

Forschungsergebnisse

Optische Technologien

der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH

Prozessintegrierte, nanopräzise Formerrfassung für die Freiformflächenherstellung

Im Rahmen der Ausschreibung „Forschung Optische Technologien 2008“ der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH wurde am Institut für Technische Optik (ITO) der Universität Stuttgart ein neues Messverfahren für Präzisionsoptiken, insbesondere Asphären, implementiert und zur Anwendung auf Freiformflächen erweitert. Bei dessen Entwicklung standen die Anforderungen der fertigungsbegleitenden Form-Messtechnik im Vordergrund: Flexibilität und hohe Messgeschwindigkeit.

Asphären und Freiformflächen sind optische Hochleistungsbaulemente, die leichtere, kleinere und leistungsfähigere Optiklösungen erlauben, womit dem Trend nach mobileren, energiesparenderen und individuelleren Lösungen im Industrie- und Heimbe-

reich hervorragend Rechnung getragen werden kann. Insbesondere in der Foto- und Projektionstechnik, der Medizintechnik, der Lasertechnik und der optischen Telekommunikation sind zukunftsweisende intelligente Lösungen durch den Einsatz hochgenauer Freiformflächen möglich.

Ein zielgerichteter Fertigungsprozess solcher Flächen erfordert eine effiziente prozessbegleitende Oberflächenmesstechnik. Es gilt: Nur was man messen kann, kann man auch herstellen.

Die geforderte Messgenauigkeit liegt im Bereich von Bruchteilen der Wellenlänge des verwendeten Lichts. Gleichzeitig weicht die zu vermessende Form viele Hundert Mikrometer bis einige

Millimeter von einer mit konventionellen Techniken gut zu vermessenden Kugelform oder Planfläche ab. Um dennoch eine interferometrische Messung zu ermöglichen und die erforderliche Messgenauigkeit zu gewährleisten, werden aktuell z.B. individuell gefertigte Null-Kompensatoren eingesetzt, die die gewünschte Zielform des Prüflings kompensieren und damit nur die zu erfassenden Formabweichungen im Interferogramm sichtbar machen. Da hierbei jeder Prüflingstyp einen eigenen Null-Kompensator benötigt, ist diese Technik teuer und unflexibel. Andere Verfahren erreichen eine höhere Flexibilität z.B. durch die abschnittsweise Vermessung des Prüflings, was jedoch auf Kosten der Messgeschwindigkeit geht.

Das interferometrische Verfahren der „Verkippten Objektwelle“ (Tilted Wave Interferometry, TWI) wurde am ITO im Rahmen eines BMBF-Projekts erfunden und patentiert [1,2]. Es bietet das Potenzial, auch starke Asphären und Freiformflächen in sehr kurzer Zeit flächig mit hoher Genauigkeit zu vermessen. Dies macht das Verfahren attraktiv für die Integration in den Fertigungsprozess von Präzisionsoptiken. Es bezieht seine Flexibilität aus der gleichzeitigen Beleuchtung des Prüflings aus unterschiedlichen Richtungen.

Der komplette Prüfling wird in einem Messvorgang mit vier Interferogrammaufnahmen erfasst (siehe Abbildung 1), womit Messzeiten möglich sind, die von abschnittsweise oder punktwisemessenden Verfahren nicht erreicht werden können. Abbildung 2 zeigt das hochauflösende Messergebnis der Oberflächenabweichung einer präzisionsbearbeiteten Aluminium-Freiformfläche.

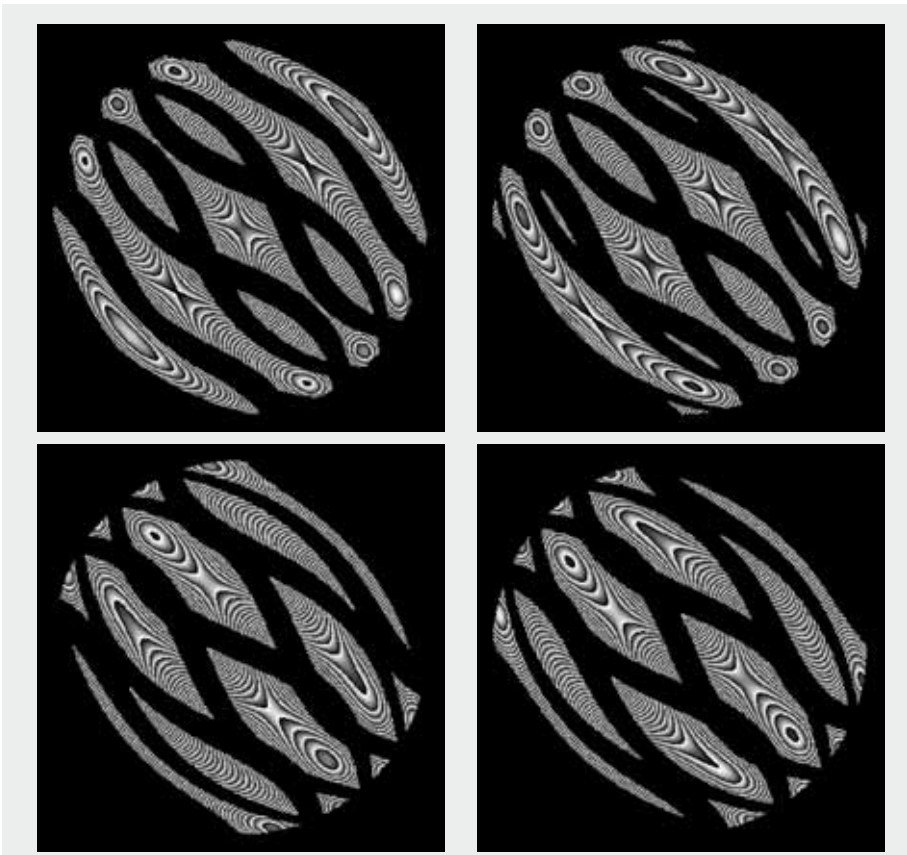


Abbildung 1: Synthetische Phasenkarten der Teilinterferogramme, zur besseren Visualisierung wurde die Wellenlänge modifiziert

Im Rahmen dieses Projektes wurden grundlegende Aspekte untersucht, die für die Integration des Messverfahrens in einen Freiformflächenherstellungsprozess von hoher Relevanz sind [3]: Flexibilität, Stabilität und Messgeschwindigkeit. Das Verfahren, das bisher nur an Asphären erprobt worden ist, wurde auf die Vermessung von Freiformflächen erweitert. Durch die Beleuchtung aus verschiedenen Richtungen sowohl in x- als auch in y-Richtung ist das Verfahren grundsätzlich nicht an rotationssymmetrische Flächen gebunden, also für Freiformflächen geeignet.

Zur Optimierung der Stabilität wurde der Laboraufbau mit Finite-Elemente-Rechnungen optimiert. So konnte die Temperaturabhängigkeit des Aufbaus um eineinhalb Größenordnungen reduziert werden.

Messdynamik bedeutet bei der Asphären- und Freiformflächenmesstechnik zweierlei: Einerseits der vermessbare Bereich von Prüflingsformen, der z.B. in Form von Oberflächenabweichung oder der Gradientenabweichung von der bestpassenden Sphäre charakterisiert werden kann. Hier können mit dem TWI-Ansatz nunmehr Abweichungen bis 10° und mehr vermessen werden.

Der andere Aspekt der Messdynamik richtet sich an die Messdauer. Durch die Untersuchungen im Projekt konnte diese Zeitdauer auf etwa 8 s reduziert werden, zuzüglich der Justage. Die Justage kann in einem prozessintegrierten Messsystem nicht manuell erfolgen, daher wurden automatische Justagealgorithmen untersucht und implementiert [4,5]. Es stehen nunmehr sowohl für Asphären als auch für Freiformflächen Algorithmen zur vollautomatischen Justage zur Verfügung. Der Algorithmus zur Freiformflächenjustage wurde zum Patent [6] angemeldet.

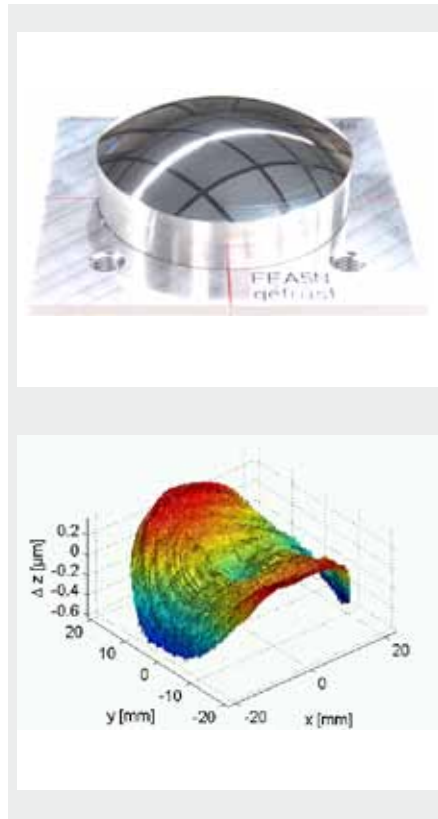


Abbildung 2: Freiformfläche aus Aluminium und Oberflächenabweichung des Prüflings von seiner Sollform, deutlich zu erkennen sind auch die wenige Nanometer tiefen Bearbeitungsspuren auf der Oberfläche

Die Messdatenauswertung ist durch die hohe Flexibilität des Verfahrens numerisch aufwändig. Durch die Entwicklung schnellerer Algorithmen konnte die Auswertzeit von mehreren Stunden auf wenige Minuten reduziert werden.

Die präzise und flexible Vermessung von Freiformflächen bleibt jedoch eine Herausforderung mit hoher Relevanz für die Optikindustrie. In diesem Projekt konnte das große Potenzial der „Tilted Wave Interferometry“ demonstriert werden. Inzwischen arbeitet das ITO im Rahmen eines BMBF-Nachfolgeprojekts mit einem Industriepartner an der Umsetzung des Verfahrens in ein kommerzielles Produkt.

Literatur

1. E. Garbusi, C. Pruss, W. Osten, „Interferometer for precise and flexible asphere testing,“ *Opt. Lett.* 33, 2973-2975 (2008)
2. J. Liesener, E. Garbusi, C. Pruß, W. Osten, „Verfahren und Messvorrichtung zur Vermessung einer optisch glatten Oberfläche“, Patentanmeldung: 100 2006 057 606 3.
3. E. Garbusi, G. Baer and W. Osten, „Advances studies on the measurement of aspheres and freeform surfaces with the Tilted-wave Interferometer,“ *Proc. SPIE* 8082, 80821F, DOI: 10.1117/12.895006 (2011).
4. G. Baer, E. Garbusi, Lyda, W., Osten, W., „Automated surface positioning for a non-null test interferometer,“ *Opt. Eng.* Vol. 49(9), 095602-1 - 095602-12 (2010).
5. G. Baer, E. Garbusi, W. Lyda, C. Pruss and W. Osten, „Automated alignment of aspheric and freeform surfaces in a non-null test interferometer,“ *Proc. SPIE* 8082, 80821L, DOI: 10.1117/12.895010 (2011).
6. G. Baer, W. Osten: „Justage einer zu prüfenden optischen Fläche in einer Prüfvorrichtung“, DE 10 2011 102 196.9.

Kontakt:

Christof Pruß

Institut für Technische Optik
Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 9
70569 Stuttgart

Tel. 0711 685-66066

Fax 0711 685-56066

pruss@ito.uni-stuttgart.de

www.uni-stuttgart.de/ito