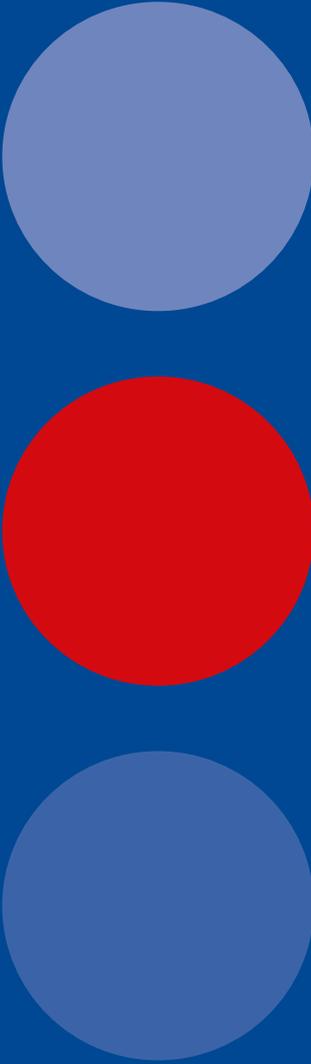


213-725

## DGUV Information 213-725



### **Manuelles Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie**

Empfehlungen Gefährdungsermittlung  
der Unfallversicherungsträger (EGU)  
nach der Gefahrstoffverordnung

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

**komm**it**mensch** ist die bundesweite Kampagne der gesetzlichen Unfallversicherung in Deutschland. Sie will Unternehmen und Bildungseinrichtungen dabei unterstützen eine Präventionskultur zu entwickeln, in der Sicherheit und Gesundheit Grundlage allen Handelns sind. Weitere Informationen unter [www.kommmitmensch.de](http://www.kommmitmensch.de)

---

## Impressum

### Herausgegeben von:

Deutsche Gesetzliche  
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40  
10117 Berlin  
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)  
Fax: 030 13001-6132  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)

Sachgebiet Gefahrstoffe des Fachbereichs  
Rohstoffe und chemische Industrie der DGUV

Ausgabe: November 2018

DGUV Information 213-725  
zu beziehen bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungs-  
träger oder unter [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen)

### Bildnachweis

Abb. 1 und 2: Zollner Elektronik AG

# **Manuelles Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie**

Empfehlungen Gefährdungsermittlung  
der Unfallversicherungsträger (EGU)  
nach der Gefahrstoffverordnung

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

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Impressum .....	2
Vorbemerkungen .....	5
1 <b>Allgemeines</b> .....	6
2 <b>Anwendungsbereich</b> .....	7
3 <b>Begriffsbestimmungen</b> .....	8
4 <b>Arbeitsverfahren und Tätigkeiten</b> .....	9
5 <b>Gefährdungsermittlung und Beurteilung</b> ....	10
5.1    Gefahrstoffe .....	10
5.2    Bewertung der Gefahrstoffexposition .....	12
6 <b>Schutzmaßnahmen und</b> <b>Wirksamkeitsprüfung</b> .....	14
6.1    Substitution .....	14
6.2    Technische Schutzmaßnahmen .....	14
6.3    Organisatorische Schutzmaßnahmen .....	15
6.4    Unterweisung .....	15
6.5    Wirksamkeitsprüfung .....	15
<b>Anhang 1</b>	
Literatur .....	16

# Vorbemerkungen

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

- 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.

EGU werden im Abstand von fünf Jahren durch die Projektgruppe „EGU“, Sachgebiet „Gefahrstoffe“ überprüft. Sollten Änderungen notwendig werden, werden diese veröffentlicht.

Diese Empfehlungen wurden erstmals im November 2011 von der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM), Köln, erstellt. Sie wurden im September 2018 überarbeitet. Sie ersetzen die „BG-Information BG/BGIA-Empfehlungen für die Gefährdungsbeurteilung nach der Gefahrstoffverordnung – Manuelles Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie“ von November 2011.

# 1 Allgemeines

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

Die in den Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach Gefahrstoffverordnung beschriebenen Verfahren, Tätigkeiten und Schutzmaßnahmen sind vorrangig auf die Gefahrstoffverordnung 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 Facharzt oder der Fachärztin die arbeitsmedizinische Vorsorge gemäß der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) festzulegen [6].

Die GefStoffV fordert Art und Ausmaß der Exposition der Beschäftigten zu bewerten. Dies kann durch Arbeitsplatzmessungen oder gleichwertige, auch nichtmesstechnische Ermittlungsverfahren erfolgen. EGU nach Gefahrstoffverordnung sind eine Hilfe bei der Gefährdungsbeurteilung, da sie für abzuleitende Schutzmaßnahmen und deren Wirksamkeitsüberprüfung entsprechend der Technischen Regel für Gefahrstoffe 400 – Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (TRGS 400) [7] mit herangezogen werden können.

Darüber hinaus können diese EGU als nichtmesstechnisches Verfahren bei der Informationsermittlung und Durchführung der Expositionsbewertung nach der Technischen Regel für Gefahrstoffe 402 - Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402) [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.

## 2 Anwendungsbereich

Diese EGU findet Anwendung für bestimmte Weichlötarbeiten mit bleifreien Lotlegierungen mit elektrisch beheizten LötKolben an elektrischen und elektronischen Baugruppen oder deren Einzelkomponenten (im Folgenden Kolbenlöten genannt). Es handelt sich dabei um das Fugenlöten punktförmiger Lötstellen mit bleifreien Lotlegierungen an Arbeitsplätzen, an denen

- elektrische und elektronische Baugruppen bzw. deren Einzelkomponenten verlötet werden, z. B. Leiterplatten, elektronische Kleingeräte, Verzinnen von Leiterenden,
- elektrische und elektronische Baugruppen bzw. deren Einzelkomponenten bei Montage-, Prüf- und Kontrollarbeiten verlötet werden,
- überwiegend Reparaturlötungen an elektrischen und elektronischen Baugruppen bzw. deren Einzelkomponenten durchgeführt werden.

Es werden Maßnahmen beschrieben, die für Stoffe mit verbindlichem Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) bzw. mit einem Beurteilungsmaßstab, deren Einhaltung sicherstellen. Bei Stoffen ohne AGW wird in diesen Empfehlungen ein Stand der Technik beschrieben.

Diese Empfehlungen gelten nicht für

- bleihaltige Lotlegierungen,
- Weichlötarbeiten mit Sonder-Weichloten, die Antimon, Bismut, Indium, Nickel oder Zink enthalten,
- Lötanlagen,
- Flamm- und Hartlötverfahren,
- Kolbenlöten mit flammenbeheizten LötKolben,
- die Anwendung von Lötrauchabsorbern als Tischgeräte. Hierbei handelt es sich um Tischgeräte, die so nah wie möglich an die Lötstelle bzw. an den Lötprozess herangeführt werden. Die Lötrauche werden durch einen Ventilator angesaugt und in einem Partikelfilter und Aktivkohlefilter abgeschieden. Lötrauchabsorber als Tischgeräte scheiden die entstehenden Lötrauche nicht ausreichend wirksam ab, so dass die Vorgaben dieser Empfehlungen nicht erfüllt werden.

Diese EGU behandeln ausschließlich die inhalativen Gefährdungen. Es sind auch andere, z. B. dermale, orale oder psychische Gefährdungen möglich. Diese sind in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen.

Bei Anwendung dieser EGU bleiben andere Anforderungen der Gefahrstoffverordnung, insbesondere die Informationsermittlung (§ 6) und die Verpflichtung zur Beachtung der Rangfolge der Schutzmaßnahmen (§ 7), bestehen.

# 3 Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieser Empfehlungen werden folgende Begriffe bestimmt:

- **Kolbenlöten**

Kolbenlöten bezeichnet Weichlötarbeiten mit elektrisch beheizten LötKolben.

- **Weichlötarbeiten**

Bei Weichlötarbeiten handelt es sich um das Fugenlöten punktförmiger Lötstellen mit bleifreien Lotlegierungen (Liquidustemperatur des Lotes < 450 °C).

- **Lote und Flussmittel**

Es werden Lote nach DIN EN ISO 9453 „Weichlote - Chemische Zusammensetzung und Lieferformen“ [9] und Flussmittel nach DIN EN ISO 9454 „Flussmittel zum Weichlöten – Einteilung und Anforderungen - Teil 1: Einteilung, Kennzeichnung und Verpackung“ [10] eingesetzt.

## 4 Arbeitsverfahren und Tätigkeiten

Beim Kolbenlöten werden zwei Metallteile mithilfe eines Zusatzmetalls (Lot) verbunden, ohne dass die Metallteile dabei geschmolzen werden. Das Lot wird durch die beheizte Lötspitze des LötKolbens geschmolzen. Die dabei verwendeten Flussmittel haben die Aufgabe, vorhandene Metalloxide aufzulösen, Oberflächenfilme zu beseitigen und zu verhindern, dass sich während des Lötprozesses erneut eine Oxidschicht bildet. Bei diesem Lötprozess entstehen Löttrauche. Diese Löttrauche enthalten je nach den verwendeten Produkten verschiedene gefährliche Stoffe in unterschiedlichen Konzentrationen.

*Siehe Technische Regel für Gefahrstoffe „Schweißtechnische Arbeiten“ (TRGS 528) [11].*

Für das manuelle Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen sind neben dem Werkstück (z. B. Leiterplatte, Schaltkreis, Bauteil) ein Lötendraht sowie eine Lötstation mit LötKolben und Halter erforderlich (Abbildung 1 und 2).

Die Tätigkeiten beim manuellen Kolbenlöten sind weitgehend identisch, allerdings variiert die effektive Lötdauer. Beim Prüf- und Reparaturlöten ist diese in der Regel kürzer als beim Serienlöten.



Abbildung 1 Lötstation, LötKolben mit Halter



Abbildung 2 Bleifreies Kolbenlöten mit Lötspitze, Lötendraht und Absaugung

# 5 Gefährdungsermittlung und Beurteilung

Die Gefahrstoffexposition beim Weichlöten mit dem Löt- kolben wird im Wesentlichen beeinflusst von den einge- setzten Loten und Flussmitteln sowie den verfahrenstech- nischen Kenngrößen, unter anderem der Löttemperatur, der Lötdauer und der Einwirkzeit.

## 5.1 Gefahrstoffe

Bleifreie Lotlegierungen bestehen hauptsächlich aus Zinn (Sn), Silber (Ag) und Kupfer (Cu). Lote, denen zur Verbes- serung der Lötprozesse sowie für spezielle Anwendungen zusätzlich weitere Elemente wie z. B. Antimon (Sb), In- dium (In), Bismut (Bi), Nickel (Ni) und Zink (Zn) zugegeben werden, werden im Anwendungsbereich dieser Empfeh- lung ausgeschlossen.

Die verwendeten Flussmittel bestehen aus Harzen (z. B. Kolophonium) und Aktivierungszusätzen auf organischer oder anorganischer Basis (z. B. Carbonsäuren, Aminhydro- chloride). Bei einigen Lötverbindungen werden zusätzli- che Flussmittel verwendet, die u. a. Propan-2-ol enthalten können.

Die beim manuellen Kolbenlöten durch die thermische Belastung der eingesetzten Lotlegierungen und der Fluss- mittel entstehenden Löttrauche bestehen überwiegend aus ultrafeinen Partikeln (UFP), die sich aus unterschied- lichen Stoffen zusammensetzen.

In Tabelle 1 sind die relevanten Gefahrstoffe und deren Beurteilungsmaßstäbe, z. B. Arbeitsplatzgrenzwerte nach TRGS 900 [12], zusammengestellt.

**Tabelle 1** Relevante Gefahrstoffe beim manuellen Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen, Beurteilungsmaßstäbe und Einstufung\*

Gefahrstoffe	Beurteilungsmaßstäbe	Einstufung nach CLP-Verordnung
Acetaldehyd	91 mg/m <sup>3</sup> (AGW) Überschreitungsfaktor 1, =2= (I) (Momentanwert + KZW) Y	Entzündbare Flüssigkeiten, Kategorie 1; H224 Karzinogenität, Kategorie 2; H351 Augenreizung, Kategorie 2; H319 Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition), Kategorie 3; H335
Acrylaldehyd	0,2 mg/m <sup>3</sup> (AGW) Überschreitungsfaktor 2 (I) (KZW) H	Entzündbare Flüssigkeiten, Kategorie 2; H225 Akute Toxizität, Kategorie 1, Einatmen; H330 Akute Toxizität, Kategorie 2, Verschlucken; H300 Akute Toxizität, Kategorie 3, Hautkontakt; H311 Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1B; H314 Gewässergefährdend, Akut Kategorie 1; H400 Gewässergefährdend, Chronisch Kategorie 1; H410
Butyraldehyd	64 mg/m <sup>3</sup> (AGW) Überschreitungsfaktor 1 (I) (KZW)	Entzündbare Flüssigkeiten, Kategorie 2; H225
Formaldehyd	0,37 mg/m <sup>3</sup> (AGW) Überschreitungsfaktor 2 (I) (KZW) Sh, Y, X	Akute Toxizität, Kategorie 3, Einatmen; H331 Akute Toxizität, Kategorie 3, Verschlucken; H301 Akute Toxizität, Kategorie 3, Hautkontakt; H311 Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1B; H314 Karzinogenität, Kategorie 1B; H350 Keimzellmutagenität, Kategorie 2; H341 Sensibilisierung der Haut, Kategorie 1; H317 Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition), Kategorie 1; H370 Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition), Kategorie 3; H335

Gefahrstoffe	Beurteilungsmaßstäbe	Einstufung nach CLP-Verordnung
Glutaral (Glutardialdehyd)	0,2 mg/m <sup>3</sup> (AGW) Überschreitungsfaktor 2(I) (KZW) Y	Akute Toxizität, Kategorie 2, Einatmen; H330 Akute Toxizität, Kategorie 3, Verschlucken; H301 Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1B; H314 Schwere Augenschädigung, Kategorie 1; H318 Sensibilisierung der Atemwege, Kategorie 1; H334 Sensibilisierung der Haut, Kategorie 1; H317 Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition), Kategorie 3; H335 Gewässergefährdend, Akut Kategorie 1; H400 Gewässergefährdend, Chronisch Kategorie 2; H411
Kolophonium	–	Sensibilisierung der Haut, Kategorie 1; H317
Kupfer und seine Verbindungen	0,01 mg/m <sup>3</sup> (A) (MAK) Überschreitungsfaktor 2 (KZW)	Entzündbare Feststoffe, Kategorie 1; H228 Gewässergefährdend, Akut Kategorie 1; H400 Gewässergefährdend, Chronisch Kategorie 3; H412
Propan-2-ol	500 mg/m <sup>3</sup> (AGW) Überschreitungsfaktor 2(II) (KZW) Y	Entzündbare Flüssigkeiten, Kategorie 2; H225 Augenreizung, Kategorie 2; H319 Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition), Kategorie 3; H336
Propionaldehyd (Propanal)	48 mg/m <sup>3</sup> (LIG)	Entzündbare Flüssigkeiten, Kategorie 2; H225 Akute Toxizität, Kategorie 4, Verschlucken; H302 Akute Toxizität, Kategorie 4, Einatmen; H332 Schwere Augenschädigung, Kategorie 1; H318 Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition), Kategorie 3, H335 Reizwirkung auf die Haut, Kategorie 2; H315
Silber	0,1 mg/m <sup>3</sup> (E) (AGW) Überschreitungsfaktor 8 (II) (KZW)	Gewässergefährdend, Akut Kategorie 1; H400 Gewässergefährdend, Chronisch Kategorie 1; H410
Alveolengängige Staubfraktion	1,25 mg/m <sup>3</sup> (AGW) Überschreitungsfaktor 8 (II) (KZW)	
Einatembare Staubfraktion	10 mg/m <sup>3</sup> (AGW) Überschreitungsfaktor 2 (II) (KZW)	
anorganische Zinnverbindungen	8 mg/m <sup>3</sup> Zinn(II)-Verbindungen (E) (AGW) bzw. 2 mg/m <sup>3</sup> Zinn(IV)-Verbindungen (E) (AGW)	

\*Mindesteinstufung bzw. Herstellerangaben – Quelle: [www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank](http://www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank)

### Erläuterungen

AGW: Arbeitsplatzgrenzwert (TRGS 900).

A: alveolengängige Staubfraktion.

CLP: Classification, labelling and packaging, Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen [13].

E: einatembare Staubfraktion.

KZW: Kurzzeitwert.

Die Beurteilung von Expositionsspitzen erfolgt entsprechend TRGS 900; ihr Ergebnis wird als Überschreitungsfaktor (ÜF) ausgewiesen.

(I) bzw. (II): Kategorie (I) beziehungsweise Kategorie (II).

Momentanwert: Darf zu keinem Zeitpunkt überschritten werden.

Bei einigen Stoffen der Kategorie I wird sowohl ein 15-Minuten-Mittelwert als auch ein Momentanwert festgesetzt. In diesem Fall werden beide Überschreitungsfaktoren in der Spalte aufgeführt. Ein Eintrag von z. B. 2, =4= (I) bedeutet, dass die zweifache Arbeitsplatzgrenzwertkonzentration als Mittelwert über 15 Minuten einzuhalten ist und im gleichen Zeitraum die 4-fache Arbeitsplatzgrenzwertkonzentration zu keinem Zeitpunkt überschritten werden darf.

- LIG: Liste Internationaler Grenzwerte (GESTIS) [14].
- MAK: Maximale Arbeitsplatz-Konzentration nach MAK- und BAT-Werte-Liste der Deutschen Forschungsgemeinschaft [15].
- H: hautresorptiv (TRGS 900).
- Sh: hautsensibilisierende Stoffe.
- X: krebserzeugender Stoff der Kategorie 1A/1B.
- Y: Risiko der Fruchtschädigung (TRGS 900).
- H224: Flüssigkeit und Dampf extrem entzündbar.
- H225: Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.
- H228: Entzündbarer Feststoff.
- H300: Lebensgefahr bei Verschlucken.
- H301: Giftig bei Verschlucken.
- H302: Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.
- H311: Giftig bei Hautkontakt.
- H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.
- H315: Verursacht Hautreizungen.
- H317: Kann allergische Hautreaktionen verursachen.
- H318: Verursacht schwere Augenschäden.
- H319: Verursacht schwere Augenreizung.
- H330: Lebensgefahr bei Einatmen.
- H331: Giftig bei Einatmen.
- H332: Gesundheitsschädlich bei Einatmen.
- H334: Kann bei Einatmen Allergie, asthmaartige Symptome oder Atembeschwerden verursachen.
- H335: Kann die Atemwege reizen.
- H336: Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.
- H341: Kann vermutlich genetische Defekte verursachen.
- H350: Kann Krebs erzeugen.
- H 351: Kann vermutlich Krebs erzeugen.
- H 370: Schädigt die Organe.
- H400: Sehr giftig für Wasserorganismen.
- H410: Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.

H411: Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.

H412: Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.

## 5.2 Bewertung der Gefahrstoffexposition

Die den Auswertungen zugrundeliegenden Messwerte wurden in Mitgliedsbetrieben der BG ETEM im Zeitraum 2006 bis Juli 2014 erhoben. Es wurden insgesamt 876 Messwerte in 50 Mitgliedsbetrieben beim manuellen Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen ermittelt. Zusätzlich wurden an 34 Lötarbeitungsplätzen die Anzahl ultrafeiner Partikel (UFP) und deren spezifische Oberflächen gemessen.

In Tabelle 2 sind die Stoffe, die messtechnisch ermittelt wurden, mit der Anzahl der Messungen und den statistischen Parametern zusammengestellt. Der Fokus wurde darauf gelegt, die Staubfraktionen und die thermischen Zersetzungsprodukte aus den Flussmitteln sowie die Metalle aus den Lotlegierungen zu ermitteln. Aufgrund der hohen Anzahl der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze werden keine 50 %- und 95 %-Werte angegeben.

Die Messungen wurden personengetragen bzw. stationär-personenbezogen durchgeführt. Die Beurteilung der ermittelten Messwerte erfolgt als Schichtmittelwert, da diese Tätigkeiten in der Regel über eine Schicht ausgeführt werden. Die Messwerte sind repräsentativ für die Schichtlänge. Zur Bewertung der Gefahrstoffexposition wurden die ermittelten Konzentrationen mit den jeweiligen Beurteilungsmaßstäben in Tabelle 1 verglichen.

Zusätzliche Kurzzeitwert-Messungen wurden nicht durchgeführt, da die Lötprozesse praktisch zwar kurzzeitig, aber kontinuierlich ohne Expositionsspitzen ausgeführt werden.

Die Messungen belegen gemäß TRGS 402 Anhang 3, dass beim manuellen Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie die Beurteilungsmaßstäbe für die relevanten Gefahrstoffe eingehalten werden.

Die Löttrauche beim bleifreien Weichlöten bestehen überwiegend aus ultrafeinen Partikeln. Zur Beurteilung der

Exposition ultrafeiner Partikel wurden an 34 Arbeitsplätzen die Partikelkonzentrationen ( $P/cm^3$ ) und die spezifischen Oberflächen ( $\mu m^2/cm^3$ ) gemessen. Die Probenahme erfolgte stationär und soweit wie möglich im Atembereich der Beschäftigten.

Die Messwerte zeigen eine minimale Partikelkonzentration von  $7800 P/cm^3$ . Die maximale Partikelkonzentration lag oberhalb des Messbereichs von  $100000 P/cm^3$ . Im Mittel ergibt sich daraus eine Partikelkonzentration von  $\sim 33500 P/cm^3$ . Die spezifischen Oberflächen der gemessenen Partikeln lagen zwischen  $21 \mu m^2/cm^3$  und  $1135 \mu m^2/cm^3$ . Für die mittlere spezifische Oberfläche ergibt sich ein Wert von  $182 \mu m^2/cm^3$ .

Des Weiteren erfolgten an 13 Lötarbeitungsplätzen Referenzmessungen in der Außenluft bzw. in einem separaten Raum ohne Lötarbeiten. Dabei ergaben sich Partikelkonzentrationen von  $5000 P/cm^3$  bis  $14700 P/cm^3$ . Die mittlere Partikelkonzentration liegt bei  $8700 P/cm^3$ . Die spezifischen Oberflächen dieser Partikel lagen zwischen  $8 \mu m^2/cm^3$  und  $64 \mu m^2/cm^3$ . Für die mittlere spezifische Oberfläche ergibt sich ein Wert von  $25 \mu m^2/cm^3$ .

Für die UFP zeigt sich, dass die mittlere Partikelkonzentration und mittlere spezifische Oberfläche der UFP beim Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen höher sind als die in der Außenluft bzw. in den Referenzräumen.

**Tabelle 2** Gefahrstoffe, Anzahl der Messungen, Anzahl der Betriebe, Anzahl Messwerte kleiner BG/NWG, Beurteilungsmaßstab sowie Maximalwert

Gefahrstoff	Anzahl Betriebe/Messwerte	Anzahl Messwerte < BG/NWG	Beurteilungsmaßstab ( $mg/m^3$ )	Maximalwert ( $mg/m^3$ )
A-Staub	42 / 76	66	1,25	1,03
E-Staub	34 / 69	63	10	3,97
Kupfer und seine Verbindungen (in der A-Fraktion)	31 / 55	55	0,01 (A)	< 0,01
Kupfer und seine Verbindungen (in der E-Fraktion)	29 / 54	53	0,01 (A)	0,001
Silber	32 / 60	60	0,1 (E)	< 0,005
Zinn und seine Verbindungen	47 / 90	73	2 (E)	0,023
Formaldehyd	43 / 79	41	0,37	0,11
Acetaldehyd	41 / 77	71	91	0,03
Acrylaldehyd	40 / 76	76	0,2	< 0,01
Glutaral (Glutardialdehyd)	40 / 76	76	0,2	< 0,02
Propionaldehyd	40 / 76	76	48	< 0,02
Butyraldehyd	40 / 76	76	64	< 0,02
Propan-2-ol	8 / 12	1	500	31

Werte mit „<“ –Vorzeichen lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze

# 6 Schutzmaßnahmen und Wirksamkeitsprüfung

## 6.1 Substitution

Ein Unternehmen hat auf der Grundlage des Ergebnisses der Substitutionsprüfung nach GefStoffV vorrangig eine Substitution durchzuführen und dadurch die Gefährdungen der Gesundheit und der Sicherheit der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen auszuschließen. Ist dies nicht möglich, hat es sie auf ein Minimum zu reduzieren. Es hat Gefahrstoffe oder Verfahren durch Stoffe, Gemische oder Erzeugnisse oder Verfahren zu ersetzen, die unter den jeweiligen Verwendungsbedingungen für die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten weniger gefährlich sind. Dies kann durch die Festlegung und Anwendung geeigneter Schutzmaßnahmen erreicht werden.

Zur Minimierung der Exposition gegenüber krebserzeugenden Stoffen ist die Verwendung von Legierungsbestandteilen wie z. B. Antimon, Cobalt und Nickel zu vermeiden.

## 6.2 Technische Schutzmaßnahmen

Gemäß TRGS 528, sind Löttrauche an der Entstehungsstelle abzusaugen. Dazu dienen spezielle Erfassungseinrichtungen (z. B. Trichter, Hauben) oder über der Lötspitze positionierte Saugröhrchen (Lötspitzenabsaugung). Die Absauganlagen sind als Einzelplatz-, Gruppen- oder Zentralabsaugung ausgeführt. Die abgesaugte Luft ist in Abscheidern zu reinigen und in den Arbeitsraum zurück oder nach außen abzuführen. Abgesaugte Luft darf gemäß TRGS 528 (Luftrückführung) nur dann in den Arbeitsraum zurückgeführt werden, wenn sie ausreichend gereinigt ist. Das bedeutet, dass wirksame Absauggeräte bzw. Absauganlagen mit Partikel- und Aktivkohlefilter zu verwenden sind. Diese Absaugung ist auch geeignet, die Exposition gegenüber Kolophonium und UFP zu minimieren. Da sich Löttrauche mit geringer Eigengeschwindigkeit ausbreiten, sind in der Praxis Erfassungsgeschwindigkeiten von  $\geq 0,15$  m/s ausreichend [19].

Die Wirksamkeit und die Funktion der technischen Schutzmaßnahmen, insbesondere die Lüftungs- und Absaugeinrichtungen müssen nach TRGS 528 regelmäßig mindestens jährlich durch eine befähigte Person überprüft werden. Die Prüfergebnisse sind zu dokumentieren. Bei der Festlegung der Prüf- und Wechselfristen für die Filtermedien sind die Empfehlungen der Hersteller zu berücksichtigen.

Werden die Löttätigkeiten weniger als eine halbe Stunde je Schicht und weniger als zwei Stunden pro Woche durchgeführt, besteht gemäß TRGS 528 eine geringe Exposition. Da die Beschäftigten auch bei geringer Exposition sehr nahe an der Emissionsquelle tätig sind, sind diese Tätigkeiten - im Sinne des Minimierungsgebotes nach § 7 Abs. 4 GefStoffV – ebenfalls mit einer wirksamen Absaugung durchzuführen.

Zur Verringerung der Exposition ist gemäß der TRGS 500 Nummer 4.1 Abs. 4 [16] der Stand der Technik einzuhalten. Das bedeutet, dass auch bei kürzeren Lötzeiten eine Lötstation mit regelbarer Lötspitzentemperatur verwendet, die Lötspitzentemperatur möglichst niedrig eingestellt und die Lötspitze regelmäßig gereinigt wird. Der LötKolben ist nach Benutzung in die Sicherheitsablage (Halter) zu stellen und nicht auf dem Arbeitstisch abzulegen.

Weitere Hinweise zu Schutzmaßnahmen geben die DGUV Regel 109-002 „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“ [17], die Richtlinie VDI 2262 Blatt 3 und 4 „Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz, Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe“ [18; 19] und der Untersuchungsbericht „Löttrauchemissionen beim Einsatz von Absauggeräten – Weichlöten“ [20].

### 6.3 Organisatorische Schutzmaßnahmen

Die Wirksamkeit der Absaugung ist regelmäßig, mindestens jedoch einmal jährlich zu überprüfen und das Ergebnis der jährlichen Wirksamkeitsprüfung zu dokumentieren. Bei der Festlegung der Prüf- und Wechselfristen für die Filtermedien sind die Empfehlungen der Hersteller zu berücksichtigen.

Beim Einsatz einer Lötlitzenabsaugung sind Verkrustungen und Verklebungen regelmäßig zu beseitigen.

### 6.4 Unterweisung

Für alle Arbeitsbereiche sind Betriebsanweisungen zu erstellen und auszuhängen. Die Beschäftigten sind mindestens einmal jährlich arbeitsplatz- und tätigkeitsbezogen anhand der Betriebsanweisung in einer für sie verständlichen Form und Sprache zu unterweisen. Hierbei ist insbesondere auf die Hygiene am Arbeitsplatz einzugehen.

### 6.5 Wirksamkeitsprüfung

Diese EGU geben dem Betrieb praxisgerechte Hinweise, wie sichergestellt werden kann, dass verbindliche Arbeitsplatzgrenzwerte eingehalten sind oder anderweitig davon ausgegangen werden kann, dass der Stand der Technik erreicht ist.

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

Werden die Verfahrensparameter sowie die Schutzmaßnahmen eingehalten, kann davon ausgegangen werden, dass das Minimierungsgebot nach § 7 der Gefahrstoffverordnung erfüllt wird.

# Anhang 1

## Literatur

Die zitierten Arbeitsschutzbestimmungen und Technischen Regeln sind in der jeweils aktuellen Fassung anzuwenden.

- [1] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes des Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG) vom 7. August 1996; Stand August 2015. Im Internet verfügbar unter <http://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze/arbeitsschutzgesetz.html>
- [2] Siebtes Buch Sozialgesetzbuch - Gesetzliche Unfallversicherung (SGB VII) vom 07. August 1996; Stand Juli 2017. Im Internet verfügbar unter <http://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze/sozialgesetzbuch-7-gesetzliche-unfallversicherung.html>
- [3] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010; Stand März 2017. Im Internet verfügbar unter <https://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze/gefahrstoffverordnung.html>
- [4] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung - ArbStättV) vom 12. August 2004; Stand November 2016. Im Internet verfügbar unter <https://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze/arbeitsstaettenverordnung.html>
- [5] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV) vom 03. Februar 2015; Stand März 2017. Im Internet verfügbar unter <http://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze/betriebssicherheitsverordnung.html>
- [6] Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) vom 18. Dezember 2008; Stand November 2016. Im Internet verfügbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/arbmedvv/BjNR276810008.html>
- [7] Technische Regel für Gefahrstoffe 400 - Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (TRGS 400); Ausgabe Juli 2017 ; Stand September 2017. Im Internet verfügbar unter <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-400.html>
- [8] Technische Regel für Gefahrstoffe 402 - Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). Ausgabe Februar 2010; Stand Oktober 2016. Im Internet verfügbar unter <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-402.html>
- [9] DIN EN ISO 9453: „Weichlote – Chemische Zusammensetzung und Lieferformen“, Berlin: Beuth, Dezember 2014.
- [10] DIN EN ISO 9454 „Flussmittel zum Weichlöten – Einteilung und Anforderungen – Teil 1: Einteilung, Kennzeichnung und Verpackung (ISO 9454-1:2016). Ausgabe Juli 2016.
- [11] Technische Regeln für Gefahrstoffe 528 - Schweißtechnische Arbeiten (TRGS 528); Ausgabe Februar 2009. Im Internet verfügbar unter <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-528.html>

- [12] Technische Regel für Gefahrstoffe 900 - Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900); Ausgabe Januar 2006; Stand Juni 2018. Im Internet verfügbar unter <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-900.html>
- [13] CLP-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen. Ausgabe April 2016. Im Internet verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1469463238931&uri=CELEX:02008R1272-20160401>
- [14] GESTIS - Internationale Grenzwerte für chemische Substanzen. Im Internet verfügbar unter <http://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-internationale-grenzwerte-fuer-chemische-substanzen-limit-values-for-chemical-agents/index.jsp>
- [15] MAK- und BAT-Werte-Liste 2014. Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte. 50. Mitteilung der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Hrsg.: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Wiley-VCH, Weinheim, 2014.
- [16] Technische Regeln für Gefahrstoffe 500: Schutzmaßnahmen (TRGS 500). Ausgabe Januar 2008. Im Internet verfügbar unter <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-500.html>
- [17] DGUV Regel 109-002 (ehemals BGR/GUV-R 121) „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“, [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen)
- [18] VDI 2262 Blatt 3 „Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz, Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Lufttechnische Maßnahmen“, Berlin: Beuth, 2011.
- [19] VDI 2262 Blatt 4: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz, Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Erfassen luftfremder Stoffe, Berlin: Beuth, 2006.
- [20] Untersuchungsbericht „Lötrauchemissionen beim Einsatz von Absauggeräten – Weichlöten. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin, 2004.





**Berufsgenossenschaft  
Energie Textil Elektro  
Medienerzeugnisse**

Gustav-Heinemann-Ufer 130  
50968 Köln  
Tel.: 0221 3778-0  
Fax: 0221 3778-1199  
[www.bgetem.de](http://www.bgetem.de)

**Bestellungen:**

Hauptverwaltung Köln  
[www.bgetem.de](http://www.bgetem.de), Webcode: 11205644  
Telefon: 02 21 / 37 78 - 10 20  
Telefax: 02 21 / 37 78 - 10 21  
E-Mail: [versand@bgetem.de](mailto:versand@bgetem.de)