Verwindungen und Wölbungen während des Lötens- Auswirkungen auf die Qualität und Zuverlässigkeit von Lötstellen

Dr.-Ing. habil. Heinz Wohlrabe Dresden Dr.-Ing. Karsten Meier Dresden MSc. Oliver Albrecht Dresden

Technische Universität Dresden Institut für Aufbau und Verbindungstechnik der Elektronik

Bei der Herstellung von elektronischen Baugruppen werden als ein wichtiger Bestandteil Bauteile auf Leiterplatten meistens mit Hilfe des Lötens montiert. Beide Montagepartner sind Schichtaufbauten mit unterschiedlichen Materialen, die u.a. auch unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten aufweisen, was dann während des Lötens aber auch im realen Einsatz zu Verbiegungen der Objekte führt. Diese Effekte haben sowohl einen Einfluss auf die Qualität und die Zuverlässigkeit der gefertigten Produkte. Im Projekt WARPAGE\_ZUV wurden das Institut für Aufbau und Verbindungstechnik der Elektronik der TU Dresden diese Einflüsse untersucht und es werden Empfehlungen für Grenzwerte gegeben.

1. Einführung

Bei der Oberflächenmontage elektronischer Baugruppen kommen Leiterplatten und Bauelemente mit heterogenen Lagenaufbauten und Materialzusammensetzungen zum Einsatz. Die eingesetzten Materialien – Polymere, Metalle, Keramiken, etc. - besitzen dabei Unterschiede in ihren thermischen Ausdehnungskoeffizienten besonders auch in z-Richtung. Unter thermischer Belastung, wie z.B. beim Löten während der Baugruppenmontage und dann auch in der Anwendung unter Feldbedingungen, führt das zu einer Veränderung der Geometrien u.a. in Form von Verwindungen und Wölbungen, welche im Allgemeinen als Verbiegung zusammengefasst werden können. Während der Baugruppenmontage können diese temperaturabhängigen Verbiegungen zu Qualitätsmängeln. Geänderte Geometrien in den Lötstellen inklusive der dann dort vorhandenen zusätzlichen mechanischen Spannungen führen zu einem geänderten Zuverlässigkeitsverhalten. Im IGF Projekt WARPAGE\_ZUV wurde diese Einflüsse untersucht. 2. Mögliche Schäden durch Verbiegungen während des Lötens



Bild 1 Schäden an Lötstellen, die durch eine Verbiegung während des Lötens verursacht werden können

Bild 1 zeigt mögliche Schäden an Lötstellen, die auf eine Verbiegung während des Lötrens zurückgeführt werden können. Head in Pillow tritt bei BGA's auf. Ein Anheben der Ecken durch eine temperaturbedingte Verbiegung kann vor dem Aufschmelzen zu einer Trennung von Paste und Balls führen, so dass Paste und Balls getrennt aufschmelzen. Beim Abkühlen werden Balls und das geschmolzene Lot wieder zusammengeführt, wobei eine Vereinigung zu einer regelgerechten Lötstelle nicht unbedingt garantiert ist. Brücken entstehen dann, wenn durch eine Verbiegung das flüssige Lot zu stark zusammengedrückt wird. Padabrisse können entstehen, wenn nach dem Erstarren des Lots verbiegungsbedingte Kräfte in die Lötstelle eingetragen werden. Das Detektieren solcher Fehler ist exklusive der Brücken in einer laufenden Fertigung sehr aufwendig und damit nicht garantiert. Es geht also darum, solche Fehler erst gar nicht entstehen zu lassen.

3. Aktuelle Grenzwerte



Bild 2 Definition des IPC Bow nach IPC TM 650 [1]

Die Basis für Grenzwerte bilden Definitionen von Verbiegungsparametern. Übliche und schon lang benutzte Definitionen sind der IPC-Bow (siehe Bild 2) und der IPC-Twist (ohne Bild). Der IPC-Bow wird mit Hilfe von Verformungen an Kanten bezogen auf die Bauteilgröße bestimmt. Übliche Maximalwerte (z.B. in der IPC 610G [2]) liegen je nach Klasse zwischen 0,5 und 1%. Diese Grenzwertdefinition gilt nur für Raumtemperatur. Für die Baugruppenmontage insbesondere für das Löten sind diese Grenzwerte nur bedingt brauchbar, da besonders der maximale Höhenunterschied (in Bild xx  $\Delta h_{max}$ ) für Fehler wie Head in Pillow entscheidend ist. Für die Beurteilung während des Lötens ist deshalb die Koplanarität während des gesamten Lötvorgangs ein geeigneter Parameter. Die Koplanarität ist dann die maximale Differenz des höchsten und des niedrigsten Punkts von einer definierten Ebene, die in Regel durch die Ausgleichsfläche über das zu beurteilende Objekt bestimmt wird. Standards die dafür Grenzwerte liefern, sind die JEITA ED-7306 [3] und die JEDEC SPP-024 [4]. Diese Standards sind jedoch umstritten, da es zahlreiche Fälle gibt, wo trotz eingehaltener Grenzwerte Schäden nachgewiesen werden konnten [##]. So liegt beispielsweise für einen BGA 272 (Pitch 1,27 mm; Größe 27\*27 mm<sup>2</sup>), die zulässige Koplanarität bei 230 µm. Bei beiden Standards gibt es Abhängigkeiten von der Größe und dem Pitch der Bauteile. Die gedruckte Nassschichtdicke spielt keine Rolle.

4. Messung von Verbiegungen während des Lötens

Für diese Messungen gibt es verschiedene Messverfahren. Dazu gehören das Thermoire<sup>®</sup> –Verfahren, die Nutzung der Digital Fringe Projection, die 3D-Digital Image Correlation und konfokale Techniken. Alle Verfahren sind in der JESD 22 [5] beschrieben und verglichen. Im vorliegenden Projekt wurde zum großen Teil das Thermoire<sup>®</sup>-Verfahren benutzt, welches ausführlich u.a. in [6] beschrieben ist. Zusätzlich wurde noch ein Messverfahren [7] entwickelt, welches die Verbiegungen von BGA's mittels 2,5D-Röntgenaufnahmen misst. Die wichtigsten Parameter des Thermoireverfahrens, die teilweise noch vom konkreten Gerät (tiefe Temperaturen nur mit Zusatzgerät) abhängen, sind:

- Messbare Fläche 150\*200 ... 400\*400 mm<sup>2</sup>
- Temperaturbereich -40... 25...300°C
- Messzeit: ca. 2 s
- Wiederholgenauigkeit 2,5μm

Ein wesentlicher Nachteil der Thermoire-Messung ist, dass die Messobjekte mit weißer Farbe präpariert werden müssen und dass Objekte mit Stufen nur eingeschränkt messbar sind. Ein weiteres Problem für alle Messverfahren ist, dass bedingt durch die Temperaturunterschiede zwischen der Ober- und Unterseite der Messobjekte leichte Verfälschungen der Messergebnisse auftreten können. Durch ein langsames Aufheizen (<0,25K/s) können diese Unterschiede minimiert werden. Es konnte mit Hilfe eines Röntgenverfahrens [7] nachgewiesen werden, dass der Aufheiz- und Abkühlgradient bezüglich des Verbiegungsverhaltens nur eine untergeordnete Rolle spielt

5. Beispielergebnisse

Am Institut für Aufbau und Verbindungstechnik der Elektronik wurden seit 2006 zahlreiche Messungen von Bauteilen, Leiterplatten, Steckern, sowie weitere Objekte durchgeführt und im genannten Projekt fortgeführt. Eine solche Messung inklusive der Auswertung besteht im Wesentlichen aus folgenden Bestandteilen: Messung der Ausgangsgeometrie (Ober- und Unterseite) mittels Laserscan

- Thermoire-Messserie einer Seite (teilweise auch beide) bis zu einer Spitzentemperatur von 260°C; Temperaturdifferenz zwischen zwei Messungen in der Regel 20K; eine Messserie besteht aus ca. 20...30 Einzelmessungen
- Wiederholung der Messung zur Nachbildung von Mehrfachlötungen
- Bei Verfügbarkeit auch die Messung der zugehörigen Leiterplatte
- Darstellung der z-Geometrien als 2/2,5 D-Diagramm und als Diagonalendarstellung in Absolutform und in Relativform
- Bestimmung der charakteristischen Parameter wie Koplanaritäten, IPC-Bow und –Twist
- Kombinationsdarstellung Bauteil-Leiterplatte

Ein Beispielauswertung findet man in [8].

Das folgende Beispiel soll stellvertretend für die vielen durchgeführten Messungen auftretende Probleme und deren Interpretationsmöglichkeiten darstellen.

Analysiert wird ein BGA 272 (Pitch 1,27 mm; Größe 27\*27 mm<sup>2</sup>). Gedruckt wurde mit einer Nassschichtdicke von 120 µm und der Lotpaste Typ A (SAC 305). Bei diesem BGA traten bei einer realen Baugruppe Head in Pillow (siehe Bild 1) auf, wobei teilweise einzelne BGA einen Fehleranteil von zu 10% hatten. Einige Fehler wurden erst beim Kunden detektiert, was durchaus nachvollziehbar ist, da der elektrische Kontakt durchaus vorhanden ist, aber beispielsweise durch Einbau in ein Gerät unterbrochen werden kann. Bild 3 zeigt ein Röntgenbild eines betroffenen BGA's. Es handelt sich um eine Aufnahme mit einem Stand-Alone-Gerät und die markierten Head in Pillow wurden nur (wahrscheinlich) mit dem Wissen, dass dort solche Fehler vorhanden sein müssen, festgestellt. Diese Head in Pillow wurden dann auch durch Schliffe bestätigt.



Bild 3 Röntgenbild eines betroffenen BGA's, zusätzlich markiert Anschluss L11, siehe Bild 5

Es war die Vermutung da, dass eine Verbiegung während des Lötens die Hauptursache für diese Probleme war. Es wurden die Bauteile vermessen. Bild 4 zeigt einen Ausschnitt der Messergebnisse. Es ist eine Messung von der Topseite der Bauteile. Dargestellt sind die beiden Diagonalen bei Raumtemperatur, bei 220°C (Aufheizen, Schmelztemperatur der Lotpaste) und bei Peaktemperatur. Bei Raumtemperatur ist kaum eine Verbiegung vorhanden, was zunächst positiv gewertet werden kann. Beim Aufschmelzen beträgt die Koplanarität ca. 180 µm und bei 245°C sind es 260 µm, also mehr als die JEDEC SPP 024 als Limit hat. Der BGA wölbt sich konkex, d.h. die Bauteilmitte hebt sich an. Dies korreliert mit den Fehlerkoordinaten der Head in Pillow und ist auch in Bild 3 sichtbar.



Bild 4 Darstellung der gemessenen Diagonalen des BGA 272 bei Raumtemperatur, bei 220°C (Aufheizen) und bei Peaktemperatur

Als Konsequenz dieser Fehler wurde eine Stufenschablone eingesetzt, die im BGA-Bereich eine Nassschichtdicke von 180 µm realisierte. Gleichzeitig wurde der Typ der Lotpaste gewechselt, wobei die Legierung unverändert blieb. Die Fertigung lief daraufhin fehlerlos. Welche der beiden Änderungen nun hauptsächlich für diese signifikante Qualitätsverbesserung verantwortlich ist, konnte nicht ermittelt werden. Die Erhöhung der Nassschichtdicke bewirkt ein späteres Ausreißen des Balls aus der Paste. Die Tatsache, dass bei einer Koplanarität von ca. 180 µm beim Aufschmelzen und einer Nassschichtdicke von 180 µm keine Head in Pillow entstanden sind, ist ein gewichtiger Hinweis auf einen möglichen Grenzwert. Dass ein solcher Wert nur ein ungefährer Orientierungswert sein kann, zeigen die nachfolgend aufgezählten real vorhandenen Einflüsse:

- Eine gute Benetzungsfähigkeit der Paste verschiebt den Grenzwert nach oben
- Ein Löten unter Stickstoff verbessert die Benetzungseigenschaften und dementsprechend werden weniger Head in Pillow entstehen
- Die Art der Verbiegung spielt eine zusätzliche Rolle, bei konvexen Verbiegungen kann das Bauteil nicht zusätzlich kippen, bei konkaven Verbiegungen ist ein zusätzliches Kippen möglich; durch unterschiedliches Aufschmelzen auf beiden Seiten des BGA kann durch die Kräfte der Oberflächenspannung ein solches Kippen zumindest gefördert werden
- Wenn die Paste eher aufschmilzt als der Ball wird das Entstehen von Head in Pillow ebenfalls minimiert

Dieser Orientierungswert liegt aber eindeutig den Grenzwerten aus der JEDEC SPP 024 (bei diesem Bauteil 230  $\mu$ m).

Ergänzend wurden mit der betroffenen Baugruppe des BGA 272 (siehe Bild 3) noch Schliffanalysen durchführt. Es ist in Bild 5 (rechts) einer der erwarteten Head in Pillow sichtbar. Die Positionen dieser fehlerhaften Verbindungen stimmen mit den Röntgenbildern überein. Es werden jedoch auch noch

andere Effekte sichtbar. Bild 5 (links) zeigt, dass in den Außenbereichen des BGA Padabrisse auftreten. Insgesamt konnten bei einem schrittweisen Schleifen durch den BGA insgesamt 15 solche Defekte festgestellt werden, die auch plausibel sind. Nach dem Erstarren des Lots versucht der BGA beim Abkühlen die Ecken und Ränder anzuheben, was aber durch die nun starre Verbindung mit der Leiterplatte verhindert wird, so dass in den Lötstellen hier in den Außenbereichen Zugspannungen entstehen, die solche Abrisse entstehen lassen können.



Bild 5 Padabriss (links; Anschluss A11) und Head in Pillow (rechts; L11)

Für die Beurteilung der Auswirkungen von Koplanaritätsänderungen ist es wichtiger, den
Maximalwert der Koplanarität im Aufschmelzbereich zu analysieren. Die bedeutet, dass eine
Koplanaritätsänderung von -100 μm auf +100 μm unkritischer ist, als eine Änderung von 0 auf 200
μm. Bei dem analysierten BGA 272 ist also die gute Koplanarität bei Raumtemperatur eher ungünstig.
Viele Halbleiterhersteller liefern ihre Bauteile mit einer Vorverbiegung aus, was natürlich nur positiv
wirkt, wenn sich das Bauteil in die entgegengesetzte Richtung biegt

Aus den innerhalb des Projektes sowie vielen weiteren durchgeführten Messungen können folgende Tendenzen abgeleitet werden:

- 75 % der BGA weisen ein konkaves (Ecken nach oben) Verbiegungsverhalten auf
- 50 % der BGA's haben Koplanaritätsänderungen von mehr als 150 μm
- QFN-Bauteile sind eher unkritisch, wobei die Änderung der Koplanarität weniger als 50 μm als betragen sollte
- QFP Bauelemente sind mit Ausnahme von Bauteilen mit Exposed Pad unkritisch
- LGA's sollten sich weniger als 50 μm verbiegen, was in der Regel eingehalten wird
- 95 % der getesteten Bauteile kehren nach dem Abkühlen wieder in ihre Ausgangsgeometire zurück (wesentliche Ausnahme DCB's)
- Unterschiede bei Mehrfachmessungen (Doppel- oder Mehrfachreflow) gibt es mit Ausnahme von Leiterplatten kaum
- Leiterplatten sind f
  ür das Montageergebnis nach dem L
  öten eher unkritisch, d.h. die Analyse des Verw
  ölbungsverhaltens beschr
  änkt auf die Fl
  äche des zu montierenden Bauteils, f
  ührt in der Regel zu einem wesentlich besseren Ergebnis als das des zugeh
  örigen Bauteils; allerdings kann ein entgegengesetztes Verbiegungsverhalten der Leiterplatte zum Bauteil die Probleme etwas verst
  ärken

Diese Aussagen basieren auf den bisher durchgeführten 500 Messungen, die zum großen Teil für Kunden durchgeführt wurden. Somit sind diese Tendenzen nicht vollständig repräsentativ, denn es ein großer Teil der Aufträge erfolgte wahrscheinlich auf der Basis, dass schon Probleme vorhanden waren bzw. vermutet wurden.

## 6. Qualitätsanalysen

Die Qualitätsanalysen im Projekt dienten dazu, Effekte, die sich aus den Verbiegungen von Bauteil und Leiterplatte bei der Montage ergeben. Hierzu wurden aus einer Menge von verfügbaren Bauteilen diejenigen herausgesucht, die ein ausgeprägtes Verbiegungsverhalten (Koplanaritätsänderung >150 μm) hatten. Da es unmöglich ist, für einen Bauteiltyp zwei Bauteile mit einem signifikanten Verbiegungsunterschied bereitzustellen, wurde dieser Unterschied durch die Leiterplattengeometrie erzeugt. Die Lösung war eine "Schachbrettleiterplatte", die im aufgebauten Zustand in Bild 6 zu sehen ist. Es wurde jeweils einem Bauteiltyp zwei Leiterplattenflächen zugeordnet, wobei die eine Kupferfläche jeweils nur unten bzw. oben vorgesehen wurde. Dies ist eine bewusste Verletzung von Layoutregeln, mit dem Ergebnis, dass sich die dem Bauteil zugeordnete Leiterplattenfläche sich ausgeprägt konkav bzw. konvex verbog, so dass an jedem Bauteil eine konvex/konvex und eine konkav/konvex Kombination entstand. In Bild 6 sind diese beiden Kombinationen für einen BGA 169 zu sehen. Neben den BGA's wurden auch QFP's mit exposed Pad eingesetzt.



Bild 6 Schachbrettleiterplatte mit den Messergebnissen eines BGA 169 (jeweils rote Kurve) und der zugehörigen lokalen Leiterplattenfläche (blau) bei Löttemperatur

Es wurden von diesem Board 24 Leiterplatten produziert, wobei zusätzlich die Lotpastennassschichtdicke (100/150/200  $\mu m$ ) und das Lotprofil (Peaktemperatur 230°C/250°C) noch variiert wurden.

Aus den Versuchsergebnissen können folgende allgemeine Tendenzen abgeleitet werden. Die Unterschiede der Bauteilverbiegung im montierten Zustand zwischen dem ungelöteten und dem gelöteten Zustand sind nur gering. Unterschiede sind vor allem im Standoff der Bauteile zur Leiterplattenoberfläche und in der Form der Lötstellen zu sehen. Die Lötstellenform wurde mit Hilfe der Bestimmung des Durchmessers an Hand von Röntgenaufnahmen beurteilt. Eine hohe Nassschichtdicke der Lotpaste vermindert die Verbiegung der gelöteten Bauteile. Das Temperaturprofil hat nur einen geringen Einfluss. Fehlanpassungen der Verbiegungen zwischen Bauteil und Leiterplatte (konkav/konvex und invers) sollten vermieden werden. Bild 7 zeigt eindeutig die Auswirkungen solcher Fehlanpassungen bei QFP's mit exposed Pad. Weitere Details dazu sind in [9] zu finden.



Bild 7 Röntgenbilder eines montierten QFP 144 mit verschiedenen Pastendicken und dem Leiterplattenverhalten

7. Zuverlässigkeitsuntersuchungen

Ein wesentlicher Bestandteil des Projekts sind Zuverlässigkeitsuntersuchungen. Wenn Leiterplatte und das zugehörige Bauteil sich unterschiedlich verbiegen, dann werden ab dem Erstarrungszeitpunkt Spannungen in z-Richtung in die Lötstellen eingebracht, da das finale Verbiegungsverhalten der montierten Kombination immer eine Überlagerung der beiden Komponenten ist. Weiterhin durchlaufen die Lötstellen während der realen Nutzung Temperaturunterschiede, die sich dann in wechselnden Spannungen in den Lötstellen äußern, denn die Quelle der Verbiegungen nämlich Schichtenaufbauten mit unterschiedlichen CTE-Werten sind ja nach wie vor vorhanden. Aus beiden Gründen hat das Verbiegungsverhalten einen gesicherten Einfluss auf die Zuverlässigkeit der Lötstellen. Unklar ist natürlich zunächst, wie groß dieser Einfluss ist.

Um dies zu untersuchen, gibt es zwei Möglichkeiten, die Nutzung von Finite Element Methoden und die experimentelle Untersuchung mittels Temperaturzyklen. Beide Wege wurden beschritten.

Als Testobjekt stand ein BGA 361 zur Verfügung, der kein Dummybauelement war uns somit auch keine Daisy-Chain hatte. Dies war notwendig, da keine Dummybauelemente verfügbar waren, die ein ausgeprägtes Verbiegungsverhalten aufwiesen. Für den klassischen Temperaturzyklentest ist es notwendig, ein spezielles Prüfgerät zu bauen, um die fehlende Daisy–Chain zu ersetzen. Durch die Nutzung der im Bauelement vorhandenen ESD-Schutzschaltungen gibt es eine Möglichkeit, die Funktionsfähigkeit von einzelnen Verbindungen zwischen BGA und Leiterplatte zu kontrollieren. Bei einer Daisy-Chain ist dies immer nur paarweise möglich. Beim vorliegenden Bauelement waren es ca.

75 % der Anschlüsse. Nicht genutzte Balls und kurzgeschlossene Anschlüsse (z.B. Masse) lassen sich nicht getrennt testen. Bild 8 zeigt ein gefertigtes Board und das spezielle Testgerät.

Für den Aufbau des Zuverlässigkeitsboards wurde eine ähnliche Strategie gewählt wie bei den Qualitätsboards. Ein Board hat oben eine Kupferfläche (35 μm), die andere nicht. Ein mögliches Maß für die Zuverlässigkeit ist die Fehlanpassung zwischen der Verbiegung der Leiterplatte und des BGA 361 im Bereich zwischen Raumtemperatur und 125°C. Ein Vierfachmultilayer auf der Oberseite ermöglicht den Anschluss des Testgeräts. Dieser Multilayer beeinflusst aber wesentlich das Verbiegungsverhalten der Leiterplatte, so dass die Unterschiede zwischen den beiden Varianten nicht so groß sind, wie bei den Qualitätsboards. Dieses Problem verzögerte wesentlich den Start des Zuverlässigkeitstest.

Es wurden 50 Platinen gefertigt, wobei zusätzlich noch das Lötprofil mit den Peaktemperaturen 230°C bzw. 250°C als Variation eingesetzt wurde. Der Zuverlässigkeitstest wird als Thermoshock zwischen -55°C und 150 °C durchgeführt. Auf Grund der genannten Probleme mit dem Multilayer läuft dieser Test noch.



Bild 8 Zuverlässigkeitsboard und zugehöriges Testgerät

Die Nutzung von finiten Elementen ist eine weitere Möglichkeit, um ohne größere Experimente Zuverlässigkeitsanalysen durchführen zu können. Eine wesentliche Grundlage für eine erfolgreiche Durchführung ist ein gutes Modell, welches sich aus mehreren Bestandteilen zusammensetzt. Zunächst kann aus den Geometriedaten das FEM-Netz aufgebaut werden. Dazu gehören die äußeren Abmessungen, aber auch die inneren Daten, wie z.B. die Chipabmessungen und der Aufbau des Interposers. Die Anzahl der Elemente in diesem Netz ist dann immer ein Kompromiss zwischen der Genauigkeit der Modellierung und dem Aufwand für die Berechnungen. Die Materialdaten der einzelnen Komponenten, wie z.B. die benutzte Moldmasse und das Material des Interposers spielen ebenfalls eine große Rolle. Wichtig sind vor allem die Elastizitätsmodule und die thermischen Ausdehnungskoeffizienten (CTE).

In einem ersten Schritt wurde der BGA 361 modelliert. Basis war eine Thermoiremessung des Bauelements bis 245°C. Anschließend wurde das FEM-Modell inklusive der verwendeten Materialdaten schrittweise verfeinert. Bild 9 zeigt das Ergebnis. Eine vollkommene Übereinstimmung kann nicht erreicht werden, da sowohl die Thermoiremessung als auch die Abbildung der Materialeigenschaften noch fehlerbehaftet sein können.



Bild 9 Vergleich des Verbiegungsverhaltens eines BGA 361 auf der Basis einer Thermoiremessung (unten) und einer FEM-Modellierung (oben)

Danach wurde der BGA 361 mit einer Leiterplatte "montiert". Bei der Leiterplatte wurden neben den Änderungen der Kupferschichtdicke (kein Kupfer, 35 µm und 100 µm Kupfer) auch die Padgeometrien (Durchmesser) und verschiedene Lotmengen (Nassschichtdicke) variiert.

8. Verbiegungsdatenbank

Im Projekt wurden zahlreiche Messungen von verschiedenen Bauteilen und Leiterplatten durchgeführt. Weiterhin stehen aus einem Zeitraum von 2006-2020 noch zahlreiche durchgeführte Messungen zum Teil im Kundenauftrag zur Verfügung. Insgesamt stehen ca. 500 Datensätze zur Verfügung. Folgende Möglichkeiten stehen zur Verfügung:

Darstellung von

- 2D-Diagramme
- Diagonalendiagramme
- Weitere Liniendiagramme (Mitte, links/rechts, ..)
- Koplanaritäten/IPC-Bow/Twist
- Temperaturprofile
- Messergebnisse absolut/relativ
- Vergleiche und Überlagerung verschiedener Messungen

Eigene Auswertungen mit individueller Festlegung

- der Regressionsbereiche
- der Maskierungen
- der Darstellungsbereiche
- ....

Nach Abschluss des Projekts wird diese Datenbank als Download angeboten.

## 9 Ausblick

Es konnte im Projekt nachgewiesen werden, dass die unvermeidbaren Verbiegungen von Bauteilen und Leiterplatten während des Lötens als auch während der realen Nutzung einen Einfluss auf die Qualität und Zuverlässigkeit der gefertigten Produkte. Die vorgeschlagenen Grenzwerte liegen unterhalb der aktuell gültigen Grenzwerte. Über eine zur Verfügung gestellte Datenbank können insbesondere klein- und mittelständige Firmen auf die Ergebnisse zugreifen und Schlussfolgerungen für eigene Aktionen ziehen. In kritischen Fällen sollten jedoch Messungen der Verbiegungen erfolgen um mögliche Schäden und Probleme abzuwenden.

## Danksagung

Das IGF-Vorhaben Nummer 19.468 B/DVS-Nummer 10.080 der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

## Literatur

- [1] IPC 610G (2017) Acceptability of Electronic Assemblies
- [2] IPC-TM-650 (1999) Test Methods Manual
- [3] JEITA ED-7306 (2007) Measurement methods of package warpage at elevated temperature and the maximum permissible warpage
- [4] JEDEC SPP-024, Issue A: Reflow Flatness Requirements for Ball Grid Array Packages, JEDEC Publication No. 95, Page 3.24-1
- [5] JESD22-B112A Oct 2009 "Package Warpage Measurement of Surface-Mounted Integrated Circuits at Elevated Temperature", October 2009
- [6] Pan, J.; Curry, R., Hubble, N.: Zwerner: D.: Comparing Techniques for Temperature-Dependent Warpage Measurement. Plus 10/2007 S. 1980-1985
- [7] O. Albrecht, H. Wohlrabe, M. Oppermann, K. Meier, T. Zerna: "In-situ X-ray Characterization of IC Package Warpage at Elevated Temperatures", 7th Electronics System Integration Technology Conference ESTC, Dresden, Germany, September 18-21 2018
- [8] Beispielauswertung einer Thermoire-Messung, <u>http://www.avt.et.tu-</u> <u>dresden.de/forschung/leistungen/messen/woelbung-und-verwindung/</u>
- H. Wohlrabe, K. Meier, O. Albrecht: Einflüsse von Verwindungen und Wölbungen während des Lötprozesses auf die Qualität und Zuverlässigkeit von Lötstellen. Vortrag auf der EBL 2020 in Fellbach, GMM Sachbericht Nr. 94 S. 55-61