

Freiformmessungen an einem Tiltet-Wave-Interferometer

Johannes Schindler, Goran Baer, Christof Pruss, Wolfgang Osten

Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart

mailto:schindler@ito.uni-stuttgart.de

Die Vermessung von Aspären und Freiformflächen mit Hilfe eines Tiltet-Wave-Interferometers wird vorgestellt. Das Messprinzip wird kurz erklärt und seine Flexibilität dargestellt. Ergebnisse einer Freiformmessung werden präsentiert und diskutiert.

1 Einleitung

Mit der Tiltet-Wave-Interferometrie wurde vor einigen Jahren ein flexibles Verfahren zur Vermessung von asphärischen und Freiformflächen eingeführt [1]. In den folgenden Abschnitten werden Messaufbau und Messprinzip erklärt. Abschnitt 4 zeigt Messergebnisse für die Freiform FFA5.

2 Messaufbau

Die Beleuchtung des Prüflings erfolgt durch ein Punktlichtquellenarray aus Mikrolinsen und Pinholes. Im Feld werden verkippte Wellenfronten erzeugt. Das eröffnet die Möglichkeit, lokale Gradienten des Prüflings durch Kipp der einzelnen Wellenfronten zu kompensieren, sodass die resultierenden Streifenlichter noch aufgelöst werden können. Die Interferometerblende filtert die zu steil einfallenden Strahlen aus, sodass das Nyquist-Kriterium gültig bleibt.

Eine detailliertere Beschreibung des Messaufbaus findet sich in [1] und [3].

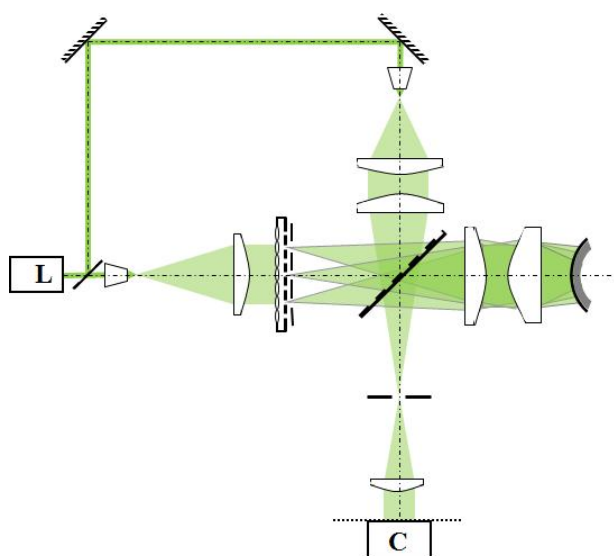


Abbildung 1 Messaufbau (schematisch)

3 Messprinzip

Durch die Abweichung von einer Nulltest-Anordnung ist es nötig, das Interferometer zu kalibrieren. Die Beiträge zu Differenzen in optischen Weglängen, die von der tatsächlichen Abweichung des Prüflings von der Sollform herrühren, müssen getrennt werden von den Anteilen, die durch Abweichungen des Interferometers von seinem nominellen Zustand zu Stande kommen. Dazu wird ein Black-Box-Verfahren verwendet. Die optischen Weglängen vom Punktlichtquellenarray bis zum Prüfraum werden durch die Wellenfront in einer Referenzebene im Prüfraum beschrieben. Dies gilt analog für die Weglängen vom Prüfling zur Kamera. Die Kalibrierung erfolgt durch Vermessung eines sehr genau bekannten Referenzobjekts. Hierbei werden nur die Wellenfronten und ihre Feldabhängigkeiten in einer polynomialen Darstellung bestimmt. Diese Information ist unabhängig vom vermessenen Prüfling und ist Voraussetzung für die hohe Flexibilität des Verfahrens. Die Auswertung der Interferogramme basiert auf einem Extremalprinzip und erfordert die numerische Lösung eines inversen Problems [2]. Dazu nötig ist eine parametrische Beschreibung des Prüflings. Diese erfolgt durch Zernike-Polynome mit typischerweise 120 bis 140 Koeffizienten. Im Prinzip könnte aber auch jede andere Basis zur Beschreibung der Prüflingfläche verwendet werden. Insbesondere wird keinerlei Rotationssymmetrie vorausgesetzt. Zusätzlich zu dieser niederfrequenten polynomialen Beschreibung erhält man als weiteres Ergebnis den sogenannten Restfehler. Diese Information liegt für jedes der 2048×2048 Kamerapixel vor, sodass eine lateral hoch aufgelöste Bestimmung der Prüflingfläche möglich ist.

4 Messergebnisse

Abb. 2 zeigt das Endergebnis der Vermessung der Freiform FFA5. Ihre Nominalform ist durch Polynom der Form $\sum_{i,j} c_{ij} x^i y^j$ gegeben. Die Nominalform weist eine Grundkrümmung von 52 mm und einen Astigmatismus von etwa $800 \mu\text{m}$ auf. Die nutzbare Apertur hat dabei einen Radius von 44 mm. Die gezeigte Abweichung von der Nominalform umfasst

dabei sowohl den niederfrequenten, durch Polynome beschriebenen Anteil als auch den hochfrequenten Restfehler. Der Einfluss der Positionierung des Prüflings wurde durch ein Best-Fit-Verfahren [4] berücksichtigt. Klar erkennbar ist der Astigmatismus, der den größten Teil der Abweichung von der Sollform ausmacht. Weiterhin sind charakteristische, annähernd rotationssymmetrische Rillen sichtbar. Dabei handelt es sich um Spuren des Herstellungsprozesses. Auffallend ist ebenso die Vertiefung von etwa 100 nm in der Mitte des Prüflings. Die Daten wurden innerhalb einer Messzeit von unter einer Minute gewonnen.

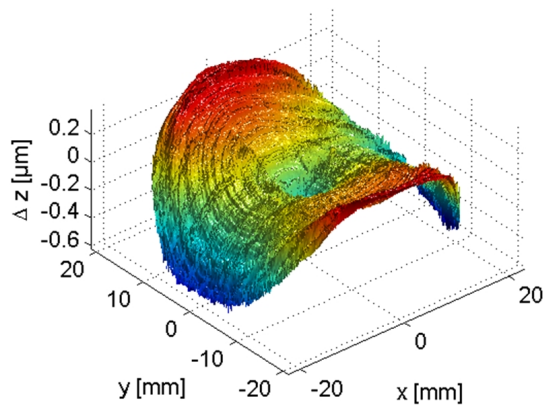


Abbildung 2 Gesamtfehler FFA5-Freifform

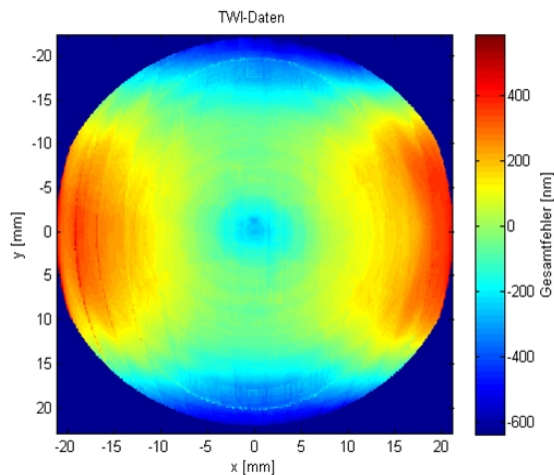


Abbildung 3 Messergebnis FFA5-Freifform

5 Fazit

Der Einsatz eines Tilted-Wave-Interferometers zur Vermessung von asphärischen und Freiformflächen wurde demonstriert. Am Beispiel einer Freiform wurde gezeigt, wie die hohe laterale Auflösung genutzt werden kann, um typische Verarbeitungsspuren zu identifizieren und zu quantifizieren.

6 Support

Wir danken dem BMBF für finanzielle Unterstützung im Rahmen des Projekts MesoFrei (FKZ 13N10854).

Literatur

- [1] E. Garbusi, C. Pruss and W. Osten, „Interferometer for precise and flexible asphere testing“, *Opt.Lett.* **33** (24), 2973–2975 (2008).
- [2] E. Garbusi and W. Osten, „Perturbation methods in optics: application to the interferometric measurement of surfaces“, *J. Opt. Soc. Am. A* **26** (12), 2538–2549 (2009).
- [3] C. Pruss and W. Osten, „Das Prinzip der verkipperten Wellenfronten: Vorteile und Herausforderungen für die Asphärenmesstechnik“, 114th conference of the DGaO, Braunschweig, p. H2 (2013). URL <http://www.dgao-proceedings.de>
- [4] G. Baer, J. Schindler, C. Pruss and W. Osten, „Elimination of alignment errors in an interferometric non-null measurement“, 114th conference of the DGaO, Braunschweig, p. P17 (2013). URL <http://www.dgao-proceedings.de>