



## Prozesstechnologische und werkstofftechnische Untersuchungen zur Zuverlässigkeit bleifreier Weichlötverbindungen in KFZ-Elektroniken



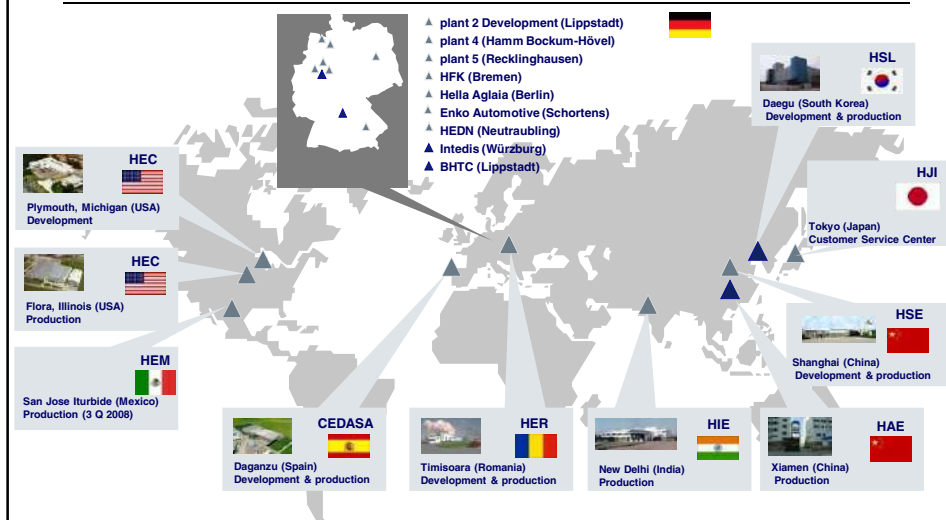
Andreas Herenz, Torsten Schmidt,  
Petrik Lange, HELLA KGaA Lippstadt

**Elektronik-Technologie-Forum Nord**  
am 30. / 31. Januar 2013 in Hamburg

F-7761DE\_C (2011-06)

## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

Hella-Fertigungsstandorte weltweit



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

Produktentwicklung Fa. Hella, Lichtbereich (Beispiele)

Licht-Entwicklungen von Hella haben immer wieder entscheidend zum automobilen Fortschritt beigetragen.



3

ETFN am 30. / 31. Januar 2013

A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

Produktentwicklung Fa. Hella, Elektronikbereich (Beispiele)

Elektronik-Entwicklungen von Hella tragen entscheidend zum automobilen Fortschritt bei.



4

ETFN am 30. / 31. Januar 2013

A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

### Agenda

- Zeitliche Umstellung bleihaltiger auf bleifreie Lote
- Anforderungen an Lötverbindungen im KFZ-Bereich
- Hella-Produkte mit bleifreier Löttechnologie (Beispiele)
- Kritische Zustände von Lötstellen
- Analysemethoden zur Untersuchung
- Untersuchungsergebnisse an Beispielen und Diskussion
- Schlussfolgerungen

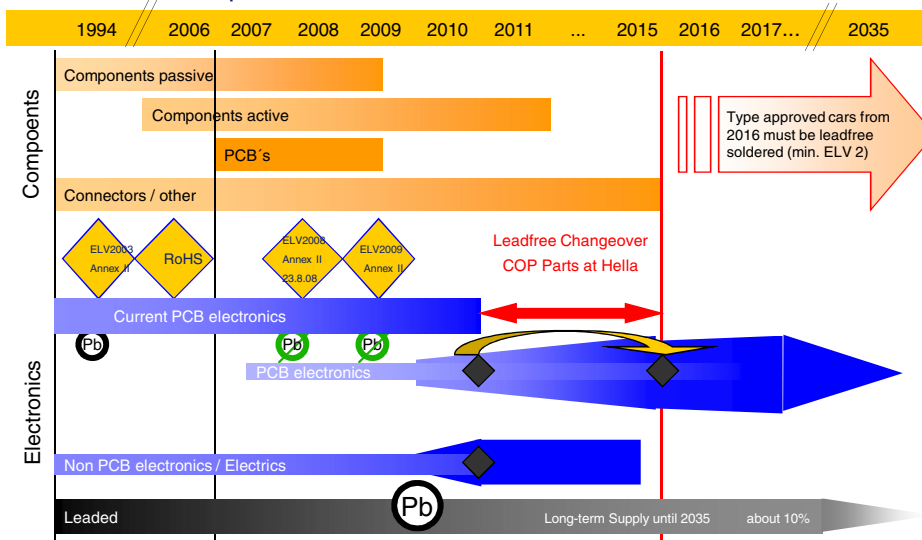
5

ETFN am 30. / 31. Januar 2013 A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

### Bleifrei Roadmap



6

ETFN am 30. / 31. Januar 2013 A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

Typische Anforderungen an die Elektroniken



**Lebensdauer: 3000 – 6000 hrs, 7500 Starts / Zyklen**

**\*\*PCT: power cycle testing**

**\*\* -40 to 85 / 105 / 125 / 150 / 165°C (Zyklen / Schocks / Alterung)**

**\*\*8-50h / xyz / 2Hz – 3KHz Sinus / 1G–40G + Temperatur**

**\*\* Bleifrei-Validierung**



**Langzeit-Feuchtetest 85 °C / 85 % r.F. und  
Kondensationstest 40 °C / 95 % r. F.  
Lebensdauer: 15 Jahre / 300.000 km**



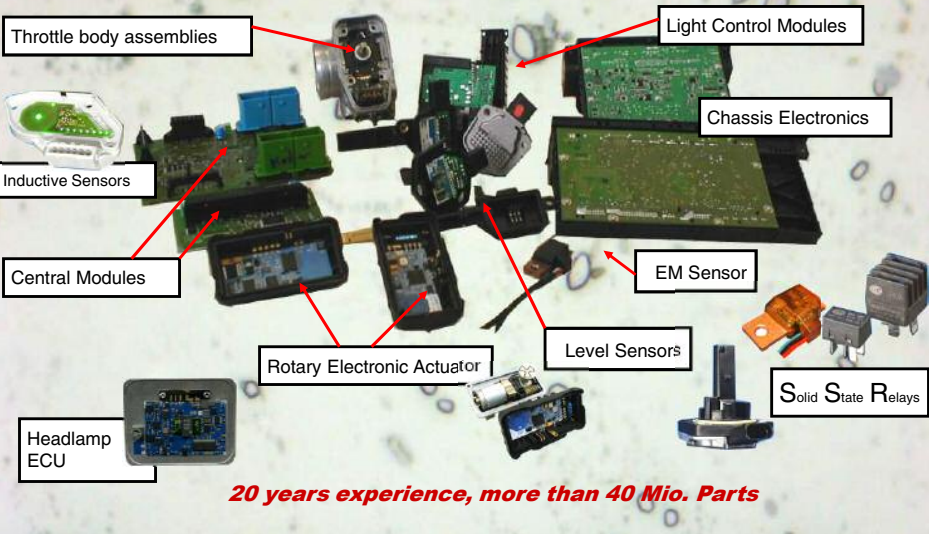
7

ETFN am 30. / 31. Januar 2013 A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

Hella Elektronikprodukte mit bleifreiem Lötprozess (Auswahl)



**20 years experience, more than 40 Mio. Parts**

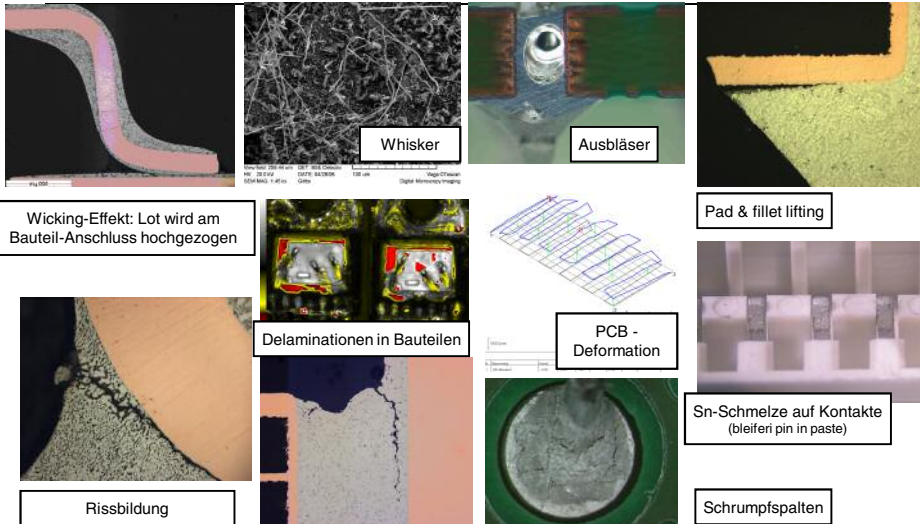
8

ETFN am 30. / 31. Januar 2013 A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

Kritische Zustände gilt es zu verhindern



Wicking-Effekt: Lot wird am Bauteil-Anschluss hochgezogen

Whisker

Ausbläser

Pad & fillet lifting

Delaminationen in Bauteilen

PCB - Deformation

Sn-Schmelze auf Kontakte (bleifen pin in paste)

Rissbildung

Schrumpfspalten



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

Analysemethoden



Umfassendes analytisches Equipment, Methoden & Untersuchungen  
 e.g. SEM, EDX, DSC, FTIR, Mikrohärte, Zugversuche, Ultrasonic, Röntgen, Rheometrie, Benetzungswaage, Profilometer etc.



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

### Analysemethoden (Favoriten)

- Anfertigung von metallografischen Schliffen (Präparation)
- Lichtoptische Untersuchungen (Draufsicht+ Schliefe)
- Elektronenmikroskopische Untersuchungen und Analysen
- Röntgenografische Untersuchungen



11

ETFN am 30./31. Januar 2013

A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

### Dendritenbildung im Wellenlötprozeß (gemeinsame Untersuchungen mit Lötanlagenhersteller)



**Nadelbildung (Dendriten) durch Fe-Auflösung und Sn/Fe-Phasenbildung im Bleifreilöt (höhere Temperatur, höherer Sn-Gehalt)**



- Wörthmann-Welle mit Lochmaske für eine ruhige Wellenbewegung bei einer Bleifreilötung aus („resistenten“) Material

12

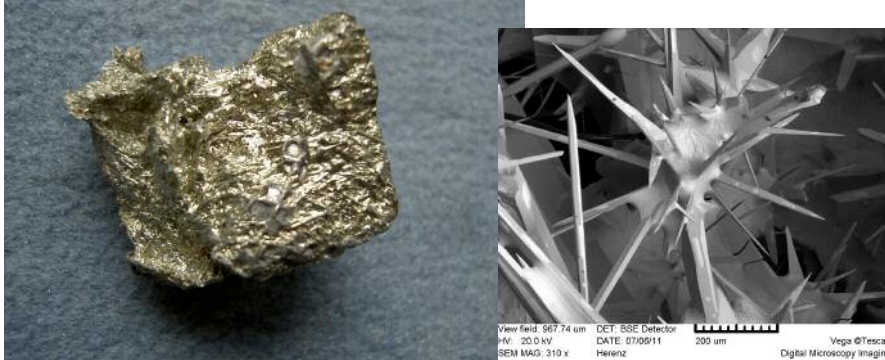
ETFN am 30./31. Januar 2013

A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

Intermetallische Phasenbildung im Lotbad  
(gemeinsame Untersuchungen mit Lotlieferant)



- Sn/Cu-Phasenausscheidungen am Tiegelboden (agglomerierte „Dendriten-Nadeln“), besonders bei Verwendung von SnCu-Loten beobachtet (flüssiges Lot ist „übersättigt“): kann Lotpumpe schädigen!
- Ursache: zu hoher Cu-Konzentration im Lot,  
*Empfehlung: Lotbadkontrolle, bei Wartung überprüfen*

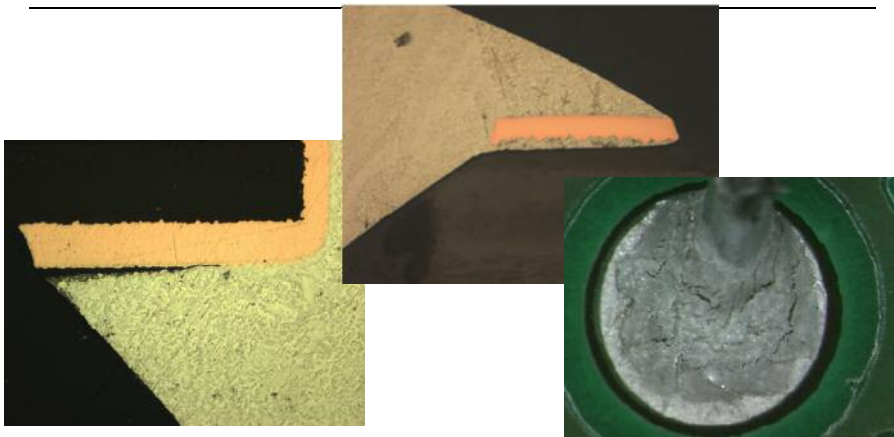
13

ETFN am 30./31. Januar 2013 A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

Schliffpräparation für Pad- und Fillet Lifting (Testlötungen mit Welle)



Wird besonders bei der Wellenlötung beobachtet. Ursachen sind:

- falsche Abkühlung, Empfehlung: 2...6 K/s
- zu viel Pb oder Cu durch Ablegierung im Lot,

*Empfehlung: Lotbadkontrolle*

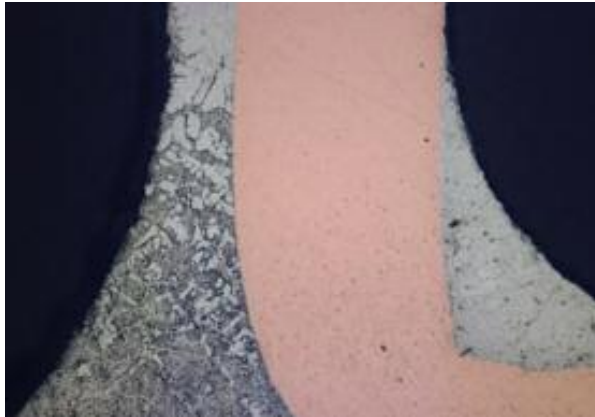
14

ETFN am 30./31. Januar 2013 A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

Schliffpräparation Sn-Vermischung mit Lot (gezielte Untersuchungen im Rahmen einer Diplomarbeit)



Beim bleifreiem Reflowlöten handelt es sich um ein „statisches“ Lotdepot. Ist die Sn-Schicht auf den Bauteilanschlüssen zu dick ( $> 25 \mu\text{m}^*$ ), kann es zu nicht gelösten Sn-Rückständen auf der Beschichtung kommen, die besonders bei galv. Schichten zu Schwachstellen in den Lötstellen führen.

\*) Untersuchungen bei Hella: DA Julia Götz

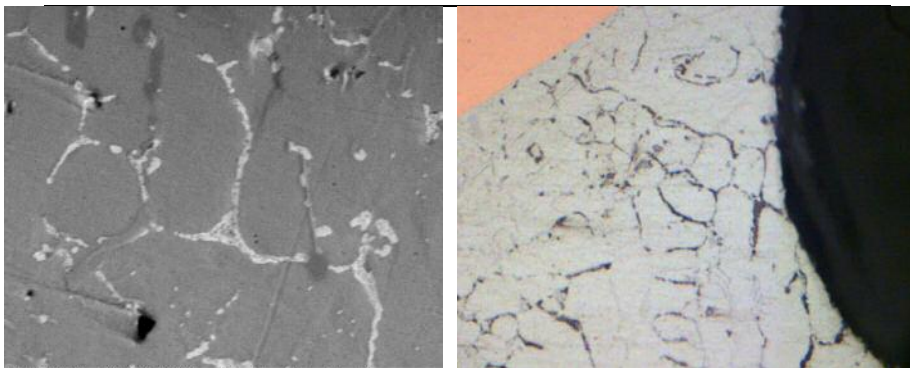
15

ETFN am 30./31. Januar 2013 A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

Schliffpräparation Bleiseigerung in Test-Lötstellen (REM – LM)



field: 66.50 um DET: BSE Detector  
20.0 kV DATE: 08/14/06 20 um Vega®Te  
MAG: 6.77 kx Herenz Digital Microscopy Ima

Bei „Mischlötungen“ kann es zur sog. Bleiseigerung kommen: (unter Verwendung von bleifreiem Lot)  
Bei 3...5 M.-% Pb im Lot bzw. in der Lötstelle scheidet bei der Erstarrung Pb in den Sn-Mischkristall-Korngrenzen aus.

Links: Lot aus einer Wellenlötanlage im erstarrten Zustand mit o. g. Pb-Anteil (SEM-Aufnahme: Pb hell)

Rechts: Lotdepot einer Reflowlötstelle im Zusammenhang mit einer verbleiten HAL-Lp (lichtopt. Aufn.: Pb dunkel)

16

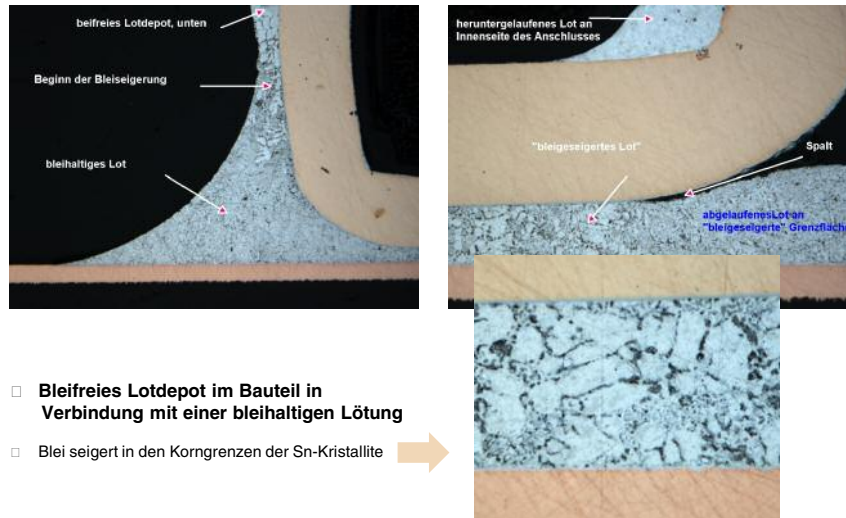
ETFN am 30./31. Januar 2013 A. Herenz





## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

Schliffpräparation Bleiseigerung in der Test-Lötstelle (bleifreies BT/ Bleilot)



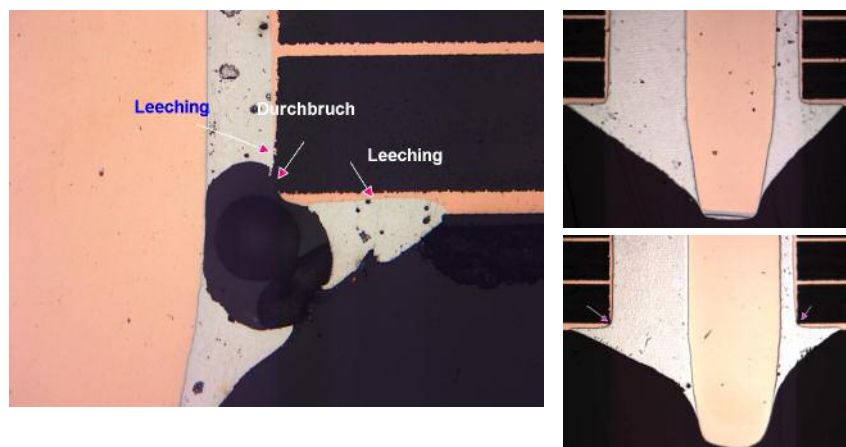
17

ETFN am 30. / 31. Januar 2013 A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

Schliffpräparation „Leeching“ im bleifreien Wellen-Nachlötprozess (Qualifikation eines Nachlötprozesses)



Bei bleifreier Wellenlötung wird mit Temperaturen bis 300 °C (Mini-Welle) gelötet. Dabei kommt es bei Mehrfachlötungen (Nachlöt) oft zum partiell vollständigem Ablösen des Cu!

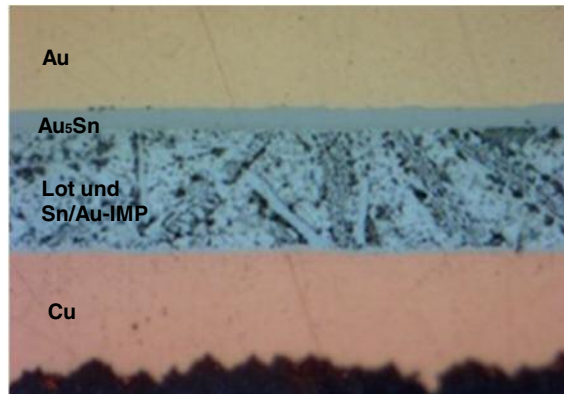
18

ETFN am 30. / 31. Januar 2013 A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

### Schliffpräparation Au-Schichten und deren Phasenbildung (Muster)



- Bildung von Sn/Au-Phasen im Lotdepot der Reflow-Lötstelle: kann Lötstelle verspröden!
- Ursache: zu dicke Au-Beschichtung von Lötkontakten
- Empfehlung: Au-Schichtdicke < 0,5 µm*

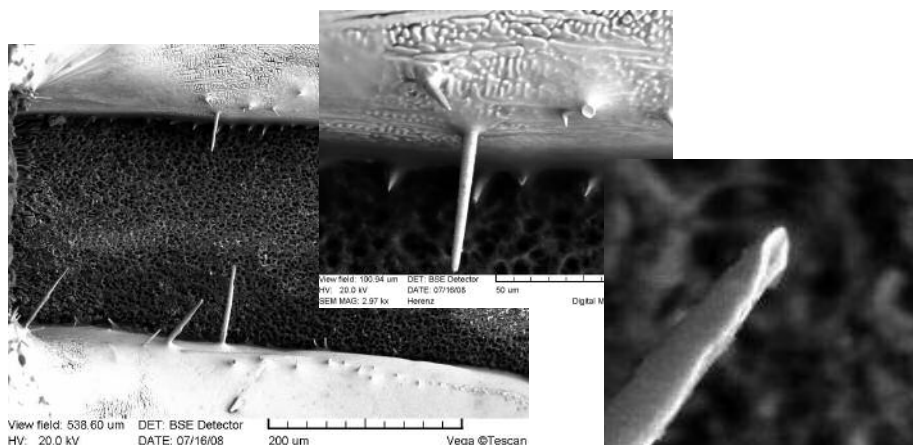
19

ETFN am 30./31. Januar 2013 A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ

### Bildung von Dendriten-Nadeln aus den Lötstellen nach Mehrfachlötungen



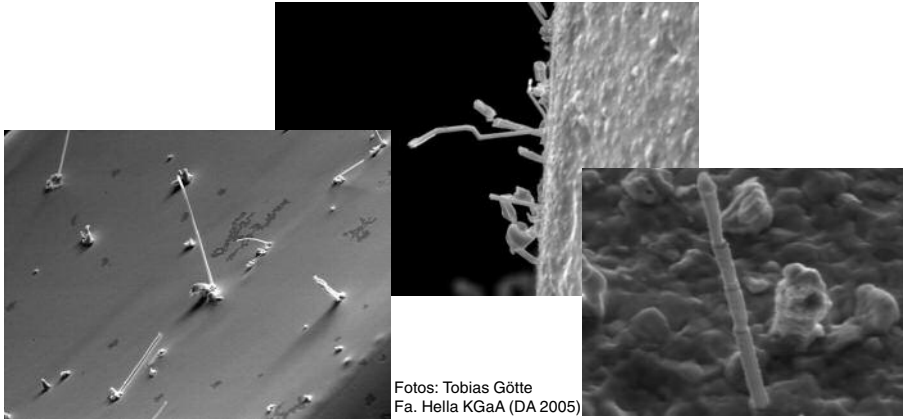
- Sn/Cu-Phasenbildung in Form von Dendriten beim Reflowlöten: kann zu Kurzschlüssen führen!
- Ursachen: zu langes Löten oder Mehrfachlötungen, *Empfehlung: Lötparameter optimieren*

20

ETFN am 30./31. Januar 2013 A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ Sn-Whisker (Untersuchungen im Rahmen einer Diplomarbeit)



Fotos: Tobias Götte  
Fa. Hella KGaA (DA 2005)

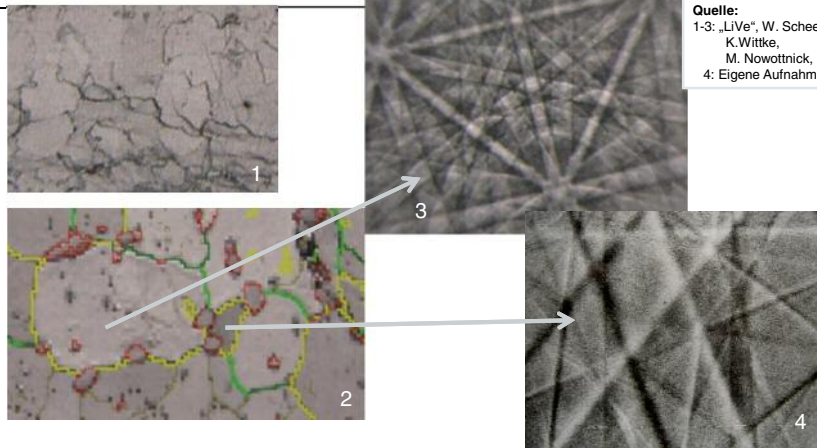
Whisker bilden sich besonders auf Reinzinn-Oberflächen, meistens in Verbindung mit mechanischen Spannungen. Sie sind deshalb auf den unbenetzten verzinneten Anschlussgebieten zu erwarten. Bleifreie Lote zeigen keine Whisker. Die Abbildungen zeigen verschiedene Whiskertypen: gerade Nadelwhisker, gekrümmte Whisker, „Schachtelalm-Whisker“ *Empfehlung: Sn-Schichten entspr. ZVEI- Vorgabe*

21

ETFN am 30./31. Januar 2013 A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ Kristallografische Kornorientierung im Lot (REM, EBSD)



Quelle:  
1-3: „LiVe“ W. Scheel,  
K.Wittke,  
M. Nowotnick,  
4: Eigene Aufnahme

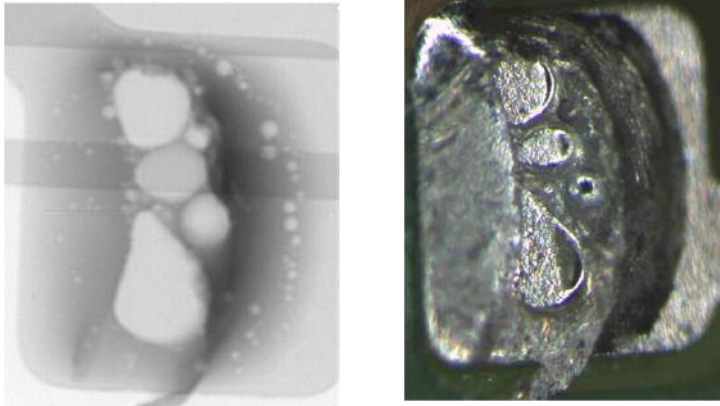
Symbolische Darstellung von Gefügeuntersuchungen mit EBSD an Lötstellen.  
Das Gefüge bildet sich beim Erstarrungsprozess aus: Schnelles Abkühlen ergibt ein feines Gefüge, langsames Abkühlen ein gröberes Gefüge (opt. 3...6 K/s).  
Im Verlauf der Lebensdauer ändert sich das Gefüge entsprechend der Belastung: Kriterien sind Korngröße, Verspannungen und Orientierung der Kristallite

22

ETFN am 30./31. Januar 2013 A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ Röntgen-Durchstrahlungsaufnahme und LM-Abbildung (Qualifikation Bauteil-Lieferant)



Röntgen-Durchstrahl-Aufnahme und dazugehörige lichtoptische Aufnahme einer Lötstelle auf der Leiterplatte einer abgefallenen Induktivität (lichtoptische Aufnahme ist etwas gekippt!)

23

ETFN am 30./31. Januar 2013 A. Herenz



## Untersuchungen an bleifreien Lötverbindungen für KFZ Zusammenfassung

- Im Vortrag werden die Zeitschiene der Bleifreiumstellung sowie die Zuverlässigkeitsanforderungen von KFZ-Elektroniken aufgezeigt (incl. Status Hella).
- Zur Absicherung stabiler bleifreier Lötstellen sind prozesstechnische und werkstoffanalytische Untersuchungen unabdingbar:
  - Materialanpassung in den Lötanlagen für bleifreies Lot und höhere Temperaturen
  - Optimierung der Prozessparameter (Vorheizung, Lötzone, Abkühlung)
  - Analytische Voraussetzungen für Absicherung der Zuverlässigkeit von bleifreien Lötstellen:
    - Metallografie, incl. Lichtmikroskopie und Elektronenmikroskopie (SE, BSE, EdX)
    - Röntgenografische Analysemethoden (Röntgenfluoreszenz, Röntgen-Durchstrahlung)
    - Topografie (FRT)
    - IR-Spektroskopie
- Anhand von typischen Beispielen werden Abstell-Maßnahmen und Vorgehensweisen dazu erläutert:
  - Dendritenbildung und Phasenausscheidungen im Lotbad
  - Pad- und Fillet Lifting, Schrumpfspalte in Lötstellen
  - Mischlötungen (Bauteilanschluss-Beschichtungen), Bleiseigerung
  - Optimierung Nachlötprozess
  - Löten von Goldanschlüssen
  - Whiskerbildung auf Rein-Zinnschichten
- **Fazit: Die bleifreie Löttechnologie hat uns viele neue Fehlerbilder beschert aber alles ist beherrschbar , wenn Prozessgrenzen und Materialspezifikationen beachtet werden!**

24

ETFN am 30./31. Januar 2013 A. Herenz

