

Vermessung konvexer, rauer Asphären mittels Interferometrie in streifender Inzidenz

S. Rothau*, J. Schwider*, K. Mantel**, N. Lindlein*

* Institut für Optik, Information und Photonik, Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

**Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts, Erlangen

mailto:sergej.rothau@fau.de

Es wird ein neues Messverfahren vorgestellt, mit dem Oberflächen von rauen, steilen und konvexen Asphären vermessen werden können. Dabei kann der Prüfling im unpolierten Zustand vorliegen und somit Rauigkeitswerte von etwa $0,5\mu\text{m}$ aufweisen. Neben dem Grundprinzip des Messverfahrens wird das erste realisierte Messsetup vorgestellt.

1 Einführung

Asphärische Linsen spielen für das Design hochwertiger Optiken eine wichtige Rolle. Bereits einige wenige asphärische Flächen können mehrere sphärische Linsen eines optischen Systems ersetzen, was zu einer Reduzierung in Gewicht und Größe des Systems führt. Einhergehend mit diesen Vorteilen ist die Qualitätsprüfung der Linsen unabdinglich. Zu den gewünschten Genauigkeiten führen dabei nur interferometrische Messtechniken.

Die Vermessung der Formabweichungen der Linsen zwischen den Schleifvorgängen, also noch vor dem Polieren, sollte realisiert werden. Die typischen Rauigkeitswerte von geschliffenen Linsen im unpoliertem Zustand liegen etwa bei $0,5\mu\text{m}$. Die Idee ist ein Interferometer mit einer Arbeitswellenlänge von 633nm in streifender Inzidenz dafür zu verwenden [1]. Aufgrund des streifenden Einfalls der Testwelle und der damit verbundenen hohen effektiven Wellenlänge, können damit technisch raue Oberflächen mit hoher numerischer Apertur in sichtbarem Licht geprüft werden.

2 Messprinzip

Die prinzipielle Messgeometrie des Interferometer-Kerns, bestehend aus zwei identischen diffraktiven optischen Elementen (DOE) mit dem Testobjekt, ist in der Abbildung 1 dargestellt.

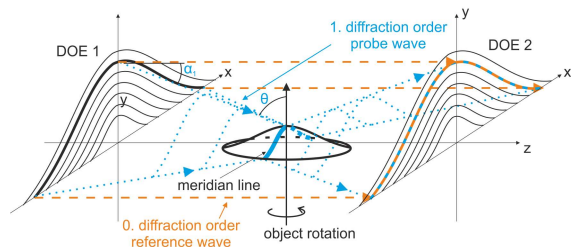


Abbildung 1 Skizze des Interferometer-Kerns mit einem asphärischen Prüfling.

Der asphärische Prüfling wird mit einer Prüfwelle unter streifendem Einfall beleuchtet, dafür wird die ± 1 . Beugungsordnung des ersten DOE verwendet. Die Prüfwelle wird auf einem schmalen - einige $100\mu\text{m}$ breiten - Me-

ridianstreifen um den Scheitelbereich herum reflektiert. Da das Messverfahren als lokaler Null-Test ausgelegt ist, trägt die reflektierte Welle die Formabweichungen des Messobjekts von der idealen Form als Phasenergebnis in sich.

Die Reflexion der Testwelle in streifender Inzidenz vergrößert die effektive Wellenlänge λ_{eff} in Abhängigkeit vom Einfallswinkel θ . Nutzt man die Abhängigkeit des Beugungswinkels $\sin(\alpha_1) = \lambda/P_{DOE}$ von der Wellenlänge der Beleuchtung λ und der DOE-Periode P_{DOE} aus, kann mit der Gleichung 1 gezeigt werden, dass die effektive Wellenlänge der Periode P_{DOE} und somit typischerweise einigen μm entspricht.

$$\lambda_{eff} = \frac{\lambda}{\cos(\theta)} = \frac{\lambda}{\cos(\pi/2 - \alpha_1)} = P_{DOE} \quad (1)$$

Das nicht gebeugte Licht der 0. Beugungsordnung wird als Referenzwelle verwendet. Mit einem zweiten DOE werden die beiden Wellen wieder vereinigt und somit zur Interferenz gebracht. Für die ersten experimentellen und simulativen Untersuchungen wurde einfachheitshalber ein sphärisches Messobjekt (eine Glaskugel) genommen (siehe Abb. 2), dabei besteht das zu verwendete DOE-Paar aus zwei Axikons.

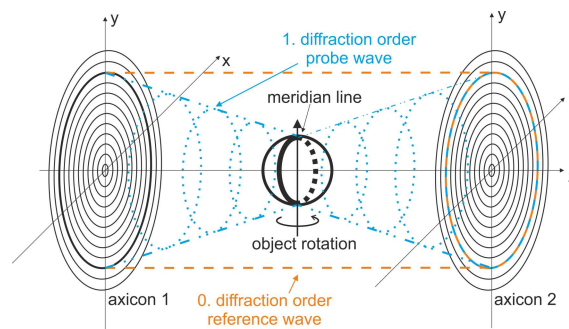


Abbildung 2 Skizze des Interferometer-Kerns mit einem sphärischen Messobjekt, dabei besteht das DOE-Paar aus zwei Axikons.

Für eine vollflächige Oberflächencharakterisierung muss die Messung mehrmals wiederholt werden und der Prüfling zwischen den Messungen rotiert werden. Anschließend müssen die Ergebnisse der einzelnen gemessenen

Meridianlinien zu einem 3D-Ergebnis korrekt zusammengesetzt werden.

3 Messsetup

Die Skizze des ersten realisierten Setups für sphärische Objekte ist in Abb. 3 dargestellt. Das rote Licht eines HeNe-Lasers (PH) mit einer Wellenlänge von $\lambda = 633\text{nm}$ wird mit geeigneten Optiken (L) kollimiert. Zusätzlich wird mit einer rotierenden Mattscheibe (RS) die räumliche Kohärenz der Beleuchtung reduziert, was die Qualität des resultierenden Interferograms enorm verbessert [3].

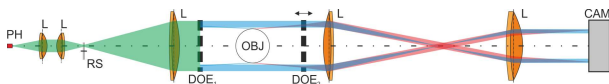


Abbildung 3 Eine nicht maßstabsgetreue Skizze des Messaufbaus mit eingezeichneten Strahlengängen.

Der Durchmesser der verwendeten Axikons (DOE) beträgt 60mm und deren Periode ist $P_{DOE} = 10\mu\text{m}$, der Durchmesser der zu testenden Vollkugel beträgt 45mm . Das zweite Axikon ist über einen Piezo-Aktuator entlang der optischen Achse verschiebbar. Dies erlaubt vordefinierte Phasenschritte zwischen den beiden Strahlen einzuführen und somit das Interferogramm mit phasenschiebenden Algorithmen auszuwerten.

Die Abbildung des Interferograms auf eine Vollformat Kamera (CAM) findet mit einem Abbildungsteleskop statt, das aus zwei Linsen mit dem Durchmesser von jeweils 80mm und einem Brennweitenverhältnis von 500mm zu 300mm besteht. Bei extrem steilen Messobjekten, wie einer Vollkugel, ist ein großflächiger Sensor mit genügender Auflösung für die Abbildung des gesamten Interferenzbereichs notwendig (siehe Abb. 4).

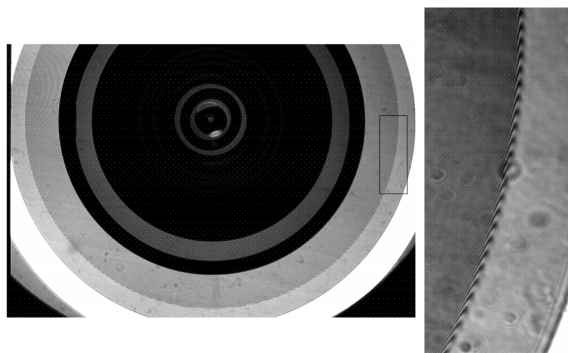


Abbildung 4 Das gesamte Kamerabild mit der vergrößerten Darstellung eines Ausschnitts mit dem Interferenzgebiet.

Das umgesetzte Messsetup wurde ausführlich mit einer Raytracing Simulation analysiert, die Simulationsergebnisse werden in [2] präsentiert und diskutiert.

4 Messergebnis und Ausblick

Das resultierende Interferogramm wurde mit dem 5-Phasen Algorithmus ausgewertet, das Rohphasenergebnis und der abgewickelte Teilbereich der Feinphasen können der Abb. 5 entnommen werden.

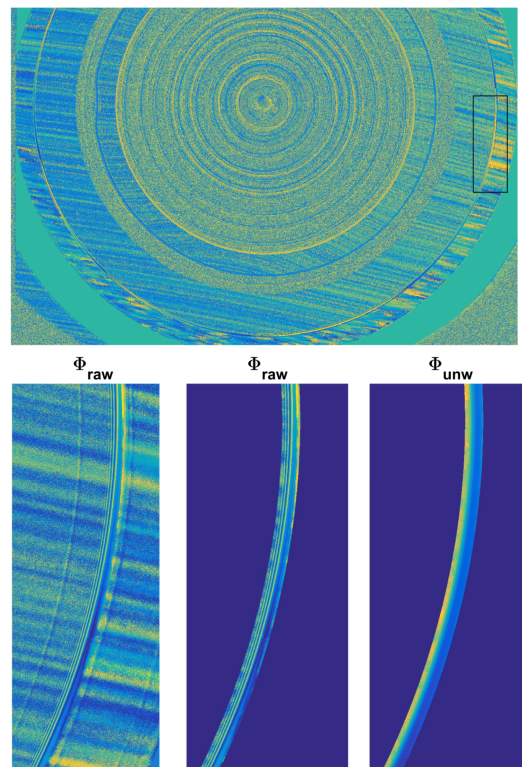


Abbildung 5 oben: Gesamtdarstellung der gemessenen Rohphase ($\text{mod}(2\pi)$); unten links: Vergrößerte Darstellung eines Ausschnitts des Rohphasenergebnisses; unten mittig: Vergrößerte Darstellung eines Ausschnitts des Rohphasenergebnisses beschränkt auf das Interferenzgebiet; unten rechts: Vergrößerte Darstellung eines Ausschnitts der abgewickelten Feinphase;

Die weiteren Entwicklungsschritte des Messverfahrens bestehen darin, die Messdaten zu analysieren und die darin enthaltenen Dejustageaberrationen zu eliminieren. Außerdem sollte der Messaufbau auf schwach asphärische Objekte erweitert werden, bevor auch starke Asphären untersucht werden können. Die vollflächige Objektanalyse verbunden mit der zusätzlichen Objektrotation muss ebenfalls getestet werden.

Literatur

- [1] S. Schwider et al., „Grazing incidence interferometry for rough convex aspherics“, ArXiv:1612.08046 (2016)
- [2] S. Rothau, et al. „Interferometrie in streifender Inzidenz: Simulationen und Ergebnisse“ Proc. DGaO, p. P4 (2019)
- [3] S. Rothau et al. „Grazing incidence interferometry for testing rough aspherics“ SPIE:11056 (2019)