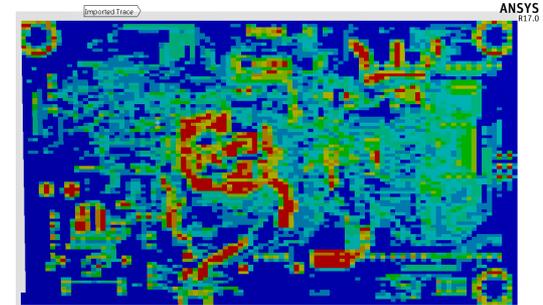


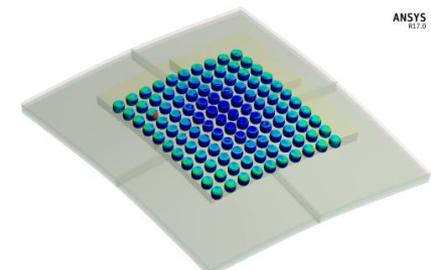
Simulation ist mehr als Software®



## Zuverlässigkeitsbetrachtungen bei elektronischen Leiterplattenkomponenten mit Hilfe thermomechanischer FEM-Simulation

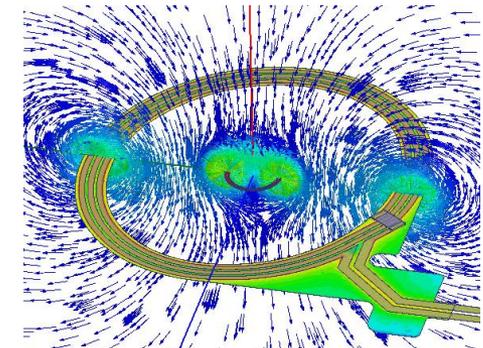
J. Wibbeler, T. Iberer, CADFEM GmbH

Chemnitzer Seminar Mikrosysteme: Von der Idee zum Prototyp  
30.11.2016, Fraunhofer ENAS, Chemnitz



## Simulation zur Zuverlässigkeitsbewertung - Motivation

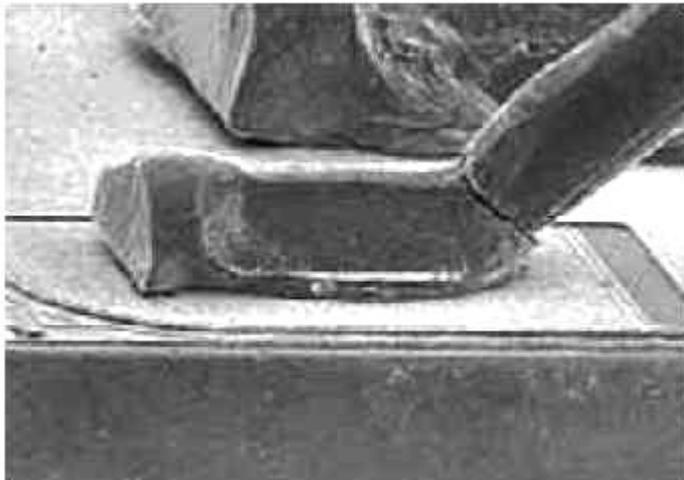
- Miniaturisierung, steigende Packungs- und Leistungsdichte
- Steigende Belastungen durch erweiterte Einsatzbereiche (klimatisch, thermisch, mechanisch)
- Verkürzung der Entwicklungszeiten (Time to Market)



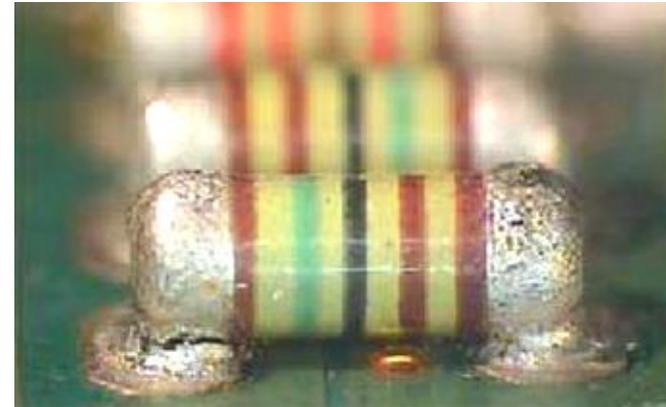
Sensimed AG

## Simulation zur Zuverlässigkeitsbewertung – Schadensfälle

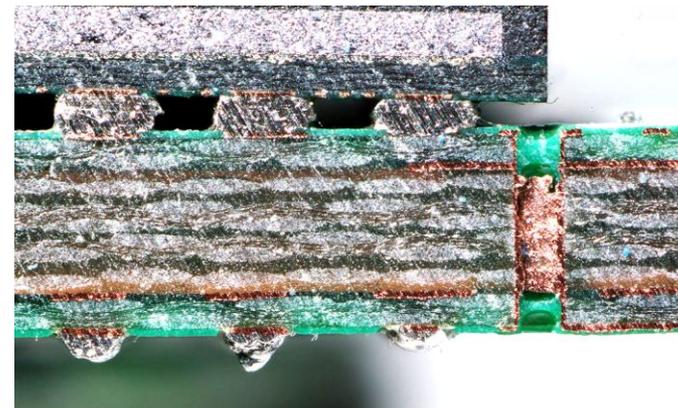
- Versagen elektrischer/mechanischer Verbindungen



Quelle: He, Pan, Wan, Zang, Tey, Wu, „ Heel Crack and Lead-Free Soldering“, Tencon 2006



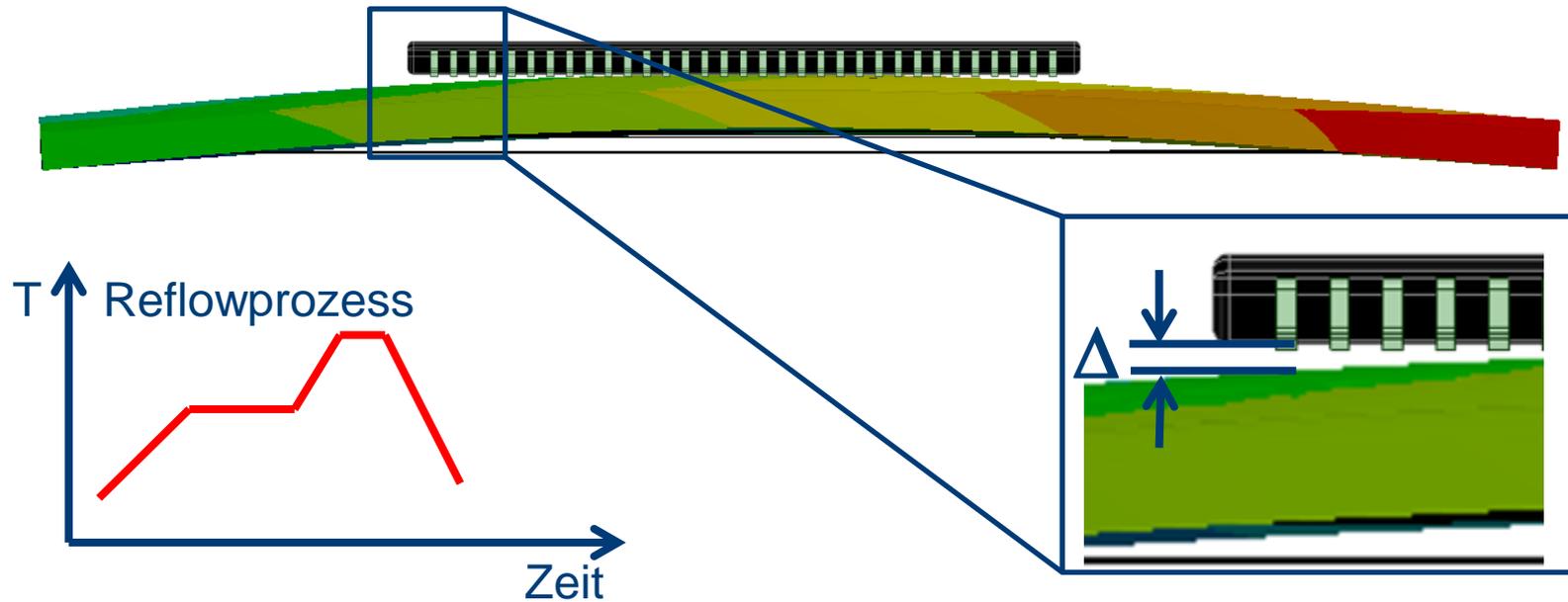
Quelle: Wolfgang, „Thermal Engineering of Power Electronics Systems“. ECPE, 2014



Quelle: Wikipedia, „Ball Grid Array“, 27.06.2015

# Simulation zur Zuverlässigkeitsbewertung – Schadensfälle

Bsp.: Zeitvariante Verbiegung einer Platine beim Lötprozess:



- Nach Erstarren → Klaffungen
- Fehlverbindungen
- Bauteile unter Spannung

## Simulation zur Zuverlässigkeitsbewertung – thermomechanisch

Ablauf:

- Thermomechanische Zuverlässigkeitssimulation – Prinzip
- Automatisierte Reduktion des Detaillierungsgrades für PCBs  
→ ECAD Trace Mapping
- Sensitivitätsanalyse

# CADFEM<sup>®</sup>

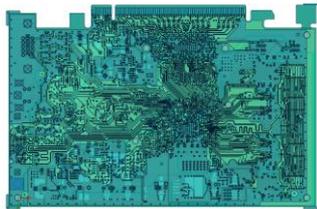


Simulation ist mehr als Software<sup>®</sup>

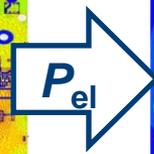
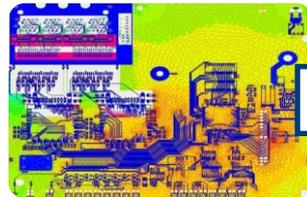
## Thermomechanische Zuverlässigkeits- simulation – Prinzip

# Thermomechanische Beanspruchungsanalyse

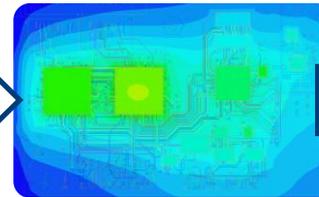
Schaltung, Layout



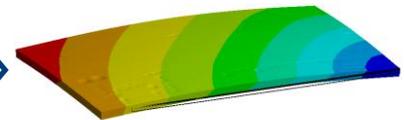
Verluste



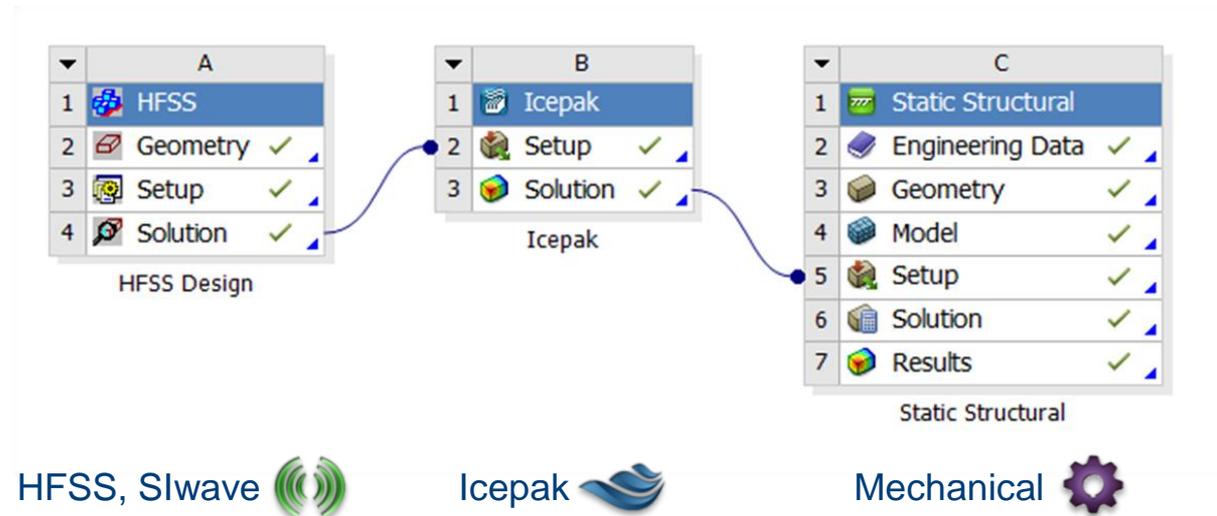
Temperatur



th. Deformation



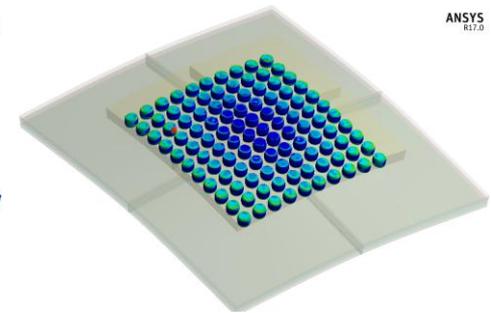
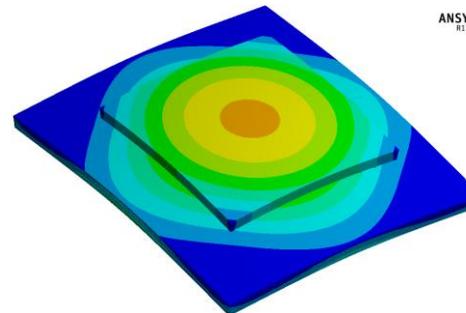
Projektstruktur in ANSYS-Workbench-Umgebung:



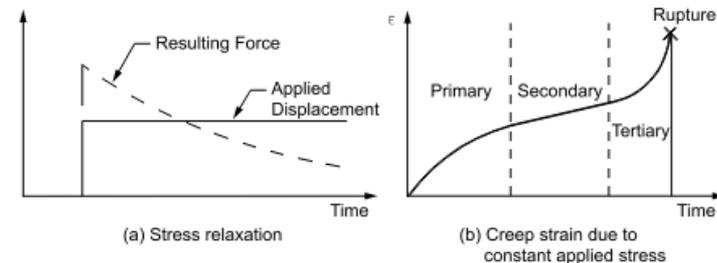
# Thermomechanische Schadensmechanismen

Wie viele Temperaturzyklen überlebt die Baugruppe?

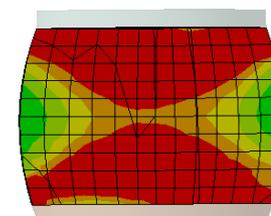
- Zyklische Beanspruchungen:
  - Temperaturniveaus
  - Temperaturwechsel pro Zeiteinheit
  - statische Vorspannung (Fertigung)



- Material (Lot)
  - Kriechen, Viskoplastizität



- FEM-Ergebnis:
  - lin. + nichtlin. Dehnungen/Spannungen

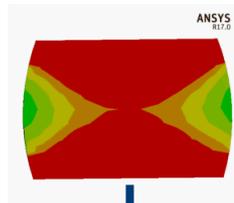
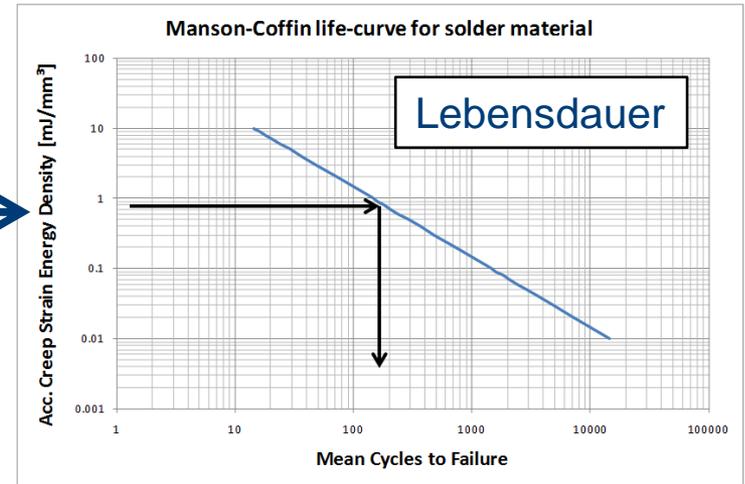


- Ableitung Ermüdung, Rissbildung
  - Postprocessing der FEM-Ergebnisse

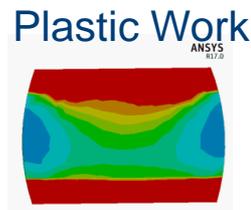
## Thermomechanische Schadensmechanismen

Bewertungsparameter:

- Inelastische Verzerrung je Lastzyklus
- Akkumulierte Verzerrungsenergiegedichte je Lastzyklus
- Lebensdauermodell nach Darveaux (bruchmech. Defin. der Wöhlerkurve)

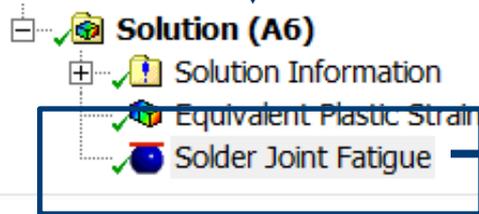


Plastische Dehnung  
(FEM-Ergebnis)



Lebensdauerergebnis

Cycles to Crack Initiation	Rate of Crack Propagation	No. of Propagation cycles to Failure
5262199.92595	1.7171528482e-08	23294373.6150
10280745.4278	1.11501975652e-08	35873803.8193
16949156.4756	8.0778363999e-09	49518210.0996



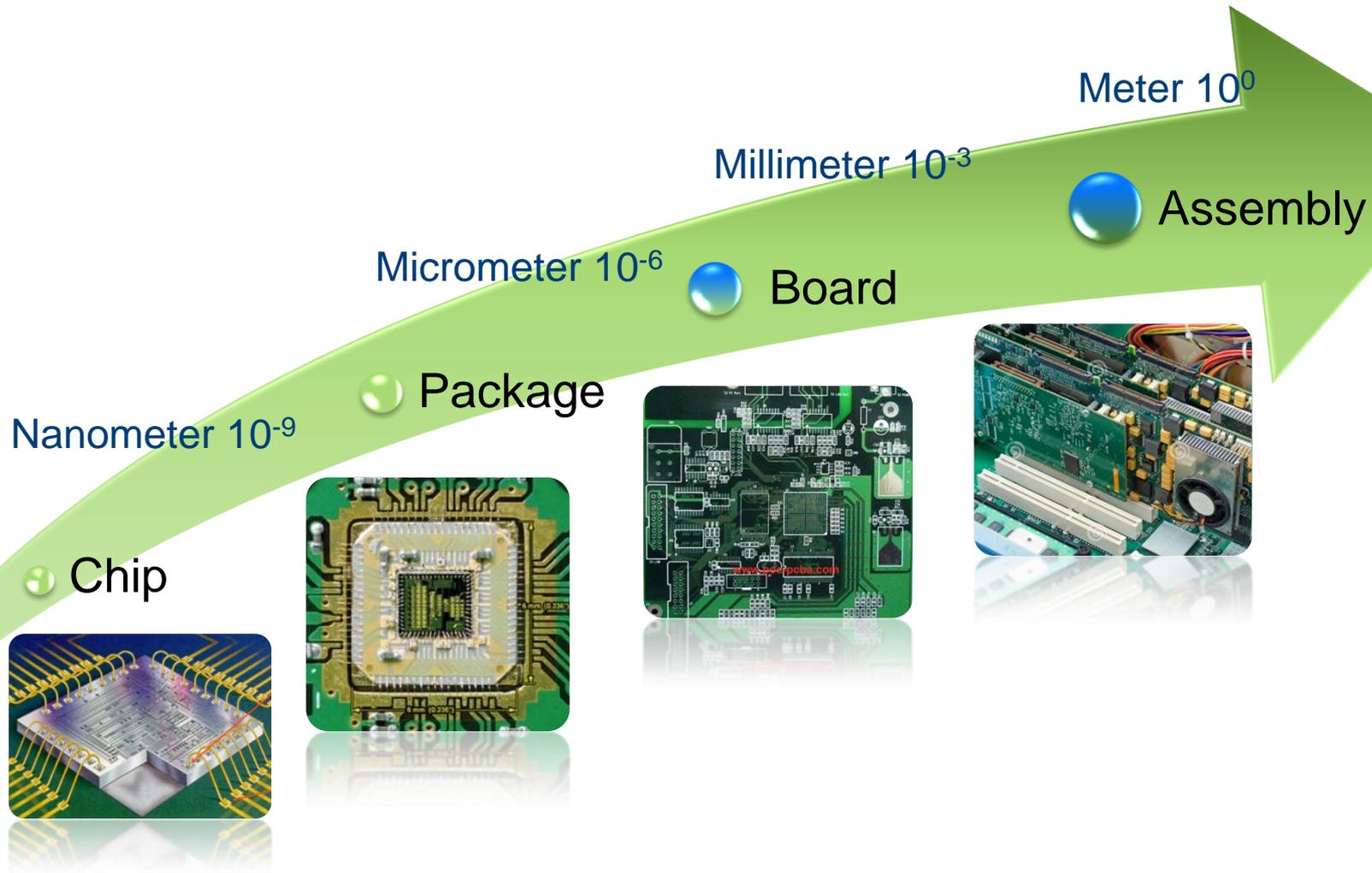
# CADFEM<sup>®</sup>



Simulation ist mehr als Software<sup>®</sup>

## Automatisierte Reduktion des Detailierungsgrades für PCBs

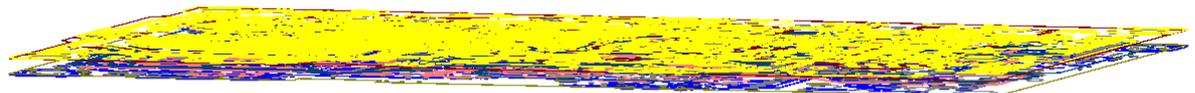
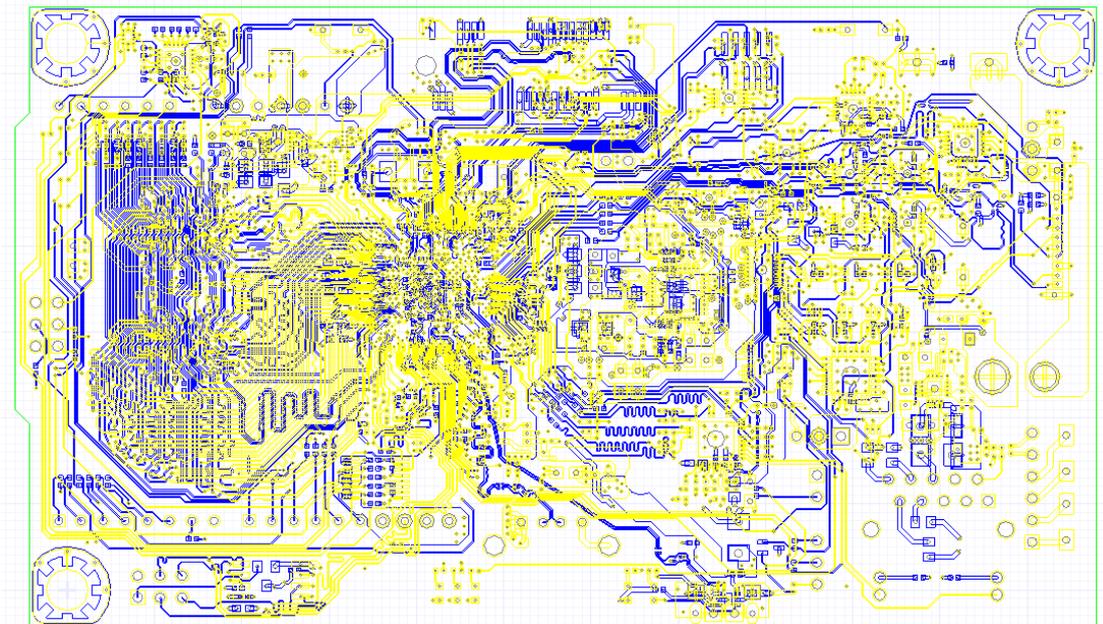
# Skalenproblematik



## Skalenproblematik

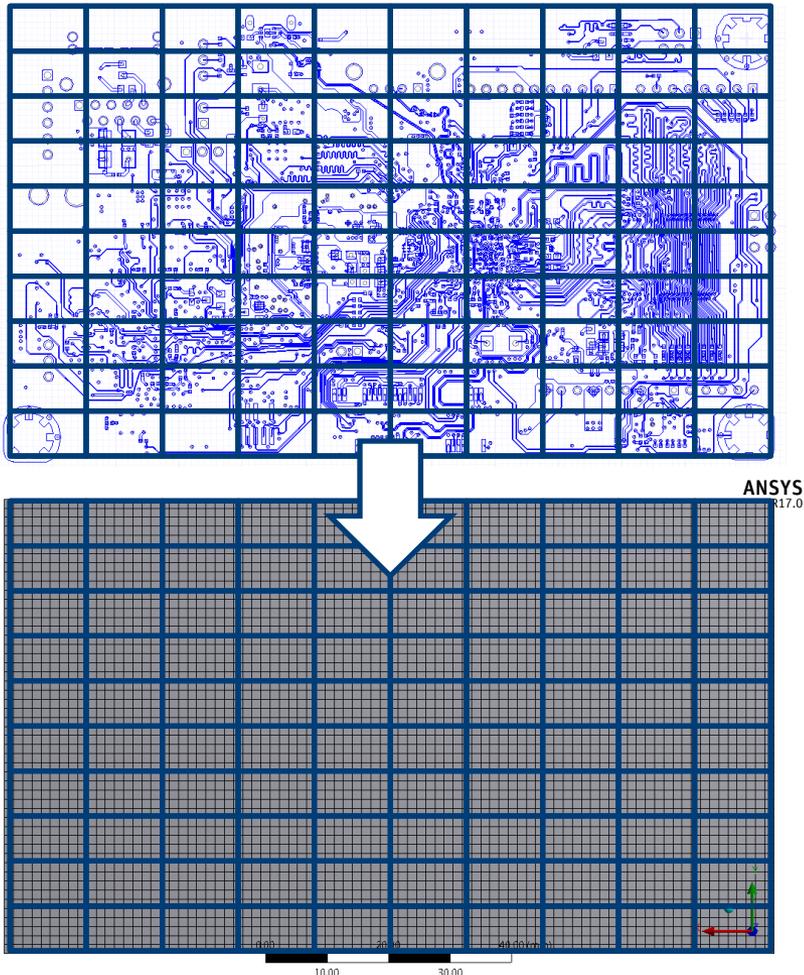
Herausforderung für (thermo)mechanische Simulationen:

- 3D-FEM-Modell mit passenden Eigenschaften bzgl. Steifigkeit und therm. Dehnung
  - mehrere Lagen
  - filigrane, unregelmäßige Leiterzugstruktur
- Lösung: ***ECAD Trace Mapping***
  - Mapping der Materialeigenschaften auf "low-size" FEM-Modell
  - geringer Aufwand für komplexe PCBs

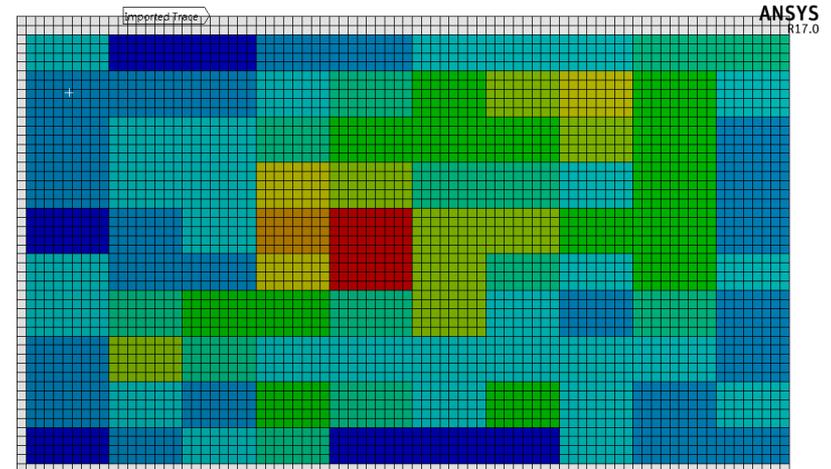


Intel Galileo Edison Gen2 Board, Quelle: [www.intel.com](http://www.intel.com)

# ECAD Trace Mapping – Beispiel Bottom Layer Edison Gen 2 Board

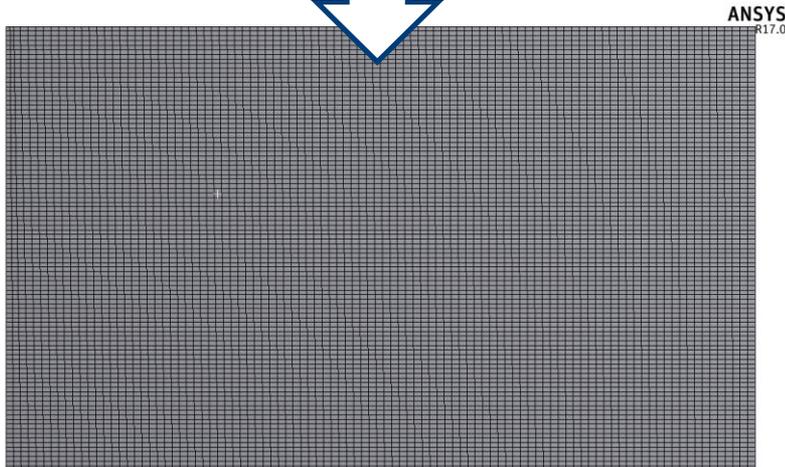
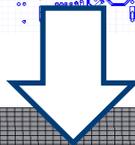
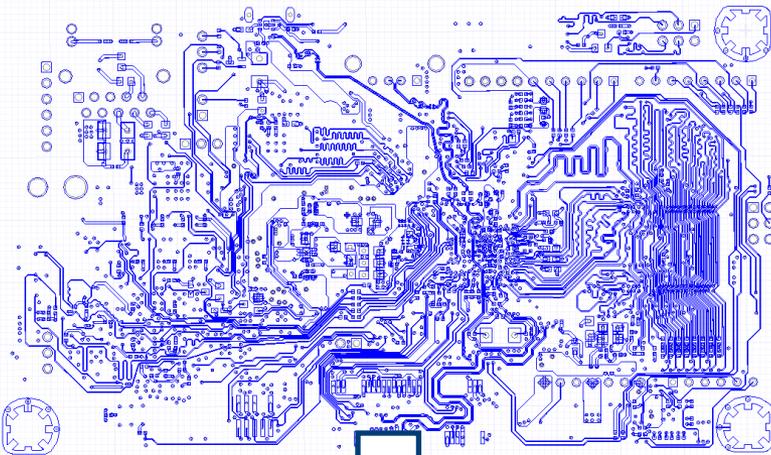


Mapping-Beispiel für bottom Layer:  
10x10 Mapping Grid

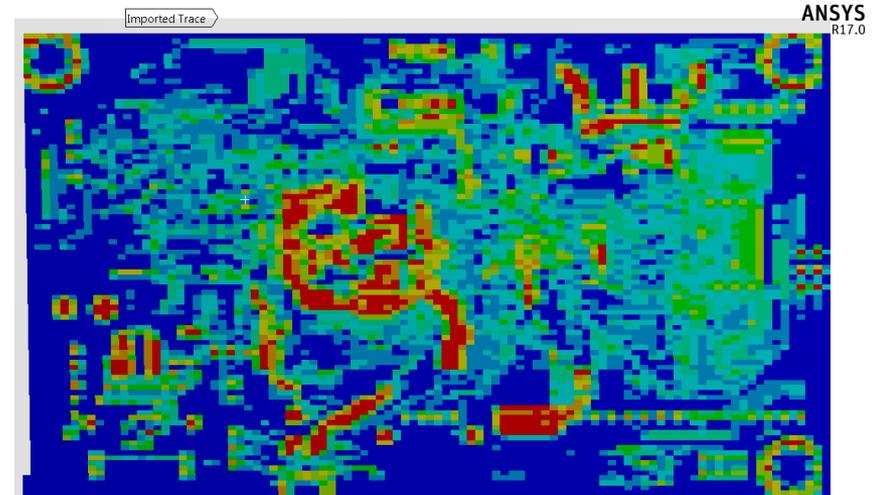


Anteilige Kupfereigenschaften im  
Verhältnis zum Substrat auf FE-Netz

# ECAD Trace Mapping – Beispiel Bottom Layer Edison Gen 2 Board

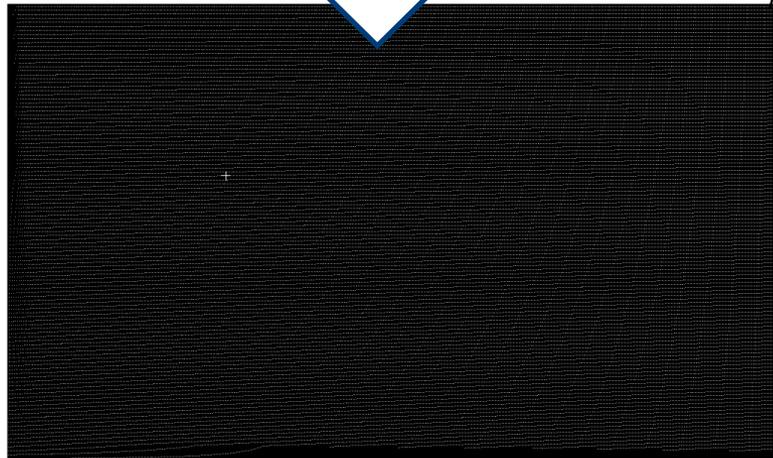
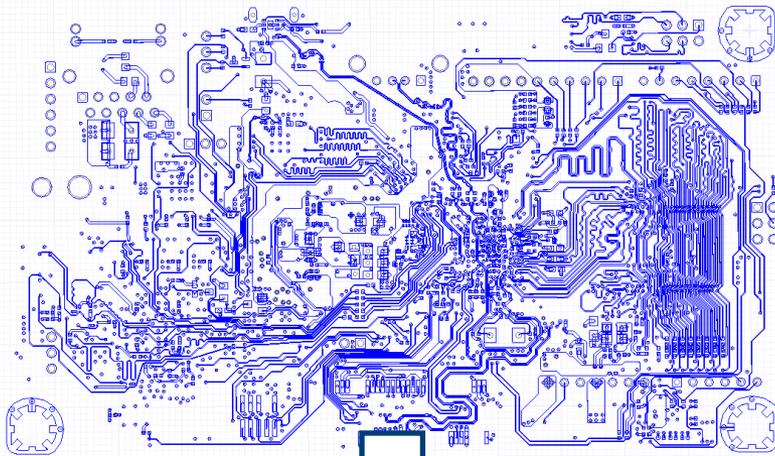


Mapping-Beispiel für bottom Layer:  
100x100 Mapping Grid



Anteilige Kupfereigenschaften im  
Verhältnis zum Substrat auf FE-Netz

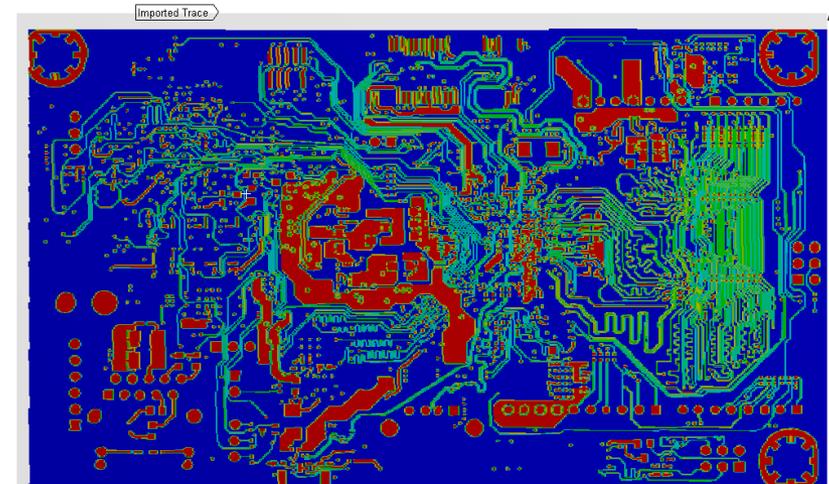
# ECAD Trace Mapping – Beispiel Bottom Layer Edison Gen 2 Board



ANSYS  
R17.0



Mapping-Beispiel für bottom Layer:  
500x500 Mapping Grid



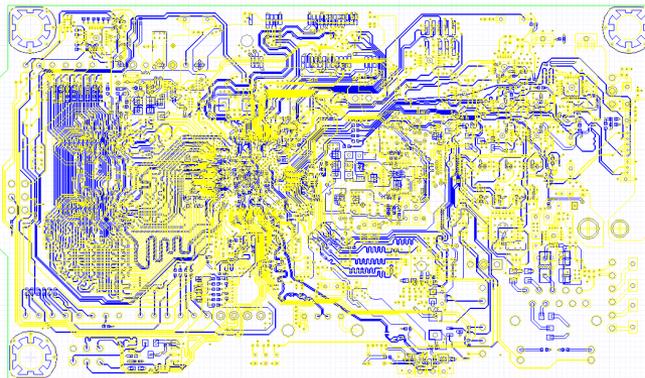
ANSYS  
R17.0

Anteilige Kupfereigenschaften im  
Verhältnis zum Substrat auf FE-Netz

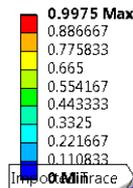
## Anwendungsbeispiel: thermomechanischer Verzug Edison-Board

- Homogene Temperaturbelastung 220°C (Lötprozess)

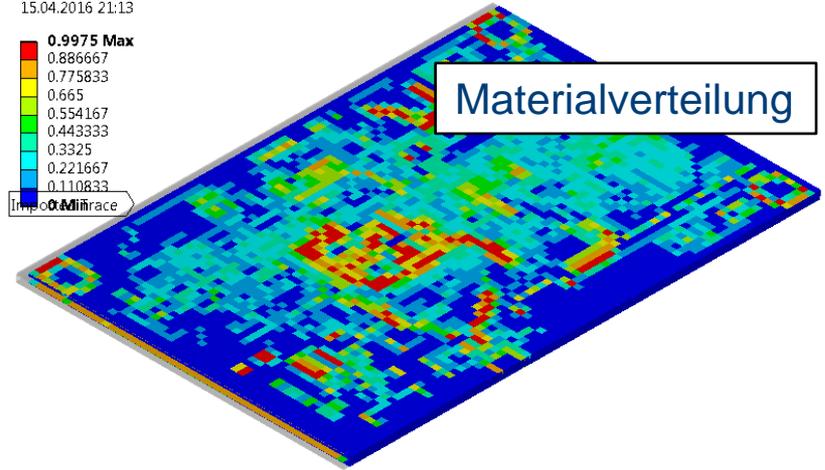
→ max. Deformation = 0.13 mm



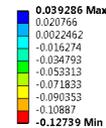
Imported Trace  
15.04.2016 21:13



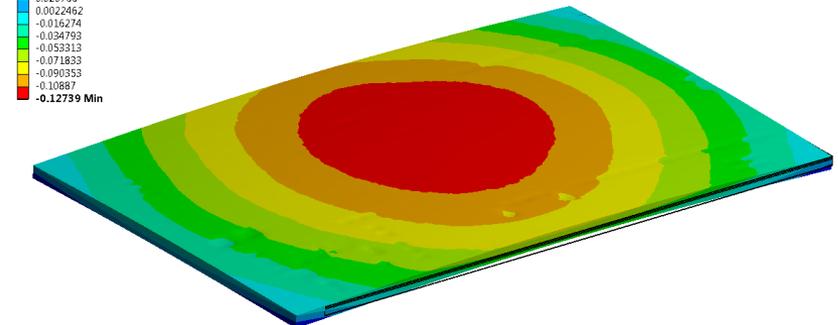
Materialverteilung



Directional Deformation  
Type: Directional Deformation(Z Axis)  
Unit: mm  
Global Coordinate System  
15.04.2016 21:09



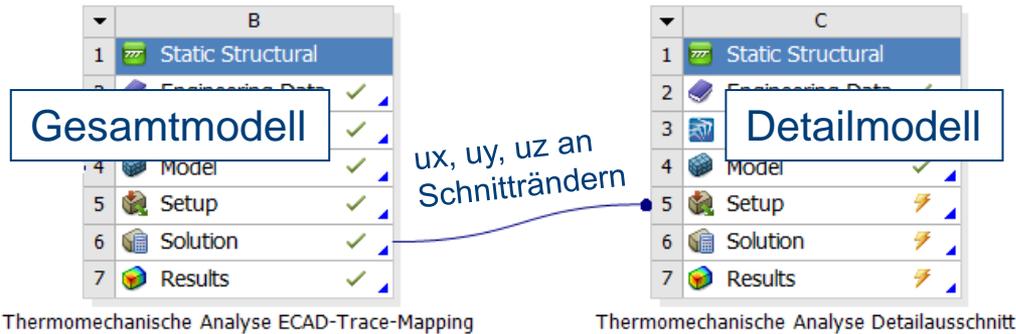
Therm. Deformation



ANSYS  
R17.0

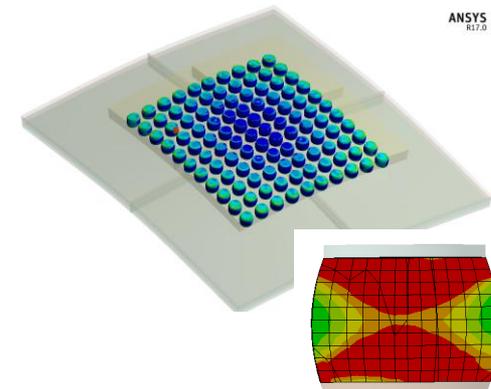
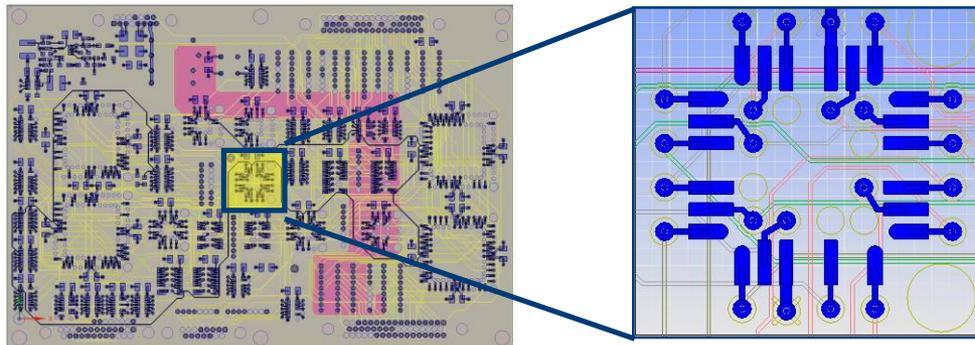
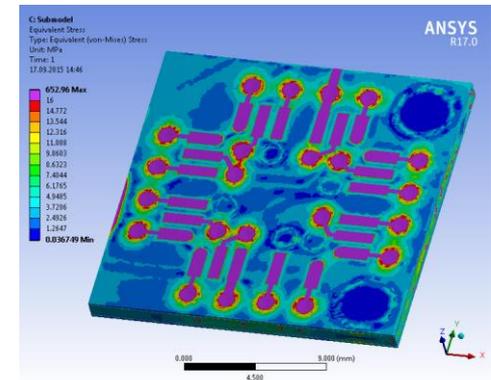
## Detailanalyse durch Submodelltechnik

- Für Bewertung von Spannungen und Dehnungen ist exakte Geometrie der Leiterbahnen, Vias etc. notwendig → Lösung Submodelltechnik



Thermomechanische Analyse ECAD-Trace-Mapping

Thermomechanische Analyse Detailausschnitt



# CADFEM<sup>®</sup>



Simulation ist mehr als Software<sup>®</sup>

## Sensitivitätsanalyse

## Zuverlässigkeit des Simulationsergebnisses?

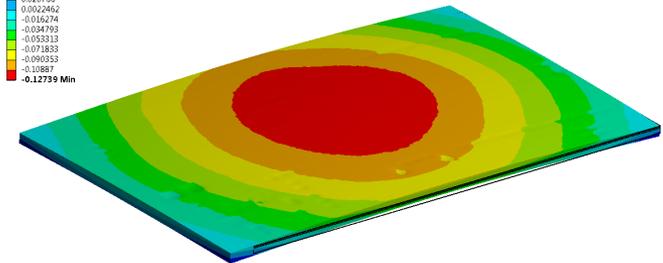
Einflüsse auf das Simulationsergebnis:

- Prozessdaten
- Materialdaten

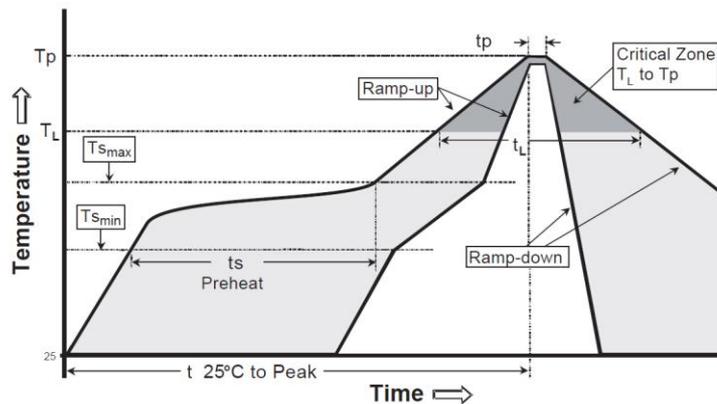
Directional Deformation  
 Type: Directional Deformation(Z Axis)  
 Unit: mm  
 Global Coordinate System  
 15.04.2016 21:09

0.039286 Max  
 0.020766  
 0.0022462  
 -0.016274  
 -0.044793  
 -0.053313  
 -0.071833  
 -0.090353  
 -0.10887  
 -0.12739 Min

ANSYS  
R17.0



Simulationsergebnis !?  
 $u_{Z,max}(T=120^{\circ}C) = 0,06mm$



Reflow Profile nach JEDEC J-STD-020C

Hersteller	CTE-X [ppm/°C]	CTE-Y [ppm/°C]	CTE-Z [ppm/°C]
LeitOn (FR4)	17	12	70
Isola (FR402)	15	15	50
Panasonic (R-17)	11...13	13...15	65

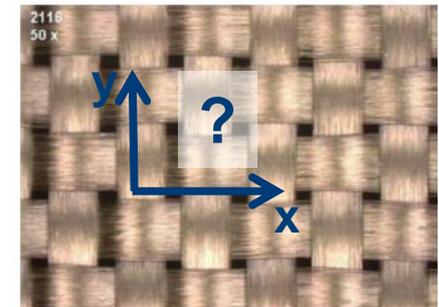
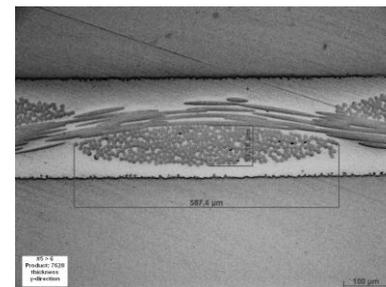
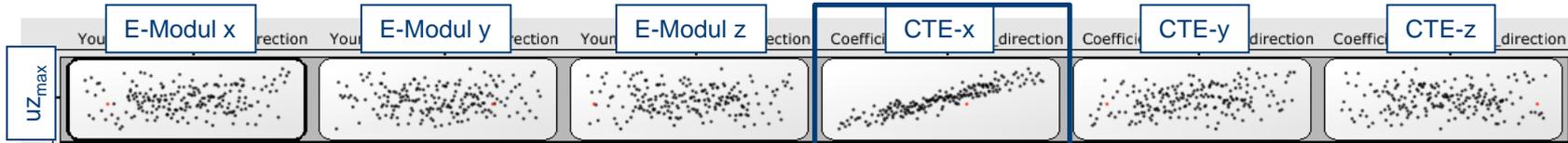


Bild: Isola Group

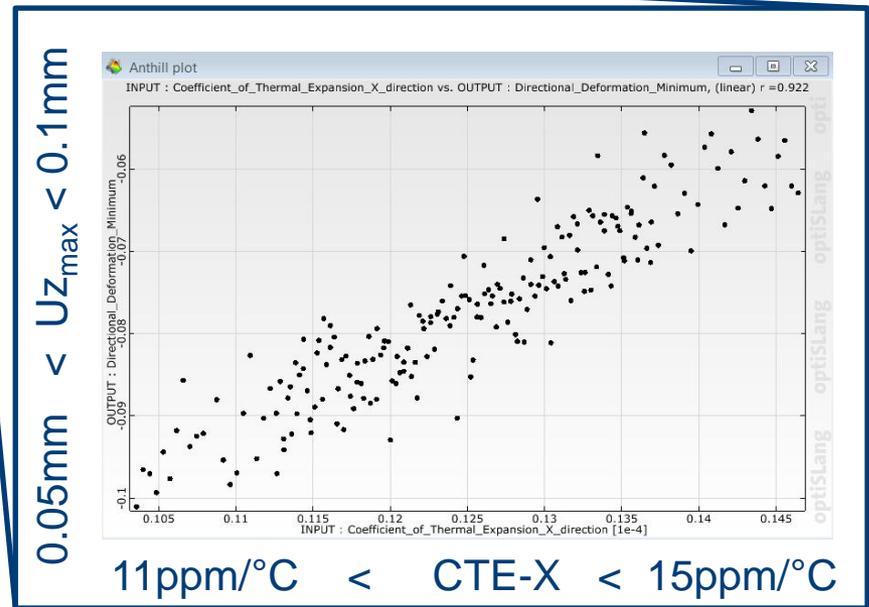
S. Rzepka, A Multilayer PCB Material Modeling Approach Based on Laminate Theory, EuroSimE 2008

# Softwaregestützte Sensitivitätsanalyse



Designstudie mit variablen Eingabedaten für FR4:

- Variation E-Modul, CTE
- DesignOfExperiments(DOE)-Analyse analog zu statistischer Versuchsplanung
- ➔ statistische Verteilung der Einflussgrößen
- ➔ Reduktion der Design Points (= Experimente) im Vergleich zum "Abrastern" der Wertebereiche



- Resultierende Streubreite für  $uz_{max}$   
 $0.05mm < uz_{max} < 0.1mm$
- EIN dominanter Parameter: CTE-x

# CADFEM®



Simulation ist mehr als Software®

## Zusammenfassung

**Bewährte Standardmethodik**

**+**

**dedizierte Werkzeuge für die spezifische Anwendung**

**=**

**anwendungstaugliche Simulation**