

Verbesserte Defekterkennung in Verbundwerkstoffen mittels Shearografie mit multimodaler Anregung

Philipp MENNER¹, Nikolai GULNIZKIJ²

¹ edevis GmbH, Stuttgart

² Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart, Stuttgart

Kurzfassung

Shearografie eignet sich besonders zur Prüfung von Verbundwerkstoffen wie z.B. Sandwichstrukturen und Faserkunststoffverbunden. Die Methode erfasst den Verformungsgradienten, also die mechanische Bauteilantwort auf eine Lasteinwirkung. Die Belastung kann auf vielfältige Art und Weise erfolgen: thermisch (durch Lampen, Laser, Induktoren oder Leistungultraschall), mechanisch (durch Unter- bzw. Überdruck oder eine Krafteinleitung) oder auch dynamisch (Schwingungsanregung mittels Piezoshaker oder Lautsprecher). Jede Anregungsmethode hat ihre Vor- und Nachteile. Eine optimale Defekterkennung hängt nicht nur von Geometrie und Werkstoff des Prüfobjektes, sondern auch von den verschiedenen Defektarten ab. Schlagschäden, Risse und Ondulationen zeigen sich deutlich bei optischer Anregung, Delaminationen und Kissing bonds reagieren hingegen besonders stark auf eine (Partial-) Vakuumanregung. Die Schwingungsanregung ist ebenfalls zur Erkennung von Delaminationen geeignet, besonders in Sandwichstrukturen und in sehr steifen Materialien mit kleinen thermischen Ausdehnungskoeffizienten (z.B. C-SiC-Keramik).

Bislang wird stets nur eine einzige Belastungsart pro Messung verwendet. Um verschiedenartige Defekte mit einer einzigen Messung nachweisen zu können, bietet sich eine simultane Anregung mit verschiedenen Quellen an. Besonders erfolgversprechend ist die Kombination aus optischer und Unterdruck-Anregung. Es können jedoch auch verschiedene thermische Anregungen kombiniert werden, z.B. eine optische Anregung von Kunststoffbereichen und eine induktive Erwärmung von metallischen Bereichen. In der Regel stören sich die beiden Anregungstechniken nicht, im Gegenteil: Durch optimierte Prüfprozessabläufe können sich Störeffekte sogar gegenseitig aufheben, wodurch der Defektkontrast gesteigert wird.

Dieses Paper gibt zunächst einen Überblick über die verschiedenen Anregungstechniken mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen und zeigt dann die Kombination mehrerer Anregungsquellen zur Reduzierung der Prüfdauer und zur Erhöhung des Defektkontrastes.



Verbesserte Defekterkennung in Verbundwerkstoffen mittels Shearografie mit multimodaler Anregung

Philipp Menner, edervis GmbH
Nikolai Gulnitskij, Institut für Kunststofftechnik,
Universität Stuttgart

DACH Jahrestagung, Salzburg, 13. Mai 2015

GLIEDERUNG

- ▶ Prinzip der Shearografie
- ▶ Anregungstechniken
- ▶ Multimodaler Ansatz
- ▶ Messbeispiele
- ▶ Zusammenfassung



PRINZIP DER SHEAROGRAFIE

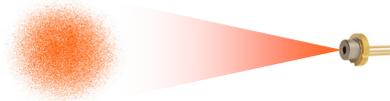
SHEAROGRAFIE = ESPSI



Electronic



Speckle Pattern



Shearing

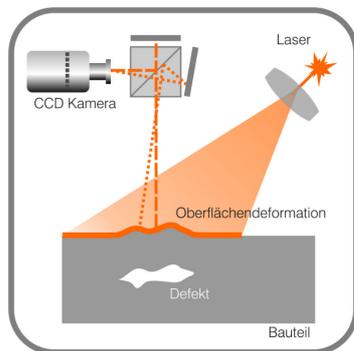


Interferometry



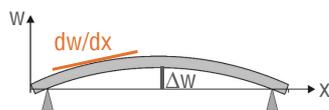
PRINZIP DER SHEAROGRAFIE

STRAHLENGANG

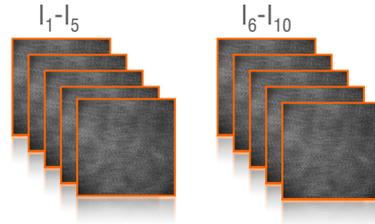
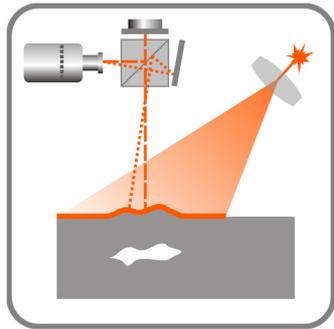


► Bild-Verdopplung und –
Verkipfung, “Scherung”

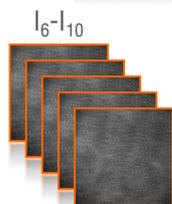
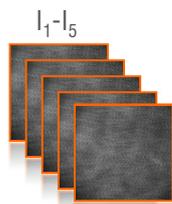
- Messung des
Verformungsgradienten
- Selbstreferenzierung



PRINZIP DER SHEAROGRAFIE PRÜFABLAUF



PRINZIP DER SHEAROGRAFIE PRÜFABLAUF



Phasen-
berechnung

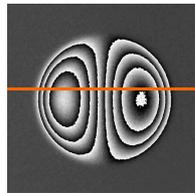


Subtraktion

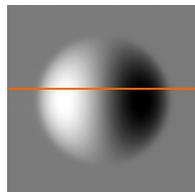


$\Delta\phi$ Phasen-
differenzbild

PRINZIP DER SHEAROGRAFIE ERGEBNIS MIT PHASENSCHIEBUNG

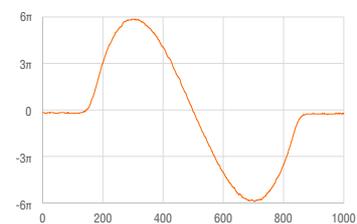
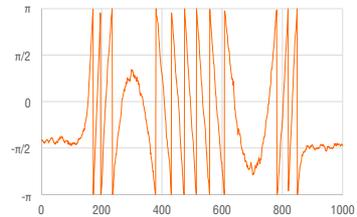


$\Delta\phi$ Phasendifferenzbild



Demodulation

$\Delta\phi$ demoduliertes
Phasendifferenzbild



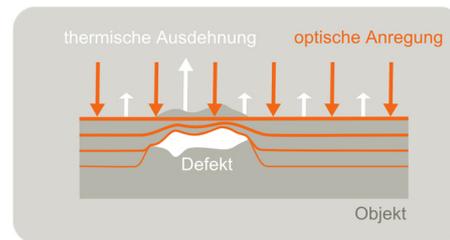
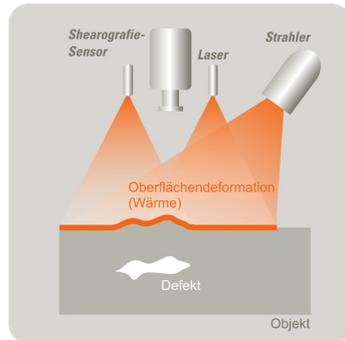
ANREGUNGSTECHNIKEN



- ▶ Defekte verändern das mechanische Verhalten des Prüfobjektes
- ▶ Defektbehaftete Bereiche verformen sich anders als intakte Bereiche
- ▶ Erzeugung der Objektverformung durch Belastung:
 - ▶ Thermisch
 - ▶ Mechanisch
 - ▶ Dynamisch

ANREGUNGSTECHNIKEN

THERMISCH



Kontrastmechanismus:

- ▶ Lokal erhöhte Verformung aufgrund lokal erhöhter thermischer Ausdehnung (Defekte stören Wärmefluss)
- ▶ Verzögerte Bauteilantwort

ANREGUNGSTECHNIKEN

THERMISCH



- ▶ Halogenlampen
- ▶ Quarzstrahler
- ▶ Blitzlampen
- ▶ IR-Laser
- ▶ Induktionsspulen
- ▶ Leistungs-Ultraschall-Sonotrode



ANREGUNGSTECHNIKEN

THERMISCH



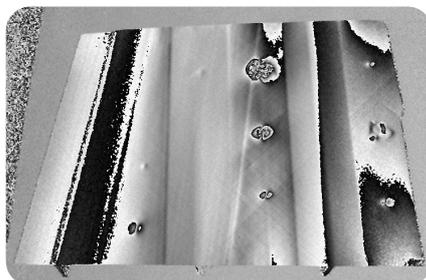
- ▶ Vorteile:
 - ▶ Großflächig (außer Induktion)
 - ▶ Kontaktlos (außer Ultraschall)
 - ▶ Flexibel (Reflexion / Transmission)

- ▶ Nachteile:
 - ▶ Optische Anregung: Oberflächeneigenschaften beeinflussen die Anregung (geringe bzw. inhomogene Absorption von Strahlung)
 - ▶ Induktive Anregung: kleines Messfeld
 - ▶ Messdauer bis zu z.B. 60s

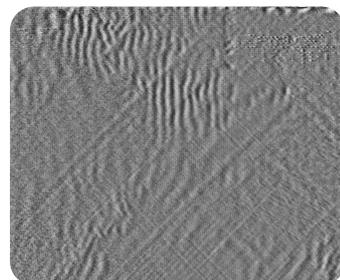
- ▶ Besonders geeignet zur Detektion von:
 - ▶ Impacts
 - ▶ Ondulationen (out-of-plane Faserwelligkeiten)

ANREGUNGSTECHNIKEN

THERMISCH



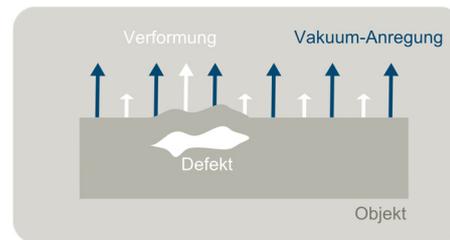
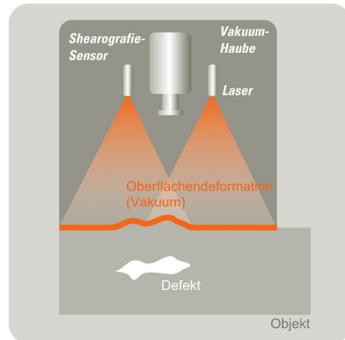
CFK-Stringer-Struktur mit Impacts
Messdauer 15s



CFK-Platte mit Ondulationen
Messdauer 30s

ANREGUNGSTECHNIKEN

MECHANISCH



Kontrastmechanismus:

- ▶ Lokal erhöhte Verformung aufgrund lokal reduzierter Steifigkeit (Defekte schwächen die Struktur)
- ▶ Unmittelbare Bauteilantwort

ANREGUNGSTECHNIKEN

MECHANISCH



- ▶ Vakuumhaube / Vakuumfenster
- ▶ Vakuumkammer
- ▶ Überdruck
- ▶ Mechanische Krafteinleitung



ANREGUNGSTECHNIKEN

MECHANISCH



- ▶ Vorteile:
 - ▶ Homogene Anregung
 - ▶ Schnell

- ▶ Nachteile:
 - ▶ Ankopplung an Oberfläche nötig (Abdichtung, Adapter)
 - ▶ Relativ kleines Messfeld

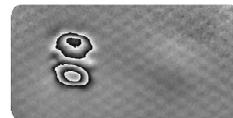
- ▶ Besonders geeignet zur Detektion von:
 - ▶ Delaminationen
 - ▶ Ablösungen von Inserts
 - ▶ Klebefehlern

ANREGUNGSTECHNIKEN

MECHANISCH



Haftendes bzw. enthaftetes Insert
Messdauer 5s



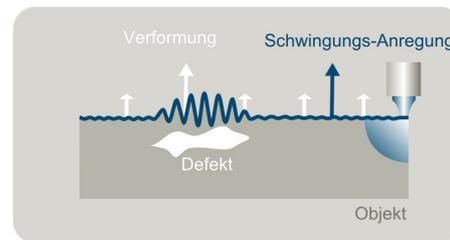
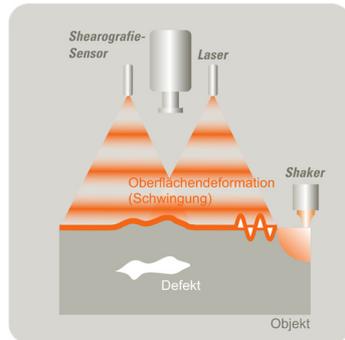
Front- bzw- rückseitige Ablösung
Messdauer 5s



Mangelhafte Verklebung in einem UL-Höhenleitwerk, Messdauer 5s pro Messfeld

ANREGUNGSTECHNIKEN

DYNAMISCH



Kontrastmechanismus:

- ▶ Lokal erhöhte Verformung aufgrund lokaler Defektresonanz
- ▶ Unmittelbare Bauteilantwort bei Resonanzfrequenz

ANREGUNGSTECHNIKEN

DYNAMISCH



- ▶ Piezoshaker
- ▶ Lautsprecher
- ▶ Eigenschwingungen



ANREGUNGSTECHNIKEN

DYNAMISCH



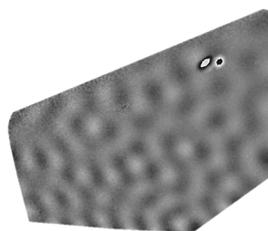
- ▶ Vorteile:
 - ▶ Großflächig
 - ▶ Funktioniert auch an sehr steifen Materialien (Keramik)

- ▶ Nachteile:
 - ▶ Ankopplung an Oberfläche nötig (Piezoshaker)
 - ▶ Lange Messdauer (Frequenzscan notwendig)
 - ▶ Schall mit hoher Amplitude (teilweise Gehörschutz notwendig)

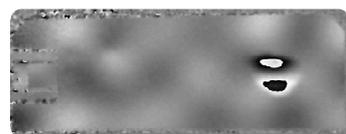
- ▶ Besonders geeignet zur Detektion von:
 - ▶ Delaminationen

ANREGUNGSTECHNIKEN

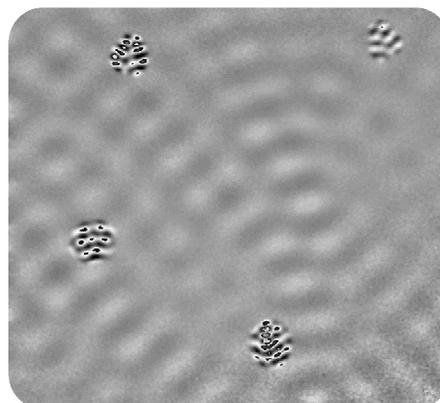
DYNAMISCH



CFK-Nasenleiste mit Delamination
Messdauer 6s



C-SiC-Platte mit Delamination
Messdauer 10s



Wabenstruktur mit Delaminationen
Messdauer 8s

MULTIMODALER ANSATZ



- ▶ Problem: verschiedene Defektarten reagieren unterschiedlich stark auf verschiedene Anregungsarten
- ▶ Serielle Prüfung erhöht den Zeitaufwand
- ▶ Idee: Kombination zweier Anregungsquellen in einer einzigen Messung



+

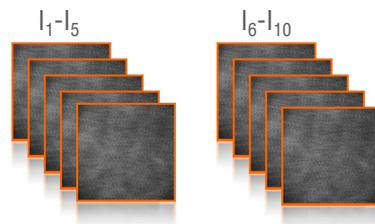
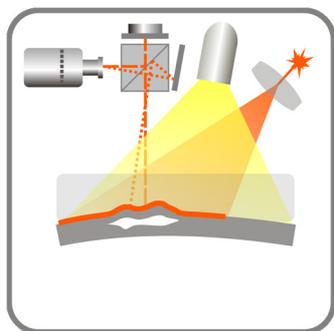


Optische Anregung

Vakuum-Anregung

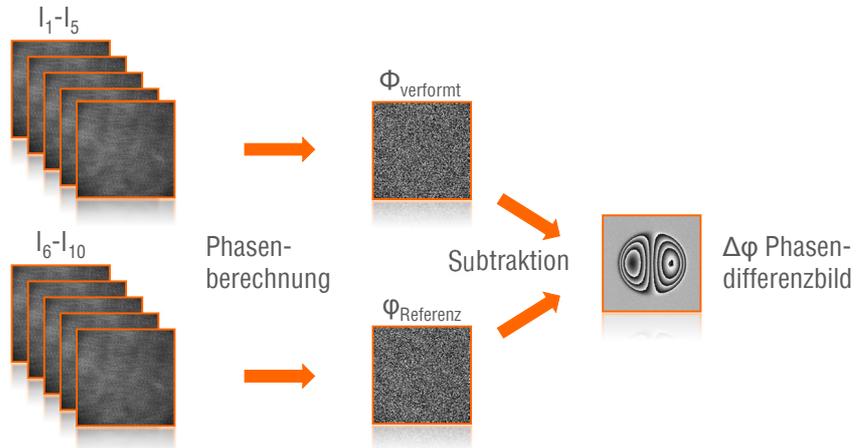
MULTIMODALER ANSATZ

PRÜFABLAUF

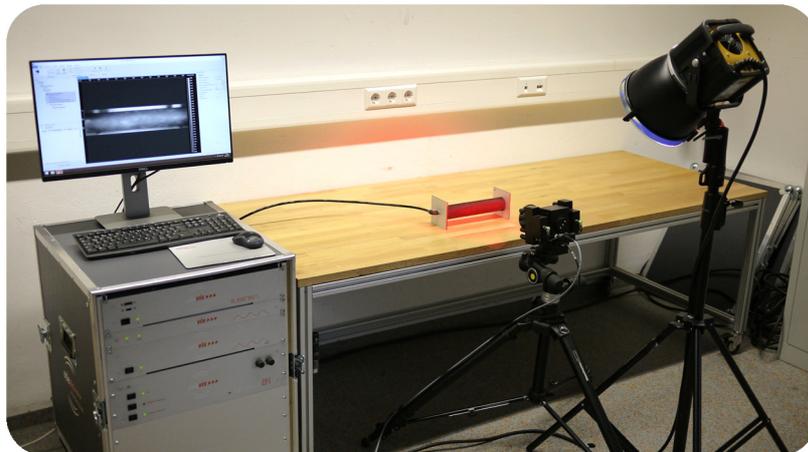


Ganzkörperverformung sowohl in Referenz- als auch in Verformungsbild

MULTIMODALER ANSATZ PRÜFABLAUF



MESSBEISPIELE METALLROHR MIT NEOPRENMANTEL

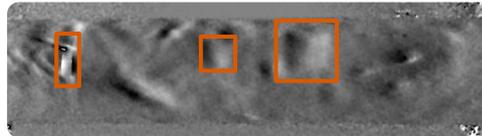


MESSBEISPIELE

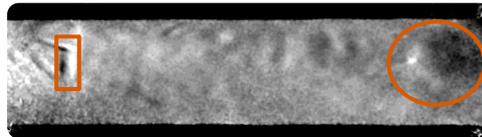
METALLROHR MIT NEOPRENMANTEL



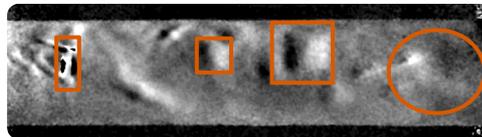
optisch



Unterdruck

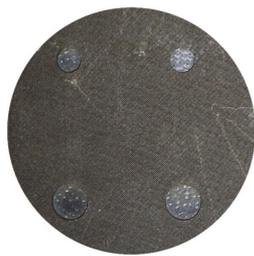


Unterdruck +
optisch

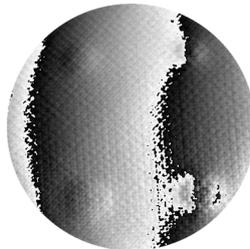


MESSBEISPIELE

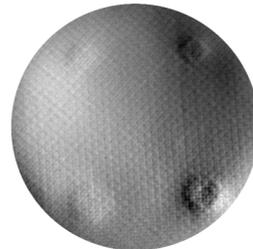
CFK-PLATTE MIT SACKLÖCHERN



Unterdruck

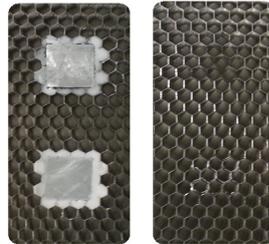
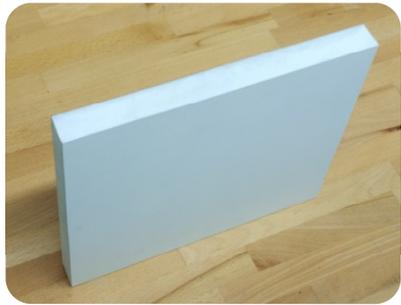


optisch

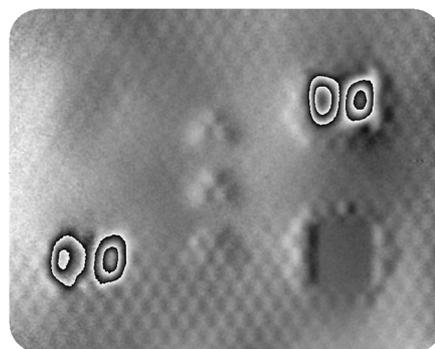
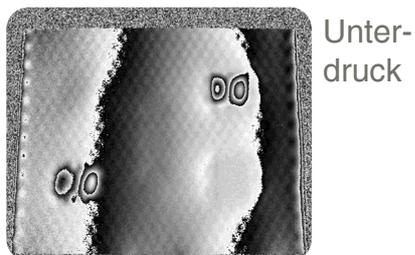
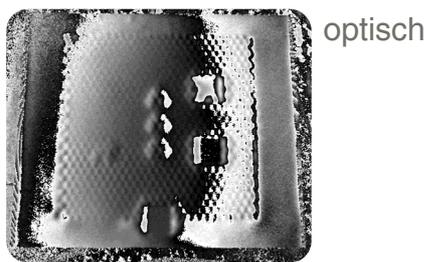


Unterdruck +
optisch

MESSBEISPIELE
ALUMINIUM-WABENSTRUKTUR



MESSBEISPIELE
ALUMINIUM-WABENSTRUKTUR



Unterdruck + optisch

ZUSAMMENFASSUNG



- ▶ Multimodaler Ansatz hat mehrere Vorteile:
 - ▶ Reduzierung der Ganzkörperverformung
 - ▶ Verbesserte Defekterkennung bei nicht erhöhter Messdauer

- ▶ Derzeitiger Stand:
 - ▶ Kombination von Über- bzw. Unterdruck mit optischer Anregung

- ▶ Nächste Schritte:
 - ▶ Einbeziehung der induktiven und der Ultraschall-Anregung

VIELEN DANK
FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!



Dr.-Ing. Philipp Menner

edervis GmbH
Handwerkstr. 55
70565 Stuttgart

philipp.menner@edervis.de
<http://www.edervis.de>

Dipl.-Phys. Nikolai Gulnizkij

Institut für Kunststofftechnik
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 32
70569 Stuttgart

nikolai.gulnizkij@ikt.uni-stuttgart.de
<http://ikt.uni-stuttgart.de>