

# Anwenderhandbuch

**Bleifreies Löten mit**

**STANNOL<sup>®</sup> ECOLOY<sup>®</sup>**



Stand: 04/2005

# Inhalt

	Seite
<b>1. Bleifrei jetzt ab 01.07.2006!</b>	3
<b>2. Allgemeine Hinweise zur Legierungsauswahl für die verschiedenen Lötverfahren</b>	4
<b>3. Reflowlöten</b>	5
3.1 Mögliche bleifreie Legierungen	5
3.2 Temperaturprofile	6
3.3 Aussehen der Lötstellen	10
3.4 Bildung von Fehlstellen	11
3.5 Lotpastenauswahl	11
3.6 Kombinationen von bleifreien Beschichtungen mit bleihaltigen Lotlegierungen und umgekehrt	12
3.7 Ist Stickstoff notwendig?	13
3.8 Bleifreie STANNOL® ECOLOY® Lotpasten	13
<b>4. Wellenlöten</b>	13
4.1. Mögliche bleifreie Legierungen, Überwachung der Zusammensetzung	13
4.2. Temperaturprofile	15
4.3. Aussehen der Lötstellen	16
4.4. bekannte Fehlerbilder	16
4.5. Flussmittelauswahl	17
4.6. Kombination von bleifreien Beschichtungen mit bleihaltigen Lotlegierungen und umgekehrt	18
4.7. Ist Stickstoff notwendig?	19
4.8. Bleifreie STANNOL® ECOLOY® Legierungen und Flussmittel	19
<b>5. Handlöten und Reparatur</b>	19
5.1. Energiebetrachtung	19
5.2. mögliche bleifreie Legierungen	20
5.3. Aussehen der Lötstellen	20
5.4. Bildung von Fehlstellen	20
5.5. Auswahl des Lötdrahtes und der Lötstation	21
5.6. Bleifreie STANNOL® ECOLOY® Lötdrähte und Hilfsprodukte	23
<b>6. Schlusswort</b>	23
<b>7. Glossar / Quellen</b>	24

# 1. Bleifrei jetzt ab 01.07.2006!

Jetzt wissen wir es:

Die neuen Richtlinien über den Elektro- und Elektronikschrott und die Stoffverbotsrichtlinie ROHS und WEEE haben die parlamentarischen Hürden im Februar 2003 in Brüssel passiert. Die nationale Umsetzung des Gesetzes ist als Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) am 23.03.2005 im Bundesgesetzblatt veröffentlicht worden und damit ab dem 24.03.2005 in Kraft. Ab dem 1. Juli 2006 dürfen keine elektrischen Geräte und Elektronikgeräte in den Verkehr gebracht werden, die Blei enthalten. Jeder Produzent muss sich daher mit den Problemen der Umstellung befassen. Mittlerweile gibt es bleifreie Materialien, die eingesetzt werden können. Bleifreie Legierungen sind untersucht worden und die Kandidaten für den Lötprozess stehen fest. SnAg-, SnAgCu- und SnCu-Legierungen sind verfügbar, die als Ersatz für fast alle Anwendungen angesehen werden. Leiterplatten lassen sich ebenfalls für den bleifreien Elektronikaufbau herstellen. Auch hier gibt es eine Reihe von brauchbaren Lösungen für Metallisierungen wie z.B. Kupfer-OSP, chem. Nickel/Gold, chem. Zinn und chem. Silber. Bauteillieferanten müssen Produkte für den bleifreien Lötprozess zur Verfügung stellen. Bisher ein Nadelöhr bei der Umstellung auf bleifreie Produktion - nicht nur die Anschlussmetallisierung muss bleifrei sein, die Eignung für die höheren Prozesstemperaturen beim Löten muss ebenfalls nachgewiesen werden. Für viele einfache Bauteile kein Problem; für viele integrierte Bauteile ein großes! Lösungsansätze sind auch hier vorhanden, jedoch muss noch eine Menge getan werden, um mit den veränderten Prozessbedingungen (maximale Temperaturbelastung) zu Recht zu kommen. Lötprozesse müssen den Erfordernissen der Alternativlegierungen angepasst werden, um optimale Benetzungseigenschaften im Prozess zu erzielen. Viele moderne Reflowöfen sollte man einfach auf andere Lötprofile einstellen können. Mehr Probleme gibt es beim Wellenlöten. Muss ein neuer Lottiegel angeschafft werden? Kann noch in Luft gelötet werden? Muss man Stickstoff einsetzen?

Beachtet man die Schwierigkeiten, die mit den bisherigen Zinn-Blei-Loten bestehen, mit denen man jetzt schon über 40 Jahre Industrieerfahrung in der Elektronikproduktion hat, ist dies kein leichtes Unterfangen. Wer einen Massenlötprozess einsetzt und die Null-Fehlerrate anstrebt, wird mit Sicherheit schnell feststellen, der Prozess ist nicht äquivalent. Leiterplattenhersteller müssen Produkte für den bleifreien Lötprozess zur Verfügung stellen. Ist die Verwindungssteifigkeit auch bei höheren Temperaturen ausreichend? Was ist mit der Eliminierung halogenhaltiger Flammmhemmer in der Leiterplatte? Auch hierzu gibt es Lösungen. Aber welcher Preis muss dafür bezahlt werden? Die LötHersteller können fast alle Legierungen in jeder Form bereitstellen. In der Umstellungsphase wird jedoch nicht alles sofort in jeder Menge verfügbar sein. Deshalb ist der enge Kontakt mit dem Hersteller wichtig, um die Versuchs- und Umstiegsplanung vorzunehmen. Besonders wichtig ist dies beim Wellenlöten, da mindestens eine komplette Badreinigung und Neubefüllung vorgenommen werden muss.

Wie gestaltet man das Reparaturlöten? Auch hier stehen Produkte zur Verfügung, wobei hier weniger Probleme erwartet werden. Die höheren Schmelztemperaturen müssen berücksichtigt werden. Die Zeit, die man jetzt für eine Lötstelle benötigt, wird unter Umständen etwas länger sein. Sind die bisherigen Flussmittel verwendbar? Die Chemie der Flussmittel bleibt die gleiche: Wie bisher hat man Zinnoxid auf der Oberfläche und dieses lässt sich auch wie beim Zinn-Blei-Lot mit den herkömmlichen Flussmitteln entfernen. Wenn das Flussmittel den veränderten Prozessbedingungen (Temperaturen) angepasst ist, gibt es keine Probleme. In der Regel sollte mit dem Flussmittellieferanten abgeklärt werden, welches Flussmittel geeignet ist und wie die Maschine eingestellt werden muss.

Wie entwickeln sich die Kosten? Es wird nicht billiger! Nicht nur an die bleifreien Lote, Pasten und Flussmittel denken. Auch Leiterplatte und Bauteile verändern sich im Preis! Die Prozess- und Energiekosten müssen neu ermittelt werden. Erzielt man die gleiche Produktionsausbeute in Hinsicht auf Fehlerraten? Diese Frage kann für die Massenlötprozesse noch nicht beantwortet werden. Es gibt keinen Ersatz für bleireiche, hochschmelzende Legierungen. Für das Thema Grenzwerte für Blei gibt es eine klare Sprachregelung: Der Bleigehalt darf nicht höher als 0,1% je

homogenem Werkstoff sein. Das bedeutet in der Regel dass ein Bleianteil von maximal 0,1% in der Lötstelle angestrebt werden muss.

Wir müssen alle umstellen. Wann wirklich? Ausruhen und abwarten? Im Juli 2006 muss der Fach- und Einzelhandel bleifrei liefern! Die ganze Kette vom Lieferanten der Bauteile, über den Produzenten bis hin zum Endkunden muss in den Umstellungsprozess eingebunden sein. Am wichtigsten sind jedoch die Anforderungen der Kunden, die Abnehmer von Elektronikprodukten. Sie wollen garantierte Zuverlässigkeit und Qualität! Braucht man neue Zulassungen, wenn man umstellt? Wie sieht es mit der Produktgarantie aus?

Wer 2006 bleifrei liefern muss, muss jetzt die neuen Produkte in bleifreier Ausführung entwickeln. Ein Re-Design ist mehr als doppelte Arbeit! Über 10 Jahre unveränderte Liefergarantie für ein Produkt bedeutet jetzt schon bleifrei! Die Konkurrenz aus Japan zeigt uns den Weg und sie wird uns vielleicht schon vor 2006 zwingen, bleifreie Produkte auf den Markt zu bringen. Keine Frage, bleifrei kommt bald, vielleicht sogar schneller als uns allen lieb ist! Es ist nicht allein damit getan, bleifreie Lötstellen herzustellen und halogenfreies Leiterplattenmaterial einzusetzen. Der geeignete Massenlötprozess, die Produktqualität, das entsorgungsgerechte Design wird uns in der nahen Zukunft wesentlich mehr als bisher beschäftigen.

## **2. Allgemeine Hinweise zur Legierungsauswahl für die verschiedenen Lötverfahren**

Wie erfolgt denn nun letztendlich die Auswahl der neuen bleifreien Legierung für die verschiedenen Prozessschritte? Hilfreich ist es, wenn man sich entlang des Fertigungsprozesses der Baugruppe durch die eigene Produktion bewegt und jeden Lötprozess erst einzeln und dann im Zusammenhang mit den anderen Teilprozessen betrachtet.

Beim Reflowlöten ist die Anzahl der zur Diskussion stehenden Legierungen nicht allzu groß. Viele aktive Bauteile vertragen heute die notwendigen höheren Prozesstemperaturen beim bleifreien Reflow noch nicht oder nur bedingt. Als maximale Prozesstemperatur für die sog. „grünen Bauteile“ werden heute Maximaltemperaturen von 245-260°C angestrebt. Hier ist also eindeutig eine niedrigstmögliche Schmelztemperatur der Legierung das bestimmende Auswahlkriterium. Es bleibt bei der Umstellung, sofern noch bleihaltig beschichtete Bauteile mit verarbeitet werden müssen, eigentlich nur die Legierung TSC (Sn95,5 Ag3,8 Cu0,7) als Eutektikum dieser 3 Legierungsbestandteile mit 217°C Schmelzpunkt übrig. Diese Aussage deckt sich mit der Tatsache, dass in den meisten Firmen, die Voruntersuchungen durchgeführt haben oder bereits in die bleifreie Produktion eingestiegen sind, diese Legierung (oder deren Abwandlungen mit 0,5% Cu und/oder 3,5% Ag) spezifiziert wurde bzw. verwendet wird. Diese Legierung hat einerseits den Vorteil, dass sie in allen notwendigen Verarbeitungsformen zur Verfügung steht (Lötendraht, Lotbarren, Lotpasten). Andererseits ist diese Legierung bereits ausreichend bekannt. Durch die verschiedensten internationalen Forschungsprojekte in Bezug auf bleifreies Löten (IDEALS; BRITE EURAM) ist diese Legierung hinreichend dokumentiert. Es ist bekannt, dass sie mindestens vergleichbare in einigen Aspekten sogar bessere physikalische Zuverlässigkeitseigenschaften aufweist, wie die heute verwendeten bleihaltigen Legierungen. Alternativen bieten die binären Zinn-Silber- und Zinn-Kupfer-Legierungen, deren Schmelzpunkt jedoch etwas höher ist, was sich insbesondere beim Reflowlöten nachteilig auswirkt.

Bei der Betrachtung bleifreier Lotpasten ohne Silber sollte man beachten, dass diese preislich nicht wesentlich attraktiver sind, da der Lotpastenpreis zu großen Teilen aus dem eigentlichen Herstellungsprozess resultiert und die Metallkosten eine eher untergeordnete Rolle spielen. Wichtiger wird bei der Auswahl also die Betrachtung der thermischen Belastung in Temperatur und Dauer sein.

Ist die Legierungsentscheidung für den Reflowbereich gefallen, stehen die gleichen Fragen für die folgenden Fertigungsschritte wie Wellen-, Selektiv-, Hand- und Reparaturlötungen an. Die Legierung Sn99,3Cu0,7 hat für den Wellenlötbereich gegenüber den silberhaltigen Legierungen einen nicht zu verachtenden preislichen Vorteil. Dieser ist bei anderen auf SnCu basierenden Legierungen oftmals nicht mehr auszumachen oder nicht so groß. Wie sieht es mit der Verarbeitungstemperatur in der Welle aus? Diese ist bei den SnCu-Legierungssystemen

aufgrund des höheren Schmelzpunktes um 10°C nicht niedriger zu realisieren als mit der SnAgCu (260-270°C bei großem Produktmix). Wie ist die Kompatibilität mit der im Reflowbereich verwendeten SnAgCu Legierung? Werden in den unterschiedlichen Fertigungsschritten Reflow und Welle unterschiedliche Legierungen verwendet, sind erst mal keine Probleme zu erwarten, da sich diese Legierungen an den Lötstellen in der Fertigung und anschließend im Betrieb der Baugruppe nicht mischen können.

Aber wie sieht es aus, wenn Lötstellen nachgearbeitet oder repariert werden müssen? Muss an jedem Arbeitsplatz an dem die Reparatur durchgeführt wird, bei jeder einzelnen nachzuarbeitenden Lötstelle vorab folgendes festgestellt werden: „Diese Lötstelle wurde per Reflowverfahren erzeugt, also mit Lötendraht SnAgCu nacharbeiten; diese Lötstelle mit der Welle, also SnCu-Lötendraht.“ Diese Vorgehensweise ist erstens recht aufwendig und zweitens auch fehleranfällig. Verwendet man nur eine Legierung zur Nacharbeit (egal welche) produziert man einen Legierungsmix auf den nachgearbeiteten Lötstellen.

Aus physikalischer Sicht sind eigentlich keine Probleme zu erwarten, wenn die Legierungen Sn99,3Cu0,7 und Sn95,5 Ag3,8 Cu0,7 in einer Lötstelle gemischt werden, wodurch eine resultierende Lötstelle mit einem undefinierten Silbergehalt entsteht. Es entsteht eine Legierung Sn(Rest) Ag (0-3,8%) Cu0,7% mit einem Schmelzbereich zwischen 217-227°C. Die nachgearbeitete Lötstelle wird nach allen bis heute vorliegenden Testergebnissen ein sehr ähnliches Verhalten in Zuverlässigkeitstest aufweisen wie Sn99Cu oder Sn95,5Ag3,8Cu0,7. Die resultierende Legierungszusammensetzung ist aber nicht definiert – der Silbergehalt kann von Lötstelle zu Lötstelle schwanken. Was sagen Ihre Kunden und internen Auditoren dazu? Ist diese Vorgehensweise akzeptabel? Oder wird diese Schwankung nicht akzeptiert? Es muss wohl überlegt sein, wenn man sich als Fertiger und damit als Verantwortlicher für die Qualität der Baugruppen in die Situation bringt, bei solch einer „Legierungsmischung“ nicht für jede Lötstelle eine Aussage über die genaue Zusammensetzung und damit auch nicht in Bezug auf Langzeitzuverlässigkeit machen zu können. Eigentlich sollte, diesen Argumenten folgend, nur eine Schlussfolgerung gezogen werden: „Eine Fertigung - eine Legierung!“

Hat der Kostenaspekt bei der Umstellung auf Bleifrei eine höchste Priorität, sollte die Verwendung von silberfreien SnCu oder silberarmen SnAgCu-Legierungen im Wellen- und Handlötbereich erwogen werden. Auch dabei sollte die Frage nach technischen Eigenschaften und Wirtschaftlichkeit im Vordergrund stehen:

- Hat die ausgewählte Legierung tatsächlich in meiner Fertigung Vorteile (niedrigere Wellentemperatur, geringere Lötfehlerrate u.a.) gegenüber anderen Legierungen?
- Wie ist die Marktsituation mit dieser Legierung? Welche Lieferanten kommen in Frage? Wer kann welches Material liefern?
- Habe ich eine Wettbewerbssituation oder lege ich mich aufgrund einer Patentsituation auf vereinzelte Lieferanten fest?
- Habe ich die Möglichkeit einer Second Source für meine Fertigung?

Sicherlich sind hier nur ein paar der wichtigsten Fragen angesprochen worden – Fragen, die wir als Lötmitelhersteller für Ihre Fertigung auch nicht beantworten können. In den weiteren Kapiteln dieses Anwenderhandbuches möchten wir detailliert die einzelnen Lötverfahren ansprechen und Lösungsvorschläge aus Sicht der verfügbaren Materialien und Informationen anbieten.

### **3. Reflowlöten**

#### **3.1 Mögliche bleifreie Legierungen**

Wie bereits in Kapitel 2 angesprochen, ist die Frage nach der Legierung im Bereich Reflowlöten eigentlich nur mit einer einzigen Antwort zu beantworten: „Schmelzpunkt so niedrig wie möglich!“ Die Ursache dafür ist die geringe Temperaturfestigkeit von Leiterplattenmaterial und Bauteilen. Daher ist die Auswahl anwendbarer Legierungen schon stark eingeschränkt. Die wichtigste Legierungsgruppe, die bei der Umstellung die Hauptrolle spielen wird, ist die Gruppe der SnAgCu-Legierungen. Hier gibt es nur eine eutektische Legierungszusammensetzung mit einem Schmelzpunkt von 217°C: Sn95,5% Ag3,8% Cu0,7%. Von verschiedenen Anbietern werden Legierungen mit 3,5% Silber und 0,5% Kupfer angeboten, die auch mit dem Schmelzpunkt 217°C definiert sind. Bei diesen Legierungen ist, je nach Fertigungstoleranzen oft ein Schmelzbereich

von 217-221°C feststellbar. Dass einige vom Eutektikum abweichende Legierung für Lotpasten angeboten werden, und nicht das Eutektikum selbst, hat den Hintergrund, dass die Legierung Sn95,5% Ag3,8% Cu0,7% bzw. die so erzeugte Lötstelle auf dem amerikanischen und japanischen Markt patentiert ist. Die Anwender, ggf. die Lötmittehersteller selbst, müssen diese Legierung lizenzieren, damit nicht gegen Patentansprüche verstoßen wird, wenn Baugruppen in diese Märkte verkauft werden. Rein technisch gibt es bei diesen Legierungen keine relevanten Unterschiede.

Es werden Legierungen auf Basis von SnAgCu mit Zusätzen von 1-4% Bi angeboten. Bei diesen Legierungen sollte man aber in der Anfangsphase sehr vorsichtig sein, wenn unter Umständen noch Bauteile mit bleihaltiger Beschichtung im eigenen Lager vorhanden sind und verbaut werden müssen. Warum? In der folgenden Tabelle sind die bleifreien Legierungen und deren Eutektika mit Blei gegenübergestellt.

<b>Eigenschaft</b>	<b>Sn95,5Ag3,8Cu0,7</b>	<b>Sn96Ag4</b>	<b>Sn99Cu</b>	<b>Sn95Sb5</b>	<b>Bi57Sn43</b>
Schmelzpunkt °C	217	221	227	236	138
Eutektikum mit Blei	179	179	183	183	96

Tabelle 1 Schmelzpunkte verschiedener Legierungen

Wird nun z.B. eine Legierung mit SnAgBiCu verwendet und diese durch Blei in Bauteil- oder Leiterplattenbeschichtung kontaminiert, besteht die Gefahr, dass sich in den Korngrenzen des Metallgefüges genau diese extrem niedrig schmelzenden Phasen in der Lötstelle ausbilden können. Damit wird die zulässige Betriebstemperatur der Baugruppe extrem herabgesetzt und die Zuverlässigkeit stark beeinträchtigt. Daneben existiert eine immense Anzahl diverser Legierungen mit Zusätzen von Antimon, Zink, Indium, Nickel, seltenen Erden u.v.m. Alle diese Legierungen sind patentrechtlich geschützt und daher nicht frei verfügbar.

### 3.2 Temperaturprofile

Hat man sich für eine Legierung entschieden, muss nun die Verarbeitbarkeit in der Fertigung geprüft werden. Hierzu muss zunächst das eigene Equipment getestet werden, ob es überhaupt die notwendigen höheren Temperaturen auf die Baugruppe übertragen kann. Wichtig ist beim bleifreien Löten, dass der Temperaturunterschied auf der Baugruppe so niedrig wie möglich gehalten wird. Nur so kann sichergestellt werden, dass die notwendigen Mindesttemperaturen erreicht werden, aber die Spitzentemperaturen auf alle Fälle nicht kritisch für die Baugruppe werden. Tatsache ist: Das Prozessfenster, in dem man sich in Zukunft bewegt, wird kleiner! Ein höherer Aufwand in der Prozesskontrolle ist notwendig. Eine kontinuierliche Überwachung des Temperaturprofils wird essentiell. Um Schwankungen im Temperaturverlauf so gering wie möglich zu halten, kann eine Verringerung der Reinigungszyklen notwendig werden. Das bedeutet für die Praxis, dass ein gutes Residue-Management in den Reflow-Prozess eingeführt werden muss. Eine oder mehrere Kondensatfallen können diese Aufgabe übernehmen. Ablagerungen jeglicher Art im Reflowprozess verunreinigen die Anlage und verändern die Qualität der Wärmeübertragung. Bei einer Kostenberechnung für den bleifreien Prozess sollte ein erhöhter Energieverbrauch und auch eine Erhöhung der Ersatzteilkosten (wie z.B. Lüftermotoren u.a.) mit einbezogen werden.

Anbei sind einige Temperaturprofile aufgeführt, die für SnAgCu-Legierungen geeignet sind. Diese Profile können jedoch auch nur Empfehlungen sein, da sich die Produktionsprozesse stark unterscheiden. Die Frage, welche Profile am besten geeignet sind, wird hauptsächlich durch Erfordernisse der Baugruppe entschieden. Die Lotpasten sind sowohl für ein Sattel- als auch für ein Linearprofil geeignet. Abb. 1 und 2 zeigen Beispiele für ein lineares und ein Sattelprofil. Es wurde bei neuen Lotpasten der SP310/320 Serie von Anfang an bei der Entwicklung die Maxime angelegt: „Der Prozess des Kunden (Baugruppe und Ofen) muss die Vorgaben machen; die Lotpaste muss ein Prozessfenster so groß wie möglich aufweisen“. Das große Prozessfenster lässt sich gut an der Anzahl der möglichen Profile auf Abbildung 4 erkennen.

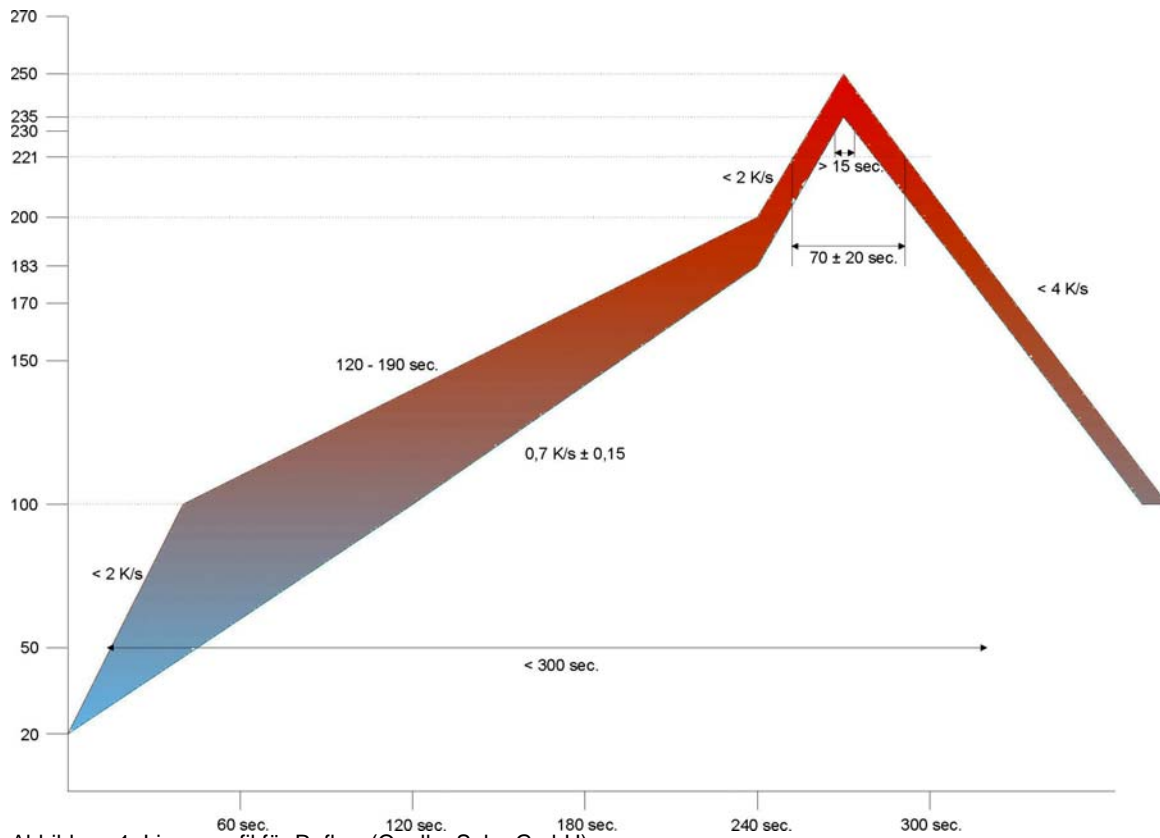


Abbildung 1: Linearprofil für Reflow (Quelle: Seho GmbH)

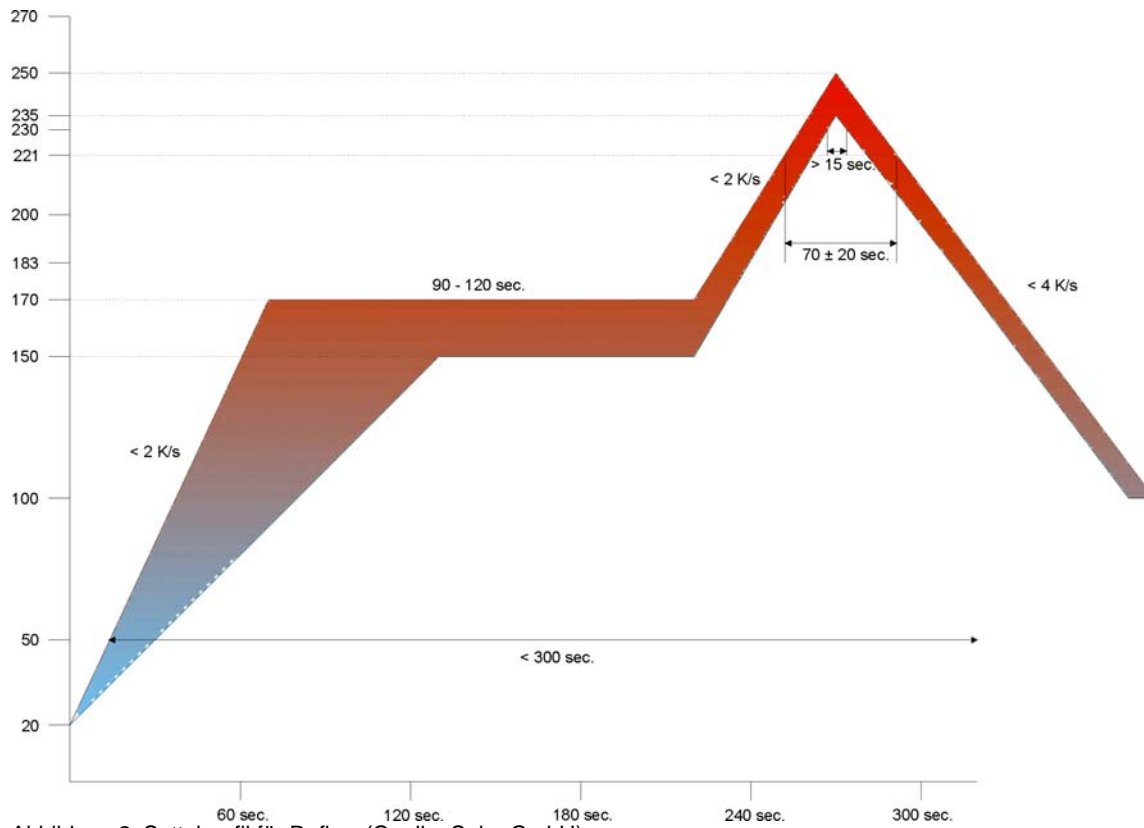


Abbildung 2: Sattelprofil für Reflow (Quelle: Seho GmbH)

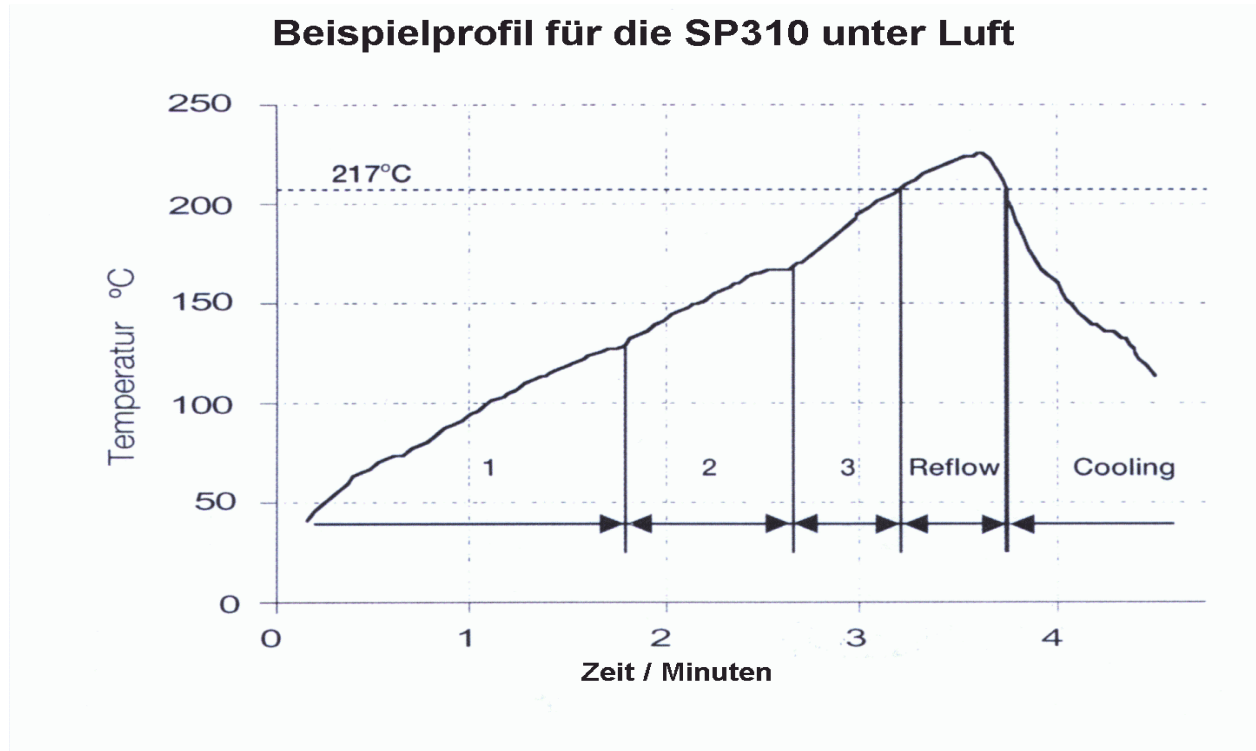


Abb.3: typisches lineares Profil für die Lotpaste STANNOL® SP310 mit der TSC Legierung (Sn95,5 Ag3,8 Cu0,7)

Anhand von Abbildung 3 kann man die Eckdaten bei der Erstellung eines linearen Temperaturprofils genauer eingrenzen:

#### **Abschnitt 1**

Anstieg bis 130°C mit einem Gradienten von nicht mehr als  $2\text{K s}^{-1}$ . Schnelleres Erhitzen kann einen vorzeitigen Abbau der Konturenstabilität und starke Lotkugelbildung hervorrufen.

#### **Abschnitt 2**

Die Vorheizung zwischen 130°-165°C sollte nicht länger als 60-120s betragen, in Abhängigkeit der thermischen Eigenschaften der Baugruppe, Bauteile und thermischen Charakteristika des Reflowofens.

#### **Abschnitt 3**

Die Dauer in diesem Bereich bis zum Erreichen des Schmelzpunktes sollte weniger als 30s betragen, um das Risiko eines vorzeitigen Verbrauches des Flussmittels zu vermeiden. Der Gradient der Kurve sollte  $2\text{K s}^{-1}$  in dem Bereich von 165°C bis 217°C nicht überschreiten. Es ist wichtig, dass das Flussmittel während dieser Phase seine Aktivität erhält, um alle Partikel in der Aufschmelzzone zu einem Lotdepot zusammenfließen zu lassen.

#### **Aufschmelzzone (Reflow)**

Die Spitzentemperatur in diesem Bereich liegt bei bleifreien Legierungen zwischen 230°C und 250°C. Die Zeit während dieser Spitzentemperatur ist nicht allzu kritisch, dennoch ist die gesamte Zeit oberhalb des Schmelzpunktes wichtig und sollte bei der SP310/320 Lotpaste mit TSC Legierung zwischen 30 und 45s liegen. Diese Periode bestimmt das Aussehen der Lötverbindungen. Eine zu lange Verweildauer oberhalb des Schmelzpunktes kann die Lötstelle sehr matt erscheinen und auch die Rückstände der Lotpaste etwas eindunkeln lassen. Eine zu kurze Verweildauer oberhalb des Schmelzpunktes kann zu unzureichender Benetzung und nicht optimal abgelaufenen Flussmittlrückständen führen.

#### **Kühlzone (Cooling)**

Eine Abkühlrate von  $3\text{K s}^{-1}$  wird empfohlen. Schnelleres Abkühlen kann Schäden an Leiterplatte oder Bauteilen verursachen. Langsameres Abkühlen, besonders Temperaturen um den Schmelzpunkt herum, kann die Wahrscheinlichkeit eines kristallinen Aussehens der Lötstelle erhöhen (mattes Aussehen).



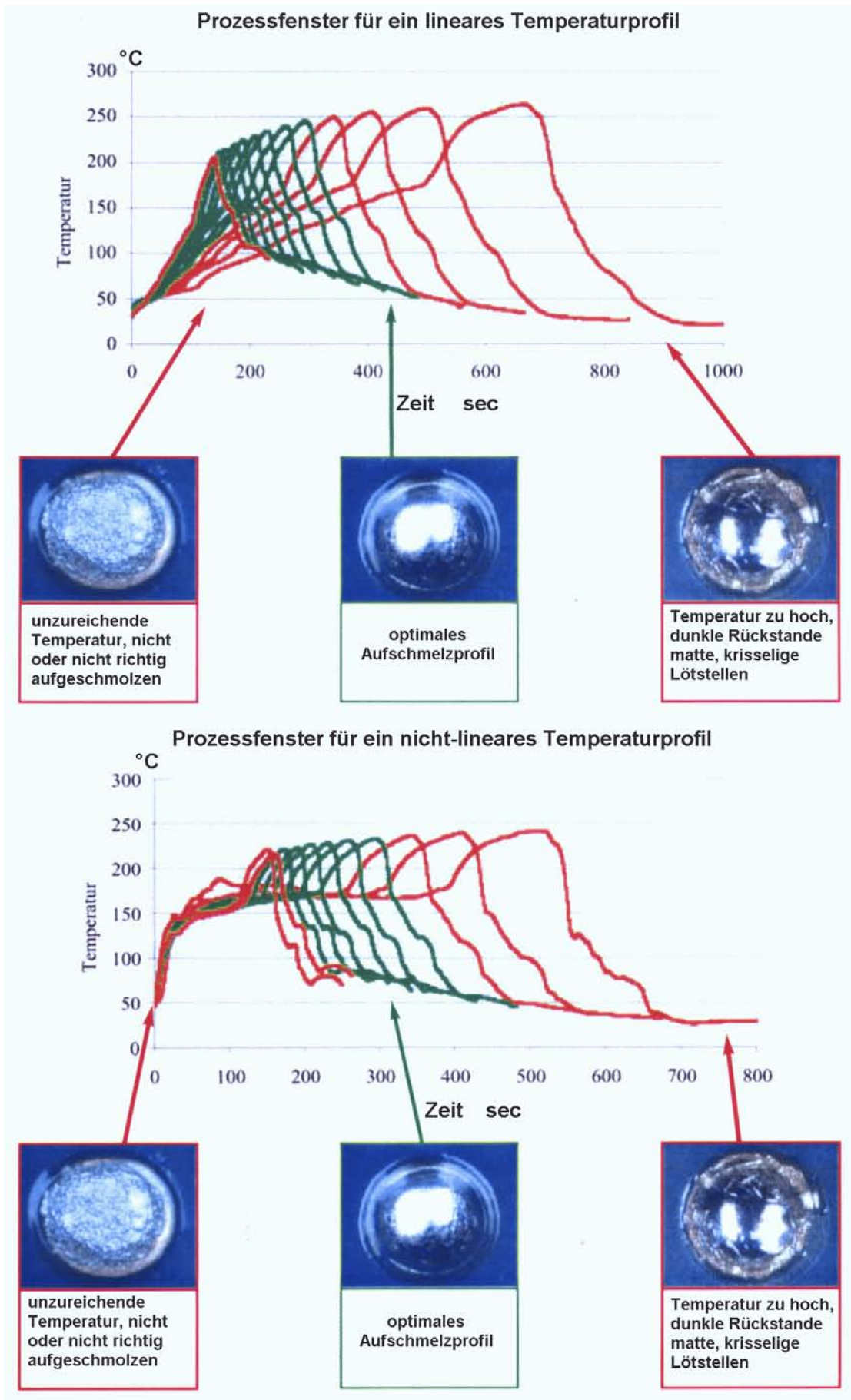


Abbildung 4: Prozessfenster der bleifreien Lotpasten STANNOL® SP310 und SP320 mit TSC Legierung

## ZVEI - Vorschlag für Reflow-Temperaturprofil "bleifreies Löten"

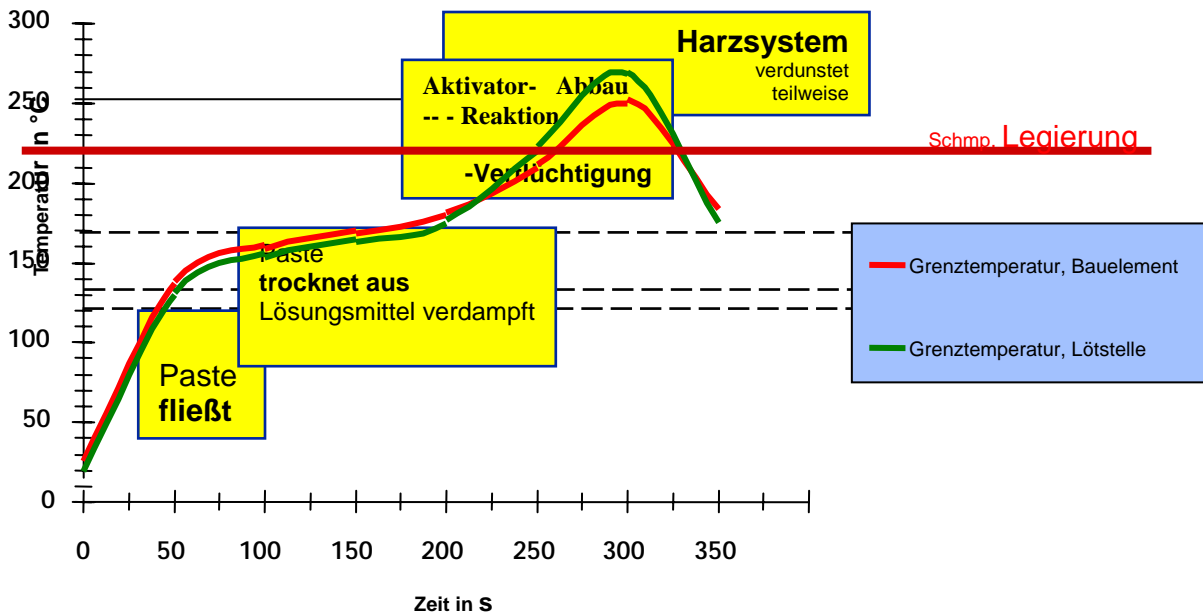


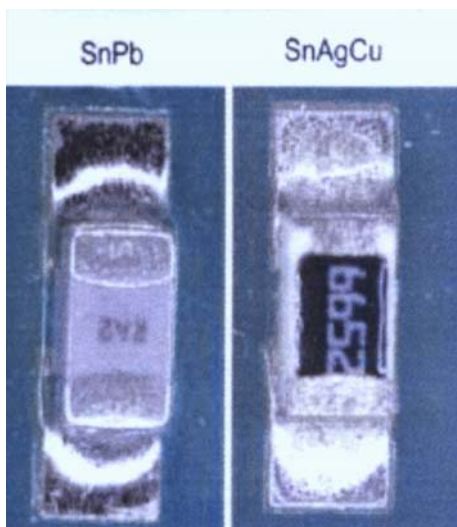
Abb. 5: Ereignisfenster für Lotpaste anhand des ZVEI-Profiles

Bei der Betrachtung der Ereignisfenster (Abb. 5) erkennt man die Probleme mit dem Lotpastenflussmittel (Medium), die bei hohen Temperaturen auftreten: Aktivator wird unwirksam durch Abbau, Reaktion und Verflüchtigung. In der Peakzone wird das Harzsystem zusätzlich abgebaut durch Verdunstung und chemische Reaktionen.

Verdunstete Pastenkomponenten findet man mehr oder weniger als unerwünschtes Kondensat in der Anlage wieder. Ebenfalls werden durch die hohen Temperaturen Ausdunstungen aus den Leiterplatten in nicht unerheblichen Mengen als Kondensat abgeschieden.

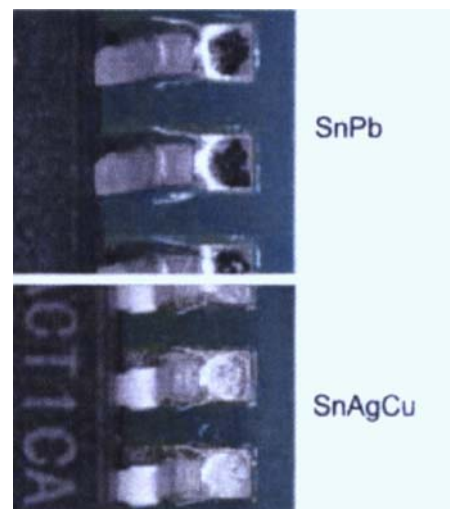
### 3.3 Aussehen der Lötstellen

Die bleifreien Lötstellen sehen im Vergleich zu den bleihaltigen Lötstellen wesentlich matter aus.



Das beruht zum einen auf der höheren Volumenkontraktion der hoch Zinn-haltigen Legierungen beim Abkühlen, zum anderen auf dem Abkühlverhalten der eutektischen SnAgCu-Legierung.

Durch Ablegierung verändert sich die Zusammensetzung und es entsteht bei der Erstarrung ein Temperaturbereich, bei der sich unterschiedliche Phasen bilden. Dieses Abkühlverhalten hat zur Folge, dass eine wesentlich

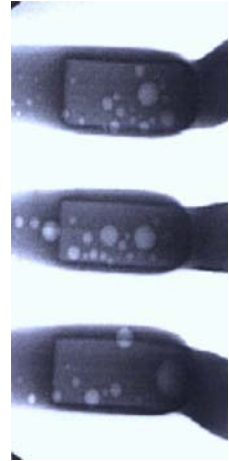


größere Topografie entsteht, was bei einer einfachen Betrachtung mit dem Auge (oder auch mit einem einfachen Mikroskop) zu einer matten Oberfläche führt.

Außer einer anderen Optik der Oberfläche wird sich auch die Form der Lötstelle (der sog. Meniskus) ändern. Bei allen bleifreien Legierungen hat sich gezeigt, dass die Lötstelle wesentlich schlanker ist. Da es sich auch hier lediglich um eine kosmetische Angelegenheit handelt, ist dies nur zu beachten, jedoch nicht zu berücksichtigen.

### 3.4 Bildung von Fehlstellen

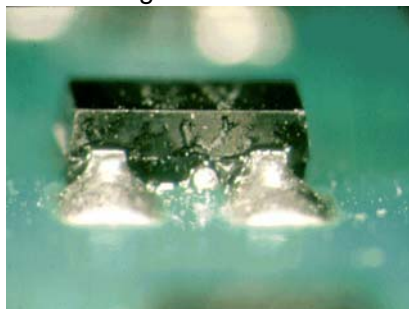
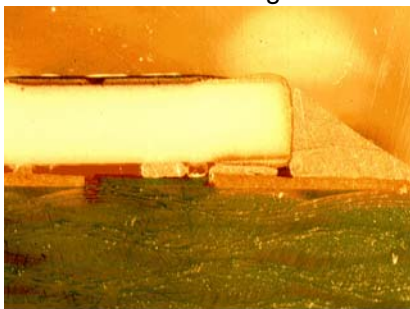
Die Lötstellen mit hoch Sn-haltigen Legierungen tendieren wesentlich stärker zur Bildung von Fehlstellen. Dieses Phänomen hat viele Ursachen. Zum einen handelt es sich um Bläschen, die flussmittelbedingt sind. Die Oberflächenspannung des flüssigen Lotes spielt dabei eine wesentliche Rolle. Auch die Bauteilmetalisierung und die Leiterplatte können zu Fehlstellen führen. Gaseinschlüsse haben keinen genügenden Auftrieb um die Oberfläche zu durchbrechen und auszugasen. Vorteilhaft haben sich Lotpasten mit einem erhöhten Feststoffgehalt im Pastenmedium erwiesen. Feststoffgehalt von 55-60% hat sich als optimaler Kompromiss zwischen Fehlstellenbildung und Druckfähigkeit erwiesen. Im nebenstehenden Röntgenbild kann eine nicht optimierte und nicht speziell für bleifreie Legierungen entwickelte Lotpaste gut erkannt werden. Die Größe und Anzahl der akzeptablen Hohlstellen kann je nach Norm, wie z.B. der IPC-A-610 auch unterschiedlich beurteilt werden. Wichtig ist daher, direkt eine Lotpaste auszuwählen, die diese Fehlstellen gar nicht erst entstehen lässt oder zumindest die Anzahl sehr klein hält.



### 3.5 Lotpastenauswahl

Die Lotpastenauswahl bei der Umstellung auf bleifreie Lote erfolgt nach sehr ähnlichen Kriterien, wie es bisher auch bei den bleihaltigen Pasten durchgeführt wurde. Bei Lotpasten, deren Rückstände auf der Leiterplatte verbleiben, muss es sich um echte „No-Clean“ Lotpasten handeln. Die Rückstände müssen die gängigen Normen zur Bestimmung der elektrischen Zuverlässigkeit bestehen. Dazu gehören Tests wie z.B. elektrolytische Korrosionswirkung und Messung des Oberflächenisolationswiderstands.

Natürlich muss sich die Lotpaste in der eigenen Fertigung gut verarbeiten lassen. An den Druckautomaten sind in aller Regel nur sehr kleine Anpassungen notwendig, wie man sie bisher auch kennt, wenn eine andere Lotpaste eingesetzt wird. Diese Anpassungen liegen meist nur bei Druckgeschwindigkeit, Rakeldruck und Schablonenunterseitenreinigung. Bei hochwertigen Schablonen mit einem durchdachten Paddesign wird in aller Regel keine Anpassung oder Neuanfertigung notwendig sein. So ist z.B. das Auftreten von Seitenkugeln („Mid-Chip-Solderballing“) bei bleifreien Legierungen etwas häufiger zu beobachten. Dies kann entweder durch eine geringere Schablonenstärke (reicht das Lot dann noch für die anderen Bauteile?) oder durch eine Änderung der Schablonenöffnungen und einer damit verbundenen Verringerung der



Lotpastenmenge erzielt werden (siehe Abb. 6).

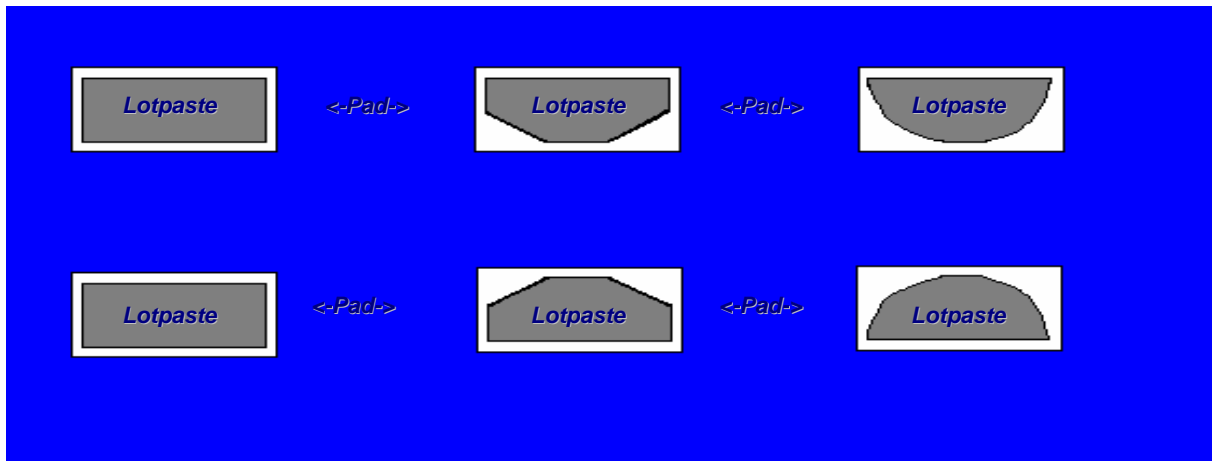
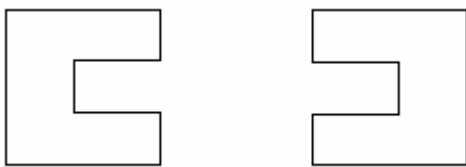


Abb.6: Mögliche Schablonendesigns zur Verringerung von Lotkugeln



Schablonenöffnungen in U-Form sind eine Möglichkeit, Seitenkugeln (Mid-Chip-Solderballing) zu vermeiden, allerdings bei kleinsten Bauformen wie 0402 und 0603 nur bedingt einsetzbar. Die Schablone verstopft dabei sehr schnell oder wird erst gar nicht gefüllt.

Abb.7: Mögliches Schablonendesign zur Verringerung von Seitenkugeln

Ein kleiner positiver Aspekt bei der Umstellung auf teurere bleifreie Materialien sollte nicht unerwähnt bleiben: Eine bleifreie Lotpaste muss aufgrund der geringeren Dichte der Legierung mit ca. 12% Flussmittel gefertigt werden, um ein druckfähiges System zu erzeugen, im Vergleich zu ca.10% bei den bleihaltigen Pasten. Diese Änderung in Masseprozenten bewirkt ein ziemlich genaues Einhalten von 50Volumen-% Lot und Flussmitteldmedium; das System bleibt druckbar. In dem gleichen Volumen der Schablonenöffnung ist dadurch eine geringere Masse an Metall enthalten. Bei gleichem Volumen weist die Lötstelle eine geringere Masse von ca.11% auf. Es können daher mit 1kg bleifreier Lotpaste ca. 11% mehr Lötstellen gebildet werden als mit einer bleihaltigen Lotpaste.

### 3.6 Kombination von bleifreien Beschichtungen mit bleihaltigen Lotlegierungen und umgekehrt

In der Umstellungsphase auf bleifreie Legierungen wird es sich nicht vermeiden lassen, dass evtl. bleifrei beschichtete Leiterplatten und Bauteile noch mit bleihaltiger Lotpaste verarbeitet werden müssen. Genauso umgekehrt: mit bleifreier Lotpaste müssen auch noch bleihaltig beschichtete Leiterplatten und Bauteile verarbeitet werden, die im Lager vorrätig sind bzw. vielleicht auch noch gar nicht mit bleifreier Beschichtung verfügbar sind. Wie bereits in Kapitel 3.1.1, Tabelle 1 dargestellt, ist es möglich, dass in der Lötstelle Phasen entstehen, in der das Eutektikum aus Sn-Pb-Ag-Cu gebildet wird. Damit sind wir wieder bei dem Schmelzpunkt von 179°C, mit dem wir heute bereits seit Jahrzehnten gearbeitet haben. In der Umstellungsphase, wenn die Lötstellen noch mit Blei kontaminiert werden könnten, sollten die Baugruppen also nicht für höhere Dauerbetriebstemperaturen spezifiziert werden. Außerdem sollte versucht werden, Kontaminationen mit anderen Legierungsbestandteilen, die einen verringernden Einfluss auf den Schmelzpunkt des Lotes haben können, zu eliminieren.

### 3.7 Ist Stickstoff notwendig?

Die Aktivität der bleifreien STANNOL® Lotpasten ist grundsätzlich so ausgelegt, dass diese Lotpasten größtenteils problemlos in Luftatmosphäre umgeschmolzen werden können. Diese Lotpasten sind natürlich auch für das Aufschmelzen unter Stickstoff geeignet. Unter Stickstoff können Temperaturprofile mit höheren Spitzentemperaturen gefahren werden. Die Lötstellen weisen einen etwas höheren Glanz auf und es bleiben in der Regel etwas weniger Flussmittelrückstände auf der Lötstelle zurück. Stickstoff erleichtert die Benetzung des Lotes auf den Bauteil- und Leiterplattenmetallisierungen, daher wird bei kritischen Lötprozessen ein weiteres Prozessfenster erreicht. Bei Verwendung von Schutzgas besteht aber auch die Gefahr einer leicht erhöhten Zahl von Lotperlen (Mid-Chip-Solderballing) oder auch Tombstones. Für den Reflowbereich bietet Stickstoff wesentliche Vorteile. Die Frage, ob einem Lötprozess Stickstoff notwendig ist, kann nur dann bejaht werden, wenn der Lötterfolg an Luft nicht zu erzielen ist.

### 3.8 Bleifreie STANNOL® ECOLOY® Lotpasten

Durch jahrelange intensive Teilnahme an verschiedenen wissenschaftlichen Forschungsprojekten (IDEALS - BRITE EURAM, INNOLOT, BFE, u.a.) ist STANNOL® heute in der Lage, ausgereifte, bleifreie Lotpasten für sehr unterschiedliche Applikationen anzubieten: **SP310** und **SP320**. Während die Lotpaste STANNOL SP310 einen breiten Massenmarkt abdeckt, der auf zuverlässige Rückstände und einfache Verarbeitbarkeit höchsten Wert legt, wurde bei der SP320 ein anderer Weg gegangen. Durch die erhöhte Aktivität der SP320 können minimale Löttemperaturen ab 229°C aufwärts mit der TSC Legierung gefahren werden. Das kann für große Stückzahlen in einfachsten Grundmaterialien sehr wichtig sein. Temperaturresistente Leiterplatten und Bauteile müssten sonst mit hohem finanziellem Aufwand beschafft werden. Detaillierte Informationen zu diesen Produkten finden Sie in den Anwenderhandbüchern, die unter [www.stannol.de](http://www.stannol.de) im Bereich „Bleifrei“ zum Download bereitstehen. Dort finden Sie auch die STANNOL ECOLOY Mappe, in der alle verfügbaren Produkte und Informationen für eine bleifreie Fertigungsumgebung aufgeführt sind.

## 4. Wellenlöten

### 4.1 Mögliche Legierungen, Überwachung der Zusammensetzung

Wie schon in Kapitel 2 dargestellt, ist die Legierungsauswahl beim Wellenlötbereich etwas umfangreicher. Hier sind verschiedene Legierungen einsetzbar, die Frage nach dem niedrigstmöglichen Schmelzpunkt stellt sich nicht direkt, hier spielt neben dem Preis für die Legierung auch eher die niedrigste mögliche Verarbeitungstemperatur die wichtigste Rolle.

Die Legierung Sn99,3Cu0,7 hat für den Wellenlötbereich gegenüber den silberhaltigen Legierungen einen nicht zu verachtenden preislichen Vorteil (ca. 1/3 günstiger, weil kein Ag enthalten ist!). Sie ist nicht patentiert und damit frei von Lizenzgebühren und von jedem Lotlieferanten lieferbar. Eine weitere patentfreie Alternative sind silberarme Legierungen, wie z.B. STANNOL TSC263 mit der Zusammensetzung Sn96,1Ag2,6Cu0,3 und einem Schmelzbereich von 217-223°C. Bei patentierten Systemen ist man, sofern keine Unterlizenzen vergeben werden, auf einen Lieferanten und dessen Preisgestaltung angewiesen!

Wie sieht es mit der Verarbeitungstemperatur der verschiedenen Legierungen in der Welle aus? Diese ist bei den SnCu Legierungssystemen nach vielen Versuchen nicht niedriger zu realisieren als mit der SnAgCu (260-275°C bei großem Produktmix). Die vom Wettbewerb oftmals genannten Temperaturen von 250°C im Lötbad sind theoretisch möglich, lassen sich in der Praxis aber nicht realisieren! Lötbadtemperaturen ab 255°C aufwärts sind bei einfacheren Baugruppen realisierbar.

Wichtig ist bei allen bleifreien Legierungen, dass der Kupfer-Gehalt genau überwacht wird.

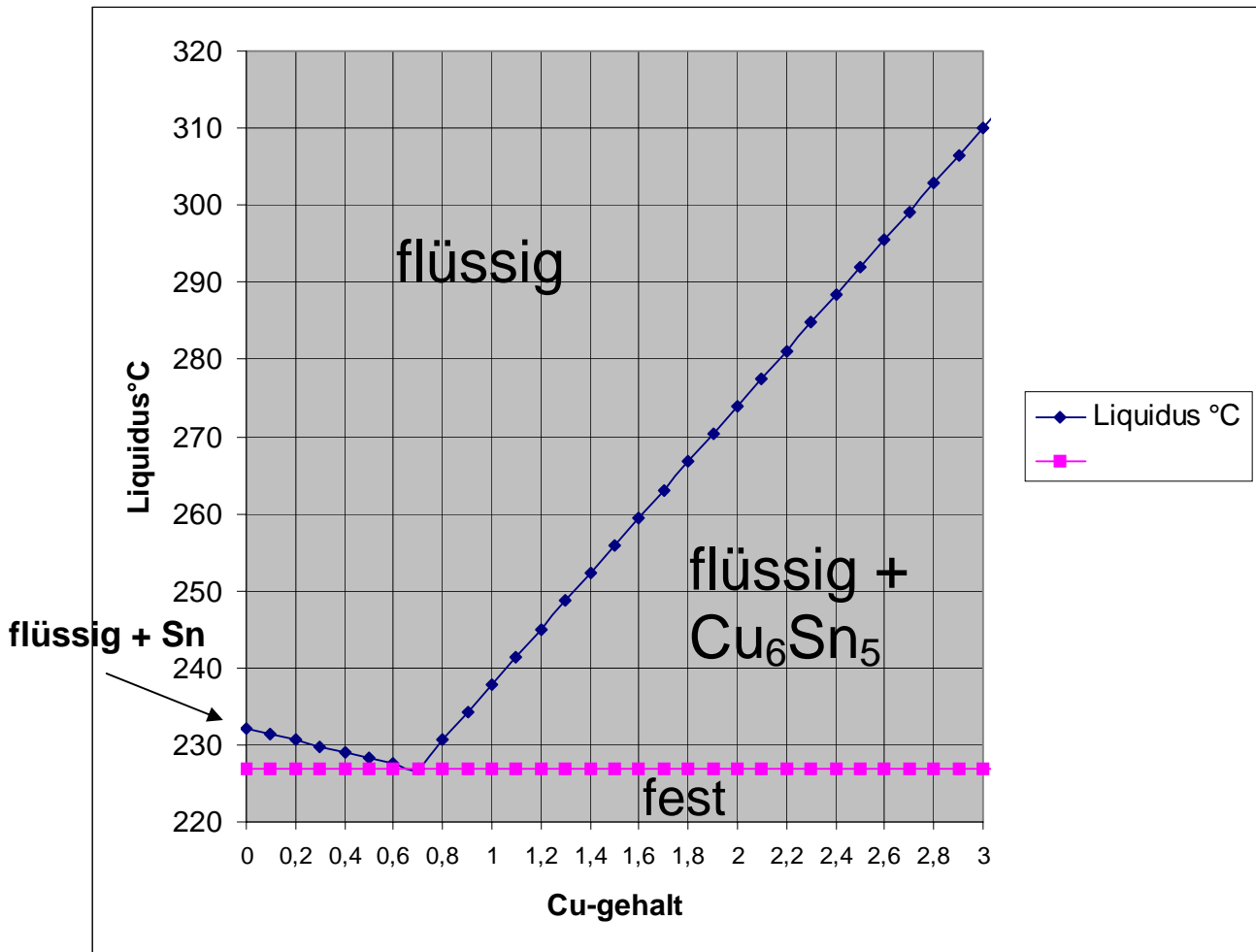


Abb.8: Schmelzbereich in Abhängigkeit vom Kupfergehalt am Beispiel der SnCu-Legierung

Allerdings muss bei den SnCu-Systemen beachtet werden, dass bereits ab einem Gehalt von 1% Kupfer der Liquidus schnell an die 240°C steigt!

Der Kupfergehalt muss regelmäßig (monatlich!) analysiert werden. Serienergebnisse zeigen, dass der Kupfer-Gehalt bei einem 2-Schicht Betrieb der Wellenlötanlage schnell pro Monat um bis zu 0,2% steigen kann. Hier können wir zur Reduzierung des Kupfergehaltes verschiedene Lösungen anbieten:

- |  |   |  |
|--|---|--|
| <b>TSC (Sn95,5Ag3,8Cu0,7) im Einsatz</b>     | → | <b>nachfüllen mit TSC 385 oder TS</b>      |
| <b>TSC 305 (Sn96,5Ag3,0Cu0,5) im Einsatz</b> | → | <b>nachfüllen mit TS 300 (Sn97Ag3)</b>     |
| <b>TSC 263 (Sn96,9Ag2,6Cu0,3) im Einsatz</b> | → | <b>nachfüllen mit TS 260 (Sn97,4Ag2,6)</b> |
| <b>TC (Sn99,3Cu0,7) im Einsatz</b>           | → | <b>nachfüllen mit Reinzinn</b>             |
| <b>TS (Sn96,5Ag3,5) im Einsatz</b>           | → | <b>nachfüllen mit TS (Sn96,5Ag3,5)</b>     |

Der Einsatz von Sn96Ag4 ist im Wellenlötprozess ist eine andere Möglichkeit. Wie bereits oben angesprochen, steigt der Kupfergehalt von alleine, muss also auch hier genauestens überwacht werden. Allerdings ist beim Einsatz der TS Legierung kein finanzieller Vorteil gegenüber der TSC Legierung zu erkennen. Diese Legierung ist etwas teurer als die eutektische TSC und damit natürlich auch teurer als die TC Legierung. Das Benetzungsverhalten gegenüber TC ist aber besser, die Lötstelle wird innerhalb kürzerer Zeit gebildet, es kann eine kürzere Kontaktzeit auf der Welle gefahren werden, die Bauteile werden geringer thermisch belastet. Das kann grade bei

sehr empfindlichen Bauteilen ein Vorteil sein, in der Regel ist mit den verschiedenen TSC Legierungen eine sehr ähnliche Benetzungszeit realisierbar.

## 4.2 Temperaturprofile

Um einen Startwert für die richtige Temperatur für die Leiterplattenunterseite in der Vorheizung zu ermitteln, kann man eine recht einfache Rechnung aufmachen:

Die notwendige Erhöhung der Lötbadtemperatur bei der Umstellung von bleihaltig auf bleifrei sollte der Temperaturerhöhung in der Vorheizzone entsprechen (da es sich um Differenzen handelt, ist es egal ob auf Leiterplattenoberseite oder Unterseite!). Diese Temperaturerhöhung in der Vorheizung ist notwendig, um den thermischen Schock, dem die Baugruppen heute schon oftmals im Bereich von  $\Delta T$  100-140K ausgesetzt sind, nicht noch größer werden zu lassen. Sonst würde die Gefahr der Bauteilzerstörung stark zunehmen. Genaue Temperatursprünge, die laut Bauteilhersteller erlaubt sind, müssen Sie den technischen Datenblättern der „grünen“ Bauteile entnehmen. Weitere Anpassungen müssen dann ggf. im Serienbetrieb erfolgen.

### Doppelwellenlöten Temperatur/Zeit-Diagramm

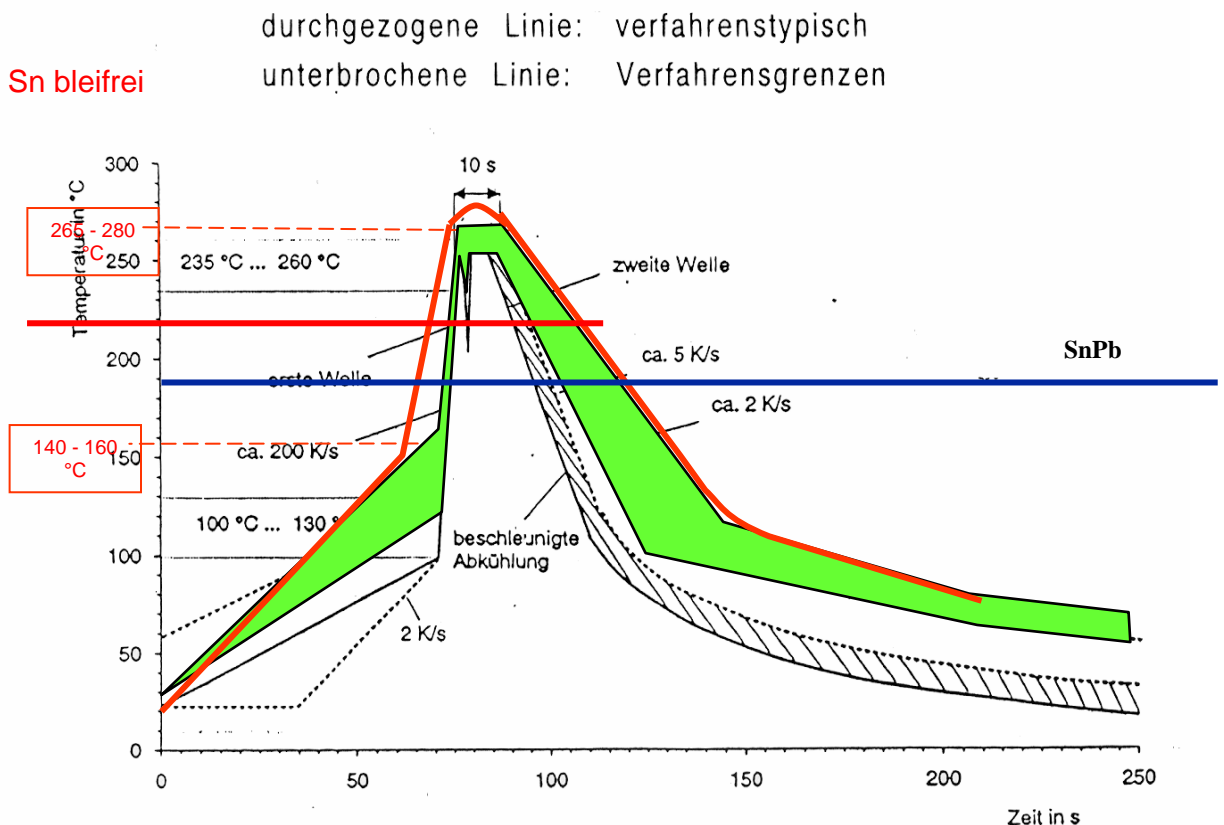


Abb. 9: Temperaturprofil für das Wellenlöten  
Grüner Bereich: Fenster für Bleifrei-Anwendungen  
Rote Linie: Mögliche Verfahrensgrenzen  
Schwarze Linien: SnPb- Anwendungen

Die Problematik beim Wellenlöten besteht darin, dass die benötigte Wärmeenergie aus der Welle auf die Leiterplatte übertragen werden muss. Lässt man das herkömmliche Profil für SnPb bestehen, sieht man sofort, dass das bleifreie Lot zwischen Chip- und Hauptwelle einfriert und von der Hauptwelle wiederum aufgeschmolzen werden muss. Daher ist das Konzept der Doppelwelle bei Bleifreianwendungen zu überdenken. Der erhöhte Energieeintrag in die Baugruppe muss nach dem Verlassen der Hauptwelle wieder abgeführt werden, das macht für Baugruppen mit hoher Wärmekapazität eine Zwangskühlung notwendig

### 4.3 Aussehen der Lötstellen

Auch die Lötstellen aus dem Wellenlötprozess werden ein matteres Aussehen aufweisen, als die aus dem herkömmlichen Lötprozess. Dies ist jedoch nur ein kosmetisches Problem und wird durch den Einsatz von Stickstoff in der Welle sehr stark reduziert. Auch bei den matteren bleifreien Legierungen kann bei guter Prozess- und Stickstoffkontrolle in der Wellenlötanlage durchaus eine glänzende Lötstelle gebildet werden. Dies ist nicht nur bestimmten Legierungszusätzen zuzuschreiben (z.B. Ni). Nichts desto trotz müssen in Zukunft mattere Lötstellen mit einem schlanken Meniskus akzeptiert werden. Es ist aus Sicht der Zuverlässigkeit überhaupt nicht notwendig, hier weitere zusätzliche Legierungsbestandteile ins Spiel zu bringen, nur um Kosmetik zu betreiben. Generell muss aber auch festgestellt werden, dass bestimmte Legierungszusätze wie z.B. Nickel, die eine angeblich schönere Kosmetik versprechen und das Auflösen von Cu im Lötbad verringern sollen, natürlich auch das Benetzungsverhalten behindern (Benetzung = Bildung intermetallischer Phasen von Sn und Cu, diese Bildung benötigt ein Auf-/Anlösen des Kupfers!)

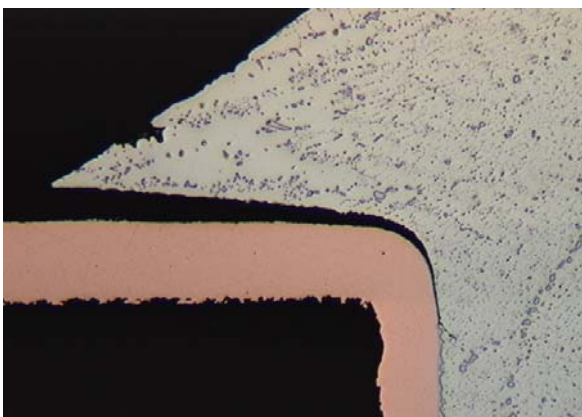
### 4.4 bekannte Fehlerbilder

Beim Wellenlöten mit bleifreien Legierungen sind die meisten Fehlerbilder schon aus den bleihaltigen Lötungen her bekannt. Viele dieser Fehler können verstärkt auftreten. Sie lassen sich durch entsprechende Kontrolle der Prozessparameter gut in den Griff bekommen – aber auch hier gilt: Das Prozessfenster wird kleiner!

#### - Erhöhte Anzahl von Lotperlen

Durch die höheren Lötbadtemperaturen weichen besonders kostengünstigere Lötstopplacke stärker auf. Lotperlen neigen dann eher dazu, auf der weichen Oberfläche mit erhöhter Haftung „kleben“ zu bleiben. Über die Verwendung von Lötstopplacken mit höherer Temperaturbeständigkeit oder Flussmitteln mit erhöhtem Harzanteil lässt sich diese Lotperlenproblematik wieder auf ein erträgliches Maß zurückdrängen. Um die Anzahl der Lotperlen zu reduzieren, kann man in einer Stickstoffatmosphäre die Menge an Restsauerstoff ein wenig erhöhen. Dies führt als kleiner Vorteil zu einer Verringerung des Stickstoffverbrauches.

#### - „Solder fillet lifting“ Dieser Fehlernamen beschreibt ein Abheben des Lotes an dem Lötauge einer durchkontaktierten Lötstelle (siehe Abb. 8).



Die höhere Volumenkontraktion, die auch für die matte Oberfläche ursächlich ist, lässt das Lot beim Erkalten in der Durchkontaktierung stärker „schrumpfen“, als in den Bereichen, in denen sich aufgrund der Bleikontamination niedrigschmelzende Phasen gebildet haben. Diese sind noch flüssig, wenn das bleifreie Lotdepot schon erstarrt, so dass dort ein Ablösen der noch teilweise flüssigen Phase leicht vonstatten gehen kann. Um diesen Fehler zu vermeiden, ist auf eine strenge Trennung von bleihaltig beschichteten Bauteilen und Leiterplatten von bleifreien



Produktionsprozessen zu achten. Ist dies nicht möglich, muss genauestens beobachtet werden, dass dieses Fehlerbild nicht auftritt und wenn es doch einmal auftreten sollte, muss nachgearbeitet werden.

#### - Erhöhte Anzahl von Brückenbildung

Auch dieser Fehler ist auf die erhöhte Neigung zur Oxidbildung zurückzuführen. Durch die Abdeckung des Lotbades mit einer partiellen Stickstoffbegasung kann die Oxidbildung auch auf der Oberfläche der Welle minimiert werden, die Anzahl der Brücken nimmt rapide ab. Es sollte bei der Umstellung mit einem neuen Tiegel darauf geachtet werden, dass zumindest die Option auf eine partielle Stickstoffbegasung der Welle vorhanden ist. Die Brückenbildung kann mit einer zu schnellen Erstarrung des Lotes zusammen hängen.

Es kann daher versucht werden, die Brückenbildung durch Erhöhen der Lötbadtemperatur um schrittweise jeweils 5°C zu minimieren. Auch die Vorheiztemperatur sollte schrittweise erhöht werden, um den Einfluss dieses Parameters zu prüfen.

Da bleifreie Legierungen eine höhere Oberflächenspannung und eine niedrigere Dichte haben, bleibt mehr Lot an den Lötstellen hängen. Daher spielt der Lötwinkel, die Laufgeschwindigkeit des Lotes in der Welle und das Layout eine wichtige Rolle. Eine Erhöhung des Löt winkels bewirkt ein verbessertes Abrissverhalten. Die Verwendung von einem Flussmittel mit höherem Feststoffgehalt kann dieses Fehlerbild ebenso minimieren. Es kann dann aber unter Umständen eine leicht erhöhte Menge an Rückständen auftreten.

#### - Schlechterer Durchstieg des Lotes in Durchkontaktierungen

Der schlechtere Durchstieg in den Durchkontaktierungen liegt hauptsächlich an dem geringeren Temperaturüberschuss oberhalb des Schmelzpunktes. Bleihaltige Legierungen mit Schmelzpunkt 183°C werden heute bei Lötbadtemperaturen von 250 verarbeitet. Die ist eine Temperaturdifferenz Schmelzpunkt-Verarbeitung von 67°C. Würde das Lot TC (227°C Schmelzpunkt) bei einem ähnlichen Temperaturüberschuss verarbeitet, wäre die Benetzungsgeschwindigkeit vergleichbar mit dem bleihaltigen Lot. Dies entspräche einer Lötbadtemperatur von 294°C. Dies ist sowohl von Bauteil- als auch Leiterplattenseite nicht möglich. Die hoch-zinnhaltigen bleifreien Legierungen werden heute in dem Temperaturbereich von 255-270°C verarbeitet. Folglich findet die Benetzung und damit auch der Durchstieg mit einer geringeren Geschwindigkeit statt. Um dieses auszugleichen, kann z.B. die Kontaktzeit mit der Welle durch eine langsamere Durchlaufgeschwindigkeit erhöht werden. Auch bei reiner THT Bestückung kann das Zuschalten einer Chipwelle diese Kontaktzeit verlängern und auch die Durchwärmung ausreichend erhöhen.

#### - Schlechte Benetzung mit verschiedenen Legierungen

Je nach Legierungsauswahl, ob TC oder TSC, kann die Benetzung auch verbessert werden. Wie im Abschlussbericht des IDEALS Projektes dokumentiert wurde, weist die TSC Legierung bereits bei geringeren Temperaturen eine gute Benetzungsgeschwindigkeit auf, die, in Abhängigkeit vom Flussmittel, bereits ab 255°C vergleichbar mit der einer Sn60Pb40 Legierung sein kann. Zinn-Kupfer Legierungen weisen, auch aufgrund des höheren Schmelzpunktes, ein etwas schlechteres Benetzungsverhalten auf. Sind dann auch noch Legierungszusätze enthalten, die z.B. die Geschwindigkeit der Cu-Ablegierung minimieren sollen, verschlechtert sich das Benetzungsverhalten nochmals geringfügig.

## 4.5 Flussmittelauswahl

Heute werden bei den bleibehafteten Prozessen oftmals feststoffarme Flussmittel mit Feststoffgehalten von 2-2,5% eingesetzt. Mit diesen Flussmitteln können sehr einfache Baugruppen ohne hohen thermischen Bedarf auch in Zukunft mit bleifreien Loten verarbeitet werden. Es kann dann jedoch notwendig sein, den Flussmittelauftrag leicht zu erhöhen. Wird in einer Produktion ein großer Produktmix gefahren, muss ein Flussmittel mit einem größeren Prozessfenster eingesetzt werden. Bei großem Produktmix reicht bei den alkoholbasierenden Flussmitteln ein Feststoffgehalt von ca. 3,5% aus. Für das Löten wird nicht mehr Feststoff (=Aktivator) benötigt, lediglich für die erhöhte Vorheizung. Wie in 4.2 angesprochen, muss mit

einer um ca. 10-20°C höheren Vorheizung in der Größenordnung von ca. 130-150°C auf der Leiterplattenunterseite gefahren werden. Bei dieser Temperatur verdampfen bereits einige der organischen Säuren, die als Aktivatoren verwendet werden. Es muss über den Fluxer mehr Feststoff aufgebracht werden, damit, im Vergleich zu heute, mehr Feststoff in der Vorheizung verdampfen kann und immer noch ausreichend Aktivatoren in der Welle zum Benetzen zur Verfügung stehen. Damit ist auch die Frage beantwortet, ob dieser höhere Feststoffgehalt auch für eine Erhöhung der Rückstandsmenge sorgt: Nach unserer Erfahrung ist die Menge der Rückstände mit STANNOL EF210 (2,1%) in einem bleihaltigen Prozess gelötet vergleichbar mit den Rückständen mit STANNOL EF350 (3,5% Feststoff) in einen bleifreien Prozess.

Bei vielen Firmen wird auch ein doppelter Schritt in Bezug auf Flussmittel durchgeführt. Wenn bei der Umstellung dieses Hilfsmittel sowieso neu evaluiert und qualifiziert werden muss, kann man auch den ganzen Schritt in Richtung VOC-freien Flussmittel machen. Bei der Entwicklung der wasserbasierenden Flussmittel im Hause STANNOL wurde bei der Zusammensetzung Feststoff/Lösemittel Wasser größter Wert auf die Verarbeitbarkeit auch in älteren Wellenlötanlagen mit nicht ganz optimaler Wärmeübertragung gelegt. Das VOC-freie Flussmittel WF300S weist einen Feststoffgehalt von 4,6% auf. Es werden aber nur ca. 3-3,5% benötigt. Also kann die Menge an aufgebrachtem Volumen um ca. 1/3 reduziert werden. Was an Wasser nicht aufgetragen wird, muss nicht mühevoll zum Verdunsten gebracht werden. Erleichternd kommt hinzu, dass die Vorheizung bei den wasserbasierenden Flussmitteln auch um ca. 20°C erhöht werden sollte, um ein gutes Vortrocknen zu erzielen. Diese Erhöhung deckt sich mit der erforderlichen Erhöhung der Vorheizung bei den bleifreien Legierungen. Nichtsdestotrotz, die Vorteile bei den wasserbasierenden Flussmitteln (kein brennbarer Stoff) -> einfache Lagerung, einfache Handhabung, keine Geruchsbelästigung, Einhaltung zukünftiger verschärfter VOC-Richtlinien der EU, usw. werden auch mit ein paar prozessrelevanten Nachteilen erkauft. So muss z.B. der Sprayfluxer auch bei geringen Durchflussmengen noch konstante Sprühergebnisse liefern. Je nach Anlage kann der Einsatz von feineren Sprühdüsen notwendig werden. Abhängig vom Lötstopplack können sich mehr systematische Lötperlen bilden. Die Wellenlötanlage ist bei nicht korrosionsfesten Bestandteilen eher anfällig für Korrosion. Es sollte daher darauf geachtet werden, dass z.B. der Sprayfluxer aus Edelstahl gefertigt ist, nicht aus hartverchromtem oder vernickeltem Messing. Schrauben sollten bei Ansätzen von Rost gegen Edelstahlschrauben getauscht werden. In Volltunnelanlagen kann der Einbau eines zusätzlichen Kondensatmanagementsystems notwendig sein, um den Stickstoff im Prozessbereich trocken zu halten. Diese Probleme können auftauchen - müssen aber nicht. Die meisten Kunden, die die wasserbasierenden Flussmittelsysteme eingeführt haben, haben diese Punkte alle in den Griff bekommen. Der Einspareffekt (30-40% geringerer Flussmittelverbrauch bei leicht erhöhten Kosten für das Flussmittel) lässt die geringen Mehrkosten für den Prozess schnell wieder reduzieren.

#### **4.6 Kombination von bleifreien Beschichtungen mit bleihaltigen Lotlegierungen und umgekehrt**

Nach allen Erfahrungen der Bauteilhersteller, ist bei den bleifrei beschichteten Bauteilanschlüssen die sog. Abwärtskompatibilität gegeben. Diese bleifrei beschichteten Bauteile können ohne weiteres in einer bleihaltigen Wellenlötanlage verarbeitet werden. Andersrum ist es in der Welle etwas kritischer zu betrachten. Was bei Reflow keine Rolle spielt, da jedes Lotdepot einzeln aufgetragen und gebildet wird, ist bei der Welle anders. Hier werden bleihaltige Beschichtungen im bleifreien Lot aufgelöst und reichern sich an. Bereits ab ca.1% Blei in dem Lotbad bilden sich in der Lötstelle niedrigschmelzende Phasen mit einem Schmelzpunkt von 179 bzw. 183°C (bei Abwesenheit von Silber). Bleifreie Lote werden heute in der Regel mit einer Kontamination von Blei mit 0,05-0,07% ausgeliefert. Geringere Kontamination ist technisch machbar, vom finanziellen Standpunkt her aber nicht mehr wirtschaftlich. Das heißt für die Anwender, dass der Bleigehalt gerade in der Umstellungsphase, wenn noch bleihaltig beschichtete Leiterplatten und/oder Bauteile verarbeitet werden müssen (Lagerbestand / abgekündigte Bauelemente) genauestens überwacht werden muss. Dies kann mittels einer Lotbadanalyse erfolgen, bei der auch der Kupfergehalt ermittelt wird. Gegensteuern lässt sich hier nicht ganz so einfach, wie beim Kupfergehalt unter 4.1.1 beschrieben. Steigt der Bleigehalt

über 0,1% an, muss das Lotbad teilweise oder ganz ausgetauscht werden, wenn auf der Baugruppe der Grenzwert für Blei überschritten wird.

## 4.7 Ist Stickstoff notwendig?

Die bleifreien Legierungen weisen alle eine erhöhte Tendenz zur Oxidbildung auf. Die Menge an Krätze wird sich nach allen Erfahrungen um den Faktor 2-3 erhöhen. Damit muss auch der Arbeitsaufwand, die Krätze von der Welle zu entfernen, wesentlich erhöht werden. Durch den Einsatz von Stickstoff und die damit verringerte Neigung zur Oxidbildung kann die Zahl der Lötfehler darüber hinaus auch drastisch reduziert werden. Bei dem erhöhten Preis der Legierungen um Faktor 2-3 und die Kosten für die Nacharbeit kommt man dann schnell an den Punkt, an dem sich zumindest eine partielle Stickstoffbegasung über der Welle betriebswirtschaftlich rechnet.

Nach Aussage von verschiedenen Lötanlagenherstellern kann man die TC Legierung (SnCu0,7) in der Welle ohne Stickstoff fahren, da die Krätzebildung etwas geringer als bei einer TSC Legierung ist. Die diversen TSC-Legierungen weisen bei gleicher Lotbadtemperatur eine leicht erhöhte Krätzebildung auf und machen so ein Arbeiten ohne Stickstoff schwierig. Verbessern kann man die Verarbeitung nur über die Zugabe von phosphorhaltigen Antioxidationspellets, die aber gerade in bewegten Lotbädern in nicht ganz unerheblichen Mengen regelmäßig angewendet werden müssen, da sich der Phosphoranteil durch den Kontakt mit Luftsauerstoff recht schnell abbaut. In statischen Lötbadern zum Verzinnen von Anschlüssen oder Kabeln kann der Einsatz von Antioxidationspellets den Einsatz von Stickstoff überflüssig machen.

## 4.8 Bleifreie STANNOL® ECOLOY® Legierungen und Flussmittel

Für das bleifreie Löten in der Elektronik und Elektrotechnik hat STANNOL® mit der ECOLOY®-Serie eine Reihe von Legierungen im Programm, die allen Anforderungen der Elektronikfertigung gerecht werden. Die bevorzugten bleifreien Legierungen sind:

Legierung	Normbezeichnung	Zusammensetzung	Schmelzpunkt °C
ECOLOY® TC	S-Sn99Cu1	Sn99,3 Cu0,7	227
ECOLOY® TS	S-Sn96Ag4	Sn96,5 Ag3,5	221
ECOLOY® TS 300	S-Sn97Ag3	Sn97 Ag3	221-224
ECOLOY® TS 260	-	Sn97,4 Ag2,6	221-224
ECOLOY® TSC	-	Sn95,5 Ag3,8 Cu0,7	217
ECOLOY® TSC 305	-	Sn96,5 Ag3,0 Cu0,7	217-221
ECOLOY® TSC 263	-	Sn97,1 Ag2,6 Cu0,3	217-224
ECOLOY® TC 300	S-Sn97Cu3	Sn97,0Cu3,0	227-310 für Hochtemperaturanwendungen

Alle in vorheriger Tabelle genannten Legierungen sind als Dreikantstangen, Barren und Formblöcke mit Aufhängeöse lieferbar.

Für das Wellenlöten haben sich die Flussmittel EF350, HW139 (VOC-arm) und WF300S (VOC-frei) als sog. „Drop-In“-Produkte erwiesen, die vor, während und nach einer Umstellung auf bleifreie Lötmaterialien optimale Lötresultate ermöglichen. Diese Produkte sind besonders auf die Anforderungen der erhöhten Vorheiztemperaturen und geringeren Benetzungsfreudigkeit entwickelt worden.

Für Ihren bleifreien Fertigungsprozess sind natürlich auch alle übrigen Produkte wie z.B. Stanz- und Formteile, Antioxidationspellets und Lötspitzenreiniger in bleifreier Form verfügbar.

## 5. Handlöten und Reparatur

### 5.1 Energiebetrachtung

Für eine bleifreie Lötstelle braucht man im Vergleich zur bleihaltigen unter gleichen Randbedingungen einen Mehraufwand an Energie. Dies gilt für alle Lötverfahren, egal ob man Lötendraht oder eine Lotpaste benutzt.

Die Wärmeübertragung auf die Lötstelle ist immer der kritische Aspekt beim Löten. Hier kommt es darauf an, für den Wärmeübergang eine optimale Kontaktfläche zu erzeugen, in dem man eine Spitze benutzt, die der Lötaufgabe gerecht wird, denn die „richtige Lötung“ wird so durchgeführt, dass zunächst die Lötstelle erwärmt wird, danach wird der Lötendraht zugeführt und aufgeschmolzen. In der Praxis wird oft beides gleichzeitig gemacht, dabei wirkt das aufgeschmolzene Lot zusätzlich auch als Wärmeüberträger. Die Wärmeenergie kommt von der heißen Lötspitze, die einen Eigenverbrauch an Energie (Wärmeverlust) durch Abstrahlung und Konvektion hat. Der Betrag ist abhängig von den Umgebungsbedingungen, der Form und der eingestellten Spitztemperatur. Der Energiebedarf für die Erwärmung der Lötstelle lässt sich nur schwer einschätzen, da der Energiefluss von der Lötspitze auf eine Lötstelle nur schwer zu ermitteln ist. Die Wärme, die von der Lötstelle in die Umgebung abfließt, ist von vielen Größen abhängig. Das Basismaterial der Leiterplatte muss erwärmt werden; da spielen die Art und die Dicke der Leiterplatte eine Rolle. Noch größeren Einfluss haben die abgehenden Leiterbahnen und Metallisierungen, die in der Lage sind, große Mengen an Energie von der Lötstelle abzuziehen. Das macht sich besonders bei viellagigen Multilayern bemerkbar. Die Ausführung und Masse der Löt- und Bauteilanschlüsse, die erwärmt werden müssen, sind für den Wärmebedarf meist ausschlaggebend. Höhere Temperaturen anzuwenden, heißt daher immer auch mehr Wärmeverlust.

Konsequenz: Für die bleifreie Lötstelle wird bei gleichem Energieeintrag (Leistung) mehr Zeit benötigt, alternativ kann man den erhöhten Energieaufwand durch Temperaturerhöhung ausgleichen, um die benötigte Wärmemenge schneller auf die Lötstelle zu übertragen.

Die Verbindung des Basismetalls mit dem Lot wird als Benetzungsreaktion bezeichnet. Damit sie stattfinden kann sind mehrere Voraussetzungen notwendig: Das Lot muss flüssig sein und zwischen Lot und Basismetall darf sich keine Oxidschicht befinden, die eine Verbindungsbildung behindert. Das Schmelzen des Lotes geschieht über die Wärme. Zur Beseitigung störender Oxidschichten benötigt man ein Flussmittel. Je effektiver das Flussmittel wirkt, umso schneller kann die Benetzungsreaktion ablaufen. Leider haben stark aktive Flussmittel erhebliche Nachteile, denn ihre Rückstände besitzen die gleiche Aktivität, sind korrosiv und unter Umständen elektrisch leitend. Bei der Flussmittelauswahl muss man also den bestmöglichen Kompromiss zwischen der Aktivität des Flussmittels und der Passivität der Rückstände finden.

### 5.2 mögliche bleifreie Legierungen

Die Auswahl der Legierung zum Handlöten sollte sich an den vorgeschalteten Lötprozessen orientieren. Das heißt, wird in Reflow und Welle die TSC Legierung verwendet, ist es nur logisch, die Handbestückung oder die Nacharbeit auch mit der gleichen Legierung durchzuführen. Warum? Wenn Sie verschiedene Legierungen miteinander mischen, ist es schwer, dem Kunden der Baugruppe klarzumachen, wie die Zuverlässigkeit dieser nachgearbeiteten Lötstelle wirklich ist. Alle einzelnen Legierungen, egal ob TSC, TC oder TS sind für sich seit langem bekannt und dokumentiert. Wenn man eine SMD-Lötstelle, die mit TSC gebildet wurde, mit TC nachlötet, entsteht eine Legierung Sn Rest, Ag 1-3%, Cu 0,7. Wie verhält sich eine Legierung, die einen undefinierten Silbergehalt in dieser Größenordnung?

Ist das Handlöten der einzige Lötprozess an einem Produkt, kann ohne weiteres die TC Legierung verwendet werden, um knapp 4% Silber zu sparen. Es kann dann allerdings das etwas schlechtere Benetzungsverhalten dieser Legierung, in einem ungünstigen Fall vielleicht auch noch in Kombination mit schlecht lötbaren Oberflächen zu einem Problem werden. Diese schlechtere Benetzungsfreudigkeit kann über die Lötspitztemperatur oder auch ein kräftigeres Flussmittel im Lötendraht ausgeglichen werden.

### 5.3 Aussehen der Lötstellen

Das Aussehen der bleifreien Lötstellen ist vergleichbar mit denen, die maschinell bleifrei gelötet wurden. Siehe hierzu auch Abschnitt 3.1.3.

### 5.4 Bildung von Fehlstellen

Über die Bildung von Fehlstellen in Handlötstellen liegen nicht viele Informationen vor. Es ist aber in allen Projekten, auch in dem IDEALS Projekt, das auch bleifrei nachgearbeitete Baugruppen untersucht hat, keine erhöhte Zahl oder Vergrößerung von Fehlstellen bekannt geworden. Hier sind also keinerlei Probleme zu erwarten.

### 5.5 Auswahl des Lötdrahtes und der Lötstation

Bei den Entwicklungen von bleifreien Lötdrähten im Hause STANNOL haben wir festgestellt, dass eine Erhöhung des Aktivatorgehaltes bei den Flussmitteln für bleifreie Lötdrähte keine wesentliche Verbesserung der Benetzungsgeschwindigkeit erzielt. Dies hat auch damit zu tun, dass die Lötdrahtflussmittel von je her für den Produktionsprozess und die Verarbeitung bei höheren Prozesstemperaturen ausgelegt sind. Es wurden daher bei dieser Produktgruppe die bereits über einen langen Zeitraum bewährten Flussmittelsysteme übernommen. In einem Lötprozess, in dem es auf eine schnelle Taktzeit ankommt, z.B. Lötautomaten oder in einem Akkordprozess, ist es fast zwingend notwendig, dass leicht halogenhaltig aktivierte Lötdrähte verwendet werden. Halogenfrei aktivierte Lötdrähte mit Flussmitteln, ähnlich der F-SW32er Klasse, zeigen ein sehr langsames Benetzungsverhalten. Die Taktzeit zum Erzielen einer zuverlässigen Lötstelle dauert hier fast 2- 3mal so lange. Mit einem leicht halogenhaltig aktivierten Lötdraht kann die Taktzeit wieder auf ein "normales" Maß zurückgefahren werden, mit einer geringfügigen Verlängerung ist aber in jedem Fall zu rechnen.

Auch bei der Lötstation sind einige Punkte zu beachten. Für optimale Lötungen ist ein thermisches Management wichtig, das den Wärmefluss und die Temperatur regelt. Dies kann nur eine elektronisch geregelte Lötstation leisten, die eine hohe Temperaturkonstanz gewährleistet. Das wird erreicht durch hohe Leistung, eine schnelle und effektive Regelung, zusammen mit einer hervorragenden Lötspitze. Es ist nicht zwingend wichtig, höchste Temperaturen an der Lötspitze zu erreichen. Die bleifreien Legierungen können bei 360-390°C reeller Lötspitzentemperatur verarbeitet werden. Wichtig ist vielmehr, dass die Energie schnell nachgeliefert werden kann damit die Spitzentemperatur möglichst konstant ist. 50W Stationen schaffen das in der Regel nicht mehr. Hier sollte mindestens eine Station mit 80W zum Einsatz kommen.

Die Lötspitzen verschleissen schneller. Die kupfernen Lötspitzen sind mit einer verzinnten Eischicht überzogen. Auch Eisen löst sich in Zinn auf, zwar wesentlich langsamer als andere Metalle, aber es kommt vor. Wenn die Schicht einen Riss bekommt, ist die Spitze innerhalb kürzester Zeit verbraucht. Die Korrosionsrate steigt mit der Höhe der Temperaturen an der Lötspitze, insbesondere oberhalb von 400 °C.

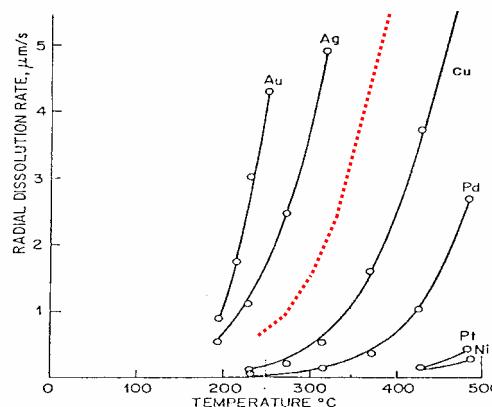


Abb.2: Lösungsrate verschiedener Elemente in SnPb-Legierungen

Rote Linie: Lösungsrate von Cu in Reinzinn

Fazit: Der Verbrauch an Lötspitzen wird ansteigen, abhängig von der Korrosionsrate und der Temperatur, bei bleifreien Legierungen rechnet man mit einer Steigerung um das 2 – 4- fache.

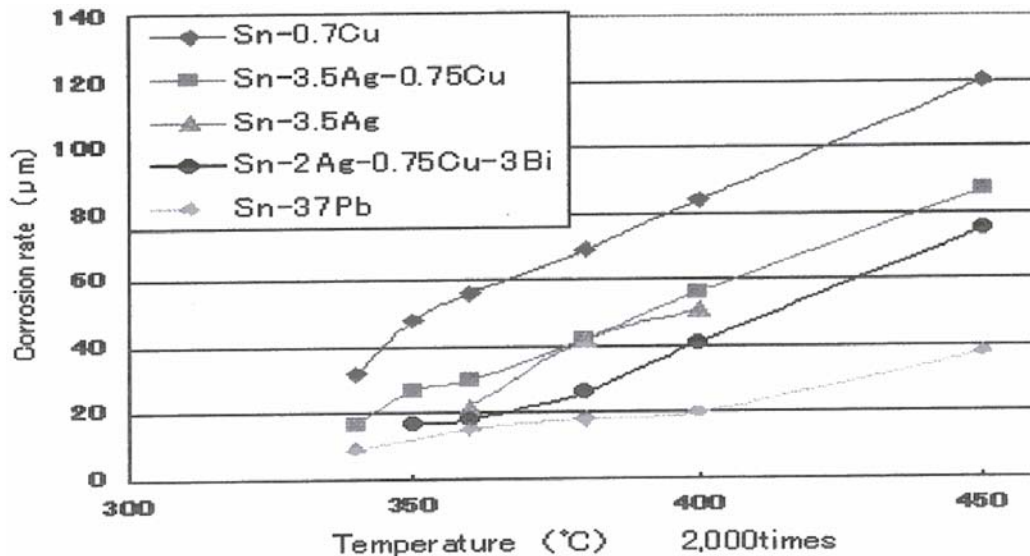


Abb.: Abtrag an den Lötspitzen in Abhängigkeit von Legierung und Temperatur

Eine gute Lötspitze muss folgende Eigenschaften besitzen:

- Gute Passform auf dem Heizkörper
- Gute Wärmeleitfähigkeit (Kupferkern)
- Hohe Wärmekapazität (möglichst massiv)
- Gute Benetzbarkeit und geringe Korrosion der Lötspitze
- Angepasste Spitzenform

Einige dieser Forderungen sind nicht gleichzeitig zu erfüllen. Zum Beispiel ist eine Lötspitze mit einer "guten" Benetzbarkeit auch anfällig für Korrosion; es ist schwierig beide Eigenschaften gleichzeitig zu optimieren.

Eine schwarze Lötspitze hat ihre Benetzbarkeit verloren und ist zum Löten nicht mehr geeignet. Die Verzinnung ist stark oxidiert. Es hat sich eine nicht benetzbare Schicht aus Zinn-Eisen gebildet, darauf sind Flussmittelreste verkohlt. Wenn die Lötspitze nicht mehr ausreichend vom Lot benetzt wird, entsteht nur eine kleine Kontaktzone, über die nicht genügend Wärme übertragen werden kann. Daher möchten wir Ihnen im folgenden einige Hinweise in Bezug auf die Pflege einer Lötspitze geben:

- LötKolben ohne Lötarbeit nie bei voller Temperatureinstellung stehen lassen! In Pausen immer abschalten.
- Wenn möglich Temperaturen unterhalb von 380 °C einstellen
- Lötendraht mit milder Flussmittelaktivierung benutzen
- Nach jedem Arbeitsgang den LötKolben mit dem Restlot in den LötKolbenhalter stellen oder besser noch kurz mit einem feuchten Tuch oder Schwamm reinigen und mit frischem Lot oder Tippy verzinnen. Die Lötspitze sollte nicht blank ohne Lot auf dem benetzbaren Teilstück auf Temperatur gehalten werden. Das Lot schützt die Eisenschicht vor schnellerer Oxidation. Der Schwamm soll handfeucht sein, idealerweise benutzt man entsalztes oder destilliertes Wasser und kein Leitungswasser, das hilft die Standzeit zu erhöhen und verringert die Verunreinigung. Den Schwamm zwischen durch auch mal auswaschen und austauschen, wenn er zu schmutzig oder abgenutzt ist.
- Nur Lötspitzenreiniger Tippy bleifrei benutzen!  
Die Lötspitzen über die Oberfläche von STANNOL®-ECOLOY-Tippy streichen oder leicht drehen. (Achtung: Niemals die heiße LötKolbenspitze in den Block eindrücken). Die Lötspitzentemperatur soll mindestens 320°C und höchstens 400°C betragen. Die Reinigung und Verzinnung verbessert sich, je höher die Spitzentemperatur an 400°C liegt.

STANNOL®-ECOLOY-Tippy ist eine Neuentwicklung für das Verzinnen bei höheren Temperaturen, wie es z.B. für Bleifreianwendungen benötigt wird. Die Spitzen lassen sich leichter verzinnen und weil keine Rauchentwicklung erfolgt, gibt es keine Belästigung am Arbeitsplatz. Mit Ecoloy Tippy hat man die beste Methode, um Spitzen zu verzinnen.

## 5.6 Bleifreie STANNOL® ECOLOY® Lötdrähte und Hilfsprodukte

Aus den bewährten STANNOL® Lötdrähten haben sich durch intensive Laboruntersuchungen und umfangreiche Testreihen mit unseren Kunden die folgenden Lösungen als die besten herauskristallisiert:

Lötdraht	DIN EN 29454-1	Flussmittelanteil	Seelenzahl
HF32	1.1.3	3,5%	1
HS10	1.1.2	2,5%	1
2630	1.1.2	2,0%	1
Kristall 400	1.2.3	2,2%	5
Kristall 505	1.2.2	2,7%	5
Kristall 511	1.2.2	2,7%	5

## 6. Schlusswort

Zahlreiche Kunden haben bereits bewiesen, dass eine Umstellung auf bleifreie Lote machbar ist. Es treten nur Probleme auf, die gelöst werden können. Wir hoffen, dass Sie aus diesem kleinen Ratgeber den einen oder anderen hilfreichen Hinweis bei der Umstellung in Ihrer Produktion entnehmen konnten. Gerne stehen wir Ihnen mit Rat und Tat und unseren bewährten Produkten bei der Umstellung zur Verfügung. Fordern Sie uns, damit wir Sie von unseren Produkten überzeugen können. Sie können uns entweder per Email unter [info@stannol.de](mailto:info@stannol.de) oder telefonisch unter 0202-585-0 erreichen.

Um Sie während der Übergangsphase zu unterstützen haben wir eine besondere Kennzeichnung bleifreier Legierungen, Lotdrähte und Pasten vorgenommen, so dass das Verwechslungsrisiko minimiert wird.

Zusätzlich zu den vorgeschriebenen Kennzeichnungen nach DIN bzw. anderen Normen werden unsere Produkte mit zusätzlichen Unterscheidungsmerkmalen versehen:

- 1) Lötzinn: Kartonverpackungen mit grünem Band
- 2) Lötdraht: Spulenfarbe grün (bleihaltig → rote Spulen)
- 3) Lotpaste: Dosendeckel grün

Ihr

Stannol-Team

## 7. Glossar

Ag:	Silber
Bi:	Bismut (andere Schreibweise: Wismut, engl. Bismuth)
Cu:	Kupfer
Ecology:	Eingetragenes Warenzeichen der STANNOL GmbH für die "Bleifrei-Produktlinie"
Fehlstellen:	Luft- oder Gaseinschlüsse in der fertigen Lötstelle, oft fälschlicherweise als Lunken bezeichnet
Pastenmedium:	der 9-13%ige Flussmittelanteil in der Lotpaste
Reflow:	Aufschmelzen / Umschmelzen
Sn:	Zinn
TC:	STANNOL Verkaufsbezeichnung der Legierung Sn99,3 Cu0,7
TSC:	STANNOL Verkaufsbezeichnung der Legierung Sn95,5 Ag3,8 Cu0,7
TS:	STANNOL Verkaufsbezeichnung der Legierung Sn96 Ag4
TSC 263:	STANNOL Verkaufsbezeichnung der Legierung Sn97,1 Ag2,6 Cu0,3
TSC 305:	STANNOL Verkaufsbezeichnung der Legierung Sn96,5 Ag3,0 Cu0,5
TS 300:	STANNOL Verkaufsbezeichnung der Legierung Sn97 Ag3
TS 260:	STANNOL Verkaufsbezeichnung der Legierung Sn97,4Ag2,6

## Quellen

- A.Rahn et al. Bleifreie Lote? Productronic 2 1995
- H. Steen Solders without lead – a current assesment 1996 (private Kommunikation)
- M. Warwick, lead free soldering review, Nov.1997 (Multicore Solders Ltd.)
- U.S.Patent 5,527,628
- N.-C. Lee Getting ready for Lead free Solders, (Indium Corp. 1997)
- Diverse Engineering Manuals, Loctite Multicore, [www.loctite.com](http://www.loctite.com)
- J.H. Vincent Lead-Free Solders for Electronic Assembly, GEC Journal of Research,11,2, 1994
- STANNOL® Technisches Datenblatt ECOLOY TSC
- Bundesumweltamt [www.bmu.de](http://www.bmu.de)