

Zentrum für mikrotechnische Produktion

Erweiterte Möglichkeiten der dynamischen Verbiegungsmessung

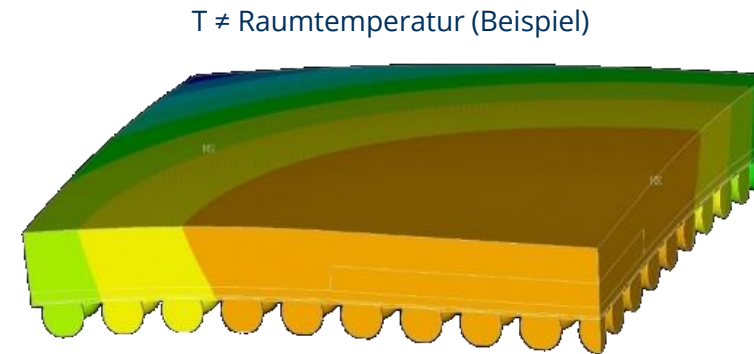
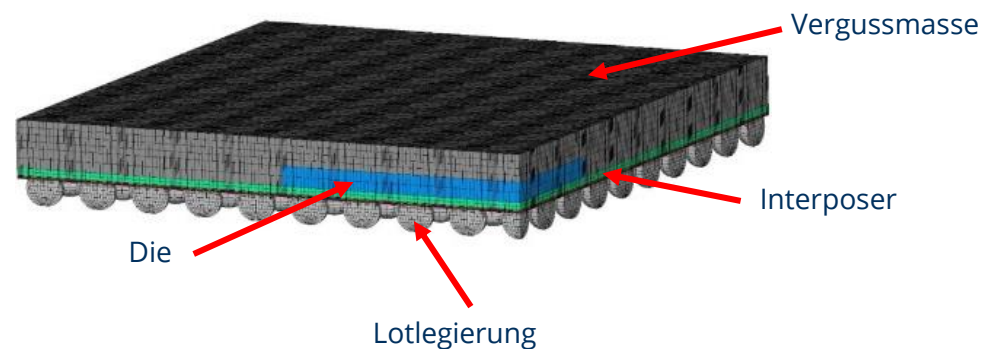
Oliver Albrecht, Heinz Wohlrabe, Karsten Meier

77. Treffen des Sächsischen Arbeitskreises Elektronik-Technologie
08. Dezember 2021

Wozu benötigen wir die dynamische Verbiegungsmessung?

- Bauelemente und Substrate sind aus verschiedenen Materialien mit teils stark unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten aufgebaut
- Das Verbiegungsverhalten wird beeinflusst durch elastische (Polymere, Metalle), plastische (Metalle) und viskoplastische (Lotlegierungen) Materialeigenschaften

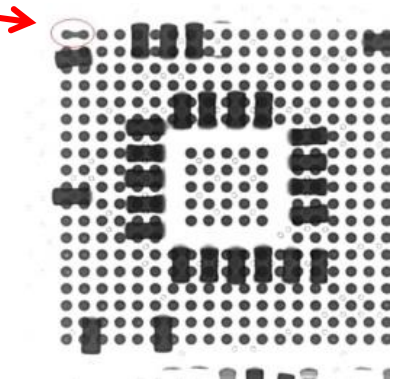
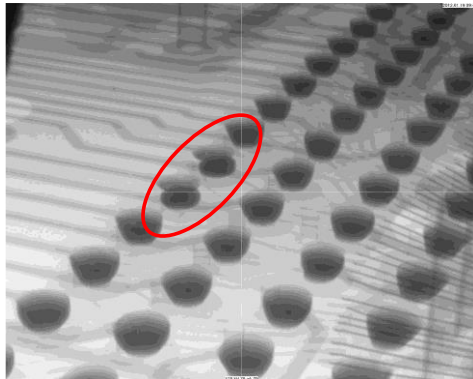
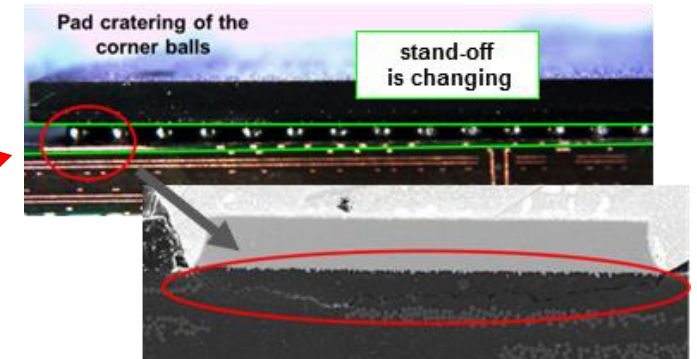
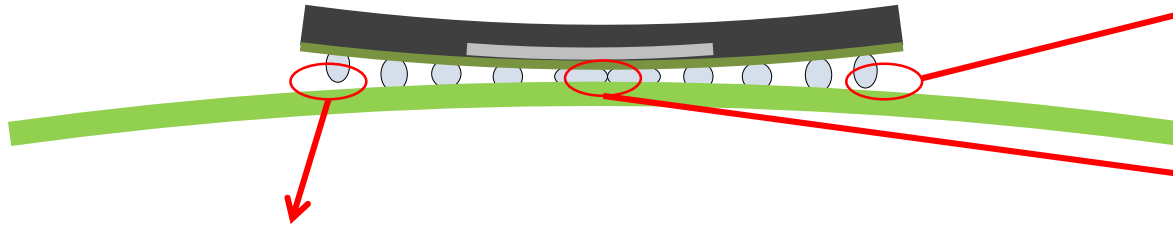
→ Bauelemente und Substrate verbiegen sich während des Lötens bzw. unter thermischer Belastung!



Auswirkungen auf die Qualität



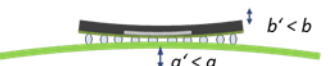
Verbiegungen können Lötfehler verursachen

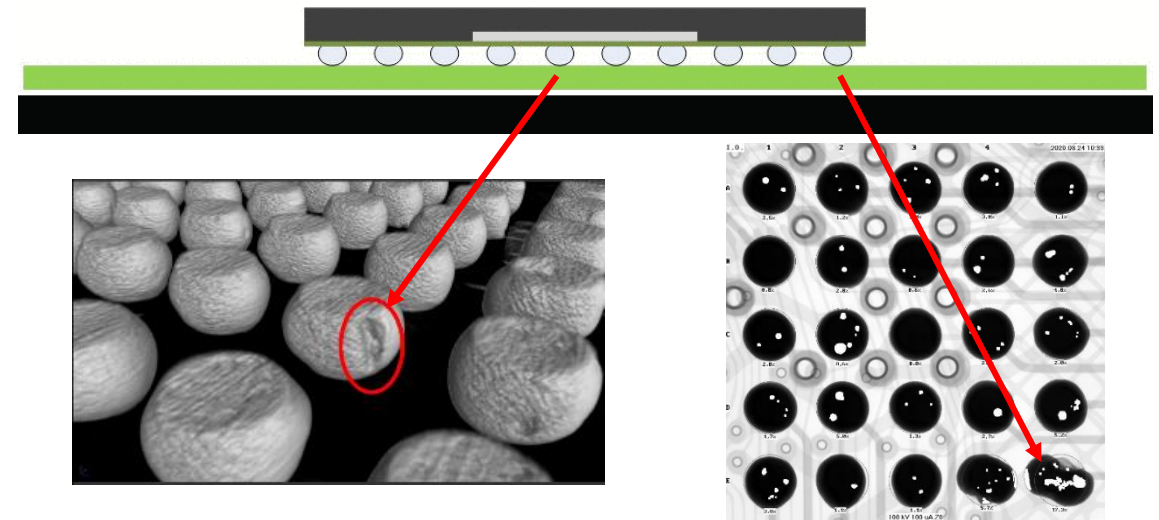
- Offene Lötverbindungen / Head-in-Pillow / Pin-in-Pillow
- Kurzschlüsse
- Padabrisse



Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit

- Während des Erstarren des Lots (z.B. bei 220°C bis ca. 180°C) wird das selbständige „Verbiegen“ verhindert
- Es werden Spannungen in den Lötstellen eingefroren, die Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit haben

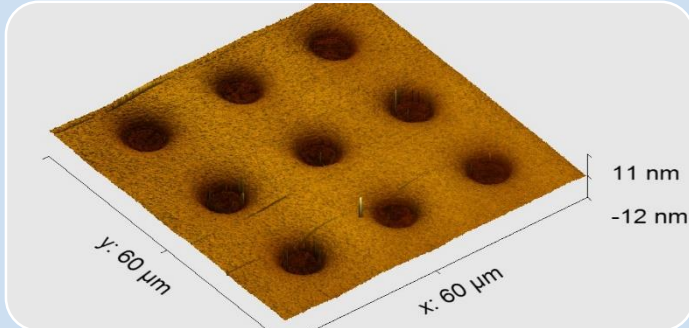
Idealer Zustand	Beispiel für reale Verhältnisse
Spannungsfreier Zustand	
	
	
Assembly - Kräftegleichgewicht	
	



Was sollte die dynamische Verbiegungsmessung alles können?

- Topografiemessung
 - Schnell
 - Kontaktlos
 - Hochauflösend
 - bei veränderlichen Temperaturen
- Spannungsfreie Verbiegung von Verbundpartnern
 - Vergleich Ober- und Lötseite von Komponenten
 - Messung von Leiterplatten
- Verbundmessungen
- Vergleich von Verbundmessungen (Qualität / Zuverlässigkeit)
- Einblicke in die Lötverbindungen während des Lötens

Verbiegungsmessung – Messmöglichkeiten



© Fraunhofer IKTS

Taktile Koordinatenmesstechnik
 Rasterkraftmikroskopie (AFM / AFAM) bis zum Portalmessgerät

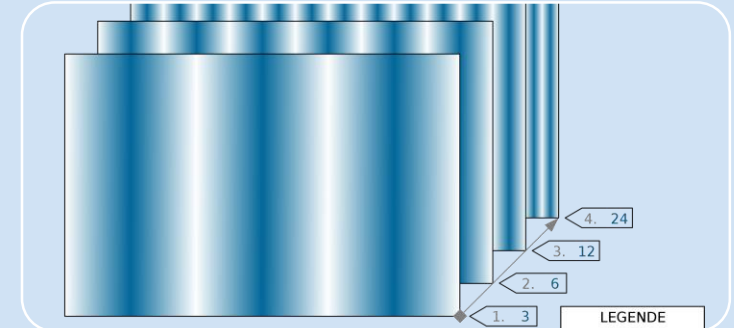
- Sehr flexibel
- z-Achse höchstaflösend (subatomar)
- Temperaturen bis 500°C
- Sehr langsam



© nanofocus

Optische Koordinatenmesstechnik
 Weißlichtinterferometrie, Konfokale Punktsensoren, Chromatischer Sensoren, Holographischer Sensoren

- universell, bevorzugt Oberflächen
- z- Achse hochauflösend (≥ 1 bis 25nm)
- Temperaturen bis max. 80°C
- langsam (ca. 100x schneller als taktil)



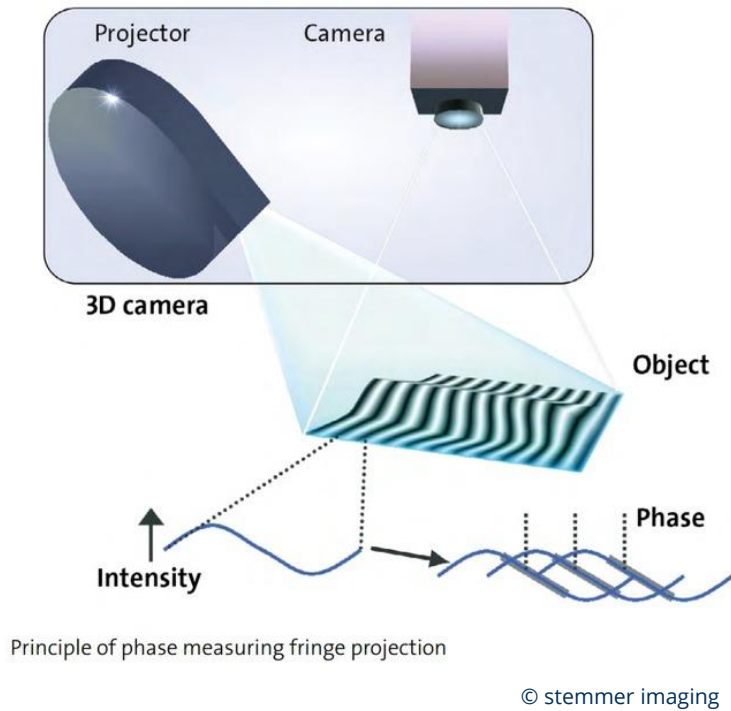
© wikipedia

Optische Vollfeldmessung
 Streifenlichtprojektion als Schattenmoiré oder Projektionsmoiré

- universell, vom Chip bis Flugzeugflügel
- z-Achse hohe Auflösung (≥ 1 bis 2µm)
- Temperaturen bis 400°C
- Vollfeldmessung in 2s

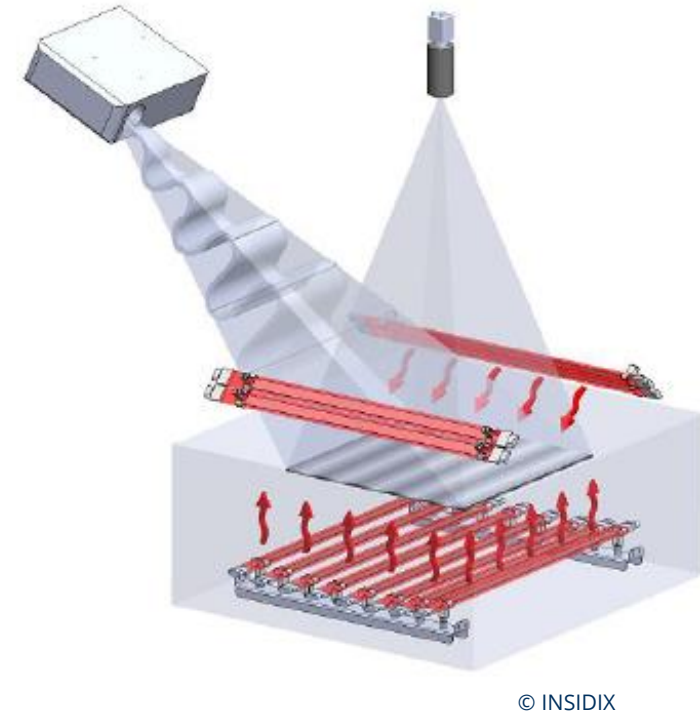
Messmöglichkeiten - Streifenlichtprojektion

Streifenlichtprojektion

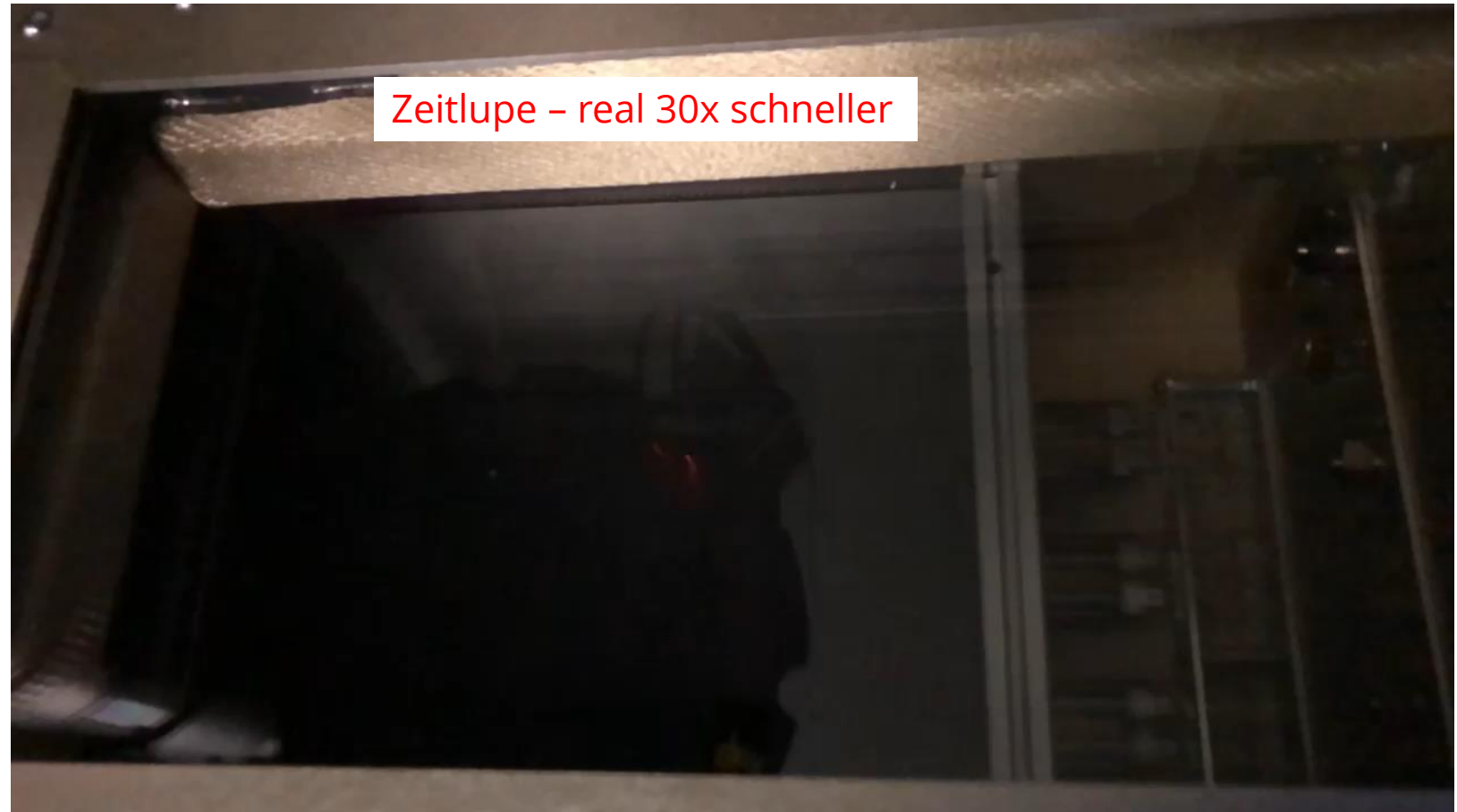


+ Heizung

Dynamische Verbiegungsmessung mit der TDM Compact II by INSIDIX



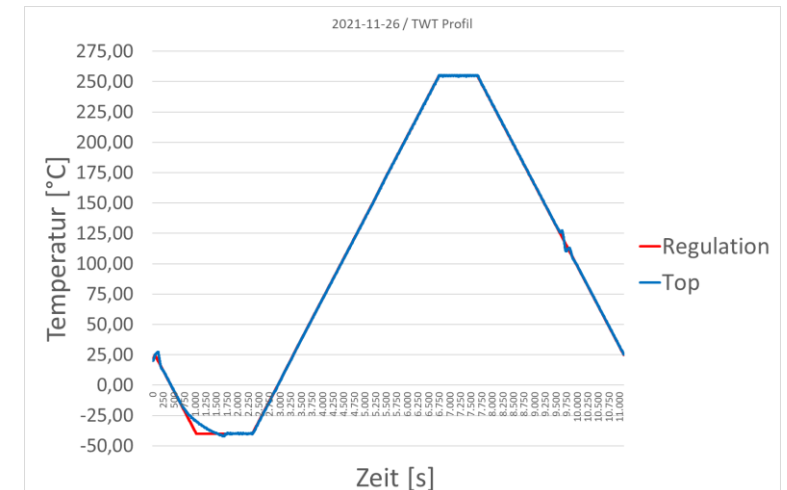
Messmöglichkeiten – TDM Compact II by INSIDIX



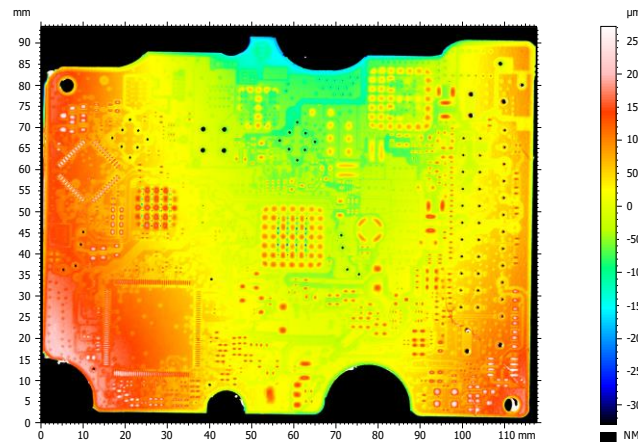
Erweiterte Messmöglichkeiten – TDM Compact 2 by INSIDIX

- Objektgröße bis zu (300 x 200) mm²
- Infrarotheizung (max. Temperaturgradient 3K/s)
- aktive Kühlung (max. Temperaturgradient -3K/s)
- Temperaturbereich: -50°C bis +300°C
- Messgenauigkeit z-Richtung: 1,5 µm bzw. 2% des Messwertes
- Laterale Auflösung: 5µm bis 75µm (4 Stufen)
- Grundvoraussetzung: schwachweiße, matte Oberfläche!
 - 75% der Proben benötigen kaum Präparation
 - Schnelle Präparation mit entfernbareren Sprühpulver
- Gleichzeitige Messung und Auswertung von mehreren, gleichen Objekten möglich!
- Messung der Lötseite eines BGA in Originalgeometrie
- Stufen, Löcher, Ränder verursachen weniger Artefakte

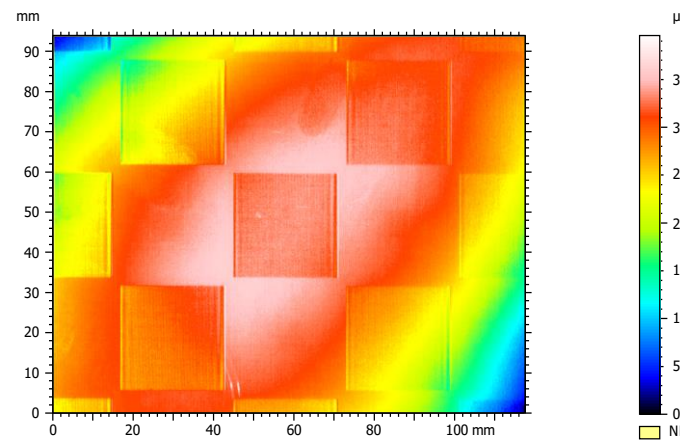
TWT Profil -40°C / +255°C (4K/min)



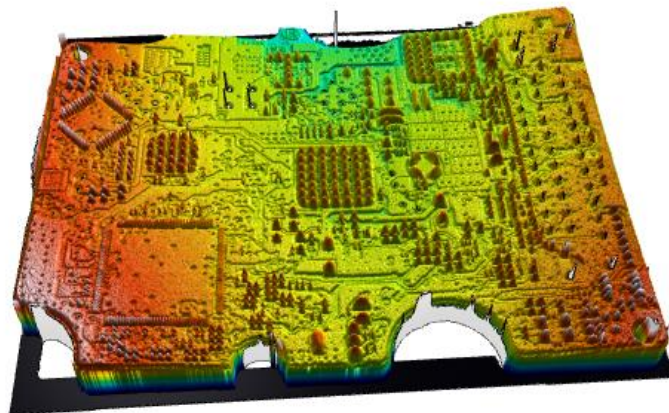
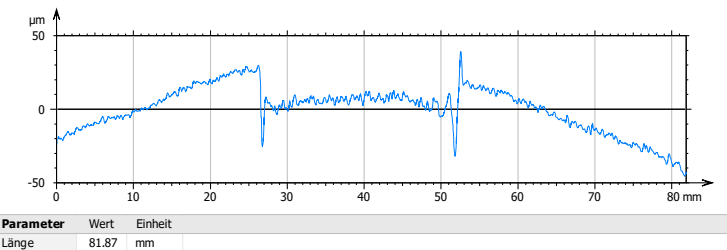
Verbiegungsmessung - Leiterplatten (Einzelmessung / spannungsfrei)



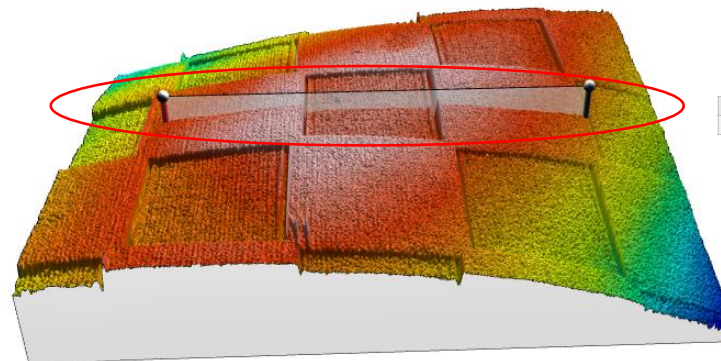
2D



Höhenprofile

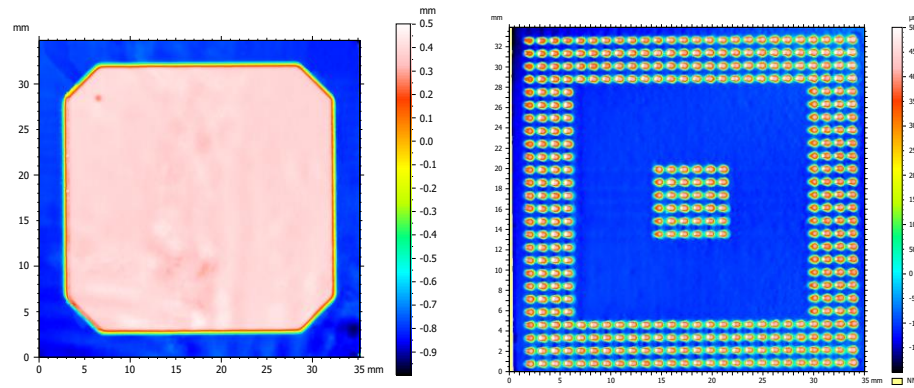


3D

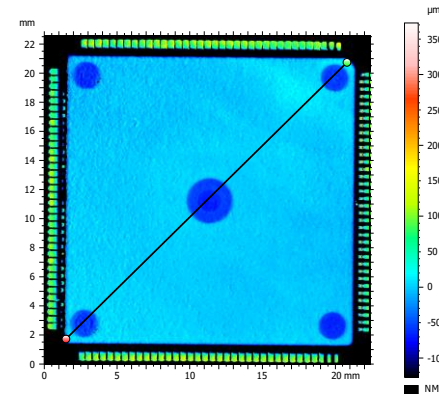


Verbiegungsmessung - Bauelemente (Einzelmessung / spannungsfrei)

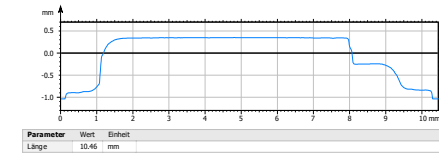
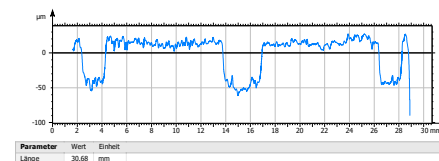
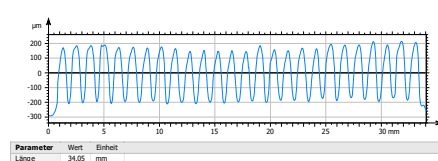
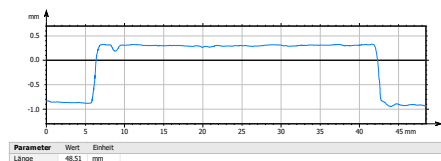
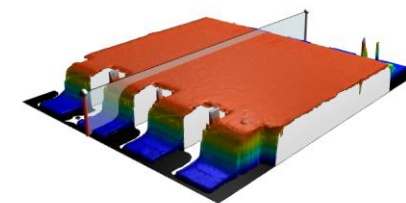
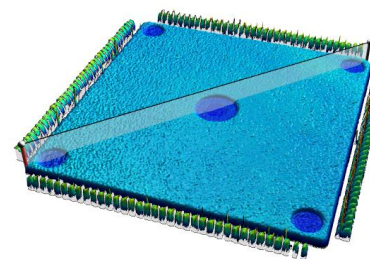
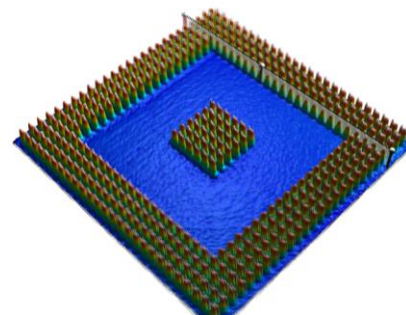
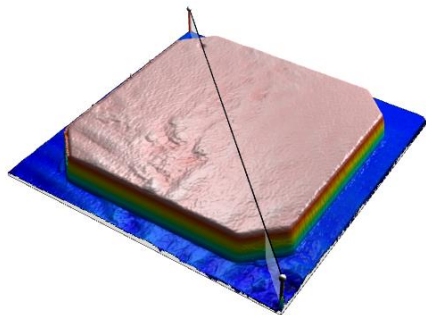
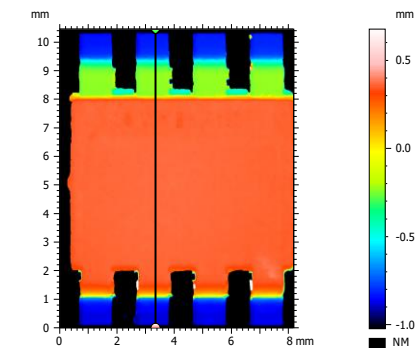
BGA



QFP

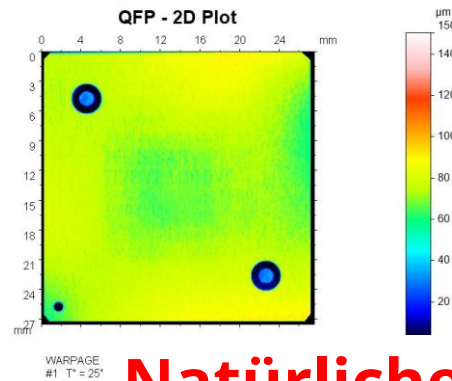


PowerPAK 8x8L

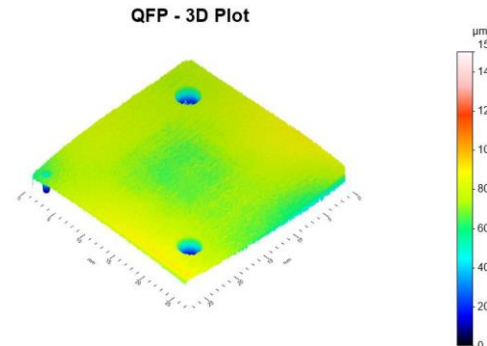


Dynamische Verbiegungsmessung - Auswertemöglichkeiten

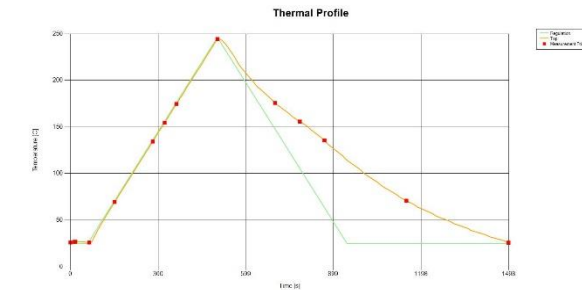
2D Plot



3D Plot

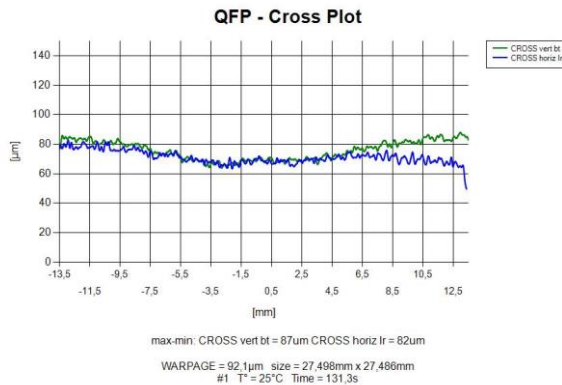


Temperaturprofil mit Messpunkten

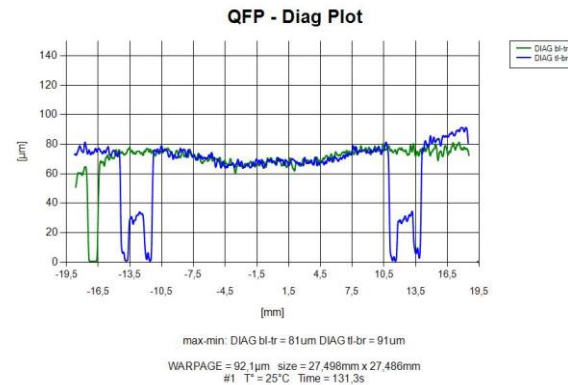


Natürliche Unebenheiten beeinflussen das Ergebnis

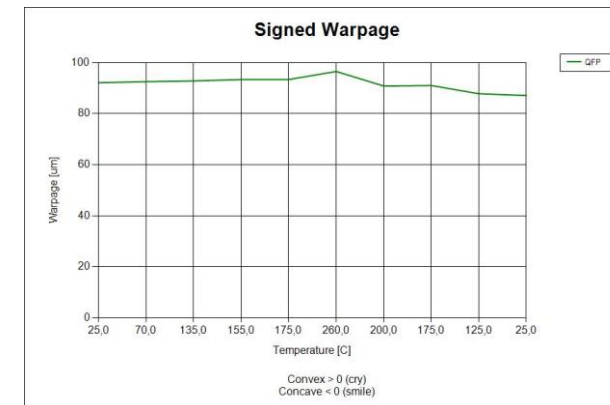
Höhenprofil - vertikal/horizontal



Höhenprofil - Diagonalen

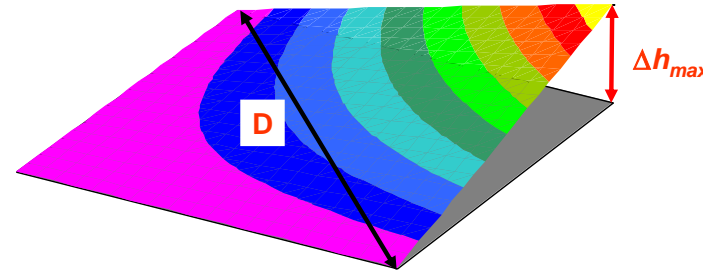
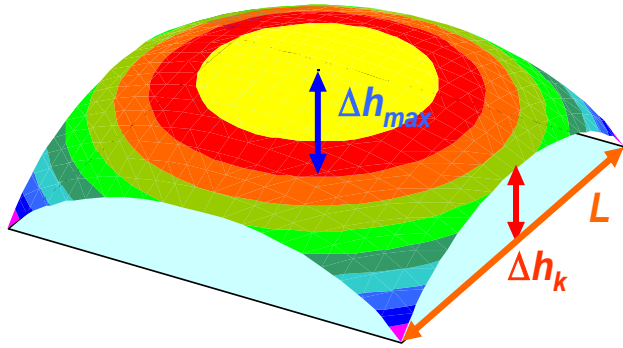


Koplanarität mit Orientierung



Bewertungsmaßstäbe

IPC-Bow – und Twist (IPC 650-TM)

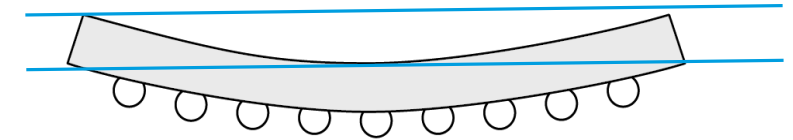


$$\begin{aligned}\text{Bow} &= \frac{\text{max. Kantenhöhe}}{\text{Kantenlänge}} \cdot 100\% \\ &= \frac{\Delta h_k}{L} \cdot 100\%\end{aligned}$$

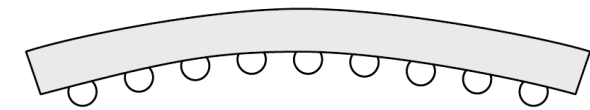
$$\begin{aligned}\text{Twist} &= \frac{\text{max. Höhe}}{2 * \text{Diagonale}} \cdot 100\% \\ &= \frac{\Delta h_{\max}}{2 * D} \cdot 100\%\end{aligned}$$

Koplanarität

= (höchster- niedrigster) Punkt

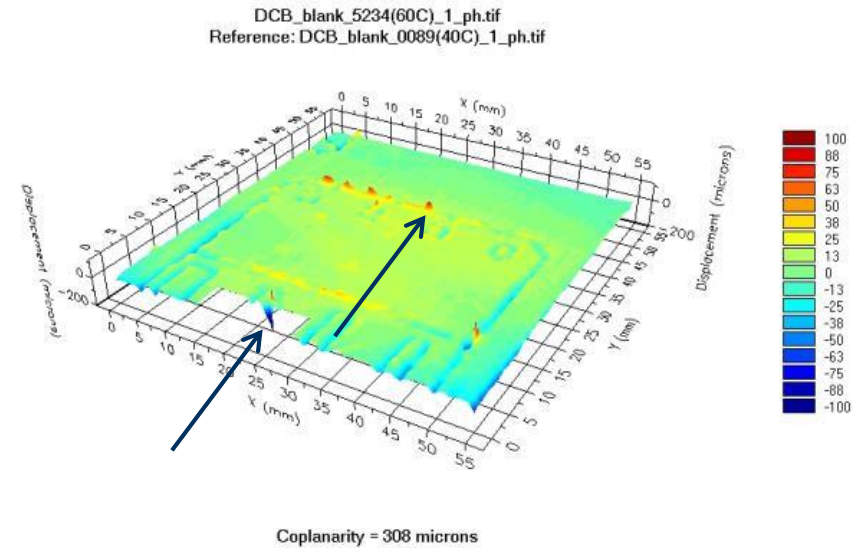
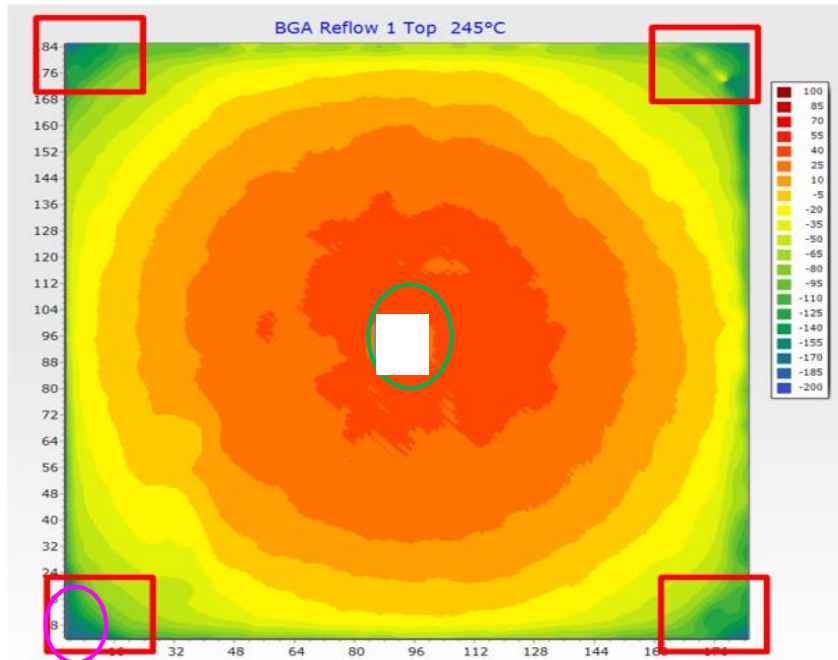


Konkav negativ



Konvex positiv

Probleme bei Ermittlung der Koplanarität



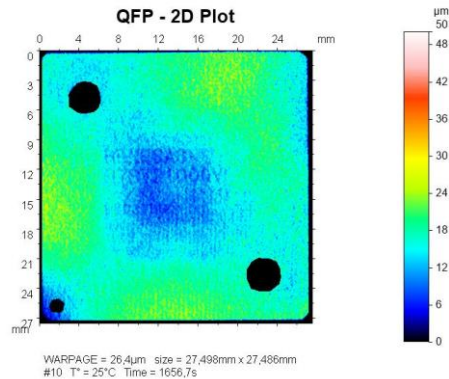
Koplanarität ist die Differenz zwischen Maximal- und Minimalwert!

Minimal- und Maximalwert werden beeinflusst:

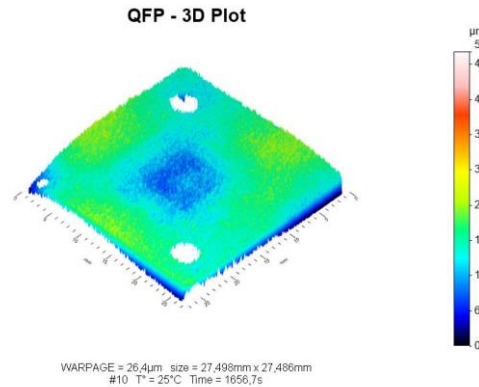
- „natürliche“ Unebenheiten (hier die Marker und die Ecken)
- Leiterbahnstrukturen
- Messartefakte (Ecken von Bauelementen) bzw. rechts die „Spitzen“ (hier hervorgerufen durch Löcher)
⇒ Artefakte müssen ausmaskiert werden!

Dynamische Verbiegungsmessung – TDM Batch Processing mit Maskierung

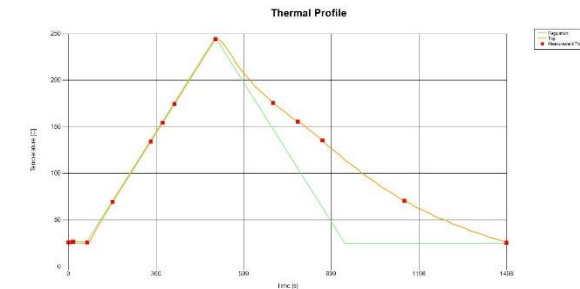
2D Plot



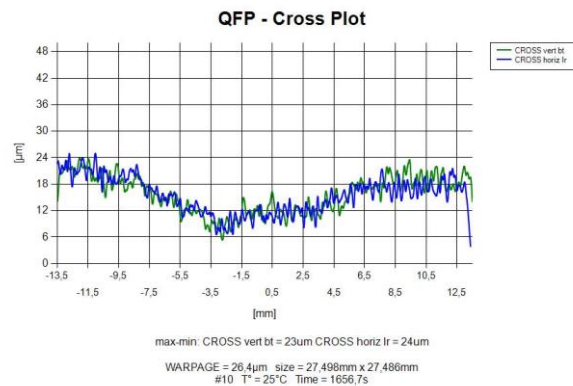
3D Plot



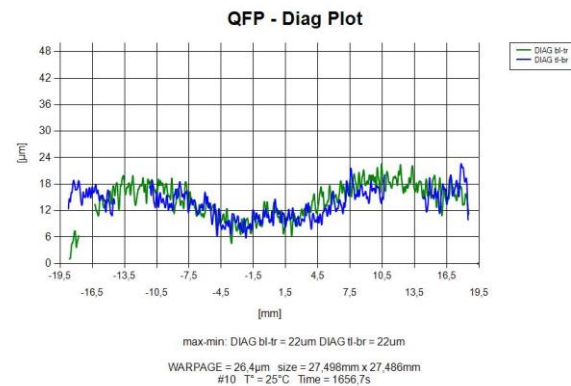
Temperaturprofil mit Messpunkten



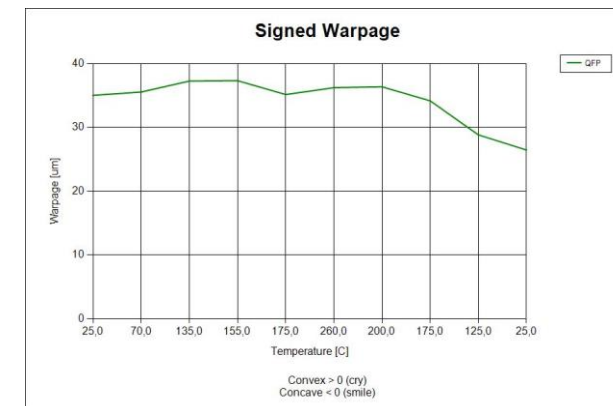
Höhenprofil – vertikal/horizontal



Höhenprofil – Diagonalen



Koplanarität mit Orientierung



Erweiterte Möglichkeiten

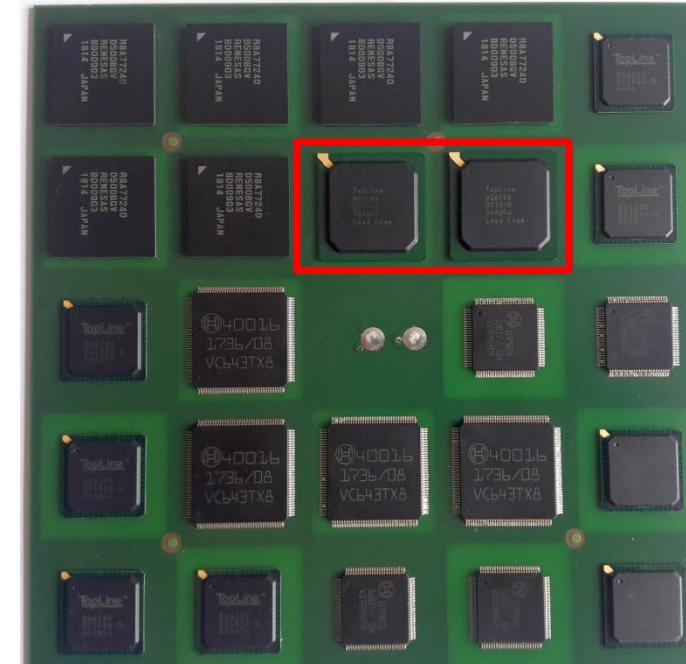
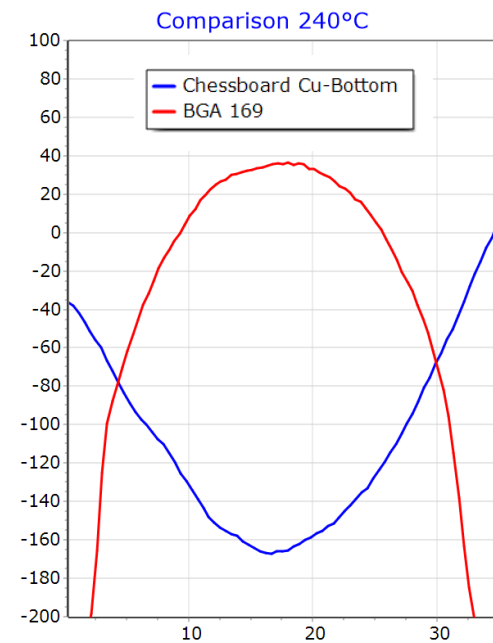
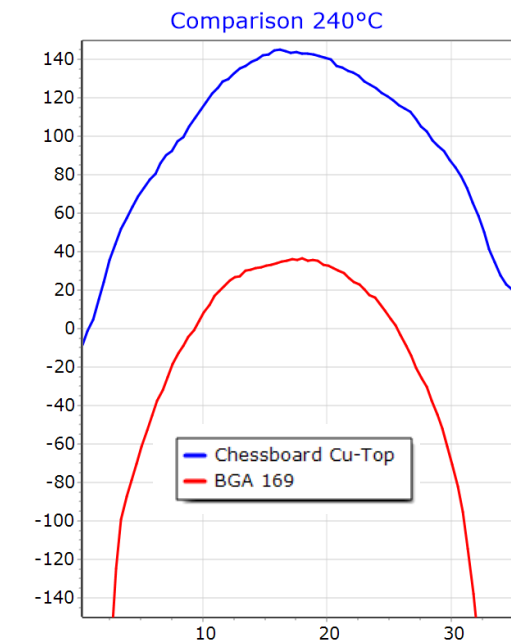
Untersuchungen dazu im AiF-Projekt **WARPAGE_ZUV** (04/2017 – 09/2019):

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

Projektziele:

- Auswirkungen der thermisch bedingten Verbiegungen auf **Qualität** und **Zuverlässigkeit** von SMT-Baugruppen
- Aufbau einer „Warpage“-Datenbank → Basis für Verbundmessungen
- Vorschläge für Grenzwerte von zulässigen thermisch bedingten Verbiegungen

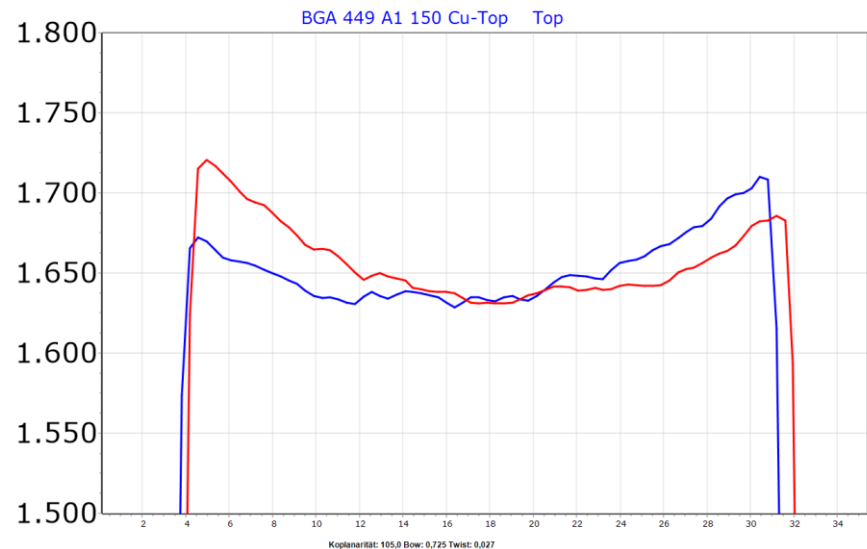
Verbundmessung – Vergleich spannungsfreier Zustand



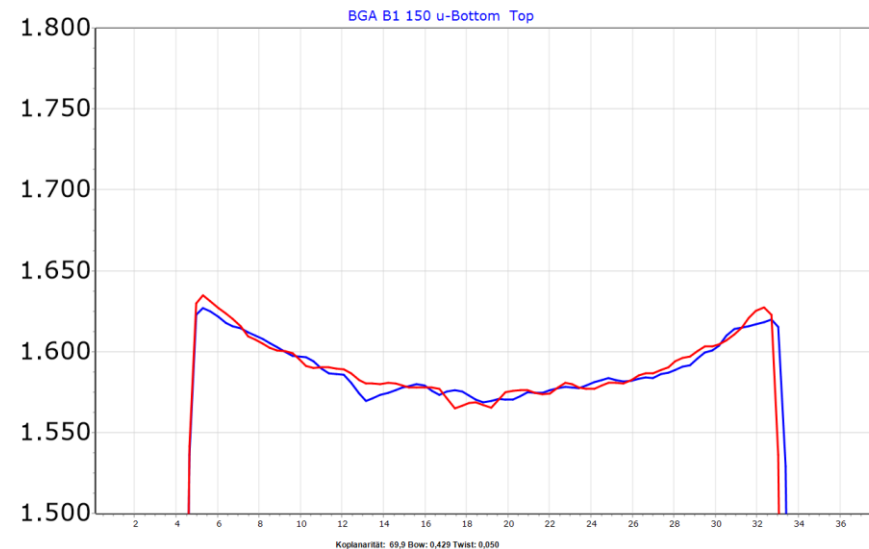
Verbundmessung – Vergleich nach dem Löten

Standoff / Verbiegung des Bauelements in Abhängigkeit der Leiterplattenbiegung

Cu-Top



Cu-Bottom



Einfluss Leiterplattenbiegung



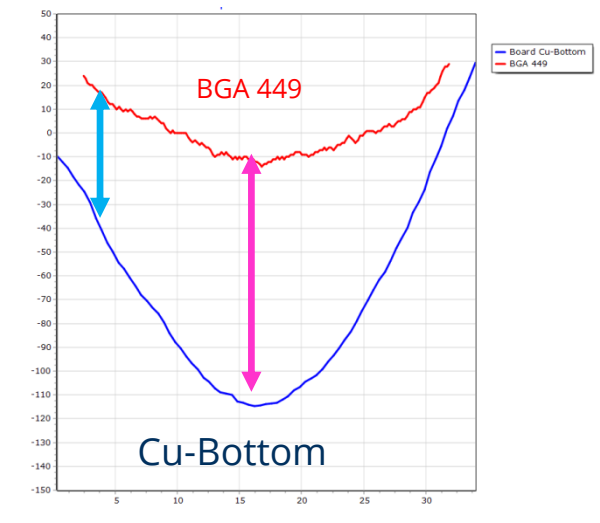
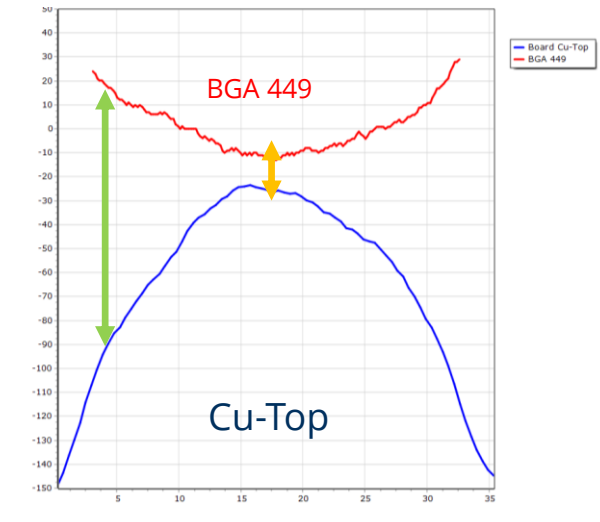
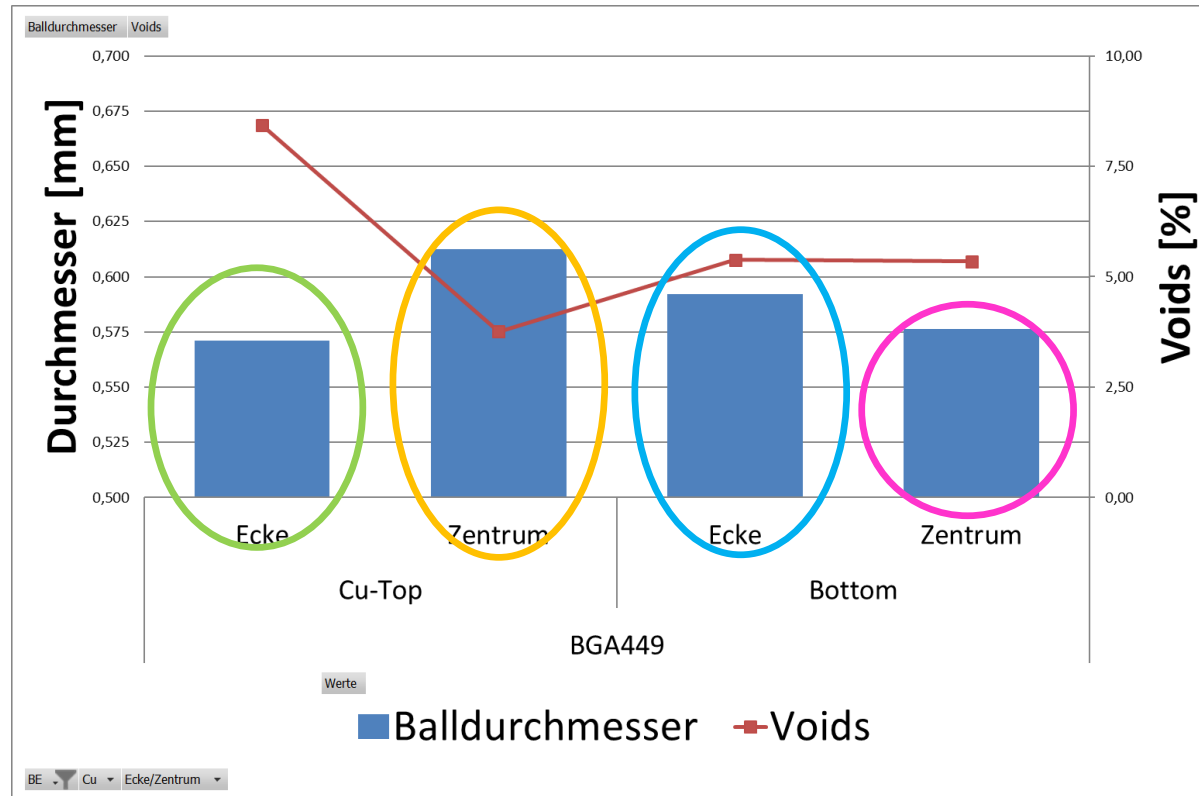
fast nur auf den Gesamtstandoff (60 µm Unterschied)

Bauteileinfluss dominiert!

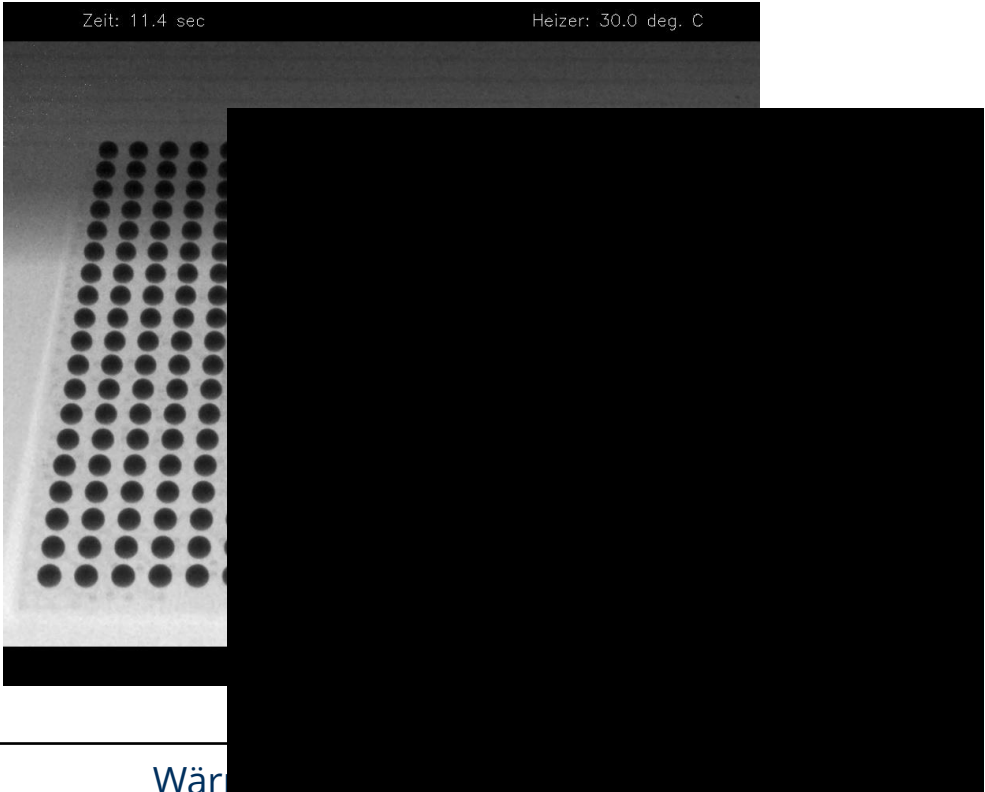


Verbiegung wird beim Erstarren „eingefroren“

Verbundmessung - Vergleich nach dem Löten plus Röntgenanalyse



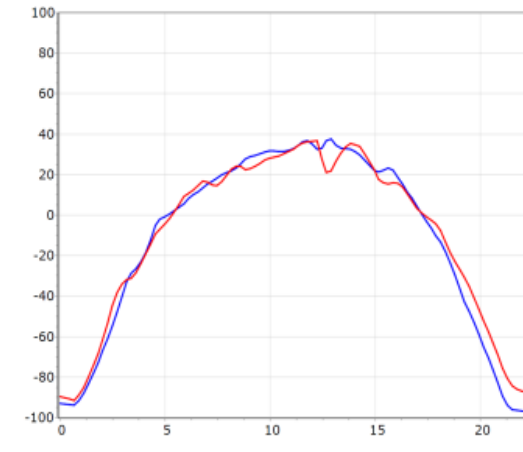
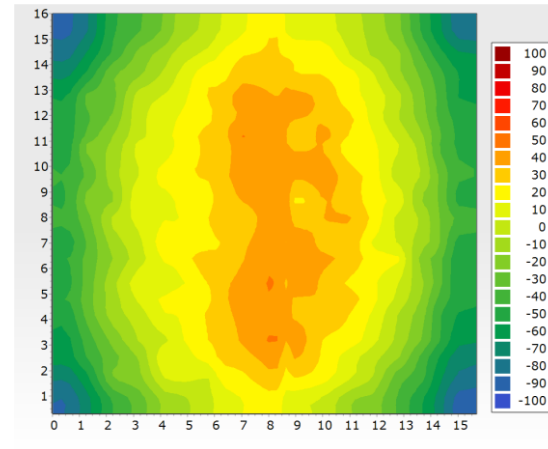
Messmöglichkeiten – In-situ-Röntgen



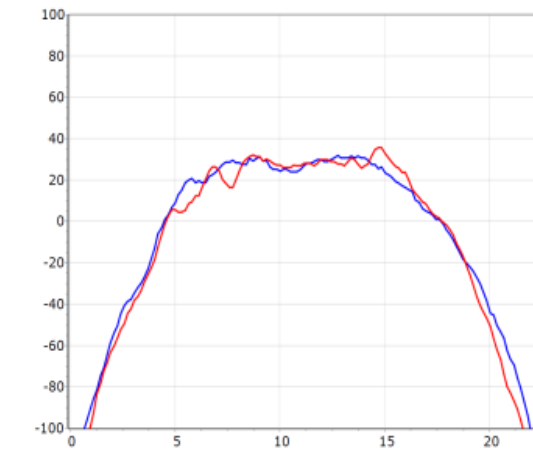
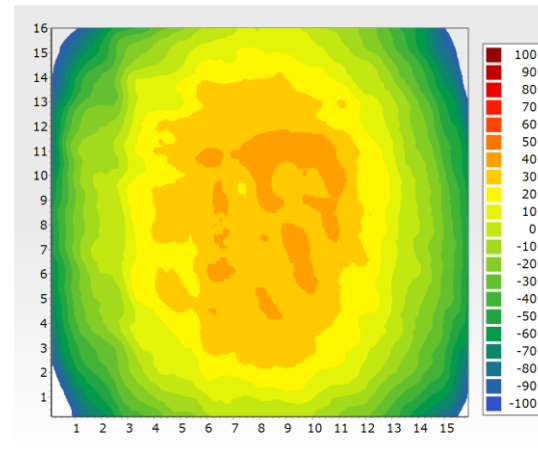
Methode der Wärmeübertragung	Wärmeübertragung
max. Temperatur	270°C
Heizrate	≤ 2 K/s
Druck (relativ)	- 65 kPa bis 230 kPa
Lötprofilschritte	≤ 16
Probengröße	≤ 25 x 25 mm²
Messgenauigkeit	≈ 5 µm

Vergleich Thermoire – In-situ

In-situ-Röntgen



Thermoire

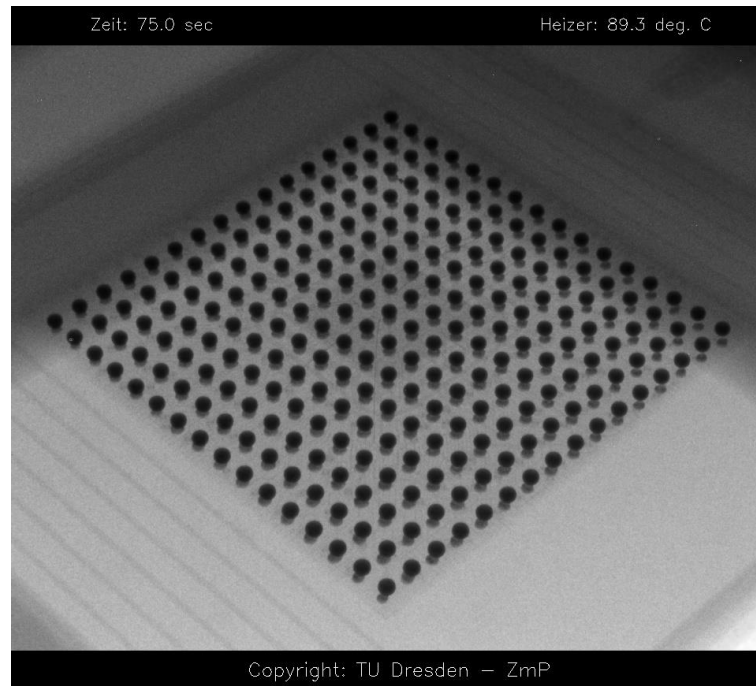


⇒ Kleine Unterschiede vorhanden!

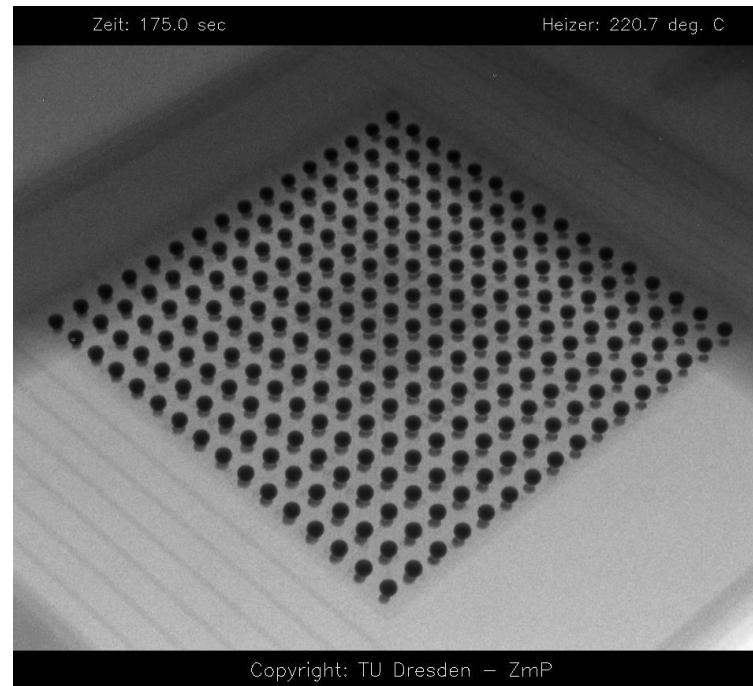
⇒ Einfluss der zu kleinen Temperaturgradienten beim Thermoire auf das Messergebnis ist nur gering!

Einblicke in die Lötverbindungen während des Lötens (Beispiel BGA)

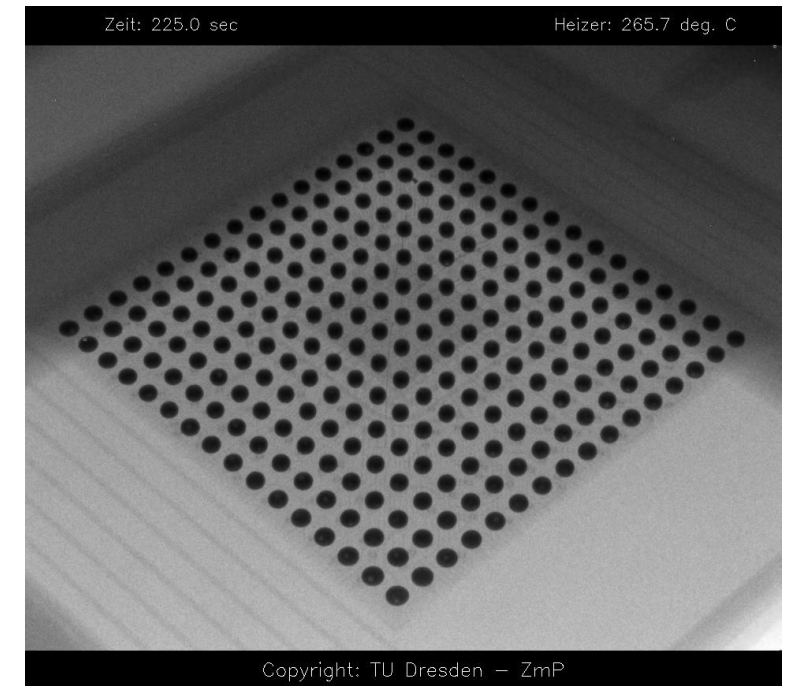
Aufheizen



Umschmelzen



Abkühlen



Zusammenfassung

- Vorstellung einer schnellen, hochauflösenden Topografiemessung
- Möglichkeit zur dynamischen Verbiegungsmessung im Bereich von -50°C bis +300°C
- Profile nahezu beliebig anpassbar
- Batchauswertung für Objekten gleichen Typs (2D, 3D, Diagonalen, Koplanarität)
- Übernahme der Daten in die Warpage-Datenbank
 - Spannungsfreier Vergleich von Objekten und Verbundpartner
 - Vergleich von Verbundmessungen
 - Verbesserte Algorithmen zur Bestimmung der Koplanarität
- In-situ- Messzelle für Einblicke in die Lötverbindungen während des Lötens

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Oliver Albrecht

Technische Universität Dresden
Zentrum für mikrotechnische Produktion
und
Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik
Helmholtzstr. 10
01069 Dresden

Phone: +49 351 463 364 08

E-Mail: Oliver.Albrecht@tu-dresden.de

<http://www.avt.et.tu-dresden.de>

<http://www.nanoeva.de>