

Expositionsbeschreibung

Quecksilberexpositionen bei der Herstellung von Leuchtmitteln

Diese Expositionsbeschreibung wurde von der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM) erarbeitet.

Allgemeines

Die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [1] fordert die Unternehmen in § 6 Abs. 1 Nummer 3 auf, Art und Ausmaß der Exposition der Beschäftigten zu ermitteln. Dies kann durch Arbeitsplatzmessungen oder durch andere gleichwertige Beurteilungsverfahren erfolgen.

Expositionsbeschreibungen stellen ein geeignetes Beurteilungsverfahren für die bei der Herstellung von quecksilberhaltigen Leuchtmitteln auftretenden Quecksilberexpositionen dar und basieren auf Gefahrstoffmessungen in der Luft an Arbeitsplätzen.

Diese Expositionsbeschreibung kann entsprechend §§ 6 und 7 Gefahrstoffverordnung, § 3 Betriebs-sicherheitsverordnung [2] und § 5 Arbeitsschutzgesetz [3] bei der Durchführung der Gefährdungs-beurteilung sowie der daraus abzuleitenden Maßnahmen verwendet werden. Sie leistet Unter-stützung bei der Beurteilung der inhalativen Exposition gegenüber Quecksilber. Gefährdungen, z. B. durch Hautkontakt oder physikalisch-chemische Einwirkungen, sind getrennt zu betrachten. Die Verpflichtungen zum Einsatz von Stoffen und/oder Verfahren mit geringerem Risiko (TRGS 600 „Substitution“) [4], zur Beachtung der Rangfolge der Schutzmaßnahmen und zur Unterrichtung und Unterweisung der Beschäftigten usw. bleiben bestehen.

1 Anwendungsbereich

Über die europäische Richtlinie 2011/65/EU zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefähr-licher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (RoHS-Richtlinie) [5] sind Stoffverbote geregelt für neu in Verkehr gebrachte Elektro- und Elektronikgeräte, zum Beispiel für Quecksilber. Ausnahmen gelten u. a. für die Verwendung von Quecksilber in Leuchtmitteln. So darf beispielsweise in Kompaktleucht-stofflampen (KLL) bis 30 Watt der Quecksilbergehalt 2,5 mg nicht überschreiten. Bereits jetzt sind im Handel KLL erhältlich, die diese Werte deutlich unterschreiten (z. B. 1,5 mg). Stabförmige Standard-leuchtstoffröhren (LStR) dürfen je nach Typ zwischen 3,5 und 7 mg Quecksilber enthalten. Hoch-druck-Quecksilberdampflampen enthalten bis zu 30 mg Quecksilber und werden seit April 2015 nicht mehr in Verkehr gebracht (RoHS-Richtlinie 2011/65/EU, Anhang III) [5].

Je nach Leuchtmittelart erfolgt die Dosierung bei der Herstellung der Leuchtmittel entweder als metallisches Quecksilber (flüssig oder als Pressling in Verbindung mit einem festen Trägermaterial wie z. B. Eisenpulver) oder als Amalgampättchen/-stäbchen.

Bei der Herstellung von quecksilberhaltigen Leuchtmitteln ist in unterschiedlichen Arbeitsbereichen mit Quecksilberexpositionen zu rechnen.

Diese Expositionsbeschreibung gilt für die Herstellung von quecksilberhaltigen Leuchtmitteln und beschreibt die Expositionen gegenüber Quecksilber und seinen anorganischen Verbindungen. Sie gilt nicht für die Herstellung von Presslingen und Amalgamplättchen/-stäbchen.

Das Recycling von quecksilberhaltigen Leuchtmitteln wird gesondert in einer eigenen Expositionsbeschreibung behandelt. Für die Sammlung quecksilberhaltiger Leuchtmittel und für die Demontage von Flachbildschirmen mit quecksilberhaltigen Leuchtmitteln als Hintergrundbeleuchtung liegen jeweils Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach Gefahrstoffverordnung vor.

2 Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieser Expositionsbeschreibung werden folgende Begriffe bestimmt:

Quecksilberhaltige Leuchtmittel sind Gasentladungslampen, die Licht durch energetische Anregung von Quecksilberatomen erzeugen. Dazu zählen Kompaktleuchtstofflampen (KLL), umgangssprachlich auch Energiesparlampen genannt, Leuchtstoffröhren (LStR), Sonderformen von Leuchtstoffröhren, Hochdruck-Quecksilberdampflampen und Kaltkathodenlampen (CCFL = Cold Cathode Fluorescent Lamp) zur Hintergrundbeleuchtung von Flachbildschirmen.

Amalgam ist eine Legierung aus Quecksilber und unterschiedlichen Metallen. Das Amalgam wird in Form von Plättchen, Stäbchen oder Kügelchen in den Leuchtmitteln verbaut. Beim Betrieb wird im Inneren des Leuchtmittels aus dem Amalgam Quecksilberdampf freigesetzt. Beim Bruch des Leuchtmittels im Betrieb bzw. im warmen Zustand kann Quecksilberdampf freigesetzt werden. Im kalten Leuchtmittel liegt das Quecksilber in gebundener Form vor.

Presslinge werden verwendet, um Quecksilber in fester Form in die Leuchtmittel einzubringen. Dazu wird flüssiges Quecksilber mit Eisenpulver in einem definierten Mischungsverhältnis zu einem Festkörper verpresst. Dies erfolgt in der so genannten **Pillenfertigung**. Die Presslinge werden im Rahmen des weiteren Produktionsprozesses innerhalb der Produktionsanlage in den Leuchtmitteln verbaut. Beim Bruch des Leuchtmittels kann Quecksilberdampf freigesetzt werden.

Eine **Baugruppe** ist ein in sich geschlossener, aus zwei oder mehr Einzelteilen bestehender Gegenstand. Einzelteile sind nicht weiter zerlegbare Gegenstände.

3 Arbeitsverfahren/Tätigkeiten

Je nach Art des Leuchtmittels unterscheiden sich die Produktionsprozesse deutlich voneinander. In der Regel folgt der Produktionsprozess den folgenden Teilschritten: Nach der Vormontage von notwendigen Baugruppen, z. B. Sockel und Elektronik, werden die einzelnen Baugruppen zum fertigen Leuchtmittel zusammengebaut. Hierbei wird auch das Quecksilber je nach Leuchtmitteltyp in flüssiger Form, als Amalgamplättchen/-stäbchen oder als Pressling zugegeben. Im Rahmen des Zusammenbaus wird das Leuchtmittel je nach Bauart aktiviert und es erfolgt ein Funktionstest. Danach werden die Leuchtmittel weiter konfektioniert. Je nach Produktionsprozess werden auftretender Leuchtmittelbruch und funktionsuntüchtige Leuchtmittel ggf. geschreddert und einem Recycling zugeführt. Bei der Dosierung und dem Einbau der quecksilberhaltigen Baugruppen sowie immer dann, wenn Leuchtmittel zu Bruch gehen, ist mit einer Quecksilberexposition zu rechnen.

4 Gefahrstoffexposition

Nach der Verordnung (EG) 1272/2008 zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (CLP-Verordnung) [6] ist Quecksilber (Hg) als Gefahrstoff eingestuft (siehe Tabelle 1).

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

| Gefahrenklasse | Gefahren-kategorie | Piktogramm | 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 |

Zusätzlich ist Quecksilber mit dem Signalwort „Gefahr“ zu kennzeichnen.

In der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ (AGW) [7] ist für Quecksilber und seine anorganischen Verbindungen ein AGW in Höhe von 0,02 mg/m³ festgelegt. Kurzzeitig (15-Minuten-Mittelwert) darf das Achtfache des o. g. Wertes (0,16 mg/m³) nicht überschritten werden (Spitzenbegrenzung Kategorie II).

Die TRGS 903 „Biologische Grenzwerte (BGW)“ [8] enthält für Quecksilber einen BGW in Höhe von 25 µg/g Kreatinin.

Hauptaufnahmeweg von Quecksilber über die Dampfphase ist der Atemtrakt. Eine Aufnahme von flüssigem und gasförmigem elementarem Quecksilber durch die intakte Haut ist im Allgemeinen zu vernachlässigen. In den Verdauungstrakt gelangtes elementares Quecksilber wird nur sehr schlecht aufgenommen.

4.1 Ergebnisse der Arbeitsplatzmessungen

Grundlage der Auswertungen sind Messwerte zu Quecksilberexpositionen bei der Herstellung von Leuchtmitteln. Dazu wurden in den Jahren 2012 bis 2014 insgesamt 17 Messungen in sechs Betrieben durchgeführt. Aufgrund der geringen Anzahl der in Deutschland vorhandenen Betriebe und der damit verbundenen geringen Anzahl von Messwerten kann im Rahmen dieser Expositionsbeschreibung jedoch keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen vorgenommen und statistisch ausgewertet werden. Stattdessen wurde wie folgt nach der Art der Quecksilberzugabe in das Leuchtmittel unterschieden:

- Einbau von Amalgamplättchen oder -stäbchen
- Zugabe von Presslingen
- Dosierung von flüssigem Quecksilber.

Die Messungen erfolgten in Anlehnung an die TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“ [9] personenbezogen nach den in der IFA-Arbeitsmappe [10] aufgeführten Methoden. In den Tabellen 2 bis 4 sind für den Gefahrstoff Quecksilber die Anzahl der vorliegenden Messwerte, die Anzahl der Betriebe, der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW), der minimale und der maximale Messwert sowie der Median ausgewiesen. Die Messwerte beziehen sich auf die Arbeitsschicht. Es wurden nur personengetragene Messungen berücksichtigt.

In Tabelle 2 sind die Messergebnisse bei der Herstellung von Leuchtmitteln mit Amalgamplättchen und -stäbchen dargestellt. In den untersuchten Produktionsanlagen führten die Beschäftigten Kontroll- und Steuertätigkeiten durch und verbrachten Leuchtmittelbruch in aufgestellte Entsorgungsboxen. Darüber hinaus erfolgt bei der Sonderleuchtmittelfertigung die manuelle Zugabe von Amalgamstäbchen in die Glaskörper.

Tabelle 2: Messergebnisse Quecksilber bei der Herstellung von Leuchtmitteln mit Amalgam

| Gefahrstoff | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | AGW (mg/m ³) | Anzahl Messwerte < BG ¹⁾ | Minimaler Messwert (mg/m ³) | Median (mg/m ³) | Maximaler Messwert (mg/m ³) |
|-------------|------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|
| Quecksilber | 5 | 3 | 0,02 | 1 | 0,001 | 0,001 | 0,005 |

1) Bestimmungsgrenze (0,0002 mg/m³)

In Tabelle 3 sind die Messergebnisse bei der Herstellung von Leuchtmitteln mit Presslingen dargestellt. Die Beschäftigten führten Kontroll- und Einstellarbeiten sowie Arbeiten zur Störbeseitigung an der Produktionsanlage durch und füllten regelmäßig die Dosiereinheit mit Presslingen auf. Zudem wurde anfallender Bruch in Entsorgungsbehältern gesammelt.

Tabelle 3: Messergebnisse Quecksilber bei der Herstellung von Leuchtmitteln mit Presslingen

| Gefahrstoff | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | AGW (mg/m ³) | Anzahl Messwerte < BG ¹⁾ | Minimaler Messwert (mg/m ³) | Median (mg/m ³) | Maximaler Messwert (mg/m ³) |
|-------------|------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|
| Quecksilber | 5 | 1 | 0,02 | 1 | 0,0004 | 0,0005 | 0,0006 |

1) Bestimmungsgrenze (0,0002 mg/m³)

In Tabelle 4 sind die Messergebnisse bei der Herstellung von Leuchtmitteln mit flüssigem Quecksilber dargestellt. In der Regel handelt es sich hierbei um die Fertigung von Sonderlampen, z. B. für die Wasserdesinfektion mit ultraviolettem (UV-)Licht. Neben der Befüllung von Dosiereinheiten sowie Leuchtmittelkörpern mit flüssigem Quecksilber und den Nacharbeiten wie z. B. Verschweißen von

Anschlussstellen führten die Beschäftigten Kontroll- und Einstellarbeiten durch. An der Produktionsanlage auftretende Störungen wurden beseitigt und Lampenbruch in Entsorgungsboxen überführt.

In einem Fall entstand in einem Arbeitsbereich produktionsbedingt vermehrt Leuchtmittelbruch, der nicht zeitnah beseitigt wurde und so zu einem erhöhten Messwert der Quecksilberkonzentration von 0,017 mg/m³ führte. Dieser Messwert wurde in der statistischen Auswertung (Tabelle 4) nicht berücksichtigt.

Tabelle 4: Messergebnisse Quecksilber bei der Herstellung von Leuchtmitteln mit flüssigem Quecksilber

| Gefahrstoff | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | AGW (mg/m ³) | Anzahl Messwerte < BG ¹⁾ | Minimaler Messwert (mg/m ³) | Median (mg/m ³) | Maximaler Messwert (mg/m ³) |
|-------------|------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|
| Quecksilber | 7 | 4 | 0,02 | 2 | 0,002 | 0,003 | 0,010 |

1) Bestimmungsgrenze (0,0002 mg/m³)

Bei allen untersuchten Tätigkeiten wurde der AGW eingehalten. Verfahrensbedingt zeigen sich jedoch Unterschiede in der Höhe der Quecksilberexposition. Bei der Verwendung von flüssigem Quecksilber war sie am höchsten. Hohe Bruchraten im Produktionsprozess führen ebenfalls zu höheren Quecksilberexpositionen.

5 Schutzmaßnahmen

5.1 Allgemeine Anforderungen

An Arbeitsplätzen der Leuchtmittelherstellung sind allgemeine Schutzmaßnahmen nach GefStoffV umzusetzen und die in der TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“ [11] beschriebenen allgemeinen arbeitshygienischen Grundsätze zu beachten.

Technische Schutzmaßnahmen haben Vorrang vor organisatorischen und persönlichen Schutzmaßnahmen. Damit sollen die Freisetzung von Gefahrstoffen in den Arbeitsbereich des Beschäftigten möglichst vermieden bzw. ein Kontakt zu den Gefahrstoffen auf ein Mindestmaß beschränkt bleiben.

5.2 Lufttechnische Maßnahmen

Kann durch das Arbeitsverfahren nicht sicher ausgeschlossen werden, dass Gefahrstoffe in den Arbeitsbereich der Beschäftigten gelangen, müssen sie an ihrer Austritts- oder Entstehungsstelle erfasst (z. B. abgesaugt) und gefahrlos für Mensch und Umwelt fortgeleitet werden.

5.3 Lüftungsmaßnahmen im Raum

Eine technische Zu- und Abluftanlage im Raum ist immer dann erforderlich, wenn Absaugungen an Anlagen installiert sind oder wenn eine ausreichende Erfassung der Gefahrstoffe an der Entstehungs- oder Austrittsstelle nicht möglich ist. Die technische Lüftung hat die Aufgabe, einen

Ausgleich der Luftbilanzen im Raum sicherzustellen und ausreichend Frischluft in den Arbeitsbereich zu führen. Absaugungen an Anlagen und Raumlüftung müssen aufeinander abgestimmt sein.

Grundlage für die Auslegung und Planung lufttechnischer Anlagen sind die Luftströme, die zur Gefahrstofferrfassung (Erfassungsluftstrom) und zur Raumlüftung (Außen- und Umluftströme) benötigt werden. Sie sind entsprechend den jeweils zu erwartenden Stoff- und Wärmelasten zu bemessen.

Hinweise zu lufttechnischen Einrichtungen sind in der DGUV Regel 109-002 „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“ [12] enthalten.

5.4 Spezielle technische Maßnahmen

Lampenbruch ist möglichst zu vermeiden bzw. zu minimieren. Dennoch auftretender Lampenbruch ist in verschließbaren Behältern zwischenzulagern. Der Inhalt dieser Behälter ist täglich aus dem Arbeitsbereich zu entfernen und ordnungsgemäß zu entsorgen.

Flüssiges Quecksilber ist, z. B. bei der Portionierung für die Dosieranlage, in einem Abzug zu handhaben. Alle Behälter mit flüssigem Quecksilber sind nach Verwendung bzw. bei Nichtgebrauch zu verschließen.

5.5 Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

Sollte flüssiges Quecksilber doch freigesetzt werden, können Quecksilbertropfen mit einem durch Salzsäure angeätzten Zinkblech aufgenommen und in einem Sammelgefäß wieder abgeschüttelt werden (Sicherheitsgefäß unterstellen). Das Zinkblech ist zur Wiederverwendung an einer dauerabgesaugten Stelle zu lagern oder mit den Quecksilberresten zu entsorgen. Kleinere Mengen können mit handelsüblichen Quecksilberzangen aufgesammelt oder mit Spezialadsorbtionsmitteln gebunden und entsorgt werden [13].

Anschließend ist der Arbeitsbereich zu lüften und verschmutzte Gegenstände sowie der Boden sind zu reinigen. Bei den Tätigkeiten ist geeignete persönliche Schutzausrüstung zu tragen.

5.6 Organisatorische Maßnahmen

Im Rahmen seiner organisatorischen Maßnahmen hat der Unternehmer dafür zu sorgen, dass insbesondere folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Auswahl bzw. Errichtung und Betreiben von geeigneten Arbeitsstätten einschließlich Sanitär- und Sozialräumen
- Auswahl, Bereitstellung und Reinigung von Arbeitskleidung
- Reinigung der Arbeitsbereiche und Arbeitsumgebung
- Maßnahmen der persönlichen Hygiene
- Unterweisung der Beschäftigten über Gefahren und Schutzmaßnahmen anhand der Betriebsanweisung (TRGS 555 „Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten“) [14]; Unterweisungen vor Antritt der Beschäftigung und danach mindestens einmal jährlich durchführen
- Beschäftigungsbeschränkungen für Jugendliche nach dem Jugendarbeitsschutzgesetz sowie für werdende und stillende Mütter nach der Mutterschutzrichtlinienverordnung beachten.

- Das Betreten einzelner Betriebsbereiche ist nur den dort Beschäftigten gestattet. Entsprechende Hinweisschilder sind anzubringen (Zugangsbeschränkung).
- Flucht- und Rettungsplan aufstellen, wenn Lage, Ausdehnung und Nutzungsart der Arbeitsstätte dies erfordern.

5.7 Persönliche Schutzausrüstung

Geeignete persönliche Schutzausrüstung muss vom Unternehmer zur Verfügung gestellt werden, wenn trotz technischer und organisatorischer Schutzmaßnahmen der Arbeitsplatzgrenzwert oder der biologische Grenzwert (BGW) für Quecksilber nicht eingehalten werden. Dies kann z. B. bei Instandsetzungsarbeiten oder Störungsbeseitigung der Fall sein.

6 Anwendungshinweise

Die Anwenderin oder der Anwender dieser Expositionsbeschreibung muss bei Verfahrensänderungen und ansonsten regelmäßig, mindestens aber einmal jährlich, die Gültigkeit der Voraussetzungen überprüfen und das Ergebnis dokumentieren. Hierzu zählt unter anderem die Prüfung der unveränderten Gültigkeit dieser Expositionsbeschreibung. Die Überprüfung erfolgt im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 6 GefStoffV.

Die Expositionsbeschreibung gibt dem Betrieb praxisgerechte Hinweise zu Schutzmaßnahmen sowie Expositionshöhen gegenüber Quecksilber für die untersuchten Arbeitsbereiche.

Werden die Verfahrensparameter sowie die Schutzmaßnahmen eingehalten, kann davon ausgegangen werden, dass das Minimierungsgebot nach § 7 Abs. 4 der GefStoffV erfüllt ist.

Im Rahmen der vollständigen Gefährdungsbeurteilung wird zur Befundsicherung für die Exposition gegenüber Quecksilber an ständigen Arbeitsplätzen eine Gefahrstoffmessung empfohlen.

Bei Anwendung dieser Expositionsbeschreibung bleiben andere Anforderungen der GefStoffV, insbesondere die Informationsermittlung (§ 6) und die Verpflichtung zur Beachtung der Rangordnung der Schutzmaßnahmen (§ 7), bestehen.

7 Überprüfungen

Diese Expositionsbeschreibung wurde im Juli 2016 von der BG ETEM fertiggestellt. Sie wird in regelmäßigen Abständen überprüft. Notwendige Änderungen werden veröffentlicht.

8 Literatur

- [1] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010 (BGBl. I S. 1643), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 15. November 2016 (BGBl. I S 2549).
- [2] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV) vom 3. Februar 2015 (BGBl. I S. 49), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 10. November 2016 (BGBl. I S. 1257)
- [3] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG) vom 7. August 1996 (BGBl. I, S. 1246 ff.), zuletzt geändert durch Artikel 427 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474).
- [4] Technische Regel für Gefahrstoffe 600 „Substitution (TRGS 600)“. Ausgabe: August 2008. GMBI. Nr. 46/47 vom 22.09.2008, S. 970-989.
- [5] Richtlinie 2002/95/EG (Restriction of the Use of Hazardous Substances, RoHS) ersetzt durch die Richtlinie 2011/65/EU, national umgesetzt durch die Verordnung zur Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung – ElektroStoffV) vom 19. April 2013 (BGBl. I S. 1111), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 04. Juli 2016 (BGBl. I S. 1581) geändert worden ist.
- [6] CLP-Verordnung: Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen vom 16. Dezember 2008, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006..
- [7] Technische Regel für Gefahrstoffe 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900)“. Ausgabe: Januar 2006, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI. 2016 S. 886-889 [Nr. 45] vom 04.11.2016.
- [8] Technische Regel für Gefahrstoffe 903 „Biologische Grenzwerte (BGW) (TRGS 903)“. Ausgabe Februar 2013, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2015 S. 1189-1190 [Nr. 60] vom 06.11.2015.
- [9] Technische Regel für Gefahrstoffe 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402)“. Ausgabe: Februar 2010, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2016 S. 843-846 vom 21.10.2016 [Nr. 43].
- [10] IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. Erich Schmidt, Berlin 2011 – Losebl.-Ausg.
- [11] Technische Regel für Gefahrstoffe 500 „Schutzmaßnahmen (TRGS 500)“. Ausgabe: Januar 2008, ergänzt: Mai 2008.
- [12] DGUV Regel 109-002 „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“ (01.04). Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Fachausschuss Einwirkungen und arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren, 2004.

- [13] GESTIS-Stoffdatenbank: <http://www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank>.
- [14] Technische Regel für Gefahrstoffe 555 „Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten (TRGS 555)“, Ausgabe: Januar 2013, GMBI 2013 S. 321-327 vom 07.03.2013 [Nr. 15].