

## Fachartikel

27.10.2017

### Lötrauch – ein lästiger Begleiter

### Analysemethoden und Abscheidetechnik

**Dr. Hans Bell, Jochen Burkhardt, Marcel Kneer, Paul Wild, Rehm Thermal Systems GmbH**

**Natürlich ist er ein lästiger Begleiter des Reflowlötens, der Lötrauch. Aber solange wir mit Lotpasten, Leiterplatten und Bauelementen arbeiten, die während des thermischen Prozesses ausgasen, müssen wir uns um diese sogenannten Residues kümmern. Erst kürzlich hat ein asiatischer SMT-Fertiger den Wunsch geäußert: “remove exhaust totally”, was zeigt, dass nicht jedem die komplexen Zusammenhänge beim Reflowlötprozess gegenwärtig sind. Man kann die Verschmutzungsproblematik nicht ignorieren!**

Dieser Artikel beschreibt einige Methoden, wie wir in Zusammenarbeit mit verschiedenen Instituten, Hochschulen und Industriepartnern den Lötrauch analysieren, um daraus Schlussfolgerungen für die Reflowlötanlagentechnik zu ziehen. Das Ziel ist stets die effektivste Abscheidung bei geringem Wartungsaufwand zu erzielen.

#### **Der Gewichtsverlust**

Eine der schnellsten und für SMT-Fertigungsstätten praktikabelsten Methoden etwas über die Lötresidues zu lernen, ist die Bestimmung des Gewichtsverlustes. Allgemein kann festgestellt werden, dass jede Baugruppe (BG) während des Reflowlötens einen Gewichtsverlust erleidet. Neuerliche Messungen an einer SMD-Linie haben einen verhältnismäßig großen Gewichtsverlust von 0,41 g/BG-Nutzen ergeben. Bei einer Fertigungstaktzeit von 30 s/BG-Nutzen würden demnach in 24 Stunden 1,2 kg Rückstände in der Reflowlötanlage anfallen, die gezielt abgeschieden werden müssen. Allgemein bekannt ist, dass Lotpaste bis zu 50 Vol% chemische Stoffe enthält, die zu einem erheblichen Anteil während des Reflowprozesses ausgasen, wie auch die Messungen von Westerlaken [1] auf Bild 1 zeigen. Der Gewichtsverlust ist vom Lotpastentyp und von den Materialien der Baugruppe insgesamt abhängig. Einen nicht unwesentlichen Teil der Residues wird durch die aus der Leiterplatte austretende Feuchte verursacht. Löffler [2] konnte in einigen Versuchen nachweisen, dass Leiterplatten nach einer Auslagerung im Wärmeschrank (2 h / 80 °C) bei anschließender Lagerung unter normalem Raumklima wieder an Gewicht zunehmen. Die Differenz zwischen den beiden auf Bild 2 gezeigten Kurven (ohne und mit Reflowbelastung nach

der thermischen Auslagerung) kann auf die reine Wasseraufnahme zurückgeführt werden.

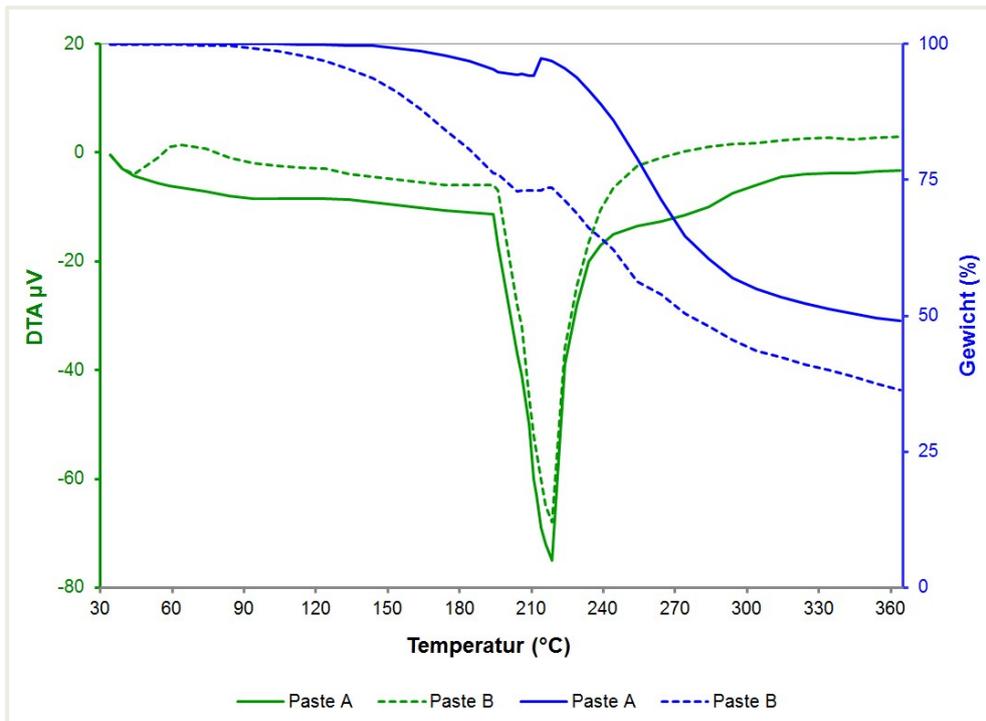


Bild 1: Messung des Gewichtsverlustes von Lotpasten nach E. Westerlaken [1]

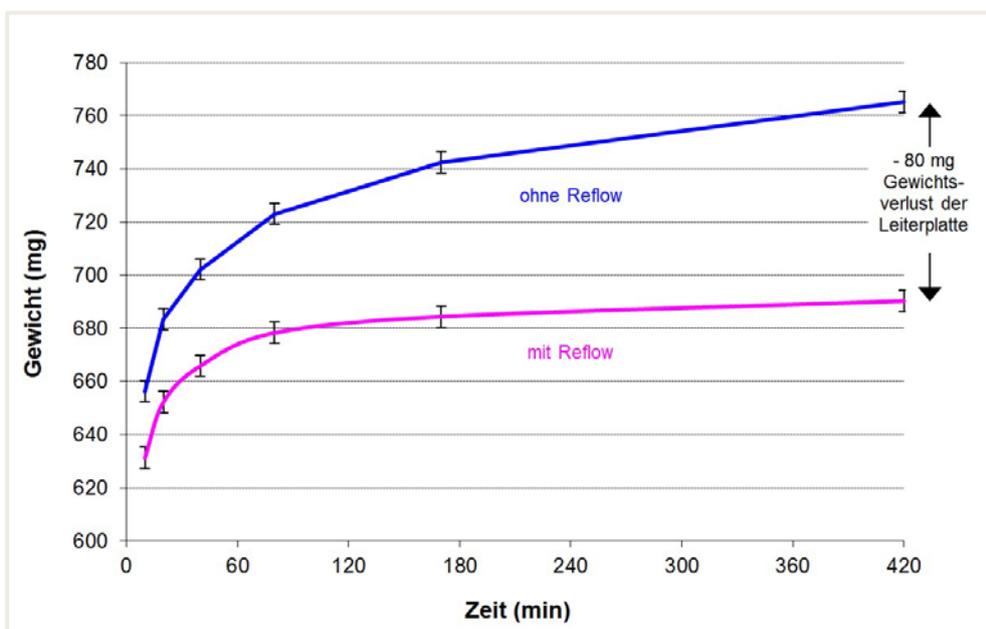


Bild 2: Feuchtigkeitsaufnahme von Leiterplatten nach einer Auslagerung im Wärmeschrank 120 min / 80  $^{\circ}\text{C}$  nach M. Löffler [2]

Es ist jeder Fertigungsstätte zu empfehlen, Gewichtsverlust-Bestimmungen durchzuführen, die ein besonderes Verschmutzungspotential in ihren Lötanlagen beobachtet.

### Woraus bestehen die Residues?

Sowohl flüssige, zähviskose als auch feste/kristalline Residues werden in Reflowanlagen nachgewiesen (Bilder 3a, b).

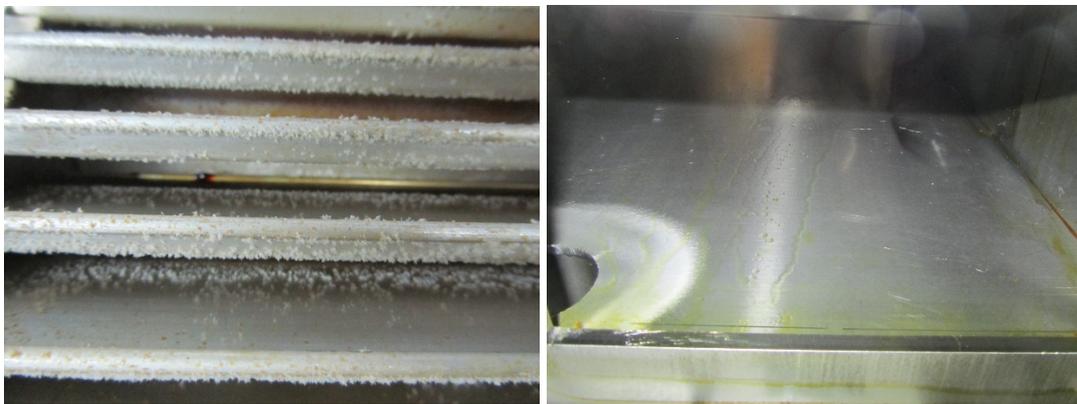


Bild 3a, b: Kristalline und flüssige Abscheidungen in der Reflowanlage

Verschiedentlich wurde von uns eine Stoffbestimmung der Residues versucht. So wurde in einer von Cygon/Isola GmbH 2005 durchgeführten Analyse der abgetrennten Feststoffe der Residues Melamin gefunden. Methylenchloridextrakte deuten auf Gemische aus Flussmitteln der Pasten und Phthalaten (Weichmacher) hin. Frühere Untersuchungen (1997) von Siemens weisen Dimethyltetrahydrophalsäure/Hexahydrophalsäure-Verbindungen nach, die als Härterbestandteile von Vergussmassen/Lötstopplacken identifiziert wurden. Reste von Lötstopplacken, insbesondere der grüne Farbstoff, findet sich immer wieder in den Residues unserer Abscheidesysteme. Glykoetherverbindungen, Benzophenon-Verbindungen und Kolophonium in den Residues lassen ihren Ursprung in der Lotpaste vermuten. Untersuchungen von Siemens VDO (2002) weisen harzartige Polyalkohole, Amid sowie Carbonsäureester in den Residues (die aus den Vorheiz- und Peakzonen stammten) aus. Residues aus Reflowlötanlagen sollten, wie auch Lotpastenreste nach dem Pastendruck, als besonders überwachungsbedürftiger Abfall behandelt werden und über den entsprechenden Abfallschlüssel entsorgt werden.

Allgemein kann jeder flüchtige Stoff aus der Baugruppe (Leiterplatte, Lotpaste, Bauelemente) in den Verunreinigungen wiedergefunden werden. Ein stoffbezogenes Abscheidesystem für eine Reflowlötanlage wird durch die unbestimmte Vielfalt der Stoffe nahezu unmöglich. Die Tabelle 1 listet einige Inhaltsstoffe der Reflow-Residues auf.

Nachgewiesene Stoffe	Mögliche Quelle
Melamin Methylenchloridextrakte Glykoetherverbindungen Benzophenonverbindungen Kolophonium Harzartige Polyalkohole Amid Carbonylhaltige Verbindungen Carbonsäureester	Lotpaste, Flussmittel
Phthalate	Weichmacher
Dimethyltetrahydrophalsäure/Hexahydrophalsäure- Verbindungen Härterbestandteile von Vergussmassen/Lötstopplacke	Vergussmassen Lötstopplack
Karbonsäureartige Oxydationsprodukte Trimellitsäureester	Kettenöl

Tabelle 1: Einige Inhaltsstoffe von Reflow-Residues

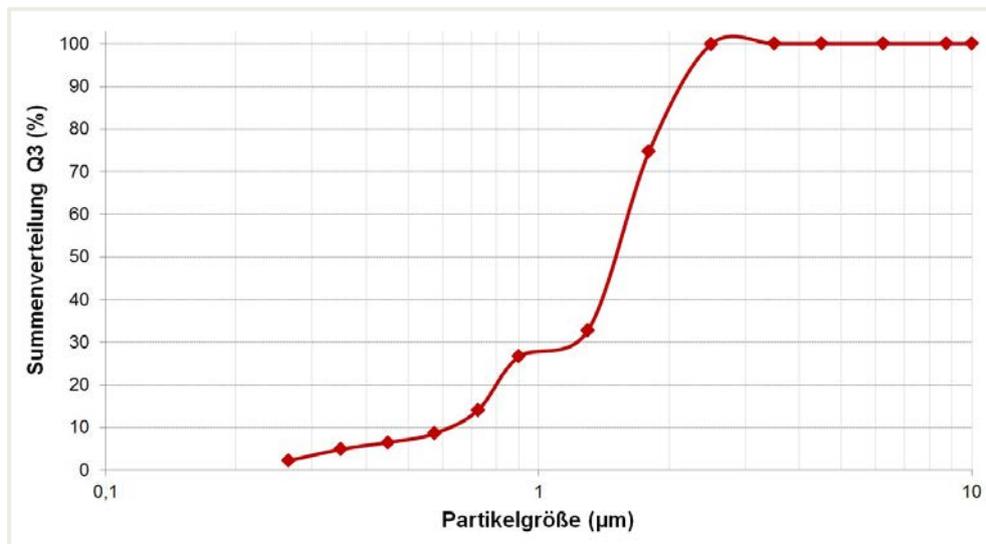
### Welches Abscheidesystem ist optimal?

Bei Rehm wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Luft- und Kältetechnik (ILK Dresden) verschiedene Abscheidemöglichkeiten, wie Filter, Elektroabscheidung, Schütttschichten (Granulate), Gaswäscherprinzipien und die Pyrolyse untersucht. Der messtechnische Aufwand hierfür war verhältnismäßig groß.

Partikelfilter/Feinfilter sind grundsätzlich geeignet; jedoch erhöhen sich die Betriebskosten einer Reflowanlage mit ihrem Einsatz beträchtlich. Die Filtersysteme müssen einerseits für die hohen Betriebstemperaturen beim bleifreien Löten ausgelegt sein, andererseits führt ein hoher Filtergrad, der aufgrund der kleinen Partikelgrößen im Lötrauch notwendig ist, zum schnellen Verschleiß/Verkleben der Filter; ein häufiger Filterwechsel wäre die Folge. Zum Beispiel scheidet die Filterklasse F9 70 bis 95 % aller Partikel > 0,4 µm ab; entsprechend teuer sind solche Filter.

Mit gravimetrischen Messmethoden wurde nachgewiesen, dass die beim Reflowlötprozess entstehenden Fremdstoffe/Partikel zu einem erheblichen Anteil einen Durchmesser von < 1 µm haben (Bild 4). In unseren Reflowlötanlagen werden Filter als letzte Abscheidestufe verwendet. D.h. andere Systeme übernehmen einen großen Anteil der Residueabscheidung, um den Feinfilter zu entlasten und seine Standzeit zu erhöhen. Die Funktionalität der Filter im Betriebszustand wird permanent mit geeigneter Sensorik

überwacht. Bewährt hat sich die Nutzung der Filterklasse F7 mit einem mittleren Wirkungsgrad von 80 bis 90 % der Abscheidung von Partikeln  $> 0,4 \mu\text{m}$ .



**Bild 4: Partikelgrößenverteilung im Löt Rauch nach Messungen des ILK Dresden**

Elektrofilter sind nur in Luftanlagen sinnvoll zu betreiben, da unter Stickstoff nicht genügend ionisierbares Gas zur Verfügung steht. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass Feldstärken über  $5,5 \text{ kV/cm}$  erforderlich sind, um gute Abscheideleistungen unter Luft zu erreichen. Da in der Lötpraxis allerdings mehr als 80 % aller Reflowanlagen unter Stickstoff betrieben werden, ist die relativ teure Elektrofiltertechnik keine wirtschaftliche Alternative für Serienlötanlagen.

Granulate/Schüttschichtfilter scheinen zunächst eine preiswerte Alternative zu sein. Granulate sind auf dem Markt in unterschiedlicher chemischer Konsistenz und Kornverteilung verfügbar. Nach Messungen des ILK sind allerdings die verfügbaren Granulate nicht in der Lage, Partikel kleiner als  $1 \mu\text{m}$ , wie sie im Löt Rauch zu einem erheblichen Anteil vorkommen, nennenswert abzuscheiden. Ein weiterer Nachteil ist der mit zunehmender Schütthöhe verbundene Druckverlust der nur durch eine Erhöhung des Volumenstroms wieder ausgeglichen werden kann (Bild 5). Wird die Strömungsgeschwindigkeit in der Schüttschicht allerdings zu groß, wird das Granulat aufgelockert, und einzelne Partikel des Granulats werden mitgerissen. Dadurch kann sich auf der Reingasseite der Staubgehalt erhöhen.

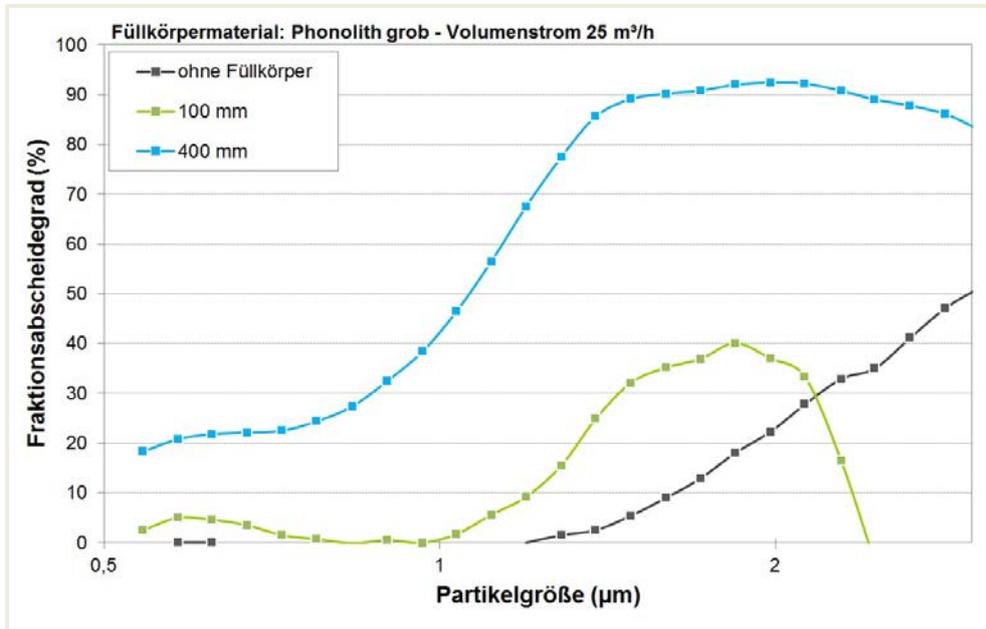
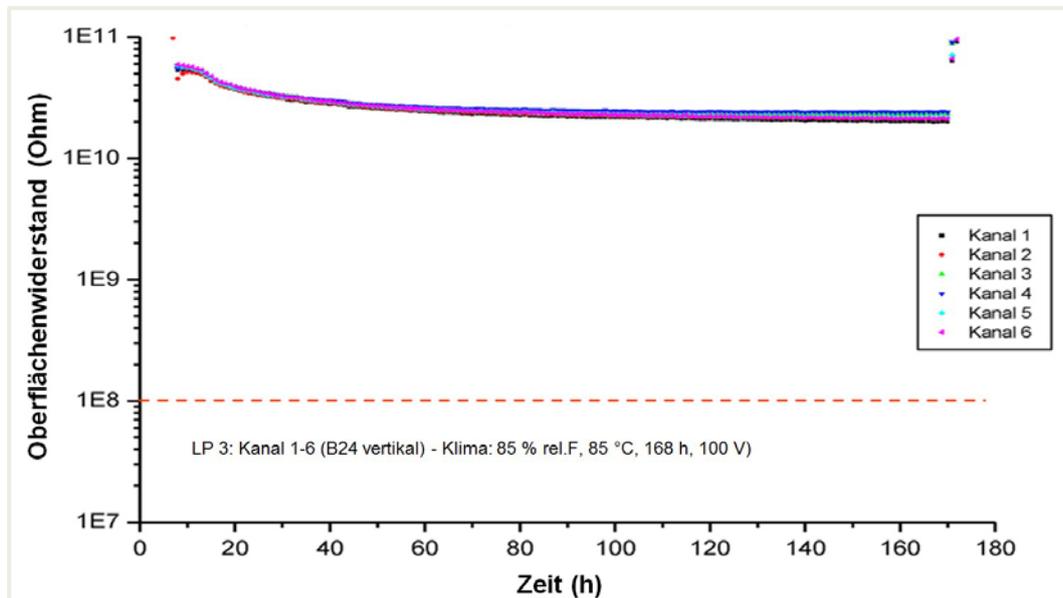


Bild 5: Abscheideleistung von Granulat in Abhängigkeit von der Partikelgröße

Da Aktivkohle oder kohlebeschichtete Granulate generell brennbar sind, ist ihr Einsatz in Reflowanlagen aufgrund der stets hohen Gastemperaturen aus Sicherheitsgründen nicht möglich.

Gaswaschfluide können das Haften und Aufwachsen von festen und kristallinen Kondensaten auf Anlagenteilen deutlich minimieren. Die Kühlzonen unserer Reflowlötanlagen sind mit Kühlern, Agglomeratoren (Einrichtungen um die Tröpfchenbildung zu unterstützen) und Filtern ausgestattet. Die Injektion von Gaswaschfluid verhindert, dass sich die Agglomeratoren und Kühler durch aufwachsendes Kondensat zu schnell zusetzen. Das von unserem Industriepartner Linker Chemie entwickelte Gaswaschfluid basiert auf modifizierten Alkoholalkoxyaten und Polyglykolen. Messungen des Oberflächenwiderstandes (SIR) von Testbaugruppen belegen, dass der sachgerechte Einsatz des Gaswaschfluids keinerlei Auswirkungen auf die gelöteten Baugruppen hat; das Gaswaschfluid verhält sich gegenüber der Baugruppe neutral (Bild 6).

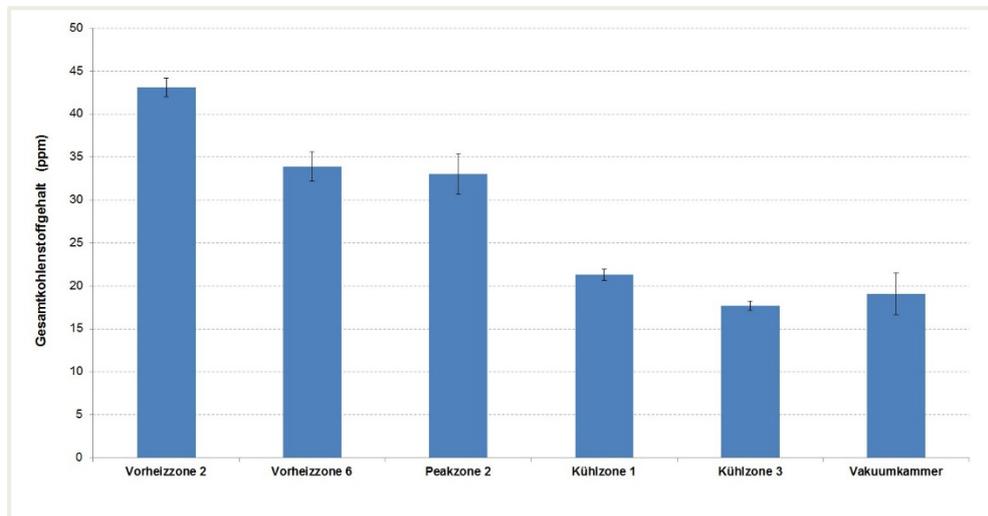


**Bild 6: Oberflächenwiderstand von Testbaugruppen nach dem Löten**  
 Klima: 85 % rel.F. / 85 °C / 168 h / 100 V, Gaswaschfluid VP1465

### Thermische Pyrolyse

Bei vielen im Feld betriebenen Reflowlötanlagen kann beobachtet werden, dass die niedrig siedenden Stoffe bereits in der Vorheizzone aus der Baugruppe ausgetrieben werden, wodurch in den Abscheidesystemen für die Vorheizzone vergleichbar mehr Residues als in der Peakzone zu finden sind. So wurden z.B. nach dem Reflowlöten von 45.000 Baugruppen der Steuerungs- und Regeltechnik 1,35 kg Residues in der Vorheizzone abgeschieden während in der Peakzone nur 0,95 kg zu finden waren.

Der Löt Rauch besteht aus Partikeln (kleinste feste Teilchen), Aerosolen (kleine Tröpfchen) und reinen Gasen. Insbesondere die Lösemittel und anderen leicht flüchtigen Bestandteile der Lotpaste werden im Löt Rauch als Gasphase vorliegen. Um die Konzentration dieser meist organischen Verbindungen messen zu können, nutzt Rehm einen Flammenionisationsdetektor, FID, der flüchtige kohlenwasserstoffhaltige Substanzen (Gesamt-C) detektieren kann. Auf dem Bild 7 ist die Verteilung des Gesamtkohlenstoffgehalts in einer Reflowlötanlage zu sehen. Die höchste Konzentration der Kohlenwasserstoffverbindungen wurde in der Vorheizzone 2 mit 43 ppm gemessen. Hier beträgt die Prozesstemperatur ca. 150 °C. Bei dieser Temperatur fangen die in der Lotpaste enthaltenen Chemikalien (Aktivatoren, Lösemittel) an zu reagieren und auszugasen. In der Vorheizzone 6 und der Peakzone 2 liegt die Kohlenwasserstoffkonzentration mit 33 ppm gleichauf, obwohl die Temperaturen der Zonen sich um 44 K unterscheiden. Am niedrigsten mit Kohlenwasserstoffen belastet ist die Atmosphäre der Anlage in der Kühlstrecke.



**Bild 7: Verteilung der Kohlenstoffkonzentration in den einzelnen Zonen der Vakuumkonvektionslötanlage**

Um die massive Kondensation dieser Gase zu verhindern, ist nach unserer Auffassung die thermische Pyrolyse (aus der Petrochemie auch als Cracken bekannt) bestens geeignet. Sie lässt sich einerseits gut in den Wärmeprozess des Reflowlötens integrieren und funktioniert ohne die Anwesenheit von Luftsauerstoff. Beim Cracken werden die langkettigen Kohlenwasserstoffverbindungen durch das Erhitzen der mit Löt Rauch beladenen Prozessatmosphäre auf Temperaturen  $> 500\text{ °C}$  in Schwingung versetzt und in kurzkettige Komponenten gebrochen schreibt Tarsilla [3]. Je kürzer die Bruchstücke sind, umso leicht flüchtiger sind sie, wodurch das Risiko der Kondensation drastisch minimiert wird.

Eine theoretische Möglichkeit, das Cracken zu beeinflussen, bietet die Anwendung von Katalysatoren. Ein Katalysator kann sowohl die Zersetzungstemperatur als auch die Verweildauer reduzieren, woraus sich eine Ersparnis an Energie und Zeit ergibt. Der Nachteil dieses Verfahrens liegt in der Notwendigkeit einer sehr guten Abstimmung des Katalysators (Materialauswahl) an das umzuwandelnde Produkt (Löt Rauch). Bereits geringe Mengen an störenden Elementen (unbekannte Bestandteile des Löt Rauchs) würden den katalytischen Prozess irreversibel deaktivieren. Insbesondere mit der Kenntnis, dass sich die chemische Löt Rauchzusammensetzung je nach Lotpasten-, Komponenten- und Leiterplattentyp stark unterscheidet, macht der Einsatz von Katalysatoren für flexibel einsetzbare Reflowlötanlagen keinen Sinn. Die thermische Pyrolyse ist auch ohne Katalysator ein robustes Abscheideverfahren.

Nach Messungen des ILK Dresden wird ein Partikelabscheidegrad von  $> 97\%$  erreicht.

## Zusammenfassung

Um effektive Abscheidesysteme für Reflowlötanlagen zu entwickeln, sind umfangreiche präzise Messungen in enger Zusammenarbeit mit SMT-Fertigungsstätten unerlässlich. Da der Lötrauch aus sehr vielen oft unbekanntem Stoffen besteht, ist die Kombination von verschiedenen Abscheidesystemen die effektivste Art und Weise, Wartungsaufwendungen für Reflowlötanlagen zu minimieren.

Emissionsmessungen im Produktionsbetrieb moderner Reflowlötanlagen ergeben eine Überschreitungen der allgemeinen Grenzwerte der TA-Luft [4].

## Literatur

- [1] Eli Westerlaken, Cobar B.V., Breda 2006
- [2] Martin Löffler, Studienarbeit „Untersuchungen zur Effektivität von Residue-Systemen in Reflow-Lötanlagen“, TU Dresden 2005
- [3] Gerthsen Tarsilla, Chemie für den Maschinenbau: Organische Chemie für Kraft- und Schmierstoffe, Polymerchemie für Polymerwerkstoffe, Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe, 2008
- [4] Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft, Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 24. Juli 2002

## Kontakt:

Rehm Thermal Systems GmbH  
Leinenstraße 7  
89143 Blaubeuren  
T: 07344 9606 0  
info@rehm-group.com  
www.rehm-group.com

## Über Rehm Thermal Systems

Die Firma Rehm zählt als Spezialist im Bereich thermische Systemlösungen für die Elektronik- und Photovoltaikindustrie zu den Technologie- und Innovationsführern in der modernen und wirtschaftlichen Fertigung elektronischer Baugruppen. Als global agierender Hersteller von Reflow-Lötssystemen mit Konvektion, Kondensation oder Vakuum, Trocknungs- und Beschichtungsanlagen, Funktionstestsystemen, Equipment für die Metallisierung von Solarzellen sowie zahlreichen kundenspezifischen Sonderanlagen sind wir in allen relevanten Wachstumsmärkten vertreten und realisieren als Partner mit mehr als 25 Jahren Branchenerfahrung innovative Fertigungslösungen, die Standards setzen.