

Rekonstruktionsalgorithmus zur genaueren Bestimmung der 3D-Topographie bei einem scannenden optischen Punktsensor

A. Straub*, S. Laubach*, G. Ehret*, M. Stavridis**, F. Schmähling**, C. Elster**

* Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

** Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Abbestraße 2-12, 10587 Berlin-Charlottenburg

[mailto: andreas.straub@ptb.de](mailto:andreas.straub@ptb.de)

Punktsensoren werden häufig zur Formmessung von Optiken, wie z. B. Asphären oder Freiformflächen, verwendet. Durch Nachführung des Sensors und Messung von Messstrecken erhält man die 3D-Topografie. Die Messstrategie mit einem neuen Rekonstruktionsalgorithmus für das Zusammenfügen von Messstrecken wurde entwickelt und wird vorgestellt.

1 Einführung

Hochgenaue Verfahren zur Messung der Form optischer Oberflächen benötigen oft eine gewisse Vorkenntnis der zu messenden Form. Für solche Vormessungen mit geringerer Genauigkeit nutzt die PTB ein Messverfahren, bei dem ein optischer Punktsensor (CHRocodilE, Precitec Optronik) mit Hilfe eines Bewegungssystems über die Oberfläche geführt wird. Der Sensor ist in diesem Bewegungssystem an der z-Achse befestigt und hat einen Messbereich von $300\mu\text{m}$, einen Arbeitsabstand von $4,5\text{mm}$ und einen Akzeptanzwinkel von $\pm 30^\circ$. Das Bewegungssystem besitzt ein kartesisches Messvolumen von $800 \times 400 \times 200\text{mm}^3$ [1].

2 Messstrategie

Entlang der Messstrecke sind die einzelnen Messpunkte äquidistant verteilt. An jedem Messpunkt wird die z-Achse des Bewegungssystems zu einem konstanten Abstand zum Prüfling geregelt (siehe Abbildung 1). Die Positionswerte der Bewegungsachsen werden durch deren Glasmaßstäbe festgelegt und geben die 3D-Koordinaten wieder.

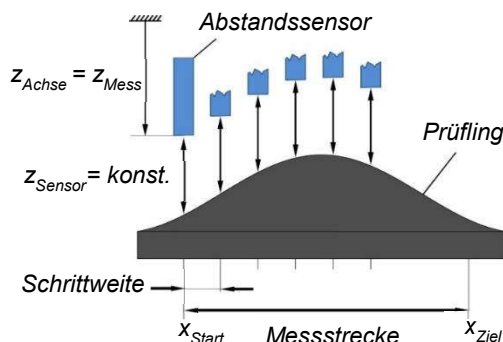


Abbildung 1 - Verfahrenweg des Sensors (blau) über den Prüfling (schwarz)

Eine beispielhafte Messung des Höhenprofils eines sphärischen Prüflings ist in Abbildung 2a gezeigt. Der ermittelte Best-Fit-Radius ist $25008,57\mu\text{m}$ mit

einer Standardabweichung von $0,07\mu\text{m}$ bei 10 Wiederholungsmessungen. Der Vergleich mit einer Messung am Radiusmessplatz der PTB [2] ($25008,18\mu\text{m}$ bei einer Messunsicherheit ($k=2$) von $0,25\mu\text{m}$) zeigt eine Übereinstimmung innerhalb von $0,4\mu\text{m}$. Der Sensor steht während der Messung nicht immer senkrecht zur Oberfläche des Prüflings. Dies ist auch im Intensitätsverlauf (siehe Abbildung 2b) zu erkennen: Die maximal empfangene Intensität ergibt sich bei senkrechter Ausrichtung vom Sensor zum Prüfling.

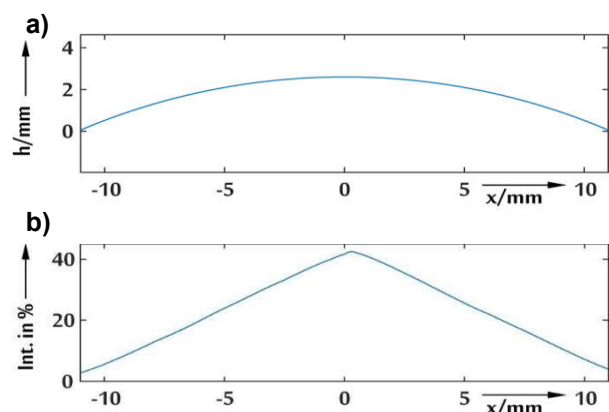


Abbildung 2 - a) Gemessenes Höhenprofil, b) Intensitätsverlauf des Messsignals entlang der Messstrecke

3 Rekonstruktionsalgorithmus

Die Messstrecken werden auf der Prüflingsoberfläche so verteilt, dass Schnittpunkte entstehen. In der Regel wird eine gewünschte Anzahl an Schnitten in x- und y-Richtung gemessen sowie zwei Diagonalen. Der Rekonstruktionsalgorithmus berechnet die Steigung sowie den Achsenabschnitt jeder Messstrecke. Diese werden dann dahingehend optimiert, dass die Höhenwerte an den Schnittpunkten der einzelnen Messstrecken möglichst wenig voneinander abweichen. Die einzelnen Messstrecken werden dann zu einer 3D-Topografie zusammengesetzt.

4 Messbeispiel: Zylindrische Oberfläche

Gemessen wurde eine zylindrische Linse mit einem Designradius von 77,78 mm. Die Messstrecken wurden so gewählt, wie in Abbildung 3a dargestellt.

Entlang der Strecke mit dem größten Gradienten auf der Zylinderoberfläche (siehe Abbildung 3b) kann der Radius näherungsweise bestimmt werden. Es ergibt sich dann ein Best-Fit-Radius von 78,025 mm.

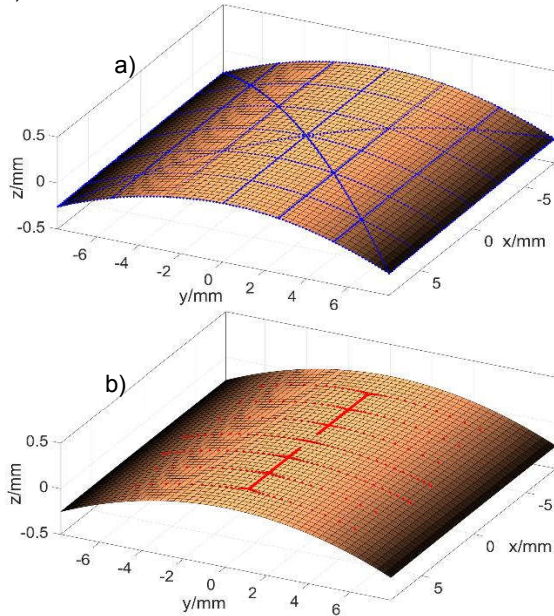


Abbildung 3 - a) Polynomfit 2. Grades und Messung (blau): 7 vertikale, 7 horizontale Schnitte mit jeweils 101 Messpunkten; 2 diagonale Schnitte mit je 143 Messpunkten. b) Polynomfit 2. Grades und Gradienten (rot)

In

Abbildung 4 sind die Ergebnisse der Rekonstruktion wie folgt dargestellt:

- a) Differenzen an den Schnittpunkten der y-Schnitte
- b) Differenzen an den Schnittpunkten der x-Schnitte
- c) Abweichungen der ersten Diagonalen bezüglich der x-Schnitte
- d) Abweichungen der ersten Diagonalen bezüglich der y-Schnitte
- e) Abweichungen der zweiten Diagonalen bezüglich der x-Schnitte
- f) Abweichungen der zweiten Diagonalen bezüglich der y-Schnitte

Die Abweichungen an den Schnittpunkten liegen in einem Bereich von wenigen 10 nm.

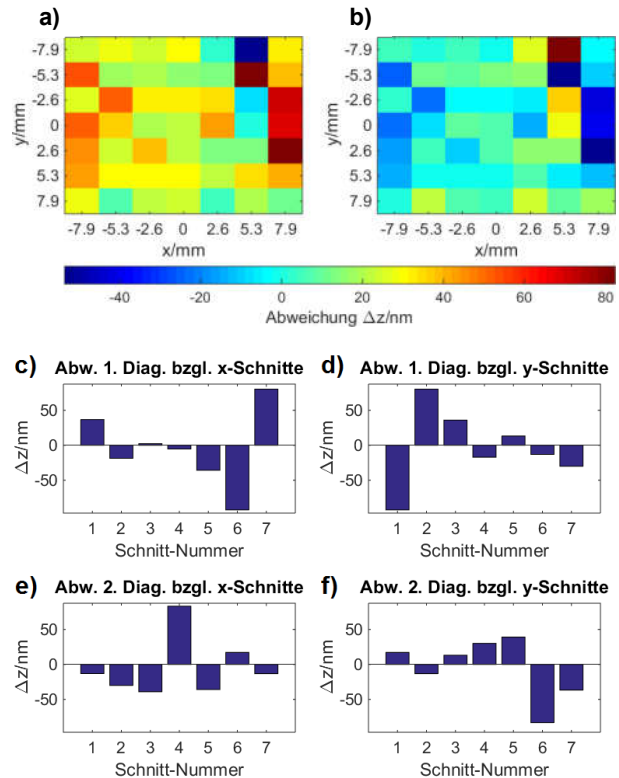


Abbildung 4 - Ergebnisse des Rekonstruktionsalgorithmus

5 Zusammenfassung

Ein optischer Punktsensor in Kombination mit einem Bewegungssystem erlaubt die Messung einer Vielzahl von Oberflächengeometrien, wie z. B. Sphären, Zylindern, Asphären oder Freiformflächen. Durch die Messung einer sphärischen Oberfläche und den Vergleich mit dem Radiusmessplatz der PTB konnten diese Messergebnisse verifiziert werden. Durch den Rekonstruktionsalgorithmus ist es möglich einzelne Schnitte zu einer Gesamtopografie zusammen zu setzen.

Danksagung

Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung des Forschungsvorhabens (LE 992/7-2, EH 400/4-2) durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG).

Literatur

- [1] A. Straub, S. Laubach, G. Blobel, G. Ehret: „Optical form measurements with a scanning point sensor in null configuration, DGaO-Proceedings 2016
- [2] D. Sommer, M. Schulz, A. Wiegmann, N. Triefenbach: „Erweiterte Anwendungen bei der Radiusmessung optischer Komponenten“, DGaO-Proceedings 2017