

Einsatz des LACS-Verfahrens für Sphäritätsmessungen

Michael Schulz

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

[mailto: Michael.Schulz@ptb.de](mailto:Michael.Schulz@ptb.de)

Die Formmessung sphärischer Komponenten mit großem Krümmungsradius kann mit dem LACS-Verfahren (Large Area Curvature Scanning) mit hoher Genauigkeit durchgeführt werden. Dabei wird die Prüflingsoberfläche mit einem kleinen flächenmessenden Interferometer abgescannt. Die Anwendung dieses Systems und einer erweiterten Methode wird vorgestellt.

1 Einführung

Bei der Bestimmung der Oberflächenform nahezu sphärischer Prüflinge muss zwischen der absoluten Messung der Topografie, die auch den Sphärenradius liefert, und einer bloßen Sphäritätsmessung unterschieden werden, bei der nur die Differenz zu einer idealen Sphäre mit dem Radius als freiem Parameter bestimmt wird.

Für große Sphären und Sphären mit Krümmungsradien zwischen 1 m und einigen 100 m ist sowohl die absolute Sphärenmessung als auch die Sphäritätsmessung schwierig. Das Abscannen der Prüflingsoberfläche mit einem kleinen flächenmessenden Interferometer kann zusammen mit einer geeigneten Erfassung und Auswertung der relevanten Messgrößen dieses Messproblem lösen.

Das hier eingesetzte System nutzt sowohl den Multiplexvorteil durch die Verwendung eines flächenmessenden Multi-Sensor-Systems (Interferometer mit CCD-Sensor) als auch den Vorteil scannender Systeme, bei denen z.B. die Kosten nur mäßig mit den Prüflingsdimensionen ansteigen.

Die Verwendung eines Subapertur-Systems (hier mit 3 mm Apertur) verringert die Streifendichte des Interferogrammbildes auf dem Bildsensor gegenüber einem Interferometer, das die gesamte Prüflingsfläche abbildet, erheblich. Wird die (lokale) Krümmungsinformation verwendet, dann darf der Sensor zusätzlich lokal senkrecht zur Oberfläche ausgerichtet werden, was die Streifendichte nochmals um den Kippungsanteil reduziert.

Die Auswertung der registrierten Interferogrammbilder erfordert adäquate mathematische Verfahren zur Berechnung der Topografie.

Da das Verfahren primär Schnitte (z.B. Durchmesser) liefert, sind flächenhafte Topografieinformationen durch eine Kombination der Schnitte zu erhalten.

2 Messaufbau

Für die Messungen wurde ein Kompakt-Interferometer¹ mittels einer Linearverschiebeeinheit über einen Durchmesser des Prüfling geführt.

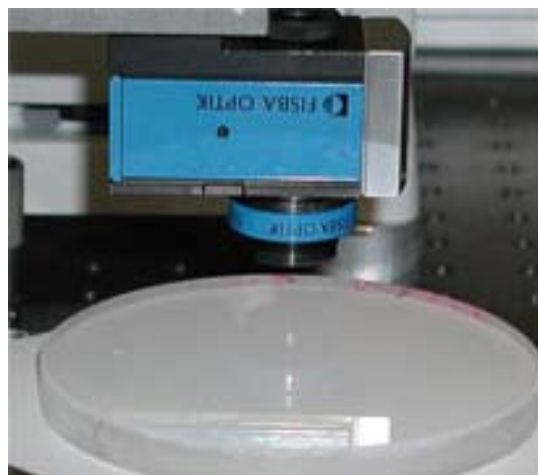


Abb. 1 Messung eines sphärischen Prüflings mit 100 mm Durchmesser mit Blick in Scanrichtung. Die Apertur des Interferometers beträgt 3 mm.

Aus den aufgenommenen Interferogrammen bzw. Mini-Topografien wird bei der Large Area Curvature Scanning^{2,3} (LACS)-Auswertung jeweils nur ein Krümmungswert zu der aktuellen Scanposition ermittelt, wobei „Large Area“ bedeutet, dass ein für ein Krümmungsmessgerät relativ großer Oberflächenbereich zur Bestimmung des Krümmungswertes herangezogen wird.

Die erreichbaren Genauigkeiten liegen dabei im Nanometerbereich und das Verfahren eignet sich insbesondere auch zur Messung asphärischer Flächen.

Der Einsatz des Interferometers als Krümmungssensor erfordert allerdings eine Kalibrierung, da die Lateralskala des Sensors, bestimmt durch die Vergrößerung des Abbildungssystems, in die

Messergebnisse einget. Zwischen den Bildkoordinaten x, y und den Oberflächenkoordinaten des Prüflings, x_s, y_s besteht mit dem Kalibrierfaktor r der Zusammenhang

$$(x_s, y_s) = (rx, ry),$$

so dass sich im Koordinatensystem der Oberfläche als Krümmungswert im Zentrum (x_0, y_0) in Scanrichtung, $c_{s,x}$, ergibt:

$$c_{s,x}(x_0, y_0) = \frac{1}{2r^2} c_x$$

Dabei ist c_x die sich aus den nominellen Daten des Interferometers ergebende Krümmung in Scanrichtung. Der Faktor 2 ergibt sich aus der Umrechnung von Wellenfronten in Oberflächentopografien. Um ein LACS-System mit geringer Unsicherheit zu betreiben, muss der Sensor hochgenau kalibriert werden, was z.B. mit einer besonders beschaffenen Kalibriersphäre⁴ erreicht werden kann.

Um die Notwendigkeit einer separaten Kalibrierung mit einer Kalibriersphäre zu umgehen, wurde eine neue Methode⁵ entwickelt und angewendet, die unter Zuhilfenahme einer Zusatzinformation eine „online“-Kalibrierung erlaubt. Die mit dieser Methode gewonnenen Messergebnisse sind nachfolgend gezeigt.

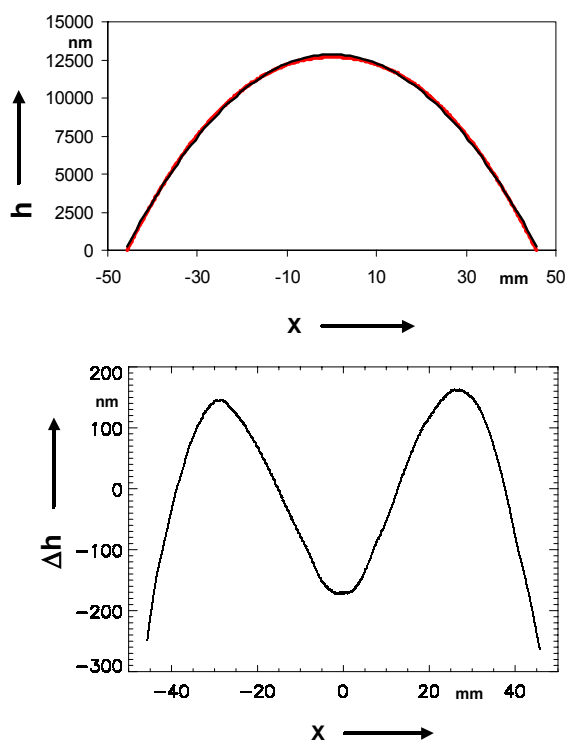


Abb. 2 Höhenprofil h als Funktion der Lateralkoordinate x eines Sphärenabschnittes mit 100 mm Durchmesser und 100 m nominellem Radius (oben) in einem kartesischen Koordinatensystem. Die rote Kurve stellt die Anpassung einer idealen Sphäre dar. Im unteren Bild ist die Sphärizität Δh , d.h. die Differenz der beiden Kurven, gezeigt.

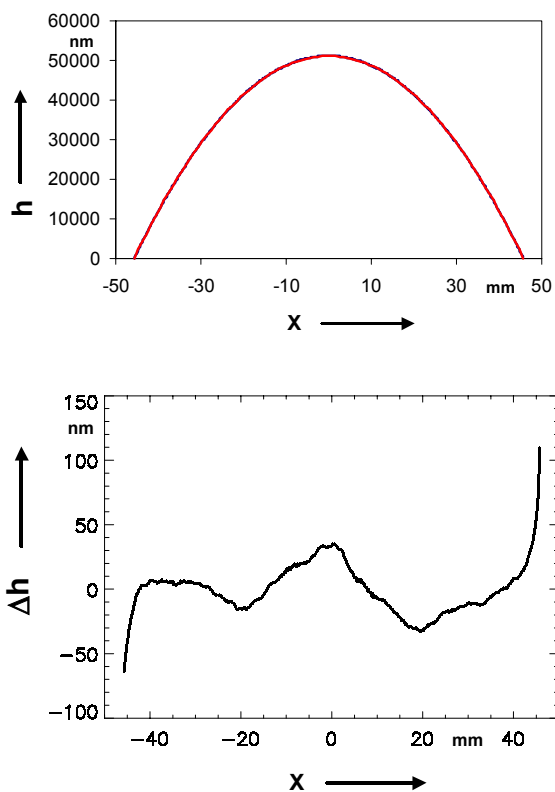


Abb. 3 Höhenprofil eines Sphärenabschnittes mit 100 mm Durchmesser und 20 m nominellem Radius (analog zu Abb.2).

Die Unsicherheiten der neuen Methode⁵ liegen nach einer mathematischen Unsicherheitsanalyse im Bereich nur weniger nm.

Danksagung

Der Autor dankt I. Weingärtner (PTB Braunschweig, AG 4.21) und C. Elster (PTB Berlin, AG 8.42) für die Arbeiten an der Entwicklung der neuen Methode.

Literatur

- [1] μ Phase Interferometer, FISBA Optik AG, CH-9016 St. Gallen, Rorschacher Str. 268 und FISBA OPTIK GmbH, Berlin. <http://www.fisba.ch>
- [2] M. Schulz, „Topography measurement by a reliable large-area curvature sensor“, *Optik* **112**: 86-90 (2001)
- [3] C. Elster, J. Gerhard, P. Thomsen-Schmidt, M. Schulz, I. Weingärtner, „Reconstructing surface profiles from curvature measurements“, *Optik* **114**: 154–158 (2002).
- [4] M. Schulz, P. Thomsen-Schmidt, I. Weingärtner, „A reliable curvature sensor for measuring the topography of complex surfaces“, *Proc. SPIE* **4098**: 84–93 (2000)
- [5] Patent und Publikation in Vorbereitung