

Expositionen beim bleifreien Weichlöten

P. Bannert, M. Böckler

Zusammenfassung Beim Weichlöten mit dem LötKolben (Kolbenlöten) unter Einsatz bleifreier Lotlegierungen wurden Gefahrstoffmessungen in der Luft am Arbeitsplatz durchgeführt. Neben dem A- und E-Staub wurden Aldehyde und Metalle/Schwermetalle bestimmt. Die Messungen zeigen, dass beim manuellen Kolbenlöten an elektrischen und elektronischen Baugruppen mit bleifreien Lotlegierungen die Grenzwerte für die berücksichtigten Stoffe eingehalten werden. Es werden die Expositionen aufgezeigt und Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten beschrieben, wobei die TRGS 528 „Schweißtechnische Arbeiten“ Berücksichtigung findet.

Exposure during lead-free soldering

Abstract During soldering work involving a soldering iron and the use of lead-free solder alloys, measurements were performed of the hazardous substances in the workplace atmosphere. In addition to the respirable and inhalable dust, aldehydes and metals/heavy metals were measured. The measurements show that the limit values for the substances measured are met during manual soldering work on electrical and electronic assemblies involving a soldering iron and the use of lead-free solder alloys. The exposures are reproduced and measures described for protection of the employees, in observance of the TRGS 528 technical rule governing welding work.

1 Einführung

Nach wie vor nimmt das Weichlöten in verschiedensten Branchen und Fertigungen einen hohen Stellenwert ein. In früheren Jahren wurden hierzu überwiegend bleihaltige Lotlegierungen verwendet. Die Verwendung dieser Lote wurde ab 2006 aber erheblich eingeschränkt, da durch Bekanntgabe des Gesetzes über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (ElektroG) bleihaltige Lote nur noch in ausgewählten Bereichen eingesetzt werden dürfen [1].

Die einzelnen Lötverfahren sind sehr vielschichtig. So kann in geschlossenen automatischen Anlagen (z. B. Wellenlöten, Reflowlöten) gelötet oder es können Lötarbeiten von Hand mit einem LötKolben durchgeführt werden. Beim Löten entstehen Löttrauche, deren Zusammensetzung u. a. von den Lotlegierungen, der Zusammensetzung der Flussmittel und den Verfahrensparametern wie Löttemperatur und -zeit abhängig ist [2]. Werden bleifreie Lote eingesetzt, so müssen die verfahrenstechnischen Parameter geändert werden. Für den Arbeitsschutz stellt sich somit die Frage, ob aufgrund der geänderten Parameter mit vergleichbaren Gefahrstoffexpositionen wie an Arbeitsplätzen mit bleihaltigen Lotlegierungen zu rechnen ist und ob die bisherigen Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten ausreichend sind [3].

Um eine Aussage zur Gefahrstoffexposition beim Löten zu treffen, hat die Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro – BG ETE zunächst gezielte Untersuchungen beim Einsatz

von bleifreien Lotten beim Weichlöten mit dem LötKolben (Kolbenlöten) durchgeführt. Es handelt sich dabei um das Fugelöten mit punktförmigen Lötstellen mit Weichloten an Arbeitsplätzen, an denen elektrische und elektronische Baugruppen (z. B. Leiterplatten, elektronische Kleingeräte) bzw. deren Einzelkomponenten verlötet werden. Hierzu zählen auch Montage-, Prüf- und Kontrollarbeiten, bei denen gelötet wird, oder Reparaturlötungen.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf Tätigkeiten beim manuellen Kolbenlöten an elektrischen und elektronischen Baugruppen oder deren Einzelkomponenten.

2 Weichlöten mit LötKolben (Kolbenlöten)

Beim Kolbenlöten (**Bild 1**) werden Metallteile mithilfe eines Zusatzmetalls verbunden, ohne dass die Metallteile dabei geschmolzen werden. Zunächst wird die Lötstelle erwärmt, der mit Flussmittel gefüllte Lotdraht zugeführt und aufgeschmolzen. Durch die Flussmittel werden vorhandene Metalloxide aufgelöst und Oberflächenverunreinigungen beseitigt. Weiterhin soll dadurch die Benetzbarkeit verbessert und die Bildung oxidischer Oberflächenfilme verhindert werden.

Als bleifreie Standardlote stehen Legierungen auf der Basis von Zinn/Silber (SnAg), Zinn/Silber/Kupfer (SnAgCu) und Zinn/Kupfer (SnCu) zur Verfügung [4]. Um den Lötprozess zu optimieren, können Legierungszusätze wie Antimon, Zink, Indium, Bismut sowie in geringen Mengen Cobalt, Germanium oder Nickel der Legierung hinzugefügt werden. Die Flussmittel für bleifreie Lotlegierungen sind in ihrer Zusammensetzung im Wesentlichen unverändert [5]. Das heißt, sie bestehen aus Harzen (z. B. Kolophonium), die mit Aktivierungszusätzen auf organischer oder anorganischer Basis (Carbonsäure, Aminhydrochlorid) versetzt werden. Der Schmelzpunkt bleifreier Lotlegierungen liegt gegenüber bleihaltigen Lotlegierungen um ca. 25 bis 50 °C höher. Die Temperatur an der Lötstelle bzw. an der Lötspitze liegt bei den bleifreien Lotlegierungen daher um ca. 35 bis



Bild 1. Kolbenlöten mit Absaugung.

Bild: Fa. Zollner

Dipl.-Ing. Peter Bannert,
Dipl.-Ing.-Chem. Margret Böckler,
Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro, Köln.

Tabelle 1. Schmelzpunkte, Temperaturen und Lötzeiten bleihaltiger und bleifreier Lotlegierungen.

Parameter	Bleihaltige Lotlegierungen	Bleifreie Lotlegierungen
Schmelzpunkt typischer Lotlegierungen in °C	~ 179 bis 189	~ 217 bis 227
Temperatur an der Lötstelle in °C	~ 215	~ 250
Lötzeit in s	2 bis 3	> 3
Lötspitztemperatur in °C	~ 350 bis 400	~ 390 bis 400

40 °C höher als bei bleihaltigen Lotlegierungen. Weiterhin werden bei den bleifreien Lotlegierungen längere Lötzeiten benötigt.

In **Tabelle 1** sind die Schmelzpunkte typischer Lotlegierungen, die Temperaturen an der Lötstelle und -spitze sowie die Lötzeiten von bleihaltigen und bleifreien Lotlegierungen gegenübergestellt.

3 TRGS 528 „Schweißtechnische Arbeiten“

Der Arbeitgeber hat vor Aufnahme der Tätigkeit eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen, in der die für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefahren ermittelt und Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit festgelegt werden. Hilfen zur Informationsermittlung und zur Gefährdungsbeurteilung nach der Gefahrstoffverordnung sowie dem Arbeitsschutzgesetz erhält der Anwender durch die TRGS 528 „Schweißtechnische Arbeiten“, da das Löten zu den verwandten Verfahren der Schweißtechnik gehört und darüber hinaus in den Begriffsbestimmungen aufgeführt wird [6]. Beim Löten sind nach der TRGS 528 partikel- und gasförmige Gefahrstoffe zu berücksichtigen. Die im Löt Rauch enthaltenen Partikel sind alveolengängig und liegen in einem Durchmesserbereich zwischen 0,01 und 0,15 µm. Als gasförmige Gefahrstoffe werden beim Weichlöten insbesondere Aldehyde genannt.

Die Verfahren lassen sich in Abhängigkeit von den Partikelemissionen den Gefährdungsklassen niedrig, mittel, hoch und sehr hoch zuordnen. Nach Tabelle 1 der TRGS 528 ist beim Löten von einer Emissionsrate von < 1 bis 4 mg/s auszugehen. Für die atemwegs- und lungengängigen Stoffe ergibt sich eine niedrigere Gefährdungsklasse, für toxische oder toxisch-irritative Stoffe bzw. für die krebserzeugenden Stoffe ist jeweils von einer mittleren Gefährdungsklasse auszugehen.

Liegen keine gezielten Ergebnisse zur Gefahrstoffexposition an den jeweiligen Arbeitsplätzen vor, so muss der Arbeitge-

ber beim Kolbenlöten aufgrund der Partikelemission von einer niedrigen bis mittleren Gefährdungsklasse ausgehen. Weiterhin sind die Aldehyde zu berücksichtigen. Kann beim Kolbenlöten eine Exposition von Beschäftigten gegenüber Gefahrstoffen nicht vermieden werden, sind für den jeweiligen Arbeitsbereich geeignete Schutzmaßnahmen festzulegen. Grundsätzlich sind dabei die in der TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“ angegebenen Maßnahmen zu veranlassen [7], darüber hinaus sind die nach Nummer 4, TRGS 528 zu berücksichtigen.

4 Methodik

4.1 Messungen beim Kolbenlöten

In der Praxis lagen bislang nur wenige Erfahrungen zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen beim Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen vor. Die BG ETE hat deshalb seit 2006 an Arbeitsplätzen in der Elektro- und Elektronikindustrie Gefahrstoffmessungen durchgeführt. Es sollte geklärt werden, mit welchen Expositionen beim bleifreien Löten zu rechnen ist und welche Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten festgelegt werden müssen.

Als Gefahrstoffe wurden bei diesen Messungen neben dem A- und E-Staub die Aldehyde und Metalle/Schwermetalle berücksichtigt. Dabei wurden die Standard-Messverfahren im Messsystem der Unfallversicherungsträger zur Gefährdungsermittlung – BGMG nach der BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen verwendet [8]. Die personenbezogene Probenahme erfolgte mit Personal Air Sampler und den Probenahmesystemen für Stäube (Membranfilter) bzw. für Aldehyde (Water Sep-Pak XpoSure). Der Luftvolumenstrom betrug 3,5 l/min für E-Staub, 10 l/min für A-Staub und 0,35 l/min für die Aldehyde. Die Metalle/Schwermetalle wurden vom Membranfilter bestimmt. Die Probenahmedauer betrug 2 h. **Tabelle 2** zeigt die Bestimmungsgrenzen für die berücksichtigten Gefahrstoffe.

Tabelle 2. Bestimmungsgrenzen für die gemessenenen Gefahrstoffe.

Stoffbezeichnung	Bestimmungsgrenze in mg/m ³
Alveolengängige Staubfraktion (A-Staub)	< 0,25
Einatembare Staubfraktion (E-Staub)	< 0,71
Formaldehyd	< 0,01
Acetaldehyd	< 0,02
Acrylaldehyd	< 0,01
Butyraldehyd	< 0,02
Glutardialdehyd	< 0,02
Propionaldehyd	< 0,02
Kupferrauch	< 0,002
Kupfer und seine Verbindungen	< 0,006
Zinn und seine Verbindungen	< 0,02
Nickel und seine Verbindungen	< 0,002
Silber und seine Verbindungen	< 0,0002

Tabelle 3. Stoffbezeichnung, Anzahl der Messungen und Messwerte beim manuellen Kolbenlöten.

Stoffbezeichnung	Anzahl der Messungen	Minimal- und Maximalwert in mg/m ³	50-%-Wert in mg/m ³	90-%-Wert in mg/m ³	95-%-Wert in mg/m ³	Grenzwert in mg/m ³
A-Staub	22	< 0,25 bis 0,7	0,3	0,56	0,61	3
E-Staub	14	< 0,25 bis 0,44	0,35	0,36	0,38	10
Formaldehyd	22	< 0,01 bis 0,11	0,005	0,03	0,1	0,37*
Acetaldehyd	14	< 0,02 bis 0,03	0,01	0,02	0,03	91

*Grenzwert der DFG

4.2 Ergebnisse und Diskussion

Zur Bewertung der Exposition wurden die derzeit gültigen Arbeitsplatzgrenzwerte gemäß TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ herangezogen [9]. Für Formaldehyd ist dort kein Arbeitsplatzgrenzwert aufgeführt, sodass die Bewertung mit dem MAK-Wert von 0,37 mg/m³ aus der Stoffliste der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Mitteilung 44) erfolgte [10].

Insgesamt wurden beim Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen 14 bzw. 22 Messungen in typischen Arbeitsbereichen durchgeführt. Für A-Staub wurden Konzentrationen zwischen < 0,25 und 0,7 mg/m³ und für E-Staub zwischen < 0,25 und 0,44 mg/m³ ermittelt. Die Konzentrationen für Formaldehyd lagen zwischen < 0,01 und 0,11 mg/m³ und für Acetaldehyd zwischen < 0,02 und 0,03 mg/m³. Metallrauche bzw. Schwermetalle und die sonstigen Aldehyde wurden messtechnisch an den Arbeitsplätzen nicht nachgewiesen. Die Ergebnisse lagen für diese Stoffe unterhalb der in Tabelle 2 angegebenen Bestimmungsgrenze. **Tabelle 3** zeigt die Anzahl der Messungen, den kleinsten und größten Messwert, die statistischen Werte 50, 90 und 95 % sowie die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW).

Die Ergebnisse sind repräsentativ für die beschriebenen Tätigkeiten und liefern wichtige Anhaltspunkte für die zu treffenden Maßnahmen. Die Messungen zeigen, dass beim manuellen Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen die AGW für A- und E-Staub sowie für Acetaldehyd und der Grenzwert der DFG für Formaldehyd eingehalten werden.

5 Schutzmaßnahmen

Bei der Auswahl der Lotlegierung und des Flussmittels ist darauf zu achten, dass diese DIN EN ISO 9453 bzw. DIN EN ISO 29454-1 entsprechen. Auf krebserzeugende Legierungszusätze (u. a. Antimon, Nickel) sollte möglichst verzichtet werden.

Die Exposition gegenüber Lötrauchen sowie Aldehyden kann weiterhin mit der Einstellung optimierter Verfahrensparameter minimiert werden. Dazu zählt u. a., dass nur mit angepasster, sauberer Lötspitze gelötet und die Löttemperatur entsprechend den Angaben des Herstellers einreguliert wird. Lötstationen mit temperaturgeregelten Lötspitzen haben sich zudem in der Praxis bewährt. Beim Löten von Bauteilen auf Leiterplatten kann z. B. die Lötzeit durch eine Unterheizung (**Bild 2**) verkürzt werden. Dieses Verfahren findet bereits an Reparaturarbeitsplätzen und bei Nacharbeiten in der Serienfertigung Anwendung.

Grundsätzlich sind partikel- und gasförmige Gefahrstoffe durch wirksame Lüftungstechnische Maßnahmen aus dem Arbeitsbereich zu entfernen. Dies erfolgt vorrangig durch

Absaugung im Entstehungsbereich der Lötstelle. Hinweise hierzu enthält die Nummer 4.4 der TRGS 528. Lötrauche breiten sich mit geringer Eigengeschwindigkeit aus, sodass in der Praxis Erfassungsgeschwindigkeiten je nach Abstand zwischen Lötstelle und Absaugung von ca. 0,15 m/s ausreichen [11]. Die Erfassungsgeschwindigkeit ist so auszulegen, dass Zugerscheinungen an den Händen vermieden werden. Beim manuellen Kolbenlöten haben sich die Flächenabsaugung über Absaugarme mit unterschiedlichen Erfassungselementen oder die Lötspitzenabsaugung bewährt. Lötspitzenabsaugungen arbeiten zunächst sehr effektiv, da die Ansaugstelle sehr dicht an die Emissionsquelle positioniert werden kann. Leider ist diese Absaugart durch die geringen Querschnitte von Ansaugröhrchen und Schlauch extrem empfindlich gegen Verstopfung und Verkrustungen und bedarf der regelmäßigen Reinigung und Wartung. Im Untersuchungsbericht „Lötrauchemissionen beim Einsatz von Absauggeräten“ des BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung wurde u. a. festgestellt, dass Lötrauchadsorber als Tischgeräte nicht geeignet sind [12].

Lötrauchabsaugungen sind als Einzelplatz-, Gruppen- oder als Zentralabsaugung ausgeführt. Dabei werden die partikelförmigen Lötrauche in filternden Abscheidern aus der Abluft abgetrennt. Für die Abscheidung gasförmiger Stoffe, insbesondere der Aldehyde, sind zusätzlich Gasabscheider mit Aktivkohlefiltern erforderlich.



Bild 2. Vorwärmung der Leiterplatte durch Unterheizung.

Bild: Fa. Cooper Tools

Die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen ist regelmäßig zu prüfen und die Anlagen sind instandzuhalten (Nummer 5.1, TRGS 528). Dazu gehört u. a. der regelmäßige Filterwechsel bzw. Wechsel der Aktivkohle und die Überprüfung der Saugwirkung mit Strömungsprüfröhrchen.

Die gereinigte Luft aus den Abscheidern kann als Reinluft-rückführung in den Arbeitsraum (außer beim Einsatz von krebserzeugenden Legierungszusätzen) oder nach außen fortgeführt werden. Störungen an lufttechnischen Anlagen müssen gemäß BGR 121 „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“ durch selbsttätig wirkende Warneinrichtungen angezeigt werden [13]. Bei der erstmaligen Inbetriebnahme der Absauganlage ist die ausreichende Wirksamkeit nachzuweisen. Für Neuanschaffungen ist der Nachweis bei der Auftragsvergabe festzulegen.

Organisatorische Schutzmaßnahmen (u. a. das Verbot von Essen, Trinken und Rauchen sowie eine Betriebsanweisung und die arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung) sind zu beachten. Die Beschäftigten sind durch regelmäßige Unterweisungen zur Einhaltung der Schutzmaßnahmen zu

schulen. Hierbei ist insbesondere auf die Hygiene am Arbeitsplatz einzugehen.

6 Weitere Hinweise

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Arbeitsplatzmessungen hat die BG ETE eine Expositionsbeschreibung für „Manuelles Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie“ erarbeitet. Diese ist im Internetangebot der BG ETE abrufbar [14]. Muster für die Dokumentation von Gefährdungsbeurteilungen und Muster-Betriebsanweisungen für das Löten stehen auf der gleichen Internetseite in den Rubriken Medien/Hilfsmittel/Kontrolle und Medien/Betriebsanweisungen zur Verfügung.

Danksagung

Für die Unterstützung und Hilfestellung bedanken sich die Verfasser bei den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der beteiligten Firmen, dem BGIA und der BG ETE.

Literatur

- [1] Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG) vom 23. März 2005, zul. geänd. 19. Juli 2007. BGBl. I (2005), S. 762-774.
- [2] Schmitt-Thomas, K. G.; Meisel, H.: Arbeitsplatzbelastung beim Weichlöten durch Gas- und Aerosolemissionen aus Lotmetallen und Flussmitteln. Forschungs-Berichte Humanisierung des Arbeitslebens der Schweißer. Bd. 10. Hrsg.: Bundesminister für Forschung und Technologie. Düsseldorf: Deutscher Verlag für Schweißtechnik 1984.
- [3] Berufsgenossenschaftliche Information für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: BG/BGIA-Empfehlungen für die Gefährdungsbeurteilung nach der Gefahrstoffverordnung – Weichlöten mit dem LötKolben an elektrischen und elektronischen Baugruppen oder deren Einzelkomponenten (Kolbenlöten), BGI 790-014. Ausg. 6/2008. Köln: Carl Heymanns 2008; siehe auch TRGS 420, Anlage.
- [4] DIN EN ISO 9453: Weichlote – Chemische Zusammensetzung und Lieferformen. Berlin: Beuth 2006.
- [5] DIN EN ISO 29454-1: Flussmittel zum Weichlöten; Einteilung und Anforderungen. Teil 1: Einteilung, Kennzeichnung und Verpackung. Berlin: Beuth 1994.
- [6] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Schweißtechnische Arbeiten (TRGS 528). Ausg. 2/2009. GMBL. (2009) Nr. 12-14, S. 236-253. www.baua.de, Rubrik Gefahrstoffe
- [7] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Schutzmaßnahmen (TRGS 500). Ausg. 1/2008. GMBL. (2008) Nr. 1/2, S. 224-258. www.baua.de, Rubrik Gefahrstoffe
- [8] BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin. Berlin: Erich Schmidt 1989 – Losebl.-Ausg. www.bgia-arbeitsmappedigital.de
- [9] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). Ausg. 1/2006. BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. GMBL. (2008) Nr. 28, S. 578. www.baua.de, Rubrik Gefahrstoffe
- [10] MAK- und BAT-Werte-Liste 2008. Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte. Hrsg.: Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Mitteilung 44). Weinheim: Wiley-VCH 2008.
- [11] VDI 2262 Blatt 4: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz, Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Erfassen luftfremder Stoffe. Berlin: Beuth 2006.
- [12] Untersuchungsbericht „Lötrauchemissionen beim Einsatz von Absauggeräten – Weichlöten. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (BIA), Sankt Augustin 2004. www.bgete.de/prae_v_ghfahrstoffe.html
- [13] Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen (BGR 121). Köln: Carl Heymanns 2004.
- [14] Expositionsbeschreibung Manuelles Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro, Köln 2009. www.bgete.de/prae_v/prae_v_ghfahrstoffe.html