

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse

**Herausgeber:** Electrosuisse

**Band:** 95 (2004)

**Heft:** 17

**Artikel:** Bleifreies Löten : Technik ist bereit

**Autor:** Grossmann, Günter

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-857966>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Bleifreies Löten: Technik ist bereit

## Materialien, Eigenschaften und Prozesse der bleifreien Lote

In den nächsten Jahren werden Elektronikhersteller auf bleifreie Lote umstellen müssen. Technisch ist es möglich, die Produktion wird aber teurer, denn es müssen neue Maschinen angeschafft werden und die bleifreien Lote sind teurer. Die Wartung wird aufwändiger und die Kosten für die Energie steigen, denn die Prozesstemperaturen liegen höher. Noch ist offen, wie zuverlässig die bleifreien Lötstellen auf längere Dauer sind.

Durch gesetzliche Vorgaben, vor allem aber marktgetrieben, werden Elektronikhersteller innerhalb der nächsten Jahre auf bleihaltige Lote verzichten müssen. Mögliche Ersatzlegierungen sind bekannt, aber nicht alle sind sinnvoll. Welche Legierungen sich auf lange Sicht als Standardlot etablieren werden, ist noch nicht klar. Alle aussichtsreichen Kandidaten haben einen hohen Zinngehalt. Die

**Günter Grossmann**

bleifreien Legierungen unterscheiden sich in ihren Eigenschaften, wie zum Beispiel dem Schmelzpunkt, dem Oxidationsverhalten oder dem Lösungsverhalten von Legierungen auf Zinn-Blei-Basis. Erste Untersuchungen über die Zuverlässigkeit lassen vermuten, dass Lötstellen aus bleifreien Legierungen vergleichbar sind mit denjenigen aus herkömmlichem Zinn-Blei.

Lötstellen befestigen die Komponenten, übertragen elektronische Signale und leiten die Verlustwärme vom Bauteil weg. Herkömmliche Lote werden bei einer Temperatur von 230 °C gelötet, die bleifreien Legierungen sollen möglichst nahe bei dieser Temperatur verarbeitet werden können. Die Suche nach Ersatzlegierungen ist nicht einfach, ein Ersatzlot muss mehrere Kriterien erfüllen:

- Die Legierungselemente müssen ungiftig sein.
- Die verwendeten Metalle dürfen nicht teuer sein und müssen verfügbar sein.
- Ersatzlegierungen sollten ohne grundlegende Anpassungen gängiger Prozesse angewendet werden können.
- Die Lote müssen kompatibel zu den Materialien im Produktionsprozess sein.

Bleikontamination von über 3% eine Legierung mit einem Schmelzpunkt von lediglich 96 °C, was unerwünscht ist.

### Bleifreie Legierungen

Weltweit werden Legierungen geprüft, ob sie sich für die Elektronikproduktion eignen. Die viel versprechendsten Legierungen sind (Bild 1):

- Sn Ag3.5 (binäres Eutektikum<sup>1)</sup>)
- Sn Cu0.7 (binäres Eutektikum)
- Sn Ag2.5-4.1 Cu0.4-1.7 (Ternäres Eutektikum, Zusammensetzung noch unbekannt)
- Sn Zn9 (binäres Eutektikum)
- Sn mit variierenden Beimischungen von Bi und Sb.

Die im Moment kommerziell erhältlichen Lotpasten werden oft mit Flussmitteln aufgebaut, die sich im Einsatz mit eutektischen SnPb-Loten oder SnPbAg-Loten bewährt haben. Die damit hergestellten Lötstellen sind durchaus brauchbar, der Prozess ist aber nicht optimal. Die bleifreien Lote benetzen schlechter als SnPb-Lote und die reaktiven Legierungen wie SnZn oxidieren schnell. Auf Grund der erhöhten Prozesstemperaturen polymerisieren die Flussmittel stärker und sind schwieriger zu entfernen. Die

- Die Zuverlässigkeit der Lötverbindungen darf nicht erheblich schlechter sein als mit den herkömmlichen Loten.
- Legierungen, deren Schmelzpunkte wesentlich über 200 °C liegen, sind uninteressant.

Über alles gesehen erfüllen Lote auf Basis von Zinn diese Vorgaben am besten. Als Legierungsbestandteile kommen Silber (Ag), Kupfer (Cu), Antimon (Sb), Wismut (Bi), Zink (Zn), Cadmium (Cd) oder Indium (In) in Frage. Die Auswahl der Legierungspartner ist eingegrenzt. Cadmium ist giftig und Indium ist zu selten und zu teuer. Auch Wismut ist nicht in beliebigen Mengen vorhanden und SnBi bildet mit einer

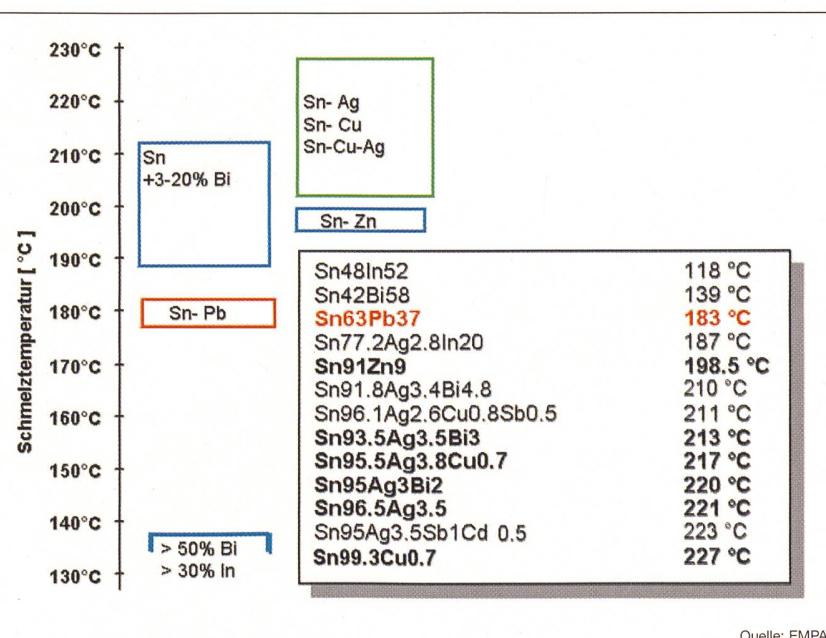


Bild 1 Ersatzlegierungen für SnPb37 und ihre Schmelzbereiche

Die meisten bleifreien Legierungen weisen einen 20 bis 50 °C höheren Schmelzpunkt auf als SnPb

## Bleifrei

flüchtigen Bestandteile der Pasten verschmutzen die Filteranlagen der Lötöfen stärker.

### Patente hemmen den Handel

Ein nicht zu unterschätzendes Problem sind die Patente auf bleifreie Lote. Vor allem in den USA, wo ein Patent ohne Nachprüfung erteilt wird und ein Nachweis der Patentwürdigkeit erst im Streitfall fällig wird, führt es dazu, dass Legierungen von mehreren Institutionen beansprucht werden und dass Patente für bereits bekannte Legierungen angemeldet werden. Dies ist zum Beispiel für SnAg4Cu0.5 der Fall, das von Angela Grusd bei Heraeus untersucht und publiziert worden ist, auf der Basis der Arbeiten von Petzov in den 50er-Jahren. Außerdem können ganze Legierungsbezirke von Zinnbasis-Loten durch Patente abgedeckt werden. Die Iowa State University hält sogar ein Patent, das nicht die Lote abdeckt, sondern alle im Prozess entstehenden Legierungen (Bild 2).

Die Patente, die auf der Zusammensetzung der Lote bestehen, sind nicht von Belang, da die Toleranzen in der Legierungsherstellung grösser sind als die Differenzen zwischen den Legierungen. Probleme könnten mit dem Iowa University Patent auftreten, da jede Lötstelle in den USA zu einer Verletzung des Patentes führt. Die Auswirkungen dieser Situation sind noch nicht klar.

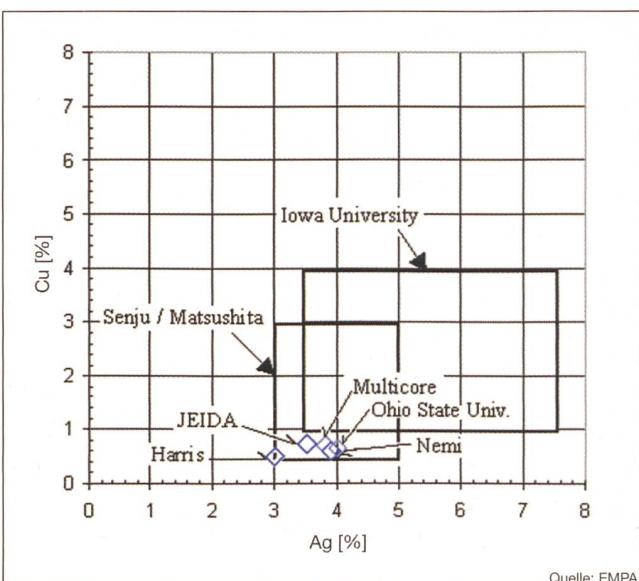
### Bleifreie Lote sind zuverlässig

Das Deformationsverhalten von SnPb-Loten ist weit gehend erforscht, und es wurden unterschiedliche Modelle zur Beschreibung aufgestellt [2]. Dieses Wissen erlaubt es, sich ein Bild davon zu machen, wie sich SnPb unter Belastung deformeert. Das Deformationsverhalten der bleifreien Legierungen ist nicht abschliessend erforscht. Erste interessante Daten liegen allerdings vor. Kriechversuche, in denen Massivproben mit einer konstanten Last beaufschlagt und die Zeiten zum Bruch festgehalten werden, zeigen Unterschiede zwischen verschiedenen bleifreien Loten (Bild 3, 4) [3].

Bleifreie Lote benötigen bei gleicher Last eine längere Kriechdauer bis zum Bruch als SnPb. Die Änderung in der Steigung der Spannungs-/Ausfall-Kurven ist ein Hinweis auf eine von der Spannung abhängigen Änderung im Degradationsmechanismus. Im System SnPb40 ist diese Abhängigkeit bekannt. Sie röhrt daher, dass bei tiefen Spannungen ein anderer Deformationsmechanismus (Korngrenzgleiten, GBS) aktiviert wird als bei hohen Spannungen (Versetzungs-

**Bild 2 Patente des SnAgCu-Systems [1]**

Das Patent der Iowa State University deckt die Lötstelle ab. Wer mit SnAgCu oder mit SnAg lötet, verletzt ihr Patent.

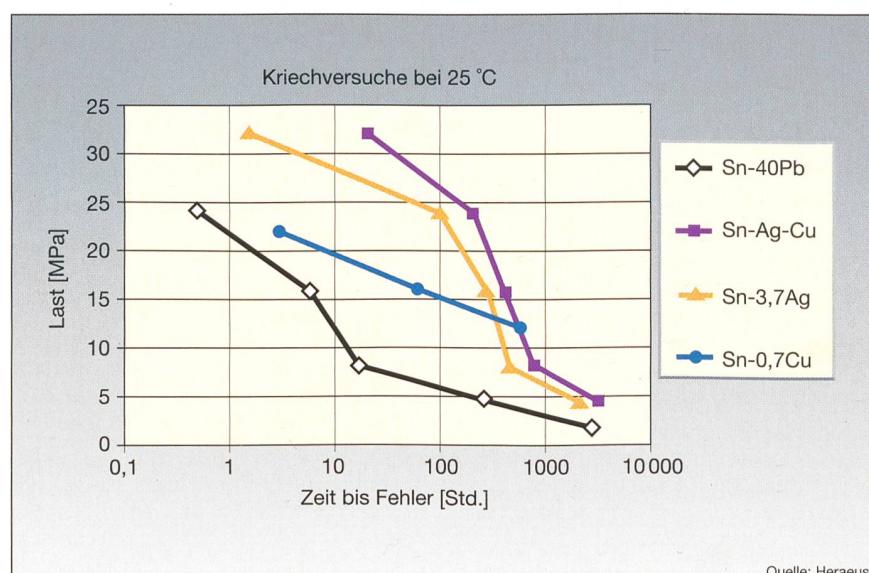


Quelle: EMPA

tern DC) [4]. Bei bleifreien Loten findet dieser Übergang offensichtlich bei höheren Spannungen statt als bei SnPb40. Wird derselbe Test mit erhöhter Temperatur durchgeführt, so zeigt SnPb diese Änderung im Deformationsmechanismus nicht mehr, bei bleifreien Loten ist der Übergang noch ersichtlich. Weitere Versuche [5] haben die Bruchdehnung für diverse Lote gemessen (Bild 5). Dabei ist ersichtlich, dass die bleifreien Lote eine geringere Bruchdehnung aufweisen als SnPb bei gleicher Spannung. Beide Aussagen zusammengefasst lassen den Schluss zu, dass die Deformationsgeschwindigkeiten von bleifreien Loten um Grössenordnungen niedriger sind als diejenigen von SnPb.

### Degradation

Degradationsdaten für bleifreie Lote liegen erst aus stark beschleunigten Versuchen vor [5] (Bild 6). Auf den ersten Blick scheint es offensichtlich, dass die bleifreien Lote einer geringeren Degradation unterworfen sind als das SnPb-Lot. Es ist aber zu beachten, dass im Test mit verlängerter Haltezeit die Ausfallkurven der unterschiedlichen Legierungen wesentlich näher zusammenliegen als im Test mit kurzer Haltezeit. Zieht man das unterschiedliche Deformationsverhalten der Legierungen in Betracht, so zeigt sich, dass in Belastungen mit langen Haltezeiten und somit mit weit gehender Relaxation die Degradation von bleifreien und bleihaltigen Loten auf Zinnbasis ver-



Quelle: Heraeus

**Bild 3 Kriechversuch bei 25 °C**

Bleifreie Lote kriechen langsamer als die herkömmlichen Lote, und es dauert länger, bis sie brechen. Die unterschiedliche Steigung deutet auf unterschiedliche Mechanismen hin (Korngrenzgleiten und Versetzungsgleiten [4]).

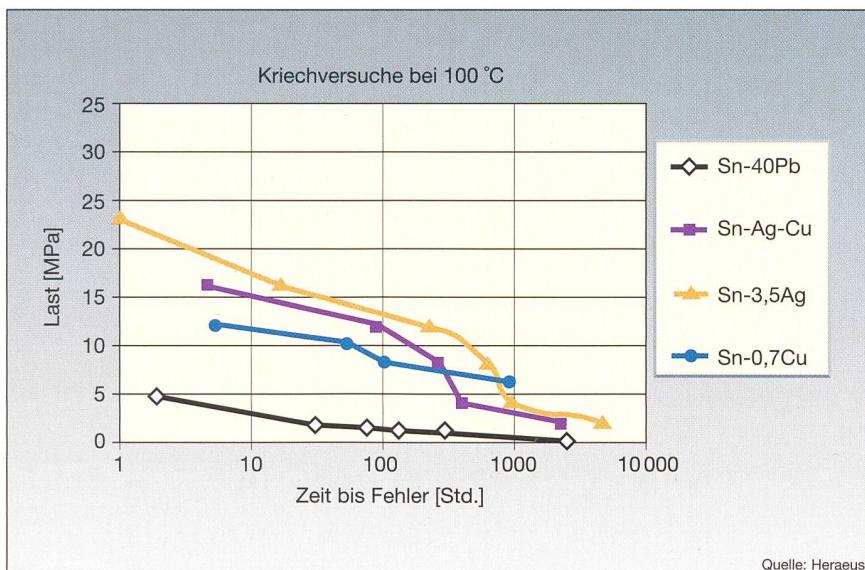


Bild 4 Kriechversuch bei 100 °C

Derselbe Versuch bei 100 °C zeigt bei SnPb keinen Knick mehr, bei den bleifreien Loten ist der Übergang zwischen den Deformationsmechanismen noch ersichtlich.

gleichbar ist. Versuche mit langsamem Temperaturzyklen haben gezeigt, dass bleifreie Lote auf Zinn-Silber-Basis leicht schneller degradieren als Zinn-Blei [6].

### Produktion: Lotpasten und Flussmittel

Untersuchungen an Lotpasten verschiedener Hersteller im Projekt «Leads-free» haben gezeigt, dass der Unterschied im Benetzungsverhalten zwischen den Pasten recht gering ist (Bild 7). Der grösste Unterschied zwischen den Pasten liegt in der Konstanz der Kugelgrössen und im Druckverhalten. Dies sind allgemeine Probleme von Druckpasten, die mit dem bleifreien Lot nichts zu tun haben. In [5] wird darauf hingewiesen, dass die Legierungen je nach Oberfläche unterschiedlich benetzen (Bild 8). Inwieweit dieses Verhalten auf Grund der Lotlegierung auftritt oder durch das Flussmittel verursacht wird, ist schwierig zu sagen. So könnten die Benetzungsprobleme auf OSP eher ein Problem des Flussmittels sein, während die reduzierte Benetzung auf Pd auf Legierungsprobleme hinweist.

### Flussmittel

Gegenwärtig werden für die Produktion mit bleifreien Loten meist Standardflussmittel verwendet, die sich mit SnPb-Loten bewährt haben. Die dabei erzielten Resultate sind für das SnAgCu-System im Reflowlöten durchaus vernünftig. Für reaktivere Lote wie SnZn sind neue Flussmittel notwendig, die bereits in der Entwicklung sind. Im Wellenlötprozess

sieht es so aus, dass die vorhandenen Flussmittel modifiziert werden können, wobei allgemein aggressivere Flussmittel nötig sind. Die Industrie befindet sich noch in einer Versuchsstufe. Synthetische, VOC<sup>2)</sup>-freie Flussmittel, die auf Wasser basieren, scheinen das grösste Potenzial zu haben.

### Mehr Kräfte beim Wellenlöten

Um die bleifreien Prozesse zu optimieren, wurden bereits einige Arbeiten durchgeführt [5, 7, 8]. Die Resultate sind als Leitplanken zu verstehen, da sie immer produktespezifisch sind. Beim Wellenlöten ist der Wechsel auf bleifreie Lote vor allem anlagenseitig schwierig:

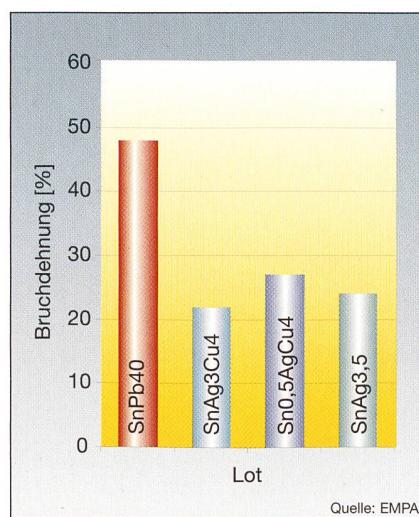


Bild 5 Bruchdehnung von Loten

Bleifreie Lote weisen eine geringere Bruchdehnung auf als Zinn-Blei. Allgemein deformieren sich bleifreie Lote langsamer als SnPb.



## Ihre Sicherheit.

Unterbrechungsfreie Stromversorgung von CTA Energy Systems.

[www.usv.ch](http://www.usv.ch)

**CTA**  
Energy Systems

Bern • Baar  
CTA Energy Systems AG  
3110 Münsingen  
Telefon 031 720 15 50

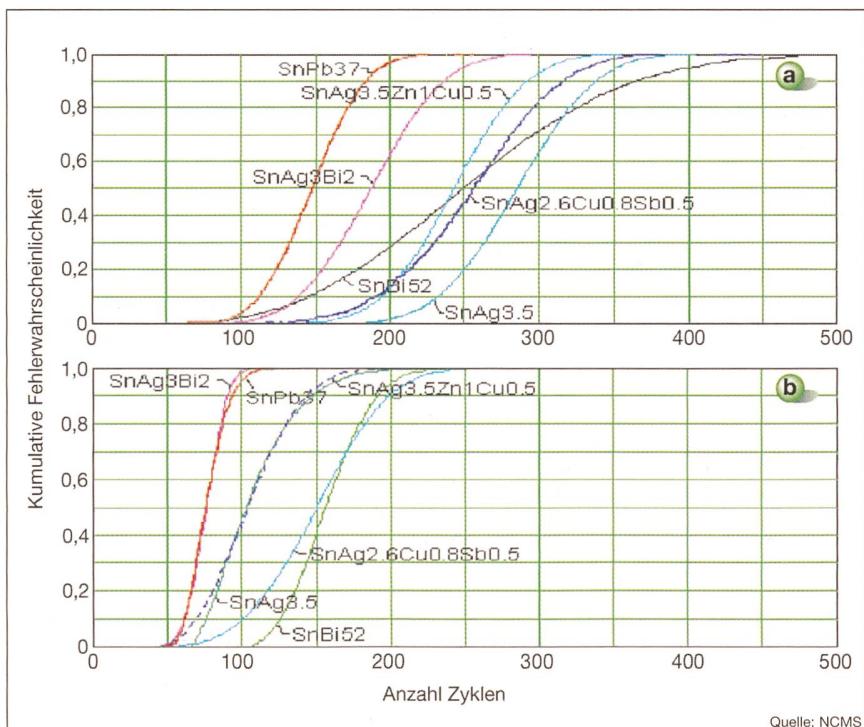


Bild 6 Degradation: Bei langsamem Zyklen liegen Lote näher beieinander

Bild a: Fehlerrate bei Temperaturzyklen von 0 bis 100 °C (10 °C/Min., Haltezeit 5 Min.); Bild b: Fehlerrate bei Temperaturzyklen von -55 bis 125 °C, (10 °C/Min., Haltezeit 20 Min.)

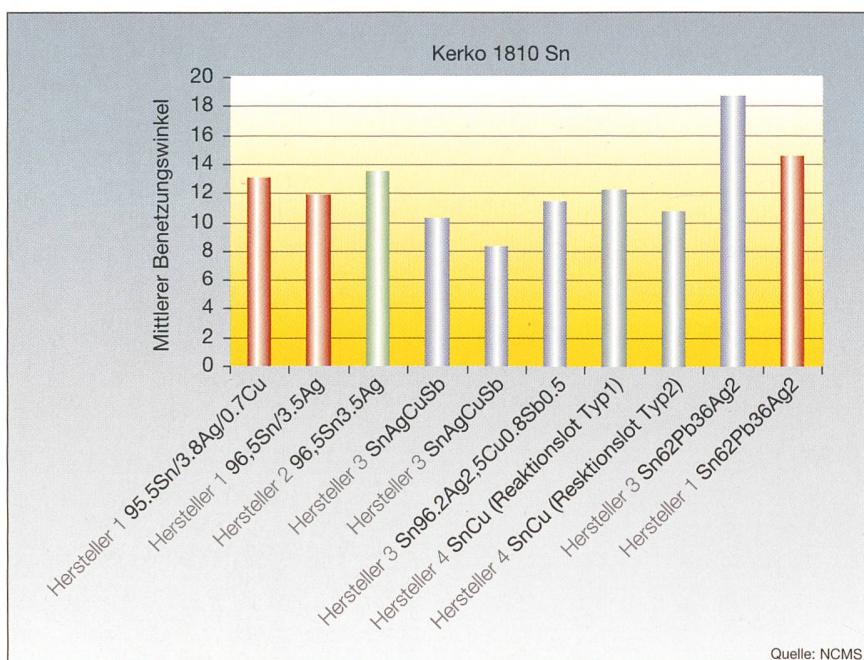


Bild 7 Verschiedene Lotpasten

Mittlerer Benetzungswinkel verschiedener Lotpasten am Anschluss eines Keramikkondensators mit Zinnoberfläche

- Die reaktiven Lote wie SnZn bilden grosse Mengen Kräze, da das Lot immer wieder mit Luft in Kontakt kommt.
  - Die silberhaltigen Lote bilden nicht wie bisher leicht entfernbare Oxidschichten, sondern eine dünne Schicht,
- die nur schwer von der Leiterplatte abgeschoben werden kann.
- Lote mit hohem Zinnanteil sind hervorragende Lösungsmittel für Eisen und Nickel. Bestehende Wellenlötanlagen können darum nicht verwendet werden, da der Lottiegel zerstört wird.

Bereits nach wenigen Wochen entstehen Löcher.

- Bleifreie Lote werden mit Vorteil unter Stickstoff verarbeitet. Die Umrüstung bestehender Anlagen ist nicht immer einfach.
- Auf Grund der höheren Löttemperatur ist es nötig, die Leiterplatten stärker vorzuheizen, um den Temperaturschock zu minimieren. Herkömmliche Strahlungsheizer haben damit Mühe, die Temperaturen zu erreichen, Konvektions-Vorheizstrecken sind nicht verbreitet.

Trotz allem hat man schon einige Erfahrung mit bleifreien Wellen und kennt die Lötprofile. Aus Bild 9 wird ersichtlich, dass nicht nur die Prozesstemperaturen um 30 °C angehoben werden, auch die Prozesszeiten ändern sich. Durch den Temperaturgradienten von 2 °C pro Sekunde beim Vorheizen ist die Baugruppe einer längeren Temperaturbelastung ausgesetzt. Um einen genügenden Durchstieg bei Leiterplatten mit mehr als 6 Lagen sicherzustellen, verweilt die Baugruppe länger in der Kontaktzone.

In [8] werden folgende Wellenlötparameter empfohlen:

Flussmitteldicke:	2 µm
Vorheiztemperatur:	130 °C
Bandgeschwindigkeit:	110 cm/min
Löttemperatur:	260 °C
Kontaktzeit:	3,5 sek.
Eintauchtiefe 1. Welle:	1,5 mm
Eintauchtiefe 2. Welle:	0,5 mm

Versuche im europäischen Verbundprojekt «Leadfree» haben gezeigt, dass bei einer Transportgeschwindigkeit von 100 cm/min für eine 4-Lagen-Leiterplatte die Temperatur der Welle auf 250 bis 255 °C reduziert werden kann. Die optimale Kombination von Zeit und Temperatur ist allerdings produktspezifisch.

#### Reflow: Enges Temperaturfenster

Beim Konvektionslöten (Reflow) sind die Probleme durch das Oxid und die aggressiven Legierungen kleiner. Geeignete Flussmittel und Stickstoff verhindern, dass sich beim Löten laufend Oxide bilden, und bewirken, dass die Kontaktflächen gut benetzt werden. Die höheren Prozesstemperaturen haben zur Folge, dass vermehrt flüchtige Stoffe freigesetzt werden und die Filter verstopfen. Ältere Anlagen haben Mühe, die nötige Heizenergie aufzubringen, um die Löttemperatur zu erreichen.

Aus Bild 10 ist ersichtlich, dass das Prozessfenster beim bleifreien Löten kleiner ist, eingegrenzt durch die minimal nötige Lötstellentemperatur und die Zerstörungsgrenze der Komponenten. Ein

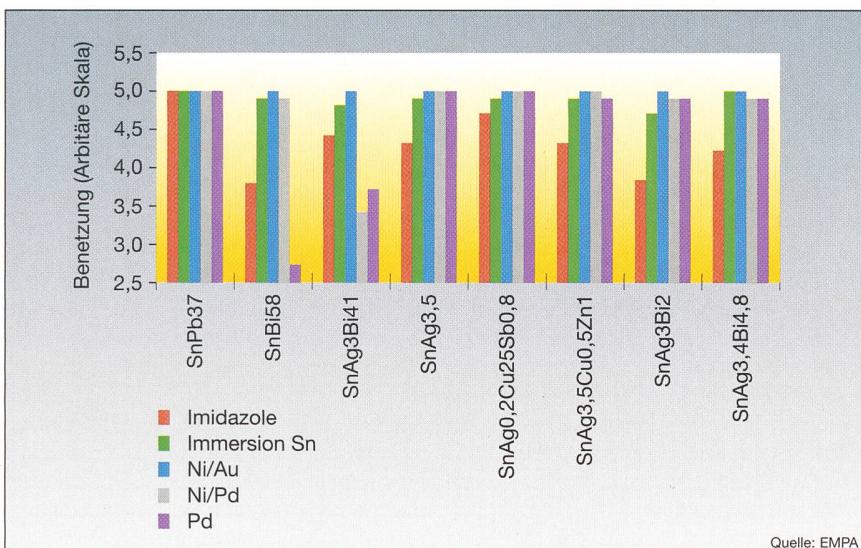


Bild 8 Benetzung auf unterschiedlichen Oberflächen

Die Oberflächen werden je nach Lotpaste unterschiedlich gut benetzt

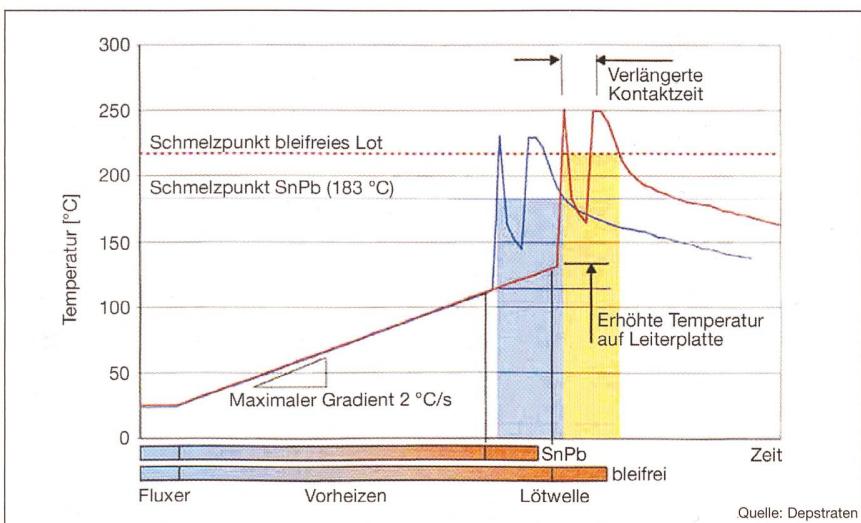


Bild 9 Empfohlenes Wellenlötprofil aus [6] für SnAg und SnAgCu

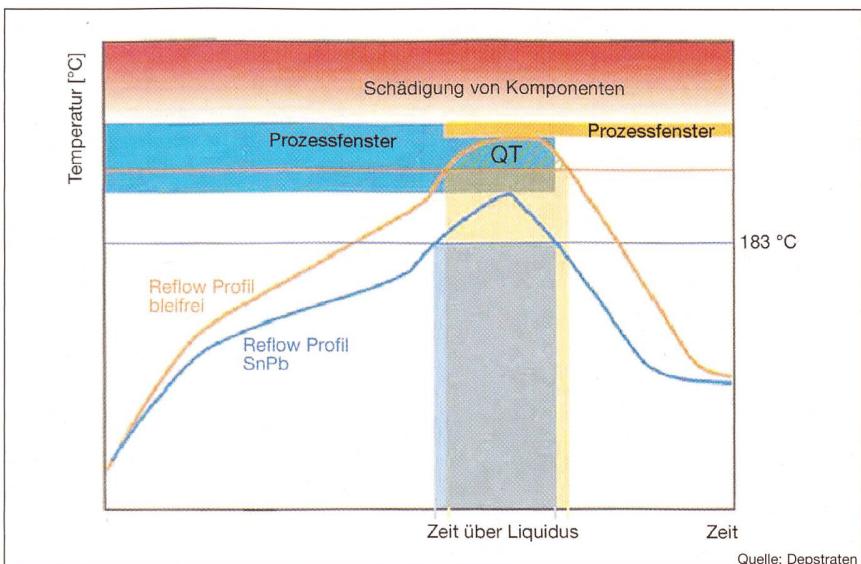


Bild 10 Reflow Prozessfenster für SnAg und SnAgCu

interessanter Ansatz wird von James Vincent (Marconi GB) in [8] beschrieben. In der Arbeit wurde als Prozessmasse die Fläche unter der v-t-Kurve oberhalb der Liquidustemperatur<sup>3)</sup> (QT) genommen. Sobald QT grösser 120 ist, sind die Lötstellen optisch und unter thermischer Wechselbelastung in Ordnung, wobei QT 120 während 25 Sekunden eine Löttemperatur von 8 bis 10 °C über der Liquidustemperatur bedeutet. In der Praxis hat sich dieser Ansatz nicht bewährt, da die Bestimmung von QT in der Linie zu mühsam ist. Eine Daumenregel ist einfacher umzusetzen. In «Leadfree» wurden mit mindestens 15 °C über Liquidus während einer Zeitdauer von 30...120 Sekunden gute Lötergebnisse erzielt.

### Dampfphasenlöten bleibt gleich

Bleifreie Lote sind in Dampfphasenlötanlagen problemlos. Durch die definierte Kondensationstemperatur ist der Lötpeak genau festgelegt. Die Baugruppe kann nicht überhitzt werden, alle Bauteile werden gleichmässig erwärmt. Das Medium erzeugt eine inerte Atmosphäre, die eine Oxidation der Schmelze verhindert. Mit einem Medium mit einer Siedetemperatur von 240 °C können SnAg und SnAgCu einwandfrei verarbeitet werden. Es ist aber zu berücksichtigen, dass die Temperaturdifferenz zur Umgebung grösser ist als im Prozess mit SnPb. Daher muss die Baugruppe kontrolliert vorgeheizt werden, bevor sie in das Medium eingetaucht wird. Die Nachteile der Dampfphase sind, dass das Medium Treibhausgase bildet und somit bedenklich für die Umwelt ist und dass das Dampfphasenlöten ein Batchprozess ist, der nicht den Durchsatz eines Konversions-Durchlauftunnels erreicht.

### Neue Regeln in der Qualitätskontrolle

Ein Qualitätsproblem dürfte das Aussehen der bleifreien Lötstellen sein. In

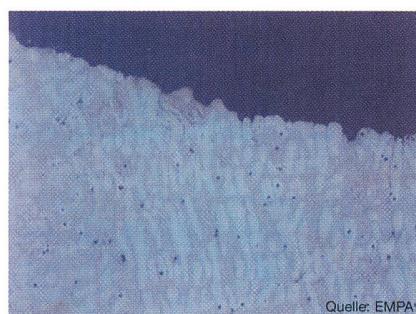


Bild 11 Rauhe Oberfläche einer bleifreien Lötstelle im Querschliff

Bleifreie Lote erstarren zuerst in Dendriten und erst danach in den Zwischenräumen. Durch den Schwund beim Abkühlen zieht sich das Lot in den Zwischenräumen zurück und hinterlässt eine matte Oberfläche.

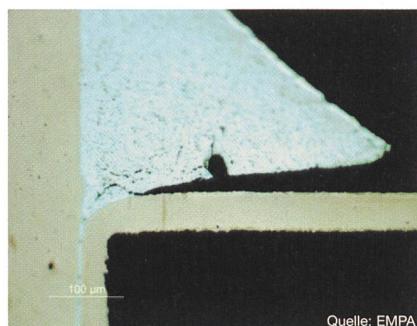


Bild 12 Filletlifting der Lötstelle einer Durchkontaktierung

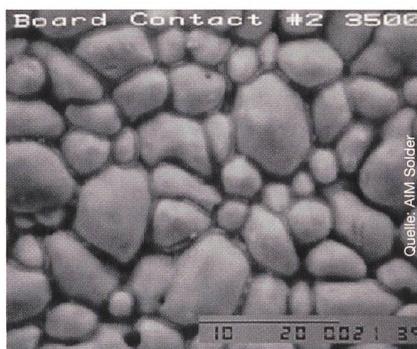


Bild 13 Bleidekoration entlang den Korngrenzen bleifreier Lote

erster Linie ist es ein kosmetisches Problem, da die Lötstellen matt sind. Silberhaltige Lote erstarren primär in Dendriten, sekundär erstarrt die Schmelze in den Zwischenräumen. Durch Schwund entstehen die rauen Lotoberflächen, die matt erscheinen (Bild 11). Es ist zu bedenken, dass das Aussehen einer Lötstelle immer ein Abbild von deren Innenleben ist. Darum ist es notwendig, die Qualitätskriterien zu überdenken. Die mässige Benetzung von NiPd-Oberflächen zeigt sich in grossen Benetzungswinkeln.

Ein weiteres Qualitätsproblem ist das Filletlifting, in dem sich der Lötmeniskus bei Durchkontaktierungen vom Lötauge

abhebt (Bild 12). Der Defekt hat zwei Ursachen: Erstens können sich an der Grenze zur Padmetallisierung lokal niedrigschmelzende Legierungen bilden. Gleichzeitig ist dieses Gebiet eine der wärmsten Zonen. Dadurch erstarrt der Lotkegel vor der Grenzschicht und trennt sich durch Materialschwund vom Lötauge. Zweitens können Layoutfehler dazu führen, dass die Grenzschicht zum Lötauge später erstarrt als der Lotkegel selbst und sich dieser aus der flüssigen Grenzschicht abhebt. Elektronikherstellern aus Japan, die mit bleifreien Loten produzieren, ist das Problem bekannt, es wird aber nicht als kritisch betrachtet. Eine Auffassung, die sich im Feld zu bewahrheiten scheint.

Ein ernsthaftes Qualitätsproblem stellt die Kontamination mit Blei dar. Bis jetzt wurde immer davon ausgegangen, dass nur wismuthaltige Lote gefährdet sind, da sich eine SnBiPb-Legierung bildet, die einen Schmelzpunkt von 96 °C hat. Dave Surarski von AIM Solder hat in einer Untersuchung gezeigt, dass bei allen bleifreien Loten, die mit Blei kontaminiert sind, die Zuverlässigkeit der Lötstelle abnimmt. Da der Lotkonus von aussen gegen innen erstarrt, findet eine Entmischung der Schmelze statt, wie beim Zonenschmelzen. Am Schluss entsteht an der Grenzschicht zum Pad oder zum Lötauge eine Zone, in der das Blei entlang den Korngrenzen der bleifreien Lotkristalle erstarrt (Bild 13). Erste Abklärungen weisen darauf hin, dass der Effekt zu einer beschleunigten Degradation der Lötstellen führt. Die Situation ist noch unübersichtlich, da in [8] gezeigt wird, dass eine leichte Kontamination von SnAg und SnAgCu mit Blei die Zuverlässigkeit der Lötstellen erhöht. Dass die Bleikontamination in wismuthaltigen Loten zu einer drastischen Reduktion der Temperaturwechselbeständigkeit führt, ist allerdings gesichert.

Die Fachgruppe EKON der ITG veranstaltet am 29. September an der FH Aargau in Windisch zu diesem Thema eine Fachtagung:

### Bleifreie Elektronik – Logistik im Griff

Siehe Seite 64 in dieser Ausgabe

Ein letztes Problem scheint die Zinnpest zu sein [10], die offensichtlich bei bleifreien Legierungen unterschiedlich stark auftritt. Zinnpest ist die Umwandlung von  $\beta$ -Zinn (tetragonal flächenzentriert) in  $\alpha$ -Zinn (kubisch Diamant), die bei reinem Zinn unterhalb 13 °C stattfindet. Dies ist keine Korrosion, sondern eine Phasenumwandlung. SnPb-Mischkristalle zeigen keine Zinnpest. Offensichtlich haben aber zinnreiche, bleifreie Legierungen in Extremtests eine Tendenz dazu gezeigt, deren Relevanz allerdings nicht gesichert ist.

### Referenzen

- [1] Suga, T: Electronic Goes Green 2000, Berlin
- [2] Weber, Ludger: Diss. ETH 12251. Zürich, 1997
- [3] Grusd, Angela: Connecting to Lead-Free Solders. Circuits Assembly August 1999
- [4] Grossmann, Günter: Die Zuverlässigkeit von Lötstellen. 4. Europäisches Elektroniktechnologie-Kolleg 2001
- [5] Lead Free Solder Project. NCMS 1999
- [6] Grossmann, Günter; Nicoletti, Giovanni; Solèr Ursin: Results of Comparative Reliability Tests on Lead Free Solder Alloys. Proc. 52<sup>nd</sup> ECTC, 2002
- [7] Depstraten, G.: Planung und Implementierung der Bleifreie-Technik. EPP1/2 ff. 2001
- [8] Harrison M.; Vincent J.: IDEALS Project 2000
- [9] Woodrow Th.A.: The effects of Trace Amounts of Lead on the Reliability of Six Lead-Free Solders. Proceedings IPC Lead-Free Conference, 2003
- [10] Kariya, Yoshiharu; Gagg, Colin; Plumbridge, William: Tin pest in lead-free solders. Soldering & Surface Mount Technology 13/1, 2000, Seiten 39–40

### Angaben zum Autor

Dipl. Ing. FH, **Günter Grossmann** ist seit 1999 Senior Engineer an der EMPA Dübendorf, wo er sich mit der Leitung von wissenschaftlichen Projekten sowie der Ausfallanalyse von elektronischen Baugruppen und Komponenten befasst. Sein Hauptforschungsgebiet sind gegenwärtig Produktionsbedingungen und Materialeigenschaften bleifreier Lote. Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA, CH-8600 Dübendorf, guenter.grossmann@empa.ch

<sup>1</sup> Ein Eutektikum ist diejenige Zusammensetzung von zwei oder mehreren Stoffen in einer Legierung, die den niedrigsten Schmelzpunkt aufweist. Weicht das Mischungsverhältnis vom Eutektikum ab, so scheidet sich beim Abkühlen der Schmelze zuerst der im Überschuss enthaltene Stoff aus, bis das Eutektikum erreicht ist.

<sup>2</sup> VOC: Volatile Organic Compounds, flüchtige organische Komponenten

<sup>3</sup> Liquidustemperatur: Untere Temperaturgrenze des schmelzflüssigen Zustandes

## Soudure sans plomb: la technique est prête

### Matériaux, propriétés et procédés des soudures sans plomb

Ces prochaines années, les fabricants de produits électroniques vont devoir passer à la soudure sans plomb. Techniquement, c'est déjà possible mais la production coûte plus cher car elle exige l'acquisition de nouvelles machines et les soudures sans plomb sont plus coûteuses. La maintenance est plus complexe et les coûts d'énergie augmentent étant donné que les températures de travail sont plus élevées. Et on ne connaît pas encore la fiabilité des soudures sans plomb à long terme.