



**BIA**

Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz

Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften

## Untersuchungsbericht

# Lötrauchemissionen beim Einsatz von Absauggeräten - Weichlöten

Projekt 3060

### Inhalt

1	Auftraggeber.....	2
2	Problem, Ziel.....	2
3	Prüfstandsaufbau.....	3
4	Auswahl der Lötrauch-Absauggeräte und des Lötdrahtes.....	6
5	Versuchsdurchführung.....	7
5.1	Rauchmessungen.....	7
5.2	Filterwägung.....	13
5.3	Gasmessungen.....	13
6	Ergebnisse.....	15
6.1	Ergebnisse der Rauchmessungen.....	15
6.1.1	Versuche ohne Absaugung.....	16
6.1.2	Versuche mit Spitzenabsaugung.....	17
6.1.3	Versuche mit Haubenabsaugung.....	19
6.1.4	Versuche mit Tischgeräten.....	20
6.2	Ergebnisse der Gasmessungen.....	21
7	Zusammenfassung.....	22
8	Ausblick.....	22
9	Literatur.....	24

### Abbildungen

Abbildung 1:	Schema des Prüfstandes.....	3
Abbildung 2:	Schema der Lötrauchquelle mit LötKolben und Vorschubeinheit.....	4
Abbildung 3:	Abmessungen der Prüfstandskabine.....	5
Abbildung 4:	Prüfstandsaufbau für Rauchmessungen.....	6
Abbildung 5:	Abstand der Erfassungshaube zur Lötstelle.....	8
Abbildung 6:	Lötspitzenabsaugung.....	9
Abbildung 7:	Versuchsanordnungen.....	10
Abbildung 8:	Versuchsanordnungen.....	10
Abbildung 9:	Versuchsanordnungen.....	11
Abbildung 10:	Versuchsanordnungen.....	11
Abbildung 11:	Versuchsanordnungen.....	12
Abbildung 12:	Versuchsanordnungen.....	12
Abbildung 13:	Versuchsanordnung bei Gasmessung.....	15
Abbildung 14:	Versuche ohne Absaugung.....	16
Abbildung 15:	Versuche mit Spitzenabsaugungen.....	17
Abbildung 16:	Ablagerungen.....	18
Abbildung 17:	Versuche mit Haubenabsaugung.....	19
Abbildung 18:	Versuche mit Tischgeräten.....	20

# 1 Auftraggeber

Dieses Untersuchungsprojekt wurde im Auftrag der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Fachausschuss Elektrotechnik durchgeführt.

## 2 Problem, Ziel

Die beim Weichlöten entstehenden Lötrauche können bedingt durch ihre Zusammensetzung (u.a. Zinn, Blei, Kolophonium, Amine, Formaldehyd, Phenol, Chlorwasserstoff und Kohlenmonoxid) eine Reizung der Atmungsorgane und Augen verursachen. Dies stellt eine Gesundheitsgefährdung dar.

Auf dem Markt ist eine Vielzahl von Lötrauch-Absauggeräten mit unterschiedlichen Absaug- und Abscheidearten erhältlich. Durch Untersuchungen auf einem nach DIN 33896-1 „Bestimmung der Rauchemissionsrate von Maschinen zum Einsatz auf Arbeitstischen, Teil 1 Basisverfahren“ [1] genormten Prüfstand sollte festgestellt werden, welche Lötrauch-Absauggeräte zur Reduzierung der Lötrauchkonzentration an Handlötungsplätzen geeignet sind.

Um reproduzierbare Ergebnisse für einen Gerätevergleich zu erreichen, mussten die Untersuchungen auf einem Prüfstand durchgeführt werden, da es bei Arbeitsplatzmessungen nicht möglich ist, äußere Einflüsse, wie zum Beispiel Raumgröße, Luftwechselraten, wechselnde Lötdrahttypen oder auch benachbarte Emissionsquellen, zu eliminieren.

Bei den Prüfstandsversuchen wurde angestrebt, den Einsatzbedingungen vor Ort möglichst nahe zu kommen. Hierfür wurden vorab Betriebsbesichtigungen durchgeführt, um einen Überblick zu erhalten, welche Vorschubgeschwindigkeiten für den Lötendraht realistisch sind und welcher Lötendrahttyp am meisten verbreitet ist.

Aus den Untersuchungsergebnissen repräsentativ ausgewählter Absauggeräte mit hohem Marktanteil kann der Stand der Technik abgeleitet werden.



### 3 Prüfstandsaufbau

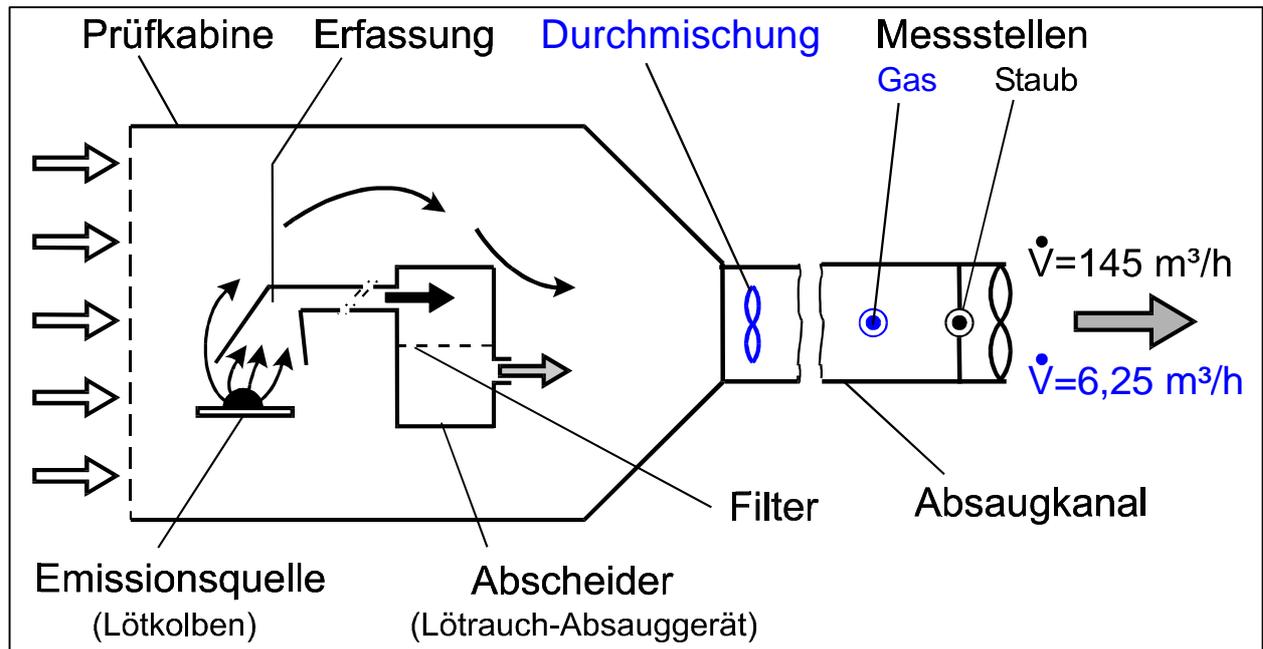


Abbildung 1: Schema des Prüfstandes

Wie im Schema (siehe Abbildung 1) gezeigt, wird bei Prüfstandsversuchen der „Arbeitsplatz“ in eine Messkabine verlegt, die im Vergleich zur Arbeitsplatzrealität einen kleinen Raum darstellt und konstante Versuchsbedingungen ermöglicht [1]. Im Kammertrichter wird ein konstanter Luftvolumenstrom abgesaugt. Dieser Luftvolumenstrom beträgt bei den Rauchmessungen  $145 \text{ m}^3/\text{h}$  und bei den Gasmessungen  $6,25 \text{ m}^3/\text{h}$ . Die Luft transportiert die freigesetzten Stoffe zur Messstelle. Die gemessene Emission ist zum einen abhängig von Stoffen, die nicht von der Erfassungseinrichtung angesaugt werden und zum anderen von Stoffen, die nicht vom Filter des Abscheiders zurückgehalten werden.

Vor Beginn der eigentlichen Untersuchungen, wurde eine Vorschubeinheit entwickelt, mit deren Hilfe die Vorschubgeschwindigkeit des Lötdrahtes vorgewählt werden kann und über einen drehzahlgeregelten Motor konstant gehalten wird. Somit konnten die Versuche frei von subjektiven Einflussfaktoren wie z. B. ungleichmäßige Lötdrahtzuführung, LötKolbenhaltung und -position durchgeführt werden (siehe Abbildung 2).



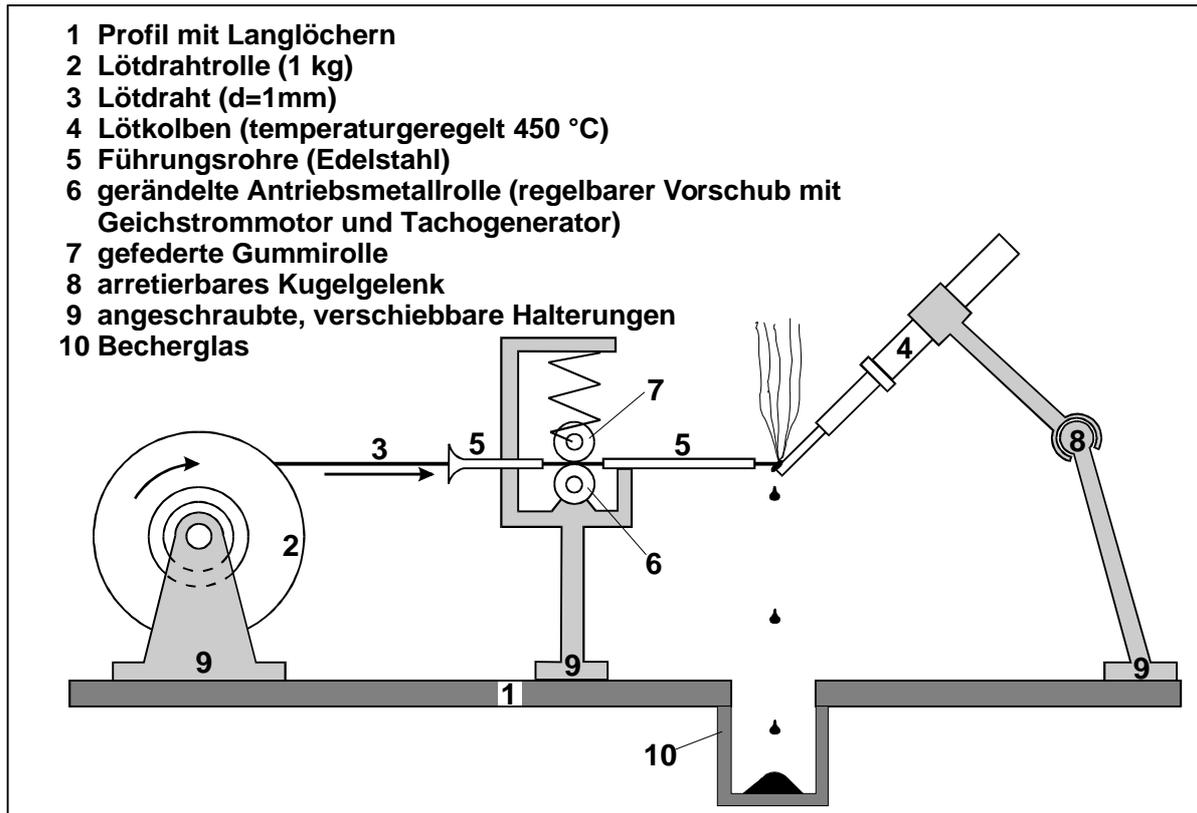


Abbildung 2: Schema der Löttrauchquelle mit LötKolben und Vorschubeinheit

Unter dem Boden der Prüfstandskabine ist ein Becherglas zum Auffangen des abtropfenden Lotes angeschraubt, mit dem durch Wiegen vor und nach dem Versuch die abgeschmolzene Lotmasse bestimmt werden kann.

In Abbildung 3 sind die Abmessungen der Kabine sowie die räumliche Anordnung der Löttrauchquelle und der Messstellen erkennbar [1, 2]. Die Kabine umfasst inklusive Trichter einen Rauminhalt von 1,2 m<sup>3</sup>. Daraus ergibt sich bei einem Kabinenabsaugvolumenstrom von 145 m<sup>3</sup>/h eine Luftwechselrate von 120 h<sup>-1</sup> und bei 6,25 m<sup>3</sup>/h eine Luftwechselrate von 5,2 h<sup>-1</sup>. In Abhängigkeit davon, ob Rauch oder Gas gemessen werden sollte, wurden am Prüfstand folgende Modifizierungen durchgeführt:



	Rauchmessung	Gasmessung
Kabinenabsaugung	145 m <sup>3</sup> /h	6,25 m <sup>3</sup> /h
Luft Eintrittsfläche	1 m x 0,4 m	1 m x 0,016 m
Luft Eintrittsgeschwindigkeit	0,1 m/s	0,1 m/s
Luftgeschwindigkeit im Messkanal	0,45 m/s	0,02 m/s
Luftwechselrate	120 h <sup>-1</sup>	5,2 h <sup>-1</sup>

Die Absenkung des Volumenstromes an der Kabinenabsaugung bei Gasmessungen war notwendig, um eine möglichst geringe Verdünnung der freigesetzten Gase zu erreichen, da hier nicht wie bei der Rauchmessung die gesamte Luftmenge durch drei Messfilter (Membranfilter,  $d = 150$  mm) gesaugt werden konnte, sondern eine Teilluftprobenentnahme erfolgte.

Durch das Verringern der Luft Eintrittsfläche der Kabine (in Abbildung 3 blau dargestellt) blieb die Luft Eintrittsgeschwindigkeit gleich, so dass ein Austreten von freigesetzten Gasen aus der Kabine vermieden werden konnte und somit der Transport aller emittierten Stoffe zur Messstelle sichergestellt ist. Um Schichtungen aufgrund der geringen Luftgeschwindigkeiten zu vermeiden, wurde im Messkanal bei Gasmessungen ein Ventilator positioniert, der für eine Verwirbelung und damit gleichmäßige Durchmischung im Messkanal sorgte.

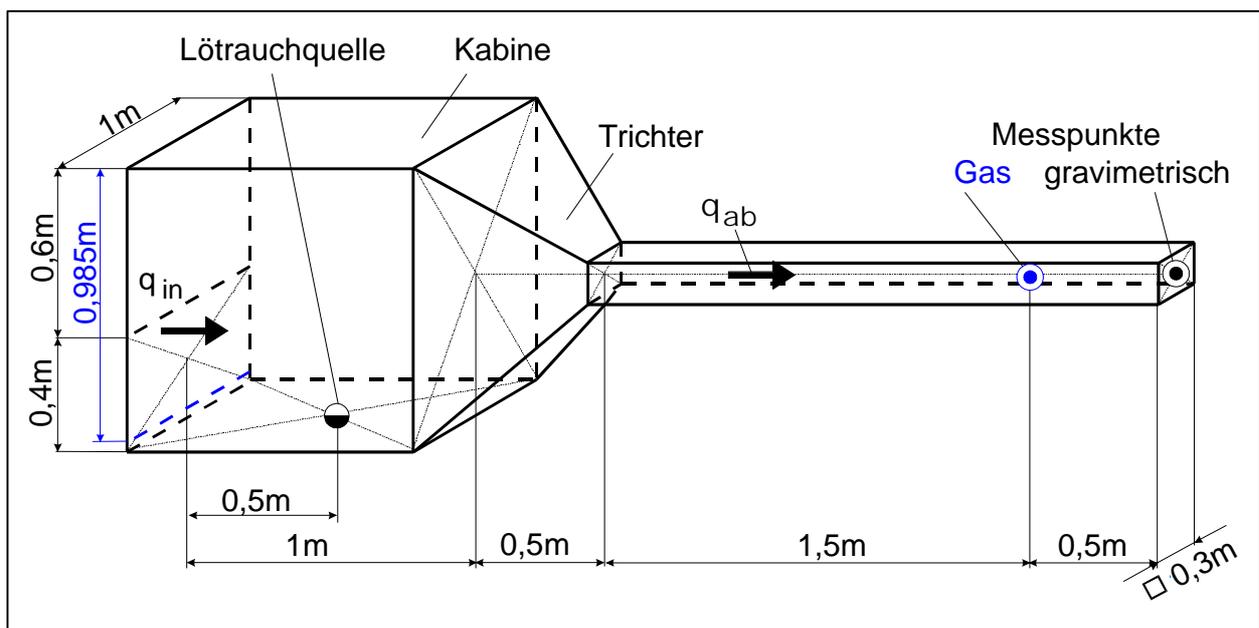


Abbildung 3: Abmessungen der Prüfstandskabine

Eine fotografische Darstellung des Prüfstandes mit Blick auf die Luft Eintrittsseite bei einer Rauchmessung zeigt Abbildung 4. Man erkennt rechts unten die Vorschubeinheit für den Löt draht. Bei der Positionierung des Abscheiders ist darauf zu achten, dass der Luft austritt des Abscheiders nicht in Richtung der Löt stelle bläst und so die Erfassungscharakteristik verfälscht.



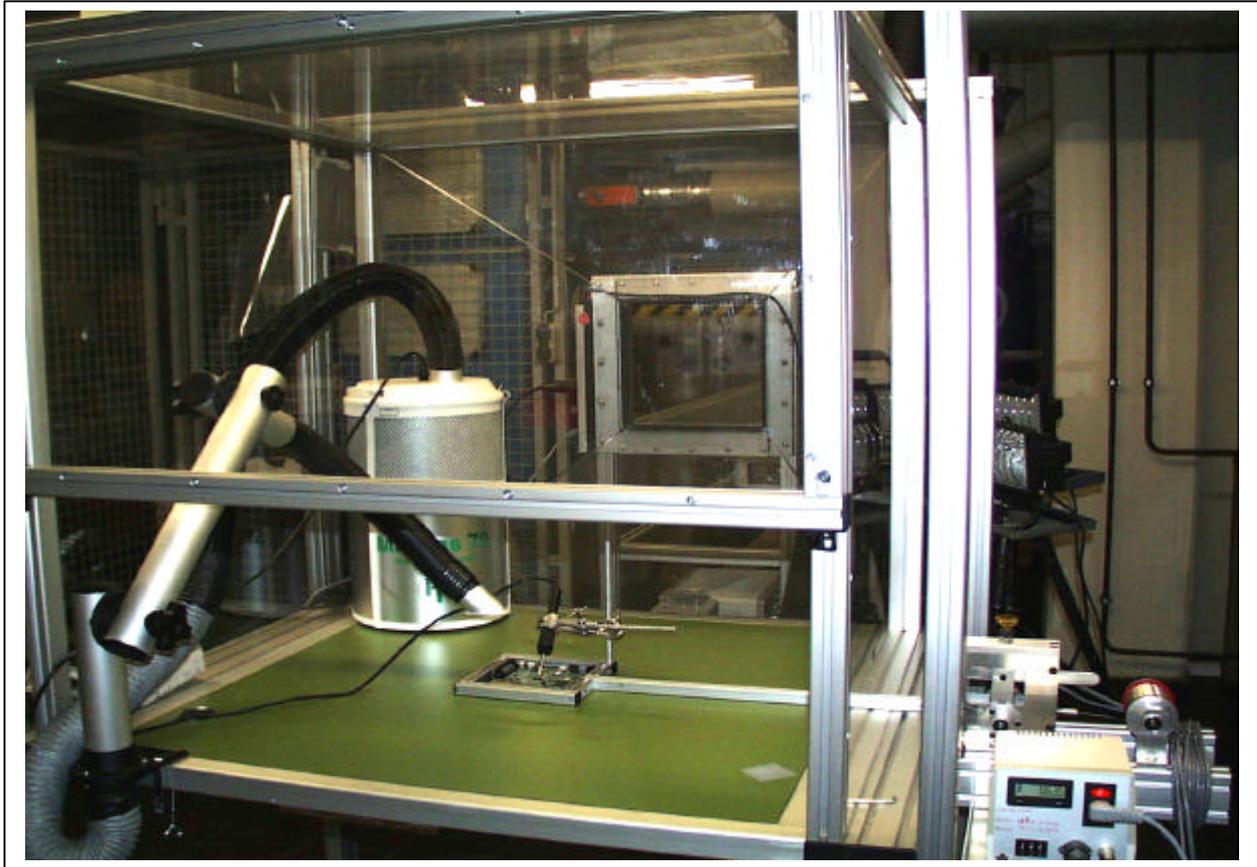


Abbildung 4: Prüfstands Aufbau für Rauchmessungen

## 4 Auswahl der Löt Rauch-Absauggeräte und des Löt drahtes

Die Auswahl der Löt Rauch-Absauggeräte und des Löt drahtes sowie der Versuchsbedingungen wurde mit den Herstellern, dem Zentrum für Verbindungstechnik in der Elektronik (ZVE) und der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik abgestimmt.

Es wurde in allen Fällen eine Einheit von Erfassungselement und Filtereinheit untersucht und zwar in der Ausstattung, die vom jeweiligen Hersteller für das Projekt zur Verfügung gestellt wurde. Bei den meisten Geräten sind auch andere Ausstattungen hinsichtlich Filter und Erfassungshauben verfügbar.

Es wurden 10 Löt Rauch-Absauggeräte mit Haubenabsaugung und 6 mit Spitzenabsaugung untersucht, wobei zwei Löt Rauch-Absauggeräte für beide Absaugarten einsetzbar waren.

Bei der Haubenabsaugung wird die Erfassungseinrichtung mit Hilfe eines Gelenkarmes in der Nähe der Lötstelle positioniert. Bei der Spitzenabsaugung ist ein Absaugröhrchen direkt am Löt kolben befestigt, so dass die Ansaugöffnung sehr nahe an der Löt kolbenspitze positioniert werden kann. Während die Haubenabsaugung mit



vergleichsweise hohen Volumenströmen bei geringen Unterdrücken arbeitet, sind diese Parameter bei der Spitzenabsaugung genau umgekehrt. Hier genügt ein geringer Volumenstrom, wobei wegen der kleinen Ansaugquerschnitte des Ansaugröhrchens bzw. des Saugschlauches ein hoher Unterdruck aufgebaut werden muss.

Als Lötendraht mit hohem Marktanteil wurde ein Lot mit einem Durchmesser von einem Millimeter mit Flussmittelseele ausgewählt. Die ersten Versuche wurden mit einem bleihaltigen Lot durchgeführt. Mit Blick auf die Richtlinie „Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten“ (RL 2002/95/EG) ist jedoch mit einem Verbot bleihaltiger Lote ab 2006 zu rechnen, so dass weitere Versuche mit bleifreiem Lot durchgeführt wurden. Die metallischen Bestandteile der in den Versuchen verwendeten Lötdrähte sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

	Bleihaltiges Lot	Bleifreies Lot
Zinn	60 %	96,5 %
Blei	38 %	-
Kupfer	2 %	-
Silber	-	3,5 %

## 5 Versuchsdurchführung

### 5.1 Rauchmessungen

Aufgrund der Betriebsbesichtigungen wurde ermittelt, dass der Anteil der Zeit, in der gelötet wird, nicht höher als 50 Prozent liegt. Somit wurde bei den Versuchen ein Verhältnis von Löt- zu Pausenzeit von 50:50 festgelegt. Oder anders gesagt, zunächst wurde 10 Minuten lang Lötendraht am LötKolben abgeschmolzen und dann 10 Minuten gewartet. Dieser Vorgang wurde solange wiederholt, bis sich eine Versuchsdauer von zwei Stunden ergab. Bei Versuchen mit hoher Emission (z.B. Emissionsmessung ohne Abscheider) wurde die Versuchsdauer auf eine Stunde reduziert, da hier die Kolophoniumrauche den Anströmwiderstand der Messfilter so stark erhöhten, dass der Kabinensaugvolumenstrom von 145 m<sup>3</sup>/h nicht über die Zeit von zwei Stunden konstant gehalten werden konnte.

Die LötKolbentemperatur wurde auf das Maximum von 450 °C (worst case) eingestellt, obwohl diese hohe Temperatur beim Weichlöten nicht das Optimum darstellt – jedoch in der Praxis häufig vorzufinden ist. Das Flussmittel verbrennt zu schnell am LötKolben, so dass die eigentliche Aufgabe des Flussmittels (Bindung von Metalloxiden, Reinigung der Lötstelle) nur noch unzureichend erfüllt wird und eine stärkere Rauchentwicklung die Folge ist. Je nach Metalllegierung haben Lötdrähte für das Weichlöten Schmelzpunkte zwischen 180 °C und 310 °C, so dass auch unter Berücksichtigung von Wärmeableitverlusten die Löttemperatur nicht höher als 350 °C liegen sollte.

Das bei den hier beschriebenen Messungen eingesetzte bleihaltige Lot hat eine Schmelztemperatur von rund 190 °C, das bleifreie von 221 °C.

Um den Aufwand und die Kosten zu minimieren, soll bei Emissionsmessungen mit möglichst wenig Bearbeitungszeit eine auswertbare Masse auf das Messfilter gebracht werden. Hierfür ist es sinnvoll, dass die Messgeräte länger laufen als die eigentliche



Bearbeitungszeit dauert. In Abhängigkeit von der Luftwechselrate und der Sedimentation klingt die Rauchkonzentration in der Messkabine allmählich ab, so dass sich die Frage nach einer sinnvollen Nachlaufzeit der Messgeräte stellt. Da jedoch jeder Versuch mit einer Pausenzeit von 10 Minuten endet und wegen der hohen Luftwechselrate von  $120 \text{ h}^{-1}$  die Luft in der Kabine in 10 Minuten 20 mal ausgetauscht wird, konnte auf die Bestimmung einer Nachlaufzeit verzichtet werden.

Sofern der Antrieb der Abscheider nicht elektrisch, sondern über Druckluft erfolgte, wurde nach Absprache mit den Herstellern ein Druck von 5 bar angelegt.

Die Positionierung der Erfassungseinrichtung muss zum einen möglichst nahe an der Lötstelle erfolgen, damit eine gute Raucherfassung gewährleistet ist, darf aber zum anderen die erforderlichen Arbeiten nicht behindern. Es wurde, wie in Abbildung 5 gezeigt, ein Abstand von 15 cm zur Lötstelle gewählt und zwar in einem Winkel von  $45^\circ$  nach oben, um die Thermik der Löttrauche bei der Erfassung mit auszunutzen. Bei der im Foto gezeigten transparenten Erfassungshaube wäre sicher auch eine Positionierung direkt über der Lötstelle ( $90^\circ$ -Winkel) denkbar. Da aber nicht alle Erfassungshauben transparent sind und die Lötstelle in jedem Fall sichtbar bleiben muss, wurde der  $45^\circ$ -Winkel favorisiert.

Hiervon wurde nur abgewichen, wenn die Hauben so konstruiert waren, dass sie den sogenannten Koandereffekt (Strömungen sind bestrebt, sich an eine Fläche anzulegen) nutzen. Bei diesen Hauben wird kein Gelenkarm verwendet. Sie werden direkt auf die Fläche des Arbeitstisches aufgelegt.

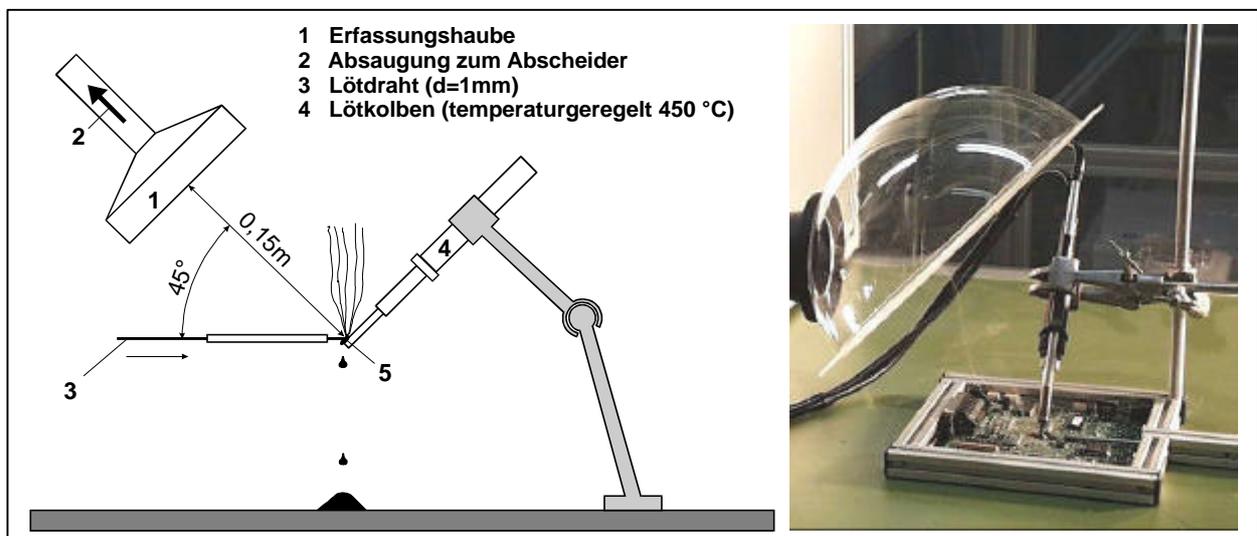


Abbildung 5: Abstand der Erfassungshaube zur Lötstelle  
(Blick in Strömungsrichtung der Kabinenabsaugung)



Bei der Lötspitzenabsaugung kann die Position der Ansaugöffnung nur durch Drehen des LötKolbens bzw. durch Verschieben des Absaugröhrchens verändert werden. Auch hier wurde die Erfassungseinrichtung wie bei den Haubenabsaugungen schräg über der Lötstelle platziert (siehe Abbildung 6)

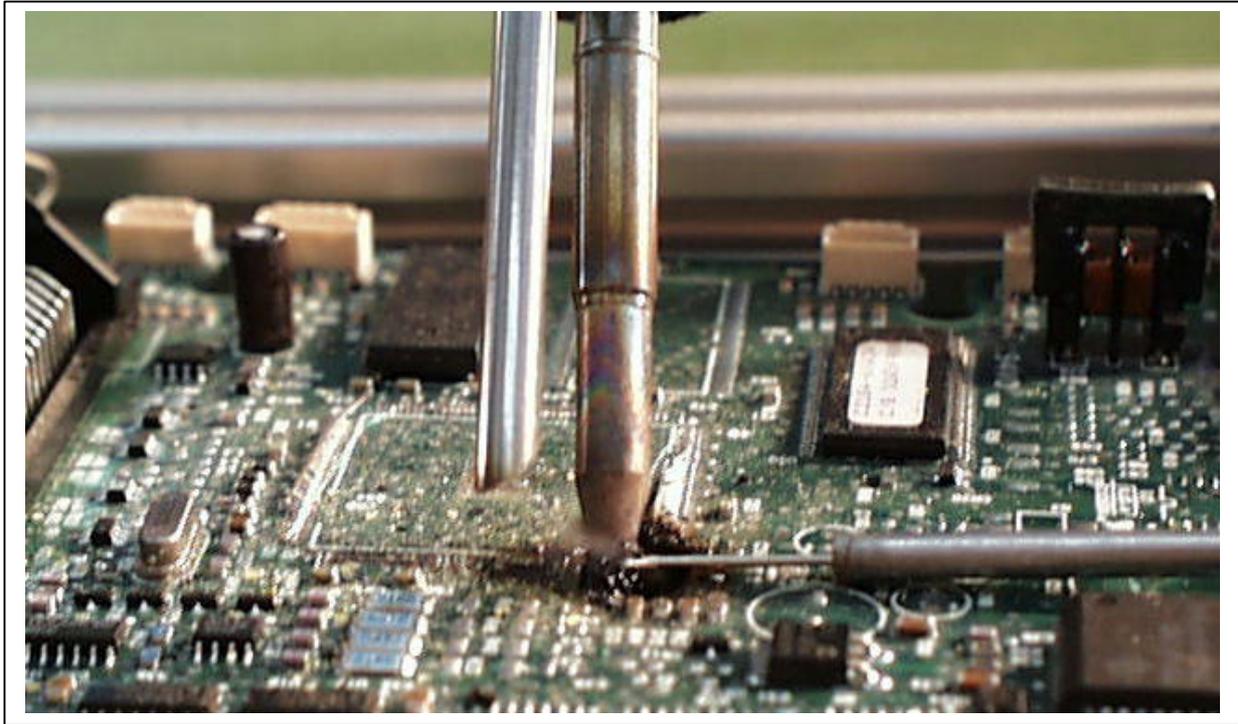


Abbildung 6: Lötspitzenabsaugung

Die Erfassungseinrichtungen wurden so positioniert, dass die Absaugrichtung zum Abscheider quer zur Richtung der Kabinenabsaugung steht, da hier die Erfassung am wenigsten von der Kabinenabsaugung beeinflusst wird.

Die emittierten Rauche wurden auf drei am Ende des Messkanals befindliche Membranfilter (Cellulosenitrat) mit 8  $\mu\text{m}$  Porengröße und 150 mm Filterdurchmesser gesammelt. Somit verteilt sich der Kabinenabsaugvolumenstrom von 145  $\text{m}^3/\text{h}$  auf diese drei Filter, so dass sich einen Luftdurchsatz von knapp 50  $\text{m}^3/\text{h}$  pro Filter ergibt.

In den Abbildungen 7 bis 12 sind einige der Versuchsanordnungen dargestellt:



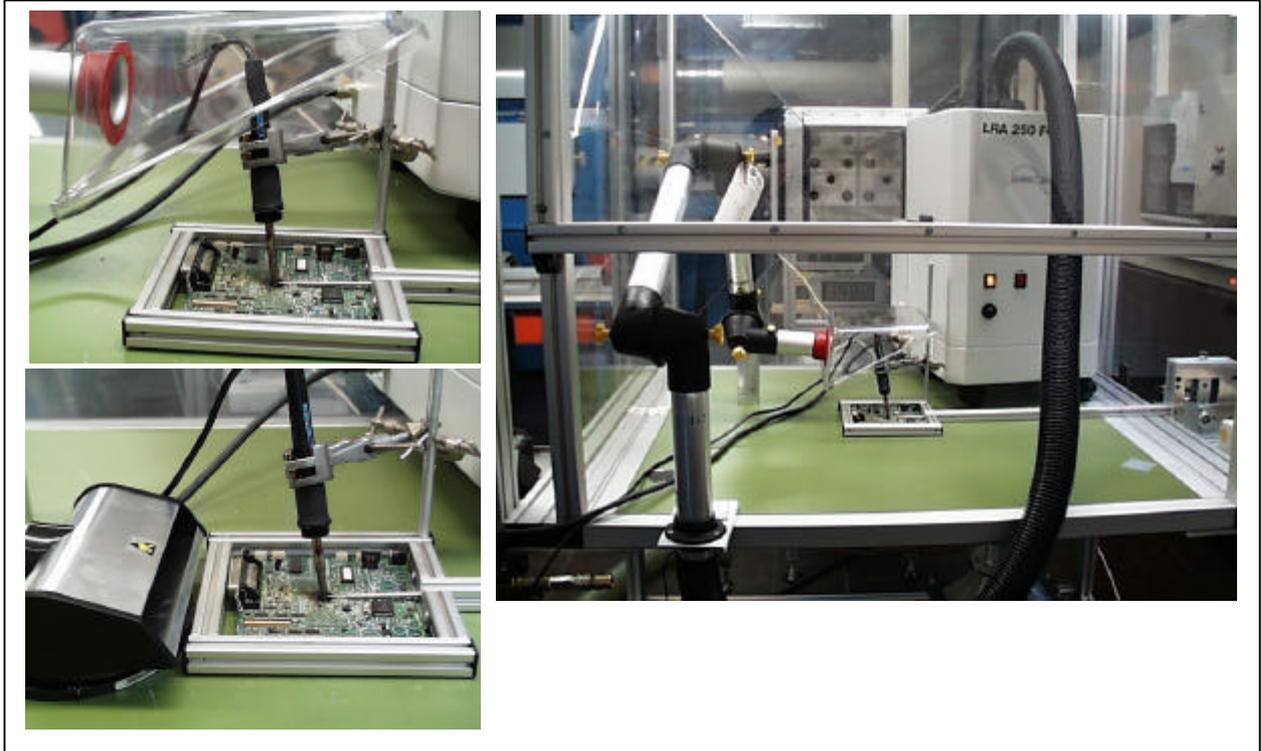


Abbildung 7: Versuchsanordnungen

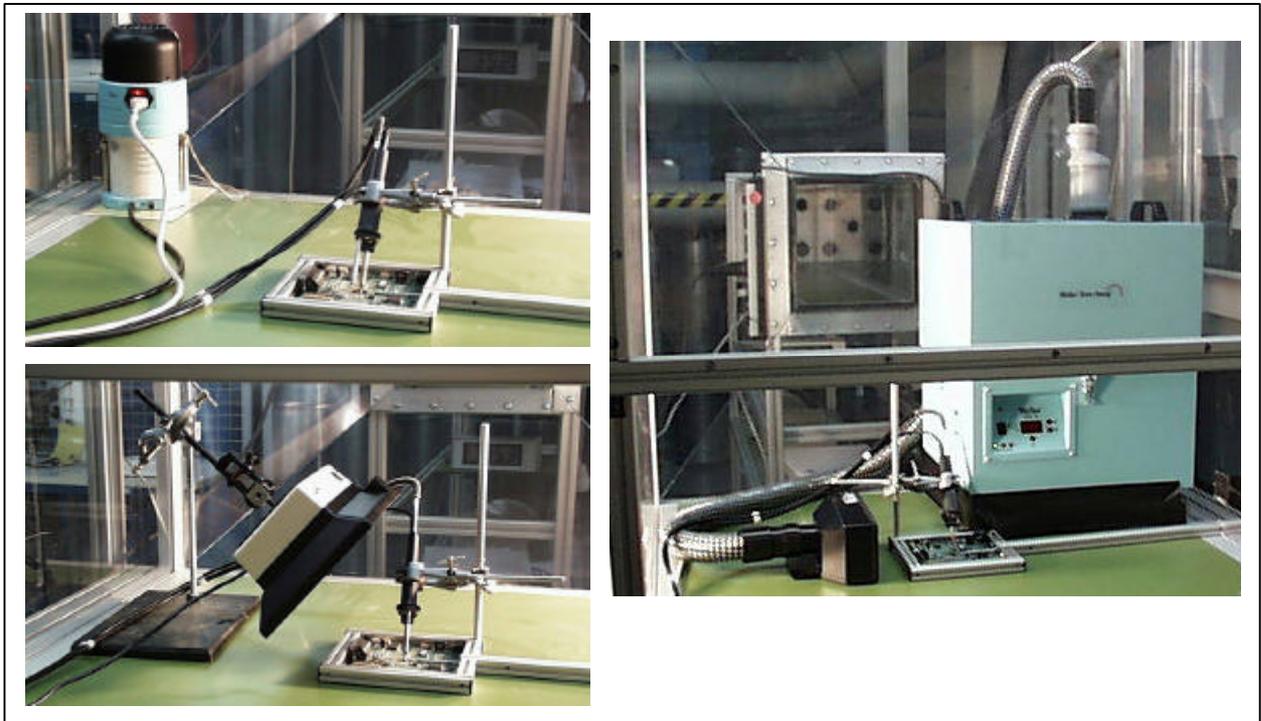


Abbildung 8: Versuchsanordnungen



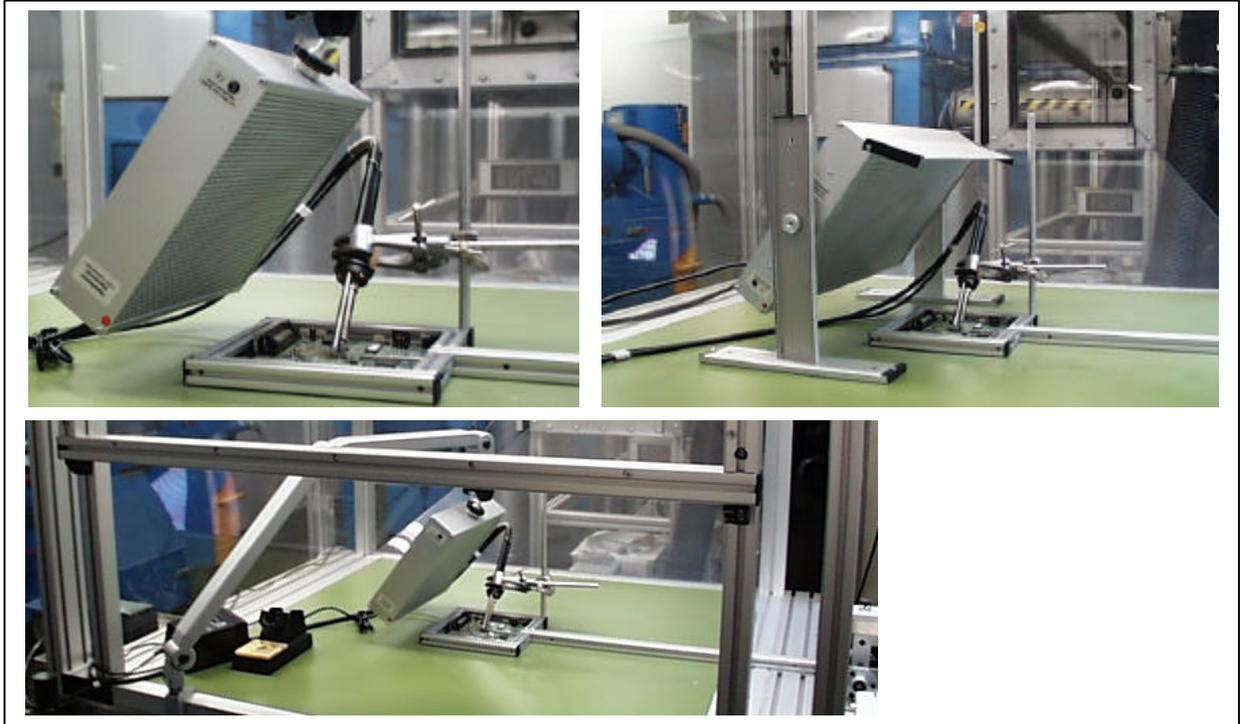


Abbildung 9: Versuchsanordnungen

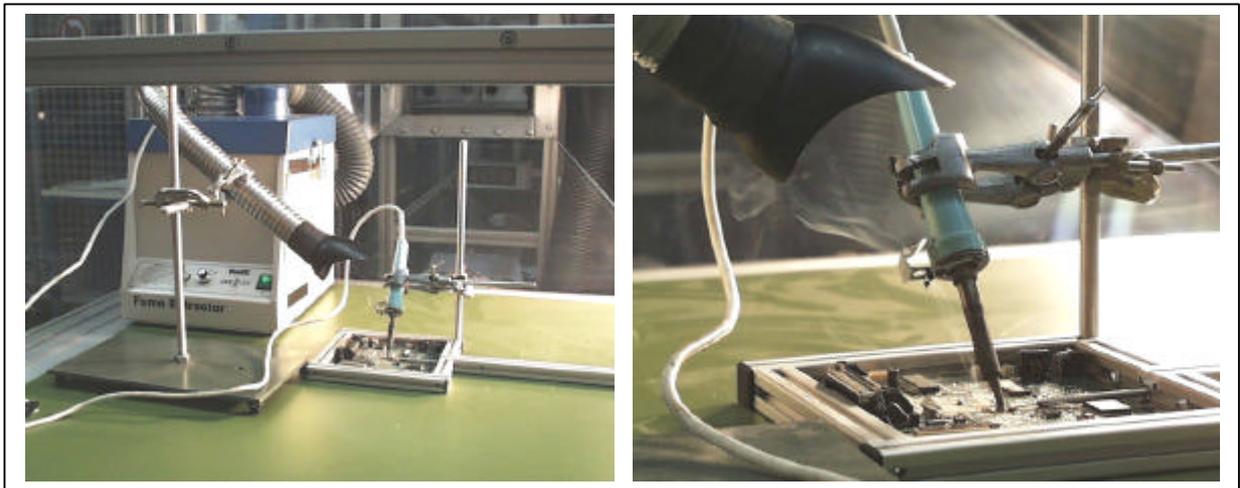


Abbildung 10: Versuchsanordnungen



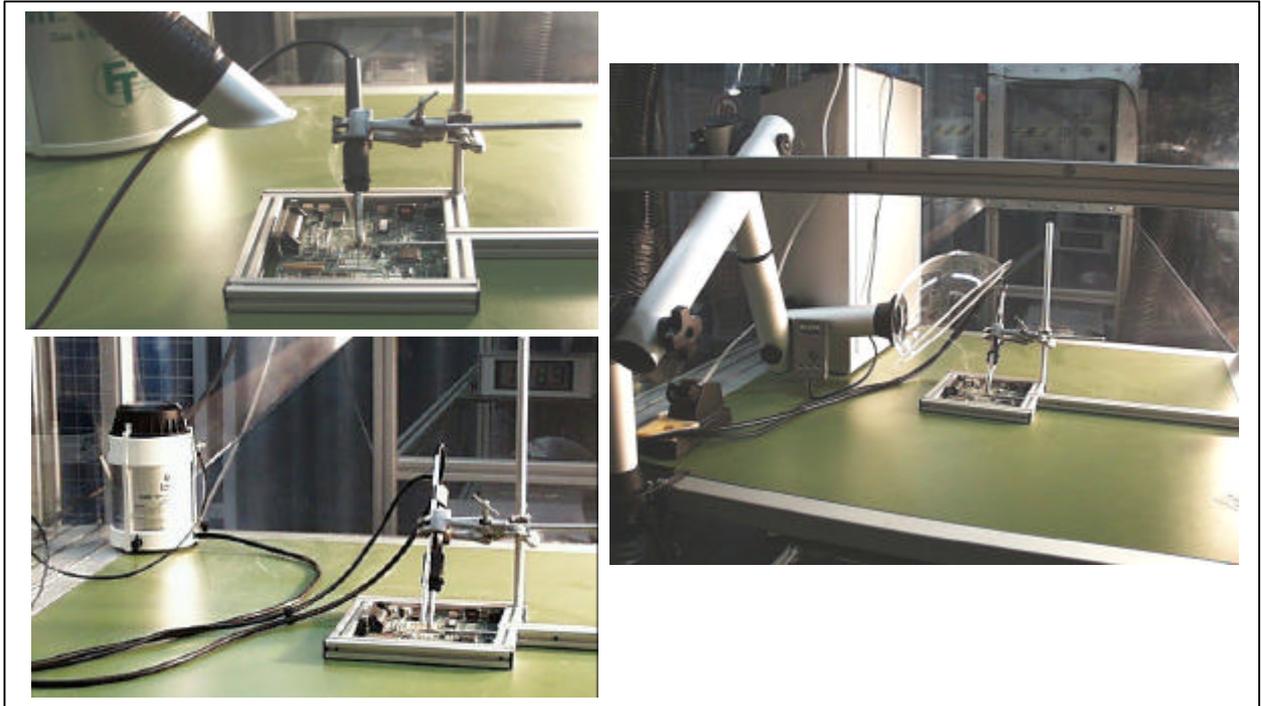


Abbildung 11: Versuchsanordnungen

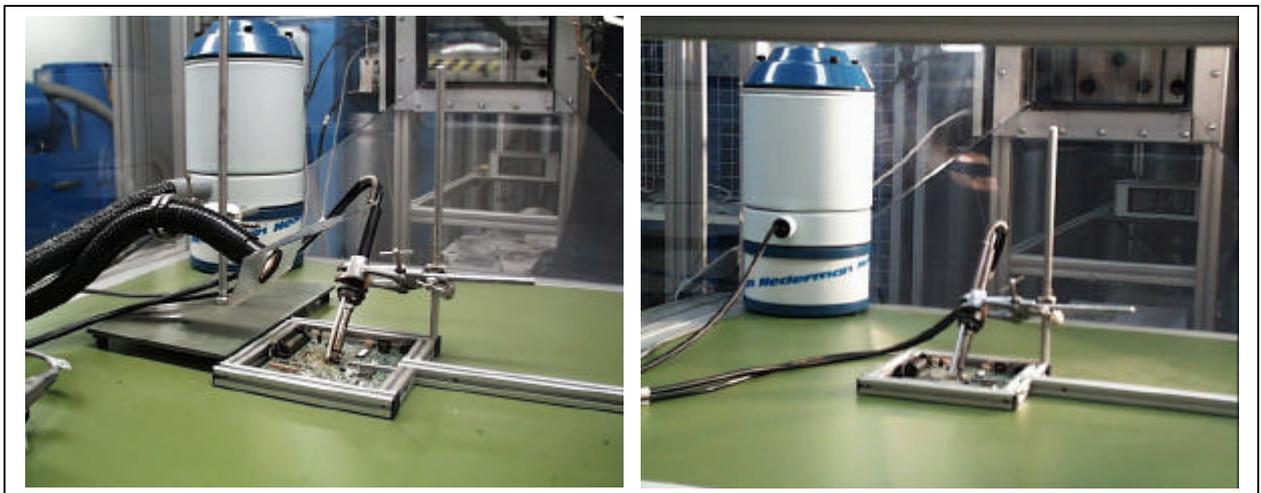


Abbildung 12: Versuchsanordnungen



## 5.2 Filterwägung

Die verwendeten Membranfilter nehmen je nach Wetterlage und momentaner Luftfeuchtigkeit in geringen Mengen Wasser auf bzw. geben es wieder ab. Zur Eliminierung dieses Klimaeinflusses werden parallel zu den eigentlichen Messfiltern 5 sogenannte Referenzfilter gewogen. Diese Referenzfilter sind von der gleichen Sorte wie die Messfilter und verbleiben stets im Wiegeraum. Vor einer Wägung müssen alle Filter mindestens 24 Stunden im Wiegeraum verbleiben, damit ein eventueller Feuchtigkeitsaustausch zwischen Filter und Luft abgeschlossen ist und das Wiegeergebnis nicht durch eine Massedrift instabil wird.

$m_F$  = Rauchmasse auf dem Messfilter

$B_y$  = Masse des Messfilters + Rauchmasse nach dem Test

$T_y$  = Masse des Messfilters ohne Rauch nach dem Test (kann nicht gewogen, sondern muss berechnet werden)

$T_x$  = Masse des Filters vor dem Test

$\sum Y$  = Summe der Referenzfiltermassen nach dem Test

$\sum X$  = Summe der Referenzfiltermassen vor dem Test

$$m_F = B_y - T_y$$

$$\frac{\sum Y}{\sum X} = \frac{T_y}{T_x}$$

$$T_y = T_x * \frac{\sum Y}{\sum X}$$

$$m_F = B_y - T_x * \frac{\sum Y}{\sum X}$$

## 5.3 Gasmessungen

Beim Weichlöten werden neben partikelförmigen Stoffen auch Gase freigesetzt, die eine Gesundheitsgefährdung verursachen können. Je nach verwendetem Flussmittel und je nach Löttemperatur entstehen Pyrolyseprodukte mit unterschiedlicher Zusammensetzung.

Da beim hier verwendeten Lötendraht ein Flussmittel auf Kolophoniumbasis enthalten ist, bilden sich als Schadstoffe im wesentlichen Kolophonium und seine Zersetzungsprodukte. In Deutschland und anderen europäischen Ländern existiert derzeit weder ein Luftgrenzwert, der eine Beurteilung der inhalativen Kolophonium-Aufnahme ermöglicht, noch besteht eine Einigung über die Messung von Inhaltsstoffen bzw. Leitkomponenten.



Kolophonium ist ein aus Koniferen gewonnenes natürliches Harz und besteht zu 90 % aus Harzsäuren. Bei Versuchen zur Bestätigung eines 1997 von Health and Safety Executive – HSE vorgestellten Verfahrens, bei dem die Konzentration der im Lötrauch enthaltenen Harzsäuren gemessen wurde, stellte sich heraus, dass die angegebene Bestimmungsgrenze nicht erreicht wurde und starke Schwankungen in der Reproduzierbarkeit bei insgesamt schlechten Wiederfindungsraten auftraten [4].

In den USA wurde 1993 von der American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) Formaldehyd als Leitkomponente für die Zersetzungsprodukte im Lötrauch festgelegt [4].

Für die Gasmessungen wurde Formaldehyd als Leitkomponente ausgewählt.

Die Gasmessungen wurden bis auf die im Kapitel 3 beschriebenen Modifikationen am Prüfstand und die Verwendung anderer Probenräger in ähnlicher Weise durchgeführt wie die Rauchmessungen, wobei nur Messungen mit dem bleifreien Lot durchgeführt wurden.

Wegen der deutlich geringeren Kabinenabsaugung von 6,25 m<sup>3</sup>/h und der damit geringeren Luftwechselrate von 5,2 h<sup>-1</sup> klingt die Gaskonzentration nicht so schnell ab wie bei den Rauchmessungen, so dass die Nachlaufzeit der Messgeräte vergrößert werden müsste. Allerdings sind die maximal zulässigen Messzeiten der Probenräger in Abhängigkeit vom gewählten Probenahmevolumenstrom begrenzt. Aus diesem Grund wurden die Versuche nicht in 10-Minuten-Intervalle (10 min Löten, 10 min Pause) gegliedert, sondern in zwei Hälften geteilt (1. Hälfte Löten, 2. Hälfte Pause).

Es wurden Probenräger vom Typ „Waters Sep Pak X Posure“ (Silikagel imprägniert mit DNPH = Dinitrophenylhydrazin) und mit DNPH imprägnierte Glasfaserfilter verwendet. Die Probenräger wurden mit dem HLPC (high performance liquid chromatography) – Analyseverfahren ausgewertet. Die Messungen erfolgten jeweils mit zwei Probenrägern, wobei die Teilstromentnahme im Messkanal erfolgte (siehe Foto unten links auf Abbildung 13).



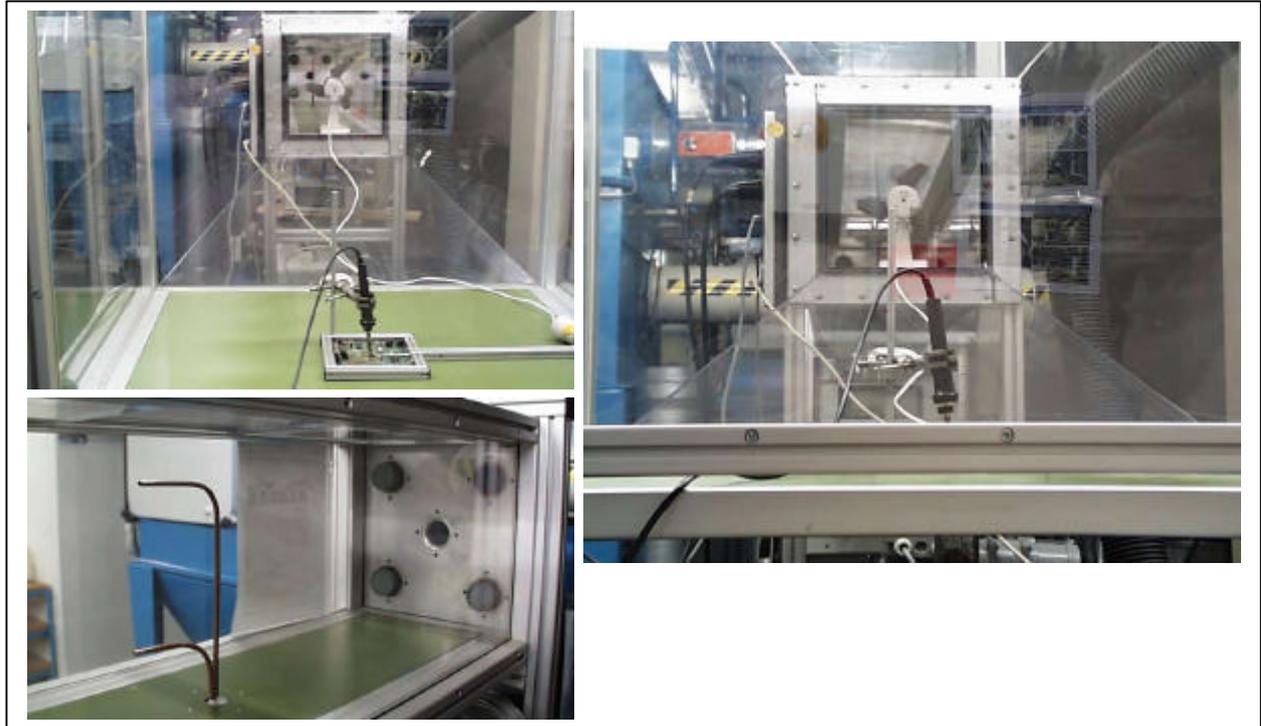


Abbildung 13: Versuchsanordnung bei Gasmessung

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Ergebnisse der Rauchmessungen

Die Ergebnisse wurden entsprechend der untersuchten Gerätearten gegliedert:

- Versuche ohne Absaugung
- Versuche mit Spitzenabsaugung
- Versuche mit Haubenabsaugung
- Versuche mit Tischgeräten

Durch farbliche Kennzeichnung der Balken ist erkennbar, ob die Versuche mit bleihaltigem (schwarz) oder bleifreiem Lot (grau) durchgeführt wurden.

Die in den folgenden Tabellen ausgewiesenen Einzelwerte sind Mittelwerte aus jeweils drei Messfiltern.



## 6.1.1 Versuche ohne Absaugung

Vers.-Nr.	Blei im Lot	Saugstufe	Absaugung	Löt Rauchkonzentration		Filterbelegung	Geschmolzenes Lot	Messzeit
				Einzelwerte	Mittelwerte			
0	Ja	-	Ohne	0,919 mg/m <sup>3</sup>	0,953 mg/m <sup>3</sup>	45,95 mg	10 g	60 min
5	Ja	-	Ohne	0,954 mg/m <sup>3</sup>		95,43 mg	16,6 g	120 min
6	Ja	-	Ohne	0,985 mg/m <sup>3</sup>		98,49 mg	16,7 g	120 min
7	Nein	-	Ohne	1,341 mg/m <sup>3</sup>	1,298 mg/m <sup>3</sup>	134,1 mg	16,3 g	120 min
20	Nein	-	Ohne	1,229 mg/m <sup>3</sup>		61,45 mg	7,7 g	60 min
21	Nein	-	Ohne	1,252 mg/m <sup>3</sup>		62,62 mg	7,5 g	60 min
22	Nein	-	Ohne	1,369 mg/m <sup>3</sup>		68,47 mg	7,5 g	60 min

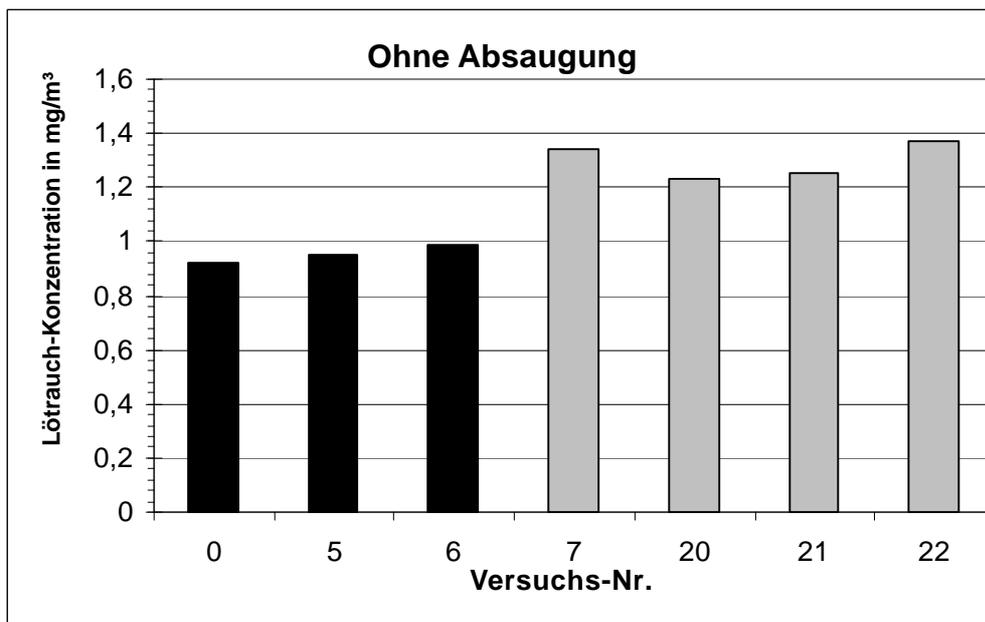


Abbildung 14: Versuche ohne Absaugung

Die Messungen ohne Absaugung zeigen, dass bei dem bleifreien Lot etwas mehr Rauch freigesetzt wird als beim bleihaltigen Lot. Dies hängt vermutlich mit einer anderen Zusammensetzung oder geringfügig vergrößertem Durchmesser der Flussmittelseele im Löt draht zusammen.

Bei den Versuchen mit bleihaltigem Löt draht wurde eine Bleianalyse des auf dem Filter abgeschiedenen Rauchs durchgeführt. Hierfür wurde das Filter mit der größten Belegung (eines von drei Filtern, Versuch Nr. 5) verwendet. Die Bleianalyse blieb trotz der hohen Filterbelegung von 110,86 mg und der hohen Lottemperatur von 450 °C unter der Bestimmungsgrenze von 0,066 mg, so dass der Bleigehalt des Rauchs weniger als 0,06 Prozent beträgt. Somit ist eine gesundheitliche Gefährdung durch Blei beim Kolbenlöten weniger durch Aufnahme über die Atemluft, sondern mehr durch Hautkontakt in Kombination mit z.B. mangelnder Hygiene bei der Aufnahme von Nahrung gegeben.



### 6.1.2 Versuche mit Spitzenabsaugung

Vers.-Nr.	Blei im Lot	Saugstufe	Absaugung	Lötrauchkonzentration		Filterbelegung	Geschmolzenes Lot	Messzeit
				Einzelwerte	Mittelwerte			
11	Ja	5bar	1,55 m³/h	0,054 mg/m³		5,393 mg	19 g	120 min
37	Nein	5bar		0,563 mg/m³	0,381 mg/m³	56,32 mg	15,65 g	120 min
38	Nein	5bar		0,128 mg/m³		12,79 mg	15 g	120 min
39	Nein	5bar		0,453 mg/m³		45,32 mg	16,5 g	120 min
15	Ja	-	1,79 m³/h	0,033 mg/m³			3,336 mg	18,9 g
65	Nein	-		0,02 mg/m³	0,02 mg/m³	2,03 mg	15 g	120 min
66	Nein	-		0,019 mg/m³		1,943 mg	16,3 g	120 min
17	Ja	5bar	1,95 m³/h	0,005 mg/m³		0,521 mg	18,9 g	120 min
68	Nein	5bar		< 0,02 mg/m³	0,084 mg/m³	< 2 mg	16,5 g	120 min
69	Nein	5bar		0,026 mg/m³		2,643 mg	16,6 g	120 min
70	Nein	5bar		0,205 mg/m³		20,45 mg	16,7 g	120 min
18	Ja	4	0,55 m³/h	0,04 mg/m³			3,999 mg	18,9 g
33	Nein	4		0,554 mg/m³	0,712 mg/m³	55,39 mg	14,9 g	120 min
34	Nein	4		0,856 mg/m³		85,56 mg	15,5 g	120 min
35	Nein	4		0,942 mg/m³		94,17 mg	15,3 g	120 min
36	Nein	4		0,497 mg/m³		49,74 mg	14,9 g	120 min
10	Ja	-	0,83 m³/h	0,086 mg/m³		8,642 mg	18,5 g	120 min
60	Nein			0,044 mg/m³	0,043 mg/m³	4,417 mg	15,9 g	120 min
61	Nein			0,042 mg/m³		4,21 mg	15,6 g	120 min
8	Ja	-	1,22 m³/h	0,02 mg/m³		1,993 mg	18,8 g	120 min
74	Nein	-		0,055 mg/m³	0,115 mg/m³	5,485 mg	16,9 g	120 min
75	Nein	-		0,111 mg/m³		11,05 mg	16,9 g	120 min
76	Nein	-		0,179 mg/m³		17,9 mg	16 g	120 min

Anmerkung: Die in der Tabellenspalte „Filterbelegung“ enthaltenen Zahlen wurden grau hinterlegt, wenn die Werte kleiner oder gleich der Bestimmungsgrenze von zwei mg waren. Bei der Mittelwertberechnung für die Lötrauchkonzentrationen wurden die Bestimmungsgrenzen wie gemessene Werte behandelt.

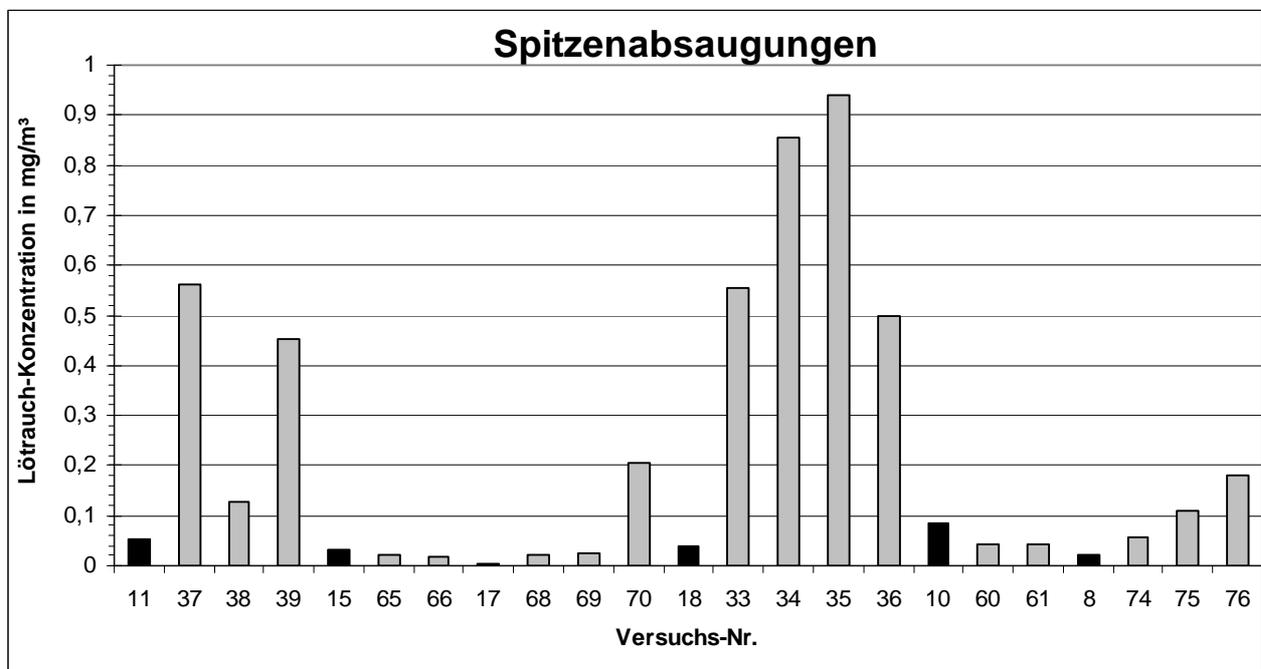


Abbildung 15: Versuche mit Spitzenabsaugungen



Bei den Spitzenabsaugungen fällt auf, dass die Messergebnisse eine große Streuung aufweisen. Während bei den ersten Versuchen in der Regel sehr geringe Rauchkonzentrationen gemessen wurden, wurden diese Werte bei Wiederholungsversuchen um ein Vielfaches überschritten. Spitzenabsaugungen 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. Es wurde zwar vor jedem neuen Versuch das Ansaugröhrchen mit der vom Hersteller mitgelieferten Drahtbürste gereinigt, jedoch bildet das auskondensierende Kolophonium harte Krusten, die nur schwer zu entfernen sind. Sehr problematisch sind die Ablagerungen im Saugschlauch, da man diese Ablagerungen nicht sehen und wegen der Schlauchlängen auch kaum auf mechanischem Weg entfernen kann. Für die chemische Entfernung sind Lösemittel erforderlich, die selbst wieder eine Gefahrstoffquelle darstellen. Aus diesem Grund wurde diese Reinigungsart nicht angewendet, da ein kontaminierter Prüfstand unter Umständen lange Zeit benötigt, bis die Konzentration der flüchtigen Stoffe abgeklungen ist und keine Verfälschung bei Gasmessungen mehr zu erwarten ist.

Wenn man berücksichtigt, dass in der Regel pro Gerät vier Versuche à 2 Stunden durchgeführt wurden, also trotz einer Betriebsdauer von nur acht Stunden derartige Streuungen auftreten, muss selbst bei täglicher Reinigung mit einem Abfall der Saugleistung gerechnet werden. Beispielhaft sollen hier die Ablagerungen an einem hinter Ansaugröhrchen und Saugschlauch positionierten Stutzen gezeigt werden (siehe Abb. 16 rechts).

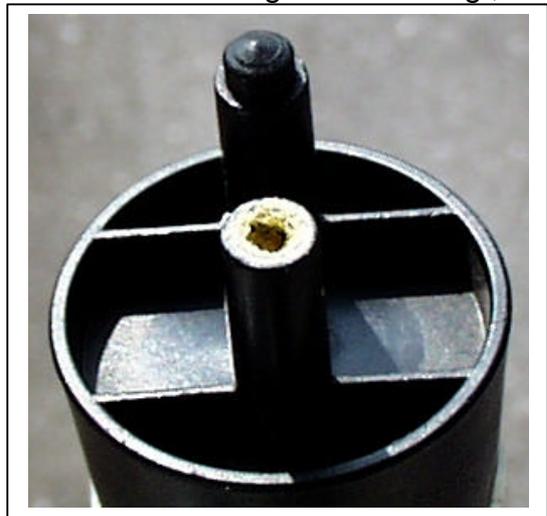


Abbildung 16: Ablagerungen



### 6.1.3 Versuche mit Haubenabsaugung

Vers.-Nr.	Blei im Lot	Saugstufe	Absaugung	Lötrauchkonzentration		Filterbelegung	Geschmolzenes Lot	Messzeit
				Einzelwerte	Mittelwerte			
16	Ja	3	53,9 m³/h	0,042 mg/m³		4,211 mg	16,6 g	120 min
50	Nein	3		0,036 mg/m³	0,024 mg/m³	3,572 mg	15,85 g	120 min
51	Nein	3		0,023 mg/m³		2,341 mg	15,75 g	120 min
52	Nein	3		0,014 mg/m³		1,35 mg	15,7 g	120 min
12	Ja	5	45,4 m³/h	0,067 mg/m³			6,652 mg	18,1 g
46	Nein	5		0,043 mg/m³	0,027 mg/m³	4,282 mg	16 g	120 min
47	Nein	5		< 0,02 mg/m³		< 2 mg	15,55 g	120 min
48	Nein	5		< 0,02 mg/m³		< 2 mg	15,6 g	120 min
49	Nein	3		0,025 mg/m³		2,525 mg	15,55 g	120 min
4	Ja	3	55,4 m³/h	0,023 mg/m³		2,324 mg	18,9 g	120 min
53	Nein	3		< 0,02 mg/m³	0,02 mg/m³	< 2 mg	18,6 g	120 min
54	Nein	3		< 0,02 mg/m³		< 2 mg	16,2 g	120 min
55	Nein	3		< 0,02 mg/m³		< 2 mg	15,8 g	120 min
3	Ja	4	22,3 m³/h	0,152 mg/m³			15,16 mg	18,2 g
30	Nein	4		0,181 mg/m³	0,143 mg/m³	18,05 mg	15,4 g	120 min
31	Nein	4		0,156 mg/m³		15,57 mg	14,8 g	120 min
32	Nein	4		0,091 mg/m³		9,148 mg	16 g	120 min
13	Ja	3	47,8 m³/h	0,058 mg/m³			5,849 mg	19,2 g
56	Nein	3		0,041 mg/m³	0,03 mg/m³	4,06 mg	15,8 g	120 min
57	Nein	3		< 0,02 mg/m³		< 2 mg	15,5 g	120 min
58	Nein	3		0,029 mg/m³		2,863 mg	16,15 g	120 min
40	Nein	50%	56,5 m³/h	0,034 mg/m³		0,046 mg/m³	3,387 mg	15,3 g
41	Nein	50%		0,039 mg/m³	3,857 mg		15 g	120 min
42	Nein	50%		0,066 mg/m³	6,56 mg		14,3 g	120 min
43	Nein	50%	56,5 m³/h	0,02 mg/m³	2,047 mg		15,8 g	120 min
44	Nein	50%		0,035 mg/m³	0,041 mg/m³	3,463 mg	15,4 g	120 min
45	Nein	50%		0,069 mg/m³		6,937 mg	15,8 g	120 min
14	Ja	70%	83,1 m³/h	0,019 mg/m³		1,947 mg	19 g	120 min
71	Nein	70%		< 0,02 mg/m³	0,019 mg/m³	< 2 mg	15 g	120 min
72	Nein	70%		< 0,02 mg/m³		< 2 mg	16,8 g	120 min
73	Nein	70%		0,016 mg/m³		1,585 mg	16,8 g	120 min

Anmerkung: Die in der Tabellenspalte „Filterbelegung“ enthaltenen Zahlen wurden grau hinterlegt, wenn die Werte kleiner oder gleich der Bestimmungsgrenze von zwei mg waren. Bei der Mittelwertberechnung für die Lötrauchkonzentrationen wurden die Bestimmungsgrenzen wie gemessene Werte behandelt.

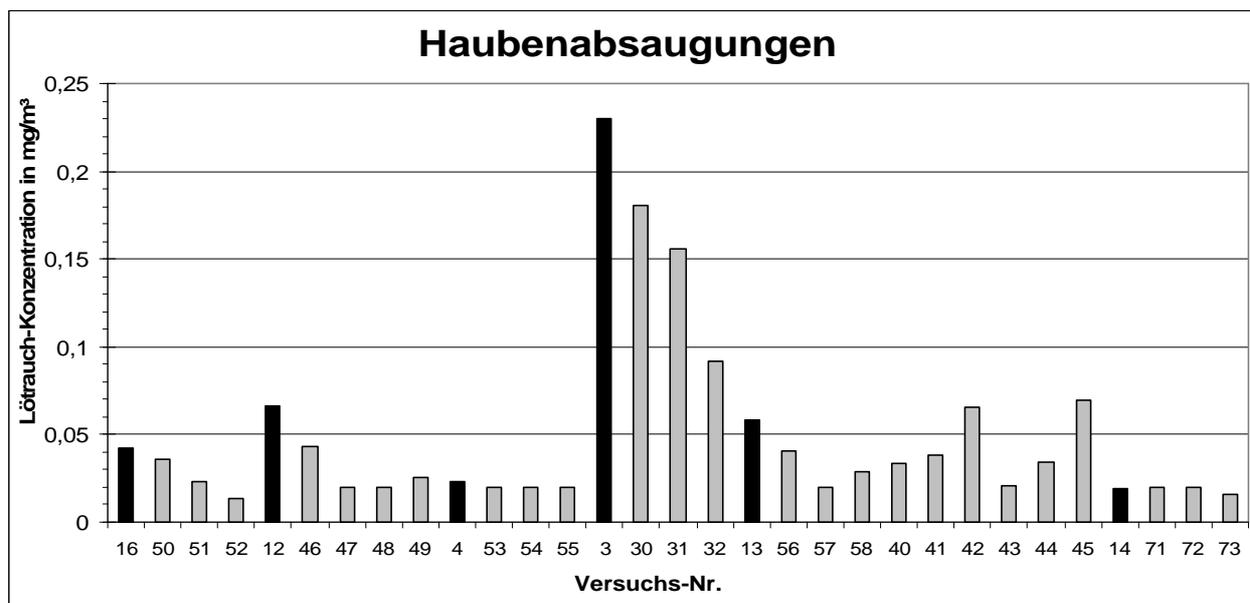


Abbildung 17: Versuche mit Haubenabsaugung



Die Versuche mit den Haubenabsaugungen zeigen im Vergleich zu den Versuchen ohne Absaugung, dass beim bleihaltigen Lot mehr Rauch auf den Messfiltern gesammelt wurde. Dieses Phänomen hat vermutlich seine Ursache darin, dass die Versuche mit dem bleihaltigen Lot zuerst durchgeführt wurden und dass es sich beim freigesetzten Rauch um sehr kleine Partikel handelt, die an den neuen Filtern nur unzureichend abgeschieden werden. Es baut sich jedoch innerhalb von Stunden ein Filterkuchen auf, der die Abscheidung entscheidend verbessert. Betrachtet man die Versuche Nr. 3, 30, 31, und 32, die in dieser Reihenfolge mit einem Abscheider durchgeführt wurden, so erkennt man deutlich eine fallende Tendenz.

### 6.1.4 Versuche mit Tischgeräten

Vers.-Nr.	Blei im Lot	Saugstufe	Absaugung	Löt Rauchkonzentration		Filterbelegung	Geschmolzenes Lot	Messzeit
				Einzelwerte	Mittelwerte			
9	Ja	-	nicht messbar	0,719 mg/m <sup>3</sup>		71,85 mg	19,1 g	120 min
62	Nein	-	nicht messbar	0,87 mg/m <sup>3</sup>	0,86 mg/m <sup>3</sup>	86,95 mg	14,5 g	120 min
63	Nein	-	nicht messbar	0,962 mg/m <sup>3</sup>		96,18 mg	15,2 g	120 min
64	Nein	-	nicht messbar	0,749 mg/m <sup>3</sup>		74,91 mg	13,5 g	120 min
23	Nein	12 V	nicht messbar	1,208 mg/m <sup>3</sup>	1,042 mg/m <sup>3</sup>	120,8 mg	14,9 g	120 min
24	Nein	12 V	nicht messbar	1,026 mg/m <sup>3</sup>		102,6 mg	15,7 g	120 min
25	Nein	12 V	nicht messbar	0,892 mg/m <sup>3</sup>		89,19 mg	16 g	120 min
26	Nein	-	nicht messbar	0,984 mg/m <sup>3</sup>	1,06 mg/m <sup>3</sup>	98,35 mg	14,6 g	120 min
27	Nein	-	nicht messbar	1,092 mg/m <sup>3</sup>		109,2 mg	15,25 g	120 min
28	Nein	-	nicht messbar	1,105 mg/m <sup>3</sup>		92,12 mg	12,9 g	100 min

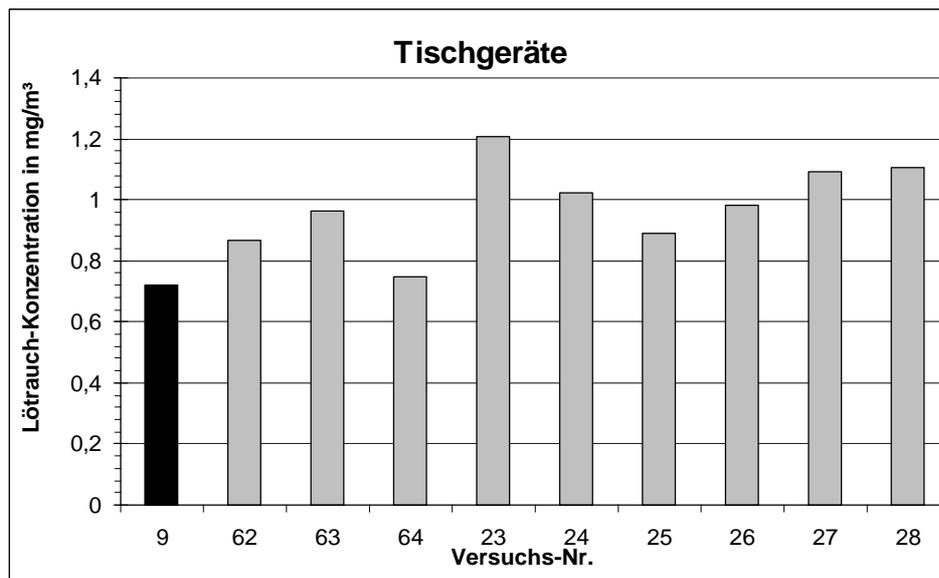


Abbildung 18: Versuche mit Tischgeräten

In den durchgeführten Versuchen wiesen die Tischgeräte das geringste Abscheidevermögen auf. Bei den Tischgeräten sind Filter und Ventilator direkt in der Erfassungshaube integriert, so dass infolge Platzmangels Kompromisse an Filterfläche und Absaugleistung gemacht wurden. Im Gegenlicht konnte man erkennen, dass die Rauche zwar gut angesaugt wurden, aber aufgrund von Filtern mit unzureichender Abscheidung ein Grossteil der Schadstoffe reinluftseitig wieder ausgeblasen wurden.



## 6.2 Ergebnisse der Gasmessungen

Zunächst wurde eine Messung durchgeführt, ohne dass gelötet wurde. Hier ergab sich nach 60 Minuten Messzeit und einem Probenahmestrom von 80 l/min eine Formaldehydkonzentration von 0,0125 mg/m<sup>3</sup>.

Alle folgenden Gasmessungen wurden ohne Lötrauch-Absauggeräte durchgeführt. Bei den nächsten zwei Messungen erhöhte sich wegen der Lötrauche der Anströmwiderrstand der Probenträger „Waters Sep Pak X Posure“ so stark, dass die Pumpen infolge Überlastung vorzeitig abschalteten. Dies war auch der Fall, nachdem der Probenahmestrom von 80 l/min auf 20 l/min abgesenkt wurde. Die ermittelten Messwerte lagen alle unter der Bestimmungsgrenze.

Daher wurden bei den nächsten Messungen mit Dinitrophenylhydrazin (DNPH) imprägnierte Glasfaserfilter (GF) mit 37mm Durchmesser (Milliporekapsel) verwendet. Auch hier blieben die Messwerte, obwohl die Messzeit auf 120 min erhöht wurde, unter der Bestimmungsgrenze.

Die einzelnen Ergebnisse der Formaldehydmessungen sind in der folgenden Tabelle aufgelistet:

Test Nr.	Beschreibung Alle Tests mit bleifreiem Lot	Probenträger	Messzeit Minuten	Ergebnisse von Ansaugsonde	
				oben	unten
Fn1	Nullmessung	Waters Sep Pak X Posure, 80 l/h	60	0,012 mg/m <sup>3</sup>	0,013 mg/m <sup>3</sup>
F1	Löten ohne Absaugung	Waters Sep Pak X Posure, 80 l/h	17 28	< 0,02 mg/m <sup>3</sup>	< 0,02 mg/m <sup>3</sup>
F2	Löten ohne Absaugung	Waters Sep Pak X Posure, 20 l/h	19 31	< 0,07 mg/m <sup>3</sup>	< 0,04 mg/m <sup>3</sup>
F3	Löten ohne Absaugung	GF imprägniert mit DNPH, 20 l/h	60	< 0,02 mg/m <sup>3</sup>	< 0,02 mg/m <sup>3</sup>
F4	Löten ohne Absaugung	GF imprägniert mit DNPH, 20 l/h	60	< 0,02 mg/m <sup>3</sup>	< 0,02 mg/m <sup>3</sup>
F5	Löten ohne Absaugung	GF imprägniert mit DNPH, 20 l/h	120	< 0,01 mg/m <sup>3</sup>	< 0,01 mg/m <sup>3</sup>
F6	Löten ohne Absaugung	GF imprägniert mit DNPH, 20 l/h	120	< 0,01 mg/m <sup>3</sup>	< 0,01 mg/m <sup>3</sup>
F6	Löten ohne Absaugung	GF <sub>VC25G</sub> imprägn. mit DNPH, 6250 l/h	25	0,008 mg/m <sup>3</sup>	

Anmerkung: Auch andere Aldehyde konnten nicht nachgewiesen werden.

Durch die Verwendung eines großen Glasfaserfilters mit einem Durchmesser von 150 mm (VC 25G) während des Versuches F6, konnte für 25 Minuten die gesamte Luft der Kabinensaugung über den Probenträger gesaugt werden (keine Teilstromentnahme). Ursprünglich war dieses Filter nur zum Schutz der Vakuumpumpe vor Verschmutzungen durch die Rauchemissionen vorgesehen. Durch die Imprägnierung mit DNPH konnte es auch als Messfilter für Aldehyde verwendet werden. Es handelt sich hier nicht um ein erprobtes Standardmessverfahren. Infolge des hohen Luftdurchsatzes besteht die Gefahr, dass das zu messende Gas nicht vollständig auf dem Filter abgeschieden wird (Filterdurchbruch). Das hier ermittelte Messergebnis lag im Bereich der Nullmessung. Es besitzt auf Grund des möglichen Filterdurchbruchs nur eine begrenzte Aussagekraft. Zweck dieser Messung war es, eine Abschätzung vorzunehmen, ob im Vergleich zur Nullmessung beim Löten eine Zunahme der Formaldehydkonzentration festzustellen ist, was sich jedoch nicht bestätigte.

Eine Beurteilung der Gasabscheidung mit Formaldehyd als Leitkomponente ist nicht möglich, da selbst beim Betrieb ohne Lötrauchabscheider so geringe Mengen



freigesetzt werden, dass die Messergebnisse größtenteils kleiner als die Bestimmungsgrenze sind.

## 7 Zusammenfassung

Aus den Untersuchungsergebnissen ist ersichtlich, dass die geringsten Lötrauchemissionen beim Einsatz von Haubenabsaugungen auftreten. Die untersuchten Geräte mit Haubenabsaugung zeichnen sich bei bestimmungsgemäßem Betrieb durch einen geringen Wartungsaufwand aus.

Geräte mit Spitzenabsaugung zeigen geringfügig höhere Lötrauchemissionen. Allerdings ist hier der Wartungsaufwand wesentlich höher, da an den Ansaugröhrchen und Schläuchen immer wieder Verstopfungen auftreten. Bei den Versuchen war bereits nach zwei Betriebsstunden eine Reinigung erforderlich.

Die höchsten Lötrauchemissionen wurden bei Tischgeräten ermittelt. Diese sind nur unwesentlich geringer als bei den Versuchen ohne Absaugung.

## 8 Ausblick

Wünschenswert wäre bei allen Lötrauch-Absauggeräten eine Mindestvolumenstromüberwachung, damit der Anwender sofort merkt, wann Wartungsarbeiten, wie zum Beispiel Filterwechsel oder Beseitigung von Ablagerungen in Saugschläuchen erforderlich sind. Dies ist insbesondere bei Lötspitzenabsaugungen notwendig, da diese Absaugart außerordentlich schnell zum Verstopfen neigt. Hier wäre eine detaillierte Anleitung bzgl. des Reinigens von Ansaugröhrchen und Saugschlauch in der Bedienungsanleitung hilfreich. Zur besseren Überprüfung, ob alle Ablagerungen entfernt wurden, sollten transparente Saugschläuche verwendet werden.

Transparentes Material, ist auch bei Erfassungshauben von Vorteil, da diese dann nicht die Sicht behindern und direkt zwischen Lötstelle und Gesicht der mit den Lötarbeiten befassten Person positioniert werden können.

Eine Verriegelung der Lötkolbentemperatur an der Lötstation (mit Schlüsseltaster, Nummerncode, Magnetkarte oder Ähnlichem) begleitet von einer Mitarbeiterunterweisung würde verhindern, dass aus Unkenntnis stets mit Maximaltemperatur gelötet wird und somit zur Verringerung der emittierten Gefahrstoffmenge beitragen.

Partikelfilter verbessern durch den Aufbau eines Filterkuchens ihr Abscheideverhalten und brauchen nicht ausgetauscht zu werden, solange ihr Anströmwiderstand nicht so groß wird, dass der Mindestvolumenstrom unterschritten wird. Während die Standzeit eines Partikelfilters über die Mindestvolumenstromüberwachung kontrolliert werden kann, ist beim Gasfilter der Austausch nach einer bestimmten Betriebszeit notwendig. Zur Überwachung dieser Zeitintervalle sollten die Lötrauchabsauggeräte



mit einem Betriebsstundenzähler ausgestattet sein, der nach jedem Gasfilterwechsel wieder auf Null gestellt werden kann. Eine zweistufige Filterung mit getrenntem Partikel- und Gasfilter ist vorteilhaft, da der vorgeschaltete Partikelfilter die Standzeit des Gasfilters verlängert.

Momentan steht kein praktikables Messverfahren zur Verfügung, das eine Beurteilung von Gasemissionen bei Kolophoniumrauchen zulässt. Während das auf der Analyse von Harzsäuren basierende Verfahren nicht einsetzbar ist, besteht beim Formaldehydverfahren das Problem, dass keine ausreichenden Mengen freigesetzt werden, die über der Bestimmungsgrenze dieses Verfahrens liegen. Da bereits in der Vergangenheit (z.B. in den USA) Formaldehyd als Leitkomponente zur Beurteilung von Kolophoniumrauchen verwendet wurde, liegt die Vermutung nahe, dass mit dem bleifreien Lot auch das Flussmittel modifiziert wurde und deshalb kein Formaldehyd nachweisbar war. Des Weiteren bezweifeln einige Stellen, dass beim Umgang mit Kolophonium ein Zusammenhang zwischen Formaldehyd- und Harzsäurekonzentration in der Luft besteht. Der 1993 in den USA festgelegte Formaldehydgrenzwert für Lötungsplätze wurde inzwischen wegen der sensibilisierenden Wirkung wieder aufgehoben [4].



## 9 Literatur

- [1] DIN 33896-1 „Bestimmung der Staubemissionsrate von Maschinen zum Einsatz auf Arbeitstischen, Teil1: Basisverfahren“ Beuth Verlag, Berlin 11/1994
- [2] DIN EN 1093-3 „Sicherheit von Maschinen - Bewertung der Emission von luftgetragenen Gefahrstoffen Teil 3: Emissionsrate eines festgelegten luftverunreinigenden Stoffes, Prüfstandsverfahren unter Verwendung eines realen luftverunreinigenden Stoffes“ Beuth Verlag, Berlin 5/1996
- [3] EG – Richtlinie „Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten“. RL 2002/95/EG
- [4] Dr. Lichtenstein „Vorgehensweise bei der Beurteilung von Arbeitsplätzen mit Exposition gegenüber Kolophonium“, veröffentlicht in der Zeitschrift „Gefahrstoffe: Reinhaltung der Luft“ Nr. 6, Springer VDI-Verlag, Düsseldorf Juni 2000.

