DGUV
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
Spitzenverband

Vorschriften- und Regelwerk

# Quecksilberexpositionen bei der Demontage von Flachbildschirmen

## Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung

## Verfahrens- und stoffspezifisches

DGUV Information 213-733

## Impressum


| | |
|---|---|
| Herausgegeben von: | Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)<br>Glinkastraße 40<br>10117 Berlin<br>Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)<br>E-Mail: info@dguv.de<br>Internet: www.dguv.de<br><br>Sachgebiet Gefahrstoffe des Fachbereichs Rohstoffe und chemische Industrie der DGUV |
| Ausgabe: | November 2018 – aktualisierte Fassung Januar 2026 |
| Satz und Layout: | Satzweiss.com Print Web Software GmbH, Saarbrücken |
| Druck: | Max Dorn Presse GmbH & Co. KG, Obertshausen |
| Bildnachweis: | Abb. 1 –5: © BGW/Wegscheider |
| Copyright: | Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt.<br>Die Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung gestattet. |
| Bezug: | Bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger oder unter www.dguv.de/publikationen › Webcode: p213733 |

# Quecksilberexpositionen bei der Demontage von Flachbildschirmen

## Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung

## Verfahrens- und stoffspezifisches Kriterium (VSK) nach der TRGS 420

Änderungen zur letzten Ausgabe November 2018:

- Aktualisierung des Literaturverzeichnisses

# Inhaltsverzeichnis


**Vorbemerkungen** ... **5**

**1 Allgemeines** ... **6**

**2 Anwendungsbereich und Hinweise** ... **8**

**3 Begriffsbestimmungen** ... **9**

**4 Arbeitsverfahren und Tätigkeiten** ... **10**

4.1 Arbeitsbereiche ... 10

4.2 Tätigkeiten ... 10

**5 Gefährdungsermittlung und Beurteilung** ... **11**

5.1 Gefahrstoffe ... 11

5.2 Exposition bei Tätigkeiten mit Leuchtmitteln ... 12

**6 Schutzmaßnahmen und Wirksamkeitsprüfung** ... **17**

6.1 Substitution ... 17

6.2 Technische Schutzmaßnahmen ... 17

6.3 Organisatorische Schutzmaßnahmen ... 18

6.4 Persönliche Schutzmaßnahmen ... 19

6.5 Arbeitsmedizinische Vorsorge ... 20

**Literatur** ... **21**

Anhang 1
**Auszug aus dem ElektroG** ... **24**

Anhang 2
**Auszug Laborbericht IFA** ... **27**

Anhang 3
**Fotos** ... **29**

Anhang 4
**Direktanzeigende Messungen** ... **32**

# Vorbemerkungen

Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) werden in Zusammenarbeit mit der antragstellenden Organisation erarbeitet von

- den gesetzlichen Unfallversicherungsträgern (UVT) und
- dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) gemeinsam mit
- der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und
- gegebenenfalls weiteren Messstellen z. B. der Bundesländer.

Sie werden herausgegeben durch das Sachgebiet „Gefahrstoffe“, Fachbereich „Rohstoffe und chemische Industrie“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) und in das Regelwerk unter der Bestellnummer DGUV Information 213-701 ff. aufgenommen.

Darüber hinaus erfolgt eine Verbreitung über das Internet sowie branchenbezogen durch die einzelnen Unfallversicherungsträger.

Diese Empfehlungen wurden erstmals 2016 in Zusammenarbeit mit:

- der Berufsgenossenschaft Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW), Köln
- dem DGUV-Arbeitskreis „Quecksilberexposition durch Leuchtmittel und LCD-Bildschirme“, St. Augustin
- der Genossenschaft der Werkstätten für behinderte Menschen (GDW), Kassel
- der Recycling Partner eG (RPG), Tübingen

erarbeitet und 2025 überprüft.

Für die Mitwirkung und Unterstützung bei den Expositionsmessungen danken wir allen beteiligten Betrieben.

# 1 Allgemeines

Maßnahmen aus dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) [1] und dem 7. Sozialgesetzbuch (SGB VII) [2] gegen arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren werden in der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [3] und den zugehörigen Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) konkretisiert sowie durch Vorschriften, Regeln und Informationen der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) erläutert.

Die in den Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach GefStoffV beschriebenen Verfahren, Tätigkeiten und Schutzmaßnahmen sind vorrangig auf die GefStoffV gerichtet. Die Arbeitsstätte und die Verwendung von Arbeitsmitteln sind in einer Gefährdungsbeurteilung gemäß der Verordnung über Arbeitsstätten (ArbStättV) [4] und der Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (BetrSichV) [5] gesondert zu betrachten. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ist in Absprache mit dem zuständigen Betriebsarzt oder der Betriebsärztin die arbeitsmedizinische Vorsorge gemäß der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) [6] festzulegen.

Die GefStoffV fordert Unternehmen auf, Art, Dauer und Ausmaß der Exposition der Beschäftigten zu ermitteln und zu beurteilen. Dies kann durch Arbeitsplatzmessungen oder gleichwertige, auch nichtmesstechnische Ermittlungsverfahren erfolgen. EGU nach der GefStoffV sind eine wertvolle Hilfe bei der Gefährdungsbeurteilung, da sie für abzuleitende Schutzmaßnahmen und deren Wirksamkeitsüberprüfung entsprechend der TRGS 400 – Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen [7] als Handlungsempfehlung mit herangezogen werden können.

Darüber hinaus können EGU als nichtmesstechnisches Verfahren bei der Informationsermittlung und Durchführung der Expositionsbewertung nach der TRGS 402 – Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition [8] verwendet werden. Somit können Unternehmen den eigenen Ermittlungsaufwand erheblich reduzieren. Dies ist insbesondere bei messtechnischen Ermittlungen von Bedeutung, die im Einzelfall ganz entfallen können.

Die öffentliche Diskussion zur Quecksilberexposition der Allgemeinbevölkerung durch sogenannte Energiesparlampen führte innerhalb der DGUV zu einer Diskussion über die berufliche Quecksilberexposition bei Tätigkeiten mit quecksilberhaltigen Leuchtmitteln. Ein Arbeitskreis bestehend aus mehreren Unfallversicherungsträgern, dem IFA, der BAuA, Messstellen der Länder und Industrievertretern hat die Problematik aufgegriffen und diverse Untersuchungen initiiert. Dazu gehörten im Wesentlichen branchenbezogene Arbeitsplatzmessungen, mit denen die Quecksilberexposition bei der Herstellung, der Sammlung und dem Recycling der Leuchtmittel ermittelt wurde. Das Ziel der Arbeiten war die Erstellung von Handlungsanleitungen zum sicheren Arbeiten für die Praxis. Die hier vorliegenden Empfehlungen behandeln einen Aspekt des Recyclings, die LCD-Flachbildschirmdemontage.

Bei Anwendung dieser EGU muss bei Änderungen im Arbeitsbereich oder bei Verfahrensänderungen sofort und ansonsten regelmäßig, mindestens aber einmal jährlich, die Gültigkeit der Voraussetzungen der EGU überprüft und das Ergebnis dokumentiert werden. Hierzu zählt unter anderem auch die Prüfung der unveränderten Gültigkeit der EGU. Die erfolgt im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung. Als Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung sind auch Methoden und Fristen zur Überprüfung der Wirksamkeit bestehender und zu treffender Schutzmaßnahmen festzulegen. Grundsätze hierzu sind umfassend in der TRGS 500 [9] beschrieben, zusätzliche Besonderheiten werden gegebenenfalls in den EGU bei den Schutzmaßnahmen in Kapitel 6 ausgeführt.

LCD-Flachbildschirme enthalten eine quecksilberhaltige Hintergrundbeleuchtung in Form von Kaltkathodenfluoreszenzlampen (CCFL-Röhrchen). Eingebaut sind diese überwiegend in Fernsehgeräten, Computermonitoren und Laptops. Das im Betrieb durch den Strom ionisierte Quecksilber gibt UV-Licht ab, welches durch die Leuchtschicht in sichtbares Licht umgewandelt wird. Das Quecksilber amalgamiert mit zunehmender Betriebszeit an der Innenseite der Röhrchen, was schließlich zu deren Ausfall führt. Flachbildschirme mit quecksilberhaltigen Leuchtmitteln werden in zunehmendem Maße dem Recycling zugeführt, weil sie defekt sind oder durch neue Technologien wie zum Beispiel LED-Bildschirme ersetzt werden. Hersteller kennzeichnen diese Geräte seit 2014 freiwillig mit einem Label (non-Hg).

Das Elektro- und Elektronikgerätegesetz ElektroG [10] regelt unter anderem die selektive Behandlung von zu entsorgenden quecksilberhaltigen Leuchtmitteln sowie Elektronikaltgeräten die diese enthalten (Textauszug s. Anhang 1). Private und gewerbliche Verbraucher sind verpflichtet, die genannten Produkte getrennt vom Hausmüll zu entsorgen (§ 10 ElektroG). Nach § 13 ElektroG sind die Kommunen und Landkreise verpflichtet, Sammelstellen hierfür einzurichten. Weitere Hinweise zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten, gibt zusätzlich das Altgeräte-Merkblatt der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA-Mitteilung M31) [11]. Bezüglich der Demontage gibt es manuelle und teilautomatische Verfahren sowie die vollautomatische Behandlung in geschlossenen Anlagen (Shredder-Verfahren). Letztere führt aber derzeit nicht zu sortenreiner Fraktionierung und ermöglicht keine selektive Behandlung nach § 20 ElektroG. Die gesetzlich geforderte selektive Behandlung der Stofffraktionen und insbesondere die Entfernung quecksilberhaltiger Leuchtmittel für die Hintergrundbeleuchtung, sind nach bisherigem Stand nur bei schonender manueller Demontage der Flachbildschirme möglich.

Über diese EGU hinausgehende Informationen zu Quecksilber sowie zur Quecksilberexposition bei Tätigkeiten mit Leuchtmitteln sind im DGUV-Quecksilberportal dokumentiert [12]. Dort finden sich auch Informationen zur Herstellung, Sammlung und den weiteren Recyclingschritten nach der Demontage.

Bei Anwendung von EGU bleiben andere Anforderungen der GefStoffV, insbesondere die Informationsermittlung (§ 6 GefStoffV), die Verpflichtung zur Beachtung der Rangfolge der Schutzmaßnahmen (§ 7 GefStoffV), die Verpflichtung zur Erstellung von Betriebsanweisungen und zur regelmäßigen Unterweisung der Beschäftigten (§ 14 GefStoffV) bestehen.

# 2 Anwendungsbereich und Hinweise

Diese EGU geben dem Betrieb praxisgerechte Hinweise, wie sichergestellt werden kann, dass die Grenzwerte für Quecksilber, wie der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) und der Kurzzeitwert nach TRGS 900 [13] sowie der Biologische Grenzwert (BGW) nach TRGS 903 [14] eingehalten sind oder anderweitig davon ausgegangen werden kann, dass ein Stand der Technik erreicht ist. Werden die Verfahrensparameter sowie die Schutzmaßnahmen eingehalten, kann davon ausgegangen werden, dass das Minimierungsgebot nach § 7 Abs. 4 der GefStoffV erfüllt wird.

Diese EGU gelten ausschließlich für die Beurteilung von Quecksilber, das bei der manuellen Demontage von Flachbildschirmen freigesetzt werden kann. Weitere Gefahrstoffe wie zum Beispiel Stäube und Staubinhaltsstoffe müssen gegebenenfalls gesondert berücksichtigt werden.

Diese EGU gelten nicht für das maschinelle Zerlegen oder Zerschreddern von Flachbildschirmen. Sie gelten auch nicht für das Recycling von anderen quecksilberhaltigen Geräten, wie Thermometern oder quecksilberhaltigen Bauteilen (z. B. Schalter, spezielle Quecksilberlampen aus der Medizin oder aus Solarstudios). Weitere EGU und Expositionsbeschreibungen betrachten die Quecksilberexposition bei der Herstellung, Sammlung und dem Recycling von Leuchtmitteln und beschreiben Schutzmaßnahmen für diese Tätigkeiten.

In dieser EGU werden ausschließlich die inhalativen Gefährdungen behandelt. Weitere Gefährdungen, z. B. dermale (TRGS 401 [15]), orale oder psychische Gefährdungen oder auch mechanische Einwirkungen wie Schnittverletzungen durch scharfe Kanten oder Glasbruch sowie Heben und Tragen schwerer Gegenstände, sind in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen. Brand- und Explosionsgefährdungen sind nach bisherigem Wissen nicht zu erwarten.

# 3 Begriffsbestimmungen

Begriffe werden so verwendet, wie sie im Begriffsglossar[1] zu den Regelwerken der Betriebssicherheitsverordnung, der Biostoffverordnung und der Gefahrstoffverordnung bestimmt sind.

Im Sinne dieser EGU werden folgende Begriffe bestimmt:

## Leuchtstoffröhrchen

Leuchtstoffröhrchen (Leuchtmittel) sind quecksilberhaltige Gasentladungslampen. Darunter versteht man Kaltkathodenlampen (CCFL = Cold Cathode Fluorescent Lamp) zur Hintergrundbeleuchtung von Flachbildschirmen. Die üblichen Außendurchmesser der Röhrchen liegen bei 2 – 4 mm, die üblichen Röhrchenlängen bei 20 – 120 cm. Ein PC-Monitor enthält zwischen zwei und acht Leuchtstoffröhrchen, die in zwei Halterungen hinter der LCD-Frontscheibe angeordnet sind. Ein TV-Flachbildschirm enthält je nach Bildschirmdiagonale üblicherweise bis zu 32 Leuchtstoffröhrchen, die über die gesamte Bildschirmfläche verteilt sind.

## Demontagebetriebe

Demontagebetriebe sind Betriebe oder Betriebsteile, die sich auf das Zerlegen bzw. Demontieren von Flachbildschirmen spezialisiert haben. Diese sind in der Regel zertifizierte Entsorgungsfachbetriebe sowie Erstbehandler im Sinne des ElektroG.

## Flachbildschirmrecycling

Flachbildschirmrecycling beschreibt den gesamten Prozess von der Anlieferung im Demontagebetrieb, über die Zwischenlagerung der Geräte, die Demontage und Sortierung der Bauteile und Baugruppen einschließlich Ausbau der CCFL-Lampen sowie deren Zwischenlagerung.

## Worst-case

Worst-case bezeichnet hier einen ungünstigen aber realistischen Betriebszustand, der bei der Expositionsermittlung eine höhere Gefahrstoffbelastung erwarten lässt als der Durchschnitt.

## Nahbereich

Nahbereich bezeichnet den Expositionsbereich am Demontagearbeitsplatz

## Fernbereich

Fernbereich bezeichnet den Expositionsbereich ca. drei bis sechs Meter entfernt vom Demontagearbeitsplatz.

## Sammelbehälter für Bruch

Sammelbehälter für Bruch sind verschließbare Behälter, in denen der quecksilberhaltige Glasbruch zwischengelagert wird.

1 https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/Glossar

# 4 Arbeitsverfahren und Tätigkeiten

In diesem Abschnitt werden allgemeingültige Aussagen zu den Arbeitsverfahren und zu den Tätigkeiten gemacht.

## 4.1 Arbeitsbereiche

Die Arbeitsplätze des Flachbildschirmrecyclings sind häufig in die großen Demontagebereiche eingegliedert, in denen auch andere Geräte des Elektro- und Elektronikschrottrecycling zerlegt werden. Diese Bereiche umfassen oftmals mehrere tausend Kubikmeter Raumvolumen. Die für diese EGU untersuchten Arbeitsbereiche befanden sich in Werkstätten für Menschen mit Behinderungen (WfbM) und Werkstätten der Berufshilfe.

## 4.2 Tätigkeiten

### Anlieferung/ Annahme und Zwischenlagern

Die Anlieferung von Flachbildschirmen (Sammelgruppe 3 nach ElektroG) zum Demontagebetrieb erfolgt durch zertifizierte Unternehmen, die dafür von Sammelstellen beauftragt werden. Nach dem ElektroG sind Sammelbehälter für den Transport erforderlich. Die Flachbildschirme werden in Containern (bei öffentlich-rechtlicher Sammlung) oder Gitterboxen (Sammlung vom Handel oder für Hersteller und Gewerbe) angeliefert. Im Einzelfall liefern auch Privatkunden oder Großunternehmen Geräte an. Die Container werden auf festgelegten Flächen möglichst zerstörungsfrei abgeladen und in kleinere Behälter (z. B. Gitterboxen) sortiert. Die Gitterboxen mit den Bildschirmgeräten werden üblicherweise im Lagerbereich des Demontagebetriebs abgestellt. Dabei kann es sich um halboffene Lagerbereiche (z. B. überdachte Außenbereiche) oder geschlossene Räume (z. B. Lagerhallen) handeln.

Beschäftigte des Demontagebetriebs sortieren bei Bedarf die angelieferten Geräte, z. B. Flachbildschirme, Röhrenbildschirme etc..

### Demontage

Bei der Demontage werden unter Zuhilfenahme diverser Werkzeuge (u. a. Zangen, Hand-, Elektro-, Druckluftschraubendreher) folgende Arbeitsschritte ausgeführt:

- Gerät an den Arbeitsplatz holen und auf der Arbeitsfläche ablegen,
- Gehäuse öffnen, Kunststoff-/ Metallfraktionen etc. ausbauen und trennen,
- Panels ausbauen,
- Panels öffnen,
- Leuchtstoffröhrchen ausbauen:
  - in PC-Monitoren und Laptops bleiben die Röhrchen überwiegend in der Halterung,
  - bei Fernsehbildschirmen werden die Röhrchen als Glaskörper ausgebaut,
  - Röhrchen werden für mehrere Geräte am Arbeitsplatz gesammelt oder unmittelbar nach der Zerlegung zum Sammelbehälter gebracht,
  - Bruch wird in einen Bruchbehälter entsorgt.

### Zwischenlagerung und Abgabe an den Recycler

Nach der Demontage werden die Wertstofffraktionen einschließlich der mit Leuchtmitteln gefüllten Behälter bis zum Abtransport durch das Logistikunternehmen in einem Zwischenlager gelagert.

# 5 Gefährdungsermittlung und Beurteilung

Quecksilber ist beim Flachbildschirmrecycling der wesentliche Gefahrstoff, der zu einer Exposition der Beschäftigten führen kann. Intakte Leuchtmittel verursachen keine Quecksilberemissionen. Zerbrochene Leuchtstoffröhrchen hingegen sind eine Emissionsquelle. Bereits bei der Anlieferung beschädigte Bildschirme können zerbrochene Röhrchen enthalten und schon vor Beginn der Gerätedemontage eine potenzielle Emissionsquelle darstellen. Quecksilber kann zudem während der weiteren in Abschnitt 4 genannten Tätigkeiten sowie bei der Lagerung beschädigter Leuchtstoffröhrchen freigesetzt werden und die Luft in den Arbeitsbereichen verunreinigen.

Die Stoffmonographie zu Quecksilber [16] besagt zur ubiquitären Belastung und zur systemischen Aufnahme: Die Hintergrundkonzentration in der Außenluft liegt in Deutschland bei 2 bis 4 ng/m³. In der Stadtluft steigen die Konzentrationen bis auf 10 ng/m³. Nach oraler Aufnahme wird Hg nicht, Hg-Salze bis zu 10 % und organisches Hg zu über 90 % resorbiert. Inhalativ aufgenommener Hg-Dampf wird zu ca. 80 %, organisches Hg zu über 90 % resorbiert. Die kutane Resorption anorganischer Hg-Verbindungen ist in der Regel gering.

Bei der Demontage können Röhrchen zerbrechen. Dies kann zu einer Quecksilberexposition am Demontagearbeitsplatz (Nahbereich) führen, kann aber auch weiter entfernte Arbeitsplätze belasten (Fernbereich). Zerbrochene Röhrchen werden an Arbeitsplätzen ohne Absaugung üblicherweise kurzzeitig abgelegt. An Arbeitsplätzen mit Absaugung verbleibt Röhrchenbruch häufig längere Zeit innerhalb des Absaugbereichs, manchmal bis zum Ende der Schicht. Röhrchenbruch wird vom Arbeitsplatz zu speziellen Behältnissen gebracht, die diesen Bruch aufnehmen. Diese Behältnisse können potenzielle Emissionsquellen sein. Mit vermeintlich intakten Leuchtmitteln gefüllte Behältnisse können ebenfalls Emissionsquellen sein, wenn durch die Lagerung Leuchtmittel beschädigt werden. Auch entleerte Sammelbehälter (Austauschbehälter) können zu Quecksilberemissionen führen, wenn sie Reste von Glasbruch und Leuchtmittelbeschichtungen enthalten.

Die Zwischenlagerung defekter Geräte oder Leuchtmittel, egal ob vor oder nach der Zerlegung, kann zu diffusen Quecksilberquellen führen, die den Arbeitsbereich über die ubiquitäre Belastung der Außenluft hinaus verunreinigen (Grundbelastung).

## 5.1 Gefahrstoffe

Quecksilber hat die EG-Nr. 231-106-7 und die CAS-Nr. 7439-97-6. Nach der Verordnung (EU) 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (CLP-Verordnung) ist Quecksilber (Hg) als Gefahrstoff eingestuft. [17]

Quecksilber ist mit dem Signalwort „Gefahr“ zu kennzeichnen.

**Tabelle 1** Einstufung und Kennzeichnung von Quecksilber nach CLP-Verordnung*

| Gefahrenklasse | Gefahrenkategorie | Piktogramm | H-Satz |
|---|---|---|---|
| Akute Toxizität, Einatmen | Kat. 2 |  | H330, Lebensgefahr bei Einatmen |
| Reproduktionstoxizität | Kat. 1B |  | H360 D, 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<br>H410, Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung |

* Mindesteinstufung bzw. Herstellerangaben – Quelle: www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank

### Grenzwerte und Bemerkungen

In der TRGS 900 sind für Quecksilber und seine anorganischen Verbindungen ein Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) von 20 µg/m³ für die 8-h Exposition festgelegt. Kurzzeitig (15-Minuten Mittelwert) darf das Achtfache (Spitzenbegrenzung 8, Kategorie II) des o. g. Wertes, also 160 µg/m³, nicht überschritten werden. [13].

Zusätzlich enthält der Eintrag zu Quecksilber in der TRGS 900 die Bemerkung „Hautresorption und Hautsensibilisierung (H, Sh)“.

Die TRGS 903 enthält für Quecksilber einen Biologischen Grenzwert (BGW) in Höhe von 25 µg/g Kreatinin im Urin [14].

## 5.2 Exposition bei Tätigkeiten mit Leuchtmitteln

In diesem Kapitel werden die Methoden und Ergebnisse der Emissions- und Expositionsermittlungen dargelegt.

### 5.2.1 Emissionsmessungen im Labor

Entscheidend für die Exposition am Arbeitsplatz ist der dampfförmige Quecksilberanteil, der beim Bruch der Röhrchen freigesetzt werden kann. Zur Bestimmung dieses Anteils führte das IFA Emissionsmessungen im Labor durch. Die Ergebnisse der Bruchversuche an einem beispielhaften Kollektiv ausgebauter Röhrchen zeigten, dass die Art des Bruchs entscheidend für die Höhe der Emission und damit die zu erwartende Höhe der Exposition ist. Die untersuchten Leuchtstoffröhrchen hatten eine Masse von ca. 2 g. Zerbrach ein Leuchtstoffröhrchen in zwei Teile, wurden aus den beiden Bruchöffnungen ca. 0,1 µg/g (µg elementares Quecksilber bezogen auf ein Gramm Röhrchenmasse) gasförmig über einen langen Zeitraum (16 h) freigesetzt. Beim Bruch in vier Teile (sechs Öffnungen) wurde ca. 1 µg/g ebenfalls über 16 Stunden gemessen. Bei der vollständigen Zerstörung wurden über einen kürzeren Zeitraum (3 Stunden) 10 µg/g freigesetzt [18]. Dies hat sich in der Praxis als wenig relevant herausgestellt, da die Röhrchen beim Ausbau in der Regel an einer Stelle und somit in zwei Teile (zwei Öffnungen) zerbrechen. Eine vollständige Zerstörung beim Zerlegen entspricht daher einem unfallartigen Ereignis. In Einzelfällen können Röhrchen vollständig zerstört in den Panels liegen, wenn massiv beschädigte Flachbildschirme angeliefert werden. Allerdings ist dann zu erwarten, dass die freigesetzte Quecksilbermenge schon in die Umwelt abgegeben wurde, bevor das Gerät an den Demontagearbeitsplatz gelangt. Autoren einer schweizerischen Studie gehen von 3,5 bis 10 mg Quecksilber pro CCFL-Röhrchen aus [19].

### 5.2.2 Arbeitsplatzmessungen

#### Räumliche Bedingungen, Lüftung und Absaugung

Die Demontagebereiche für Flachbildschirme in den neun untersuchten Betrieben befanden sich überwiegend in großen Werkhallen von 2000 bis 10.000 m³ Volumen mit Grundflächen von ca. 400 bis 2000 m². Die Arbeitsbereiche waren in der Regel räumlich nicht von den anderen Arbeitsbereichen in der Halle getrennt. Die Demontagearbeitsplätze und Aufstellflächen der Gitterboxen für Geräte und Fraktionen konnten innerhalb der Hallen fiktiv mit Grundflächen zwischen 50 und 200 m², also ca. 10 % der gesamten Hallenfläche, angesetzt werden.

Die Arbeitsbereiche wurden über Fenster, Türen und Hallentore be- und entlüftet (natürliche Lüftung). Die lüftungstechnische Ausstattung der Arbeitsplätze variierte:

- normale Arbeitstische ohne Absaugung (Anhang 3, Abb. 1)
- abgesaugte Arbeitstische mit halb offenen Absaugungen (z. B. Untertischabsaugung) oder eingehaust, ähnlich Laborabzug (Anhang 3, Abb. 2).

Drei Betriebe waren mit abgesaugten Arbeitsplätzen ausgestattet. Die Luftrückführung in den Arbeitsbereich erfolgte über nachgeschaltete Aktivkohlefilter zur Abscheidung des dampfförmigen Quecksilbers. Der Absaugvolumenstrom betrug ca. 100-180 m³/h pro Arbeitsplatz.

## Arbeitsorganisation und Arbeitsablauf

Die Tätigkeiten erfolgten in den Demontagebetrieben wie in Abschnitt 4 beschrieben, die Arbeitsorganisation war zum Teil unterschiedlich:

Option 1:
Beschäftigte zerlegen an einem speziellen Demontageplatz nur Flachbildschirme.

Option 2:
Beschäftigte zerlegen an einem Demontageplatz diverse Arten von Elektronikschrott, unter anderem auch Flachbildschirme.

Die Anzahl demontierter Flachbildschirme variierte während der Messungen von Betrieb zu Betrieb. Die Demontagedauer in den Betrieben lag zwischen wenigen Stunden und einer ganzen Schicht. Bei Option 1 war der Durchsatz zerlegter Flachbildschirme naturgemäß höher.

In der Summe über alle 24 Messungen bei der Demontage wurden 347 Geräte zerlegt, 263 PC-Bildschirmpanel und 84 TV-Panel. 2329 Röhrchen wurden ausgebaut. Davon waren 199 Röhrchen bereits bei der Anlieferung zerbrochen, 66 Röhrchen zerbrachen bei der Demontage und bei 184 Röhrchen wurde im Sinne eines „worst-case“ ein Bruch provoziert, wenn bei der Demontage kein Röhrchen zerbrach (Anhang 3, Abb. 3). Insgesamt waren somit 449 Röhrchen (19 %) zerbrochen. Der Anteil „Bruch bei Anlieferung“ war in Betrieb V besonders hoch und lag zwischen 20 und 70 %. Im Durchschnitt dauerte ein Demontagevorgang 16 Minuten. Von den Betrieben wurde angegeben, dass die Demontagedauer zwischen 15 und 40 Minuten für ein Komplettgerät dauert. Für die Demontage der bereits ausgebauten Panels reduzierte sich die Demontagedauer um etwa 30 % auf 10 bis 28 Minuten. Die durchschnittliche Demontagedauer während der Messungen war somit kürzer und die Anzahl zerlegter Geräte höher als üblich. Einige Kennzahlen zum Materialdurchsatz und zum expositionsrelevanten Röhrchenbruch sind in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2** Parameter mit Relevanz für die Messungen

| Parameter | Anzahl |
|---|---|
| Untersuchte Arbeitsplätze | 24 |
| Zerlegte Flachbildschirmgeräte | 347, davon<br>263 PC, 84 TV |
| Mittlere Anzahl zerlegte Flachbildschirmpanel pro Arbeitsplatz während der Messdauer (2,75 bis 5,61 Stunden, Median 4,0 Stunden) | 14 PC, 6 TV |
| Ausgebaute Röhrchen | 2329 |
| Bruchzahl absolut und prozentualer Anteil an den ausgebauten Röhrchen; wenn bei der Demontage kein Röhrchen zerbrach, wurde der Bruch in zwei Teile provoziert. | Gesamt: 449, 19,2 %<br>bei Anlieferung: 199, 8,5 %<br>bei Demontage: 66, 2,8 %<br>„provoziert“: 184, 7,9 % |
| Mittlere Demontagedauer pro Panel | 16 Minuten |

## Mess- und Bewertungsstrategie

Die Quecksilbermessungen erfolgten in Anlehnung an die TRGS 402 mit den in der IFA-Arbeitsmappe aufgeführten Methoden (siehe Tabelle 3) [20] und nach einer im Messprogramm 9167 festgelegten Messstrategie [21]. Messungen im Fernbereich erfolgten stationär personenbezogen, ebenso wie Messungen an der Gitterbox im Lagerbereich. Alle anderen Probenahmen erfolgten personengetragen (Anhang 3, Abb. 2). Die Probenahmedauer lag bei der Demontage zwischen 2,75 und 5,61 Stunden. Mit den Messwerten wurde die Schichtbelastung beurteilt. Für kurzzeitige Expositionsereignisse (Expositionsspitzen) wurde in Einzelfällen ein direktanzeigender Quecksilberanalysator (Fa. EPM, Modell 791.905) eingesetzt.

**Tabelle 3** MGU-Probenahmeverfahren für Quecksilber

| Kriterien | Messverfahren |
|---|---|
| Probenahmesystem | PAS-Pumpe |
| Probenträger | Glaskartusche mit 2 Hopcalite-Phasen zu je 1,0 g, getrennt durch Quarzfaserfilter |
| Probenahmedauer | Mindestens 2 Stunden, in der Regel 4 Stunden |
| Volumenstrom | 1 l/min |
| Bestimmungsgrenze | 0,021 µg/m³ bei 2-stündiger Probenahme |
| Direktanzeigender Quecksilberanalysator Fa. EPM Model 791.905 | UV-Lichtabsorption bei 254 nm, Messbereichsendwert: 1000 µg/m³, Bestimmungsgrenze: 10 µg/m³ |

## Rahmenbedingungen für die Arbeitsplatzmessungen

Die Demontagearbeitsplätze wurden unter ungünstigen, aber realistischen Rahmenbedingungen untersucht:

- In der Regel hatten die Betriebe auf Wunsch der BGW die Panels schon vordemontiert. Dies entsprach nicht immer dem normalen betrieblichen Ablauf und führte zu einem höheren Gerätedurchsatz mit der Konsequenz, dass mehr Röhrchen pro Zeiteinheit ausgebaut wurden als üblich.
- Wenn bei der Demontage kein Röhrchen zerbrach, wurde der Bruch in zwei Teile von mindestens einem Röhrchen pro Gerät provoziert. In einigen Fällen wurde die Bruchquote (zerbrochene Röhrchen/ausgebaute Röhrchen x 100) künstlich auf bis zu 60 % erhöht, obwohl bei der regulären Demontage nie mehr als 10 % Bruch auftrat.
- Die Lüftungsbedingungen wurden als „Winterbedingungen“ definiert, d. h. Fenster und Türen blieben unabhängig von der Jahreszeit weitgehend verschlossen. Die untersuchten Arbeitsbereiche hatten keine technische Raumlüftung. Einige Arbeitsbereiche verfügten allerdings über einen oder mehrere abgesaugte Arbeitsplätze.

Für die Bewertungen wurden ebenfalls ungünstige aber realistische Bedingungen gewählt:

- Alle ermittelten Messwerte werden in den nachfolgenden Tabellen als repräsentative Messergebnisse für eine 8-stündige Schicht dargestellt. Verkürzte Expositionen sind nicht berücksichtigt, obwohl die übliche Demontagedauer in den beteiligten Betrieben zwischen drei und sechs Stunden betrug. Damit wird die Exposition an den untersuchten Arbeitsplätzen in WfbM ca. 30 – 50 % überschätzt. Es wird dadurch aber ein Bezug zu Arbeitsplätzen hergestellt, an denen über eine Dauer von acht Stunden mit vergleichbarer Belastung gearbeitet wird.

## Auswertung der Arbeitsplatzmessungen

In den Jahren 2012 bis 2015 wurden 39 Messungen in neun Betrieben, die bei der BGW versichert sind, durchgeführt und statistisch ausgewertet. Die Messungen erfolgten bei der Demontage mit und ohne Absaugung (Nahbereich), zur Ermittlung der Grundbelastung einige Meter vom Demontagebereich entfernt (Fernbereich) und im Lager bzw. am Sammelplatz.

Die Absaugung wird an mehreren Stellen in der Fachliteratur gefordert [22] [23] und in einigen Betrieben angewandt.

Die Messwerte bei der Sammlung und Lagerung der Röhrchen wurden stationär an den Sammelbehältnissen (in der Regel Gitterboxen) ermittelt. Wenn diese Behältnisse außerhalb des Demontagebereichs stehen, halten sich die Beschäftigten hier nur kurzzeitig zum Einlegen der Röhrchen auf, pro Vorgang weniger als eine Minute.

**Tabelle 4** Messergebnisse für Quecksilber differenziert nach Messort und Arbeitsbereich (Zeitraum 2012 bis 2015)

| Messort | Arbeitsbereich | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Median [µg/m³] | 75 %-Wert [µg/m³] | 95 %-Wert [µg/m³] | Max-Wert [µg/m³] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Alle[2] | Demontage, Lager/Sammelplatz, Fernbereich | 39 | 9 | 0,70 | 1,0 | 2,3 | 3,0 |
| Alle Demontageplätze[3] | Demontage | 24 | 9 | 0,65 | 0,97 | 1,3 | 2,7 |
| Demontageplätze ohne Absaugung[4] | Demontage | 19 | 6 | 0,57 | 0,93 | 1,4 | 2,7 |
| Demontageplätze mit Absaugung[5] | Demontage | 5 | 3 | 0,57 – 1,2 µg/m³ | | | |
| Am Sammelbehälter[4] | Lager/Sammelplatz | 8 | 7 | 0,24 -3,0 µg/m³ | | | |

In fünf Betrieben wurden der Nahbereich und der Fernbereich verglichen (Tabelle 5).

**Tabelle 5** Konzentrationsvergleich Nahbereich/Fernbereich – 5 Betriebe, 7 Vergleichsmessungen

| Betrieb | Hg [µg/m³] | | Verhältnis Nahbereich/ Fernbereich |
|---|---|---|---|
| | Nahbereich | Fernbereich | |
| A | 0,36 | 0,098 | 3,6 |
| B | 2,7 | 2,1 | 1,3 |
| C | 1,3; 0,96; 1,3 | 0,6; 0,52 | 1,6-2,5; Mittel 2,1 |
| D | 0,75 | 0,7 | 1,1 |
| C | 1,2; 1,0; 0,9 | 0,68; 0,59 | 1,3-2; Mittel 1,6 |

## Kurzeitige Expositionen

Kurzzeitige, höhere Konzentrationen konnten mit Hilfe des direkt anzeigenden Messgeräts beim Öffnen des Deckels an einem mit Glasbruch befüllten Spannringdeckelfass (Bruchfass) und in einem Lagerbehältnis für vermeintlich intakte Leuchtmittel nachgewiesen werden:

Beim Öffnen des Bruchfasses wurden 50 cm über der Fassöffnung Konzentrationsspitzen von über 800 µg/m³ festgestellt (Anhang 4, Abb. 6). Eine modifizierte Version mit kleinerer Öffnung (Anhang 3, Abb. 4) ergab 30 cm über der Öffnung Quecksilberkonzentrationen von ca. 80 µg m³, die damit trotz der Nähe zur Emissionsquelle lediglich bei 10 % der ursprünglichen Konzentrationsspitzen lagen (Anhang 4, Abb. 7). Messungen im Atembereich ergaben in diesem Fall kein Messsignal und lagen damit unter 10 µg/m³.

Ein Bruchsammelfass wird im Durchschnitt ca. fünfmal pro Stunde für wenige Sekunden geöffnet.

Messungen an verschiedenen Stellen in einer offenen Gitterbox zur Sammlung intakter Leuchtmittel ergaben in 10 cm Tiefe im Material Quecksilberkonzentrationen zwischen ca. 10 und 100 µg/m³. Dies deutete darauf hin, dass Leuchtmittel nach dem Einlegen beschädigt wurden. (Anhang 4, Abb. 8). Die Messungen im Atembereich an der Gitterbox lagen unter 10 % des AGW.

2 Demontage, Lager/Sammelplatz, Grundbelastung/Fernbereich stationär personenbezogen und personengetragen

3 Es wird nicht nach der Schutzmaßnahme „Absaugung am Arbeitsplatz“ unterschieden.

4 In einem Betrieb wurden drei unterschiedliche Arbeitsschichten untersucht.

5 Bei weniger als 10 Messwerten erfolgt die Angabe der Messwerte als Spanne zwischen Minimal und Maximalwert.

## Expositionsbewertung

Die Expositionsmessungen am Demontagearbeitsplatz wurden unter „worst-case “ Rahmenbedingungen (hoher Durchsatz; hohe Bruchquote; ungünstige Lüftungsbedingungen) durchgeführt. Für die Expositionsdauer wurden zudem 8 Stunden angenommen, obwohl die Expositionsdauer in den untersuchten Werkstätten in der Regel kürzer ist.

Die Untersuchungen führten zu folgenden Bewertungen:

- Der AGW wurde bei allen Messungen unterschritten. 95 % der Messergebnisse lagen bei der Demontage unter 10 % des AGW (Maximalwert personenbezogen: 13 % des AGW). Für die Kurzzeitbewertung relevante erhöhte Expositionen (Messwerte über dem AGW) traten nicht auf.
- Die Reduzierung der Exposition durch eine Arbeitsplatzabsaugung konnte nicht nachgewiesen werden.
- Bruchbehälter stellten besondere Quecksilberquellen dar. Es kommt zur Daueremission bei nicht abgedeckten Behältern und zu Emissionsspitzen beim Öffnen abgedeckter Behälter zum Einwurf von Bruch. Beim Öffnen eines Spannringdeckelfasses wurden erhöhte Quecksilberkonzentrationen festgestellt, die allerdings bezogen auf den 15-minütigen Beurteilungszeitraum den zulässigen Kurzzeitwert unterschritten. In Abschnitt 6 werden Maßnahmen beschrieben, die eine erhöhte Quecksilberkonzentration bei diesem Vorgang vermeiden können.
- Sammelbehälter mit vermeintlich intakten Leuchtmitteln, aber nachweislichen Quecksilberkonzentrationen, stellten eine Emissionsquelle dar, die sich auf die betriebliche Grundbelastung auswirken kann. Wahrscheinlich war unbeabsichtigter Bruch der Leuchtmittel im Sammelbehälter die Ursache.
- Eine Grundbelastung über der in der Literatur beschriebenen ubiquitären Belastung war in jedem Demontagebetrieb feststellbar. Der Nahbereich am Demontagearbeitsplatz wies höhere Konzentrationen auf als der Fernbereich.

Nachfolgend werden die oben genannten Punkte erläutert:

Für das Gesamtdatenkollektiv lag das 95. Perzentil bei 11 % des AGW. Eine besondere Emissionsquelle (offenes Bruchfass) in unmittelbarer Nähe des Demontagearbeitsplatzes war vermutlich die Ursache für den höchsten Messwert (Maximalwert am Sammelfass: 15 % des AGW). Für die Demontage lag das 95. Perzentil bei 6,5 % des AGW.

An Bruchbehältern wurden hohe Spitzenkonzentrationen ermittelt. Beim Öffnen eines Spannringdeckelfasses lag die Quecksilberkonzentration kurzzeitig bei mehreren hundert µg/m³ (Anhang 4, Abb. 6). Ein permanent offener Bruchbehälter wird keine so hohen Spitzenkonzentrationen aufweisen, ist aber eine Daueremissionsquelle. In geringerem Maße gilt dies auch für Sammelbehälter intakter Leuchtstoffröhrchen und Leuchtstoffröhren.

Die Wirksamkeit einer Arbeitsplatzabsaugung am Demontagearbeitsplatz kann auf Grund der vorhandenen Daten nur eingeschränkt beurteilt werden, da nur fünf Messungen mit Absaugung vorlagen. Der Vergleich der Messdaten bis zum 95. Perzentil lässt keinen Unterschied der Exposition bei der Demontage mit Absaugung und ohne Absaugung erkennen.

Vereinzelt wurden stark zerstörte Bildschirme mit hohem Röhrchenbruchanteil (bis ca. 60 %) angeliefert. Dies lag nach Ansicht der Demontagebetriebe an einer mangelhaften Sammlung und an ungünstigen Transportbedingungen der Geräte. Auch diese Geräte führten nicht zu erhöhten Quecksilberkonzentrationen. Vermutlich wurde das aus den zerbrochenen Röhrchen emittierte Quecksilber auf dem Transportweg von der Sammlung über die Lagerung bis zum Demontageplatz bereits überwiegend an die Umwelt abgegeben. Bei Einhaltung des ElektroG dürften solche Mängel nur in Ausnahmefällen, z. B. bei einer Havarie, auftreten.

Die Faktoren für das Verhältnis der Konzentrationen von Nahbereich (Messung direkt am Demontagearbeitsplatz) zu Fernbereich (Messung an anderen Arbeitsplätzen, ca. drei bis sechs Meter vom Nahbereich entfernt) lagen zwischen 1,1 und 3,6. Der Faktor 1 bedeutet, dass es keinen Unterschied zwischen dem Demontagearbeitsplatz und dem Fernbereich gibt. Der höchste Faktor wurde an einem Arbeitsplatz ermittelt, an dem sich im Nahbereich ein offener Sammelbehälter für defekte Röhrchen befand. Somit ist das erhöhte Konzentrationsverhältnis erklärbar.

# 6 Schutzmaßnahmen und Wirksamkeitsprüfung

Die Schutzmaßnahmen orientieren sich am Schutzziel. Grundvoraussetzung für sicheres Arbeiten ist hier die Unterschreitung der Grenzwerte. Die in dieser EGU dargestellten Messergebnisse belegen, dass die Expositionen bei Tätigkeiten an Arbeitsplätzen der Flachbildschirmdemontage so niedrig sind, dass der AGW für Quecksilber eingehalten wird. Das Minimierungsgebot ist bei Einhaltung der unten genannten Maßnahmen ebenfalls erfüllt. Daneben sind die dermale und die orale Aufnahme zu vermeiden. Grundsätzlich sind die Schutzmaßnahmen nach TRGS 500 [9] zu beachten, die sich zum Teil in den unten genannten Punkten, angepasst an die Tätigkeiten, wiederfinden. Die Reihenfolge S-T-O-P (Substitution, Technik, Organisation, Persönlich) der Schutzmaßnahmen ist in der Gefahrstoffverordnung genannt. Nachfolgend werden die Schutzmaßnahmen beschrieben, die in der Regel an den untersuchten Arbeitsplätzen umgesetzt wurden und nach bisherigem Wissen die Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwerts und des Kurzzeitwerts für Quecksilber bei der Flachbildschirmdemontage erwarten lassen. Die unter 6.1 (Substitution) genannten Maßnahmen zu Gerätesammlung und -transport lagen nur eingeschränkt im Einflussbereich der Demontagebetriebe und wurden nicht in allen Betrieben eingehalten.

## 6.1 Substitution

An erster Stelle der Schutzmaßnahmen steht der Einsatz von Ersatzstoffen und Ersatzverfahren, die ein geringeres gesundheitliches Risiko aufweisen. Diese Methode der Gefährdungsminimierung ist bei der Demontage von Flachbildschirmen mit quecksilberhaltiger Hintergrundbeleuchtung nur bedingt anwendbar. Die angelieferten Flachbildschirme können naturgemäß nicht ersetzt werden. Die Marktentwicklung lässt erwarten, dass nach einem erhöhten Aufkommen von Flachbildschirmen mit quecksilberhaltiger Hintergrundbeleuchtung vermehrt Flachbildschirme mit LED- oder anderer quecksilberfreier Technik und somit ohne Quecksilberproblematik zum Recycling gelangen werden. Bis dahin sollte darauf geachtet werden, dass unter Beachtung der gesetzlichen Bestimmungen die zur Demontage vorgesehenen Altgeräte so wenig wie möglich beschädigt werden. Mit dem Zulieferer sind Verfahren zur Sammlung, dem Transport und der Entladung zu vereinbaren, bei denen die Beschädigung der Altgeräte weitgehend vermieden wird.

## 6.2 Technische Schutzmaßnahmen

### Allgemeine technische Schutzmaßnahmen

Folgende technische Maßnahmen sind am Arbeitsplatz mindestens zu gewährleisten:

- geschlossene Böden (verhindern das Eindringen von quecksilberkontaminiertem Glas oder Staub z. B. in Ritzen),
- Arbeitstische mit gut zu reinigenden Oberflächen und Aufkantung mit drei oder vier Kanten bzw. andere Vorrichtungen, um das Herabfallen von Röhrchen zu verhindern.

### Lüftungs- und Absaugmaßnahmen

Die Arbeitsstättenverordnung [4] beziehungsweise die Arbeitsstättenregel ASR 3.6 „Lüftung“ [24] fordern, dass ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft vorhanden sein muss. Dies kann durch natürliche Lüftung oder raumlufttechnische Anlagen erreicht werden.

Eine Reduzierung der Quecksilberbelastung durch arbeitsplatzbezogene Absaugmaßnahmen wie zum Beispiel Absaugkabinen und Abzüge konnte durch die vorliegenden Ermittlungen nicht nachgewiesen werden.

Die Messergebnisse begründen keine Forderung für den Einsatz einer Arbeitsplatzabsaugung oder einer raumlufttechnischen Anlage.

### Sammelbehälter für Bruch

Sammelbehälter für Bruch müssen entsprechend TRGS 510 [25] so beschaffen und geeignet sein, dass vom Inhalt nichts ungewollt nach außen gelangen kann. Diese Voraussetzungen gelten als erfüllt, wenn die Verpackung/der Behälter die Anforderungen an die Beförderung gefährlicher Güter erfüllt.

Behälter für Bruch sollen verschlossen sein und nur zur Beschickung geöffnet werden. Das Abheben von großen Deckeln (z. B. vertikales Öffnen der Deckel von

Spannringfässern) kann durch die Sogwirkung kurzzeitig zu erhöhten Quecksilberemissionen führen. Öffnungen für den Einwurf von Glasbruch sollen daher nur so groß wie unbedingt notwendig sein (siehe Fotos „Sammelbehälter für Bruch“). Wird ein Deckel mit ausreichend reduzierten Einwurföffnungen verwendet, kann die Quecksilberemission durch das Öffnen reduziert werden. Vor dem Abtransport muss der Originaldeckel aufgesetzt werden. Der Behälter sollte dazu in einen gut belüfteten Raum oder in den Außenbereich gebracht und der Deckel langsam, möglichst horizontal, geöffnet werden.

## 6.3 Organisatorische Schutzmaßnahmen

### Betriebsanweisung und Unterweisung

Für die Tätigkeiten der Flachbildschirmdemontage sind Betriebsanweisungen nach TRGS 555 [26] in einer für die Beschäftigten verständlichen Form und Sprache zu erstellen.

Nach GefStoffV dürfen Tätigkeiten mit Stoffen und Gemischen, die wie Quecksilber als akut toxisch Kategorie 2, reproduktionstoxisch Kategorie 1B oder als spezifisch zielorgantoxisch Kategorie 1 eingestuft sind, nur von fachkundigen oder besonders unterwiesenen Personen ausgeführt werden.

Die Beschäftigten sind arbeitsplatzbezogen an Hand der Betriebsanweisung für die Flachbildschirmdemontage besonders zu unterweisen. Der zerstörungsfreie Ausbau der Leuchtstoffröhrchen und der Umgang mit Bruch stehen gefahrstoffbezogen im Mittelpunkt. Die erste Unterweisung muss vor Beginn der Tätigkeiten erfolgen. Wiederholungsunterweisungen müssen mindestens einmal jährlich durchgeführt werden.

### Anlieferung

Eine möglichst zerstörungsfreie Anlieferung ist in den §§ 10, 14 und 15 ElektroG gesetzlich gefordert (siehe auch Abschnitt 6.1, Substitution). Zwar wurden bei den vorliegenden Messungen auch bei zerstörten Geräten keine Belastungen über dem AGW am Arbeitsplatz festgestellt, die Quecksilberfreisetzung an die Umwelt soll aber ebenfalls berücksichtigt und vermieden werden.

### Demontage

Bei Monitoren und Laptops sollen die Leuchtmittel bei der Demontage nach Möglichkeit in der Metallhalterung belassen werden – dadurch wird die Bruchgefahr reduziert.

### Arbeitsplatzhygiene

Es ist für angemessene Hygienemaßnahmen, insbesondere die regelmäßige Reinigung des Arbeitsplatzes zu sorgen. Die Beseitigung von Verunreinigungen hat staubarm zu erfolgen.

Werden Industriestaubsauger zur Reinigung eingesetzt, muss berücksichtigt werden, dass sich in den Geräten Quecksilber anreichern kann. Die Eignung der Geräte und die Art der Gerätereinigung sind mit dem Hersteller abzuklären.

Quecksilberemissionen sollen nicht oder so wenig wie möglich in permanent besetzte Arbeitsbereiche gelangen. Daher sind nachfolgende Maßnahmen zu beachten:

Zerbrochene Leuchtmittel sind bei Demontage-Arbeitsplätzen ohne Absaugung unmittelbar, spätestens aber nach Abschluss der Demontage des betroffenen Geräts vom Arbeitsplatz zu entfernen und in einen geeigneten Sammelbehälter für Bruch zu bringen. Geeignete Sammelbehälter weisen nur geringe Emissionsraten auf (siehe Abschnitt 6.2, Technische Schutzmaßnahmen, Sammelbehälter für Bruch).

### Innerbetriebliche Lagerung und Transport

Der Arbeitgeber hat laut GefStoffV und TRGS 510 [25] sicherzustellen, dass Stoffe und Gemische, die wie Quecksilber als akut toxisch Kategorie 2 oder spezifisch zielorgantoxisch Kategorie 1 eingestuft sind, in geeigneten Behältern (siehe Abschnitt 6.2), identifizierbar, an geeignetem Lagerort (siehe unten) und unter Verschluss oder so aufbewahrt oder gelagert werden, dass nur fachkundige und zuverlässige Personen Zugang haben. Stoffe mit Eigenschaften wie Quecksilber dürfen gemäß Nummer 1, Tabelle 1 der

TRGS 510 [25] bis zu 50 kg außerhalb von Lagern gelagert werden. Bei der Sammlung von Leuchtstoffröhrchen aus Bildschirmgeräten und deren Bruch ist es aufgrund des geringen Quecksilberanteils in den Röhrchen (wenige mg pro Gramm Glasmasse) unwahrscheinlich, dass die Menge von 50 kg an Quecksilber erreicht wird.

Nachfolgend werden vorrangig Punkte für die Lagerung und den Transport genannt, die der Reduzierung der Exposition und auch der Reduzierung der Grundbelastung im Arbeitsbereich dienen.

### Standort für Sammelbehälter

Sammelbehälter für Leuchtmittel oder für Leuchtmittelbruch können potenzielle Emissionsquellen darstellen. Diese Sammelbehälter sollen an einem gut belüfteten Ort und ausreichend weit entfernt von permanenten Arbeitsplätzen stehen, zum Beispiel im Lager oder im überdachten Außenbereich. Sonneneinstrahlung und andere Wärmequellen sollen vermieden werden, um die Quecksilber-Verdampfungsrate möglichst gering zu halten.

Sammelbehälter für Leuchtmittel dürfen nur außerhalb der Verkehrswege aufgestellt werden, um mechanische Einwirkungen, z. B. durch eine Havarie mit innerbetrieblichen Beförderungsmitteln und damit Leuchtmittelbruch zu verhindern.

### Transport

Beim Transport von Sammelbehältern ist zu vermeiden, dass bislang unzerstörte Leuchtmittel beschädigt werden. Beim Aufnehmen und Abstellen ist erschütterungsarm zu arbeiten.

### Lagerung

Quecksilberhaltige Röhrchen und Röhrchenbruch werden üblicherweise in ortsbeweglichen Behältern gelagert. Die TRGS 510 [25] beschreibt die Anforderungen an eine sichere Lagerung und ist daher im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu beachten. Für Stoffe mit Eigenschaften wie Quecksilber bestimmt der Anwendungsbereich in Nummer 1 (Tabelle 1) der TRGS eine Grenze von 50 kg, unterhalb derer die Lagerung außerhalb von Lagern erlaubt ist. Mehr als 50 kg Quecksilber wird für die Sammlung von Leuchtstoffröhrchen aus Bildschirmgeräten für unwahrscheinlich gehalten und daher für die weiteren Ausführungen nicht berücksichtigt. Es empfiehlt sich, die Quecksilbermasse zu berechnen, z. B. aus der Gesamtmasse der Röhrchen, und diesen Wert als Nachweis für die Gefährdungsbeurteilung zu dokumentieren. Die Unterschreitung der 50 kg-Grenze ermöglicht die Anwendung der Nummer 4.2, die allgemeine Schutzmaßnahmen für die Lagerung von Gefahrstoffen beschreibt. Im Zusammenhang mit quecksilberhaltigen Röhrchen gehören hierzu: geeignete Behälter, Identifizierbarkeit (Kennzeichnung) der gelagerten Stoffe, geeignete Lagerorte, Lagerung unter Verschluss oder so, dass nur fachkundige und zuverlässige Personen Zugang haben.

Die Nummern 5 bis 12 der TRGS 510 [25] müssen ebenfalls berücksichtigt werden, soweit sie Quecksilber betreffen.

Es wird empfohlen, mindestens im Rahmen der regelmäßigen Überprüfung dieser EGU, die jeweils gültige Fassung der TRGS 510 heranzuziehen und den Geltungsbereich und die angewandten Schutzmaßnahmen abzugleichen.

## 6.4 Persönliche Schutzmaßnahmen

Persönliche Schutzausrüstung muss die Augen vor Splittern, sowie die Hände vor Schnittverletzungen schützen. Eine Ausstattung mit Schutzbrille und schnittfesten Handschuhen ist ausreichend. Gleichzeitig sollen die schnittfesten Handschuhe die für den Ausbau der Röhrchen benötigte Feinfühligkeit erhalten.

Die übliche persönliche Hygiene am Arbeitsplatz vermeidet die Quecksilberkontamination von Oberflächen, Kleidung oder Schutzhandschuhen und verhindert, dass Quecksilber z. B. über die Hände in den Verdauungstrakt gelangt.

Bei der Demontage von Flachbildschirmen sind bei Beachtung der genannten Maßnahmen keine weiteren persönlichen Schutzmaßnahmen gegen eine inhalative Quecksilberexposition erforderlich.

Können unfallartige Ereignisse auftreten, bei denen Quecksilber in größerer Menge freigesetzt werden kann (z. B. große Mengen von Bruch in geschlossenen oder teilweise geschlossenen Räumen), hat der Arbeitgeber geeigneten Atemschutz bereitzustellen. Dabei ist die DGUV Regel 112-190 „Benutzung von Atemschutz“ zu beachten [27]. Geeignet sind unter anderem nicht

belastende, Gebläse unterstützte Hauben mit Hg-P3-Filter oder Halbmasken mit Hg-P3-Filter.

## 6.5 Arbeitsmedizinische Vorsorge

Die arbeitsmedizinische Vorsorge ist in der ArbMedVV [6] geregelt und unterscheidet zwischen Pflicht-, Angebots- und Wunschvorsorge. Die Anlässe für die Vorsorgearten sind in Anhang I der ArbMedVV geregelt. Entscheidendes Kriterium ist die Höhe der Exposition, das heißt Einhaltung oder Überschreitung des Arbeitsplatzgrenzwerts (AGW) oder des Biologischen Grenzwerts (BGW). Die unvermeidbare Exposition gegenüber Quecksilber macht, unabhängig von der Expositionshöhe, eine arbeitsmedizinische Angebotsvorsorge erforderlich. Die geringen inhalativen Expositionen lassen für die in dieser EGU beschriebenen Tätigkeiten und Rahmenbedingungen keine Pflichtvorsorge erforderlich erscheinen. Zudem ist auf Grund der geringen Luftkonzentrationen eine Überschreitung des BGW unwahrscheinlich. Biomonitoring-Untersuchungen und parallel durchgeführte Arbeitsplatzmessungen wurden bei der Sammlung von quecksilberhaltigen Leuchtmitteln durchgeführt und ergaben dort, dass bei den anfallenden Tätigkeiten der AGW und der BGW unterschritten wurden [28].

# Literatur

Nachstehend sind die insbesondere zu beachtenden einschlägigen Vorschriften, Regeln und Informationen zusammengestellt. Die zitierten Schriften sind in der jeweils aktuellen Fassung anzuwenden.


[1] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutze zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitschutzgesetz – ArbSchG) vom 07. August 1996; Stand 15.07.2024. Im Internet verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/arbschg/

[2] Siebtes Buch Sozialgesetzbuch – Gesetzliche Unfallversicherung (SGB VII) vom 07. August 1996; Stand 23.10.2024. Im Internet verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/sgb_7/

[3] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010; Stand 02.12.2024. Im Internet verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv_2010/

[4] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004; Stand 27.03.2024. Im Internet verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/arbst_ttv_2004/

[5] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV) vom 03. Februar 2015; Stand 27.07.2021. Im Internet verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/betrsichv_2015/

[6] Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) vom 18. Dezember 2008; Stand 12.07.2019. Im Internet verfügbar unter: http://www.gesetze-im-internet.de/arbmedvv/

[7] Technische Regel für Gefahrstoffe: Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (TRGS 400). Ausgabe Juli 2017; Stand 08.09.2017. Im Internet verfügbar unter: https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-400

[8] Technische Regel für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). Ausgabe September 2023; Stand 11.09.2023. Im Internet verfügbar unter: https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-402

[9] Technische Regel für Gefahrstoffe: Schutzmaßnahmen (TRGS 500). Ausgabe September 2019; Stand 31.01.2020. Im Internet verfügbar unter: https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-500

[10] Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG) vom 20. Oktober 2015; Stand 08.12.2022. Im Internet verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/elektrog_2015/

[11] Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 31A – Anforderungen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten -Altgeräte-Merkblatt- (M31). Stand Mai 2024. Im Internet verfügbar unter: https://www.laga-online.de/documents/m-31-a-1517834714_2_1754374452.pdf

[12] Quecksilberportal: http://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/praxishilfen-gefahrstoffe/quecksilber-beim-recycling/index.jsp

[13] Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). Ausgabe Januar 2006; Stand 06.05.2025. Im Internet verfügbar unter: https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-900

[14] Technische Regel für Gefahrstoffe: Biologische Grenzwerte (BGW) (TRGS 903). Ausgabe Februar 2013; Stand 10.10.2024. Im Internet verfügbar unter: https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-903

[15] Technische Regel für Gefahrstoffe: Gefährdung durch Hautkontakt – Ermittlung – Beurteilung – Maßnahmen (TRGS 401). Ausgabe Oktober 2022; Stand 19.09.2024. Im Internet verfügbar unter: https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-401

[16] Bundesgesundheitsbl (2009) Addendum zur „Stoffmonographie Quecksilber – Referenz- und Human-Biomonitoring-Werte“ der Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes, 52:1228–1234. Im Internet verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/addendum_hg_2009.pdf

[17] Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates 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 (CLP-Verordnung); Stand 01.09.2025. Im Internet verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32008R1272

[18] Thullner, I.; Buchwald, K.-E.; Wegscheider, W.; Hohenberger, L.: Quecksilberemissionen bei der Sammlung und Entsorgung von Leuchtmitteln. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 73 (2013) Nr. 1-2, S. 14-24. Im Internet verfügbar unter: https://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2013_002.pdf

[19] Entsorgung von Flachbildschirmen in der Schweiz. Schlussbericht EMPA und SWICO-Recycling, März 2011. Im Internet verfügbar unter: https://www.swico.ch/media/filer_public/1c/4d/1c4d7923-7c18-4023-a514-3377fc95f99a/entsorgung_von_flachbildschirmen_in_der_schweiz.pdf

[20] Hahn, J.: Quecksilber (Kennzahl 8530). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Lfg. IV/05. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989 - Losebl.-Ausg. Im Internet verfügbar unter: www.ifa-arbeitsmappedigital.de/8530

[21] Handlungsanleitung zum MGU-Messprogramm Nr. 9167 „Quecksilberexpositionen durch Leuchtmittel und LCD-Geräte“; Stand 24.01.2014.

[22] Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis „Elektroschrottrecycling – Tätigkeiten mit Gefahrstoffen bei der manuellen Zerlegung von Bildschirm- und anderen Elektronikgeräten“, Herausgeber: Regierungspräsidium Kassel, Mai 2011. Im Internet verfügbar unter: https://rp-kassel.hessen.de/sites/rp-kassel.hessen.de/files/2022-11/handlungsanleitung_zur_guten_arbeitspraxis_e_schrottrecycling.pdf

[23] Walter, E.: Entwicklung einer Demontagesicherheitswerkbank für die Sekundärrohstoffgewinnung, Abschlussbericht über das Forschungs- und Entwicklungsprojekt, gefördert unter dem Az: 27103 – 21/2 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Juni 2010.

[24] Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.6: Lüftung. Ausgabe Januar 2012; Stand Mai 2018. Im Internet verfügbar unter: https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/ASR/ASR-A3-6

[25] Technische Regel für Gefahrstoffe: Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern (TRGS 510). Ausgabe Dezember 2020; Stand 16.02.2021. Im Internet verfügbar unter: https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-510

[26] Technische Regel für Gefahrstoffe: Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten (TRGS 555). Ausgabe Februar 2017; Stand 20.04.2017. Im Internet verfügbar unter: https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-555

[27] DGUV Regel 112-190 „Benutzung von Atemschutzgeräten“. Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin, 2021. Im Internet verfügbar unter: https://publikationen.dguv.de/regelwerk/dguv-regeln/1011/benutzung-von-atemschutzgeraeten

[28] Paul, R.; Hebisch, R.;· Fröhlich, N.: Quecksilberbelastung durch ausgesonderte Energiesparlampen in kommunalen Sammelstellen. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 66 (2016 ) Nr. 5, S. 297-301. Im Internet verfügbar unter: https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Aufsaetze/artikel400

## Weitere Informationsquellen

Praxishilfen des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA):

Quecksilberexpositionen durch Leuchtmittel und LCD-Geräte, abrufbar unter: http://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/praxishilfen-gefahrstoffe/quecksilber-beim-recycling/index.jsp

Gefahrstoffinformationssystem (GESTIS) des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA):

GESTIS-Stoffdatenbank abrufbar unter: http://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-stoffdatenbank/index.jsp

# Anhang 1
# Auszug aus dem ElektroG

Nachfolgend werden einige Passagen aus dem ElektroG vorgestellt. Markiert sind Texte, die Relevanz für die Quecksilberbelastung an Demontagearbeitsplätzen haben können.

## § 10 Getrennte Erfassung

(1) Besitzer von Altgeräten haben diese einer vom unsortierten Siedlungsabfall getrennten Erfassung zuzuführen. Sie haben Altbatterien und Altakkumulatoren, die nicht vom Altgerät umschlossen sind, vor der Abgabe an einer Erfassungsstelle von diesem zu trennen. Satz 2 gilt nicht, soweit nach § 14 Absatz 5 Satz 2 und 3 Altgeräte separiert werden, um sie für die Wiederverwendung vorzubereiten.

(2) Die Erfassung nach Absatz 1 hat so zu erfolgen, dass die spätere Vorbereitung zur Wiederverwendung, die Demontage und das Recycling nicht behindert werden.

(3) Bis zum 31. Dezember 2015 sollen durchschnittlich mindestens vier Kilogramm Altgeräte aus privaten Haushalten pro Einwohner und Jahr getrennt erfasst werden. Wurden in den drei Vorjahren durchschnittlich …

## § 14 Bereitstellen der abzuholenden Altgeräte durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger

(1) Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger stellen die von den Herstellern oder im Fall der Bevollmächtigung nach § 8 von deren Bevollmächtigten abzuholenden Altgeräte an von ihnen eingerichteten Übergabestellen in folgenden Gruppen in geeigneten Behältnissen unentgeltlich bereit:

- Gruppe 1: Haushaltsgroßgeräte, automatische Ausgabegeräte,
- Gruppe 2: Kühlgeräte, ölgefüllte Radiatoren,
- Gruppe 3: Bildschirme, Monitore und TV-Geräte,
- Gruppe 4: Lampen,
- Gruppe 5: Haushaltskleingeräte, Informations- und Telekommunikationsgeräte, Geräte der Unterhaltungselektronik, Leuchten und sonstige Beleuchtungskörper sowie Geräte für die Ausbreitung oder Steuerung von Licht, elektrische und elektronische Werkzeuge, Spielzeuge, Sport- und Freizeitgeräte, Medizinprodukte, Überwachungs- und Kontrollinstrumente und
- Gruppe 6: Photovoltaikmodule

In der Gruppe 1 sind Nachtspeicherheizgeräte, die Asbest oder sechswertiges Chrom enthalten, und in der Gruppe 5 batteriebetriebene Altgeräte getrennt von den anderen Altgeräten in einem eigenen Behältnis zu sammeln.

(2) Die Behältnisse müssen so befüllt werden, dass ein Zerbrechen der Altgeräte möglichst vermieden wird. Die Altgeräte dürfen in den Behältnissen nicht mechanisch verdichtet werden.

(3) Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger melden der Gemeinsamen Stelle die zur Abholung bereitstehenden Behältnisse, wenn bei den Gruppen 1 bis 3 und 5 eine Abholmenge von mindestens 30 Kubikmetern pro Gruppe, bei Nachtspeicherheizgeräten der Gruppe 1 ….

(4) An der Sammelstelle sind eine Separierung von Altgeräten, eine nachträgliche Entnahme aus den Behältnissen sowie die Entfernung von Bauteilen aus oder von den Altgeräten unzulässig. Eine Veränderung ...

(5) Ein nach Landesrecht für die Verwertung und Beseitigung von Altgeräten zuständiger öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger kann sämtliche Altgeräte einer Gruppe für jeweils mindestens zwei Jahre von der Bereitstellung zur Abholung ausnehmen (Optierung). Abweichend von Absatz 4 Satz ….

## § 15 Aufstellen von Behältnissen durch die Hersteller oder deren Bevollmächtigte

(1) Die Hersteller oder im Fall der Bevollmächtigung nach § 8 deren Bevollmächtigte müssen die Behältnisse nach § 14 unentgeltlich aufstellen und abdecken. Satz 1 gilt nicht im Fall des § 14 Absatz 5. Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger können das Aufstellen nicht abdeckbarer Behältnisse ablehnen und melden die Ablehnung der zuständigen Behörde. In diesem Fall gilt das Behältnis als nicht aufgestellt.

(2) Die Behältnisse, außer denen für die Gruppen 4 und 6, müssen für die Aufnahme durch herkömmliche Abholfahrzeuge geeignet sein; Absatz 6 bleibt unberührt.

(3) Die Behältnisse müssen so beschaffen sein, dass die dort enthaltenen Altgeräte bruchsicher gesammelt werden können.

(4) Die zuständige Behörde trifft die im Einzelfall erforderlichen Anordnungen, um sicherzustellen, dass den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern die erforderliche Menge an Behältnissen zur Verfügung steht; hierbei berücksichtigt sie die von ihr geprüften Berechnungen der Gemeinsamen Stelle nach § 31 Absatz 8. Hierzu melden die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger der Gemeinsamen Stelle die erforderliche Anzahl der aufzustellenden Behältnisse.

(5) Im Fall des § 14 Absatz 5 gelten Absatz 1 Satz 1 und Absatz 3 für die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger entsprechend.

(6) Die Bundesregierung wird ermächtigt durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates weitergehende Anforderungen an die Behältnisse, in denen die Altgeräte gesammelt und transportiert werden sollen, festzulegen.

## § 20 Behandlung und Beseitigung

(1) Altgeräte sind vor der Durchführung weiterer Verwertungs- oder Beseitigungsmaßnahmen einer Erstbehandlung zuzuführen. Vor der Erstbehandlung ist zu prüfen, ob das Altgerät oder einzelne Bauteile einer Vorbereitung zur Wiederverwendung zugeführt werden können. Diese Prüfung ist durchzuführen, soweit sie technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist.

(2) Die Erstbehandlung und weitere Behandlungstätigkeiten haben nach dem Stand der Technik im Sinne des § 3 Absatz 28 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zu erfolgen. Bei der Erstbehandlung sind mindestens alle Flüssigkeiten zu entfernen und die Anforderungen an die selektive Behandlung nach Anlage 4 zu erfüllen. Andere Behandlungstechniken, die mindestens das gleiche Maß an Schutz für die menschliche Gesundheit und die Umwelt sicherstellen, können nach Aufnahme in Anhang VII der Richtlinie 2012/19/EU entsprechend dem Verfahren des Artikels 20 dieser Richtlinie ergänzend zu den Anforderungen nach Anlage 4 angewandt werden. Standorte für die Lagerung und Behandlung von Altgeräten müssen mindestens die technischen Anforderungen nach Anlage 5 erfüllen.

(3) Die Behandlung von Altgeräten kann auch außerhalb Deutschlands oder außerhalb der Europäischen Union durchgeführt werden. Die Voraussetzung ...

(4) Altgeräte, die nicht entsprechend den Anforderungen der Absätze 1 und 2 behandelt wurden, dürfen nicht beseitigt werden.

## Anlage 4 (zu § 20 Absatz 2)

(Fundstelle: BGBl. I 2015, 1764 - 1765)

Selektive Behandlung von Werkstoffen und Bauteilen von Altgeräten

**1.** Mindestens folgende Stoffe, Gemische und Bauteile müssen aus getrennt erfassten Altgeräten entfernt werden:
- **a.** quecksilberhaltige Bauteile wie Schalter oder Lampen für Hintergrundbeleuchtung;
- **b.** ….
- **j.** Flüssigkristallanzeigen (gegebenenfalls zusammen mit dem Gehäuse) mit einer Oberfläche von mehr als 100 Quadratzentimetern sowie hintergrundbeleuchtete Anzeigen mit Gasentladungslampen;
- **k.** …

**4.** Die folgenden Bauteile von getrennt erfassten Elektro- und Elektronik-Altgeräten sind wie angegeben zu behandeln:
- **a.** Kathodenstrahlröhren: Die fluoreszierende Beschichtung muss entfernt werden.
- **b.** Geräte, die Gase enthalten, die ozonabbauend sind …
- **c.** Gasentladungslampen: Das Quecksilber muss entfernt werden.

**5.** Unter Berücksichtigung des Umweltschutzes und der Tatsache, dass die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling wünschenswert sind, sind die Nummern 1 bis 4 so anzuwenden, dass die umweltge-

rechte Vorbereitung zur Wiederverwendung und das umweltgerechte Recycling von Bauteilen oder ganzen Geräten nicht behindert wird.

6. Bei der Aufbereitung von Lampen zur Verwertung ist für Altglas ein Quecksilbergehalt von höchstens 5 Milligramm je Kilogramm Altglas einzuhalten.
7. Bildröhren sind im Rahmen der Behandlung vorrangig in Schirm- und Konusglas zu trennen.
8. Gasentladungslampen sind ausreichend gegen Bruch gesichert zu lagern und zu transportieren.

## Anlage 5 (zu § 20 Absatz 2 Satz 4)

(Fundstelle: BGBl. I 2015, 1766)

Technische Anforderungen an Standorte für die Lagerung und Behandlung von Altgeräten

1. Standorte für die Lagerung (einschließlich der Zwischenlagerung) von Elektro- und Elektronik-Altgeräten vor ihrer Behandlung (unbeschadet der Deponieverordnung):
   a. geeignete Bereiche mit undurchlässiger Oberfläche und Auffangeinrichtungen mit gegebenenfalls Abscheidern für auslaufende Flüssigkeiten und fettlösende Reinigungsmittel,
   b. geeignete Bereiche mit wetterbeständiger Abdeckung.
2. Standorte und Einrichtungen für die Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten:
   a. Waagen zur Bestimmung des Gewichts der behandelten Altgeräte,
   b. geeignete Bereiche mit undurchlässiger Oberfläche und wasserundurchlässiger Abdeckung sowie Auffangeinrichtungen mit gegebenenfalls Abscheidern für auslaufende Flüssigkeiten und fettlösende Reinigungsmittel,
   c. geeigneter Lagerraum für demontierte Einzelteile,
   d. …
   e. …

# Anhang 2
# **Auszug Laborbericht IFA**

Es wurden nachstellende Untersuchungen in einer Prüfkammer des Instituts für Arbeitsschutz (IFA) durchgeführt.

Grundlage der Prüfkammer-Untersuchungen des IFA waren Tätigkeitszenarien, die man bei der Sammlung und Entsorgung von Altlampen sehr häufig beobachten kann und die den Bruch quecksilberhaltiger Leuchtmittel an Arbeitsplätzen simulierten.

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

**Nachstellungen Teil 1: Freisetzung von Quecksilber während der Demontage von LCD-Flachbildschirmen**

Im Arbeitsbereich der Zerlegung und Entsorgung von LCD-Flachbildschirmen werden im Bildschirmgehäuse integrierte Leuchtstoffröhren (CCFL) von Beschäftigten ausgebaut. Dabei lässt es sich nicht ganz verhindern, dass die zwei bis drei Millimeter dünnen Röhrchen aus Glas zerbrechen und Quecksilberdämpfe freigesetzt werden. Aus diesem Grunde sollte das Zerbrechen von CCFL- Röhrchen – vergleichbar mit Zuständen bei der Demontage von Flachbildschirmen im Recyclingbetrieb – in der Prüfkammer nachgestellt werden.

Die BGW stellte dem IFA Versuchsmaterial aus Recyclingbetrieben zur Verfügung. Zunächst wurden die dünnen CCFL-Röhrchen vorsichtig aus ihrer umhüllenden, schützenden Blecheinfassung ausgebaut. Daran anschließende Fallversuche der ausgebauten Röhrchen aus 1,20 m Tischhöhe auf eine Metallplatte sollten zeigen, auf welche Art und Weise Röhrchen zerbrechen, wie viele Bruchstücke entstehen und wie sich die Bruchstücke beim Auftreffen auf dem Boden verteilen. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden bei nachfolgenden Untersuchungen in einem 13-Liter Glasbehälter verschiedene Bruchvarianten- einfach, mehrfach bis vollständig zerkleinert-, detailliert untersucht. Die Variante, Röhrchen vollständig zu zerkleinern, entsprach der Nachstellung des Zertretens eines Röhrchens am Arbeitsplatz.

**Tabelle 6** Messergebnisse der Quecksilberfreisetzung beim Zerbrechen von CCFL- Leuchtstoffröhren

| Hersteller | Länge [mm] | Masse [g] | Messdauer [h] | Im Behälter gemessene Hg-Konzentration [µg/m³] | Aus dem Röhrchen freigesetzte Hg-Menge [µg] | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 355 | 2,1 | 16 | 20 | 0,3 | Röhrchen an einem Ende gebrochen |
| | 355 | 2,0 | 16 | 19 | 0,3 | Röhrchen in zwei Stücke zerbrochen |
| | 355 | 1,7 | 16 | 195 | 2,5 | Röhrchen in vier Stücke zerbrochen |
| | 355 | 2,0 | 3 * | 1790 | 23 | Röhrchen im Polyethylen-Beutel mit einem Hammer zerstoßen und vollständig in den 13 L Normbehälter überführt. |
| B | 480 | 1,8 | 3 * | 1550 | 20 | |
| C | 310 | 1,0 | 3 * | 1810 | 24 | |

* Wegen möglicher Überschreitung der oberen Messbereichsgrenze des Hg-Monitors wurde die Messung nach 3 Stunden abgebrochen

Bei den Untersuchungen im 13-Liter Normbehälter strömte der Probenvolumenstrom des direktanzeigenden Hg-Monitors im Kreislauf, d. h. verlustfrei sowohl durch den Normbehälter mit den Bruchstücken des Röhrchens als auch durch die Messküvette im Messgerät. Durch diese Versuchsanordnung konnte der Quecksilber- Konzentrationsverlauf im Behälter über einen Zeitraum bis zu 16 Stunden beobachtet werden. Tabelle 6 zeigt die Untersuchungsergebnisse der Bruchversuche mit CCFL-Leuchtstoffröhrchen im 13- Liter-Normbehälter.

## Messergebnisse: a) Fallversuche mit CCFL-Leuchtstoffröhrchen

Trotz aller Bemühungen insgesamt 22 Leuchtstoffröhrchen unterschiedlicher Hersteller vorsichtig aus der Blecheinfassung auszubauen, brachen zwei Röhrchen am Rand. Die Versuche, die nur zwei bis drei Gramm schweren Röhrchen aus einer Höhe von 1,20 Meter auf eine Metallplatte fallen zu lassen, um sie zu zerbrechen, waren häufig nicht erfolgreich und mussten wiederholt werden. Trafen Röhrchen parallel zu ihrer Längsachse auf die Metallplatte am Boden, zerbrachen sie meistens in drei oder auch mehr größere Teilstücke. Berührten Röhrchen zuerst an einem ihrer Enden im rechten Winkel die Bodenfläche, war es aufgrund der Abfederung durch abgeschnittene Kabelenden der Elektrode und der Silikondichtmasse am Röhrchenende noch schwieriger, ein Zerbrechen herbeizuführen. Bei diesem Falltest zerbrachen die untersuchten Röhrchen vorzugsweise in zwei Stücke.

## Messergebnisse: b) Zerbrechen von CCFL-Röhrchen im 13-Liter Behälter

Die Ergebnisse der Tabelle 6 zeigen, dass die freigesetzte Menge an Quecksilberdampf bei den Röhrchen, die nur an einer Stelle durchbrachen, egal ob mittig oder am Rand, im Beobachtungszeitraum relativ gering war. Vergleichsweise mehr Quecksilber wurde emittiert, wenn Röhrchen in vier oder mehrere Teile zerbrachen. Im Falle der worst-case Versuchsanordnung – feinteiliges Zerteilen eines Röhrchens mit einem Hammer – erreichte die Konzentration im Normbehälter dagegen schon nach drei Stunden die obere Messbereichsgrenze des direktanzeigenden Hg- Monitors von 2000 µg Hg /m$^3$. Für diesen Beobachtungszeitraum errechnet sich eine Quecksilberdampfemission von ca. 20 µg Hg pro CCFL- Röhrchen bezogen auf eine Leuchtröhrchenmasse von 2 g. Unter der worst-case Annahme, dass diese Menge an Quecksilberdampf sich nicht in drei Stunden, sondern schon innerhalb von 15 Minuten im Prüfraum (V = 42 m$^3$) homogen verteilt, entspräche dies einer Konzentration von 0,5 µg Hg /m$^3$ in der Prüfkammer.

Fazit: Die nach einem Röhrchenbruch entstehende Quecksilberemission wird vorrangig durch die Anzahl der Bruchstücke bzw. die Art und die Verteilung der Bruchstücke auf dem Boden bestimmt. Abmessungen (Länge, Durchmesser) und Masse eines Leuchtstoffröhrchens spielen offensichtlich nur eine untergeordnete Rolle. Die Untersuchungsergebnisse stützen die Beobachtung von Quecksilber-Messungen in der Praxis, dass beim Zerbrechen des Röhrchens in wenige Teilstücke nicht mit einer momentanen, höheren Freisetzung von Quecksilberdampf am Arbeitsplatz zu rechnen ist.

*Ende Auszug aus dem Laborbericht*

# Anhang 3
# **Fotos**



**Abb. 1** Demontagearbeitsplatz (nicht abgesaugt)



**Abb. 2** Demontagearbeitsplatz (abgesaugt), Quecksilbermessung an der Person

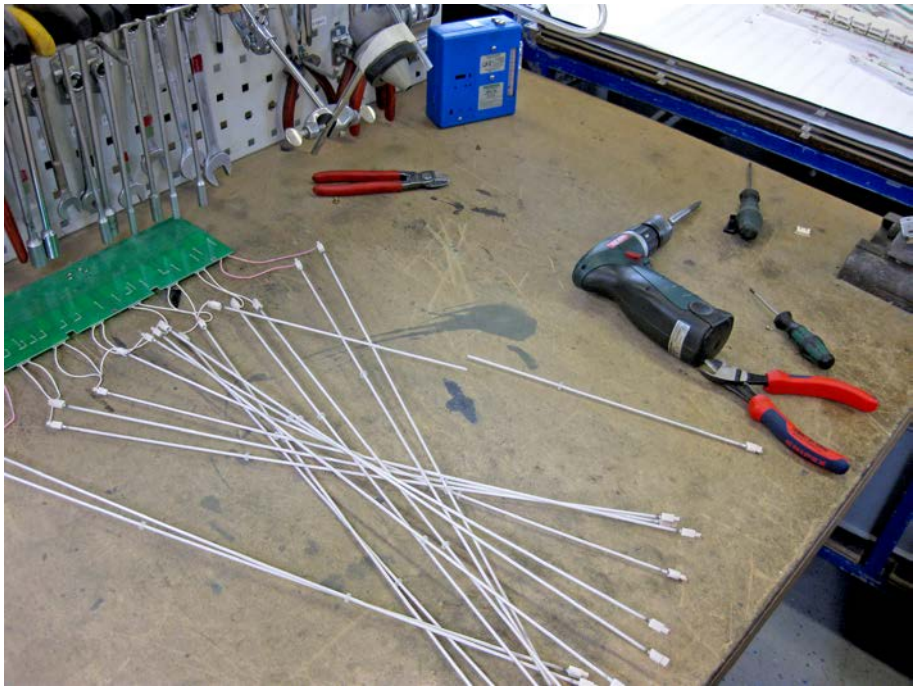


**Abb. 3** ausgebaute Röhrchen ohne Halterung (ein Röhrchenbruch provoziert), stationäre Quecksilberprobenahme (Bildmitte oben)



**Abb. 4** Sammelfass für Bruch mit modifiziertem Spannringdeckel (Verschlussstopfen für verkleinerte Einwurföffnung)



**Abb. 5** Sammelbehälter für unbeschädigt ausgebaute Röhrchen

# Anhang 4
# **Direktanzeigende Messungen**

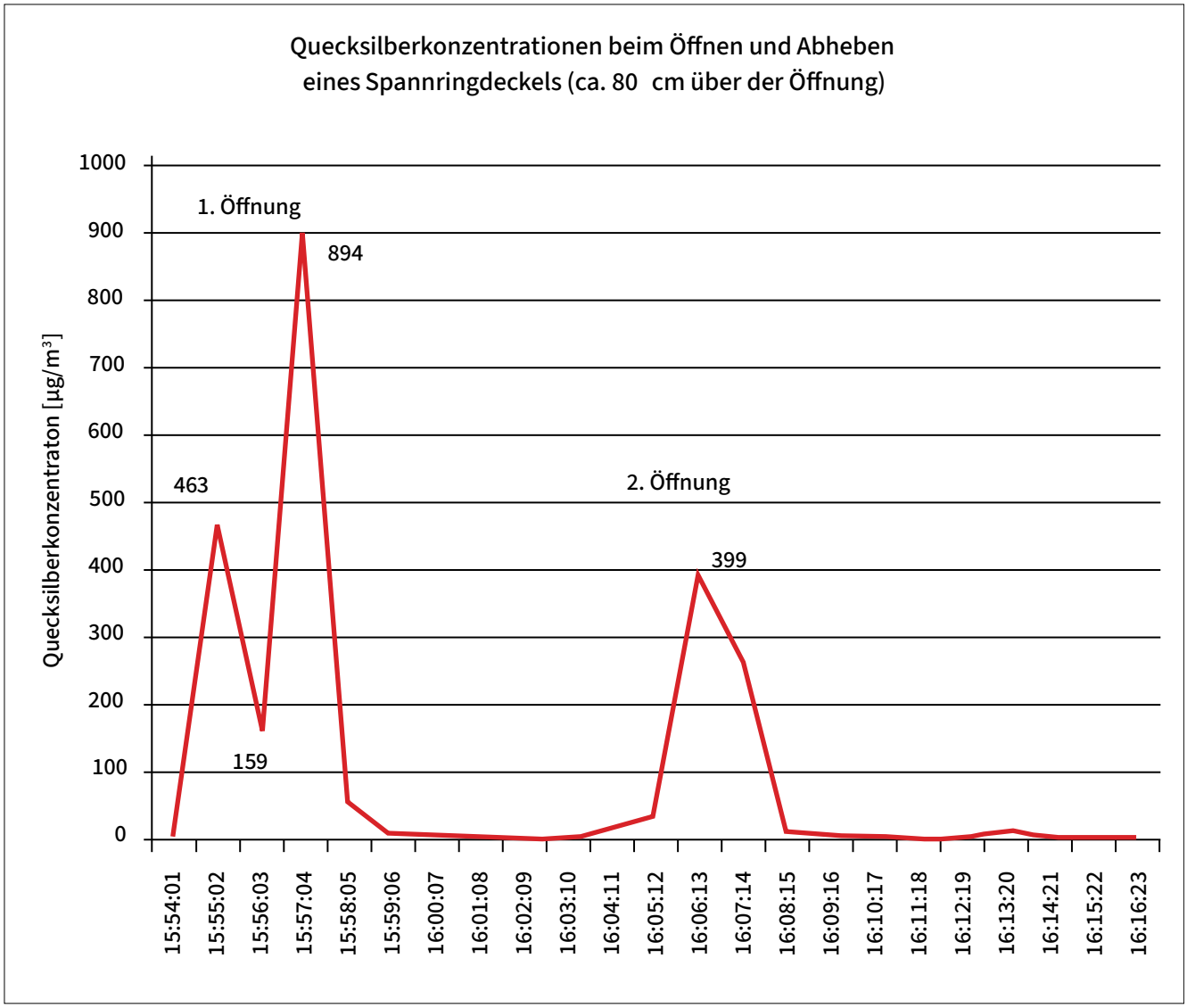



**Abb. 6** Quecksilberkonzentration beim Öffnen eines Bruchbehälters mit Glasbruch – vertikal Abheben des Spannringdeckels nach oben zum Einfüllen von Glasbruch

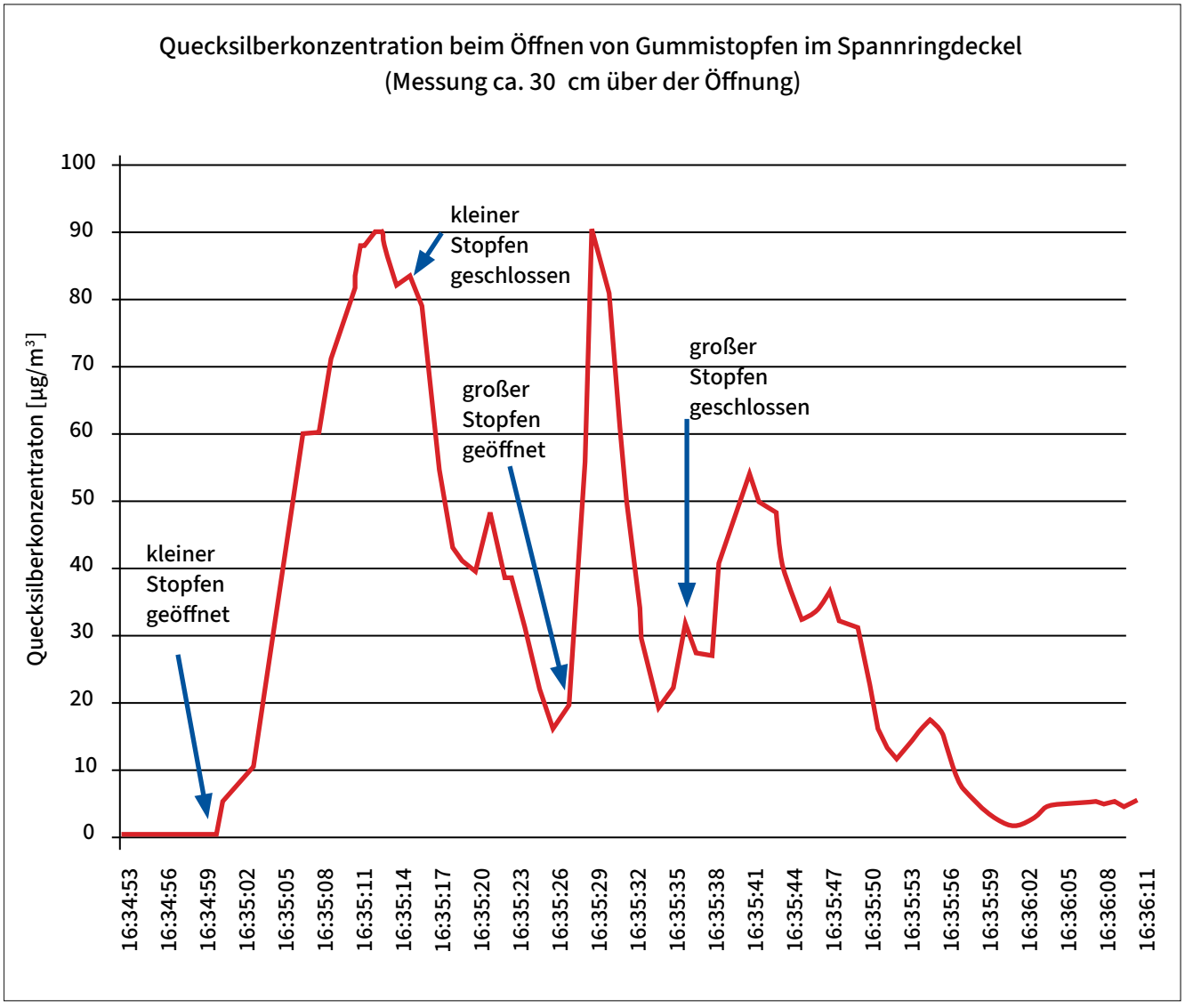



**Abb. 7** Quecksilberkonzentration beim Öffnen eines Bruchbehälters mit Glasbruch – Abnehmen kleiner Gummistopfen zum Einfüllen von Glasbruch –

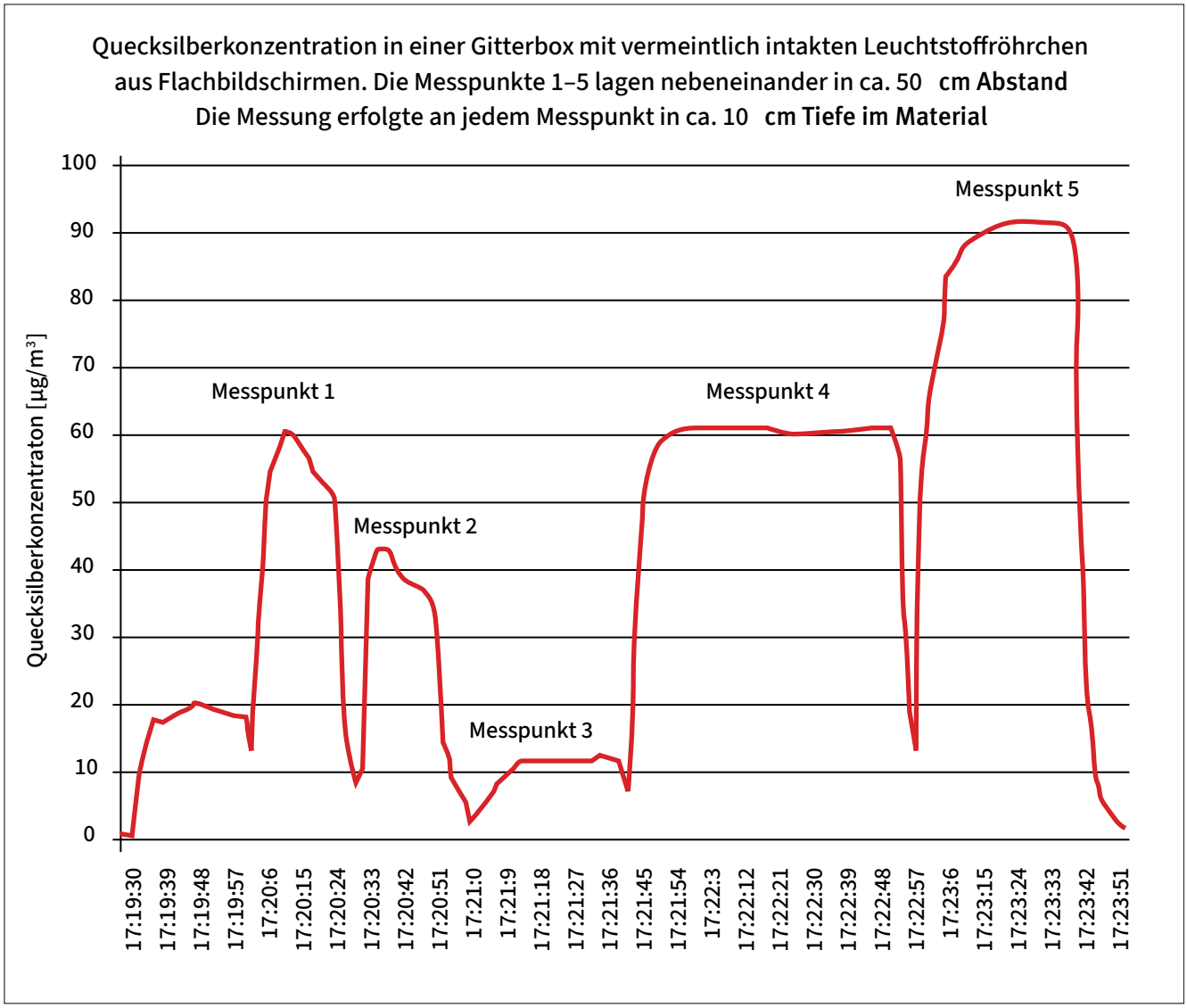



**Abb. 8** Quecksilberkonzentration in einer Gitterbox mit vermeintlich intakten Leuchtstoffröhrchen aus Flachbildschirmen

**Deutsche Gesetzliche**
**Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de