

# Kombiniertes räumlich phasenschiebendes Electronic Speckle Pattern Interferometry (ESPI)/Shearographie-System

J. H. Gettkant, B. Kemper, D. Dirksen, G. von Bally

Labor für Biophysik, Universitätsklinikum Münster

[LBiophys@uni-muenster.de](mailto:LBiophys@uni-muenster.de)

Zur zerstörungsfreien Detektion von Oberflächenverschiebungen sowie deren Gradienten wurde ein kombiniertes Electronic Speckle Pattern Interferometry (ESPI)/Shearographie-System aufgebaut. Nach einer Optimierung der Betriebsparameter wird die Einsatzfähigkeit des Systems anhand von Untersuchungen an kulturhistorischen Objekten demonstriert.

## 1 Einführung

Bei Untersuchungen zur zerstörungsfreien Materialprüfung sind sowohl Informationen über Oberflächenverformungen bei Belastung eines Prüfkörpers als auch deren Gradienten wichtige Kriterien für die Detektion von Materialfehlern [1]. Hierzu wurde ein „out-of-plane“-sensitives Interferometersystem zur Verschiebungsdetektion aufgebaut, welches als Electronic Speckle Pattern Interferometer und als digitales Shearographiesystem betrieben werden kann. In beiden Betriebsarten erfolgt dabei eine Detektion von Verschiebungen bzw. deren Gradienten durch die Differenzphasenbestimmung mit einem räumlichen Phasenschiebeverfahren [2]. Der Vorteil der Shearographie liegt dabei insbesondere in ihrer Unempfindlichkeit gegenüber äußeren Einflüssen und darin, dass keine Referenzwelle benötigt wird.

Am Interferometersystem wird zunächst die Charakterisierung und Optimierung bezüglich des räumlichen Phasenschiebeverfahrens bei ESPI und Shearographie durchgeführt. Untersuchungen an kulturhistorischen Gütern demonstrieren die Einsatzfähigkeit des Systems.

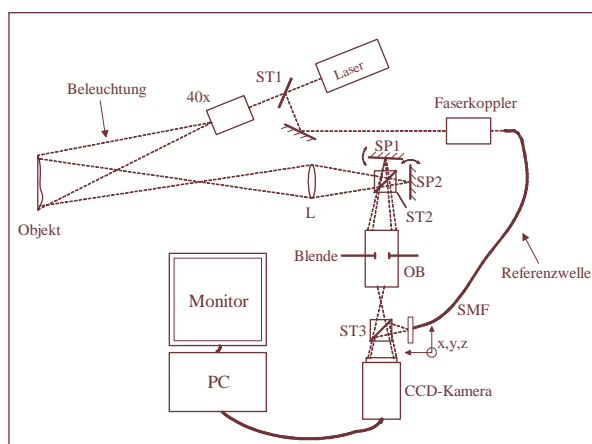
## 2 Methode

Für die vorgesehenen Untersuchungen wurde das in Abbildung 1 gezeigte kombinierte ESPI/Shearographie-System entwickelt. Lichtquelle ist ein frequenzverdoppelter Nd:YAG-Laser vom Typ Coherent Compass 315M-100 ( $\lambda=532$  nm, Ausgangsleistung 100 mW). Die Abbildungsoptik ermöglicht die Untersuchung eines  $\approx 15$  cm<sup>2</sup> Areals.

Für die ESPI wird ca. 20% der Leistung des Laserstrahls als Referenzwelle in eine polarisationserhaltende Single-Mode-Faser eingekoppelt. Zur Realisierung der Shearographie ist zusätzlich ein Michelson-Interferometer mit variabler Einstellung eines Shearwinkels über die Spiegel SP1, SP2 integriert.

Zum Betrieb der Anordnung im ESPI-Modus wird Spiegel SP1 ausgeblendet. Bei der digitalen Shearographie erfolgt entsprechend die Ausblendung der Referenzwelle.

Die Digitalisierung der Interferogramme erfolgt mit einer schwarz/weiß-CCD-Kamera (Sony XCD-X700, 1/2 Zoll-CCD-Sensor, 1024x768 Pixel, IEEE 1394 Schnittstelle).

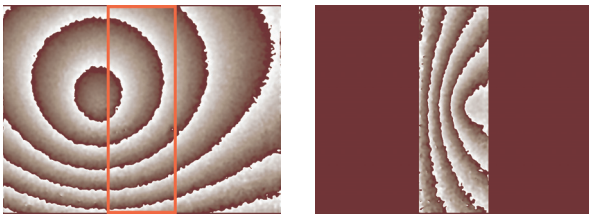


**Abb. 1** Messanordnung zur Kombination von ESPI und digitaler Shearographie. ST1, ST2, ST3: Strahlteiler nicht polarisierend; L: Abbildungslinse, SP1, SP2: Spiegel, OB: Objektiv; SMF: Single-Mode-Faser; PC: Rechner zur Auswertung der aufgezeichneten Interferogramme.

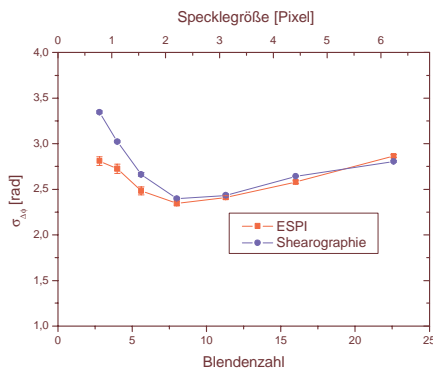
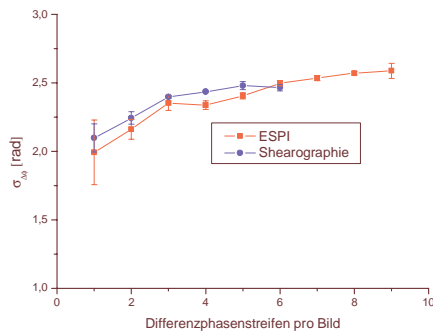
## 3 Ergebnisse der Charakterisierung und Optimierung

Zur reproduzierbaren Erzeugung von Differenzphasenstreifen wird eine zentral deformierbare Kreisscheibe verwendet (siehe Abb. 2).

Optimal werden Oberflächenverformungen bei einer Dichte der Differenzphasenstreifen von 3-6 Streifen / Bild (siehe Abb. 3, oben), einer Specklegröße  $d_{sp} \approx 3$  Pixeln (siehe Abb. 3, unten) sowie einer Frequenz der Trägerstreifen von  $\nu_x \approx 125$  Streifen/512 Pixel detektiert, da bei diesen Werten das Rauschen der Differenzphase minimal ist.



**Abb. 2** Differenzphasenverteilungen erzeugt durch zentrale Deformation einer Kreisscheibe, links ESPI, rechts Shearographie. Aufgrund der für die Shearographie nötigen Bildverschiebung liefert nur der mittlere Bereich der Verteilung verwertbare Ergebnisse.



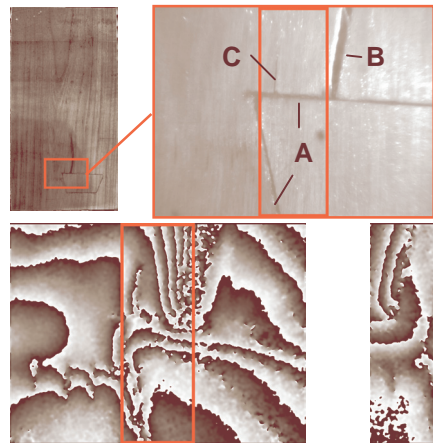
**Abb. 3** Rauschen der Differenzphase in Abhängigkeit von der Dichte der Differenzphasenstreifen (oben) und von der Specklegröße (unten).

#### 4 Anwendung an kulturhistorischen Oberflächen

Abbildung 4 zeigt das Ergebnis der Untersuchung eines restaurierten antiken Holzpaneels. Die mit A gekennzeichneten Spalten markieren den Übergang vom Original zum restaurierten Bereich. Die Buchstaben B und C kennzeichnen unterschiedlich große Risse im Holz. Das Paneel wurde während der Untersuchung mit Heißluft erwärmt. In der in Abbildung 4 gezeigten Differenzphasenverteilung werden anhand der Streifenmuster alle Risse und Spalten sowohl bei der ESPI als auch bei der Shearographie nachgewiesen und sind zu lokalisieren.

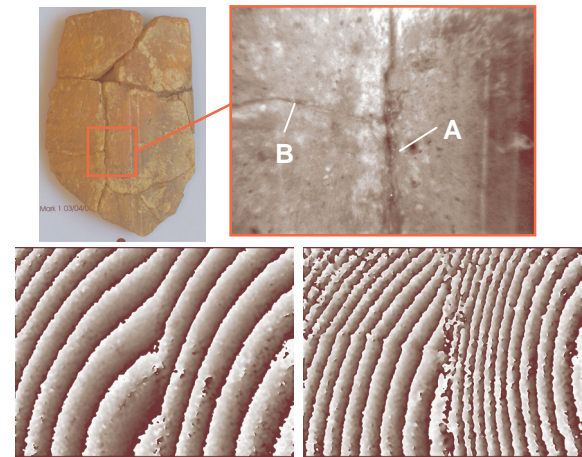
Des Weiteren wurde eine steinzeitliche Tonscherbe, die bei Restaurationsarbeiten zusammengefügt wurde (siehe Abb. 5b), untersucht. Während der

Untersuchung wurde die Scherbe mit Heißluft erwärmt.



**Abb. 4** Oben links: Weißlichtbild des Paneels; oben rechts: Weißlichtbild des untersuchten Areals; Unten links: Differenzphasenverteilung, aufgenommen mit der ESPI, unten links: die entsprechende Differenzphase, detektiert mit der Shearographie.

In den Differenzphasenverteilungen (Abb. 5, unten) ist die mit A gekennzeichnete Fügestelle gut zu erkennen. Die mit B gekennzeichnete Fügung hingegen verursacht lediglich geringe Veränderungen der Differenzphasenstreifen. Untersuchungen unter Einsatz der Shearographie liefern hier keine verwertbaren Ergebnisse.



**Abb. 5** Zusammengefügte Tonscherbe; oben links: Gesamtaufnahme der Scherbe; oben rechts: Untersuchtes Areal; unten: Differenzphasenverteilungen, längere Beobachtungsdauer rechts.

#### Literatur

- [1] Wolfgang Steinchen, Lianxiang Yang: *Digital Shearography, Theory and Application of Digital Speckle Pattern Shearing Interferometry*, SPIE press Bellingham, Washington (2003)
- [2] Björn Kemper, Jochen Kandulla, Dieter Dirksen, Gert von Bally: „Optimization of spatial phase shifting in endoscopic electronic speckle pattern interferometry“ in *Optics Communications* **217**:151-160 (2002)

Die Arbeit wurde im Rahmen des Programms INTERREG III A von der Europäischen Union finanziell unterstützt.