
Leichtbauprüfung mittels Multisensorsystemen

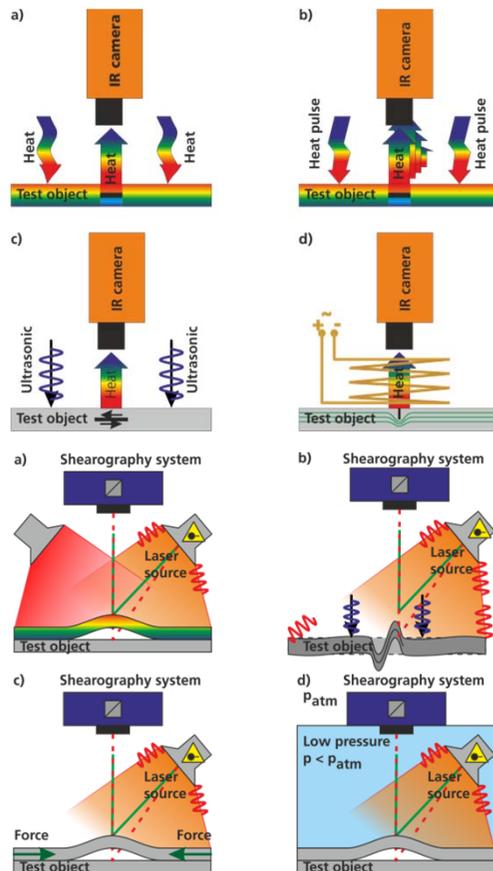
Wolfgang Schmidt

Fraunhofer IPA

Warum Multisensorsysteme?

- Ausnutzung der verfahrensspezifischen Stärken zum Defektnachweis
- Verfahrensredundanz durch unabhängig arbeitende Prüfverfahren
- Ökonomische Aspekte
 - Reduzierung Rüst- bzw. Prüfzeit,
 - geringerer Hardwareaufwand bei geeigneter Sensorwahl
 - Reduzierung Scheinausschuß
 - ...
- Neue Möglichkeiten bei der Auswertung

Beispiel Multisensorsystem Kopplung von Thermografie und Shearografie



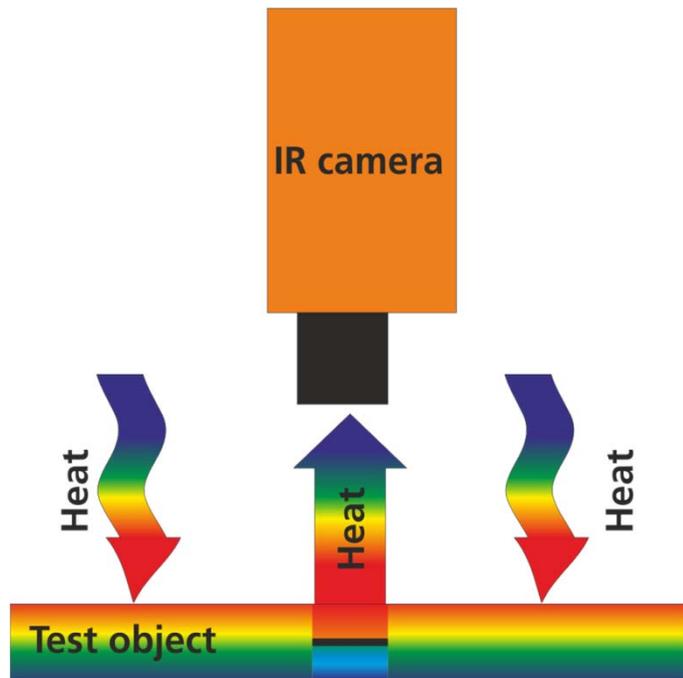
- Vorteil:
Nutzung der gleichen Anregungsquelle für beide Verfahren

- Prinzip:
Thermische Anregung induziert thermische Dehnungen

Thermografie → Temperaturfeld
Shearografie → Deformationsfeld

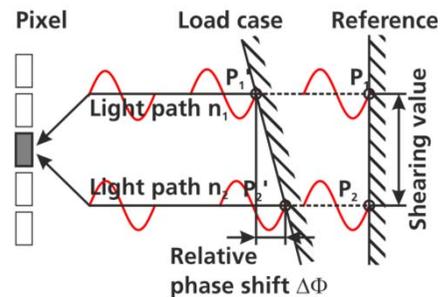
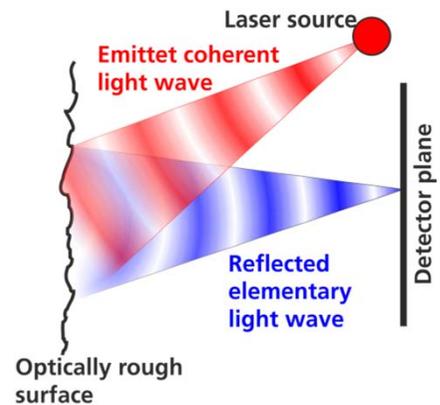
Komplementäre Verfahren liefern Ansätze für intelligente Auswertemethoden

Prinzip der aktiven Thermografie



- Zugeführte Energie induziert im Bauteil Wärmefluss
- Wärmefluss wird an Grenzflächen gestört und verursacht Inhomogenitäten im Temperaturfeld an der Bauteiloberfläche
- Örtliche und zeitliche Analyse des Temperaturfeldes lässt Rückschlüsse auf Bauteilzustand zu

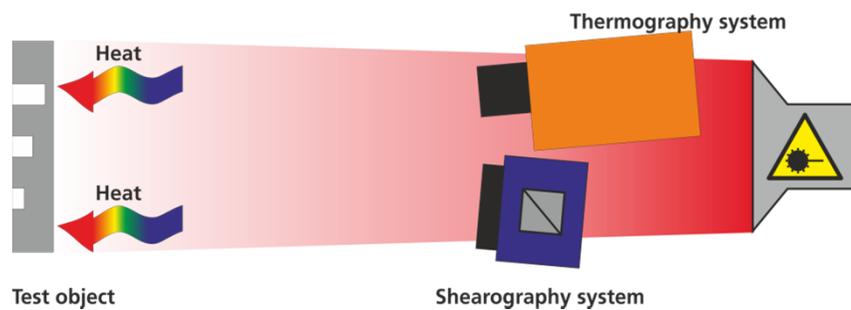
Prinzip der digitalen Shaerografie



Speckleinterferometrisches Verfahren

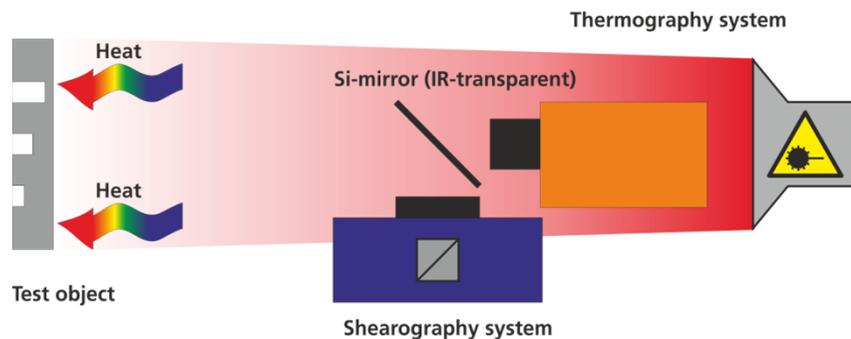
- Aufnahme Speckleinterferogramme bei unterschiedlichen Lastzuständen
- Pixelweise Subtraktion der Speckleinterferogramme
- Singuläre Verformungen ergeben Änderung der relativen Phasenlage
- Bestimmung des Verformungsgradienten aus der relativen Phasenlage

Realisierung Multisensorsystem



Zwei Möglichkeiten

- Getrennte optische Achse
- Gemeinsame optische Achse



Aufgaben

- Abstimmung Anregung
- Ermittlung optimaler Prüfablauf
- Pixeltreue Abbildung beider Ergebnisse
- Geeignete Ergebnisdarstellung

Bewertungskriterien für Prüfverfahren

Probability **O**f **D**etection

POD

Wahrscheinlichkeit für die Erkennung von Merkmalen oder Eigenschaften

$$POD = \frac{\sum \text{Richtige NIO}}{\sum \text{Richtige NIO} + \text{Falsche NIO}}$$

Probability of **F**alse **A**larm

PFA

Wahrscheinlichkeit für Falschalarme

$$PFA = \frac{\sum \text{Falsche IO}}{\sum \text{Richtige IO} + \text{Falsche IO}}$$

Rceiver **O**perator **C**haracteristic

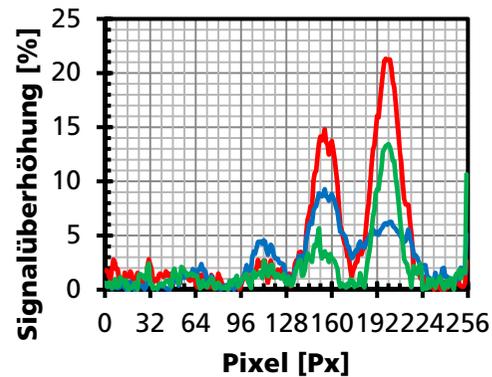
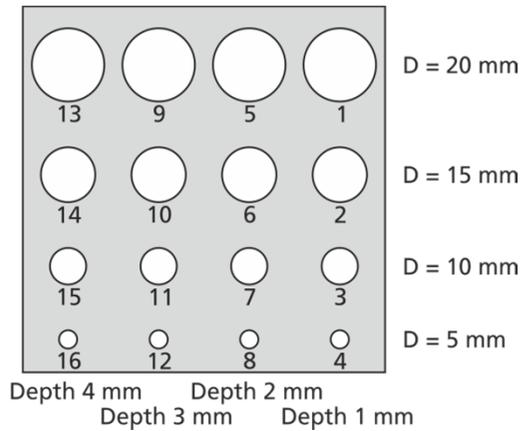
ROC

Verhältnis von Auffindwahrscheinlichkeit zu Wahrscheinlichkeit Falschanzeige

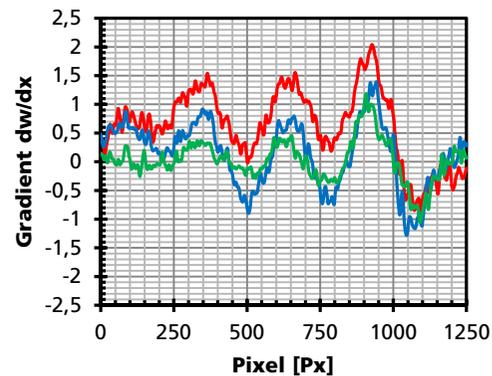
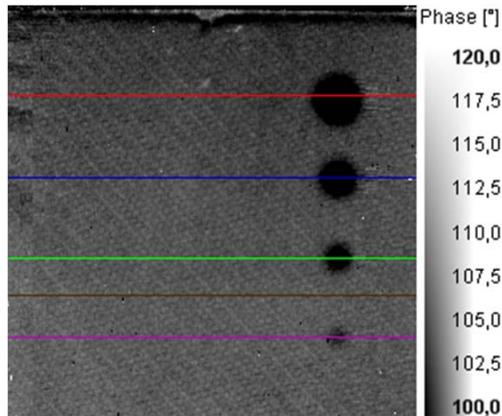
Maß für Zuverlässigkeit

$$ROC = \frac{POD}{PFA}$$

Grundlagenuntersuchungen



- Amplitudenmodulation, D = 15 mm
- Impulsanregung 30 sec., D = 15 mm
- Impulsanregung 10 sec., D = 15 mm



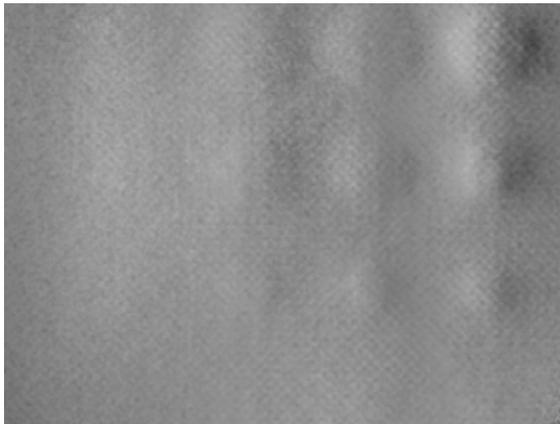
- Amplitudenmodulation, D = 15 mm
- Impulsanregung 30 sec., D=15
- Impulsanregung 10 sec., D=15

Ergebnisbeispiel Grundlagenuntersuchung

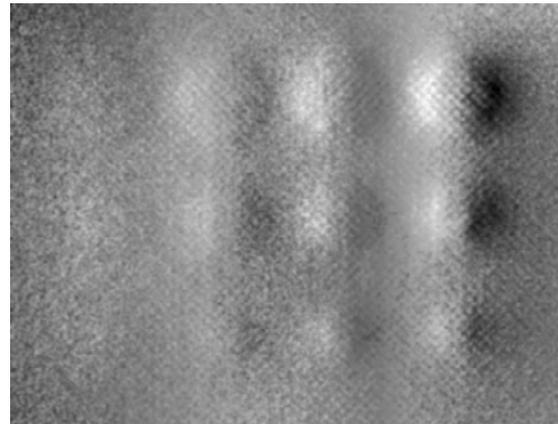
Vergleich der optischen Anordnung

(Anregung amplitudenmoduliert, synchrone Datenaufnahme)

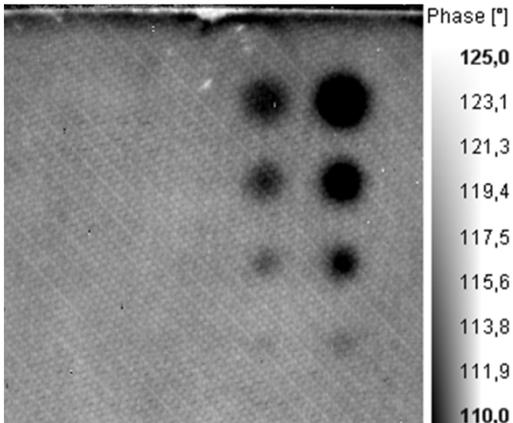
Eine optische Achse



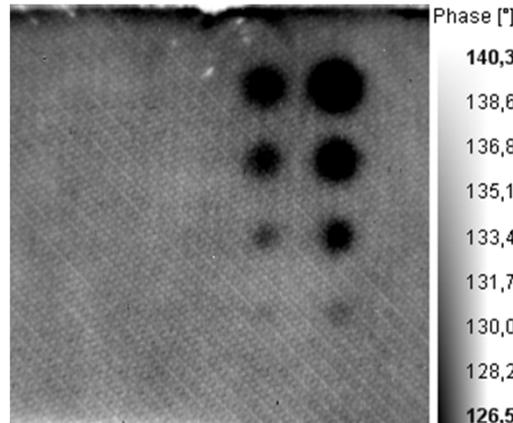
Zwei optische Achsen



Shearografie



Phase [°]
125,0
123,1
121,3
119,4
117,5
115,6
113,8
111,9
110,0

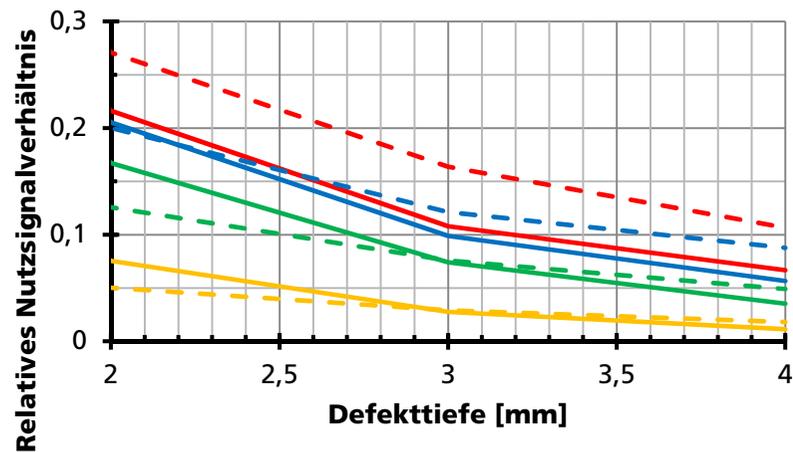


Phase [°]
140,3
138,6
136,8
135,1
133,4
131,7
130,0
128,2
126,5

Thermografie

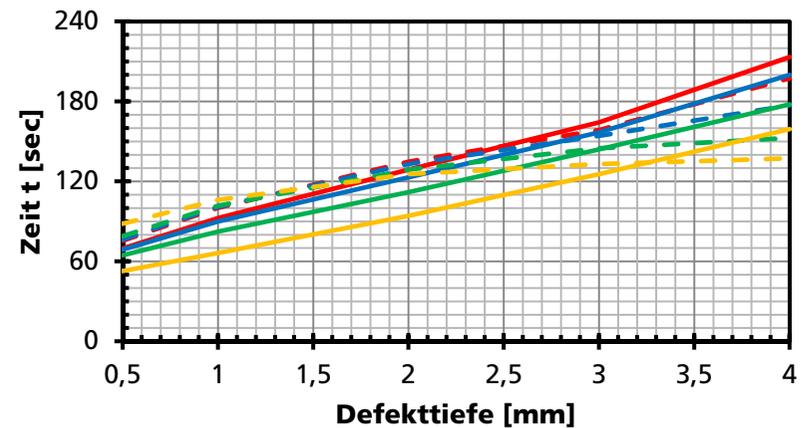
Ergebnisse Grundlagenuntersuchung

Vergleich Tiefenreichweite



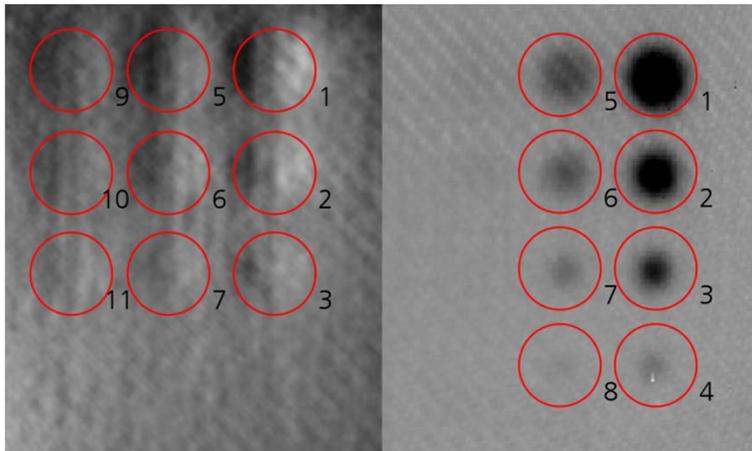
- Thermografie D = 20 mm - - - Shearografie D = 20 mm
- Thermografie D = 15 mm - - - Shearografie D = 15 mm
- Thermografie D = 10 mm - - - Shearografie D = 10 mm
- Thermografie D = 5 mm - - - Shearografie D = 5 mm

Vergleich Messdauer bis Maximum



- Thermografie D = 20 mm - - - Shearografie D = 20 mm
- Thermografie D = 15 mm - - - Shearografie D = 15 mm
- Thermografie D = 10 mm - - - Shearografie D = 10 mm
- Thermografie D = 5 mm - - - Shearografie D = 5 mm

Defektnachweis Grundlagenuntersuchung



Kleine, oberflächennahe Defekte werden mit Thermografie detektiert

Tieferliegende, ausgedehnte Defekte lassen sich mit Shearografie besser detektieren

POD:

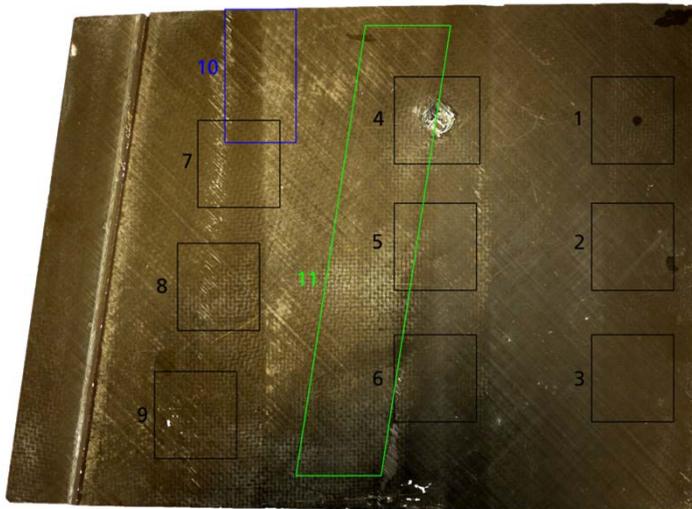
Thermografie: 66 %

Shearografie: 75 %

Multisensorsystem: 92 %

➤ **Verbesserung der Auffindwahrscheinlichkeit mit Multisensorsystem um 20 %**

Untersuchung eines CFK Strukturbauteils



CFK Luftfahrtstruktur 400 x 400 mm

Anregung: thermisch

Messdauer: 130 sec.

Defekte: 1 – 9 Impacts

10 Delamination

11 Porösität

Untersuchung mit Multisensorsystem

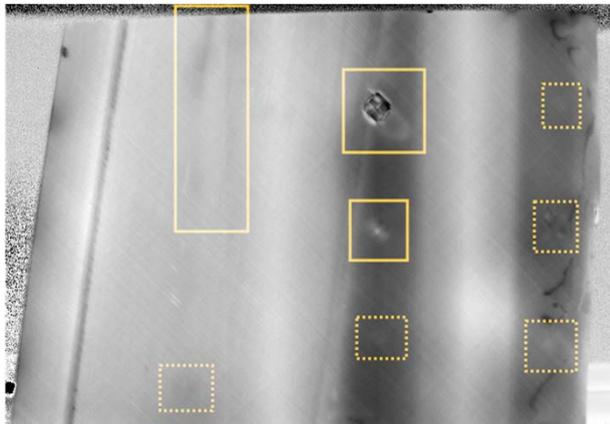
Gemeinsame Anregungsquelle

Thermografie Lockin Auswertung

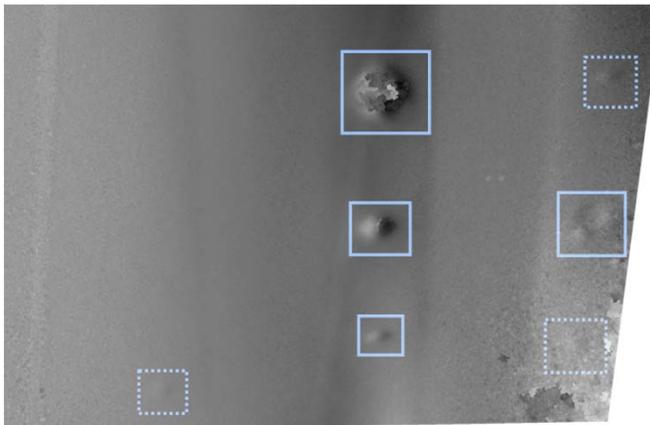
Shearografie Auswertung der Abkühlung

Ergebnisbeispiel CFK Strukturbauteil

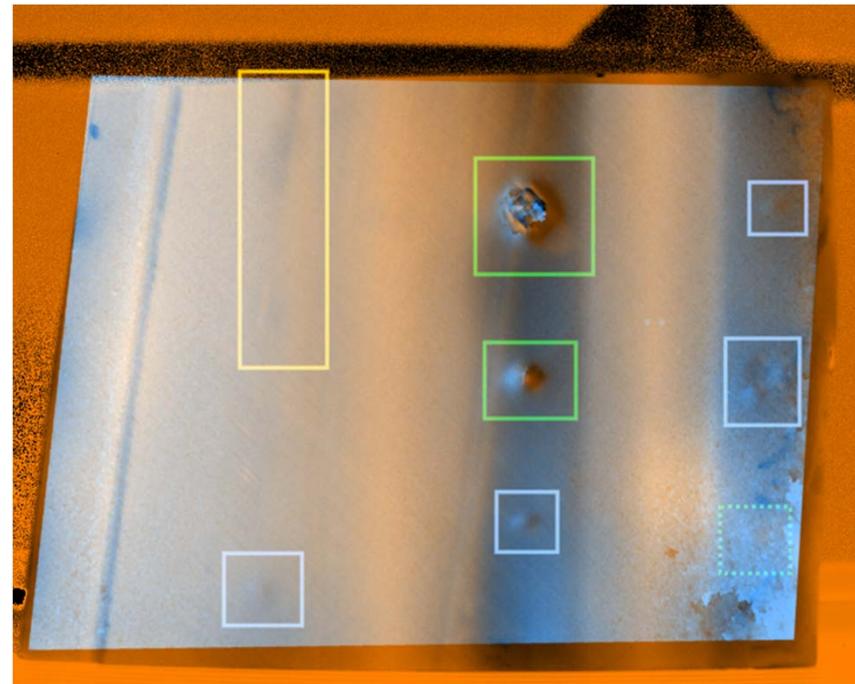
Ergebnis Thermografie



Ergebnis Shearografie



Zusammenfassung der Ergebnisse für Multisensorsystem



Defektnachweis CFK Strukturbauteil

Defekt	Thermo	Shearo	Multi
Impact 1	-	-	+
Impact 2	-	+	+
Impact 3	-	-	-
Impact 4	+	+	+
Impact 5	+	+	+
Impact 6	-	+	+
Impact 7	o	o	o
Impact 8	o	o	o
Impact 9	-	-	+
Delamination	+	o	+
Porosität	+	o	+

+ = sicher nachweisbar,
 - = schwer nachweisbar,
 o = nicht nachweisbar

Detektion	Thermo	Shearo	Multi
Sicherer Nachweis	36 %	36 %	72 %
Unsicherer Nachweis	81 %	63 %	81 %

Deutliche Verbesserung der POD für sicher nachweisbare Defekte.

Keine wesentliche Verbesserung bei Berücksichtigung der schwer nachweisbaren Defekte.

Aber: Klare Verbesserung der Nachweissicherheit bei unsicher nachweisbaren Defekten.

Fazit

- Multisensorsysteme liefern bei geeigneter Sensorkombination deutliche Verbesserungen im Defektnachweis bzw. verbessern die Nachweissicherheit
- Mit Multisensorsystemen kann effizienter und ökonomischer geprüft werden, da sowohl Prüfzeit als auch Prüfhardware reduziert werden
- Multisensorsysteme bestehend aus Thermografie und Shearografie eignen sich besonders für Bauteile aus modernen Composite Werkstoffen

Ausblick

- Entwicklung Kompaktgerät
- Verbesserung der Ergebnisdarstellung
- Entwicklung selbstlernender Auswertungsstrategien