

Schnelle und zuverlässige In-situ-Messungen großer und komplexer optischer Oberflächen mit einem neuartigen Deflektometer

Engelbert Hofbauer, Ronald Kometer

HOFBAUER OPTIK Mess-&Prüftechnik, München

mailto: e.hofbauer@hofbauer-optik.de

Mit einem scannenden Deflektometer auf Basis des DaOS^[1]-Prinzips mit Vignettierendem Feldblendenverfahren ist es möglich, in-situ-Messungen an großen optischen Oberflächen in einer Hebel-Poliermaschine unter Produktionsumgebungen durchzuführen. Ergebnisse der Oberflächenmessungen werden dargestellt und mit interferometrischen Messungen verglichen.

1 Einführung

Im Bereich der Präzisionsoptik wird die Interferometrie vor allem zur Bestimmung von Formfehlern an optischen Oberflächen eingesetzt, ist aber insbesondere bei großen konvexen Optiken oder Asphären stark eingeschränkt. Darüber hinaus ist eine zuverlässige in-situ Charakterisierung der polierten Oberfläche kaum möglich, da Interferometer Messraum-Bedingungen erfordern. Ausserdem sind Transporte wegen Beschädigungsgefahr und des erheblichen zeitlichen Aufwandes für Temperierung kritisch. Wir präsentieren eine schnelle und zuverlässige Alternative, die eine in-situ Charakterisierung der polierten Oberfläche mit einer angemessenen hohen Genauigkeit ermöglicht, welche mit interferometrischen Messung vergleichbar ist.

2 Technisches Setup

Die Messtraverse mit Linearführung, Vignettierungs-Sensor (VFS) von Hofbauer Optik und Penta-Spiegel hoher Wellenfrontgüte ist montiert auf einer NLP500 der Fa. Stock Konstruktion. Dies ermöglicht es, den Messstrahl mit höchster Genauigkeit über die zu prüfende Oberfläche (SUT) zu führen.

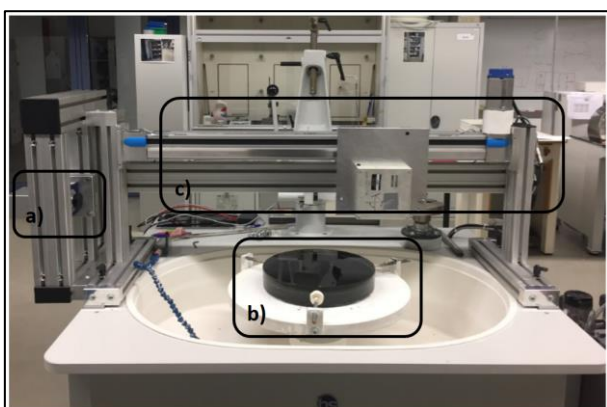


Abb. 1 In-situ-Messsystem auf NLP500 Hebelpoliermaschine (a) VFS-Sensor (ELWIMAT 46-4.8) (b) Glassubstrat auf Drehspindel (c) Traverse mit bewegtem Pentaspiegel auf Lineareinheit.

Ein speziell entwickeltes Softwareprogramm steuert die Winkelposition der Drehachse, die Scanposition des Penta und den Winkelsensor mit Datenerfassung. Das Setup wurde im Rahmen eines gemeinsamen ZIM-Projektes^[2] mit THD und Stock Konstruktion unter Projektleitung von Dr. Hofbauer entwickelt. Unter Berücksichtigung der Spotgröße auf der Oberfläche (~5mm) wurde die Anzahl der Messpositionen je Scan auf 61 und die Schnitte auf 16 Winkelschnitte gewählt. Insgesamt beträgt die Meßzeit dieses Ablaufs (Start-Stop) ca. 70 Minuten, lässt sich aber noch deutlich reduzieren. Alle Messungen mit dem Deflektometer wurden unter Werkstattbedingungen ohne Luft- und Temperaturkontrolle durchgeführt.

Für die interferometrischen Messungen verwenden wir ein QED SSI-A Interferometer im Messraum des Technologie Campus Teisnach (TCT).

3 Polier- und Mess-Sequenzen

Für einen detaillierten Vergleich der Oberfläche mit Interferometer und Deflektometer wurde die folgende Reihenfolge festgelegt (Abb.2).

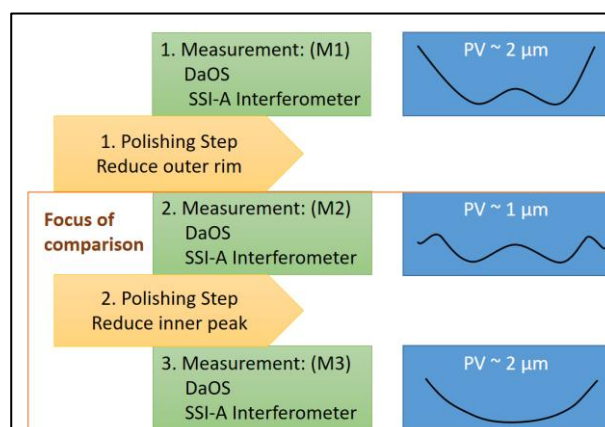


Abb. 2 Mess- und Poliersequenzen. Rechts schematisch das jeweilige Oberflächenprofil.

Es wurden zwei Polierschritte mit je. ca. 3-4 Std. Polierzeit durchgeführt. Nach jedem Polierschritt wurde die Probe interferometrisch sowie in-Situ mit DaOS charakterisiert (M2, M3).

4 Mathematischer Algorithmus

Im ersten Schritt werden die Winkelwerte aus dem Vorwärts- und Rückwärtsscan (reverse scan) gemittelt, um lineare Drifteffekte während der Scans zu minimieren. Zusätzlich wird der Wert an der Mittelposition subtrahiert, um mögliche Offset-Winkelwerte durch Neigung zu berücksichtigen. Im zweiten Schritt wird das Höhenprofil in radialer Richtung von der Mitte ($R=0$) zur Außenkante ($R=R_{max}$) rekonstruiert. Durch schrittweise Integration erhalten wir für jeden Radialschnitt ein Oberflächenprofil mit einer gemeinsamen Höhe von Null bei $R=0$. Um das Oberflächenprofil mit Polarkoordinaten (r, φ) in kartesischen Koordinaten (x, y) umzuwandeln, verwenden wir eine kubische Spline-Interpolation. Die Auflösung beträgt zunächst $61 \times 61 = 3721$ Pixel. Der Bereich um den Rand wurde getrimmt, um Kantenefekte zu vermeiden. Für jedes (x, y) Pixel (5×5 mm) werden alle Höhenwerte des Polarkoordinaten-Systems innerhalb des Pixelbereiches gemittelt.

5 Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Daten

In Abbildung 3 werden die Winkelwerte von M3 für Scans bei 0° und 180° (invers) verglichen. Innerhalb der Genauigkeit der Datenerfassung gibt es keine sichtbare Abweichung zwischen dem Vorwärts- und den Rückwärtsscan. Zwischen beiden liegt eine Zeitspanne von 35 Minuten. Außerdem wurde ein 2. Scan bei 0° 90 Minuten später durchgeführt. Die Datenwerte entsprechen dem ersten Scan innerhalb der Genauigkeit von $\sigma = 0,4$ Bogensekunden. Diese Unsicherheit bei der Winkelmessung führt zu einer Unsicherheit bei der Profilrekonstruktion in Scanmitte von ca. ± 60 nm PV^[3].

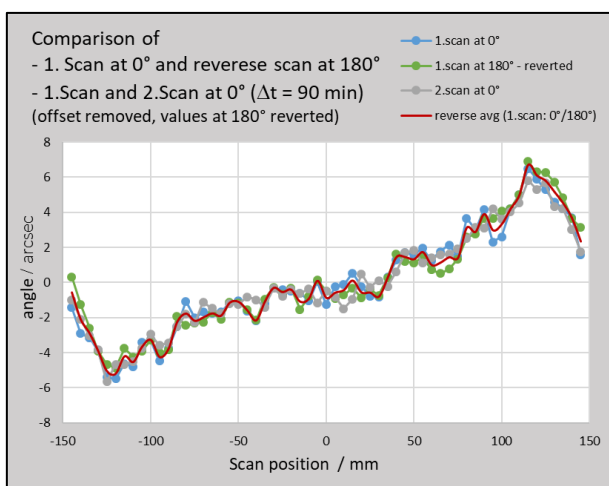


Abb. 3 Verteilung der Winkelwerte von M3 für 0° und 180° sowie 0° nach 90 Minuten.

6 Vergleich mit interferometrischen Daten

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse von Messung M2 und M3 sowie die Differenz von M3-M2 (Abtrag durch das Polieren) dargestellt. Es fällt auf, dass die Hauptkrümmung (Power) bei den unterschiedlichen

Messverfahren jeweils um ca. $0,6 \mu\text{m}$ abweicht. Dies ist in erster Linie auf thermische Effekte bei den unterschiedlichen Messumgebungen zurückzuführen. Ungünstige Materialwahl (Pyrex) ergibt bei Temperaturgradienten von $0,5$ K am Prüfling (Ober- zu Unterseite) eine Durchbiegung von ca. 600 nm.

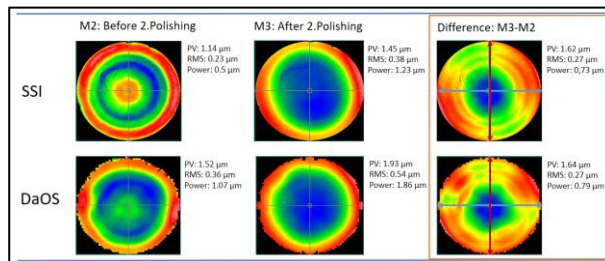


Abb. 4 Rekonstruktion für M2 und M3 mit DaOS und Interferometer mit Differenzdarstellung (Abtrag).

Bei der Differenzdarstellung ($M3-M2 = \text{Abtrag}$) sind verfahrens- und umgebungsbedingte Temperaturgradienten ohne Einfluss. Dabei zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Zahlenwerte mit Abweichungen bei PV (20 nm), rms (< 5 nm) sowie Power (60 nm). Bei visueller Betrachtung der Differenzen fällt auf, daß ein leichter astigmatischer Anteil sowie höherwertige Formabweichungen in den Randpartien offenbart werden. Dies kann durch unterschiedliche Lagerungen bei den beiden Messverfahren als auch durch fehlende definierte Support-Pads (Auflagepunkte) bei den In-Situ Messungen herrühren.

7 Zusammenfassung

Mit einer Traversenanordnung und dem DaOS-Prinzip lässt sich In-Situ in einer Hebelpoliermaschine unter Fertigungsumgebung eine Abtragsmessung für langwellige Fehleranteile mit interferometrischer Genauigkeit $< \lambda/10$ PV erreichen. Der Support des Substrats während des Polierens und des Messens muss weiter untersucht werden. Es können Sphären und Asphären gemessen und bearbeitet werden. Über verweilzeitgesteuertes Polieren kann ab sofort nachgedacht werden.

Acknowledgement

Danke an das Team TC Teisnach: H. Linthe, J. Liebl und E. Goldmann für das Polieren sowie die SSI- Messungen.

Literatur

- [1] Hofbauer, E., Rascher, R., Schilke, M., Liebl, J., Richters, J.-P., "Deflectometric acquisition of large optical surfaces DaOS using a new physical measurement principle: vignetting field stop procedure", Proc. of SPIE Vol. 10009 100090A-1, (2016)
- [2] ZIM KF Projekt: DoSuRe – Förderkennzeichen: KF3108003PO4
- [3] Hofbauer, E., Rascher, R., Friedke, F., Kometer, R., „Resolution, measurement errors and uncertainties on deflectometric acquisition of large optical surfaces DaOS“, Proc. of SPIE Vol. 10326 1032603-1 (2017)