

# Herausforderungen beim Stitchen hochgeöffneter sphärischer Flächen

Thomas Blümel\*, Ralf Neubert\*, Sebastian Moos\*\*, Michael Mergner\*\*\*

\*TRIOPTICS Berlin GmbH, Berlin

\*\*OptoTech Optikmaschinen GmbH, Wettberg

\*\*\*asphericon GmbH, Jena

<mailto:t.bluemel@trioptics-berlin.com>

Die interferometrische Messung von Prüflingen mit großen Durchmessern erfordert Stitch-Algorithmen, bei denen die Gesamtapertur aus Teilaperturmessungen zusammengesetzt wird. Es werden Problemlösungen präsentiert, die sich während der Entwicklung eines sphärischen Stitchinterferometers zur Messung hoch geöffneter Sphären ergaben.

## 1 Interferometrische Flächenprüfung

Die Interferometrie ist ein etabliertes Messverfahren zur berührungslosen, flächenhaften Vermessung optischer Oberflächen. Es basiert auf der Überlagerung zweier kohärenten Wellenfronten und gestattet somit Flächenabweichungen im Subwellenlängenbereich, d.h. im nm-Bereich präzise zu bestimmen.

Bei Prüflingen mit großen Durchmessern oder Öffnungen beschränkt häufig die Verfügbarkeit geeigneter Prüfobjektive die vollflächige Messung. Durch Teilaperturmessungen lässt sich die Gesamtapertur jedoch komplett erfassen. Ein geeigneter Stitch-Algorithmus ermöglicht es dann, die Einzelaperturen zu einer Gesamtapertur zusammen zu setzen.

## 2 Stitch-Algorithmus

Der von uns entwickelte Stitchalgorithmus basiert auf einer konsequenten Nutzung von Zernike-Polynomen. Sowohl die Teilaperturmessungen als auch das Stitcheergebnis wird mittels Zernike-Koeffizienten beschrieben. Das hat einerseits den Vorteil, dass deutlich weniger Daten verarbeitet werden müssen. Andererseits sind keine Interpolationen nötig, um die Mess- mit dem Rekonstruktionsraster abzustimmen. Die Rekonstruktion der zusammengesetzten Prüflingsaberration stellt auch im Hinblick auf die Auswertung keine Beschränkung dar, da die Flächen häufig durch Zernike- oder darauf basierenden Auswertungen (Seidel, ISO) charakterisiert werden. Es ist jedoch zu beachten, dass insbesondere lokale und hochfrequente Störungen verloren gehen.

## 3 Stitchen von Sphären

Die für die Regimeberechnung zum Erfassen von Planflächen entwickelten Algorithmen lassen sich auch auf Sphären anwenden, wenn berücksichtigt wird, dass es sich um Kugelschalen statt Kreisflä-

chen handelt. Distanzen sind als Bogenlängen zu betrachten.

Aufwendiger wird die Positionierung. Während beim Planflächen-Stitchen noch zwei Positionierfreiheitsgrade ausreichen (kartesisch bzw. polar), bedarf es beim Sphären-Stitchen fünf Freiheitsgrade. Diese sind erforderlich, um den Prüfling auf einer Kugelschale zu bewegen. Nutzt man die Rotationssymmetrie des Prüflings und montiert diesen auf einer Rotationsachse, welche durch den Krümmungsmittelpunkt des Prüflings geht, kann das 3-dim. Problem auf ein 2-dimensionales (Bewegung auf einer Kreisbahn) reduziert werden. Ferner kann es sinnvoll sein, nicht nur den Prüfling im statischen Prüfbündel zu bewegen, sondern die Positionierung auf Prüfling und Sensor (Interferometer) zu verteilen.

## 4 Die MSI-Interferometer

Die Entwicklung der Stitch-Interferometer wurde aufgrund des vorhandenen Knowhows in der Op-

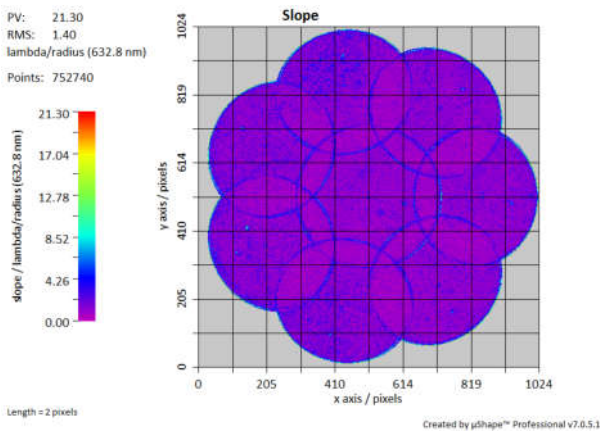


**Abb. 1** Beim MSI 300 (links) befindet sich der Prüfling auf einer kippbaren, höhenverstellbaren Rotationsachse, während der Sensor (oben) in x und y verschoben werden kann. Beim MSI 50 (rechts) wird der Sensor gekippt und kann in der Höhe verschoben werden, während sich der Prüfling auf einer Rotationsachse befindet die in x und y bewegt werden kann.

tikmaschinenfertigung von OptoTech übernommen. Abb. 1 zeigt die Messkammern des MSI 300 und MSI50. Es sind hier zwei unterschiedliche Positionierkonzepte zu erkennen. Als mechanische Herausforderung stellte sich die Kopplung von Kippung und Rotation dar, da es hier zu erheblichen Unwuchten kommen kann, die abgefangen werden müssen. Die Kombination von Sensor-Kippung und z-Achse hat wiederum das Problem, dass die Verfahrung entlang der optischen Achse aufwendiger ist.

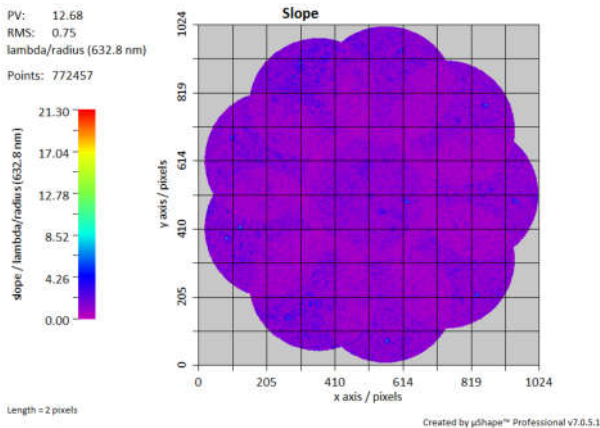
### 5 Praktischer Einsatz

Beim praktischen Einsatz eines MSI 300 bei der Fa. Asphericon stellte sich der Zernike basierte Stitchansatz als unzureichend heraus. Dieser ist, wie bereits in Absatz 1 erläutert, gut geeignet, um Flächen zu charakterisieren, aber nicht, um eine Nachbearbeitung vorzunehmen, wie von Asphericon gewünscht. Die Stitchauswertung wurde daraufhin dahingehend modifiziert, dass die realen Messdatenfelder (lokal interpoliert) im Stitcheergebnis dargestellt werden. Hierbei tritt aber das häufig beobachtbare Phänomen der Durchprägung der Messaperturen auf wie in **Abb. 2** zu sehen.



**Abb. 2** Slope-Auswertung eines Stitcheergebnisses

Es handelt sich hierbei nicht um einen tatsächli-



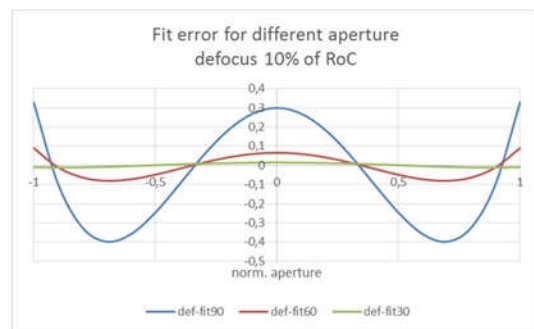
**Abb. 3** Slope-Auswertung eines Stitcheergebnisses mit Trim

chen Prüflingsfehler sondern der Durchprägung eines systematischen Messfehlers vom Prüfobjektiv. Dieser kann durch einfachen Trim der Messapertur eliminiert werden, ggfls. auf Kosten einer zusätzlichen Teilaperturmessung (s. **Abb. 3**). Man kann die Überlappungsgebiete zwar weiterhin erahnen, was aber an der glatteren Oberflächen aufgrund der Mittelung mehrerer Messungen liegt. Kanten sind keine mehr vorhanden.

### 6 Radienfehlerbestimmung

Soll neben der Passe auch der Radienfehler (Abweichung zum Nominalradius) mit bestimmt werden, muss dieser nachträglich dem Stitcheergebnis hinzugefügt werden, da die MSI-Interferometer den Flächenfehler stets bzgl. des Ist- und nicht bzgl. des Nominalradius messen und bestimmen. Hierbei ist zu beachten, dass der in der Interferometrie übliche Power-Ausgleich zur Beseitigung verbliebener quadratischer Restfehler, wie sie z.B. aufgrund einer Defokussierung oder eines Radienfehlers entstehen, die tatsächliche Aberration nicht korrekt beschreibt. Anstelle einer parabolischen Aberration  $w(r) = kr^2$  ist eine wurzelförmige  $w(r) = \sqrt{k-r}$  Aberration als Radienfehler zu addieren.

Abb. 4 zeigt den Fehler der durch eine Parabelapproximation der Wurzelaberration bei unterschiedlichen Öffnungen entsteht. Bei geringen Öffnungen (grün) ist die Approximation recht gut und höhere Terme können vernachlässigt werden. Mit zunehmender Öffnung (rot → blau) kommt es zu einer Öffnungsfehler ähnlichen Aberration.



**Abb. 4** Approximationsfehler durch Quadratfit (Power-Ausgleich) für verschiedene Öffnungen (grün gering, blau weit geöffnet)

Im Umkehrschluss heißt das aber auch, dass auch bei der klassischen interferometrischen Flächenprüfung die Power auf möglichst wenig Ringe zu justieren ist. Insbesondere bei Verwendung hochgeöffneter Objektive wird sonst durch den Powerausgleich ein Fehler vorgetäuscht, der nicht auf dem Prüfling vorhanden ist.