

Interferometrischer Quasiabsoluttest von Asphären unter Zuhilfenahme einer wellenfrontselektiven Maske

E. Geist, K. Mantel, I. Harder, N. Lindlein, J. Schwider

Institut für Optik, Information und Photonik, Universität Erlangen-Nürnberg

mailto:egeist@optik.uni-erlangen.de

Es wird eine Verbesserung für ein interferometrisches Absolutverfahren für asphärische Oberflächen vorgestellt, bei dem die Kalibrierung mittels eines so genannten Combo-DOEs erfolgt. Die Trennung der beiden Wellenfronten geschieht dabei nicht wie bisher über eine zusätzliche Trägerfrequenz der sphärischen Welle, sondern mit Hilfe einer wellenfrontselektiven Maske.

1 Einführung

Zur Prüfung von Asphären werden oft Nulltest-Anordnungen verwendet [1]. Die Nullkompensatoren erzeugen eine asphärisch deformierte Welle aus einer ebenen oder sphärischen Welle derart, dass die Wellenfronten der generierten asphärischen Welle an jeder Stelle parallel zur asphärischen Fläche sind. Bei idealer Oberflächenform und idealer Justage der Asphäre wird das Licht in sich selbst zurück reflektiert und anschließend von der Kompensationsoptik in eine ebene oder eine sphärische Welle zurückverwandelt. Als Kompensationsoptik dienen meist diffraktive optische Elemente (DOE), da sie preisgünstig und flexibel einsetzbar sind.

Aus steigenden Anforderungen an die Genauigkeit ergibt sich die Notwendigkeit einer Absolutkalibrierung, um damit die eigentlich gesuchten Oberflächenabweichungen von den Wellenaberrationen infolge der systematischen Fehler der Interferometerkomponenten einschließlich der strahlformenden Hilfsoptik zu trennen. Grundsätzlich beruhen die Lösungsansätze für Absolutverfahren auf einer Kombination von Relativmessungen. Eine Möglichkeit sind dabei die Messungen des Prüflings in verschiedenen Stellungen relativ zum Interferometer-Koordinatensystem. Dazu gehört auch der 3-Stellungstest für Sphären nach Jensen [2].

Bei diesem Verfahren wird das sphärische Testobjekt nach der ersten Messung in einer um 180° um die optische Achse gedrehten Position ein zweites Mal vermessen. Eine dritte Messung wird in der so genannten Katzenaugen-Position durchgeführt, bei der der Fokus der sphärischen Wellenfront auf dem Scheitel der Sphäre liegt. Aus diesen drei Messungen können dann die absoluten Formabweichungen der Sphäre bestimmt werden.

2 Absoluttest von Asphären

Eine Möglichkeit, Asphären absolut zu prüfen, besteht in der Übertragung des 3-Stellungstests für Sphären auf Asphären unter Verwendung von

Zwei-Wellenfronten-Hologrammen [3,4]. Diese Hologramme sind diffraktive optische Elemente, die zwei voneinander unabhängige Wellenfronten erzeugen können, und deshalb auch als Combo-DOE bezeichnet werden. Eine zweite Wellenfront ist notwendig, weil die für den Nulltest erzeugte asphärische Wellenfront keinen scharfen Fokus besitzt. Deswegen wird für die Katzenaugen-Position zusätzlich eine sphärische Wellenfront benötigt (Abb.1). Das Verfahren besitzt jedoch eine entscheidende Einschränkung: Es wird angenommen, dass die Fehlerbudgets für die sphärischen und die asphärischen Strukturen identisch sind. Von besonderer Bedeutung sind hierbei die lithographischen Strukturierungsfehler. Der relative Wellenfrontfehler $\Delta W/W$ bei einer Positioniergenauigkeit der Lithographieanlage Δp verhält sich dabei wie $\Delta p/p$ wobei p die lokale Periode der Struktur ist. Unterschiede in den beiden Strukturen des Combo-DOE wirken sich daher verschieden auf die jeweiligen Fehlerbudgets aus.

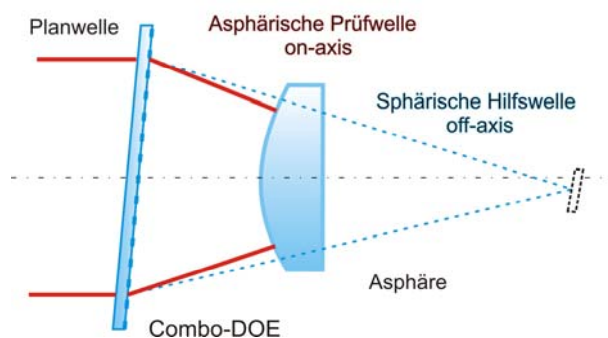


Abb. 1 Drei-Stellungstest von Asphären mit Combo-DOE. Trennung der Wellenfronten durch off-axis Kodierung der sphärischen Welle.

Eine weitere Einschränkung ergibt sich aus der Notwendigkeit, die beiden Wellenfronten voneinander zu trennen. Dazu wird die sphärische Wellenfront mit einer zusätzlichen Trägerfrequenz versehen, so dass sich die sphärische Welle unter einem anderen Winkel ausbreitet als die asphärische und sich deshalb in einer Fourierebene aus-

blenden lässt. Da die lithografischen Fehler mit kleiner werdender Periode zunehmen, bewirkt die zusätzliche Trägerfrequenz, dass auch die Aberrationen der sphärischen Wellenfront zunehmen und sich dadurch von der asphärischen Welle unterscheiden, was die erreichbare Absolutgenauigkeit beeinträchtigt. Eine Steigerung der Messgenauigkeit ist möglich, indem das Combo-DOE so ausgelegt wird, dass die beugenden Strukturen für beide Wellenfronten möglichst gleiche räumliche Frequenz und somit nahezu identische lithographische Strukturierungsfehler aufweisen.

Aus diesem Grund werden nun die beiden Wellenfronten in Streifen kodiert und zu ihrer Trennung statt der zusätzlichen Trägerfrequenz eine wellenfrontselektive Maske in Form einer Amplitudenmaske mit konstanter Streifenperiode verwendet. Diese Maske wird im Strahlengang vor das Combo-DOE gebracht und bewirkt in dieser Konfiguration, dass je nach ihrer lateralen Position nur die gewünschte Wellenfront erzeugt wird (Abb.2).

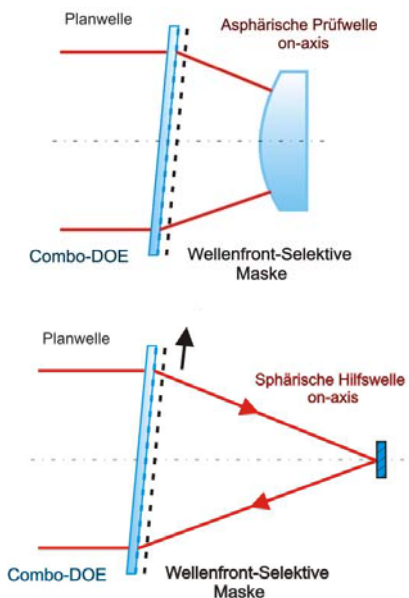


Abb. 2 Drei-Stellungstest von Asphären mit Combo-DOE. Trennung der Wellenfronten mittels wellenfrontselektiver Maske. Der Pfeil symbolisiert die laterale Verschiebung der Maske.

3 Messergebnisse

Erste experimentelle Untersuchungen des vorgeschlagenen Kalibrierverfahrens wurden mit Hilfe eines phasenschiebenden Twyman-Green Interferometers an einer Sphäre durchgeführt, da für eine Sphäre der herkömmliche 3-Stellungstest als Referenz herangezogen werden kann. Dazu wurde ein DOE als Nullelement, das eine sphärische Welle erzeugt, zusammen mit einer wellenfrontselektiven Maske in Form eines Amplitudengitters (Chrom auf Glassubstrat, Gitterperiode 102,4 μm) verwendet. Nach den Messungen in den beiden Nulltestpositionen wurde die wellenfrontselektive

Maske lateral um eine halbe Gitterperiode für die Messung in der Katzenaugenposition verschoben. Aus diesen drei Messungen wurden die absoluten Abweichungen der Sphäre ermittelt (Abb.3 oben). Zum Vergleich wurde die Maske entfernt und ein Drei-Stellungstest mit nur einer sphärischen Wellenfront durchgeführt (Abb.3 unten).

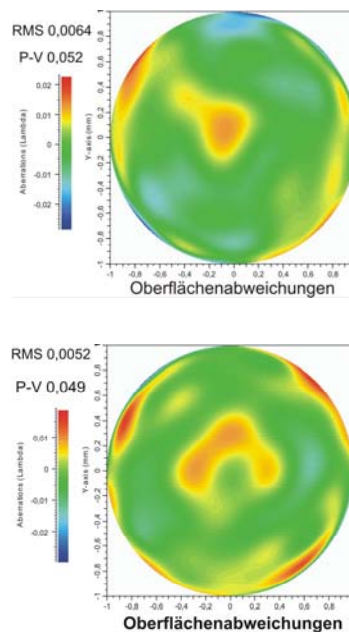


Abb. 3 Absolute Oberflächenabweichungen der Sphäre. Oben: Strahlformung mit DOE und wellenfrontselektiver Maske. Unten: Herkömmlicher 3-Stellungstest für Sphären.

Beide Ergebnisse stimmen im Rahmen der Messgenauigkeit überein, so dass Verschlechterungen aufgrund des zusätzlichen Elements auszuschließen sind. Ein Test an einer Asphäre steht aber noch aus, wobei dort eine Referenzmessung schwierig ist.

Literatur

- [1] J.Schwider, "Interferometric Tests for Aspherics", OSA TOPS Vol.24, J.Taylor, M.Piscotty, and A.Lindquist (Hrsg.), Optical Society of America (1999)
- [2] A.E.Jensen, "Absolute calibration method for laser Twyman-Green wavefront testing interferometers", J.Opt.Soc.Am.Vol.63 (1973), p.1313
- [3] J. Schwider, "Absolutprüfung von asphärischen Flächen unter Zuhilfenahme von diffraktiven Normalelementen und planen sowie sphärischen Referenzflächen", Patentoffenlegungsschrift Aktenzeichen: 198 20.785.9, (17.4.1998)
- [4] F.Simon, G.Khan, K.Mantel, N.Lindlein and J.Schwider "Quasi-absolute measurement of aspheres with a combined diffractive optical element as reference", Appl. Opt. Vol. 45 (2006), p.8606-8612