

Wellenfrontmessung mit Shearing-Interferometrie bei simultaner Erfassung orthogonaler Shear-Interferogramme

V.Nercissian, K.Mantel, N.Lindlein, J.Schwider

Institut für Optik, Information und Photonik, Max-Planck-Forschungsgruppe, Universität Erlangen-Nürnberg

[mailto: vnercissian@optik.uni-erlangen.de](mailto:vnercissian@optik.uni-erlangen.de)

Es wird ein simultanes Messverfahren zur hochgenauen Wellenfrontmessung aus Shearing-Interferogrammen vorgestellt. Dabei werden die Messungen simultan auf demselben Detektorfeld vorgenommen. Die Trennung der orthogonalen Shear-Interferogramme erfolgt über eine Indizierung mittels Polarisation.

1 Einführung

Laterale Shearing-Interferometrie ist ein robustes Verfahren, um Phasenobjekte im Durchlicht zu prüfen. Dabei wird die zu vermessende Wellenfront in zwei identische Kopien zerlegt, die dann – um die Strecke Δs lateral gegeneinander verschoben – überlagert werden. Die Intensitätsverteilung auf dem Detektor ist gegeben durch:

$$I \propto 1 + V \cdot \cos(\Phi(x + \Delta s, y) - \Phi(x, y)) \quad (1)$$

wobei $\Phi(x,y)$ die zu bestimmende Phasenverteilung ist und das Koordinatensystem so gewählt wurde, dass der Shear parallel zur x-Achse verläuft. V ist der Kontrast, der im Idealfall eins ist.

Das Argument des Kosinus ist proportional zum Differenzenquotienten der gesuchten Phasenverteilung in x-Richtung, weshalb dieses Verfahren auch als „differentielle laterale Shearing-Interferometrie“ bezeichnet wird. Zur vollständigen Rekonstruktion der zwei-dimensionalen Wellenfront müssen zwei Messungen mit linear unabhängigen (i.d.R. orthogonalen) Versatzrichtungen vorgenommen und mittels numerischer Verfahren integriert werden.

Die zwei benötigten Differenzmessungen können dabei zeitlich nacheinander aufgenommen werden, wobei allerdings Teile des Interferometers zwischen beiden Messungen rotiert werden müssen, um den Shear für die zweite Messung einzustellen.

Eine weitere Möglichkeit ist die simultane Aufnahme beider Differenzmessungen bei gleichzeitiger räumlicher Trennung der Interferenzmuster auf dem Detektor. Hier stellt sich allerdings das Problem, die Koordinatensysteme beider Messungen für die Integration zur Deckung zu bringen. Daraus ergeben sich hohe Anforderungen an die Verzeichnungsfreiheit der abbildenden Optik.

Wünschenswert ist eine Kombination beider Vorgehensweisen, also eine zeitgleiche Aufnahme der

Messungen auf demselben räumlichen Bereich des Detektors.

Im Folgenden wird ein Verfahren vorgestellt, das es erlaubt, mit Hilfe einer Polarisationsindizierung beide Messungen zeitgleich auf demselben Detektorfeld auszuführen.

2 Eindimensionaler Shear

Eine Vielzahl an Möglichkeiten ist bekannt, experimentell eine Wellenfront in zwei lateral versetzte Kopien zu zerlegen. Die hier verwendete diffraktive Variante basiert auf dem Einsatz zweier hintereinandergeschalteter Ronchi-Phasengitter, bei denen die Ätztiefe so gewählt ist, dass die nullte Beugungsordnung verschwindet (Abb. 1) [1].

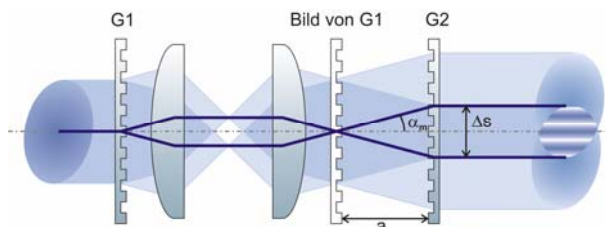


Abb. 1 Shearingaufbau mit Eingriffsmöglichkeit in der Brennebene, Filterung der Ordnungen.

Fällt die einlaufende Welle unter dem Winkel α_0 auf das erste Gitter G_1 , können über die Gittergleichung die Winkel α_m hinter dem Gitter angegeben werden:

$$\sin \alpha_m = \sin \alpha_0 + m \frac{\lambda}{p} \quad (2)$$

wobei λ die Wellenlänge und p die Gitterperiode sind.

In der Brennebene des Teleskops können die gewünschten Ordnungen durch Ausblenden selektiert werden. Wählt man etwa diejenigen mit $m=\pm 1$, können mit dem zweiten Gitter G_2 gleicher Periode p zwei identische Kopien der ursprünglichen Welle

erzeugt werden, die sich parallel und lateral versetzt ausbreiten.

Die Größe von Δs wird dabei durch den Beugungswinkel des Gitters λ/p und den beliebig einstellbaren Abstand a zwischen dem Bild des ersten und dem Ort des zweiten Gitters bestimmt.

3 Polarisationsindizierung

Um beide Differenzmessungen auf demselben Detektorfeld vornehmen zu können, werden statt der eindimensionalen linearen Gitter zweidimensionale lineare „Schachbrettgitter“ mit periodischen Strukturen in beiden Shear-Richtungen, idealerweise den orthogonalen Achsen x und y , verwendet. Durchläuft die Wellenfront das vordere dieser Schachbrettgitter, entstehen Beugungsordnungen in orthogonalen Raumrichtungen, die im Folgenden mit den Indizes (m_x, m_y) gekennzeichnet werden.

Die beiden Ordnungen $(+1,+1)$ und $(-1,-1)$ werden herangezogen, um einen Shear in x' -Richtung zu verwirklichen. Entsprechend erzeugen die Ordnungen $(+1,-1)$ und $(-1,+1)$ einen Versatz in y' -Richtung (x' und y' sind gegenüber x und y um 45 Grad gedreht).

Mit Hilfe eines Kreuzpolarisators in der Brennebene eines Teleskop-Objektivs wird den korrespondierenden Ordnungen $(+1,+1)$ und $(-1,-1)$ ein linearer Polarisationszustand (rote Kennzeichnung in Abb. 2), den Ordnungen $(+1,-1)$ und $(-1,+1)$ ein dazu orthogonaler Polarisationszustand (blaue Kennzeichnung in Abb. 2) aufgeprägt. Die nicht erwünschten Ordnungen werden ausgeblendet.

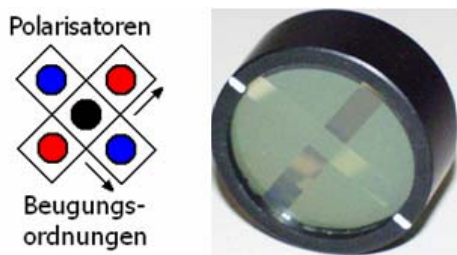


Abb. 2 Verwendeter Kreuzpolarisator (Fa. CODIXX, Barleben).

Alle vier Ordnungen liegen somit gleichzeitig vor. Die Trennung der beiden überlagerten Shearing-Interferogramme kann durch ein spezielles Polarisationsfilter-Array vor dem Detektor erfolgen (siehe nächster Abschnitt). Alternativ kann das gewünschte Interferogramm auch mittels eines drehbaren Polarisationsfilters selektiert werden.

4 Polarisationsfilter-Array

Um die beiden überlagerten Interferogramme zu trennen, kann ein Array aus Polarisationsfiltern verwendet werden, das direkt vor dem Detektor angebracht wird (Abb. 3).

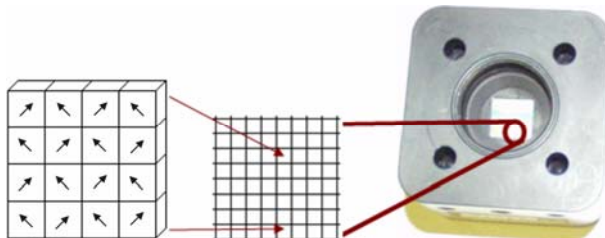


Abb. 3 Schema des Polarisationsfilter-Arrays.

Für dynamische Interferometrie werden bereits Polarisationsfilter-Arrays eingesetzt [2]. Hier sollen lediglich zwei orthogonale Polarisationszustände für benachbarte Pixel realisiert werden. Durch die lokale Trennung der beiden orthogonalen Shear-Interferogramme soll das overlay-Problem weit getrennter und möglicherweise verzeichneter Interferenzbilder vermieden werden.

Literatur

- [1] H. Schreiber, J. Schwider: „A lateral shearing Interferometer based on two Ronchi Gratings in series“ in: *Applied Optics*, **45**(22), 5321-5324 (1997)
- [2] N. Brock et al., „Dynamic Interferometry“ in: *Proceedings of SPIE* Vol. 5875, page 58750F-1 (2005)