

Dynamische Thermographie in der zerstörungsfreien Prüfung

Dipl.-Phys. Peter Fey

VDI-TUM Expertenforum 2012, 17. April 2012,
Garching

Theorie der Thermographie

Passive Thermographie

Aktive Thermographie

Lockin Thermographie

- Prinzip
- Optische Anregung
- Ultraschallanregung
- Vergleich

Messung der Wärmestrahlung

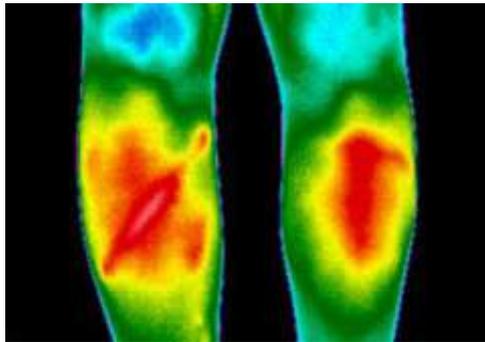
- Wellenlängenbereich IR: $\sim 0,78\mu\text{m} - 100\mu\text{m}$
- Praxisrelevante Bereiche: $3\mu\text{m} - 5\mu\text{m}$ und $8\mu - 12\mu\text{m}$
- Strahlungsintensität I am Detektor: $I = \varepsilon \sigma T^4$
 - σ = Boltzmann-Konstante, T = Temperatur, ε = Emissionsgrad

Emissionsgrad ε

- Abhängig von Bauteiloberfläche und Beschaffenheit
- Typische Werte
 - Nicht-Metalle: $\sim 0,7 - 0,99$
 - Metalle: $\sim 0,01$ (poliert) bis $\sim 0,7$ (oxidiert)

Jeder Körper mit einer Temperatur > 0 K strahlt. Typische Anwendungen:

Medizin



Kniefraktur

[Hildebrandt C., Raschner C., Ammer K. An Overview of Recent Application of Medical Infrared Thermography in Sports Medicine in Austria. *Sensors*. 2010; 10(5):4700-4715.]

Bauthermographie



[www.enbw.com]

Überwachung



[www.flir.com]

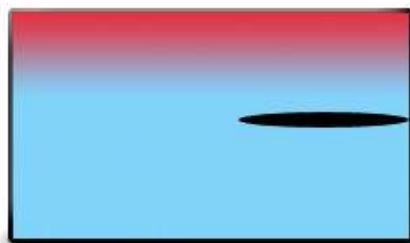
Wärmeeinbringung durch einmalige (Impuls)anregung und Beobachtung des Abkühlvorgangs

- Blitzlampen
- Ultraschall-Burst
- Induktion
- Prozessbedingte Wärmeeinbringung (z.B. Schweißen, Härten, Gießen)

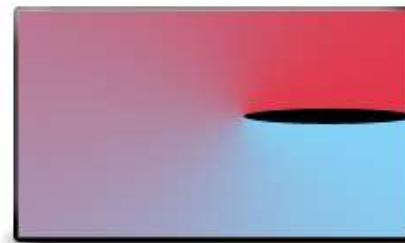
Messung des Einflusses von Defekten auf das Temperaturverhalten

- z.B. Wärmestau

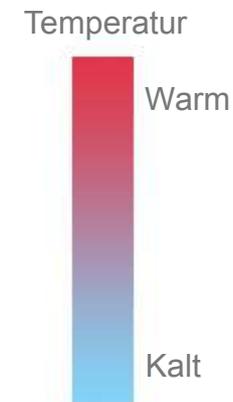
Blitzanregung und Betrachtungsseite (IR Kamera)



$t = t_1$



$t = t_2$

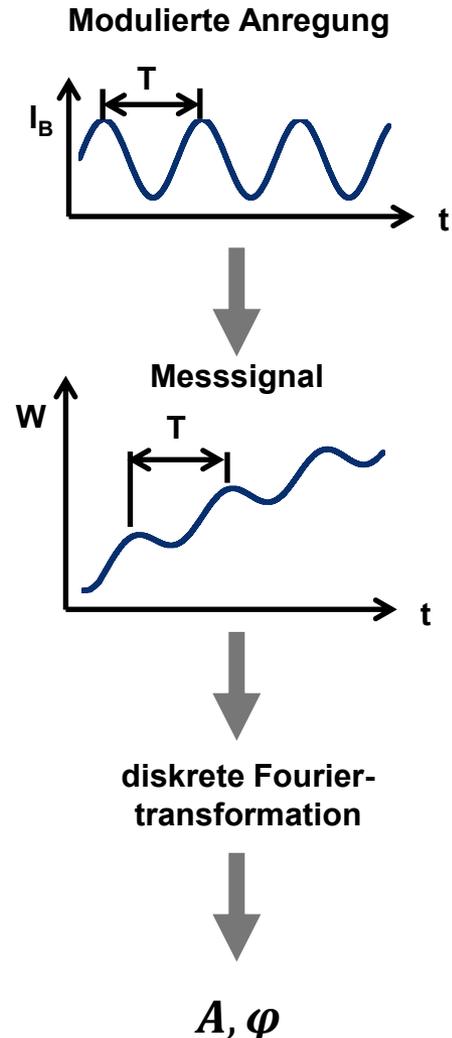


Periodische Modulation der Temperaturanregung

- Anregungsfrequenz frei wählbar
 - Typisch: 1Hz bis 0,001Hz für FKV, höher bei Metallen
- Lockin-Frequenz bestimmt Tiefenreichweite μ
 - $\mu = \sqrt{\frac{2\alpha}{\omega}}$; α = Temperaturleitfähigkeit,
 $\omega = 2\pi f$ = Lockin-Frequenz

Fourier-Transformation filtert Störeinflüsse

- Amplitude A und Phase φ als Antwort



Modulation der Oberflächentemperatur durch Modulation der Halogenlampenintensität

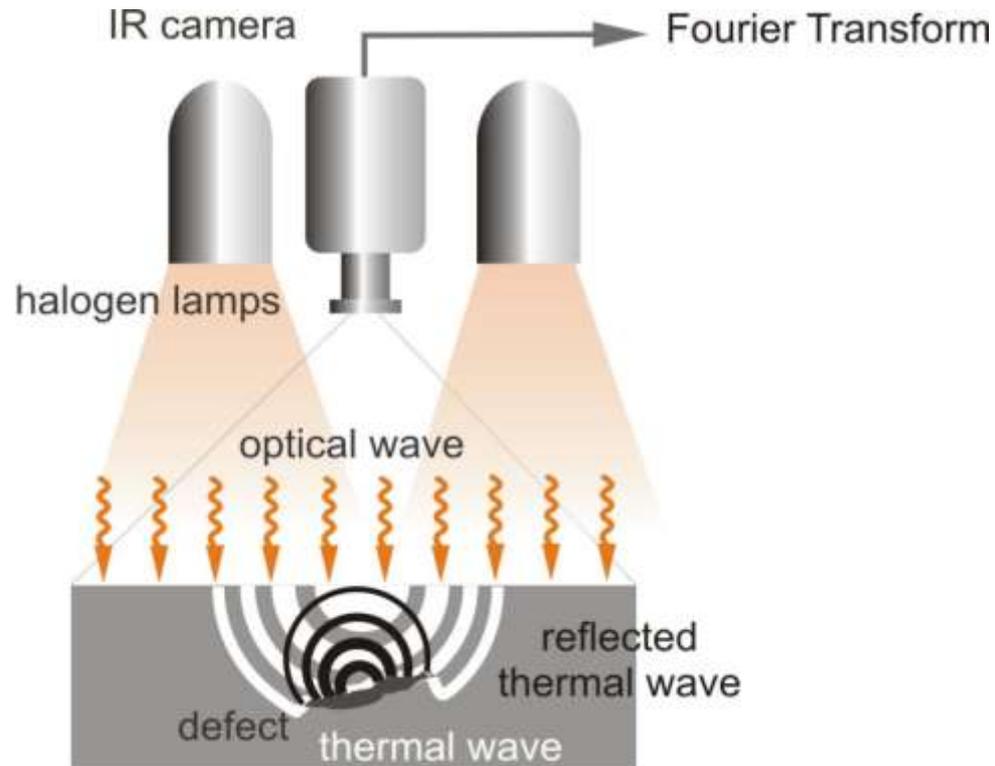
Thermische Welle startet auf der Oberfläche

Reflexion der thermischen Welle an Grenzschichten

Phasenwinkel φ proportional zu Wegstrecke

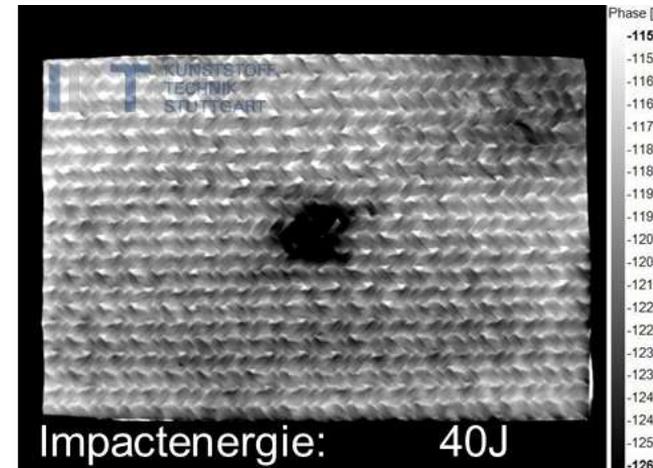
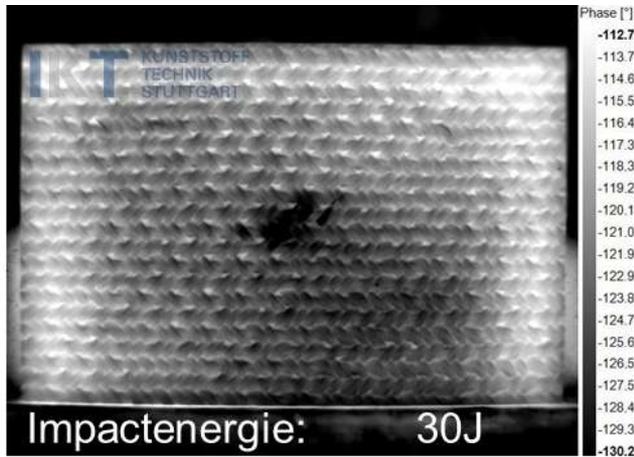
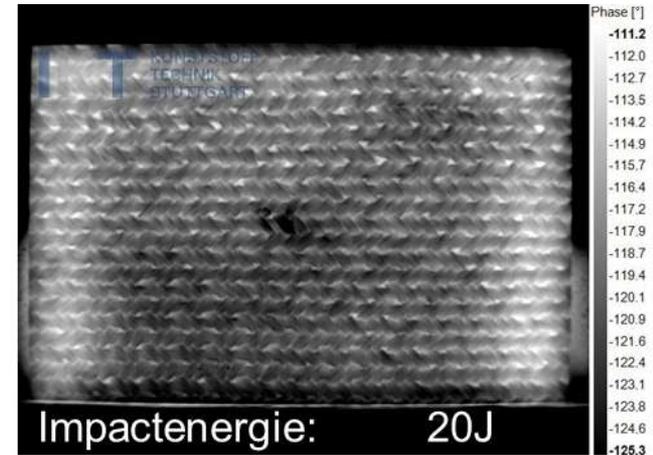
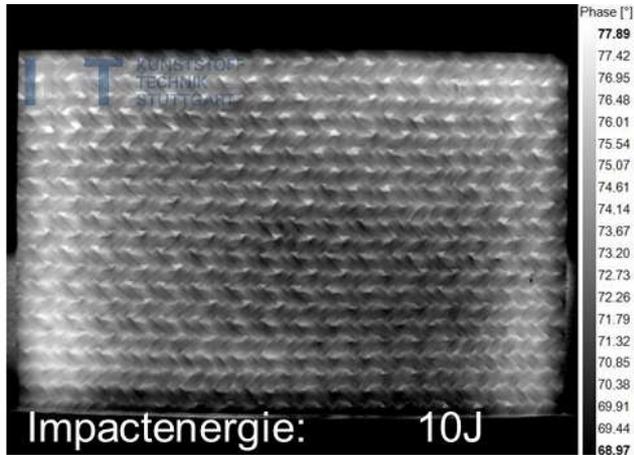
- Indikator für Defekttiefe

Nachteil: Unschärfe durch laterale Wärmeflüsse bei niedrigen Frequenzen bzw. großen Tiefen



Lockin-Thermographie

Optische Anregung – Messbeispiele - Impactschäden in CFK



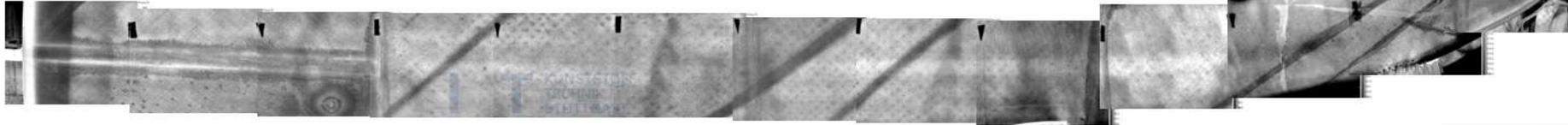
Lockin-Thermographie

Optische Anregung – Messbeispiele - Tragfläche des eGenius

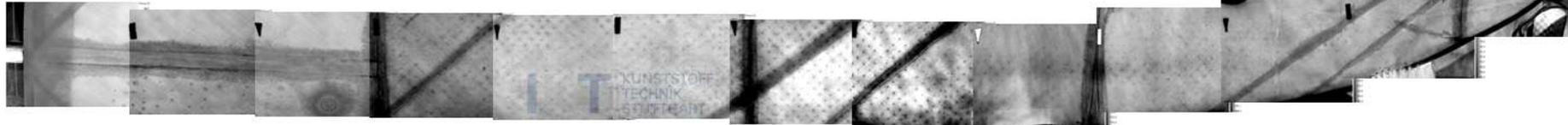
verschiedene Frequenzen = Eindringtiefen



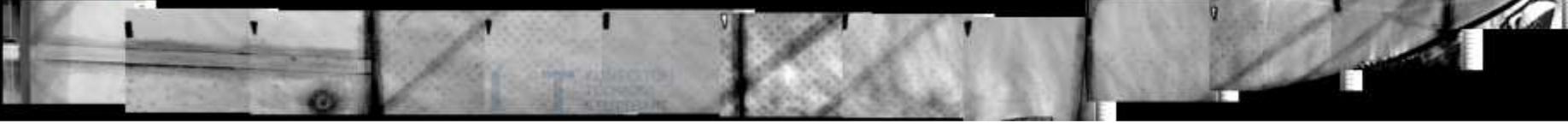
0,5 Hz



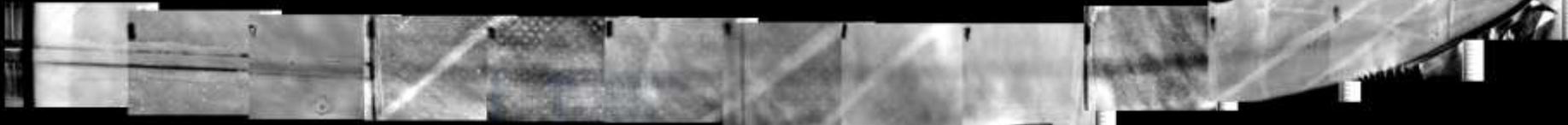
0,3 Hz



0,1 Hz



0,03 Hz



Messung: A. Gleiter (IKT, 2011)

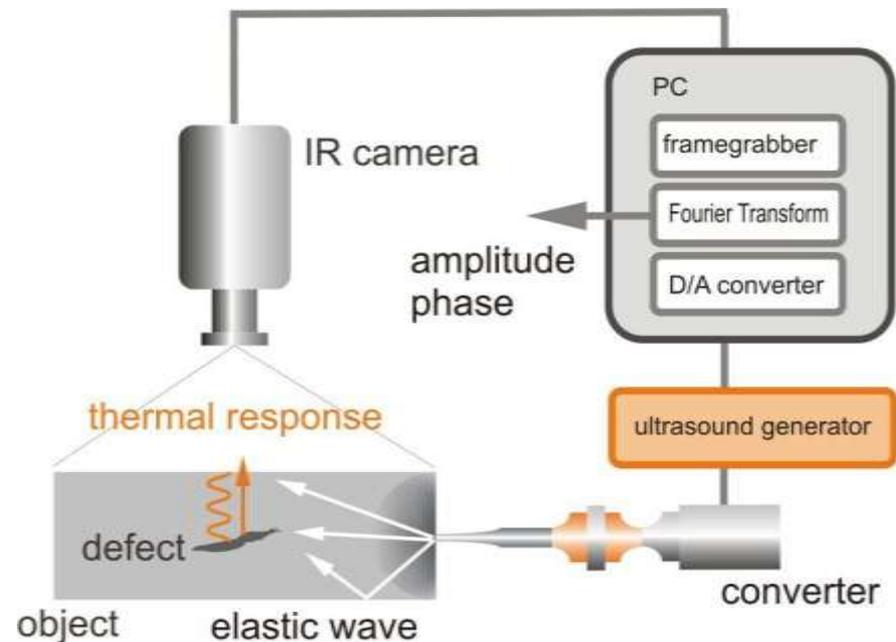
[1] Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für Flugzeugbau, Universität Stuttgart

Modulation der inneren Wärmeerzeugung durch Modulation der Amplitude des Leistungultraschalls

Temperatur entsteht am Defekt (z.B. Rissuferreibung, mechanischer Verlust) = defektselektiv

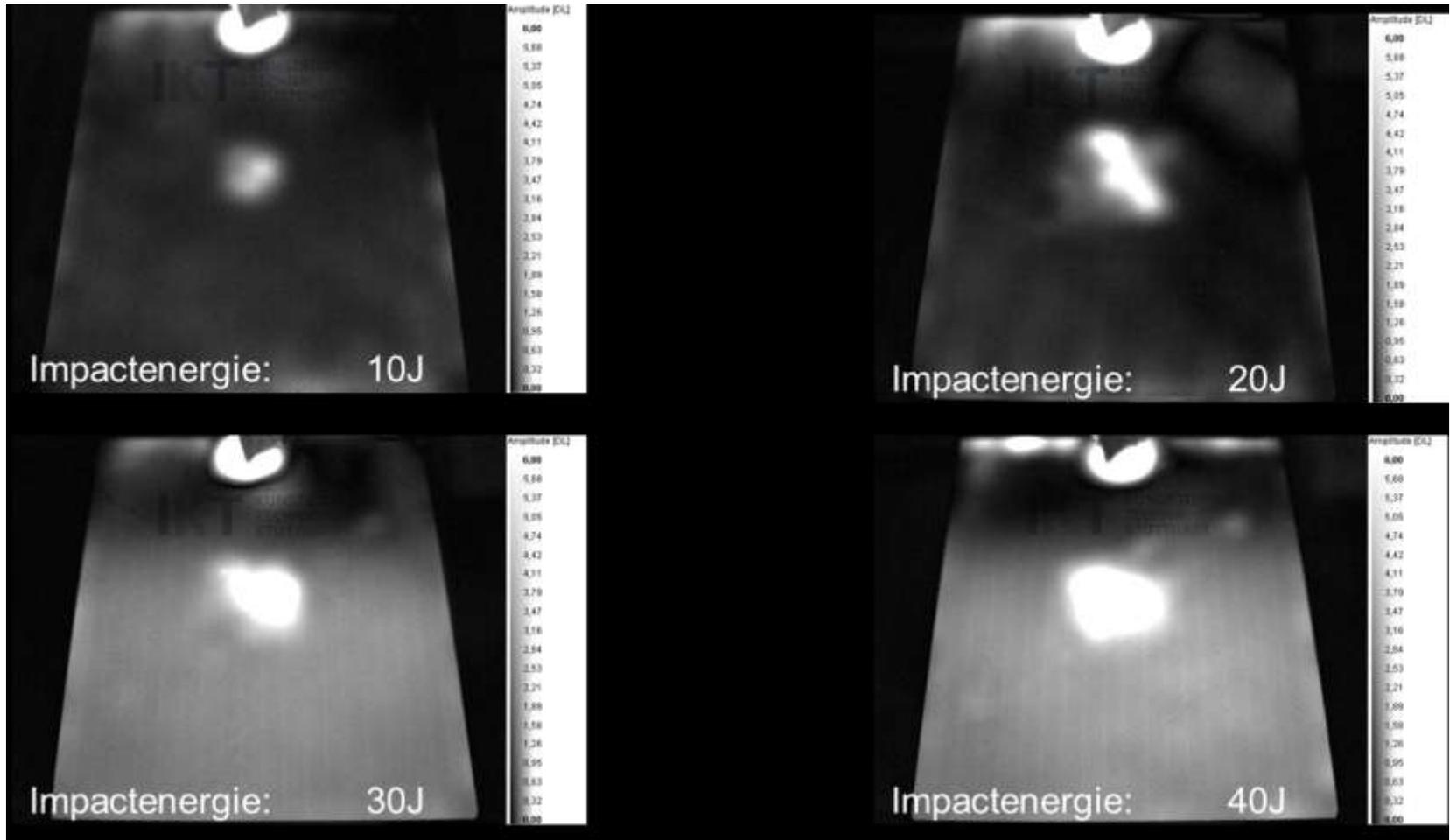
Doppelte Tiefenreichweite wie optische Anregung, da Wegstrecke nur halb so groß

Verhinderung von Resonanz- und/oder Stehwelleneffekten durch US-Frequenzmodulation

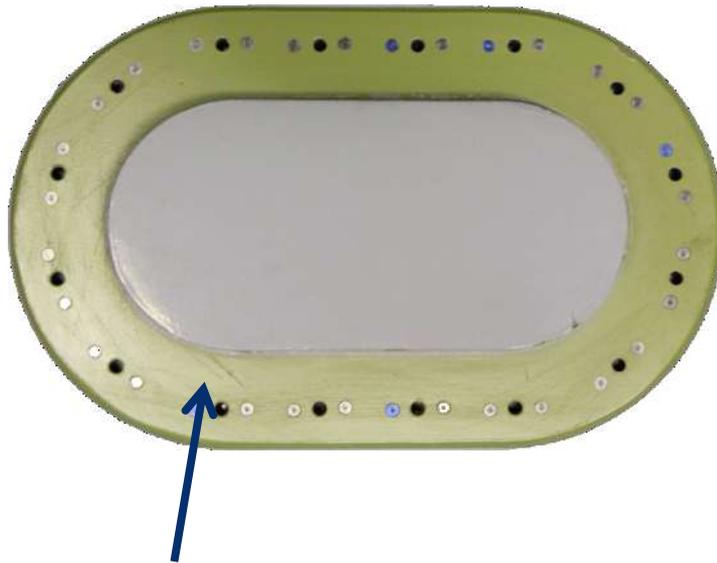


Lockin-Thermographie

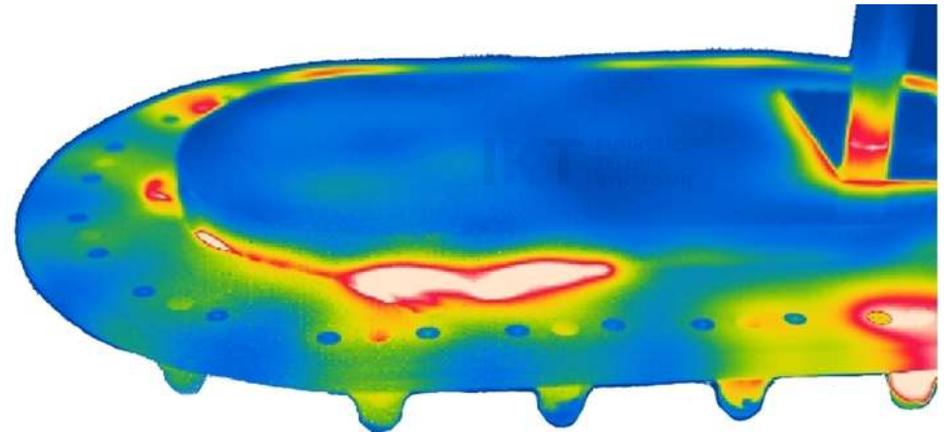
Ultraschall-Anregung – Messbeispiele - Impactschäden in CFK



Risse in Airbus Inspektionsdeckel

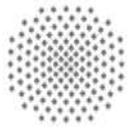


**Kleiner Rissansatz
erkennbar**



Wahre Rissausmaße

Anregung	Optisch	Ultraschall
Tiefenreichweite der Phase	μ	2μ
defektselektiv	-	✓
berührungsfrei	✓	-
großflächig	✓	✓
Delaminationen, Ablösungen	✓	✓
Risse	-	✓
Porosität, Einschlüsse	✓	-
Werkstoffe	alle, evtl. Oberfläche schwärzen	alle, außer stark dämpfende



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**

**Dynamische Thermographie in
der zerstörungsfreien Prüfung**

Dipl.-Phys. Peter Fey

VDI-TUM Expertenforum 2012, 17. April 2012,
Garching