

MESSVERFAHREN CHARAKTERISIERT OPTISCHE KOMPONENTEN

Ein Vorgang – zwei Informationen

Annette Walter, Wendelstein;
Friedrich Fleischmann und Ufuk Ceyhan, Bremen

Momentan gibt es keine Methode, mit der sich die Oberflächenform von stark gekrümmten Oberflächen und deren optische Performance berührungsfrei vermessen lassen. Das Messverfahren Experimental Raytracing liefert in nur einem Messvorgang beide Informationen mit hoher Auflösung. Es ist extrem variabel und hinsichtlich der Form von stark gekrümmten Oberflächen sehr flexibel.

Die Qualität der einzelnen optischen Komponenten ist maßgeblich für die Leistungsfähigkeit des gesamten optischen Systems. Somit entscheidet die Gewährleistung der hohen Funktion des optischen Systems wesentlich über dessen Wettbewerbserfolg. Aufgrund der rasanten Entwicklung der Herstellungstechnologie haben Optiken mit asphärischen oder Freiformoberflächen in den letzten Jahren Einzug in die industrielle

Produktion gehalten. Durch den Einsatz von Asphären kann beispielsweise die Linsenanzahl in Objektiven reduziert und zugleich deren Performance verbessert werden. Der Einsatz von Freiformoptiken ermöglicht insbesondere bei Laseranwendungen oder in der Beleuchtungstechnik völlig neue Applikationen.

Die Funktion kann seitens der Hersteller nur dann garantiert werden, wenn Messverfahren zur Verfügung stehen, wel-

che die steilen Flankenwinkel von asphärischen Linsen mit geringer F -Zahl mit hoher Auflösung vermessen können. Das Verfahren sollte flexibel an unterschiedliche Probendurchmesser und Oberflächengeometrien zu adaptieren sein und berührungsfrei arbeiten.

Herkömmliche Verfahren wie die Profilometrie arbeiten berührend und laufen somit Gefahr, die Oberfläche des Prüflings zu beschädigen. Außerdem sind diese

Messverfahren hinsichtlich der Flankensteilheit des Messobjekts begrenzt und empfindlich bezüglich Umwelteinflüssen wie Vibrationen und Verschleiß der Messkugel. Die Messung selbst liefert ausschließlich Topografie-Informationen. Die intrinsischen Eigenschaften bleiben verborgen.

Alternativ werden Interferometer eingesetzt. Für nichtsphärische Messobjekte sind kostspielige Referenzobjekte nötig, die an den Prüfling angepasst sind und eine aufwendige Justierung erfordern. Die Messung selbst erfolgt in der Regel nicht bei der Betriebswellenlänge, sondern in den häufigsten Fällen bei 633 nm. So werden Wellenfrontverzerrungen induziert, die eine Analyse erschweren.

Eine weitere Alternative sind Wellenfrontsensoren. Diese sind allerdings bezüglich der Auflösung durch die Anzahl der Sensorelemente und die benötigte Transformationsoptik relativ beschränkt. Bei stark gekrümmten Messobjekten werden auch hier teure Referenzoptiken benötigt.

Die Lösung

Das Verfahren des Experimental Raytracings bietet die Möglichkeit, wichtige optische Kenngrößen und die Form mit hoher Auflösung zu bestimmen (Bild 1). Es arbeitet ohne zusätzliche Referenzobjekte und eignet sich insbesondere für Objekte mit einer hohen Flankensteilheit und für

schwierig zu vermessende Optiken wie Asphären und Freiformflächen.

Bei diesem Verfahren wird die zu messende optische Oberfläche mit einem feinen Teststrahl abgetastet. Zur Funktionsmessung transparenter Objekte wird jeweils der Gradient des durch das Testobjekt hindurchtretenden Teststrahls gemessen. Dazu erfolgt zunächst eine Bestimmung der Strahlschwerpunkte S_i in den Ebenen Z_1 bis Z_n mithilfe einer beweglich montierten Kamera. Durch Regression wird für jede Position der Gradient des austretenden Strahls ermittelt. Nach vollständigem Abrastern liegt so das Gradientenfeld der durch das Messobjekt durchtretenden Strahlen vor. Aus dem Gradientenfeld wird die Wellenfront rekonstruiert und eine Vielzahl relevanter optischer Kenngrößen sowie die Oberflächenform abgeleitet.

Neben transparenten Messobjekten wie Linsen können auch reflektierende technische Oberflächen vermessen werden. Dabei wird der reflektierte Strahl mit einem Detektor aufgefangen und anschließend die Steigung und damit die Ablenkung des Teststrahls infolge der Reflexion an der zu messenden Oberfläche bestimmt. Hieraus wird durch Integration die Oberflächentopografie mit hoher Genauigkeit rekonstruiert. Da dieses Verfahren den Gradienten der Oberfläche misst, ist es sehr robust hinsichtlich Umwelteinflüssen wie z. B. translatorisch wirkenden Vibrationen.

Für Sill Optics, Wendelstein, war die Untersuchung und Zertifizierung transmissiver optischer Elemente besonders relevant. Mit dem Experimental Raytracer Easy Precision Asphere lassen sich Optiken mit stark unterschiedlichen Durchmesser von ca. 10 bis 150 mm mit hoher Asphärität, auch mit negativen Wendepunkten oder starken Änderungen der Oberflächensteigung, untersuchen. Durch das scannende Verfahren sind Anpassungen der lateralen Auflösung möglich.

Aufgrund des Messprinzips sind praktisch alle für optische Komponenten relevanten Parameter bestimmbar, beispielsweise:

- 2D- und 3D-Oberflächenprofile von sphärischen und asphärischen Linsen sowie von Freiformflächen,
- Pfeilhöhen und Steigungsfehler,
- effektive Brennweite,
- Wellen- und Strahl-Abberationen,
- Point Spread Function (PSF),
- Modulationsübertragungsfunktion (MTF),
- Strehl-Ratio,
- Spot-Diagramme in Ausbreitungsrichtung.

Die Ergebnisse

Das System ist eine komplette Messstation zur Charakterisierung optischer Komponenten. Die berührungslose Messung kann hinsichtlich Größe und Form der Messobjekte, der Messparameter und der Auflösung konfiguriert werden.

Da das Verfahren keine Referenzobjekte wie computergenerierte Hologramme (CGH) benötigt, entfallen Folgekosten sowie Warte- und Justierzeiten. Diese hohe Flexibilität prädestiniert das System für Unternehmen mit großer Produktpalette, die Prototypen und kleine Stückzahlen fertigen, sowie für die Hersteller von Sonderoptiken.

Die Kenndaten des Systems:

- Wiederholbarkeit besser 20 nm,
- Scangeschwindigkeit bis 15 mm/s,
- Messdauern typisch bei 50 mm Probendurchmesser: 2D-Scan (Profilschnitt) < 30 s, 3D-Scan 5 bis 10 min,
- Dynamik > 10⁴ Wellenlängen.

Üblicherweise werden die Entwurfsdaten in Form einer geometrischen Produktspezifikation an die Produktion weitergegeben. Bei asphärischen Linsen erfolgt die Beschreibung in Form einer Asphären-gleichung, bestehend aus sphärischem »

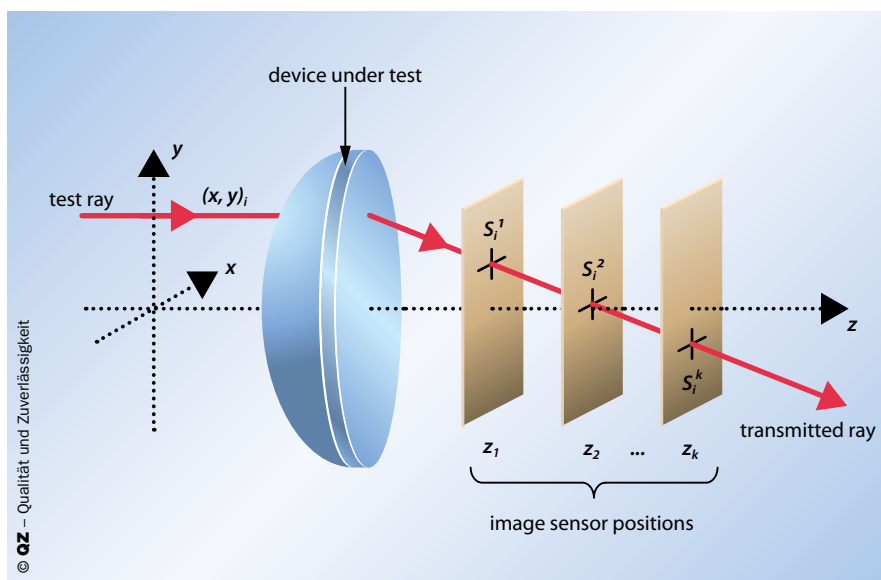


Bild 1. Messprinzip des Experimental Raytracers: Der Prüfstrahl wird rasterartig über die Apertur des Prüflings bewegt. Für jede Messposition wird in den Ebenen Z_1 bis Z_k ein Bild aufgenommen, der Strahlschwerpunkt S_i berechnet und der Gradient des austretenden Strahls ermittelt.

Autoren

Dr. Annette Walter, geb. 1982, betreut bei der Firma Sill Optics die Forschungsprojekte und arbeitet im Bereich Projektmanagement und Entwicklung.

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Fleischmann, geb. 1964, leitet das Labor für Physikalische Messtechnik und Messautomatisierung der Hochschule Bremen.

Ufuk Ceyhan, M.Sc., geb. 1981, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut i3m der Hochschule Bremen und leitet das Projekt EasyPrecision.

Kontakt

Friedrich Fleischmann
T 0421 5905 3453
friedrich.fleischmann@hs-bremen.de

QZ-Archiv

Diesen Beitrag finden Sie online:

www.qz-online.de/649440

Anteil, konischer Konstante und einer Reihe von Asphärenkoeffizienten sowie den zugehörigen Toleranzen.

In der Produktion wird die Einhaltung der Spezifikation durch die Nichtorthogonalität der Asphärengleichung signifikant erschwert, wodurch die Koeffizienten miteinander verkoppelt sind und Mehrdeutigkeiten auftreten. Üblicherweise werden deshalb Formabweichungen durch Abzug entweder der Entwurfsdaten oder der Best-Fit-Sphäre vom Messprofil dargestellt.

Beispiele für derartig aufbereitete Ergebnisse von 3D-Oberflächenscans zeigt Bild 2. Dargestellt sind die verbleibenden Abweichungen des Prüflings vom Best Fit für zwei unterschiedliche Linsen. Deutlich ist der Einfluss unterschiedlicher Polierverfahren auf die Oberflächenstruktur erkennbar. Aufgrund des Bearbeitungsvorgangs sind bei beiden Linsen neben den

fizienten, Wellen- und Strahlaberration und 3D-Topografieabweichungen umfasst.

Da das Messprinzip bereits eine eindeutige Zuordnung von eintretendem zu austretendem Prüfstrahl liefert, können die gewonnenen Daten ohne Umweg in die Simulation mit gängigen Raytracing-Entwurfsprogrammen übernommen werden. So kann der Designer direkt die Brauchbarkeit der gefertigten Komponente in einer Anwendung beurteilen. Dies gilt insbesondere auch für Elemente mit Freiformflächen, die einer Formmessung nur schwer zugänglich sind.

Das aus Entwurf und Simulation bekannte Verfahren des Raytracings ist auch für die Prüfung realer Linsen, Spiegel und Objektive anwendbar. Die aus dem Entwurf vertrauten Prüfparameter können nun an realen Objekten getestet werden. Durch die einfache Rückführung der

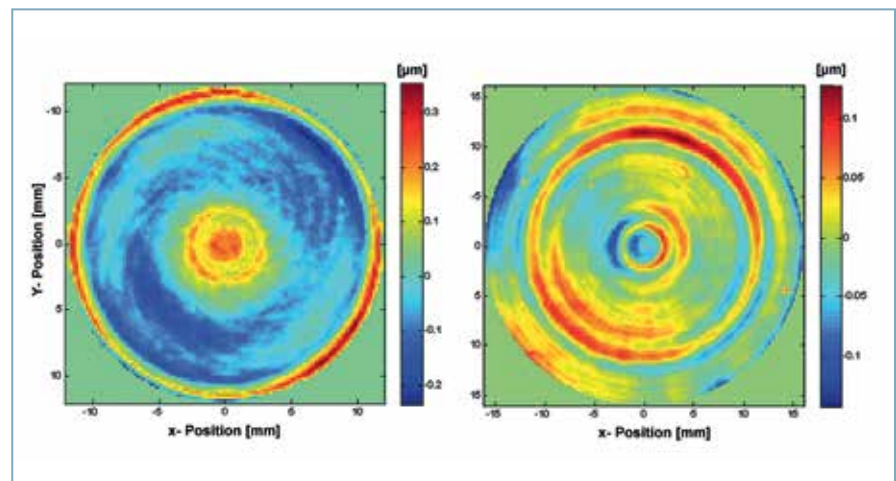


Bild 2. Vergleich zweier unterschiedlich polierter asphärischer Linsen: Links sind die Einflüsse des Polierens erkennbar, im Zentrum erfolgte ein zu geringer Abtrag. Die Linse rechts zeigt eine konzentrische Ringmodulation, unterlagert von einer nichtrotationssymmetrischen Formabweichung.

erwarteten rotationssymmetrischen auch deutliche nichtrotationssymmetrische Formabweichungen erkennbar. Aufgrund der integrierten Funktionsmessung kann nun entschieden werden, ob dies für die Anwendung relevant ist und die Oberfläche nachbearbeitet werden muss oder ob die angestrebte Funktion erreicht werden kann.

Jeder Prüfling kann so mit einem individuellen Zertifikat versehen werden, das neben den klassischen Daten wie gefitteten Asphärenparametern, Best-Fit-Radius, Peak-Valley (max./min. Abweichung) oder Steigungsfehlern auch Zernike-Koef-

Messergebnisse in die Simulation wird einerseits der Designer ohne Umweg über die Probengeometrie in die Lage versetzt, die Auswirkung eventueller Abweichungen der gefertigten Optikkomponente vom Design auf die Gesamtpformance zu beurteilen.

Die Produktion andererseits erhält klaren Aufschluss über Formabweichungen und Korrekturdaten. Das Verfahren ermöglicht die Bestimmung und Dokumentation der Geometrie und der optischen Leistungsfähigkeit der Komponente in reproduzierbarer Art und Weise mit hoher Genauigkeit. □