoffbehälter.



Bild 4. Metallbehälter.

technische Ausstattung von Schadstoffmobilen sind in der TRGS 520 formuliert [15].

Bemerkenswert waren die Antworten auf die Frage nach der Gefährdungsbeurteilung nach TRGS 400 [16]: In fast 80 % aller Fälle liegt diese nicht vor, sie „entfällt“ oder es werden keine Angaben gemacht. Nur 3,9 % der Betriebe gibt an, dass bereits Hg-Messungen beim Sammeln von Altlampen erfolgt sind. In derselben Größenordnung liegt auch die Antwort zur Frage nach dem Biomonitoring.

In der Regel arbeiten auf den Sammelstellen ein bis zwei Mitarbeiter pro Schicht, die neben anderen Wertstoffen auch zu entsorgende Lampen annehmen. Das Einlagern in die Sammelbehälter erledigt überwiegend die Kundschaft. Die Mitarbeiter geben nur Hinweise und haben überwachende Aufgaben. Daher wurden die Fragen nach der Exposition gegenüber Hg sehr unterschiedlich beantwortet: von Schichtlänge über ein bis zwei Stunden oder weniger als 30 min pro Schicht bis hin zur Exposition „Null“. Bedenkt man, dass das Einlegen einer oder auch mehrerer KLL in einen Behälter weniger als eine Minute dauert, ist zu erkennen, dass die tatsächliche Expositionszeit pro Schicht im Minutenbereich liegt und auch bei Anlieferung großer Mengen keinesfalls eine Stunde pro Schicht übersteigt.

Die Angaben zum Aufkommen von Altlampen waren sehr unterschiedlich. Einige gaben die Mengen in Tonnen pro Jahr an, andere in Stückzahl je Woche, Monat oder Jahr. So schwankt das Aufkommen pro Tag bei KLL zwischen fünf und sieben Stück und bei LStR zwischen zehn und hundert Stück. Die Mengen der zu entsorgenden Lampen, insbesondere KLL, wird zukünftig deutlich zunehmen, je mehr sol-

che Lampen verwendet werden. Die Beschäftigten auf den Wertstoffhöfen geben an, dass nur ein Bruchteil (ca. 1 %) der angelieferten Altlampen zerbrochen sei.

6.2 Befragungen zum Recycling von Flachbildschirmen in Werkstätten für behinderte Menschen (WfbM)

Die derzeit dem Recycling zugeführten Flachbildschirme enthalten CCFL-Hintergrundbeleuchtungen (CCFL = Cold Cathode Fluorescent Lamp, Kaltkathoden-Leuchtstofflampen) mit mehreren Hg-haltigen Mini-Leuchtstoffröhren. Die Höhe der Exposition beim Zerlegen der Flachbildschirme ist derzeit noch unklar. Die Geräte mit CCFL-Technik werden allerdings voraussichtlich bis ca. 2020 ein nennenswertes Recyclingvolumen darstellen [17]. Daher ist es erforderlich, die Exposition objektiv einzuschätzen. Grundlage dafür sollten die üblichen Arbeitsbedingungen am Recyclingarbeitsplatz sein. Die BGW befragte daher spezialisierte WfbM zum Recycling von Flachbildschirmen. Zunächst wurden drei WfbM besichtigt und sieben WfbM zu den expositionsrelevanten Prozessparametern des Flachbildschirm-Recycling befragt. Zu beantworten waren Fragen zum Demontageablauf, Röhrenbruch bei der Anlieferung und bei der Demontage sowie zu betrieblichen Rahmenbedingungen wie Raumgröße, Anzahl der Arbeitsplätze und Lüftung. Die Gesellschaft der Werkstätten (GDW) und die Recyclingpartner-Gesellschaft (RPG) unterstützte die BGW dabei. Aufgrund der geringen Datenmenge hat die Befragung nicht den Anspruch, repräsentativ zu sein. Man versuchte lediglich einen Trend als Vorinformation für die geplanten Arbeitsplatzmessungen abzuleiten.

Tabelle 3. Befragungsergebnisse – expositionsrelevante Daten beim manuellen Zerlegen von Flachbildschirmen.

Betrieb	A	B	C	D (1)	D (2)	E	F	G
Beobachtungszeitraum (Bz)	17. bis 21.02.12	Bz 1 ⁴⁾ : 04.01. bis 24.01.12 Bz 2 ⁵⁾ : 25.01. bis 27.02.12	Januar 2012	Januar 2012	21.06. 2012	Januar 2012	Januar 2012	Januar 2012
Raumvolumen in m ³	k. A. ³⁾	k. A.	1 600	1 200	1 200	1 800	4 500	2 000
Lüftungart ^{1) 2)}	NL	NL	NL	NL	NL	NL	TL	NL
Anzahl zerlegte LCD-Geräte/Schicht (IST)	45 im Bz	k. A.	3	k. A.	18 PC 8 TV	8	1	1
Zerlegekapazität/Schicht (Schätzung für die Zukunft)	k. A.	k. A.	6	> 20	> 20	12	20	20
Ausgebaute Röhren	193 im Bz	139 im Bz ^{1⁴⁾} 208 im Bz ^{2⁵⁾}	k. A.	k. A.	102 (PC) 240 (TV)	k. A.	k. A.	k. A.
Bruch bei Anlieferung in %	1,7	k. A.	< 10	< 5	< 2	10	10	1
Bruch bei Demontage in %	< 3	50 ⁴⁾ 11 ⁵⁾	1 pro Tag	< 1	< 1	10 bis 15	1 bis 50	> 2
Bruch in x Teile (Demontage)	x = 2	x > 2 ⁴⁾ x = 2 ⁵⁾	x = 2	x = 2	x = 2	x = 2	k. A.	x = 2
Demontagetiefe ⁶⁾	BT	BT ⁴⁾ /BG ⁵⁾	BG	BG	BG (PC)/ BT (TV)	BT	BG	k. A.

1) In keinem Arbeitsbereich gibt es Arbeitsplatzabsaugungen.

2) NL: natürliche Lüftung, TL: technische Lüftung

3) k. A.: keine Angabe

4) Testphase, Röhren aus der Halterung ausgebaut

5) Routinephase, Röhren in der Halterung belassen

6) BG: Baugruppe = Röhren bleiben in einer Halterung; BT: Bauteil = Röhren als einzelner Glaskörper

6.3 Ergebnisse

Die Befragungen zu expositionsrelevanten Parametern beim Zerlegen von Flachbildschirmen fanden Anfang 2012 in sieben WfbM statt (**Tabelle 5**). In einer WfbM beobachtete die BGW die Zerlegeprozesse über eine ganze Arbeitsschicht. Die Ergebnisse zeigen zunächst, dass die Werkstätten noch im Anfangsstadium der Flachbildschirmdemontage sind. Im Hinblick auf die besondere Verantwortung der WfbM für ihre Beschäftigten und die Unsicherheit über erforderliche Schutzmaßnahmen werden derzeit die Geräte zwar gesammelt und gelagert, aber nur in geringem Umfang routinemäßig zerlegt.

Die Arbeitsplätze sind üblicherweise in die Demontagebereiche eingegliedert, in denen auch anderer Elektronikschrott zerlegt wird. Die Raumlüftung ist in der Regel eine natürliche Lüftung über Fenster, Türen und Hallentore. Arbeitsplatzabsaugungen existieren nicht. Die zerlegten Gerätarten sind PC-Monitore und TV-Bildschirme. Die Röhren-Außendurchmesser wurden mit 2 bis 4 mm angegeben, die Röhrenlängen mit 20 bis 120 cm. Ein TV-Flachbildschirm enthält bis zu 32 Mini-Leuchtstoffröhren. Die Röhren sind bei TV-Geräten über die gesamte Fläche hinter der LCD-Frontscheibe angeordnet und müssen einzeln ausgebaut werden. Dies geschieht durch Auftrennen der Kunststoffhalterungen mit einer Zange und Entnahme der Röhren. PC-Monitore enthalten zwischen vier und acht Mini-Leuchtstoffröhren in zwei Halterungen hinter der LCD-Frontscheibe. Je nach betrieblicher Vorgabe werden die Röhren in den Halterungen belassen und zwischengelagert oder aus den Halterungen ausgebaut. Letzteres führt zu einer erhöhten Bruchgefahr. Die einzige relevante Hg-Emissionsquelle am Demontagearbeitsplatz ist das zerbrochene Röhren. Daher widmete man der Bruchquote besondere Aufmerksamkeit. Fünf Werkstatteleiter schätzen die Bruchquote bei der Anlieferung auf zwischen 1 und 10 %. Ein Betrieb dokumentierte die Bruchquote bei Anlieferung genau; sie lag bei 1,7%. Ein Betrieb machte keine Angaben zu dieser Frage. Bei der Zerlegung lag die angegebene Bruchquote zwischen < 1 und 50 %. Die Bruchquote von 50 % wurde mit einer Testphase der Zerlegung und Unerfahrenheit der Beschäftigten erklärt. Die Röhren zerbrachen in dieser Testphase beim Zerlegen von PC-Monitoren und dem Ausbau der Röhren aus den Halterungen in mehr als zwei Bruchstücke. In der nachfolgenden Routinephase wurde die Bruchquote mit 11 % angegeben. Die Röhren zerbrachen nun in zwei Bruchstücke. In den anderen Betrieben zerbrachen die Röhren bei der Demontage nahezu ausschließlich in zwei Teile. In der Werkstatt mit eigener Beobachtung (D(2) in Tabelle 3) wurden die Daten bei der Demontage ebenfalls genau dokumentiert. Hier lag die Bruchquote bei < 2 %. Die Röhren zerbrachen auch hier in zwei Teile.

Erfahrungen der WfbM zeigen, dass schonende und zerstörungsarme Sammlung und Anlieferung die Beschädigung der Geräte vor der Demontage auf ein Minimum reduziert. Bei der nachfolgenden Demontage erscheint eine Bruchquote der Röhren unter 5 % problemlos möglich zu sein, wenn unterwiesenes Personal diese Arbeiten übernimmt. Dies bedeutet, dass bei jedem zweiten Fernsehbildschirm, d. h. ca. jede Stunde, ein bis zwei Röhren in zwei Teile zerbrechen.

7 Nachstellende Untersuchungen in einer Prüfkammer

Parallel zu den Befragungen der Unfallversicherungsträger führte das IFA gemeinsam mit der UKH und der BGW Prüfkammeruntersuchungen durch. Grundlage der Versuche waren Szenarien, die den Bruch quecksilberhaltiger Leuchtmittel an Arbeitsplätzen simulierten, und Tätigkeiten, die man bei der Sammlung und Entsorgung von Altlampen sehr häufig beobachten kann. Versuchsreihen, bei denen fabrikneue und entsorgte Lampen unterschiedlicher Typen und Hersteller in einer Bodenwanne zerbrochen wurden, ergänzten die Untersuchungen. Die Freisetzung von Hg-Dämpfen sollte entsprechend folgendem Indoor-Szenario gemessen werden: Lampenwechsel mit Lampenbruch und anschließendem Aufkehren und Entsorgen der mit Hg kontaminierten Bruchstücke. Durch Vergleich mit dem aktuellen AGW für Hg sollten die Untersuchungsergebnisse Tendenzen einer möglichen Gefährdung aufzeigen.

Die Prüfkammer besitzt ein Raumvolumen von 42 m³ bei einer Grundfläche von 4,00 m x 3,50 m. Sie ist fast vollständig mit glatten Kunststoffwänden ausgekleidet. Durch jeweils vier Lufteinlässe an der Decke und im Bodenbereich kann das Luftvolumen bis zu 15-mal pro Stunde ausgetauscht werden. Die Klimaparameter der Prüfkammeratmosphäre lagen während der Messungen innerhalb der Bereiche von 23 bis 25 °C Raumtemperatur und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 45 bis 60 %. Wenn in den Ergebnistabellen nicht anders vermerkt, wurden die Expositionsnachstellungen unter „Worst case“-Bedingungen, d. h. bei ausgeschalteter technischer Lüftung in der relativ gut abgedichteten Prüfkammer – entsprechend natürlicher Lüftung mit einer Luftwechselzahl von ca. 0,5-mal pro Stunde – durchgeführt.

Die Hg-Dampfmessungen bei den Versuchen erfolgten, wann immer möglich, parallel durch zwei direkt anzeigende und vorab kalibrierte Messgeräte (Monitore) mit integrierten Probenluftpumpen und Teflonstaubfiltern. Mit an Stativen fixierten Teflonschläuchen der Hg-Monitore wurde sowohl kurz oberhalb des Randes von Sammelbehältern bzw. des Randes einer Bodenwanne Probeluft angesaugt und gemessen als auch im fiktiven Atembereich der Beschäftigten, beispielsweise in 1,50 m Höhe über der Hg-Emissionsquelle. Die Konzentrationsverläufe wurden mittels Schreiber aufgezeichnet und parallel in einem Datenlogger abgespeichert.

Folgende Ultraviolett-(UV)-fotometrische Gasmessgeräte zur kontinuierlichen Messung der Quecksilberdampf (Hg⁰)-Konzentration in Arbeitsplatzatmosphären wurden mit dem Messbereich von 0 bis 2 000 µg Hg/m³ und einer Bestimmungsgrenze von ≤ 2 µg Hg/m³ eingesetzt: Hg-Monitor Modell 791.905 der Fa. Environmental Process Monitoring und Hg-Monitor 2000 der Fa. Seefelder Messtechnik. Zur Validierung der Messverfahren insbesondere bei der Erfassung geringer Hg-Konzentrationen wurde ergänzend das IFA-Standard-Messverfahren 8530 als Vergleichsmessverfahren herangezogen [18].

7.1 Freisetzung von Quecksilber während der Demontage von LCD-Flachbildschirmen

Die BGW stellte dem IFA Versuchsmaterial aus Recyclingbetrieben zur Verfügung. Zunächst wurden die CCFL-Röhren vorsichtig aus ihrer Blecheinfassung ausgebaut. Anschließend Fallversuche aus 1,20 m Höhe auf eine Metallplatte sollten zeigen, auf welche Art Röhren zerbrechen.

Tabelle 4. Messergebnisse der Quecksilberfreisetzung beim Zerbrechen von CCFL-Leuchtstoffröhren.

Hersteller	Länge in mm	Masse in g	Messdauer in h	Im Behälter gemessene Hg-Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Aus dem Röhrrchen freigesetzte Hg-Menge in μg	Bemerkungen
A	355	2,1	16	20	0,3	Röhrrchen an einem Ende gebrochen
	355	2,0	16	19	0,3	Röhrrchen in zwei Stücke zerbrochen
	355	1,7	16	195	2,5	Röhrrchen in vier Stücke zerbrochen
	355	2,0	3 *	1 790	23	Röhrrchen im Polyethylenbeutel mit einem Hammer zerstoßen und vollständig in den 13-l-Normbehälter überführt.
B	480	1,8	3 *	1 550	20	
C	310	1,0	3 *	1 810	24	

* Wegen möglicher Überschreitung der oberen Messbereichsgrenze des Hg-Monitors wurde die Messung nach drei Stunden abgebrochen.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden bei nachfolgenden Untersuchungen in einem 13-l-Glasbehälter verschiedene Bruchvarianten – einfach, mehrfach bis vollständig zerkleinert –, detailliert untersucht. Die Variante, Röhrrchen vollständig zu zerkleinern, entsprach der Nachstellung des Zerträtens eines Röhrrchens am Arbeitsplatz.

Bei den Untersuchungen im 13-l-Normbehälter strömte der Probenvolumenstrom des direkt anzeigenden Hg-Monitors im Kreis, d. h. verlustfrei sowohl durch den Normbehälter mit den Bruchstücken des Röhrrchens als auch durch die Messkuvette im Messgerät. Diese Versuchsanordnung erlaubte es, den Hg-Konzentrationsverlauf im Behälter über einen Zeitraum bis zu 16 Stunden zu beobachten. **Tabelle 4** zeigt die Untersuchungsergebnisse der Bruchversuche mit CCFL-Leuchtstoffröhrrchen im 13-l-Normbehälter.

7.1.1 Fallversuche mit CCFL-Leuchtstoffröhrrchen

Trotz aller Bemühungen, insgesamt 22 Leuchtstoffröhrrchen unterschiedlicher Hersteller vorsichtig aus der Blecheinfassung auszubauen, brachen zwei am Rand. Die Versuche, die 2 bis 3 g schweren Röhrrchen aus einer Höhe von 1,20 m auf eine Metallplatte fallen zu lassen, um sie zu zerbrechen, waren häufig nicht erfolgreich und mussten wiederholt werden. Trafen Röhrrchen parallel zu ihrer Längsachse auf die Metallplatte am Boden, zerbrachen sie meistens in drei oder mehr Teilstücke. Berührten Röhrrchen zuerst an einem ihrer Enden im rechten Winkel die Bodenfläche, war es durch abgeschnittene Kabelenden der Elektrode und die Silikon-dichtmasse am Röhrrchenende noch schwieriger, ein Zerbrechen herbeizuführen. Bei diesem Falltest zerbrachen die untersuchten Röhrrchen vorzugsweise in zwei Stücke.

7.1.2 Zerbrechen von CCFL-Röhrrchen im 13-l-Behälter

Die Ergebnisse in Tabelle 4 zeigen, dass die freigesetzte Menge an Quecksilberdampf bei den Röhrrchen, die nur an einer Stelle durchbrachen, im Beobachtungszeitraum relativ gering war. Vergleichsweise mehr Quecksilber wurde emittiert, wenn Röhrrchen in mehr als drei Teile zerbrachen oder komplett zerstört wurden. Die aus den untersuchten CCFL-Röhrrchen freigesetzten Hg-Emissionen lagen in einem Bereich von 0,3 bis 20 μg Hg pro Röhrrchen bei Messzeiten von 2 bis 16 h. Unter der „Worst case“-Annahme, dass die maximal ermittelte Menge an Hg-Dampf sich nicht in drei Stunden, sondern schon innerhalb von 15 min im Prüf-

raum ($V = 42 \text{ m}^3$) homogen verteilt, entspräche dies einer Konzentration von 0,5 μg Hg/ m^3 in einem Raum ohne Be- und Entlüftung.

Die nach einem Röhrrchenbruch entstehende Hg-Emission wird vorrangig durch die Anzahl der Bruchstücke sowie die Art und die Verteilung der Bruchstücke auf dem Boden bestimmt. Abmessungen (Länge, Durchmesser) und Masse eines Leuchtstoffröhrrchens spielen offensichtlich nur eine untergeordnete Rolle. Die ermittelten Emissionen lassen den Schluss zu, dass der AGW beim Bruch weniger CCFL-Röhrrchen pro Schicht in einem Arbeitsraum auch ohne technische Lüftung unterschritten wird.

7.2 Quecksilberfreisetzung beim Sammeln von KLL und LStR

Für die Nachstellungen der Tätigkeiten Sammeln und Depo-nieren von KLL-Leuchtmitteln vergleichbar der betrieblichen Praxis standen Original-Sammelbehälter aus einem hessischen kommunalen Entsorgungsbetrieb mit entsorgten („alten“) Lampen zur Verfügung. Baugleiche fabrikneue Kunststoffbehälter mit gleichen Innenvolumina von 60 bzw. 150 l wurden ergänzend in die Versuche einbezogen. Zunächst wurde durch mehrmaliges Öffnen und Schließen der nahezu gefüllten Sammelbehälter geprüft, ob überhaupt und in welcher Größenordnung Hg-Dämpfe beim wiederholten Öffnen der Behälter austreten. Dies geschah bei Temperaturbedingungen im Raum entsprechend Winter und Sommer, da bei höheren Außentemperaturen ein höherer Anteil an Emissionen zu erwarten war, vorausgesetzt in den Behältern war bereits Lampenbruch vorhanden. Um weitere Sammelaktivitäten im Betrieb nachzustellen, füllte man in einer Versuchsreihe entsorgte Altlampenmasse der drei Behälter portionsweise in leere neue Behälter um. Dabei zeigte sich, dass in jedem Behälter bereits ein geringer Anteil von Lampenbruch (1 bis 2 %) zu finden war, aber auch nicht zu sammelnde Lampentypen und (unzerbrochene) Quecksilberthermometer vorkamen. Die Umfüllaktion belegte auch, dass kaum zwei KLL vom gleichen Typ und Hersteller vorhanden waren. Das Spektrum der Lampen scheint von Behälter zu Behälter äußerst verschieden zu sein und daher vermutlich auch die zu erwartende Hg-Dampfkonzentration in den Behältern. Unter ungünstigen Bedingungen, beispielsweise geringer Lüftung im Raum, kann die Hg-Konzentration für die Dauer von einigen Sekunden bis Minuten auf Spitzenwerte von bis zu einigen Hundert μg Hg/ m^3 ansteigen, um dann innerhalb kurzer Zeit wieder abzusinken,

Tabelle 5. Prüfkammeruntersuchungen an 60-l-Sammelbehältern gefüllt mit entsorgten KLL.

Szenarium/Tätigkeit	Behälter Nr.	Quecksilberkonzentration * in µg/m³		Expositionsspitzen in µg/m³	
				Behälterrand	Atembereich
		am Behälterrand (0,7 m Höhe)	im Atembereich (1,5 m Höhe)		
Öffnen und Schließen der Behälter jeweils für 2 min <i>Probenahmedauer jeweils 5 min</i>	1	61	5	270 bis 1 580	51 bis 135
	2	27	9		
	3	56	18		
Umfüllen von dreimal je 2,5 kg Lampen in einen leeren Behälter; Dauer je 10 min; danach Schließen des Behälters <i>Probenahmedauer jeweils 120 min</i>	1	9,6 **	6,8 **	125 bis 535	25 bis 145
	2	3,4 **	2,7 **		
	3	4,4 **	2,4 **		
Zerbrechen typgleicher Lampen ohne Außenhülle von sechs Herstellern im leeren Behälter; *** zweimaliges Öffnen für 2 min innerhalb von 15 min <i>Probenahmedauer jeweils 15 min</i>		16	1	70 bis 960	10 bis 152
		41	6		
		82	16		
		46	4		
		–	4		
		–	7		

Bestimmungsgrenzen: a) IFA-Standardmessverfahren bei 2 h Probenahme: ≤ 0,2 µg/m³ Hg

b) Direkt anzeigende Messverfahren: ≤ 2 µg/m³ Hg

* Messergebnisse der direkt anzeigenden Messgeräte als Mittelwerte über die Probenahmedauer

** Ergebnisse des IFA-Standardmessverfahrens für Quecksilber, IFA-Arbeitsmappe Kennzahl 8530

*** In den meisten Fällen zerbrach die gewendelte Glasröhre der Lampen in zwei oder drei Einzelstücke und einen Rest kleinteiliges Bruchmaterial. War die Lampe nach dem Auftreffen auf den Behälterboden noch intakt, wurde sie durch Anstoßen mit einem Metallstab zerbrochen.

Tabelle 6. Prüfkammeruntersuchungen im 150-l-Sammelbehälter mit entsorgten LStR, Länge 1 m, 38 W.

Szenarium/Tätigkeit	Quecksilberkonzentration * in µg/m³		Expositionsspitzen in µg/m³	
			Behälterrand	Atembereich
	am Behälterrand (1,0 m Höhe)	im Atembereich (1,5 m Höhe)		
Zerbrechen von drei LStR des gleichen Herstellers im leeren Behälter im Abstand von je 2 min innerhalb der Probenahmedauer*; ** Luftwechsel λ = 1	34	4	bis 450	bis 61
Zweimaliges Öffnen und Schließen der Behälter innerhalb der Probenahmedauer*; Luftwechsel λ = 1	83	66	bis 1 037	bis 677
Zuschalten der technischen Lüftung bei offenem Behälter innerhalb der Probenahmedauer*; Luftwechsel λ = 15	214	71	bis 1 730	bis 890

* Messergebnisse direkt anzeigender Messgeräte als Mittelwerte über die Probenahmedauer von 15 min

** Nach dem Schlag mit einem Metallstab auf die LStR im Behälter zerbrach diese in den meisten Fällen in zwei oder drei größere Teilstücke.

insbesondere mit zugeschalteter technischer Be- und Entlüftung (Tabellen 5 und 6).

7.3 Quecksilberfreisetzung nach dem Zerbrechen von KLL und LStR auf dem Boden

Durch Prüfkammermessungen wurden auch Szenarien nachgestellt, die auf Untersuchungen des Umweltbundesamtes und des Bayerischen Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit basierten [6 bis 8; 19; 20]. Es wurden Hg-Expositionen ermittelt, die auftreten können,

wenn z. B. eine KLL oder LStR beim Wechseln auf den Boden fällt und zerbricht, ähnlich dem Haushaltsszenario, das den Empfehlungen des Umweltbundesamtes zugrunde liegt. Dazu wurden auf dem Boden der Prüfkammer in einer mit Folie ausgekleideten Metallwanne (0,8 m x 1,0 m x 0,1 m) Bruchversuche mit Lampen verschiedener Hersteller bei ausgeschalteter technischer Lüftung durchgeführt. Um das Maximum der Hg-Konzentration bei der Freisetzung und Ausbreitung der Hg-Dämpfe in den Raum besser vergleichen zu können, wurden die Lampen in der Bodenwan-

Tabelle 7. Prüfkammeruntersuchungen der Quecksilberemission unmittelbar nach dem Zerschlagen entsorgter und fabrikneuer KLL in einer Bodenwanne.

Szenarium	Quecksilberkonzentration *		Expositionsspitzen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Behälterrand	Atembereich
	am Behälterrand (0,1 m Höhe)	im Atembereich ** (0,7 m Höhe)		
1. Entsorgte (defekte) KLL-Lampen (aus der Sammlung des Entsorgungsbetriebes 2011 bzw. 2012)				
Zerschlagen der Lampen der Hersteller 1 bis 5	7 8 13 – –	5 7 12 4 < 2	92 bis 186	2 bis 115
2. Fabrikneue KLL-Lampen (gekauft im September 2012)				
Zerschlagen von kalten Lampen des Herstellers 6 Herstellers 7	– –	< 2 < 2	– –	bis 2
Zerschlagen von heißen Lampen (Oberflächentemperatur der Lampen: 50 bis 60 °C) des Herstellers 6 Herstellers 7 (<i>Brenndauer eine Stunde</i>)	– –	3 3	– –	14 bis 35
Zerschlagen von heißen Lampen (Oberflächentemperatur der Lampen: 50 bis 60 °C) des Herstellers 6 Herstellers 7 (<i>Brenndauer eine Woche, zehnmal Ein-/Ausschalten pro Tag</i>)	– –	2 3	– –	3 bis 31 18 bis 62

* Messergebnisse direkt anzeigender Messgeräte als Mittelwerte über die Probenahmedauer von 15 min

** Messung in 0,7 m Höhe entspricht dem Einatembereich einer gebückten oder gehockten Person oder stehender Kinder beim Aufkehren der Bruchstücke der Lampe

Tabelle 8. Prüfkammeruntersuchungen der Quecksilberemission unmittelbar nach dem Zerschlagen entsorgter und neuer LStR in der Bodenwanne.

Szenarium	Quecksilberkonzentration* in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Expositionsspitzen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
			Behälterrand	Atembereich
	am Behälterrand (0,1 m Höhe)	im Atembereich ** (0,7 m Höhe)		
1. Entsorgte (defekte) LStR (aus der Sammlung 2011 bzw. 2012)				
Zerschlagen von LStR 2011 Hersteller 1 bis 3 18 bis 20 W Länge: 0,58 m	11 7 21	13 8 66	105 bis 1 460	31 bis 175
Zerschlagen von LStR 2012 Hersteller 4 bis 10 36 bis 58 W Länge 1,0 bis -1,5m	–	9 37 25 49 3 *** 3 *** 6 ***		6 bis 270
2. Fabrikneue LStR (aus dem Handel 2012, Hersteller 1)				
Zerschlagen von neuen LStR, 38 W, Länge 1 m	–	6		bis 45

* Messergebnisse direkt anzeigender Messgeräte als Mittelwerte über die Probenahmedauer von 15 min

** Messung in 0,7 m Höhe entspricht dem Einatembereich einer gebückten oder gehockten Person oder stehender Kinder beim Aufkehren der Bruchstücke der Lampe

*** da beim Bruch dieser LStR aus der Entsorgung aufgrund des fehlenden Vakuums der typische Implosionsknall ausblieb, wird vermutet, dass durch Undichtigkeiten der LStR Quecksilber schon vorher ausgetreten war

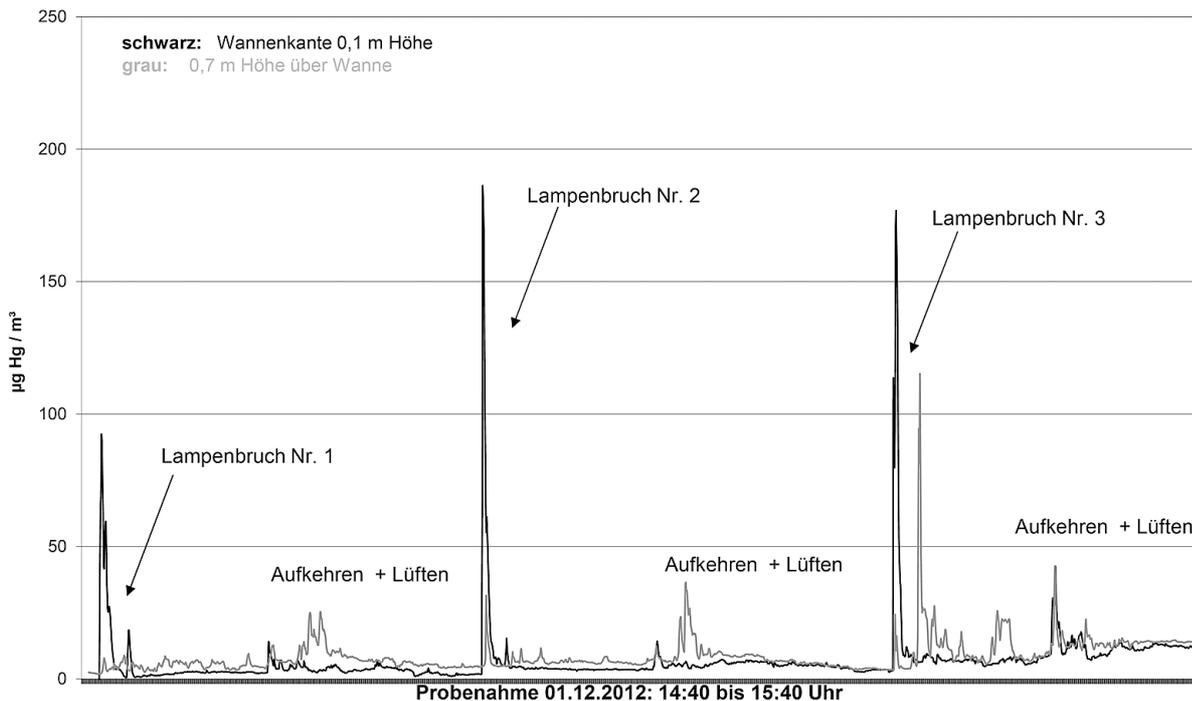


Bild 5. Zerschneiden von drei KLL in einer Bodenwanne mit Aufkehren und Lüften (15-facher Luftwechsel); schwarz: Wannenkante 0,1 m Höhe, grau: 0,7 m Höhe über Wanne.

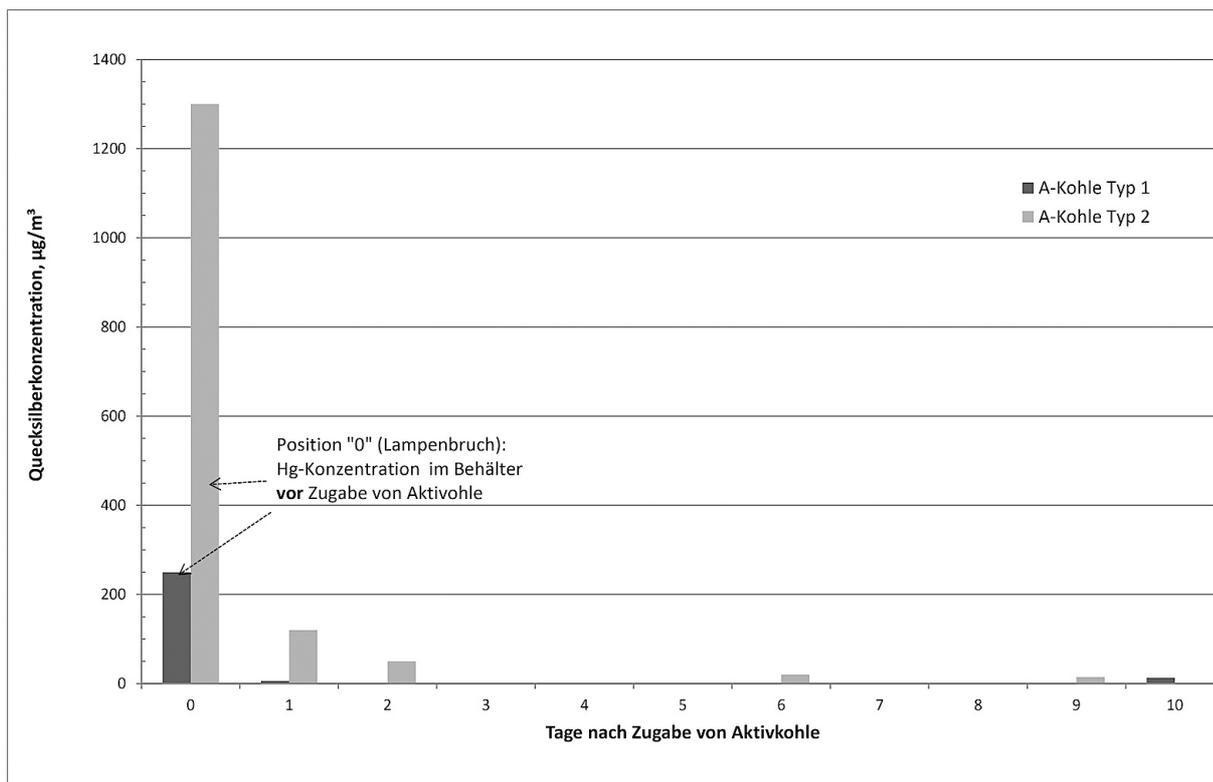


Bild 6. Reduktion der Quecksilberkonzentration durch Zugabe von 100 g Aktivkohle in einen 60-l-Behälter mit sieben zerbrochenen KLL.

ne durch mittiges Anschlagen mit einem Metallstab immer in gleicher Weise zerbrochen. Die Messergebnisse zeigen die **Tabellen 7 und 8**.

Bei den Bruchversuchen mit fabrikneuen und noch nicht elektrisch betriebenen KLL konnte Hg nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze gemessen werden. Werden fabrikneue

KLL nach mehreren Stunden Brenndauer noch im heißen Zustand (Oberflächentemperatur ca. 50 bis 60 °C) unmittelbar nach dem Ausschalten zerbrochen, treten Expositionen auf, die um einiges niedriger sind als die bei den Bruchversuchen mit entsorgten kalten (alten) Lampen.

Bild 5 zeigt, dass beim Bruch „ausgebrannter“ und entsorgter Altlampen kurzzeitig hohe und beim Aufkehren danach etwas geringere Spitzen auftreten, die durch Lüften des Raumes sofort absinken.

7.4 Technische Schutzmaßnahmen

Bei den Prüfkammeruntersuchungen wurden auch Maßnahmen zur Reduzierung der Hg-Exposition, z. B. beim Öffnen der Sammelbehälter, untersucht. Als technische Möglichkeiten der Expositionsminde rung testete man zwei unterschiedliche Absaugvorrichtungen. Eine weitere Maßnahme war die Adsorption von Hg-Dämpfen durch portionsweise Zugabe von Aktivkohle in den Behälter. Die berücksichtigten Aktivkohletypen sind in der Lage, durch eine her-

stellerseitige Imprägnierung mit Iod oder Schwefelverbindungen Hg-Dämpfe zu binden. So erreichte man durch Einbringen von 100 g Aktivkohle in einen mit Lampenbruch gefüllten 60-l-Kunststoffbehälter eine Minderung von über 80 % der Quecksilberdampfkonzentration innerhalb von 24 Stunden (**Bild 6**)

Lüftungstechnische Schutzmaßnahmen mit den Erfassungselementen „Ring“ oder „Prallplatte“ (**Bilder 7 und 8**) oberhalb des Sammelbehälters führen bei einer Absaugleistung von 400 m³/h und mit einer Ansauggeschwindigkeit von 10 m/s den aus dem Behälter entweichenden Hg-Dampf sofort ab. Die Wirksamkeit der Absaugung verringert sich deutlich, wenn im Bereich der Erfassungselemente Querströmungen mit Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 0,5 m/s auftreten.

7.5 Fazit

Bezieht man die Ergebnisse der Prüfkammeruntersuchungen auf eine Schichtlänge und vergleicht diese Konzentrationen mit den geltenden AGW, so lässt sich feststellen, dass der Schichtmittelwert und der Kurzzeitwert für Hg eingehalten werden. Die Versuche mit Aktivkohle demonstrieren eindrucksvoll, wie man die Hg-Dampfkonzentration innerhalb des Behälters reduzieren kann. Die getesteten Erfassungsvarianten zeigen Möglichkeiten, bei der Sammlung in geschlossenen Räumen die Freisetzung von Hg am Arbeitsplatz zu vermindern.

8 Messprogramm der Unfallversicherungsträger

Der Arbeitskreis hat beschlossen, über ein Messprogramm systematisch die inhalative Exposition gegenüber Hg in folgenden Arbeitsbereichen zu ermitteln:

- Herstellung quecksilberhaltiger Leuchtmittel einschließlich Leuchtreklame,
- Sammlung von Altlampen,
- Recycling quecksilberhaltiger Leuchtmittel einschließlich Kaltkathodenlampen aus Flachbildschirmen.

Dafür wurde eine Handlungsanleitung zur Messstrategie und zur Dokumentation erarbeitet. Die Standardprobenahme erfolgt nach dem IFA-Messverfahren 8530 mittels Personal Air Sampler auf einer Glaskartusche mit zwei Hopcalite-Phasen zu je 1,0 g, getrennt durch Quarzfaserfilter. Quecksilber wird auf den aufbereiteten Hopcalite-Phasen atomfluoreszenzspektrometrisch bei 253,7 nm analytisch bestimmt. Bei zweistündiger Probenahme wird eine Bestimmungsgrenze von 0,20 µg/m³ erreicht [18]. Außerdem können auch direkt anzeigende Probenahmen mittels Hg-Dampfmonitor erfolgen.

Erste orientierende Messungen fanden in Sammelstellen und beim Recycling von Flachbildschirmen bereits statt.

9 Ausblick

Das MGU-Messprogramm (MGU = Messsystem Gefahrstoffe der Unfallversicherungsträger) wird im Zeitraum von Juli 2012 bis Juni 2015 in den oben genannten Arbeitsbereichen von den Unfallversicherungsträgern zusammen mit dem IFA durchgeführt.

Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) beabsichtigen, in Kooperation mit den Unfallversicherungsträgern Hg-Expo-



Bild 7. Ringerfassung.



Bild 8. Erfassung mit Prallplatte.

sitionen in Sammelstellen zu bestimmen. Darüber hinaus plant die BAuA ein Biomonitoring.

Nach Beendigung des Messprogramms werden in einer weiteren Publikation die Ergebnisse dargestellt. Auf der Basis dieser Ergebnisse sollen in einer branchenspezifischen DGUV-Information Schutzmaßnahmen zur Minimierung der Exposition beschrieben werden.

Danksagung

Ein herzlicher Dank geht an alle Betriebe, die das Projekt unterstützt haben. Insbesondere danken wir den Beschäftigten der Entsorgungsbetriebe der Landeshauptstadt Wiesbaden (ELW), die uns die Prüfkammermessungen ermöglicht haben.

Literatur

- [1] Verordnung (EG) Nr. 244/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht. ABl. EU (2009) Nr. L 76, S. 3-16.
- [2] Verordnung EG 245/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb und zur Aufhebung der Richtlinie 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. ABl. EU (2009) Nr. L 76, S. 17-44.
- [3] Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG). BGBl. I (2005) Nr. 17, S. 762-774.
- [4] Beleuchtungstechnik mit geringerer Umweltbelastung. 3. Ausg. Hrsg.: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau 2009. www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/UBA_Licht_Ausgabe_03.pdf
- [5] Quecksilber aus Energiesparlampen. Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. Arbeit, Umwelt und Gesundheit aktuell (2011) Nr. 3. www.lgl.bayern.de/gesundheit/arbeitsplatz_umwelt/projekte_a_z/doc/aug_3_2011_energiesparlampen.pdf
- [6] *Fromme, H.; Büscher, O.; Matzen, W.; Drasch, G.; Roscher, E.; Nitschke, L.*: Raumluftbelastung durch quecksilberhaltige Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen). Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 71 (2011) Nr. 5, S. 215-220.
- [7] Energiesparlampen in der Diskussion. Hrsg.: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau 2011. www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3964.pdf
- [8] *Gorbatscheva, M.*: Ermittlung geeigneter Reinigungsmaßnahmen beim Bruch quecksilberhaltiger Kompaktleuchtstofflampen (CFL). Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 71 (2011) Nr. 10, S. 459-463.
- [9] Produktumweltinformation zu Kompaktleuchtstofflampen. Hrsg.: Fa. OSRAM. München 2010. www.osram.com
- [10] Verordnung (EU) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (CLP-VO) vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006. ABl. EU (2008) Nr. L 353, S. 1-1355.
- [11] Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). Ausg. 1/2006. BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. GMBL. (2012) Nr. 40, S. 715-716.
- [12] Technische Regel für Gefahrstoffe: Biologische Grenzwerte (TRGS 903). Ausg. 12/2006. BArbBl. (2006) Nr. 12, S. 167-171; zul. geänd. GMBL. (2011) Nr. 49-51, S. 1024.
- [13] Richtwerte für die Innenraumluft – Quecksilber. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 42 (1999) Nr. 2, S. 168-174.
- [14] Stoffmonographie Quecksilber – Referenz- und Human-Biomonitoring-(HBM)-Werte. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 42 (1999) Nr. 6, S. 522-532.
- [15] Technische Regel für Gefahrstoffe: Errichtung und Betrieb von Sammelstellen und Zwischenlagern für Kleinmengen gefährlicher Abfälle (TRGS 520). Ausg. 1/2012. GMBL. (2012) Nr. 7, S. 102-115.
- [16] Technische Regel für Gefahrstoffe: Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (TRGS 400). Ausg. 12/2010. GMBL. (2011) Nr. 1, S. 19-32; zul. geänd. GMBL. (2012) Nr. 40, S. 715.
- [17] *Böni, H.; Widmer, R.*: Entsorgung von Flachbildschirmen in der Schweiz – Schlussbericht. Hrsg.: Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), St. Gallen, Schweiz, und Swico Recycling, Zürich, Schweiz, 2011. www.swicorecycling.ch/pdf/technische_berichte_flachbildschirme_d.pdf
- [18] Quecksilber. In: IFA-Arbeitsmappe Messen von Gefahrstoffen (Kennzahl 8530). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin. 34. Lfg., IV/05. Berlin: Erich Schmidt 1989 – Losebl.Ausg.
- [19] *Süring, K.*: Gesundheitliche Gefahr durch Quecksilber in Energiesparlampen. UMID (2010) Nr. 1, S. 7-11. www.umweltbundesamt.de/umid/archiv/umid0110.pdf
- [20] *Salthammer, T.; Uhde, W.; Omelan, A.; Lüdecke, A.; Moriske, H.-J.*: Estimating human indoor exposure to elemental mercury from broken compact fluorescent lamps (CFLs). Indoor Air 22 (2012) Nr. 4, S. 289-298.