

# Innovative Verfahren zur Metrologie von Freiform Oberflächen

Mohamed Bichra, Thomas Meinecke, Stefan Sinzinger

Fachgebiet Technische Optik  
Institut für Mikro- und Nanotechnologien—IMN MacroNano,  
Technische Universität Ilmenau

<mailto:mohamed.bichra@tu-ilmenau.de>

Wir stellen ein neuartiges Verfahren zur Vermessung und Charakterisierung optisch glatter Freiformoberflächen in Reflexion vor. Die Idee ist eine Erweiterung des Prinzips der Wellenfrontvermessung mittels Fourier optischer Systeme. Das Hauptmerkmal des Ansatzes ist der Verzicht auf den klassischen Strahlteiler. Das Prinzip und erste experimentelle Ergebnisse werden präsentiert.

## 1 Einführung

Freiformflächen sind nicht-rotationssymmetrische Oberflächen, die gegenüber herkömmlichen rotationssymmetrischen Optiken Vorteile haben. Z.B. bieten sie mehr Freiheitsgrade im Entwurf und eine höhere Funktionsvielfalt für das optische System [1]. Dies ermöglicht eine bessere Kontrolle der Abbildungsfehler und die Entwicklung kompakter und leichter Systeme. Daher werden diese Formen jetzt schon in verschiedenen Bereichen eingesetzt, wie z.B. in kompakten Projektionssystemen, Head-up-Displays und in der Lithografie [1].

Neben diesen Vorteilen, gibt es noch viele Herausforderungen bei der Herstellung und Charakterisierung dieser Oberflächen. Heutzutage werden immer genauere und teurere CNC Fertigungsmaschinen für die Herstellung von Freiformflächen eingesetzt. Um die Fertigungsfehler zu minimieren, ist eine unmittelbare Kontrolle der Fertigungsqualität noch während der Produktion wünschenswert. Die Verkleinerung der Abmessungen der Prüfeinrichtungen und -geräte vereinfacht die Integration in eine CNC Maschine deutlich [1,2].

Während z.B. die mechanische Ultrapräzisionsbearbeitung inzwischen Fertigungsgenauigkeiten mit optischer Oberflächenqualität auf großen Flächen erlaubt, fehlen nach wie vor kompakte hochpräzise Messsysteme für die Überwachung des Fertigungsprozesses. Es ist außerdem wichtig, dass die Wellenfront Messverfahren eine hohe Auflösung und Genauigkeit bei gleichzeitig kurzer Meßzeit bieten.

Die zentrale Herausforderung für eine kompakte Realisierung der in die Produktionsmaschine einsetzbaren Messköpfe ist die notwendige Strahlteilung. Diese ist für eine effiziente Trennung der Beleuchtungswelle und der am Messobjekt reflektierten Wellenfront erforderlich. Hier werden häufig klassische Strahlteilerwürfel eingesetzt, die jedoch neben erheblichen Kosten die Integrierbarkeit des Messaufbaus beeinträchtigen.

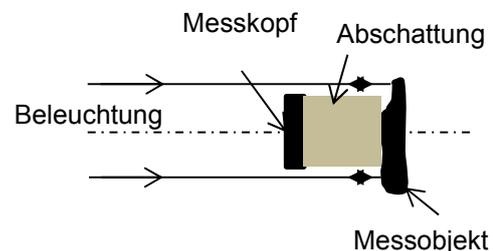


Abb 1 -Problemdarstellung

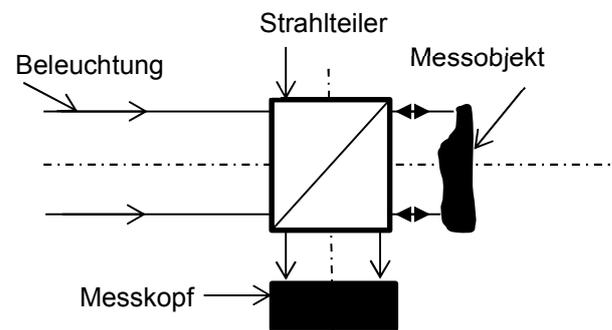


Abb 2 -Standardlösung mit Strahlteiler

## 2 Prinzip

In [2] haben wir ein neuartiges Prinzip eines Wellenfrontensensors präsentiert. Dieses basiert auf der Beugungstheorie und der Fourier Analyse mit einem modifizierten Winkelspektrum Propagator. Wir beobachten die Ausbreitung einer Wellenfront hinter einem zwei-dimensionalen Kreuzgitter. In dieser Arbeit erweitern wir den Messaufbau so, dass wir in der Lage sind, sowohl in Reflexion als auch in Transmission zu messen [3].

Ein nanostrukturiertes Amplitudengitter (siehe Abb. 3) wird zwischen zwei 4f Systemen platziert.

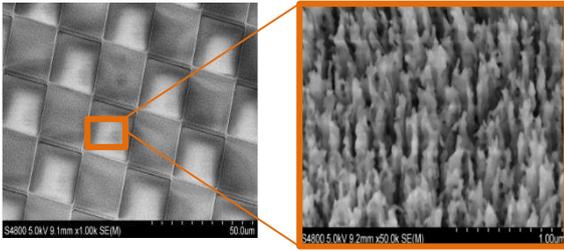


Abb3 -Nanostrukturiertes Beugungsgitter



Abb 6 -Testspiegel

In der objektseitigen Brennebene der ersten Optik des 4f Systems wird eine LED mit Lochblende positioniert. In deren (LED-) Bildebene lässt ein Raumfilter nur die nullte Ordnung durch. Das Messobjekt wird in die bildseitige Ebene des zweiten 4f Systems positioniert. (siehe Abb. 4).

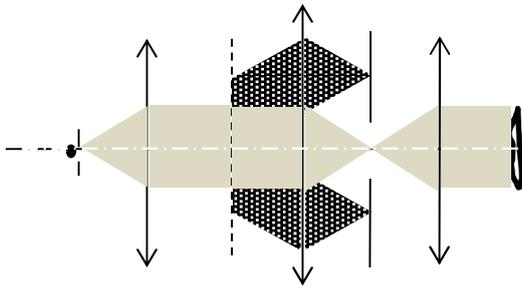


Abb 4 -Prinzip Darstellung (Beleuchtung)

Der Weg der reflektierten Strahlen bis zum Aufnahmesensor wird in Abb. 5 schematisch dargestellt. Die Ebene hinter dem Messobjekt und dem Amplitudengitter sind miteinander optisch konjugiert. Das Raumfilter lässt nur einen eingeschränkten Bereich des Winkelspektrums des Prüflings durch. Hinter dem Gitter in Richtung der Kamera werden nur die ersten Ordnungen durch einen zweiten räumlichen Filter durchgelassen und interferieren dann in der CCD Ebene.

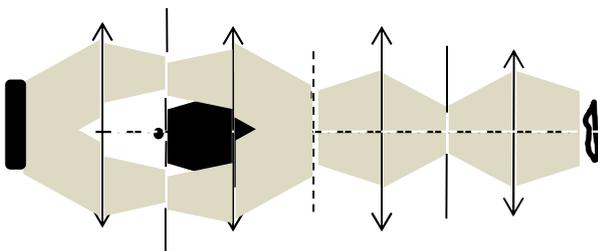


Abb 5 -Prinzipdarstellung (Reflexion)

### 3 Experimentelle Ergebnisse

Das neue Messverfahren wurde im Labor umgesetzt und mit den Messungen eines Shack Hartmann Sensors verglichen (s. Abb. 7).

Als Beleuchtungsquelle wurde eine LED mit 633nm Wellenlänge benutzt. Ein nanostrukturiertes Beugungsgitter wurde eingesetzt, um die unerwünschten Reflexe zu unterdrücken. Die Linsen der 4f Systeme haben jeweils eine Brennweite von 120mm. Als Testobjekt wurde eine freiformspiegelnde Oberfläche benutzt (s. Abb. 6).

Für die Referenzmessungen wurde der Shack Hartmann Sensor der Firma Optocraft benutzt.

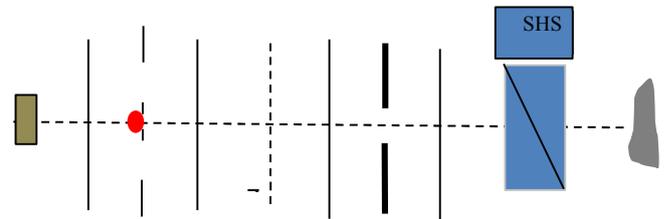


Abb 7 -Schematische Darstellung des Messaufbaus

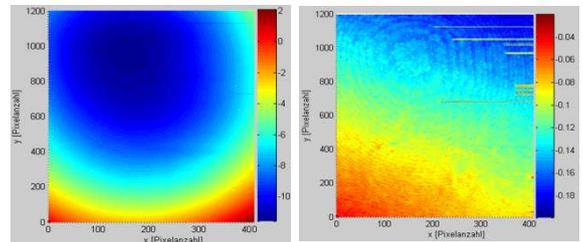


Abb 8 -a: rekonstruierte Wellenfront, -b: Abweichung zur Messung mit SHS

Es ergab sich eine Abweichung zum Shack Hartmann Sensor von unter  $1\mu\text{m}$ . Damit wurde die Funktionalität unseres Messverfahrens bestätigt.

### Literatur

- [1] G. S. Khan, M. Bichra, A. Grewe, N. Sabitov, K. Mantel, I. Harder, A. Berger, N. Lindlein, and S. Sinzinger, "Metrology of freeform optics using diffractive null elements in Shack-Hartmann sensors," EOSMOC (2013)
- [2] M. Bichra, N. Sabitov, T. Meinecke, S. Sinzinger "Wavefront sensing by numerical evaluation of diffracted wavefields" Appl. Opt. 56, A13-A22 (2017)
- [3] M. Bichra, T. Meinecke, S. Sinzinger "Anordnung zur Vermessung zumindest teilweise reflektierender Oberflächen" Patent, PN10 2017 001 524.4.