

ZFP Praktikum
Optische Messtechnik
Versuchsdatum 5.12.08

Gruppe C
Uwe Popp
Marc Strafela
Karsten Hinselmann

Fragen zum Versuch

1. Was versteht man unter numerischer Apertur?
Die numerische Apertur beschreibt das Auflösungsvermögen bzw. den minimalen Fokusdurchmesser. Sie ist definiert als:
$$NA = n \cdot \sin(\alpha)$$
wobei n der Brechungsindex und α der Aufweitungswinkel ist.

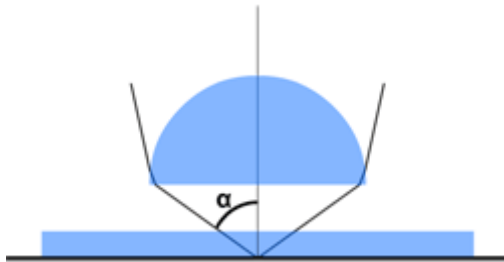


Abbildung 1: Numerische Apertur [1]

2. Was ist der Unterschied zwischen einem konventionellen und einem konfokalen Mikroskop?
Ein konfokales Mikroskop ist streulichtunempfindlich, wohingegen das konventionelle Mikroskop auf Streulicht basiert.
3. Was versteht man unter einer Punkt zu Punkt Abbildung?
Der Punkt der im Fokus liegt, wird auf das Pinhole abgebildet. Probenbereiche vor und hinter der Fokusebene tragen nicht zum Signal bei, da sie von der Blende abgefangen werden.
4. Nennen sie weitere Verfahren für die Ermittlung der Oberflächentopographien:
Raster-Kraft-Mikroskopie und Streifenprojektion.
5. Wie entstehen Speckle?
Speckle entstehen durch Streuung der Laserstrahlen an der Probe. Es findet Interferenz der Laserstrahlen am Detektor statt, der vom Gangunterschied der Strahlen verursacht wird.
6. Erklären sie die Entstehung von Streifenbildern bei Speckle-interferometrischen Verfahren.
Erstellt man ein Differenzbild von zwei Interferenzbildern, die von einem gleichen Werkstück unterschiedlicher Verformung gemacht werden, kommt ein Streifenbild zustande. Dies nennt man Moiré-Effekt.
7. Weshalb werden im Strahlengang Piezotranslatoren eingesetzt?
Piezotranslatoren werden eingesetzt um ein Phasenbild zu erstellen. Im Abstand von 90° Phasenverschiebung der optischen Weglänge werden 4 Bilder aufgenommen, die zusammen das Phasenbild ergeben.

8. Was sind die Vorteile von Phasenbildern?
Der Vorteil besteht darin, das Vorzeichen Höhenänderung direkt zu erfassen. Das heißt, ob es sich um eine Delle oder Beule handelt. Zudem ist der Kontrast bei Phasenbildern höher.
9. Was ist der grundlegende Unterschied zwischen ESPI und Shearografie?
ESPI zeigt die Höhenlinien der Verformung an. Die Bilder sind Interferenzbilder der vom Objekt gestreuten Laserstrahlen und einem Referenzstrahl. Shearographie entsteht nur durch einen Laserstrahl und gibt lediglich den Gradienten der Verformung an.

Laser-Scanning-Mikroskopie (LSM)

Laser-Scanning-Mikroskopie ist ein Verfahren zur Untersuchung von Oberflächen, Risserkennung und spannungsoptischen Untersuchungen transparenter Materialien. Risserkennung erfolgt durch Einbringen eines fluoreszierenden Mittels. Beim Versuch LSM werden der Aluminiumtisch, ein Waver, ein Plastikteil mit Metalliclack sowie ein Glasplättchen vergrößert. Zuerst findet die Vergrößerung mittels konventioneller Mikroskopie statt.

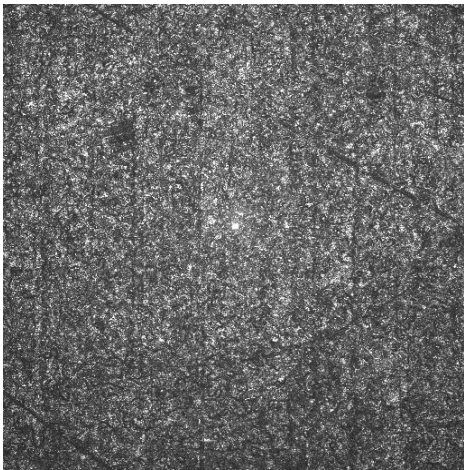


Abbildung 2: Aluminiumtisch bei 5-facher Vergrößerung

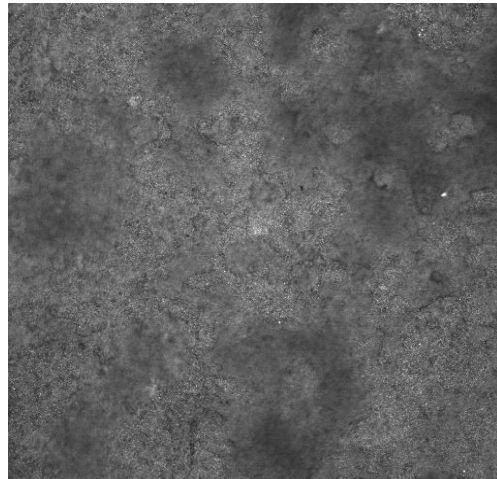


Abbildung 3: Aluminiumtisch bei 50-facher Vergrößerung

Bei 5-facher Vergrößerung des Aluminiumtisches ist die Tiefenschärfe ausreichend groß und nichts erscheint unscharf. Bei 50-facher Vergrößerung gibt es undeutliche Stellen (vgl. Abb.2). Diese rühren daher, dass sie außerhalb des Messbereichs des Objektives liegen und nicht mehr erfasst werden. Um auch bei einer solchen Vergrößerung ein Bild mit unendlicher Tiefenschärfe zu erhalten, benutzt man konfokale Mikroskopie.

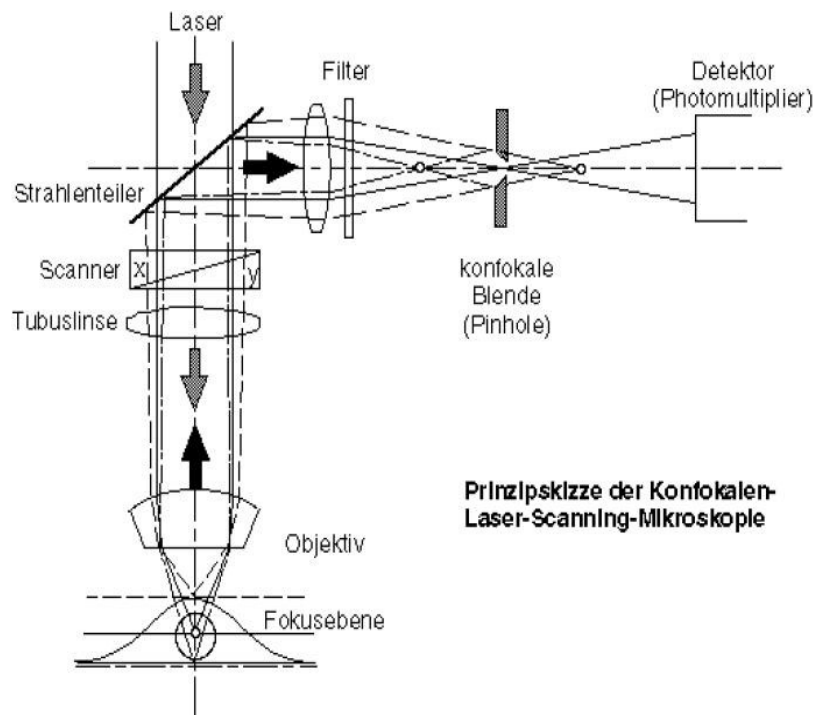


Abbildung 4: Prinzipskizze LSM [2]

Wie man in Abb.4 erkennen kann, werden nur solche Laserstrahlen vom Detektor erfasst, die in der Fokusebene rückgestreut werden. Strahlen, die ober- oder unterhalb der Fokusebene reflektiert werden, können nicht vom Detektor erfasst werden, da sie die Blende absorbiert. Das bedeutet, dass die Oberfläche abgerastert wird und der Detektor Bilder aus verschiedenen Höhen aufnimmt. Für jedes Bild, das in einer bestimmten Höhe aufgenommen wird, werden die Intensitäten sowie deren Ortskoordinaten erfasst. Das unendlich scharfe Tiefenbild setzt sich aus den einzelnen Bildern, die man aufgenommen hat, zusammen, indem man sie übereinander legt. Je nach Oberfläche in der Fokusebene werden die Strahlen unterschiedlich stark gestreut. Für die Intensitätsverteilung wird eine Gaussverteilung angenommen.

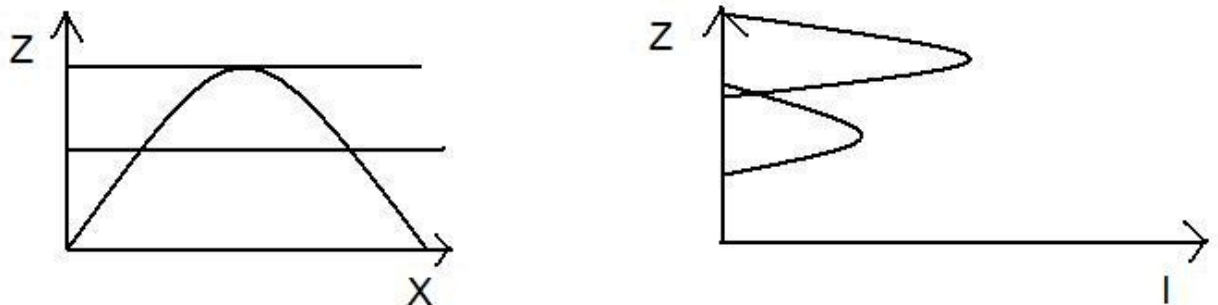


Abbildung 5: Erstellen des Topografiebildes (Schematisch)

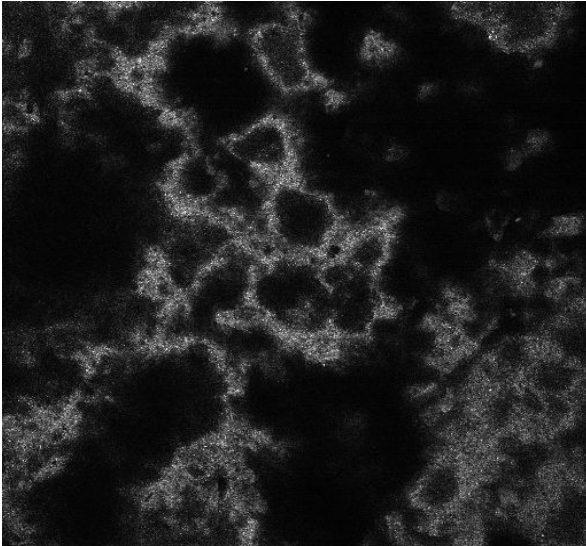


Abbildung 6: Reflektion aus der Fokusebene

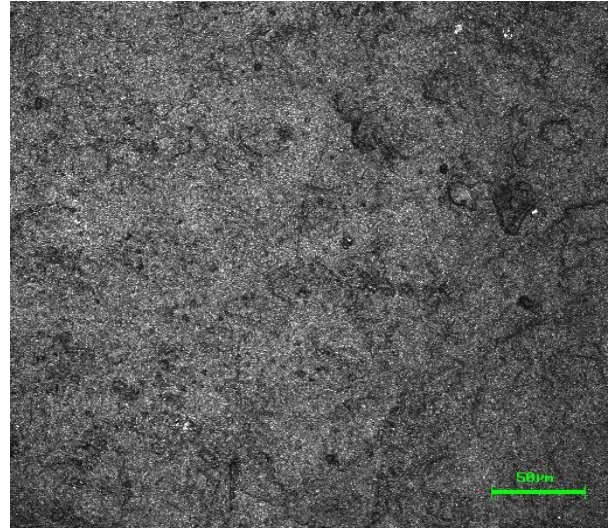


Abbildung 7: Aufnahme mit unendlicher Tiefenschärfe

Anhand dieser Daten kann man ein Topografiebild des Objektes erstellen. Für die laterale Auflösung gilt:

$$dx = \frac{0,37 * n * \lambda}{(NA)}$$

und für die Tiefenschärfe der konfokalen Ebene gilt

$$dz = \frac{1,28 * n * \lambda}{(NA)^2}$$

wobei λ die Lichtwellenlänge, n der Brechungsindex und NA die numerische Apertur sind.

Die numerische Apertur ist definiert durch

$$NA = n * \sin \alpha$$

Weitere Messergebnisse:

Waver

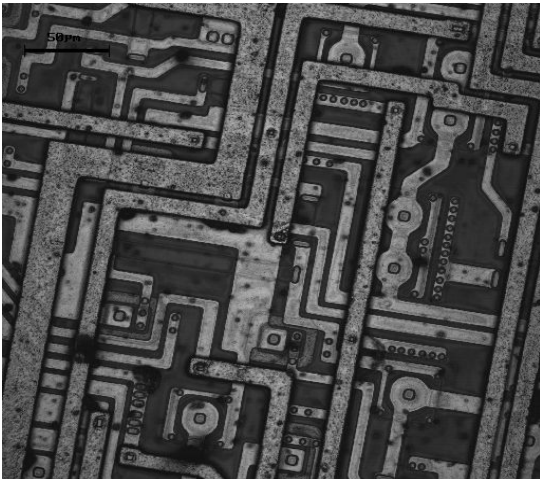


Abbildung 8: 50-fache Vergrößerung eines Wavers

Die Vergrößerung des Wavers und dessen Topografie lässt sich gut darstellen. Man sieht deutlich die Leiterbahnen.

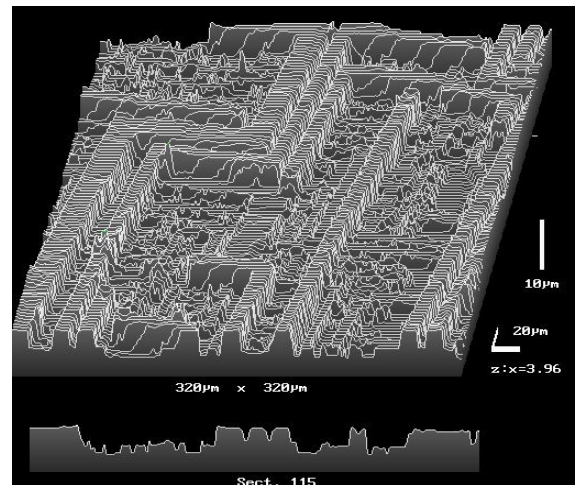


Abbildung 9: Die Topografie des Wavers

Plastikteil mit Metalliclack

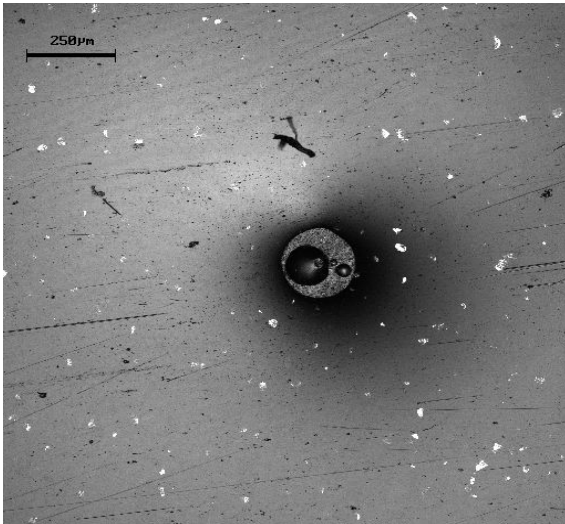


Abbildung 10: 50-fache Vergrößerung eines Plastikteils mit Metalliclack

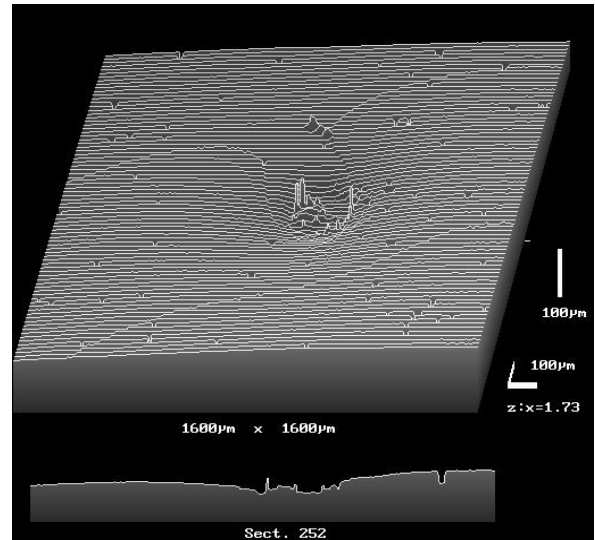


Abbildung 11: Die Topografie des Plastikteils

Wie man in Abb.10 gut erkennen kann, enthält die Lackierung einen Fehler. Die Frage, die sich stellt, ist, ob dieser Fehler ein Impact-schaden ist oder ein geplatztes Luftbläschen, das bei der Verarbeitung entstanden ist. Die Antwort auf diese Frage liefert das Topografiebild (Abb.11). Man erkennt keinen Materialkrater um die Delle herum. Somit kann man den Impact-schaden ausschließen und kommt zu dem Ergebnis, dass es sich um einen Verarbeitungsfehler handeln muss. Dies kann beispielsweise ein geplatztes Luftbläschen gewesen sein, als der Lack noch flüssig war.

Glasplättchen

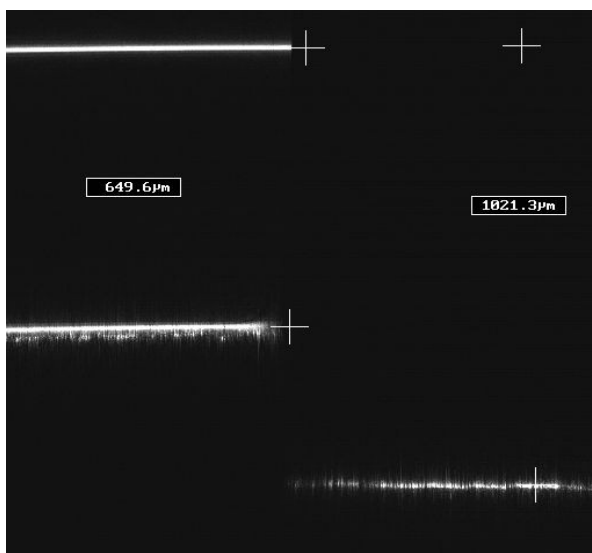


Abbildung 12: Höhenmessung eines Glasplättchens

Es scheint, als ob das Glasplättchen über dem Boden schwebt. Links oben ist die Oberfläche des Glasplättchens und rechts unten erkennt man die Reflektion des Tisches. Die Reflektion lässt sich dadurch erklären, dass der Laserstrahl im Medium Glas beim Eintritt gebrochen wird, an der Grenzfläche von Glas und Boden reflektiert und beim Austritt aus dem Medium wieder gebrochen wird. Für den Detektor erscheint der Abstand von Oberfläche zu Bodenfläche kürzer als er tatsächlich ist. Daher scheint das Glasplättchen in der Luft zu schweben. Der Brechungsindex n des Glasplättchens ergibt sich aus dem Verhältnis der verschiedenen Geschwindigkeiten, mit denen sich Licht in der Luft und im Glasplättchen bewegen. Dieses Verhältnis ist gleich dem Verhältnis zwischen den Strecken und somit ergibt sich

$$n = \frac{1021,3 \mu m}{649,6 \mu m} = 1,57$$

Speckle-Interferometrie ESPI und Shearografie

Durch Speckle-Interferometrie lassen sich Verformungen darstellen. Hierfür gibt es zwei Verfahren. ESPI und Shearografie.

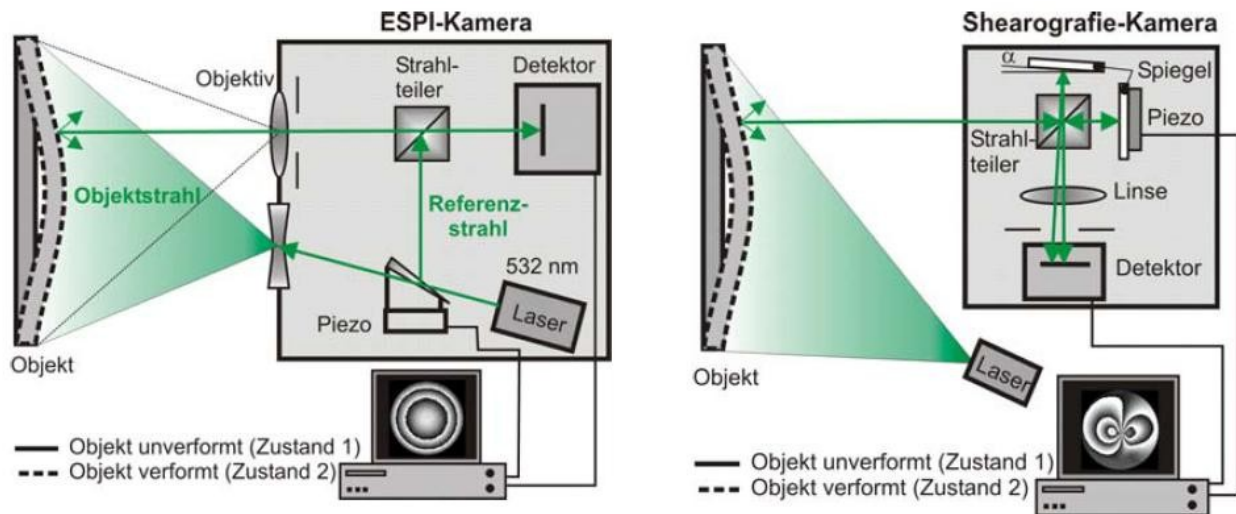


Abbildung 13: Aufbau von ESPI und Shearografie [1]

Wie man in Abb. 13 erkennen kann, unterscheiden sich ESPI und Shearografie dadurch, dass ESPI einen zusätzlichen Referenzstrahl benutzt, während Shearografie mit nur einem Laserstrahl auskommt. Das Messergebnis bei ESPI ist die Differenz zwischen Ausgangszustand und verformten Zustand. Dieses Differenzbild ist das in Abb.13 zu sehende Streifenbild. Die Abstände zwischen den einzelnen Ringen betragen $\lambda/2$. Bei Shearografie hingegen ist das Ergebnis des Differenzbildes der Gradient der Beule oder Delle. Damit man eine Aussage treffen kann, ob es sich um eine Beule oder ein Delle handelt, wird ein Phasenbild erstellt. Für die Kalibrierung wird der Intensitätsverlauf in Abhängigkeit der Piezospannung gemessen. Der Phasenwinkel von 0° bzw. von 360° wird bei den Intensitätsmaxima festgelegt. Im unverformten Zustand werden 4 Bilder im Abstand von 90° Phasendifferenz aufgenommen. Für die Phase im unverformten Zustand ergibt sich φ über die Beziehung :

$$\varphi = \arctan\left(\frac{I_4 - I_2}{I_3 - I_1}\right) .$$

Das Gleiche wird beim verformten Zustand gemacht. Aus der Differenz der beiden Phasen lässt sich das Phasenbild erstellen. Der Graukeil (Hell-Dunkel-Verlauf) des Phasenbildes hat die Form einer

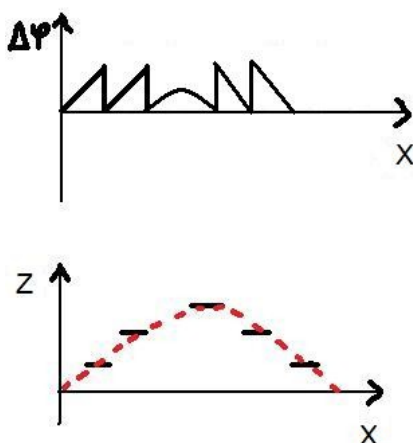


Abbildung 14: Phasendifferenz und Verformung

Sägezahnfunktion. Daraus lässt sich die Orientierung des Hell-Dunkel-Verlaufs ablesen.

Messungen ESPI und Shearografie:

Messungen ESPI von Plexiglas:

Die Verformung von einem Plexiglas, einem Stück Holz mit aufgeklebtem Kunststoff, sowie eines CFK Werkstücks werden dargestellt. Beim Plexiglas wurden auf der Rückseite einige Bohrungen vorgenommen. Diese lassen sich durch die unförmigen Ringe vermuten (Abb.16).

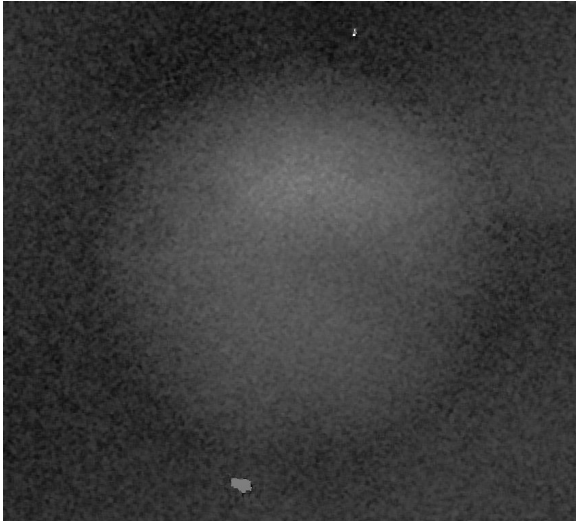


Abbildung 15: Aufnahme in unverformten Zustand

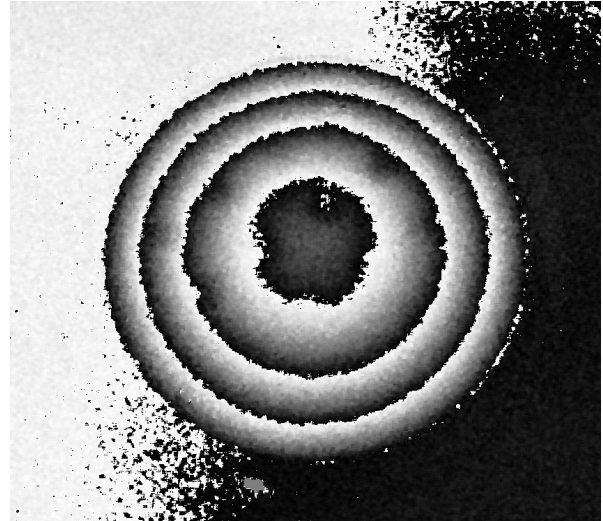


Abbildung 16: Differenzbild von verformtem und unverformtem Zustand

Die Software ist nicht nur in der Lage, Phasenbilder zu erstellen, sondern kann die Streifenmuster in demodulierte Bilder umwandeln (Abb.17).

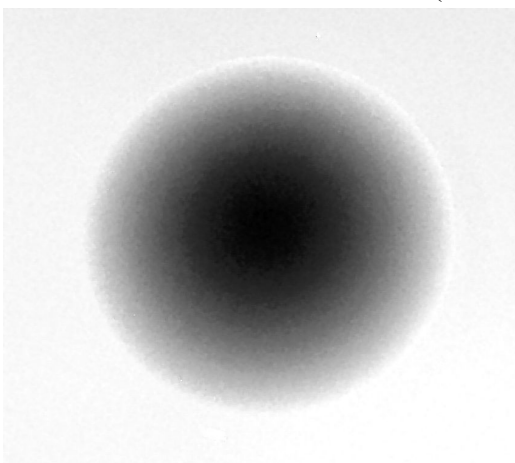


Abbildung 17: Plexiglasplatte verformt und demoduliert

Beim Verformungsbild eines Holzstück mit aufgeklebtem Kunststoff (Abb.18) erkennt man eine starke Verformung in der Mitte des Werkstücks, da dort eine höhere Streifendichte vorliegt als am Probenrand. Dort hat sich die Klebung gelöst und daher dehnt sich der Kunststoff beulenartig aus. Das CFK-Werkstück weißt Impaktschaden in der Mitte des Werkstücks auf (Abb.19). Zudem erkennt man Abstufungen oben und unten am Bauteil. Dort herrschen unterschiedliche Dicken. Das Werkstück wurde verstärkt, um beim Zugversuch besser eingespannt zu werden.



Abbildung 18: Verformungsbild von einem Stück Holz mit aufgeklebtem Kunststoff

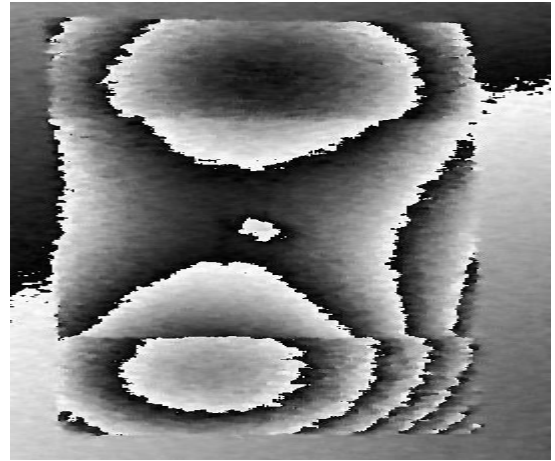


Abbildung 19: Verformung es CFK Werkstücks

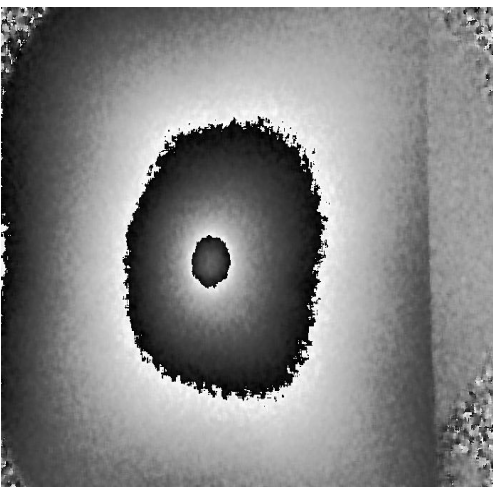


Abbildung 20: Verformung durch eine Münze

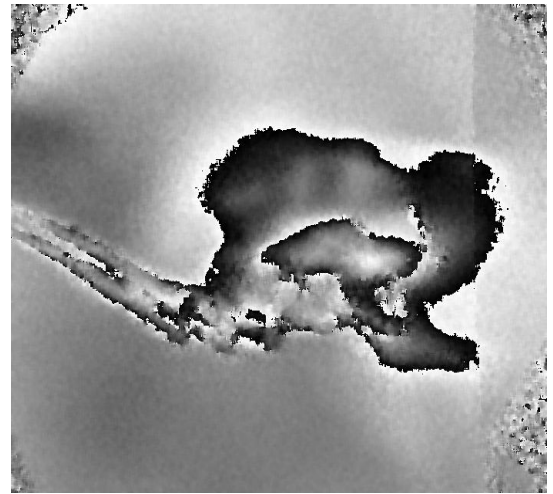


Abbildung 21: Darstellung eines Gases im ESPI

ESPI reagiert sehr sensibel auf thermische Ausdehnung. Eine Münze, die kurz auf ein Werkstück gelegt wurde hat dieses Punktuell erwärmt und man erkennt die Verformung noch nach dem entfernen der Münze (Abb.20). Da ESPI mit einem Referenzstrahl arbeitet, ist es auch wesentlich stör anfälliger. So reicht bereits ein ausströmendes Gas oder verschieden warme Luft aus, um eine Verformung vorzutäuschen (Abb. 21). Der Grund hierfür sind die unterschiedlichen Brechungsindizes zwischen der Luft und dem Feuerzeuggas.

Messungen Shearografie:



Abbildung 22: Gradient der Verformung eines Stück Holzes mit aufgeklebtem Kunststoff

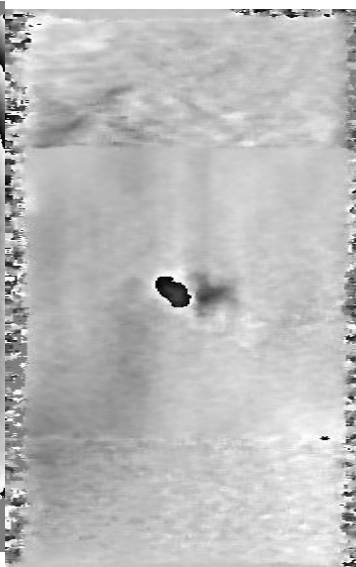


Abbildung 23: CFK Werkstück mit Defekt in der Mitte, von links nach rechts geschert

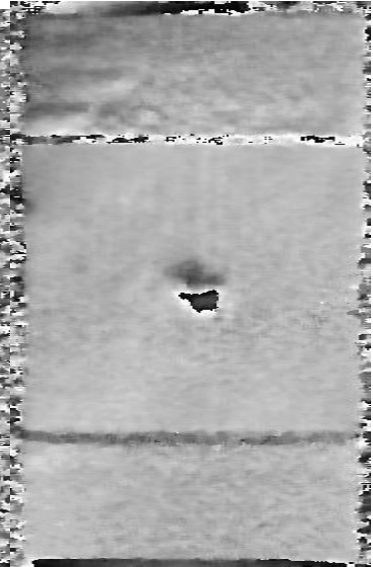


Abbildung 24: CFK Werkstück mit Defekt in der Mitte, von unten nach oben geschert

Bei der Shearografie sieht man nur den Gradienten der Verformung (Abb.22). Bei dem CFK Werkstück wurde einmal von links nach rechts und einmal von unten nach oben geschert. Der Defekt lässt sich beide Male gut erkennen. Wäre der Defekt ein Riss in Scherrichtung, würde man ihn nicht mehr erkennen, da ESPI nur den Gradienten in Scherrichtung angibt. So sieht man in Abb. 23 den Dickenunterschied zwischen der Platten und den aufgeklebten Plättchen nicht. In Scherrichtung ist die Dicke überall konstant. In Abb. 24 hingegen sieht man den Dickenunterschied deutlich, da sich in Scherrichtung die Dicke ändert. Daher sollte immer in senkrecht zueinander stehenden Richtungen geschert werden.

Streifenprojektion

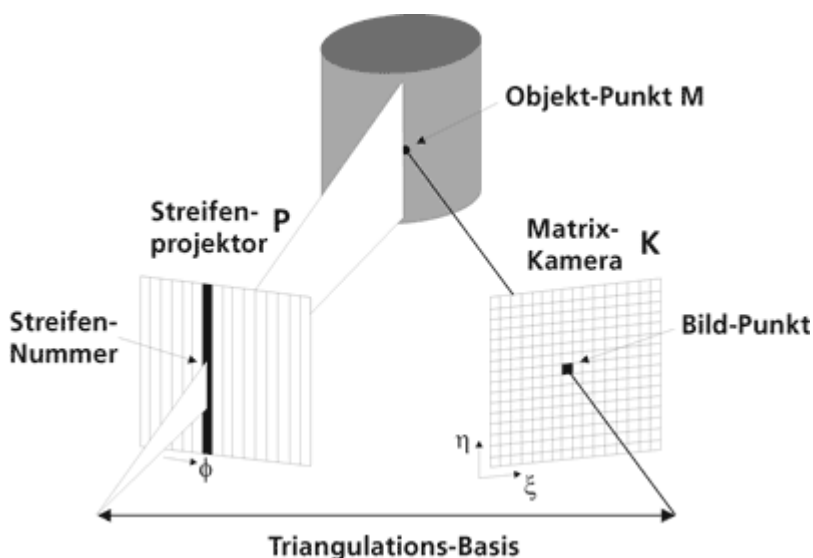


Abbildung 25: Streifenprojektion schematisch[4]

Streifenprojektion ist eine Methode, um die Topografie eines Objekts zu bestimmen. Das Messprinzip beruht auf Triangulation. Im einfachsten Fall von flächenhaft abtastenden

Messverfahren, zu dem auch die Streifenprojektion gehört, wird ein Lichtpunkt von einem Körper reflektiert und von einem Detektor erfasst. Der Abstand zwischen Lichtquelle und Detektor (Triangulationsbasis) ist bekannt. Um die Lage des Reflektionspunktes zu erfassen, misst man den Winkel zwischen ausfallendem Lichtstrahl und Traingulationsbasis und den Winkel zwischen dem einfallendem Lichtstrahl und der Triangulationsbasis. Aus den gewonnenen und bekannten Daten kann die Lage des Punktes errechnet werden. Bei der Streifenprojektion wird anstatt eines einfachen Lichtpunktes ein Lichtband mit scharfen Hell-Dunkelgrenzen auf das Prüfobjekt projiziert. Dies nennt man Schnittbild, welches vom Detektor, normalerweise eine CCD-Kamera, in einem bestimmten Winkel zwischen Prüfobjekt und Triangulationsbasis erfasst wird. Der Projektor (Lichtquelle) beleuchtet das Objekt mit unterschiedlich breiten Hell-Dunkelstreifen. Die verschiedenen Hell-Dunkelstreifenmuster entsprechen dem Gray-Code. Dadurch lässt sich eine gute Auflösung realisieren.

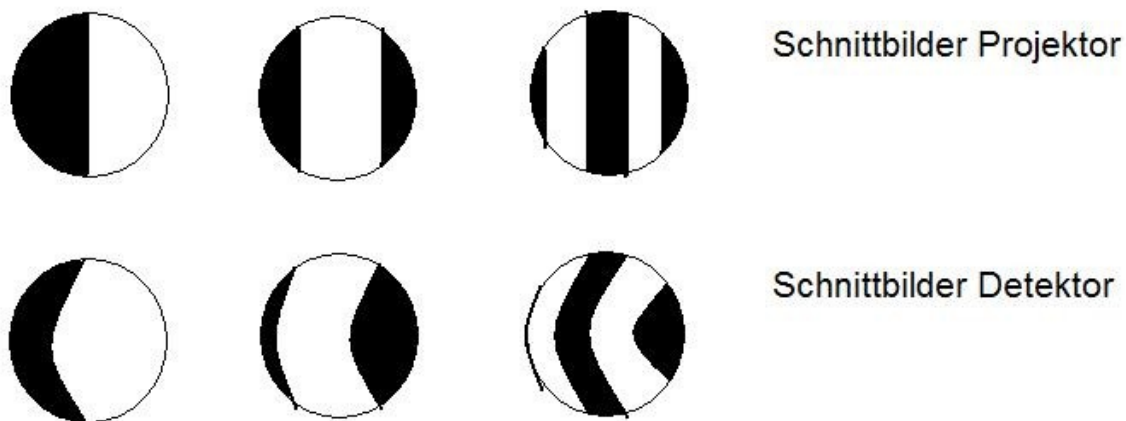


Abbildung 26: Schematische Darstellung der Schnittbilder

Jedem Streifen wird pro Aufnahme eine Nummer zugewiesen. Das ist wichtig für die Auswertung. Diese erfolgt, indem man ein Schaubild für das projizierte und das detektierte Schnittbild erstellt. Das detektierte Schnittbild kann als eine Drehung um die Y-Achse betrachtet werden. Daher sind die Y-Koordinaten konstant, wohingegen die X-Koordinaten Phasenverschoben sind.

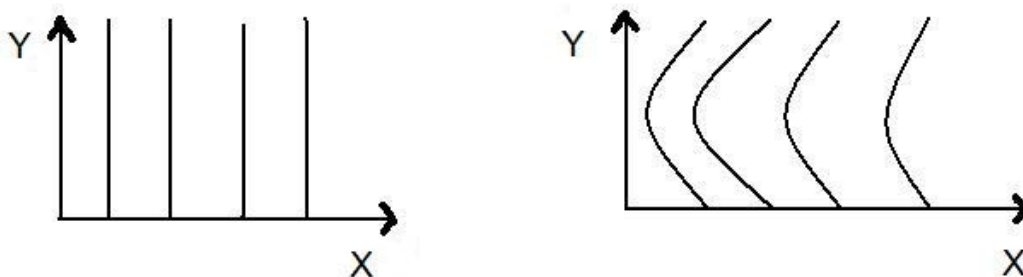


Abbildung 27: Schematische Auswertung des Schnittbildes

Die Phasenverschiebung entspricht der Auslenkung in Z-Richtung. Damit lässt sich ein dreidimensionales Bild erstellen.

Quellen

- [1]http://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/mikroskop/objektiv/4_na.htm 29.01.09
- [2] Praktikumsprotokoll Optische Messtechnik www.zfp.uni-stuttgart.de
- [3] Vorlesungsskript G.Busse „Zerstörungsfreie Prüfung von Werkstoffen und Bauteilen“, WS 07/08.
- [4]http://www.qm-infocenter.de/qm/tools/download_bplic.asp?pic=339 22.2.09
- [5]<http://www.jotero.com/temp/streifenprojektion.pdf>
- [6]<http://de.wikipedia.org/wiki/Streifenprojektion>