

Interferometrisches Verfahren zur schnellen, flexiblen Vermessung von Präzisionsasphären

Eugenio Garbusi, Christof Pruss, Jan Liesener, Wolfgang Osten

*Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 9, D-70596, Stuttgart*

<mailto:garbusi@ito.uni-stuttgart.de>

Die schnelle, flexible Vermessung von asphärischen Präzisions-Oberflächen im Fertigungsprozess ist nach wie vor ein ungelöstes Problem. In diesem Paper wird ein neues Verfahren präsentiert, das typische Asphären mit einer asphärischen Deformation von bis zu 1000 μm mit interferometrischer Genauigkeit vermessen kann.

1 Einführung

Die Vorteile bei der Verwendung von asphärischen Elementen im Optikdesign sind lange bekannt. Auch bekannt sind die Schwierigkeiten bei der Vermessung von solchen Elementen. Zur Vermessung optischer Oberflächen bietet sich die Interferometrie als genaues und schnelles Verfahren an. Klassische Probleme sind Vignettierung und Unauswertbarkeit des Interferogramms aufgrund der starken Abweichung des Prüflings von der sphärischen Prüfwelle. Mögliche Lösungen sind z.B. Nulloptiken [1] oder Stitching/Scanning Verfahren [2,3]. Einige Nachteile dieser Verfahren sind z.B. die erforderliche Zeit für die Herstellung der Nulloptik oder auch die benötigte lange Messzeit, welche die Integration in die Industrielle Umgebung problematisch macht. Um diese Probleme zu vermeiden, wurde ein neues Verfahren entwickelt, das ohne die Verwendung von Nulloptik oder Bewegung des Prüflings auskommt [4,5].

2 Beschreibung des Verfahrens

Ein Punktlichtquellen-Raster wird verwendet, um Prüfwellen verschiedener Verkipfung zu erzeugen. Die verkippten Wellen ermöglichen die lokale Kompensation der Gradienten des Prüflings und damit eine Reduzierung der Streifendichte.

Abb. 1 zeigt den schematischen Aufbau. Ein Punktlichtquellenarray im Objektarm erzeugt in Kombination mit einer Kollimationslinse eine Vielzahl gegeneinander verkippter Wellenfronten, die auf den Prüfling treffen. Für jedes Flächenelement auf der Oberfläche des Prüflings steht durch die Vielzahl von Objektwellen (blaue Strahlen) ein Beleuchtungswinkel zur Verfügung, bei dem die am Flächenelement reflektierte Welle in einem ähnlichen Winkel auf die Kamera trifft, wie die zeitlich konstante Referenzwelle (rote Strahlen). Alle anderen Beleuchtungswinkel werden an der Interferometerblende ausgeblendet.

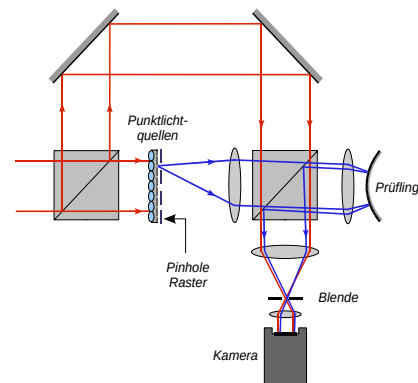


Abb. 1: Interferometer mit verkippter Objektwelle.

Um zu vermeiden, dass sich die Interferenzen in den überlappenden Bereichen stören, wird mit einem Blenden-Raster nur eine Auswahl an Objektwellen gleichzeitig eingeschaltet, zum Beispiel jede vierte Quelle des Punktlichtquellenarrays. Das Bewegungsmuster des Rasters zeigt **Abb. 2**. Somit werden vier Messungen benötigt, um alle Objektwellen einmal zu benutzen. Jeder Punkt des Prüflings wurde mit mindestens einer Objektwelle auswertbar. **Abb. 3** zeigt einen Schritt der Messung für eine Beispiel Asphäre.

3 Messung des Prüflings

Die vorher genannten vier Messungen werden in einem Optimierungsprozess verwendet, um die Prüflingsform zu bestimmen. Hierfür wird die Prüflingsform parametrisiert. Der Optimierungsprozess liefert die Abweichungen der realen Prüflingsparametern von den Soll-Parametern.

Ausgehend von den von einem idealen Prüfling zu erwartenden Interferogrammen werden durch Linearisierung und Iteration die Prüflingsparameter ermittelt, die zur Messung passen. Dabei macht man sich zunutze, dass die zu erwartenden

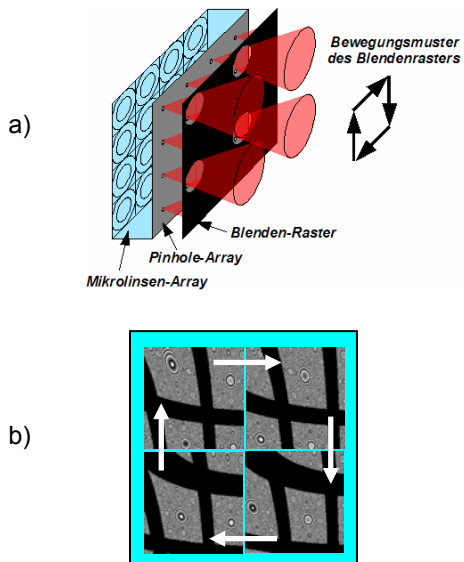


Abb. 2: Schaltbares Punktlichtquellen-Raster. (a) Bewegungsmuster (b) Entsprechende Interferogramm-Sequenz

Messabweichungen für jeden Prüflings-Koeffizienten charakteristisch sind. Dies ergibt die notwendige Eindeutigkeit des Optimierungsprozess. Es handelt sich bei diesem Prüfverfahren nicht um einen Nulltest, große Retrace-Fehler sind zu erwarten. Daher wird das Interferometer vollständig charakterisiert. Dies wird durch die Vermessung einer bekannten Kugel an N Positionen vor dem Interferometer erreicht. Aus diesen Messungen kann die Interferometerkalibrierfunktion durch einen Optimierungsalgorithmus berechnet werden.

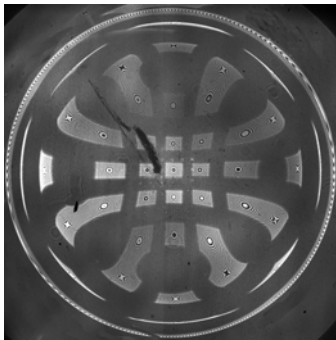


Abb. 3: Erster Schritt der Messung (experimentelle Aufnahme).

4 Erste Ergebnisse

Die Leistungsfähigkeit der hinter dem Verfahren stehenden Algorithmik wurde anhand eines realitätsnahen Szenarios (leicht dejustiertes Interferometermodell, Rauschen, Prüfling mit Abweichungen) durch Simulation überprüft. **Abb. 4** zeigt das Ergebnis einer simulierten Messung für eine Beispiel-Asphäre mit 62 mm Durchmesser, ca. 9° Winkelabweichung von der Best-Fit-Sphäre,

800 μm Asphärizität und ca. 2 μm (PV) Abweichung von der Sollform des Prüflings. Nach drei Iterationen des Optimierungsprozess verbleibt ein Restfehler von ca. 10 nm (PV).

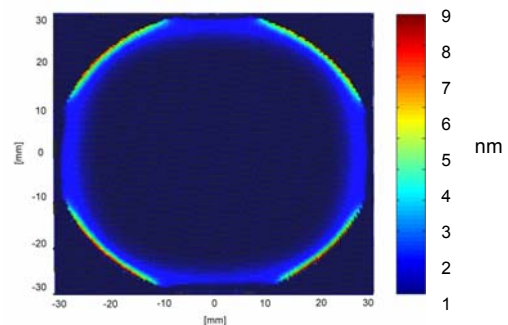


Abb. 4: Ergebnis der Simulation der Messung. Restfehler ca. 10 nm (PV). Die simulierte Messungen sind mit 100 nm (PV) verrauscht.

5 Fazit

Ein neues interferometrisches Verfahren für die Charakterisierung von asphärischen Oberflächen wurde vorgestellt. Mittels eines Punktlichtquellen-Rasters werden verschiedene Prüfwellen mit unterschiedenen Winkeln generiert, die lokal die Steifendichte sowie die Vignettierung reduzieren. Das Verfahren ermöglicht die Vermessung von Deformationen bis zu 1000 μm und eine Winkelabweichung von der Best-Fit-Sphäre von ca. 10° mit einer Genauigkeit von ca. $\lambda/30$, was durch Simulationen nachgewiesen wurde und in nächster Zukunft im Experiment bestätigt werden soll.

Danksagung

Wir bedanken uns bei Herrn Schoder und Herrn Westhauser (ITO) für die Fertigung der diffraktiven Elemente, und auch beim BMBF für die Förderung des Projekts Asphero5 (FKZ 13N8742 Unterauftragnehmer von Jenoptik LOS.).

Literatur

- [1] C. Pruss, S. Reichelt, H. J. Tiziani, and W. Osten, "Computer generated holograms in interferometric testing", Opt. Eng. 43, 2534-2540 (2004).
- [2] M. Melozzi, L. Pezzati, and A. Mazzoni, "Testing aspheric surfaces using multiple annular interferograms", Opt. Eng. 32, 1073-1079 (1993).
- [3] M. Kuechel, "Absolute measurement of rotationally symmetrical aspheric surfaces", OSA Optical Fabrication and Testing, Rochester (2006).
- [4] J. Liesener, "Zum Einsatz räumlicher Lichtmodulatoren in der interferometrischen Wellenfrontmess-technik", Dissertation, Universität Stuttgart, 2006.
- [5] Patentanmeldung: DPMA: 10 2006 057 606.3.