

# Automatisierte 3D-Thermografie und Defektlokalisierung an Großbauteilen

Somen DUTTA<sup>1</sup>, Pascal KELLER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt; Am Technologiezentrum 4, 86159 Augsburg; [somen.dutta@dlr.de](mailto:somen.dutta@dlr.de); <sup>2</sup> [pascal.keller@web.de](mailto:pascal.keller@web.de)

## Kurzfassung

Produktionsintegrierte Thermografie erfordert Robotikanlagen bei der Planung, Durchführung und Überwachung der Produktion. Bei der steigenden Produktkomplexität und den verkürzten Fertigungszeiten ist die Arbeitsgenauigkeit von Robotikanlagen für spezielle Aufgaben oft nicht ausreichend. 0,1° absolute Roboterungenauigkeit (TCP) führt bei einem Meter Arbeitsabstand zu einem Positionierungsfehler von ca. 3mm. Zusätzlich gibt es Unterschiede zwischen dem CAD-Modell und dem gefertigten Bauteil. Eine 2D-Auswertung und Defektlokalisierung einzelner Thermografie-Bilder bei einem mehrfach gekrümmten und großen Bauteil ist sehr aufwendig und nicht automatisierbar. Mit der Laserprojektorbasierten Texture Mapping Methode (am DLR ZLP Augsburg) sollen die vorgenannte Defizite verbessert bzw. eliminiert werden. Zur Herstellung einer 2D-3D Beziehung werden aus den 3D-Referenzpunkten des Modells mit den 2D-Punkten der zugehörigen Bilder die Projektionsparameter bestimmt. Das 3D-Thermogramm soll zunächst direkt für weitere Strukturanalyse (Concessions) in die CAD Umgebung importiert werden. Die 3D-Thermografie ermöglicht folgende weitere Aspekte hinsichtlich der Industrialisierung:

- Grundlagenbeschaffung für leichte 3D-Thermografiedarstellung für Nichtexperten
- Komplexer dreidimensionaler Aufbau erfordert 3D-Analyse → Entwicklung einer 3D-Defektanalysesoftware
- Erstellung einer Thermotomografie
- Leichte Messwertverortung in 3D und Bauteilanalyse in gesamtem Zusammenhang
- Einfachere und bessere Beurteilung der Messdaten durch Überblendung der Messdaten mit dem Realbauteil (Augmented Reality)
- Eindeutige Visualisierung von Fehlerbereichen
- Bestimmung der Fehlergröße und Ausrichtung
- Industrie 4.0: Dokumentation für Rückverfolgung des gesamten Strukturlebenslaufs

Eine visuelle Fehleruntersuchung der texturierten 3D-Thermogramme zeigt ein vielversprechendes Ergebnis. Der Fehler bei zusammengesetzten Bildern (Stitching) liegt durchgängig weit unter 2 mm. Die visuelle Untersuchung zeigt, dass an der zusammengesetzten Stelle die Rovings am Randbereich stärker versetzt sind als in der Bildmitte. Eine detaillierte Untersuchung der Methode ist beim nächsten Versuch eingeplant.

# Automatisierte 3D-Thermografie und -Defektlokalisierung an Großbauteilen



Abb. 1: Thermografie Endeffektor im Einsatz am Roboter bei der produktionsintegrierten QS

### Problemstellung

- Unzureichende Absolutgenauigkeit von Roboteranlagen für spezielle Aufgaben
- TCP Positionierungsfehler z.B.:  $0.1^\circ$  bei 1m Kamerabstand  $\rightarrow 3,023$  mm
- Unterschied zwischen CAD Modell und gefertigtem Bauteil
- Lateraler Wärmefluss beeinflusst kontinuierliche Messung
- Einzelbildauswertung in 2D
- Defektlokalisierung in 2D

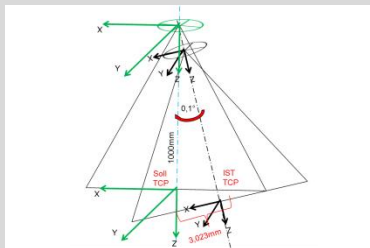


Abb. 2: TCP Positionierungsfehler

### Motivation

- Vernachlässigung von Roboterungenauigkeiten
- 3D-Visualisierung und 3D-Defektlokalisierung
- Lückenlose Messung
- Einsatzmöglichkeit dieser Methode bei größeren Bauteilen
- In Roboterzellen
- In Laboren ohne Manipulator/Roboter

### Lösungsansatz

- Bauteilbezogene Thermografie Prüfung
- Laserpunkte als Landmarken pro Messungsfeld
- 9 Punkte als 3D-Landmarken pro Roboterpose
- 2D-Aufnahme der Landmarken mit Thermokamera
- 3D Texture Mapping mithilfe von 3D-2D Korrespondenzpunkten pro Messungsfeld

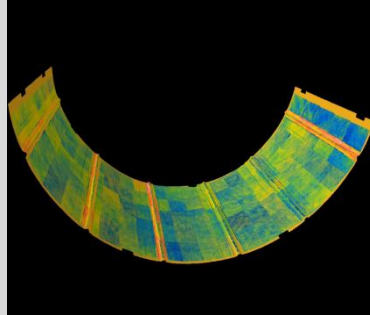


Abb. 3: 3D Thermografie am Großbauteil (Rumpfschale A320)

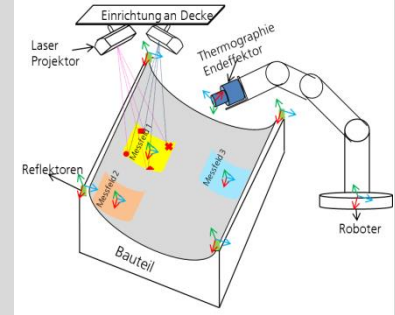


Abb. 4: Systemüberblick (Schematische Darstellung), siehe auch Abb. 5

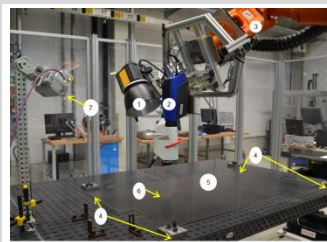


Abb. 5: Versuchsaufbau, siehe auch Abb. 4

1. Halogenlampen (Teil des Endeffektors)
2. Thermografie-Kamera (Teil des Endeffektors)
3. Roboter
4. Reflektoren zur Laserprojektorkalibrierung
5. CFK Platte
6. Projizierter Laserpunkt
7. Laserprojektor

### Prozessschritte der 3D-Thermografie und Messwertverortung

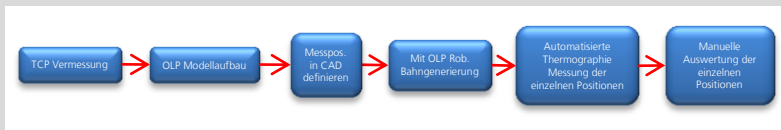


Abb. 6: Prozessschritte der automatisierten Thermografie am Großbauteil

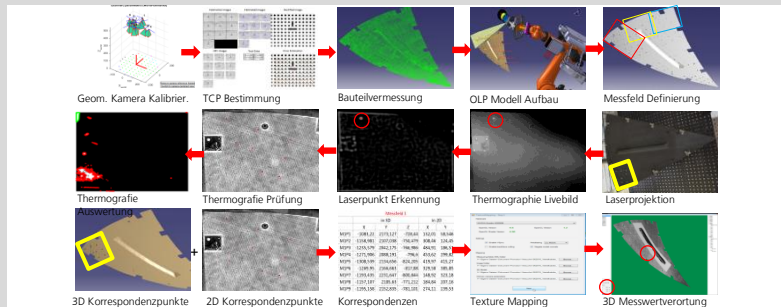


Abb. 7: Automatische 3D-Thermografie am zweifach gekrümmten Viertelbauteil (Druckklotte A350)

### Systemvalidierung und Zusammenfassung

- Laserpunkteextrahieren als 2D-Bildkoordinaten durch Template Matching
- Validierung aller möglichen Einflussfaktoren zur sicheren Punkterkennung
- Faserverlauf zwischen zwei gemappten Bildern zeigt hohe Genauigkeit
- Umsetzung und Vergleich mit anderen Texture Mapping Methoden
- Gesamtsystemanalyse

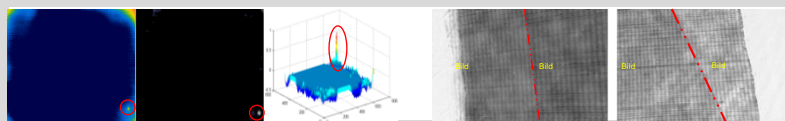


Abb. 7: Automatische Laserpunkterkennung (links), vergrößerter Ausschnitt (rechts)



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz-Gemeinschaft

**Kontakt**  
Somen Dutta M.Sc.  
Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie  
Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) Augsburg  
Tel. +49 821 319874 1045, somen.dutta@dlr.de  
dlr.de/augsburg