

Konzept für eine hochgenaue und rückgeführte optische Formmessung an großen Optiken bis 1,5 Meter

Jan Spichtinger*, Gerd Ehret*, Michael Schulz*, Manuel Stavridis**, Clemens Elster**

* Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

**Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Berlin

<mailto:jan.spichtinger@ptb.de>

Wir stellen das Konzept für eine hochgenaue und rückgeführte optische Formmessung an optischen Freiformflächen bis zu einem Durchmesser von 1,5 Metern vor. Mit einem Testaufbau wird eine erste Formmessung demonstriert. Virtuelle Experimente mit Monte-Carlo-Simulationen liefern Anhaltspunkte für erreichbare Genauigkeiten des geplanten Messsystems.

1 Einführung

In Wissenschaft und Technik werden vermehrt große optische Flächen eingesetzt, z. B. für astronomische Teleskopspiegel und in der Optikindustrie. Dabei werden zunehmend Asphären und Freiformflächen verwendet. Dies schafft einen Bedarf an einer hochgenauen und rückgeführten Formmessung von großen Optiken.

Unser geplantes Messsystem soll die Form von Prüflingen mit einem Durchmesser bis zu 1,5 m und einem Krümmungsradius größer als 10 m messen können (entspricht maximal 4,4° Steigung am Rand eines 1,5 m großen Prüflings). Mit diesem Prüflingspektrum wird ein Großteil des Bedarfs abgedeckt. Über Transfornormale können Kunden zudem ihre Formmesssysteme für große Prüflinge zurückführen.

2 Konzept

Das Konzept basiert auf der Messung von Subaperturen und dem anschließenden „Stitching“ der gemessenen Subaperturen. Dazu werden ein optischer Sensor (je nach Anwendung ein Interferometer, Autokollimator oder Wellenfrontsensor) und der Prüfling durch Translations- und Rotationsachsen relativ zueinander bewegt. Die optische Achse des Sensors kann mit den zwei Drehachsen (Rot-x und Rot-y in Abb. 1) senkrecht zur lokalen Topographie ausgerichtet werden. Ein Autokollimator oder ein anderer Winkelsensor misst an jeder Position die Verkippung des optischen Sensors. Ein Abstandsinferferometer (nicht gezeigt) bestimmt die Position der x-Achse. Mit Subaperture-Stitching-Verfahren wird aus den Messdaten eine 3D-Topografie rekonstruiert.

Für schwach gekrümmte Prüflinge wird die Topographie linienförmig mit dem Traceable Multiple Sensor Verfahrens (TMS) bestimmt (siehe Abb. 2). Durch die least squares (LS) Methode werden die Höhenunterschiede an den x-, y-Schnittpunkten minimiert und damit die Linien zu einer 3D-Topografie

zusammengefügt. Dabei werden der Offset und der Tilt als freie Parameter gewählt (siehe [2]).

Für stärker gekrümmte Prüflinge muss der Rekonstruktionsalgorithmus angepasst werden, da sich kurvenförmige Bahnen ergeben, wenn die optische Achse des Sensors senkrecht auf einer gekrümmten Prüflingsoberfläche geführt wird.

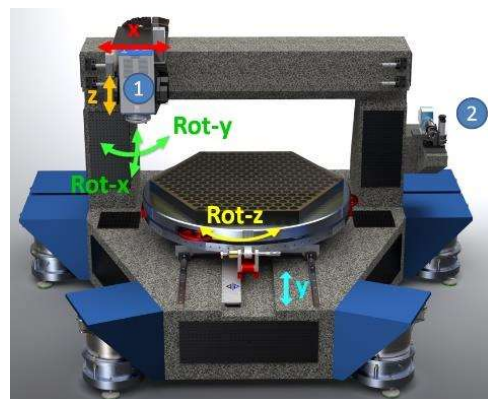


Abb. 1 Skizze des Messsystems mit Prüfling. Eingezeichnet sind die verschiedenen Achsen des Bewegungssystems. Ein Autokollimator (2) misst die Verkippung des optischen Sensors (1), hier ein Interferometer.

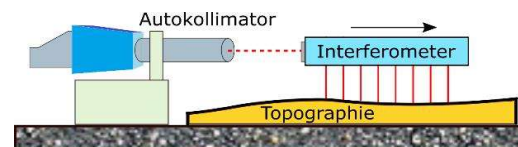


Abb. 2 Traceable Multiple Sensor Verfahrens [1]: Das Interferometer wird über den Prüfling verfahren. Ein Autokollimator misst die Verkippung des Interferometers an jeder Position entlang einer Linie. Die Winkelinformationen werden beim Subaperture-Stitching verwendet.

3 Testaufbau

Ein erster Testaufbau ohne Rotationsachsen ist in Abb. 3 gezeigt. Ein Fizeau-Interferometer mit einer Apertur von 10 mm wird Schritt für Schritt über den ruhenden Prüfling verfahren. An jeder Position wird die Topographie mit dem Fizeau-Interferometer

gemessen. In Abb. 4(a) sind zwei Topographie-Schnitte eines Testprüflings gezeigt, die mit dem TMS-Verfahren rekonstruiert wurden. Da der Prüfling hier nur schwach gekrümmt ist, lassen sich mit dem in Abschnitt 2 erwähnten LS-Verfahren die einzelnen Schnitte zusammenfügen (Abb. 4(b)).

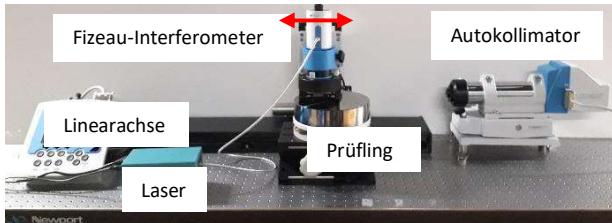


Abb. 3 Testaufbau mit Linearachse, Fizeau-Interferometer (10 mm Apertur) mit wellenlängenschiebendem Laser, Autokollimator und exemplarischem Prüfling.

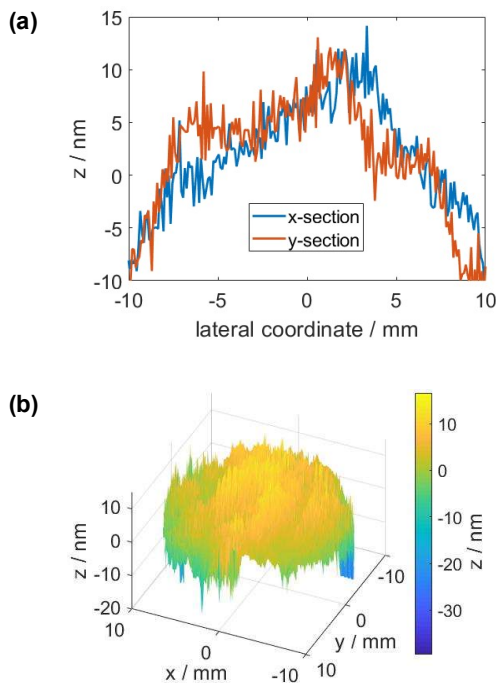


Abb. 4 (a) Zwei exemplarische Schnitte durch einen fast ebenen Prüfling in x- und y-Richtung. (b) Aus insgesamt 108 derartigen Schnitten zusammengesetzte Topographie des Prüflings.

4 Virtuelles Experiment

Mit einem virtuellen Modell des Messsystems wird mit dem TMS-Verfahren ein Schnitt auf einem sphärischen Prüfling mit Krümmungsradius 1000 m gemessen. Im Vergleich zu den letztendlich angestrebten Krümmungsradien größer gleich 10 m ist dies noch eine schwache Krümmung. Das Fizeau-Interferometer wird durch ein strahlenoptisches Modell des Interferometers aus dem Testaufbau in Abb. 3 dargestellt. Das Bewegungssystem wird geometrisch modelliert. Für das wiederholte Anfahren einer Position einer Achse wird eine zufällige Abweichung der Führung

von 0,3 arcsec und 0,3 μm (je 1σ) angenommen. Diese Standardabweichungen gelten bei jeder Achse unabhängig für alle Raumrichtung (x, y, z) und jeden Eulerschen Winkel (α , β , γ).

Mit dem Abstandsinterferometer für die Position der x-Achse und dem Autokollimator für den Winkel der Rot-y-Achse können die Führungsabweichungen für diese Größen korrigiert werden. Für die Messungen mit dem Autokollimator werden als Standardabweichung 0,05 arcsec angenommen, für das Abstandsinterferometer 0,4 μm .

Für 600 virtuelle Messungen eines Höhenprofils von 1400 mm Länge durch die Mitte der sphärischen Oberfläche erhält man eine mittlere Abweichung von 70 nm (RMS) von der Eingangstopographie (vgl. Abb. 5).

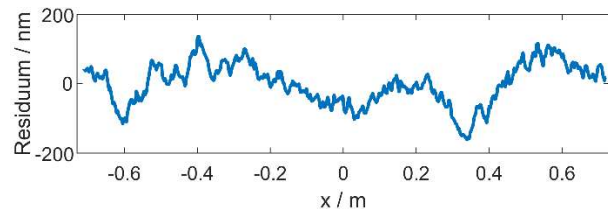


Abb. 5 Typisches Ergebnis einer virtuellen Messung. Abweichung zwischen „gemessenem“ Höhenprofil und Eingangs-Höhenprofil auf einer Sphäre mit einem Krümmungsradius von 1000 m und einer Länge von 1400 mm.

5 Fazit und Ausblick

Mit dem Testaufbau wurde der erste Schritt in Richtung unseres geplanten Messsystems für große optische Oberflächen gemacht. Als nächster Schritt ist ein größerer Aufbau für bis zu 1 m lange Prüflinge und die Integration der Rotationsachsen geplant.

Im virtuellen Experiment wurde ein 1,4 m langes Höhenprofil auf einer schwach gekrümmten Sphäre mit einer mittleren Abweichung von 70 nm (RMS) gemessen. Als nächstes sollen eine Messstrategie und ein Stitching-Verfahren für stärker gekrümmte Oberflächen implementiert werden. Außerdem soll das Modell zum Optimieren des Messsystems genutzt werden.

Literatur

- [1] A. Wiegmann, M. Schulz und C. Elster, *Absolute Profilmessung optischer Oberflächen mit Mehrfachsensorsystemen*, Tm -Technisches Messen, 78(4), 184–189 (2011)
- [2] A. Straub, S. Laubach, G. Ehret, M. Stavridis, F. Schmäling, C. Elster, *Rekonstruktionsalgorithmus zur genaueren Bestimmung der 3D-Topographie bei einem scannenden optischen Punktsensor*, DGaO Proceeding (2017)
- [3] R. Schachtschneider, M. Stavridis, I. Fortmeier, M. Schulz and C. Elster, *SimOptDevice: a library for virtual optical experiments*, J. Sens. Syst., 8, 105–110 (2019)