

Shearing-Interferometer mit unterschiedlich kohärenten Multilichtquellen zur optischen Formmessung optischer Oberflächen

Johannes Bautsch, Jan-Hendrik Hagemann, Gerd Ehret

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, Germany

j.bautsch@ptb.de

Es werden zwei Varianten eines Shearing-Interferometers mit einer Multiquellenbeleuchtung zur Formmessung optischer Oberflächen vorgestellt. Die Einflüsse der Kohärenz der Beleuchtungseinheit und des verwendeten Shear-Elements auf das Messergebnis werden dargestellt.

1 Einleitung

Die hochgenaue interferometrische Formerfassung von Asphären und Freiformflächen stellt eine große Herausforderung für aktuelle Messsysteme dar, da diese eine aufwendige Anpassung der Eingangswellenfront benötigen, damit die Strahlen zurück in das Interferometer fallen. Diese Anpassung kann durch eine flexible Multiquellenbeleuchtung ersetzt werden. Hierfür wird im Rahmen eines gemeinsamen DFG-Projekts (Deutsche Forschungsgemeinschaft) zwischen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und dem Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH (BIAS) die optische Formerfassung durch ein Shearing Verfahren mit einer Multiquellenbeleuchtung entwickelt. In dieser Veröffentlichung werden insbesondere die Einflüsse der Kohärenz der Beleuchtung sowie des verwendeten Shear-Elements auf die Formmessung untersucht.

2 Shearing-Verfahren

Bei der Shearing-Interferometrie wird die einfallende Wellenfront mit einer lateral verschobenen Kopie ihrer selbst verglichen. Hierfür wird die durch den Prüfling beeinflusste Wellenfront in zwei Wellenfronten aufgeteilt, wobei eine Wellenfront in x- oder y-Richtung verschoben wird. Das entstehende Interferogramm entspricht den lokalen Differenzen der Wellenfront. Um die Differenzen sowohl für die x- als auch die y-Richtung zu erhalten und ein eindeutiges Ergebnis zu erreichen, wurden für jede Messung insgesamt vier Interferogramme mit unterschiedlichen Shear-Abständen bzw. Richtungen erzeugt (jeweils zwei in x-Richtung und zwei in y-Richtung). Aus den vier Gradientenbildern kann anschließend durch eine numerische Integration die zugrundeliegende Wellenfront rekonstruiert werden. Zur Realisierung des Shears können verschiedene Methoden zum Einsatz kommen. In den hier beschriebenen Aufbauten wurde der Shear sowohl mit einem Spatial Light Modulator (SLM) [1] als

auch durch einen Strahlteiler in Kombination mit zwei Retroreflektoren erzeugt [2].

3 Aufbau mit Spatial Light Modulator (SLM)

Der Spatial Light Modulator erzeugt ein elektronisches steuerbares Beugungsgitter. Es wird hier ein Blazegitter mit dem SLM generiert, das eine maximale Intensität in der ersten Beugungsordnung besitzt. Hierbei wird nur eine Polarisationsrichtung des Lichtes gebeugt, bei der um 90° gedrehten Polarisationsrichtung erfolgt eine normale Reflexion. Aufgrund der daraus resultierenden Winkeldifferenz zwischen reflektiertem und gebeugtem Strahl entstehen in der Kamerebene zwei lateral verschobene Kopien der ursprünglichen Wellenfront. Weiterhin kann mittels des SLMs eine Phasenverschiebung erzeugt werden, wodurch eine Berechnung der Phasenlage ermöglicht wird. Der zugrundeliegende Aufbau ist eine $4f$ Konfiguration (siehe Abbildung 1). Das SLM befindet sich in der Fourierebene. Durch die Verwendung des SLMs werden keine mechanischen Verschiebungen benötigt. Es gibt eventuell jedoch einen Einfluss des nicht perfekten SLMs auf die Wellenfront [3].

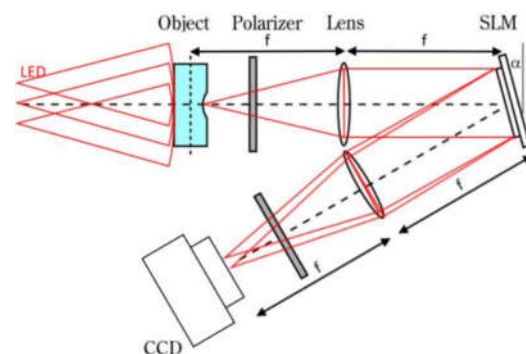


Abbildung 1: Aufbau mit teilkohärenter Multiquellen-Beleuchtung und SLM

Da beide Lichtwege nahezu identisch verlaufen, ist es möglich eine LED-Beleuchtung, also eine teilkohärente Beleuchtung, zu verwenden.

4 Aufbau mit kohärenter Beleuchtung

Bei dem alternativen Aufbau wurde als Shear-Element ein Strahlteiler und zwei Retroreflektoren (siehe Abbildung 2) verwendet. Einer der Retroreflektoren kann durch Mikrometerschrauben in x- und y-Richtung verschoben werden. Durch die Verschiebung des Retroreflektors wird die reflektierte Wellenfront um das Doppelte in die entsprechende Richtung verschoben. Für die Realisierung des Phasenschiebers wurde ein Piezo-Aktuator integriert. Als Beleuchtung dient in diesem Aufbau ein He-Ne Laser, da durch die erhöhte Kohärenz ein besserer Kontrast der Streifen ermöglicht wird.

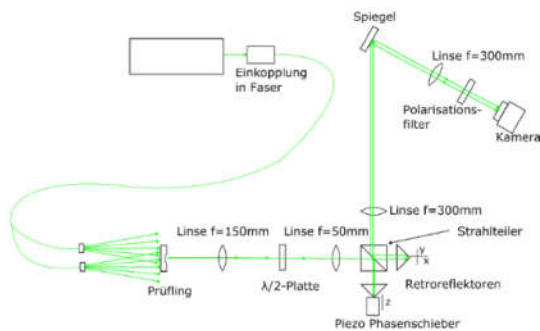


Abbildung 2: Aufbau mit kohärenter Beleuchtung und Retroreflektoren als Shear-Element [2]

Dieser Aufbau benötigt eine mechanische Verschiebung des Retroreflektors zur Einstellung des Shears sowie zur Veränderung der Phasenlage. Weiterhin ist es durch die Aufteilung des Strahls am Retroreflektor kein „common path-Interferometer“. Dies führt zu einer höheren Vibrationsempfindlichkeit des Interferometers im Vergleich zu dem Aufbau mit einem SLM.

5 Einflüsse der Kohärenz bei einer Multiquellenbeleuchtung

In beiden Messaufbauten wurden mehrere Lichtquellen verwendet. Hierdurch ist es möglich Prüflinge flexibel aus verschiedenen Richtungen zu beleuchten und dadurch ein breites Prüflingspektrum vermessen zu können. Bei einer geeigneten Wahl der Shear-Abstände greifen die einzelnen Interferenzstreifen des Shearingverfahrens ineinander (siehe Abbildung 4) wodurch ein gemeinsames Interferogramm entsteht.

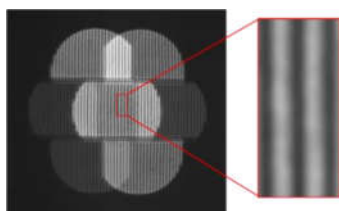


Abbildung 3: gemeinsames Interferogramm von sieben Lichtquellen mit teilkohärenter Beleuchtung

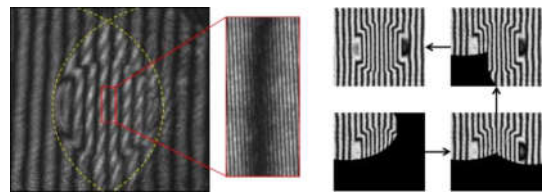


Abbildung 4: Interferogramm mit zwei kohärenten Lichtquellen (links), Stitching der einzelnen Interferogramme bei zeitlich getrennter Aufnahme (rechts)

Bei einer zeitgleichen Aufnahme mehrerer Lichtquellen bilden sich, bei der Verwendung einer kohärenten Beleuchtung, im Überlappbereich der Lichtquellen Störinterferenzen (vgl. Abbildung 3). Diese müssen, um das Ergebnis nicht zu verfälschen, vor der Auswertung beispielsweise durch eine Filterung herausgerechnet werden. Alternativ können sie, durch zeitlich getrennte Aufnahmen, vermieden werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben ein Shearing-Interferometer mit unterschiedlich kohärenten Multiquellen-Beleuchtungen entworfen, aufgebaut und Messungen mit angepasster Beleuchtungswellenfront durchgeführt. Bei Verwendung einer LED basierten Beleuchtung treten keine Störinterferenzen auf. Im Fall einer kohärenteren Beleuchtung konnten diese durch eine Filterung oder eine zeitlich getrennte Aufnahme aus dem Messergebnis entfernt bzw. vermieden werden. In weiteren Arbeiten sollen die Einflüsse des Spatial Light Modulators auf das Messergebnis näher untersucht werden, weiterhin sollen Kalibrierstrategien für das Interferometer erarbeitet werden.

7 Danksagung

Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung dieser Forschungsarbeit (BE 1924/22-1, EH 400/5-1) durch die Deutsche Forschungsgesellschaft (DFG).

Literatur

- [1] C. Falldorf, A. Simic, G. Ehret, M. Schulz, C. von Kopylow, R. Bergmann, „Precise optical metrology using Computational Shear Interferometry and an LCD monitor as light source“ in: *Proc. of Fringe 2013*, (Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014), S. 729-734
- [2] J. Bautsch, „Shearing-Interferometer mit kohärenter Multiquellenbeleuchtung“, Masterarbeit an der PTB, dem Institut für elektrische Messtechnik der TU Braunschweig und dem Institut für Produktionsmesstechnik an der TU Braunschweig, 2016
- [3] J.-H. Hagemann, C. Falldorf, G. Ehret, R. Bergmann, „Error influences of the shear element in interferometry for form characterization of optics“ in: *Proc. SPIE 10329, Optical Measurement Systems for Industrial Inspection X*, 2017