

# Qualifizierte Reworkprozesse

## Von der Anforderung zum sicheren und dokumentierten Prozess

**Helge Schimanski**

Fraunhoferstr. 1, D-25524 Itzehoe  
Tel. 04821 17-4639, Fax 04821 17-4250  
email: [helge.schimanski@isit.fraunhofer.de](mailto:helge.schimanski@isit.fraunhofer.de)  
internet: <http://www.isit.fraunhofer.de>



### Inhalt

- Vorstellung ISIT
- Begriffsdefinition; aktuelle Normen und Richtlinien
- Methodik der Prozessqualifizierung (Systemauswahl und Reflowprofilierung)
- Qualitätskontrolle
- Prozesssicherung und Dokumentation
- Zusammenfassung

## Fraunhofer ISIT

### Forschungs- und Entwicklungszentrum für Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik

Forschungs- und Entwicklungs-  
zentrum für Mikroelektronik  
und Mikrosystemtechnik

In Itzehoe seit 1995

Erstinvestition: 125 Mio. €

Gesamtinvest bis 2017: ca. 400 Mio. €

Mitarbeiter: 150

Zertifiziert nach ISO 9001:2015



Institutsleiter: Dr. Axel Müller-Groeling

Vertreter: Prof. Bernhard Wagner

**Seite 3**

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution,  
as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020



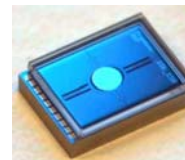
## ISIT-Geschäftsfelder

- Leistungselektronik  
hocheffiziente Leistungstransistoren  
LE für regenerative Energiesysteme  
Batteriesysteme für Spezialanwendungen



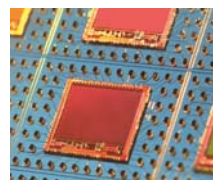
Leistungsmodul

- MEMS-Anwendungen  
Optische und akustische Systeme  
Mikroantriebe und hochempfindliche Sensorsysteme



Mikrospiegel

- Mikro-Fertigungsverfahren  
WL Packaging und Prozesse  
Prozessintegration und Pilotfertigung  
Modul-Services: QZ und AVT



Waferlevel-Packaging

**Seite 4**

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution,  
as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020

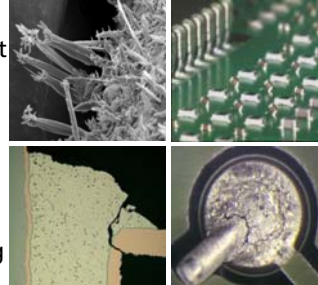


## Modul-Services – Qualität, Zuverlässigkeit und AVT

### elektronischer Baugruppen und Komponenten

Fortschrittliche Fehleranalyse ist die Grundlage für Innovation, Geschwindigkeit, Qualität, Zuverlässigkeit und garantierte Funktion über Lebensdauer

- Material- und Schadensanalysen, Kontaminations-, Korrosions- und Rückstandsuntersuchungen
- Bewertung der Herstellungsqualität nach Industriestandards
- Zuverlässigkeits- und materialkundliche Bewertung
- Einführung neuer Technologien
- Prototyping und Vorserienfertigung
- Prozessoptimierung, Bauteil- und Materialqualifizierung (Lötwärmebeständigkeit, Lotpastenbewertung, u.a.)
- Rework komplexer Baugruppen
- Seminare und In-House-Schulungen



Whisker-, Tombstone- (oben) und Rissbildungen (unten) an elektronischen Bauelementen



ISIT SMT-Testbord

Seite 5

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

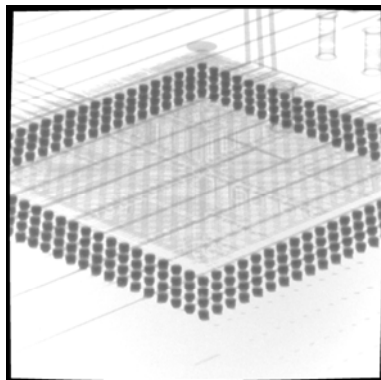
© Fraunhofer ISIT 2020

Fraunhofer  
ISIT

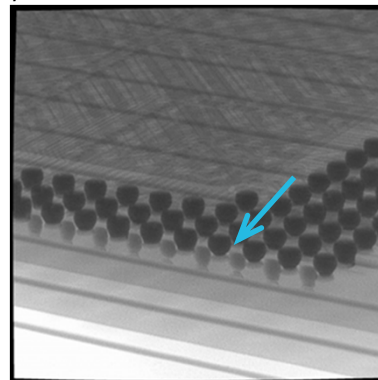
## Notwendigkeit der Nacharbeit

### Röntgeninspektion, POP

PCBA no 2, 1B033



Übersicht, 45°



Ecke rechts unten  
Benetzungsfehler sichtbar

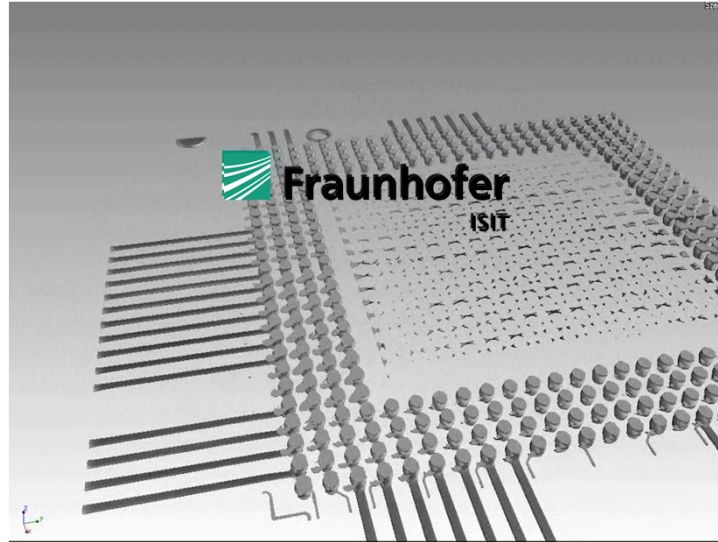
Seite 6

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020

Fraunhofer  
ISIT

## Röntgeninspektion, POP 3D-Animation



Seite 7

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020

 Fraunhofer  
ISIT

## IPC-T-50M, Juni 2015

### Terms and Definitions for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits Begriffe und Definitionen für die Leiterplatten- und Baugruppenindustrie

- Nacharbeit (Rework): **Nachbearbeitung nicht konformer Artikel** mit originaler oder gleichwertiger Verarbeitung auf eine Weise, welche die **vollständige Übereinstimmung des Artikels** mit den entsprechenden Zeichnungen oder Spezifikationen **sichert** (darf auch durchaus einen Bauteiltausch beinhalten).
- Modifikation (Modification): **Überarbeitung der Funktionsfähigkeit** eines Produktes zur Einhaltung neuer Abnahmekriterien. Änderungen sind im Allgemeinen zur Berücksichtigung von Konstruktionsänderungen erforderlich, die in Zeichnungen, durch Änderungsaufträge usw. erfolgen. **Änderungen** sind **nur mit ausdrücklicher Genehmigung** und bei ausführlicher Darlegung in den geltenden Unterlagen durchzuführen (z.B. Veränderung der Schaltung, z.B. Drahtbrücke).
- Reparatur (Repair): **Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit** eines defekten Artikels auf eine Weise, **welche die vollständige Übereinstimmung** des Artikels mit den entsprechenden Zeichnungen oder Spezifikationen **nicht sichert**.

Seite 8

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020

Quelle: IPC-T-50M, Juni 2015

 Fraunhofer  
ISIT

## Normen, Richtlinien und Herstellervorgaben

| Dokument                         | Dokumentenname  |
|----------------------------------|---|
| IPC-T50                          | Begriffe und Definitionen für die Leiterplatten- und Baugruppenindustrie  |
| J-STD-001                        | Anforderungen an gelötete elektrische und elektronische Baugruppen  |
| DIN EN 61191-1 bis 4             | Elektronikaufbauten auf Leiterplatten Teil 1 bis 4  |
| DIN EN 61192-5                   | Anforderungen an die Ausführungsqualität von Lötbaugruppen - Teil 5: Nacharbeit, Änderungen und Reparatur von gelöteten elektronischen Baugruppen |
| J-STD-033                        | Handhabung, Verpackung, Versand und Einsatz feuchtigkeitsempfindlicher Bauelemente für Oberflächenmontage   |
| DIN EN 61760-2                   | Oberflächenmontagetechnik – Teil 2: Transport- und Lagerungsbedingungen von oberflächenmontierbaren Bauelementen (SMD) – Anwendungsleitfaden      |
| IPC-7711/7721                    | Nacharbeit, Änderung und Reparatur von elektronischen Baugruppen  |
| DIN EN 61760-1                   | Oberflächenmontagetechnik – Teil 1: Genormtes Verfahren zur Spezifizierung oberflächenmontierbarer Bauelemente (SMDs)                             |
| J-STD-020                        | Klassifizierung feuchtigkeitsempfindlicher nichthermetischer Halbleiterbauteile für Oberflächenmontage  |
| J-STD-075                        | Klassifizierung von Nicht-IC-Elektronikbauelementen für Bestückungsprozesse   |
| IPC-7095                         | Design and Assembly Process Implementation for BGAs   |
| IPC-7093                         | Design and Assembly Process Implementation for Bottom Termination Components  |
| Datenblatt Lotpastenhersteller   | Datenblatt  |
| Datenblatt Komponentenhersteller | Datenblatt  |
| ECSS-Q-ST-70-28                  | Repair and modification of printed circuits board assemblies for space use  |
| ECSS-Q-ST-70-08                  | Manual soldering of high-reliability electrical connections   |
| ECSS-Q-ST-70-38                  | High-reliability soldering for surface-mount and mixed technology   |
| IGF 15.535N                      | Lötwärmebeständigkeit und Zuverlässigkeit neuer Konstruktionen im manuellen Reparaturprozess bleifreier elektronischer Baugruppen                 |

Seite 9

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020



## Anforderungen an die Ausführungsqualität von Lötbaugruppen - Teil 5: Nacharbeit, Änderungen und Reparatur von gelöteten elektronischen Baugruppen DIN EN 61192-5, Dez. 2007

### Heißluft-Nacharbeitungsmaschinen

Heißgas-Nacharbeitungsmaschinen sind Auf-Tisch-Geräte, die einen Strom aus erwärmter Luft bzw. erwärmtem Gas über Düsen oder eine Führungsvorrichtung auf die Anschlüsse des Bauelementes leiten. Sie sind häufig für Bauformen mit zahlreichen Anschlüssen vorgesehen und können sowohl für das erstmalige Löten als auch zur Demontage und Neuplatzierung von Bauelementen eingesetzt werden.

**Farbabbrennpistolen, Wärmeschrumpfpistolen und Heißluft-Haartrockner sollten nicht verwendet werden.**

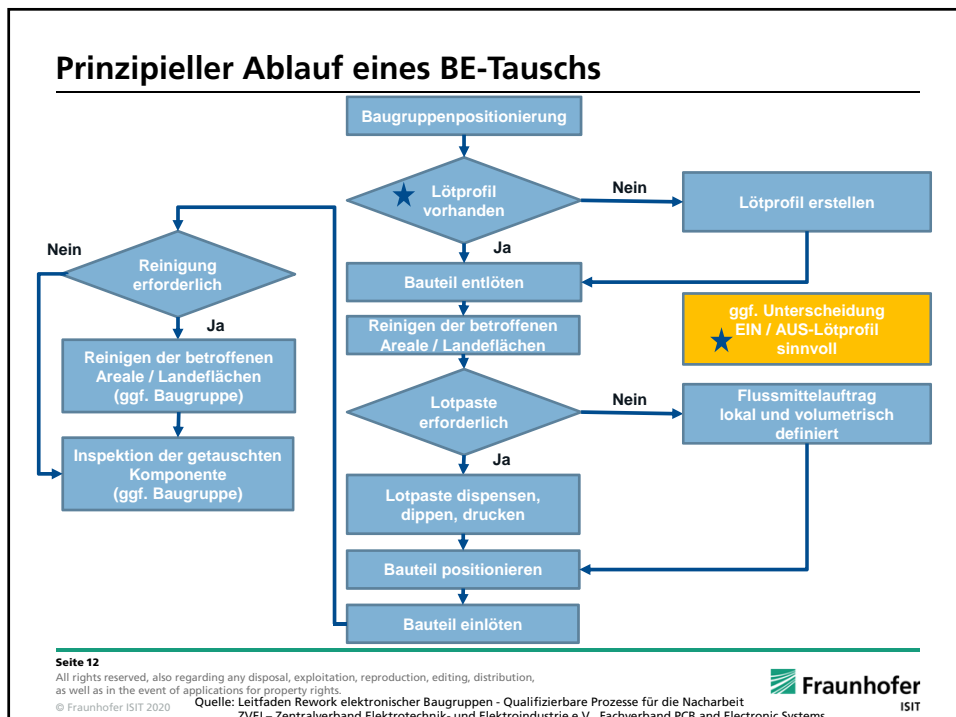
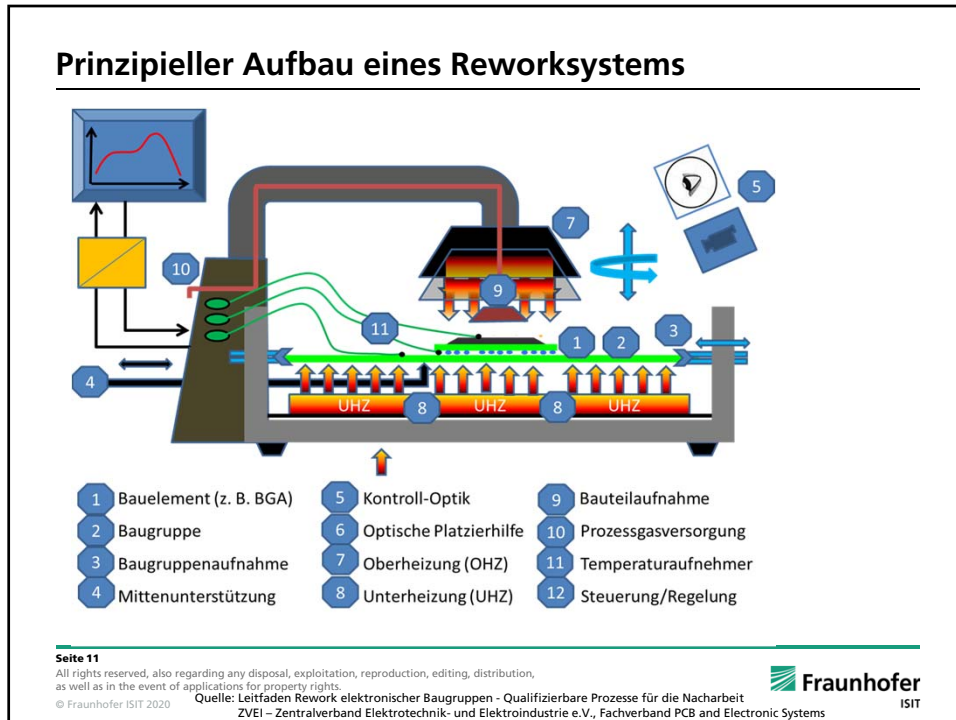
Quelle: DIN EN 61192-5, Dez. 2007

Seite 10

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020





## Wie komme ich zu einem (Reflow-)Lötprofil?

- Profilvorgaben aus Normen
- Soll-Vorgaben der Materialhersteller (z.B. Lotpaste, Lotdraht)
- Beschränkungen seitens der Leiterplatten- und Komponentenhersteller
  - Anforderungen an Lötwärmebedarf und Lötwärmebeständigkeit erfüllen
- Temperaturmessung und Prozessqualifikation
- Durchsatzoptimierung im zulässigen Prozessfenster

Seite 13

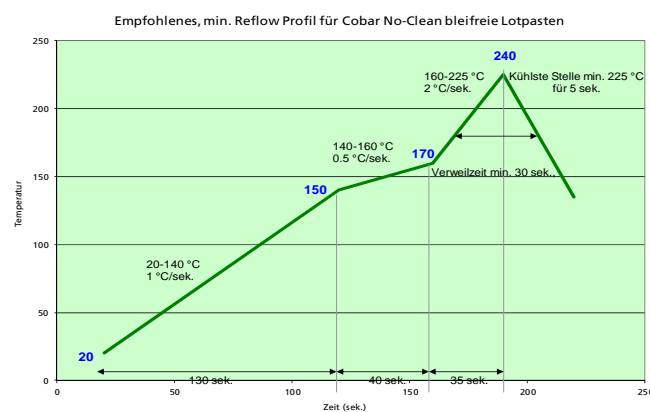
All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020

Fraunhofer  
ISIT

## Beispiel für ein Lötprofil:

### Empfehlung eines Lotpastenherstellers



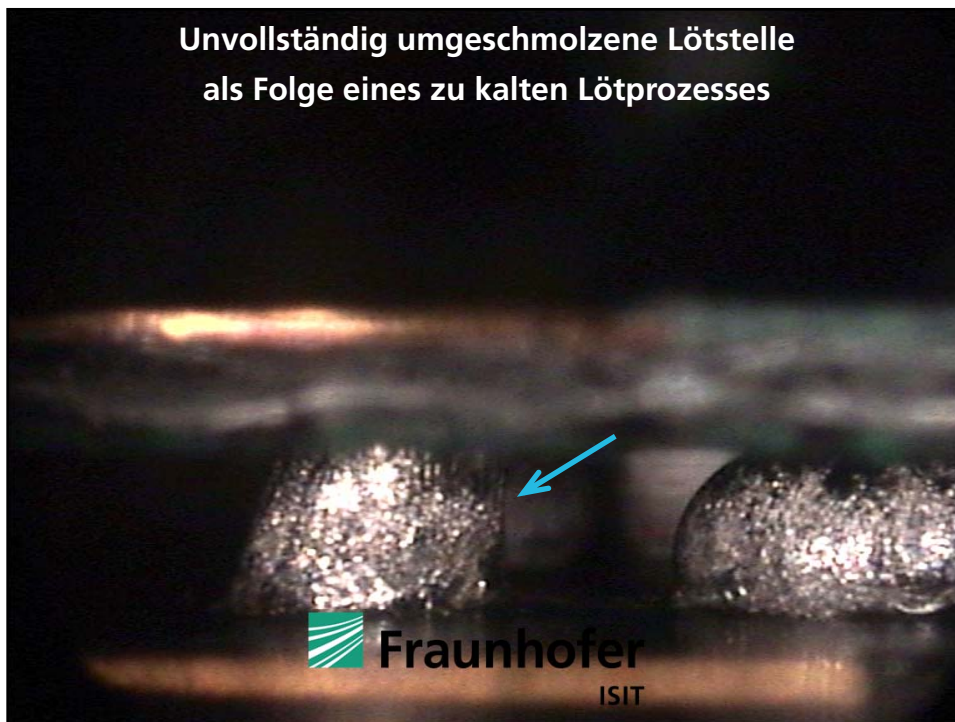
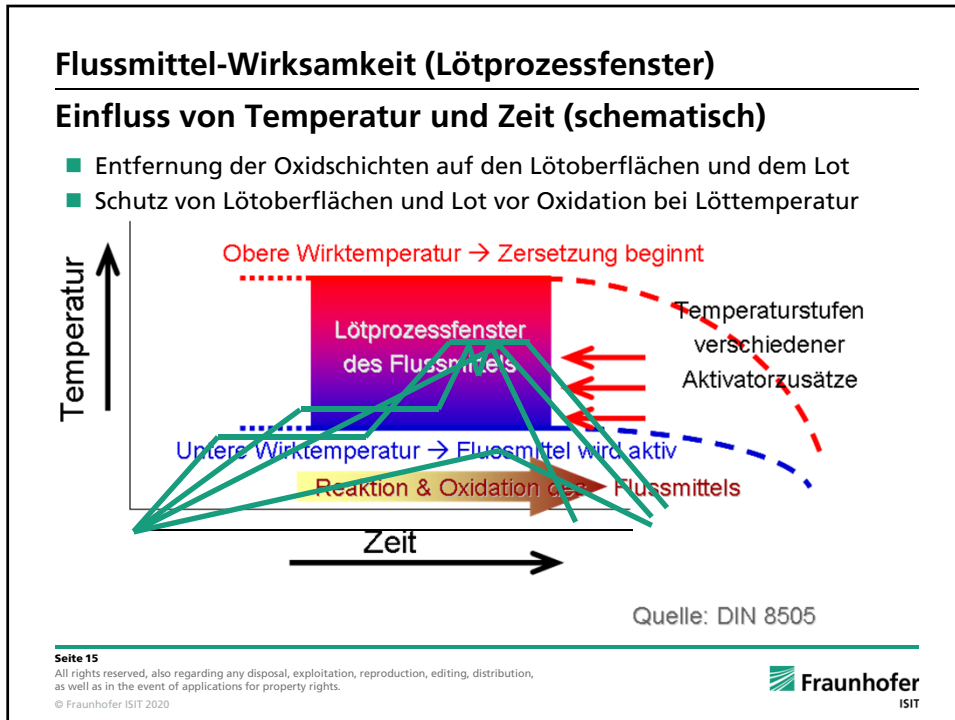
Quelle: Cobar Europe BV

Seite 14

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

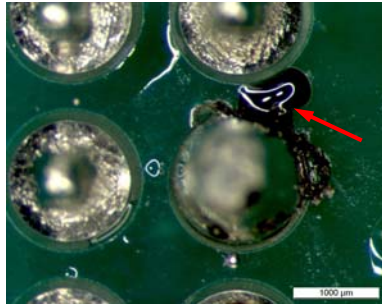
© Fraunhofer ISIT 2020

Fraunhofer  
ISIT

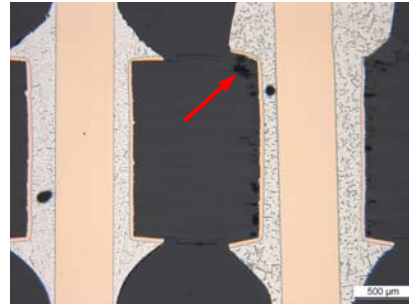




### LP-Schaden durch zu hohen Wärmeeintrag



Opt. Inspektion  
Harz geschmolzen



Querschliff  
Laminat zerstört

Seite 17

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.  
© Fraunhofer ISIT 2020

 **Fraunhofer**  
ISIT

### Bauelementschaden durch Feuchteinwirkung



© Fraunhofer ISIT 2020

ISIT

## Lötprofilermittlung für den Reworkprozess

### Methodik

- Messung an Lötstellen, auch an verdeckten Lötstellen, BGA-Ball Mitte (Beurteilung des Lötprozesses).
- Messung an Temperatur sensitiven Komponenten oder exponierten Positionen auf der Leiterplatte (Einhalten von Grenztemperaturen).
- Bereiche min. und max. thermischer Masse berücksichtigen.
- Fixierung mittels wenig SMD-Kleber oder Kapton-Klebeband auf der Leiterplatte; Montage mittels kleinster Mengen Wärmeleitpaste am Lötanschluss oder in Durchkontaktierung.  
**Die Anbringung der Thermoelemente entscheidet über die Qualität der Messung.**
- Prüfung des Messaufbaus nach der Messung, systematische Messfehler ausschließen.

Seite 21

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020



## Profilempfehlung für Baugruppen schonendes Löten

| Profilparameter   | Schonende Prozessierung | Zulässige Prozessierung |
|---|-------------------------|-------------------------|
| positiver Temperaturgradient am Lötanschluss <sup>1,4</sup>     | 0,5-2 K/s               | < 3 K/s                 |
| negativer Temperaturgradient am Lötanschluss <sup>1,4</sup>     | 2-4 K/s                 | < 6 K/s                 |
| Leiterplatten-Temperatur über 190 °C <sup>4</sup>               | ≤ 150 s                 | ≤ 240 s                 |
| Maximale Leiterplatten-Temperatur <sup>4</sup>                  | ≤ 245 °C                | ≤ 260 s                 |
| Zeit über Liquidus an der Lötstelle (ca. 220 °C) <sup>1,2</sup> | 30-60 s <sup>2</sup>    | 45-90 s                 |
| Peaktemperatur <sup>3</sup> Lötstelle <sup>1,2</sup>            | 230-245 °C <sup>2</sup> | 235-250 °C              |
| Dauer Peaktemperatur <sup>3</sup> Lötstelle                     | ≤ 20 s                  | ≤ 20 s                  |
| Peaktemperatur Bauteil Top <sup>1</sup>                         | ≤ 245 °C                | ≤ 260 °C                |
| Dauer Peaktemperatur Bauteil Top <sup>1,3</sup>                 | ≤ 20 s                  | ≤ 30 s                  |

<sup>1</sup>Grenzwerte von Bauelementen haben Vorrang, <sup>2</sup>Empfehlung aus dem Projekt (bei Unterschreitung der zulässigen Prozessgrenzen Schliffanalyse empfohlen), <sup>3</sup>gemessene Maximaltemperatur -5 °C, <sup>4</sup>Vorgaben Materialhersteller beachten

Seite 22

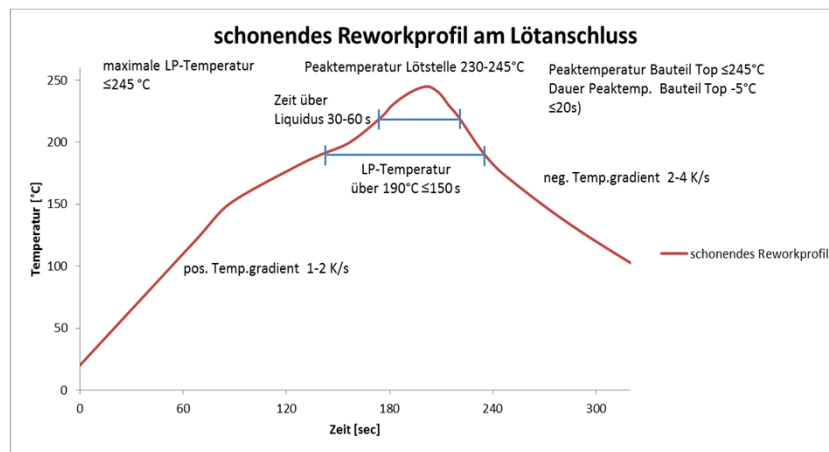
All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020

Quelle: Leitfaden Rework elektronischer Baugruppen - Qualifizierbare Prozesse für die Nacharbeit  
ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V., Fachverband PCB and Electronic Systems



## Profilempfehlung für Baugruppen schonendes Löten



Seite 23

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020

Quelle: Leitfaden Rework elektronischer Baugruppen - Qualifizierbare Prozesse für die Nacharbeit  
ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V., Fachverband PCB and Electronic Systems

Fraunhofer  
ISIT

## Qualitätskontrolle

### Sicherstellung und Verifikation der Qualität

- Qualitätssicherung beginnt bei der Prozessqualifikation, nicht erst bei der Prüfung
- Beim Rework kann erst nach Auslöten der defekten Komponente über das weitere Vorgehen entschieden werden
- Optische Inspektion
- Röntgeninspektion
- Funktionstest
- Querschlifffanalyse
- unbedingt notwendig bei grenzwertigen Lötprozessen

Seite 24

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

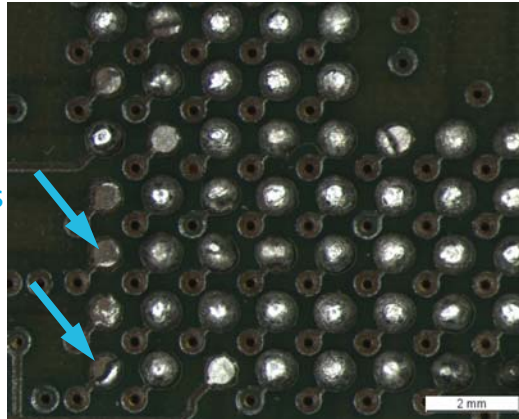
© Fraunhofer ISIT 2020

Fraunhofer  
ISIT

### Verifikation der Qualität, optische Inspektion:

#### Leiterplatte nach Auslöten

Benetzungs  
fehler



Seite 25

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution,  
as well as in the event of applications for property rights.

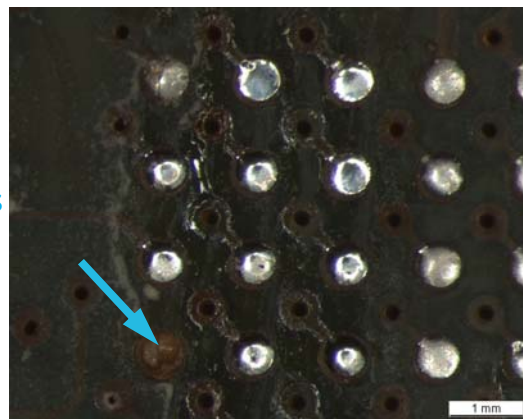
© Fraunhofer ISIT 2020

 Fraunhofer  
ISIT

### Verifikation der Qualität, optische Inspektion:

#### Leiterplatte nach Auslöten

Fehlendes  
Pad



Seite 26

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution,  
as well as in the event of applications for property rights.

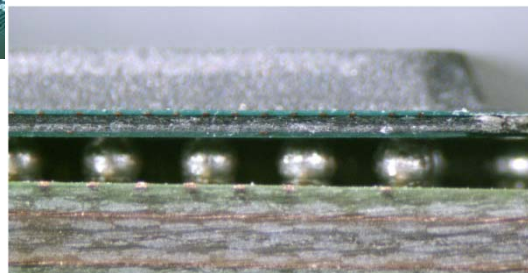
© Fraunhofer ISIT 2020

 Fraunhofer  
ISIT

### Qualitätskontrolle: optische Inspektion



BGA-Lötung in Seitenansicht  
soweit zugänglich



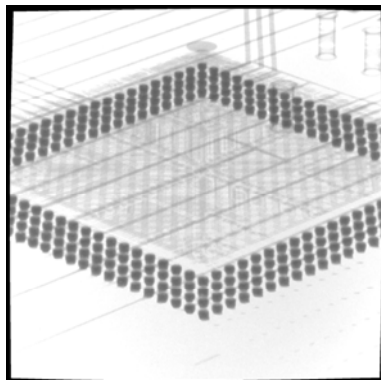
Seite 27

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution,  
as well as in the event of applications for property rights.  
© Fraunhofer ISIT 2020

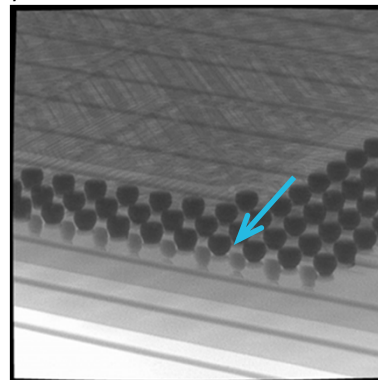
Fraunhofer  
ISIT

### Qualitätskontrolle: Röntgeninspektion, POP

PCBA no 2, 1B033



Übersicht, 45°



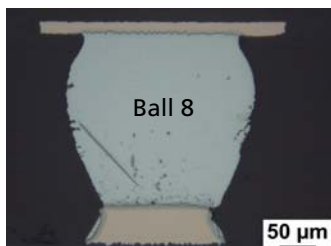
Ecke rechts unten  
Benetzungsfehler sichtbar

Seite 28

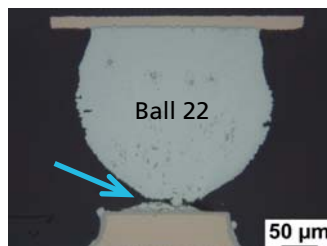
All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution,  
as well as in the event of applications for property rights.  
© Fraunhofer ISIT 2020

Fraunhofer  
ISIT

### Qualitätskontrolle: Querschliff POP



PCBA no 2,  
1B033



Prozessindikator - Klassen 2,3  
Die BGA-Lotkugelanschlüsse haben nicht  
gleiche Größe, Form, Farbe und Farbkontrast.

Fehler - Klassen 1,2,3  
Offene Verbindung

Seite 29

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution,  
as well as in the event of applications for property rights.

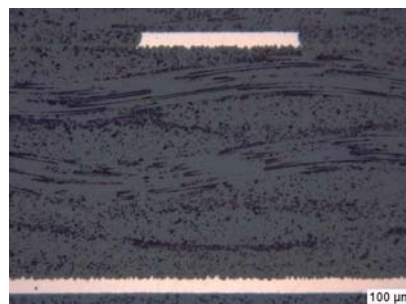
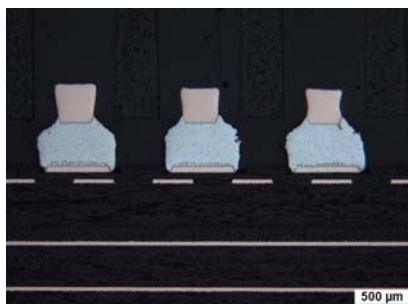
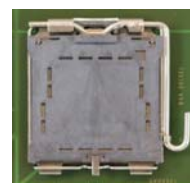
© Fraunhofer ISIT 2020

Fraunhofer  
ISIT

### Rework & Repair von elektronischen Baugruppen

#### Qualitätskontrolle

- Querschliffanalyse BGA-Sockel  
nach 2 x Inline Reflow +  
5 x Nacharbeitssimulation  
= 12x Wärmebelastung (R+R10/E)



keine Auffälligkeiten

Seite 30

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution,  
as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020

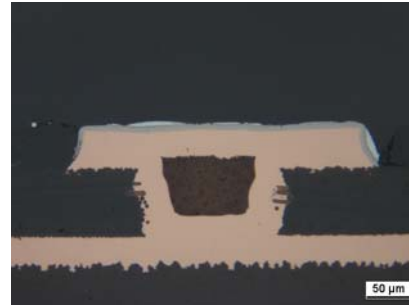
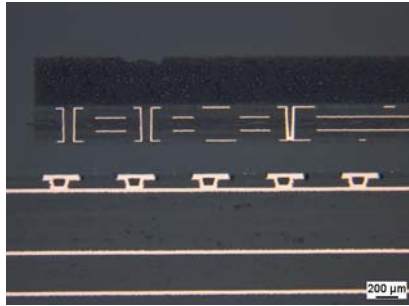
Quelle: Leitfaden Rework elektronischer Baugruppen - Qualifizierbare Prozesse für die Nacharbeit  
ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V., Fachverband PCB and Electronic Systems

Fraunhofer  
ISIT

## Rework & Repair von elektronischen Baugruppen

### Qualitätskontrolle

- Querschliffanalyse ZAL R-PBGA-N176 nach 2 x Inline Reflow + 2x Rework (R+R15/M)



Gefüllte Microvia unter ZAL: keine Auffälligkeiten

Seite 31

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020

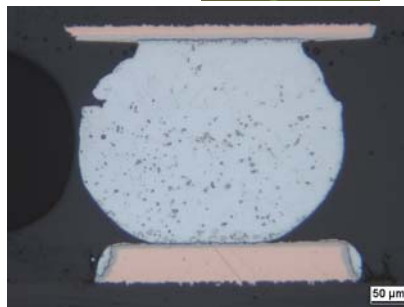
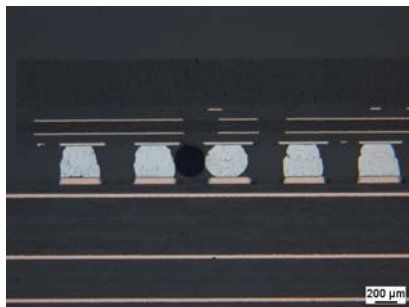
Quelle: Leitfaden Rework elektronischer Baugruppen - Qualifizierbare Prozesse für die Nacharbeit  
ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V., Fachverband PCB and Electronic Systems

Fraunhofer  
ISIT

## Rework & Repair von elektronischen Baugruppen

### mögliche Fehlerquellen

- Beispiel ZAL R-PBGA-N176



Benetzungsfehler  
durch freiliegende intermetallische Phase nach Lotentfernung

Seite 32

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020

Quelle: Leitfaden Rework elektronischer Baugruppen - Qualifizierbare Prozesse für die Nacharbeit  
ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V., Fachverband PCB and Electronic Systems

Fraunhofer  
ISIT

## Prozesssicherung und Dokumentation

- Kontrollierte Prozessabläufe
- Verriegelte Prozesse
- Traceability
- Vernetzung im Fertigungsprozess

Seite 33

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020



## Herausforderungen, Möglichkeiten und Grenzen im Reworkprozess

- Prozessqualifizierung ✓
- Reproduzierbarkeit und Prozesssicherheit ✓
- Prozessdokumentation ✓
- Fehlerdokumentation ✓  
ist rel. aufwändig, erfolgt jedoch i.a. im AOI oder elektr. Test
- Inline-Anordnung (✓)  
Rework erfordert eine ruhige (separate) Arbeitsumgebung
- Automatische Rückmeldung (unter Vorbehalt ✓)  
zur Korrektur von Linienprozessen  
ist nur sinnvoll, wenn der Reworkprozess zeitnah erfolgt

Seite 34

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020





## Rework elektronischer Baugruppen

### qualifiziert, prozesssicher, dokumentiert

- Rework strategisch einplanen
- Kenntnis von aktuellen Normen und Richtlinien sowie Prozessbeschränkungen
- Handling auf den Lötprozess abgestimmt
- qualifizierte Lötprofile
- vorgeschriebene Löttemperaturen einhalten und Flussmittelmenge auf das notwendige Mindestmaß reduzieren
- Reworksysteme erleichtern Prozesssicherung und Dokumentation
- Qualitätssicherung durch Inspektion ist zwingend notwendig

***Arbeitsziel zur Herstellung zuverlässiger Elektronik  
ist das Prozessfenster für qualifizierte Reworkprozesse***

Seite 35

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020

 Fraunhofer  
ISIT

Vielen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit 0

A. Schick

Seite 36

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2020

 Fraunhofer  
ISIT