

Stitching streifenförmiger Subaperturen zur Formmessung

S. Laubach*, G. Ehret*, H. Knell**, P. Kühnhold**, P. Lehmann**

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, Deutschland

**Fachgebiet Messtechnik, Fachbereich Elektrotechnik/Informatik, Universität Kassel, Wilhelmshöher Allee 71, 34121 Kassel, Deutschland

mailto:soeren.laubach@ptb.de

Im Rahmen eines DFG-Projekts wird ein interferometrisches Formmesssystem aufgebaut, wobei ein linienförmiger Sensor über die zu messende Oberfläche geführt wird. Durch geeignetes Stitching können die Fehler der Führung teilweise eliminiert werden. Es werden das Verfahren und erste Messergebnisse vorgestellt.

1 Einleitung

Vorhandene Messsysteme zur Formmessung glatter Oberflächen basieren in der Regel auf punktmessenden oder flächenhaft messenden Sensoren [1]. Im Rahmen eines gemeinsamen DFG-Projekts zwischen dem Lehrstuhl für Messtechnik der Universität Kassel und der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt wird ein schnell scannendes linienförmiges Formmesssystem mit einem schwingenden Referenzspiegel (ca. 400 Hz) und einer Abtastfrequenz von ca. 52 kHz aufgebaut [2, 3]. Streifenförmige Subaperturen haben im Vergleich zu den Punktsensoren den Vorteil, dass durch den Überlappbereich der einzelnen Linien bei geeignetem Stitching die Fehler der Führung teilweise eliminiert werden können. Vorteilhaft gegenüber einer flächenhaften Aufnahme ist die schnellere Datenaufnahme, die das System robust gegenüber niederfrequenten Störungen macht. Es wird ein neuartiger schnell messender optischer Liniensensor in Kombination mit einem 5-Achsen-Bewegungssystem vorgestellt und die Vor- und Nachteile verschiedener Sensorkonzepte an Hand von Modellierungen und Messungen näher untersucht. Es werden Ergebnisse des Stitchings von linienförmigen Subaperturen zu einer Gesamtopografie gezeigt und diskutiert. Das vorgestellte System hat das Potenzial, die Form von Asphären mit Genauigkeiten im sub- μm zu messen.

2 Messsystem, Messablauf

Das Messsystem ist in Abb. 1 dargestellt. Es besteht aus einem 5-Achsen-Bewegungssystem und einem interferometrischem Zeilensensor. Vor Beginn der eigentlichen Messung muss der Prüfling nahezu senkrecht zum Interferometer ausgerichtet werden, um Interferenzen während des gesamten Scanprozesses zu sehen bzw. damit die Streifen nicht aus dem Messbereich heraus wandern. Das Bewegungssystem ist in Abb. 1 zu sehen. Für die Justage des Prüflings zum Interferometer wird ein Autokollimator verwendet. Dieser wird durch den Beleuchtungsstrahlengang einge-

koppelt. Wenn beide Fadenkreuze deckungsgleich bei der Bewegung der C-Achse sind, ist der Prüfling genügend genau für die Messung ausgerichtet.

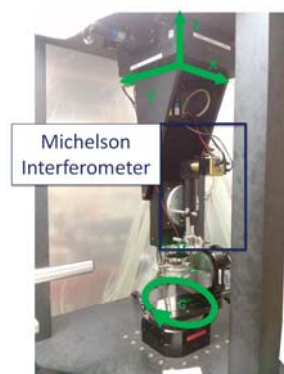


Abbildung 1 Bewegungssystem mit einem interferometrischen Zeilensensors

Beim Messablauf wird der Prüfling um die z-Achse rotiert (siehe Abb. 2), wobei der Liniensensor in radialer Richtung orientiert ist und einen einstellbaren Abstand von der Rotationsachse hat.

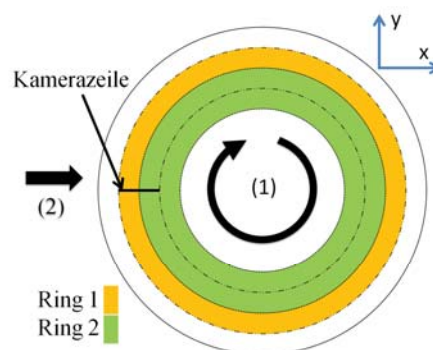


Abbildung 2 Schematische Darstellung des Scanablaufes; (1) Rotation der Achse, (2) Verfahren der x-Achse

Bei feststehender Sensorposition wird der Prüfling bei der Rotation die z-Achse um mehr als 360° gedreht; die Redundanz im Überlappbereich erlaubt es, den Effekt einer möglichen Drift bzw. einem Umrundlauf der Achse zu eliminieren. Ist die Kreismessung abgeschlossen, wird an die 0° Position gefah-

ren und in x-Richtung 1 mm weitergefahren (siehe Abb. 2). Da die Kamerazeile eine Breite von etwa 2 mm besitzt, entsteht in dieser Richtung ein Überlapp von etwa 1 mm, der für das Zusammensetzen der Topographie verwendet wird.

3 Sticking der Messdaten

Für das Zusammensetzen der Messdaten werden die überlappenden Messstreifen verwendet. Beispielhaft ist dies an zwei Messstreifen in Abb. 3 zu sehen. Der Überlappbereich wird aus beiden Topografiestreifen herausgeschnitten und der zweite Streifen wird so gedreht und verschoben, dass die Differenz der gemessenen Topographien im Überlappbereich minimal wird.

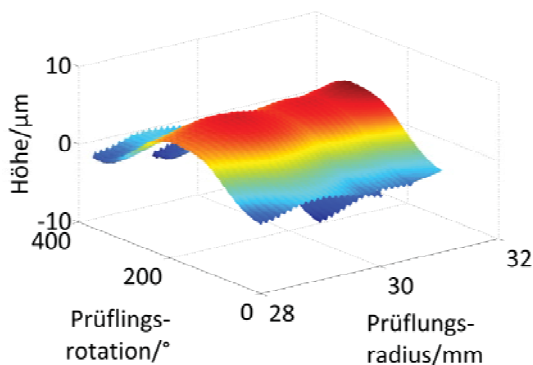


Abbildung 3 Zwei benachbarte Topografiestreifen

Das Ergebnis des Sticking ist in Abb. 4 zu sehen. Durch Simulationen konnte als Hauptfehlerquelle beim Sticking der Versatz in Kamerazeilenrichtung ermittelt werden. Durch Weiterentwicklung des bestehenden Algorithmus soll auch dieser Versatz berücksichtigt werden.

Erste Messergebnisse bestätigen, dass das Gesamtsystem messfähig ist (siehe Abb. 5). Hier wurden Messergebnisse aus fünf Kreisstreifen zu einer Gesamtopographie kombiniert und die räumliche Verkippung des Prüflings wurde mathematisch korrigiert.

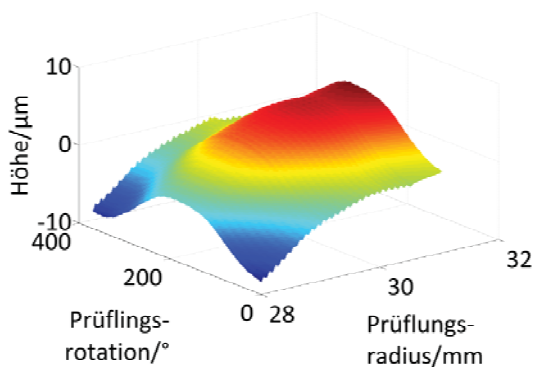


Abbildung 4 Zwei gestitchte Topografiestreifen

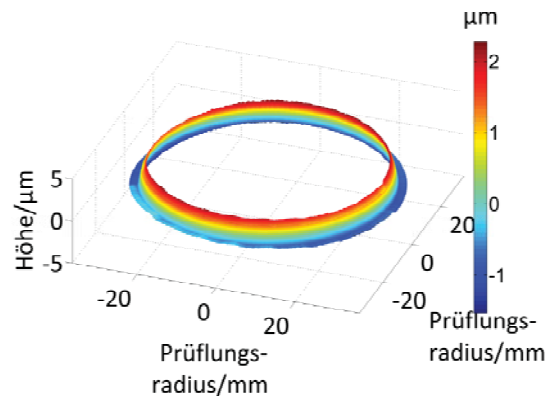


Abbildung 5 Fünf gestitchte Topografiestreifen korrigiert um räumliche Verkippung

4 Schlussfolgerungen

Aufgrund des Messprinzips der schnellen Abtastung ist das System robust gegen niederfrequente Schwingungen. Außerdem ist es wegen der kleinen Bauform und durch den Liniensensor in Kombination mit einem Bewegungssystem flexibel einsetzbar. Das neuartige Formmesssystem ist darüber hinaus relativ kostengünstig im Vergleich zu anderen kommerziell erhältlichen Systemen, da zum Beispiel keine speziell angefertigten Optiken benötigt werden.

Als weitere Schritte sind Messungen an Optiken mit geringem asphärischen Anteil, die eventuell ein erstes Nachkippen des Sensors erforderlich machen, und eine Messunsicherheitsanalyse geplant.

5 Danksagung

Die Forschungsarbeiten (LE 992/7-1, EH 400/4-1) werden von der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) gefördert. Das Projekt ist eine Kooperation zwischen dem Lehrstuhl für Messtechnik, Fachbereich Elektrotechnik der Universität Kassel (LMT) und der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB).

Literatur

- [1] H. J. Tiziani, "Optical methods for precision measurements," *Optical and Quantum Electronics* 21 (1989)
- [2] H. Knell, "High speed measurement of specular surfaces based on carrier fringe patterns in a line scan Michelson interferometer setup," *SPIE Proceedings* 8788 (2013)
- [3] S. Laubach, G. Ehret, "A Novel Form Measurement System for Precision Components Using Interferometric Sub-aperture Stitching," *Fringe* (2013)