

Expositionsbeschreibung

Manuelles Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie

1 Allgemeines

Die Gefahrstoffverordnung ^[1] fordert den Arbeitgeber in §§ 7 und 9 auf, zu ermitteln, ob die Arbeitsplatzgrenzwerte eingehalten sind. Dies kann durch Arbeitsplatzmessungen oder durch andere gleichwertige Beurteilungsverfahren erfolgen. Falls keine Arbeitsplatzgrenzwerte vorliegen, ist die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen durch geeignete Beurteilungsmethoden nachzuweisen.

Diese Expositionsbeschreibung stellt ein Beurteilungsverfahren für manuelles Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen dar und basiert auf Arbeitsplatzmessungen für Stoffe mit und ohne Arbeitsplatzgrenzwerte. Für die beschriebenen Tätigkeiten liegt eine ausreichende Anzahl von Arbeitsplatzmessungen mit eindeutigen Befunden vor, und es sind auch verfahrensbedingt in Zukunft keine Änderungen zu erwarten. Daher können diese Ergebnisse unmittelbar zur Beurteilung der Konzentrationen in der Luft in Arbeitsbereichen herangezogen werden.

Diese Expositionsbeschreibung kann entsprechend § 7 Gefahrstoffverordnung als Gefährdungsbeurteilung bei der Festlegung der Maßnahmen verwendet werden. Darüber hinaus kann bei der Gefährdungsbeurteilung gemäß § 5 Arbeitsschutzgesetz ^[2] und § 3 Betriebssicherheitsverordnung ^[3] diese Expositionsbeschreibung mit herangezogen werden. Die Verpflichtungen zum Einsatz von Stoffen und/oder Verfahren mit geringerem Risiko, zur Beachtung der Rangfolge der Schutzmaßnahmen und zur Unterrichtung und Unterweisung der Beschäftigten usw. bleiben bestehen.

2 Anwendungsbereiche

Diese Expositionsbeschreibung ist anzuwenden, für Tätigkeiten beim manuellen Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen. Es werden Kriterien für die unmittelbare Anwendung von Schutzmaßnahmen bei gleichzeitigem Verzicht auf eine messtechnische Überwachung der beschriebenen Tätigkeiten festgelegt.

3 Arbeitsverfahren

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

Beim Kolbenlöten werden zwei Metallteile mithilfe eines Zusatzmetalls (Lotlegierung u. a. Sn95,5; Ag3,8; Cu0,7) verbunden, ohne dass die Metallteile dabei geschmolzen werden. Das Lot wird durch die erwärmte 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.



Abbildung 1: Lötstation, Lötcolben mit Halter, Lötspitze und Lötdraht

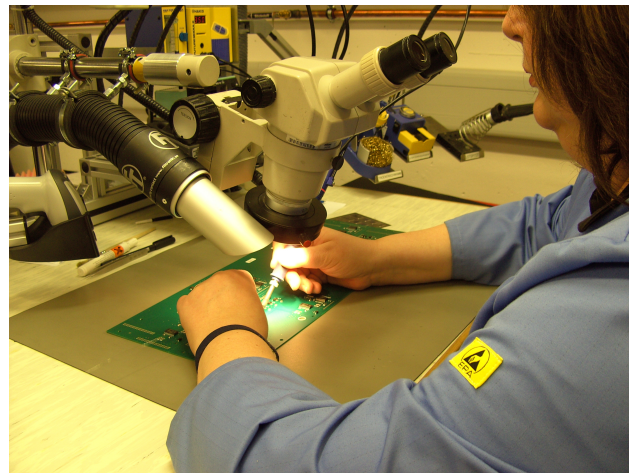


Abbildung 2: Bleifreies Kolbenlöten mit Absaugung

Die Tätigkeiten beim manuellen Kolbenlöten sind weitgehend identisch, allerdings variiert die effektive Lötzeit. Beim Reparatlöten ist die effektive Lötzeit in der Regel kürzer als beim Serienlöten. Die Prüf- oder Reparaturzeit beim Reparatlöten kann z. B. über 90 % liegen, sodass die Lötzeit sehr kurz ist.

4 Gefahrstoffe

Bleifreie Lotlegierungen bestehen hauptsächlich aus Zinn (Sn), Silber (Ag) und Kupfer (Cu). Zur Verbesserung der Lötprozesse können den Lotlegierungen zusätzlich weitere Elemente wie z. B. Antimon (Sb), Indium (In), Bismut (Bi) und Zink (Zn) > 1 % sowie in geringen Mengen Cobalt (Co), Germanium (Ge) oder Nickel (Ni) zugegeben werden.

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

Beim manuellen Kolbenlöten entstehen durch die thermische Belastung der eingesetzten Lotlegierungen und der Flussmittel Lötrauche, die sich aus unterschiedlichen Stoffen zusammensetzen.

Die Tabelle 1 enthält Stoffe mit Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) aus der TRGS 900, die bei den Messungen berücksichtigt wurden.

Stoffbezeichnung	Einstufung § 5 Abs. 1 GefStoffV - RL 67/548/EWG Anh. 1 - TRGS 905	Arbeitsplatz- grenzwert (AGW) mg/m ³	Spitzen- begrenzung Überschreitungs- faktor	Bemerkungen
A-Staub		3	2(II)	
E-Staub		10		
Formaldehyd	T, C, K3; Y, H	0,37 (ML-DFG)		(ehemaliger MAK-Wert)
Acetaldehyd	F+; Xi, K3	91	1;=2=(I)	
Acrylaldehyd	H, F, T+, T, C, N K-, M-, R _E -, R _F -, b	0,2	2(I)	
Butyraldehyd		64	1(I)	
Silber		0,1	2(I)	
Zinn und seine anorganischen Verbindungen		2 bzw. 8		
Propan-2-ol	Y	500	2(II)	

Tabelle 1: Stoffe mit AGW aus der TRGS 900^[4], die zur Ermittlung der Bewertungsindices in dieser Expositionsbeschreibung herangezogen werden

Erläuterungen:

T	= giftig	Xi	= reizend
T+	= sehr giftig	R _F	= fruchtbarkeitsgefährdend
C	= ätzend	R _E	= fruchtschädigend
K3	= Krebs erzeugend Kategorie 3	M	= erbgutverändernd
F	= leicht entzündlich	H	= hautresorptiv
F+	= hoch entzündlich	Y	= ein Risiko der Fruchtschädigung braucht bei Einhaltung des AGW und des biologischen Grenzwertes (BGW) nicht befürchtet werden

5 Gefahrstoffexposition

Die den Auswertungen zugrunde liegenden Messwerte wurden in den Jahren 2006 bis Juli 2009 erhoben. Es wurden insgesamt 721 Messwerte in 29 Mitgliedsbetrieben beim manuellen Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen ermittelt. Zusätzlich wurden an 34 Lötarbeitungsplätzen die Konzentrationen ultrafeiner Partikel (UFP) und deren spezifischer Oberflächen gemessen.

In Tabelle 2 sind die Stoffe, die messtechnisch ermittelt wurden mit der Anzahl der Messungen und den statistischen Parametern zusammengestellt. Der Focus wurde darauf gelegt, zum Einen die Staubfraktionen und zum Anderen die thermischen Zersetzungsprodukte aus den Flussmitteln sowie die Metalle aus den Lotlegierungen zu ermitteln.

Zur Bewertung der Stoffe wurden die ermittelten Konzentrationen mit dem jeweiligen AGW in Tabelle 1 bewertet. Die Konzentrationen entsprechen der normalen Exposition bei der Ausführung der beschriebenen Tätigkeiten.

Die Beurteilung der ermittelten Messwerte erfolgte als Schichtmittelwert, da diese Tätigkeiten in der Regel über eine Schicht ausgeführt werden. Kurzzeitige Expositionen wurden nicht berücksichtigt, da die Lötprozesse praktisch zwar kurzzeitig aber kontinuierlich ohne Expositionsspitzen ausgeführt werden.

Stoffbezeichnung	Anzahl der Messungen	min.- und max.- Wert mg/m ³	90%-Wert mg/m ³	95%-Wert mg/m ³	Bestimmungsgrenze mg/m ³
A-Staub	66	< 0,25 – 1,01	0,54	0,6	< 0,25
E-Staub	54	< 0,25 – 3,97	0,36	0,62	< 0,71
Formaldehyd	64	< 0,01 - 0,11	0,021	0,03	< 0,01
Acetaldehyd	57	< 0,02 – 0,03	a. B.	0,03	< 0,02
Acrylaldehyd	57	< 0,01	a. B.	a. B.	< 0,01
Butyraldehyd	57	< 0,02	a. B.	a. B.	< 0,02
Gluteral	57	< 0,02	a. B.	a. B.	< 0,02
Propionaldehyd	57	< 0,02	a. B.	a. B.	< 0,02
Kupfer-Rauch	55	a. B.	a. B.	a. B.	< 0,002
Kupfer u. s. Verb.	44	< 0,0006 - 0,035	a. B.	0,005	< 0,006
Zinn u. s. Verb.	73	a. B.	a. B.	a. B.	< 0,02
Nickel u. s. Verb.	15	< 0,005	a. B.	a. B.	< 0,002
Silber u. s. Verb.	51	a. B.	a. B.	a. B.	< 0,0002
Propan-2-ol	14	< 3 - 53	9,4	22,8	< 3

Tabelle 2: Stoffe, Anzahl der Messungen, min- und max-Wert, 90%-Wert und 95%-Wert sowie Bestimmungsgrenze (a. B. = unterhalb der Bestimmungsgrenze)

Die Löttrauche beim bleifreien Weichlöten bestehen überwiegend aus ultrafeinen Partikeln. Zur Beurteilung der Exposition ultrafeiner Partikel wurden an 34 Lötarbeitungsplätzen die Partikelkonzentrationen (P/cm³) und die spezifischen Oberflächen (µm/m³) gemessen. Die Probenahme erfolgte stationär und soweit wie möglich im Atembereich der Beschäftigten.

Die Messwerte zeigen eine minimale Partikelkonzentration von 7838 P/cm³. Die maximale Partikelkonzentration lag oberhalb des Messbereichs von 100000 P/cm³. Im Mittel ergibt sich daraus eine Partikelkonzentration von 33455 P/cm³.

Die spezifischen Oberflächen der gemessenen Partikel lagen zwischen 21 µm/cm³ und 1135 µm/cm³. Für die mittlere spezifische Oberfläche ergibt sich ein Messwert von 182 µm/cm³.

Um die Exposition beurteilen zu können, erfolgten an 13 Lötarbeitungsplätzen Referenzmessungen in der Außenluft bzw. in einem separaten Raum ohne Lötarbeiten. Dabei ergaben sich Partikelkonzentrationen von 5050 P/cm³ bis 14730 P/cm³. Die mittlere Partikelkonzentration liegt bei 8720 P/cm³.

Die spezifischen Oberflächen dieser Partikel lagen zwischen 8 $\mu\text{m}/\text{cm}^3$ und 64 $\mu\text{m}/\text{cm}^3$. Für die mittlere spezifische Oberfläche ergibt sich ein Messwert von 25 $\mu\text{m}/\text{cm}^3$. Die minimalen und maximalen Messwerte, der arthmatische Mittelwert sowie der 90% und der 95%-Wert sind in Tabelle 3 dargestellt.

	Arbeitsplatz		Außenluft/Referenzraum	
	Partikelkonzentration P/cm ³	spez. Oberfläche $\mu\text{m}/\text{cm}^3$	Partikelkonzentration P/cm ³	spez. Oberfläche $\mu\text{m}/\text{cm}^3$
Min.-Wert	7 838	21	5 050	8
Max.-Wert	> 100 000	1 135	14 730	64
Mittel-Wert	33 455	182	8 720	25
90%-Wert	75 818	419	13 770	50
95%-Wert	84 043	629	14 401	58

Tabelle 3: Partikelkonzentration und spezifische Oberfläche UFP, min-, max- und Mittewerte sowie 90% und 95%-Wert

6 Befund

Die Messungen belegen gemäß TRGS 402 Anhang 3 ^[5], dass beim manuellen Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie die AGW für A- und E-Staub sowie für Acetaldehyd und Propan-2-ol eingehalten werden. Die Metalle, außer Kupfer und seine Verbindungen und die Aldehyde außer Formaldehyd wurden messtechnisch an den Arbeitsplätzen nicht nachgewiesen.

Für Formaldehyd sowie für Kupfer und seine Verbindungen wird das 95-% Perzentil als Beurteilungsmaßstab herangezogen. Dieser Wert beschreibt die Exposition nach dem Stand der Technik.

Die Messwerte zeigen weiterhin, dass die mittleren Partikelkonzentrationen und mittleren spezifischen Oberflächen der UFP beim Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen höher sind als in der Außenluft bzw. in den Referenzräumen.

7 Schutzmaßnahmen

Gemäß TRGS 528 ^[6], Tabelle 1 besteht beim Löten eine niedrige bis mittlere Gefährdungsklasse. Deshalb 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 Nr. 4.5 Abs. 1 (Luftrückführung) nur dann in den Arbeitsraum zurückgeführt werden, wenn sie ausreichend gereinigt ist. Das bedeutet, es sind Absauggeräte bzw. Absauganlagen mit Partikel- und Aktivkohlefilter zu verwenden.

Die geforderte Absaugung ist geeignet, auch die Exposition gegenüber UFP zu minimieren.

Die Wirksamkeit und die Funktion der technischen Schutzmaßnahmen, insbesondere die Lüftungs- und Absaugeinrichtungen müssen nach Nr. 4.6 Abs. 4 und 5 der TRGS 528 regelmäßig mindestens jährlich durch eine befähigte Person überprüft werden. Die Prüfergebnisse sind zu dokumentieren.

Werden die Löttätigkeiten weniger als 1/2 Stunde je Schicht und weniger als 2 Stunden pro Woche durchgeführt, besteht gemäß TRGS 528 Nr. 3.2.4 Abs. 4 eine geringe Exposition. Da die Beschäftigten auch bei geringer Exposition sehr nahe an der Emissionsquelle tätig sind, wird empfohlen - im Sinne des Minimierungsgebotes - diese Tätigkeiten ebenfalls mit einer wirksamen Absaugung durchzuführen.

Zur Verringerung der Exposition ist gemäß der TRGS 500 Nummer 4.1 Abs. 4 ^[7] der Stand der Technik einzuhalten. Das bedeutet, dass auch bei kürzeren Lötzeiten eine Lötstation mit regelbarer Lötspitzentemperatur verwendet, die Lötspitzentemperatur möglichst niedrig eingestellt ist 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 BG-Regel „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“ (BGR 121), die VDI-Richtlinie 2262 Blatt 4 Punkt 6.7 „Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz, Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe - Erfassen luftfremder Stoffe“ und der Untersuchungsbericht „Lötrauchemissionen beim Einsatz von Absauggeräten – Weichlöten“.

Die Beschäftigten sind durch regelmäßige Unterweisung zur Einhaltung der Schutzmaßnahmen zu schulen.

8 Empfehlungen

Aufgrund der dargestellten Ergebnisse sind keine weiteren Expositionsmessungen beim manuellen Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie erforderlich, sofern die Tätigkeiten im Betrieb mit denen dieser Expositionsbeschreibung übereinstimmen.

9 Überprüfungen

Diese Expositionsbeschreibung wurde im April 2010 von der BGETEM überarbeitet. Sie wird in jährlichen Abständen überprüft. Sollten Änderungen notwendig werden, werden diese veröffentlicht.

Literatur

- [1] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 23. Dezember 2004. BGBl (2004) Teil 1 Nr. 74 vom 29. Dezember 2004, S. 3758 ff
- [2] 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. 1, S. 1246 ff.)
- [3] 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), Artikel 1 der Verordnung vom 27. September 2002 (BGBl. 1, S. 3777 ff.)
- [4] Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). BArbBl (2006) Nr. 1, S. 41 – 55 und GMBI, Nr. 24, S. 511 (23.03.2007)
- [5] Technische Regel für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). GMBI Nr. 28 S. 558-575 (14.07.2008)
- [6] Technische Regel für Gefahrstoffe: Schweißtechnische Arbeiten (TRGS 528). GMBI Nr. 12-14 S. 236-253 (27.03.2009) (siehe auch Hinweis im BAnz. Nr. 76 S. 1799 vom 26. Mai 2009)
- [7] Technische Regel für Gefahrstoffe: Schutzmaßnahmen (TRGS 500). GMBI Nr. 11/12 S. 225-258 (13.03.2008) (siehe auch Hinweis im BAnz. Nr. 64 S. 1518 vom 25.04.2008) mit Änderungen und Ergänzungen GMBI Nr. 26 S. 528 (04.07.2008)