

Integriertes Messkonzept zur Registrierung von Weißlichtinterferometriesignalen für Nanometrologie in großen Messvolumina

C. Schober, C. Pruss, A. Herkommer

**Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart*

mailto: schober@ito.uni-stuttgart.de

In diesem Beitrag wird ein Weißlichtinterferometermesssystem in Verbindung mit der Nanomess- und Positioniermaschine NPMM-200 präsentiert. Durch die intrinsische Stabilität des Systems und der präzisen Überwachung der Prüflingsposition relativ zur Referenzfläche lassen sich großflächige Messungen auch ohne Überlapp durchführen und neue Messverfahren und Auswertestrategien erproben.

1 Einführung

Die Weißlichtinterferometrie oder auch scannende Kurzkohärenzinterferometrie bietet als optisches Messverfahren zur Vermessung von rauen oder spiegelnden Oberflächen viele Anwendungen in der Produktion und Forschung [1]. Moderne Weißlichtinterferometer sind mikroskopische Abbildungssysteme mit einer kurzkohärenten Lichtquelle und einem Michelson-, Linnik- oder Mirauinterferenzobjektiv. Die Anpassung der optischen Weglängen findet dabei meist über einen Piezoversteller statt, der das Objektiv relativ zum Prüfling bewegt. Dies führt zu einem limitierten Messbereich. Die Nanomess- und Nanopositioniermaschine NPMM-200, die an der Universität Ilmenau entwickelt wurde und seit Ende 2018 an der Universität Stuttgart in Betrieb ist bietet Nanopositionierung mit einer Auflösung von 80 pm in einem makroskopischen Messbereich von $200 \times 200 \times 25 \text{ mm}^3$ [2]. Dabei wird die Probe auf einem dreiseitig verspiegelten Probenhalter angebracht, dessen Position von 6 Interferometern gegenüber einem hochstabilen metrologischen Rahmen aus Glaskeramik in allen 6 Freiheitsgraden vermessen wird. An diesem Rahmen kann ein Weißlichtinterferometer als Sensor fixiert werden. Dabei kann die Prüflingspositionierung und der Abgleich der optischen Weglängen über die NPMM-200 erfolgen und somit der komplette Messbereich ausgenutzt werden.

Im nächsten Abschnitt wird das Weißlichtinterferometermesssystem in Verbindung mit der NPMM-200 vorgestellt und die Messdatenverarbeitungskette für großflächige Messungen beschrieben. Im Anschluss daran werden Messergebnisse präsentiert. Als Ausblick wird die Erprobung der Ereignisbasierten Weißlichtinterferometrie (eCSI) vorgestellt.

2 Messsystem und Messdatenauswertung

Das Weißlichtinterferometer wurde in einer Miraukonfiguration mit einem 20×0.4 Mirauobjektiv aufgebaut. Als Beleuchtung wird eine LED mit einer Zen-

tralwellenlänge von 532 nm verwendet. Bei der Konstruktion des Sensors wurde auf eine erhöhte Temperaturstabilität geachtet und INVAR36 als Material verwendet [3]. Die Phasenauswertung der einzelnen Subaperturen findet über die Lock-In-Methode statt [4].

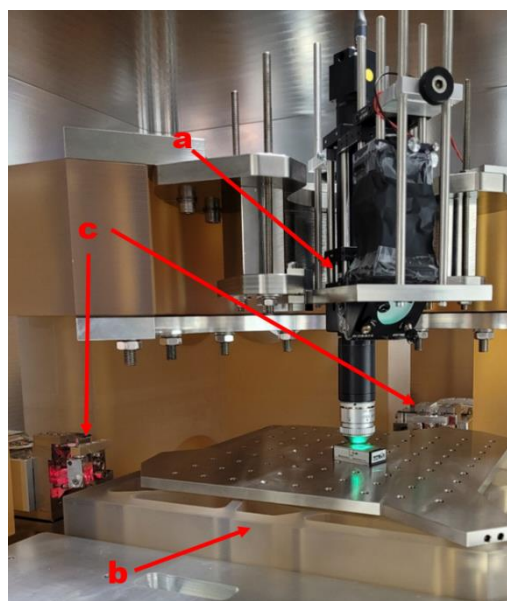


Abb. 1 Messaufbau: a) Weißlichtinterferometermesskopf in der NPMM-200. b) Probe auf verspiegeltem Probenhalter. c) X- und Y-Achsen-Interferometer zur Positionsmessung der Probe.

Zur Kombination von mehreren Subaperturmessungen an verschiedenen Positionen im Messbereich müssen die Verkippungen und Verdrehungen der Maschinenachsen zum Messkopf korrigiert werden. Durch Messungen von Targets an verschiedenen Positionen kann die Verdrehung der Kamera bestimmt werden. Durch eine Verschiebemessung desselben Bereichs auf einem Prüfling kann die Verkippung der Interferometerachsen bestimmt werden. Die Kameraverdrehung wurde zu $13.69 \pm 0.0049^\circ$ bestimmt, der Abbildungsmaßstab zu $401.28 \pm 0.04 \text{ nm / Kamerapixel}$.

3 Messergebnisse

Vermessen wurden eine Freiformfläche und eine Asphäre mit aufgebrachtten Stufen mit einem Durchmesser von je 50 mm [5]. Jede Messung besteht aus 25 x 25 Subaperturen, die gitterförmig auf dem jeweiligen Prüfling verteilt sind. Damit wurden jeweils 2.621.440.000 Datenpunkte pro Fläche gemessen.

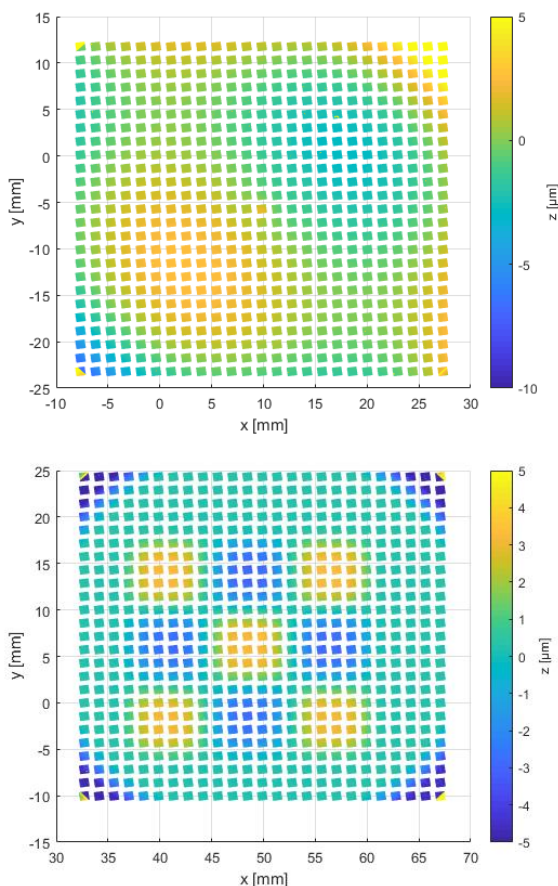


Abb. 2 Messergebnisse mit dem WLI-Messkopf in Kombination mit der NPMM-200. Oben: Freiformfläche, Unten: Asphäre mit aufgebrachtten Stufen. Der Durchmesser der Prüflinge ist 50 mm.

4 Ereignisbasierte Weißlichtinterferometrie

Eine Möglichkeit, die enormen Datenmengen bei der Weißlichtinterferometrie (z.B. bei 1 mm Messbereich mit 50 nm Schrittweite 167 GB) zu reduzieren ist die Verwendung ereignisbasierter Sensoren. Diese registrieren in Anlehnung an das menschliche Sehsystem nur Veränderungen der Intensitäten an den einzelnen Pixeln [6]. Dabei generieren diese Sensoren keine herkömmlichen Bilder mit einer fixen Framerate, sondern einen asynchronen Informationsstrom über die Änderungen der Intensitäten an den einzelnen Pixeln mit einer Zeitauflösung im Bereich einer Mikrosekunde. Die nicht framebasierte Verarbeitung erfordert einen Paradigmenwechsel bei den verwendeten Auswertalgorithmen. Erste Experimente mit der ereignisbasierten

scannenden Kurzkohärenzinterferometrie (eCSI) [7] liefern hierzu vielversprechende Ergebnisse, die je nach Messsituation zu einer Reduzierung der Datenmenge um eine Größenordnung führten.

5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde ein Weißlichtinterferometermesssystem für große Aperturen auf Basis der Nanopositioniermaschine NPMM-200 beschrieben. Es wurde auf den Aufbau, die Einzelaperturmessung und die notwendigen Transformationen in das globale Koordinatensystem eingegangen. Oberflächenmessungen an zwei Prüflingen mit Durchmesser von 50 mm zeigen, dass flächige, lateral hochaufgelöste Messungen effizient in einer Messung mit einer hochgenauen Formprüfung kombiniert werden können. Durch die großvolumige hochgenaue Überwachung der Prüflingsposition lässt sich das System auch zur Erprobung neuer Mess- und Auswerteverfahren verwenden. Ein vielversprechender Ansatz hierbei ist die ereignisbasierte Weißlichtinterferometrie (eCSI).

6 Danksagung

Wir danken der DFG für die Förderung zu diesem Projekt (Förderung Os 111/44-1).

Literatur

- [1] P. de Groot, "Principles of interference microscopy for the measurement of surface topography," *Adv. Opt. Photon.* 7, 1-65 (2015)
- [2] G. Jäger et al., „Nanopositioning and nanomeasuring machine NPMM-200—a new powerful tool for large-range micro- and nanotechnology“, *Surf. Topogr.: Metrol. Prop.* 4 034004 (2016)
- [3] P. Illgen, „Charakterisierung eines Weißlichtinterferometers für den Einsatz in der NPMM-200“, *Studienarbeit Universität Stuttgart* (2021)
- [4] M. Fleischer, „Fast algorithm for data reduction in modern optical three-dimensional profile measurement systems with MMX technology“, *Appl. Opt.* 39, 1290-1297 (2000)
- [5] Arezki Y et al., „Traceable Reference Full Metrology Chain for Innovative Aspheric and Freeform Optical Surfaces Accurate at the Nanometer Level.“ *Sensors* 21(4):1103 (2021)
- [6] C. Posch et al, "Retinomorphoc Event-Based Vision Sensors: Bioinspired Cameras With Spiking Output," *Proceedings of the IEEE*, vol. 102, no. 10, pp. 1470-1484 (2014)
- [7] C. Schober et al., "Event based coherence scanning interferometry," *Opt. Lett.* 46, 4332-4335 (2021)