

Rückgeführte Kalibriernormale für Asphärenmessgeräte

Michael Schulz*, Ines Fortmeier*, Kurt Haskic**

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

**LT Ultra-Precision Technology GmbH, Aftholderberg, Wiesenstr. 9, 88634 Herdwangen-Schönach

mailto: michael.schulz@ptb.de

Zur Überprüfung und Rückführung von hochgenauen optischen und taktilen Asphären- und Freiformflächenmessgeräten wurden sogenannte Multiradienflächen entwickelt, die jetzt durch LT Ultra-Precision Technology hergestellt und durch die PTB kalibriert werden.

1 Motivation

Die hochgenaue Formmessung von Asphären- und Freiformflächen ist immer noch mit großen Herausforderungen verbunden. Zur Sicherstellung der Messergebnisse ist eine Rückführung mit geringer Messunsicherheit wichtig. Eine rückgeführte Messung optischer Oberflächen mit Messunsicherheiten im Bereich von wenigen zehn Nanometern ist noch nicht verfügbar.

Als Lösung wurden sogenannte Multiradienflächen entwickelt, die Freiformflächen sind und bestimmte rückführbar messbare Eigenschaften haben: Hierbei handelt es sich um Radius und Sphärizität der sphärischen Abschnitte. Beide können interferometrisch rückgeführt kalibriert werden (Abb. 1).

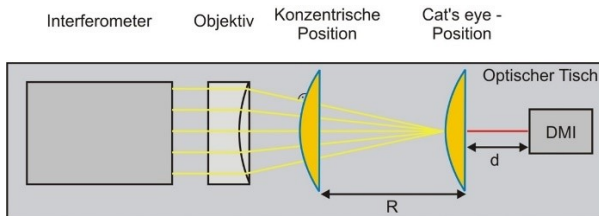


Abb. 1 Messprinzip der Radiusmessung (DMI = Distanz messendes Interferometer)

Für die Radiusmessung ist die Verwendung eines zweiachsigen Justage-Goniometers (Abb. 2) mit Drehzentrum nahe dem Scheitelpunkt sehr hilfreich, da nicht nur der Scheitelpunkt, sondern auch beide Krümmungsmittelpunkte auf der optischen Achse liegen müssen.



Abb. 2 Demonstratorfläche und Justage-Goniometer

Typische auswertbare Bereiche sind in Abb. 3 zu sehen.

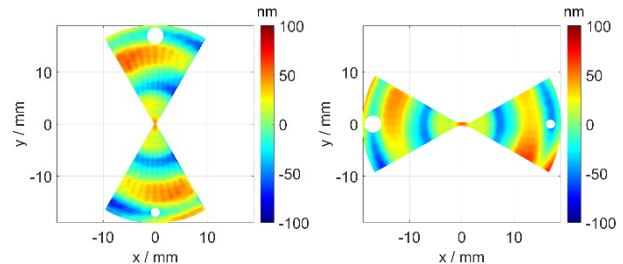


Abb. 3 Typische auswertbare Bereiche

Wesentlich ist dabei, dass solche Flächen für die Anwender der Messtechnik allgemein verfügbar sind und für die Überprüfung von Asphären- und Freiformmessgeräten genutzt werden können.

2 Design

Das aktuelle Design besteht aus Kugel(keil)-Segmenten mit zwei verschiedenen Radien aber gemeinsamen Scheitelpunkt (Abb. 4). Die Radien sind $R_1 = 40$ mm und $R_2 = 39,5$ mm. Die Übergangsbereiche sind cosinusförmig modelliert [1,2] mit

$$z(x, y) = \sqrt{R_{tr}^2 - x^2 - y^2} - R_{tr}, \text{ mit}$$

$$R_{tr} = \frac{R_2 - R_1}{2} \cos\left(\frac{\pi}{\tau} \left(\varphi + \frac{\tau}{2} - \frac{\beta}{2}\right)\right) + \frac{R_2 + R_1}{2}, \quad (R_1 > R_2)$$

Bei 4 Segmenten ergibt sich für den Winkel des Übergangsbereichs $\tau = \frac{\pi}{6}$.

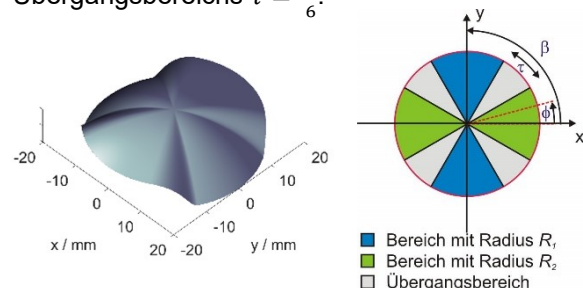


Abb. 4 Prinzipdarstellung der Fläche

Diese Winkelaufteilung und Radien wurden für das erste Prototypdesign verwendet, können aber auch modifiziert werden. Zusätzlich besitzt das aktuelle Design 4 gaußförmige Referenzmarken (Abb. 5), die die Orientierung bei der Auswertung der Daten

vereinfachen. Diese Marken können bei neuen Designs ebenfalls angepasst werden.

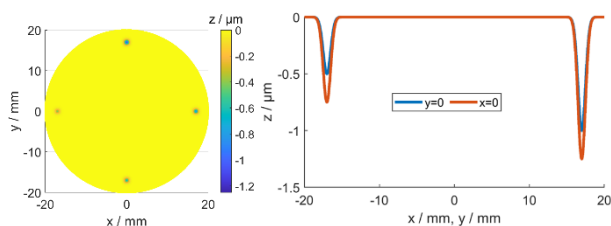


Abb. 5 Lokalisierung und Tiefe der Marker

3 Fertigung und Verfügbarkeit

Die Herstellung dieser Kalibriernormale erfolgt seit Anfang 2022 durch LT Ultra-Precision Technology. Der Prüfkörper wird mit dem dynamischen Achsmodus (SlowTool) auf einer Ultrapräzisionsdrehmaschine vom Typ LT Ultra MTC250 (Abb. 6) gefertigt. Mit dieser Fertigungsmethode sind fast beliebige Freiformflächen herstellbar, wie in diesem Fall die einzelnen Segmente und die Referenzmarken. Das Konzept des dynamischen Achsmodus wird anhand einer einfacheren Geometrie in dem Video (zugänglich über den QR-Code in Abb. 7) verdeutlicht.



Abb. 6 UP-Drehmaschine LT Ultra MTC 250



Abb. 7 Link zum Video mit Fertigungsbeispiel

Der Grundkörper aus Stahl ist mit einer Funktionsschicht aus Nickelphosphor versehen und als Werkzeuge kommen, wie beim UP-Drehen üblich, ausschließlich monokristalline Diamantwerkzeuge zum

Einsatz. Weitere Folgeprozesse (wie z.B. Polieren) sind nicht erforderlich, da je nach Geometrie und Fertigungsparameter die resultierenden Rauheitswerte typischerweise bei $S_a = 1-3 \text{ nm}$ (Abb. 8) liegen und für die optische Qualität ausreichen.

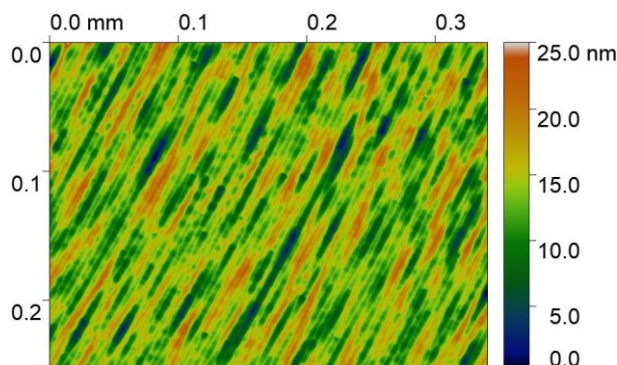


Abb. 8 Weißlicht-Interferometer-Messung: $S_a \sim 2,5 \text{ nm}$.

Sowohl die Sphärizität als auch die Radien der Segmente werden bei der PTB mit interferometrischen Verfahren hochgenau und rückgeführt kalibriert. Die Kalibriernormale (Abb. 9) können für optische und taktile Messgeräte eingesetzt werden und ermöglichen eine Überprüfung dieser Geräte.



Abb. 9 Kalibriernormal mit Aufnahmedorn

Literatur

- [1] I.Fortmeier, M.Schulz, R.Meeß, „Traceability of form measurements of freeform surfaces: metrological reference surfaces“, *Opt. Eng.* **58**, 092602 (2019) <https://doi.org/10.1117/1.OE.58.9.092602>.
- [2] M.Schulz, I.Fortmeier, D.Sommer, G.Blobel, „Concept of metrological reference surfaces for asphere and freeform metrology“, *Proc. EUSPEN* (2017), 365 – 366