

Test von Asphären im NIR mit einem diffraktiven optischen Element als Nulllinse

Frank Simon, Norbert Lindlein, Johannes Schwider

Institut für Optik, Information und Photonik (Max Planck Gruppe), Universität Erlangen-Nürnberg
mailto:fsimon@optik.uni-erlangen.de

Es wird der sogenannte Quasi-Absoluttest für steile Asphären vorgestellt. Durch Verwendung einer grösseren Wellenlänge können auch steile Testobjekte vermessen werden. Die Nulllinse besteht dabei aus einem einzelnen DOE, in dem eine sphärische und eine asphärische Welle kodiert sind.

1 Einführung

Um steile Asphären vermessen zu können muss man grosse Beugungswinkel erzielen, wenn die Nulllinse nur aus einem DOE besteht. Anhand der Beugungsgleichung

$$\sin \varphi = \frac{\lambda}{p} \quad (1)$$

sieht man, dass man entweder die Periode der diffraktiven Struktur kleiner oder die Wellenlänge größer machen muss, um einen größeren Winkel zu erreichen. Die minimal mögliche Periode wird durch die verwendete Lithographieanlage bestimmt. Die Verwendung einer Lichtquelle mit größerer Wellenlänge erlaubt es auch mit herkömmlichen Laserlithographieanlagen große Winkel zu erzielen. Bei einer kleinsten Periode von $p_{\min}=2\mu\text{m}$ und einer Wellenlänge von $\lambda=1,523\mu\text{m}$ kann man Asphären mit einer N.A. bis 0,75 prüfen.

Eine Vergrößerung der Wellenlänge verkleinert natürlich die Empfindlichkeit des Messsystems. Die phasenschiebende Interferometrie ermöglicht jedoch Empfindlichkeiten von $\lambda/100$, mit viel Aufwand (thermisches Gleichgewicht) sogar $\lambda/1000$.

Die Genauigkeit der Messung wird in der Praxis ohnehin durch die Fehler des diffraktiven optischen Elements (DOE) begrenzt. Die daraus resultierenden Wellenaberrationen sind von der verwendeten Lichtwellenlänge unabhängig. Die kleinste messbare Flächenabweichung ergibt sich als Produkt aus numerischer Apertur des Prüflings und des Fehlers des DOE's.

Eine Lichtquelle aus dem nahen Infrarot hat den grossen Vorteil, dass Standardmaterialien aus dem sichtbaren Spektrum (z.B. BK7) noch transparent sind. Es kann auf teure Spezialmaterialien verzichtet werden. Des weiteren sind stabile Lichtquellen im NIR vorhanden (z.B. HeNe).

Ein Problem stellt die Empfängerwahl im NIR dar. Hier besteht im Moment keine große Auswahl und es muss viel Geld investiert werden.

Der unsichtbare Strahlengang ist ein weiteres Problem, das bei der Justage des Interferometers

auftritt. Instrumente, wie z.B. ein SHS-IR-Sensor zum Einstellen der Planwelle, dienen hierbei als nützliche Hilfsmittel.

2 Quasiabsoluttest von Asphären

Dieser Dreistellungstest leitet sich ab vom bekannten Verfahren zum Absoluttest von Sphären [1]. Der Prüfling wird in drei Positionen vermessen: einer Normalposition, einer um 180° gedrehten Position und einer Cat's Eye Position. Bei der Aufnahme der Cat's Eye Position steht der Scheitelpunkt der Oberfläche im Fokus der Objektwelle. Es kann auch ein Spiegel verwendet werden, da die eintreffende Wellenfront lediglich invertiert wird. Die Abweichungen der Oberfläche des Prüflings gehen bei dieser Messung nicht mit ein.

Man erhält ein System von drei Gleichungen:

$$W_1(x, y) = W_R(x, y) + W_S(x, y) + P(x, y) \quad (2)$$

$$W_2(x, y) = W_R(x, y) + W_S(x, y) + P(-x, -y) \quad (3)$$

$$W_3(x, y) = W_R(x, y) + \frac{1}{2}[W_S'(x, y) + W_S'(-x, -y)] \quad (4)$$

Da es bei asphärischen Wellen keinen Fokus gibt muss man zusätzlich zur asphärischen Welle auch eine sphärische Welle erzeugen. Die Nulllinse muss also besondere Eigenschaften haben. Hier kann entweder die Kombination eines sphärischen Kondensors und eines DOE's oder ein sog. Kombo-DOE benutzt werden. Im ersten Fall erhält man die sphärische Welle indem man das DOE in 0. Ordnung benutzt (das DOE enthält nur die Abweichungen der Asphäre von der Sphäre). Im Falle des Kombo-DOE's müssen beide Wellen im DOE kodiert werden. Eine Möglichkeit für das Design eines solchen Kombo-DOE's besteht darin die Apertur in Streifen aufzuteilen, in denen abwechselnd sphärische und asphärische Welle kodiert werden. Die andere Möglichkeit ist die komplexen Hologrammfunktionen der beiden Wellen zu addieren und das Ergebnis im DOE zu speichern. In beiden Fällen treten zusätzliche Beugungsordnungen auf [2].

Die Herstellung des DOE's ist sicherlich bei der Kombination von Sphärenkondensor und DOE

leichter, weil hier nur geringe Ortsfrequenzen im DOE auftreten. Das hat aber auch den Nachteil, dass nicht alle störende Beugungsordnungen herausgefiltert werden können [3]. Bei Verwendung eines Kombo-DOE's hingegen können die störenden Beugungsordnungen leicht herausgefiltert werden, weil die unterschiedlichen Beugungsordnungen durch die höheren Ortsfrequenzen weiter auseinander liegen. Zu diesem entscheidenden Vorteil des Kombo-DOE's kommt noch die leichtere Justage der Single-DOE-Nulllinse. Um den Rückreflex loszuwerden muss es zwar gekippt eingebaut werden, allerdings hat man alle Translationsfreiheiten, da es mit einer Planwelle beleuchtet wird.

Damit die drei Messungen miteinander verrechnet werden können, müssen die Wellenaberrationen der sphärischen (W_S) und asphärischen Welle (W_S') möglichst gleich sein. Da die Positionierungsfehler der Lithographieanlage aber nur langsam über der Apertur variieren, sind die Phasenfehler der beiden Wellen und damit auch die Wellenfrontfehler ähnlich. Man erhält analog zum Dreistelungstest für Sphären die absoluten Abweichungen der Asphäre:

$$2P(x, y) = W_1(x, y) + W_2(-x, -y) - [W_3(x, y) + W_3(-x, -y)] \quad (5)$$

3 Messungen

Es wurde ein Tyman-Green Interferometer mit Polarisations-elementen benutzt, um die Intensitätsunterschiede in beiden Armen ausgleichen zu können. Nicht der Prüfling (keine scharfe Abbildung möglich), sondern das DOE wurde auf die Kamera abgebildet. Dies ist erlaubt, weil jedem Punkt des DOE's ein Punkt der Asphäre zugeordnet ist.

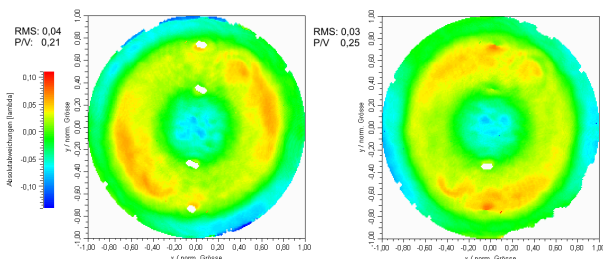


Abb. 1 Zwei um 90° verdrehte Aufnahmen der Oberflächenabweichungen

Insgesamt wurden vier Messungen einer Asphäre in 90°-Schritten und eine Cat's Eye Positionsmessung (CEP) aufgenommen. Als Nullelement wurde ein Kombo-DOE mit geteilter Apertur verwendet. Durch Verrechnung von jeweils drei Messungen (0°, 180°, CEP und 90°, 270°, CEP) erhält man zwei um 90° verdrehte Aufnahmen der absoluten Abweichungen der Asphäre (Abb.1).

Für einen Vergleich der beiden Messungen wurde ein Zernikefit durchgeführt (Abb.2) und die beiden Plots nach Rückdrehung voneinander abgezogen (Abb.3).

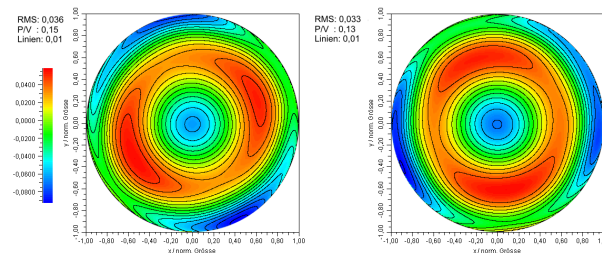


Abb. 2 Zernike-Contourplots der beiden Aufnahmen aus Abbildung 1

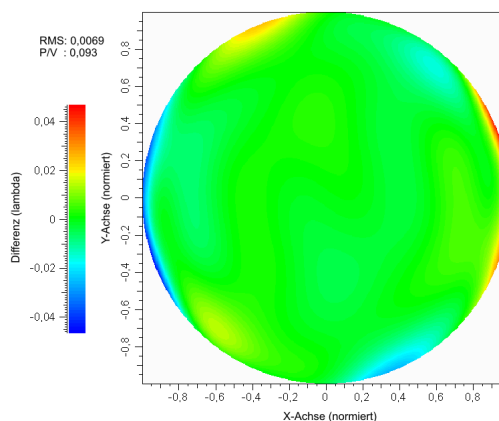


Abb. 3 Differenz der beiden Zernikeplots nach Rückdrehung

Bis auf einige Randeffekte stimmen die beiden Messungen gut überein. Damit wurde gezeigt, dass das gewählte Verfahren geeignet ist, um die absoluten Abweichungen einer Asphäre zu bestimmen

Literatur

- [1] G.Schulz, J. Schwider "Interferometric testing of smooth surfaces", Progress in optics Vol. XIII.
- [2] M. Beyerlein N. Lindlein, J. Schwider, „Dual wavefront CGHs for quasi-absolute testing of aspherics“, Applied Optics Vol. 41, p. 2440 (2002).
- [3] N. Lindlein, "Analysis of the disturbing diffraction orders of computer generated holograms used for testing optical aspherics", Applied Optics Vol. 40, No. 16, 2698-2708, (2001).