



## Nur anschauen, nicht anfassen!

### CONFOCAL TRACKING ALS BERÜHRUNGSLOSES WERKZEUG FÜR DIE INDUSTRIELLE INSPEKTION VON OPTISCHEN OBERFLÄCHEN

Asphärische optische Elemente und optische Freiformelemente werden unter anderem in Blu-ray-Laufwerken, Digitalkameras, Laserdioden, in der LED-Kollimieroptik sowie in Intraokularlinsen (IOL) eingesetzt.

In letzter Zeit wurden zunehmend neue Fertigungstechniken entwickelt, um dem Bedarf nach immer komplexer werdenden optischen Oberflächen nachzukommen. Gleichzeitig stiegen die Anforderungen an die Metrologie zur Messung dieser Oberflächen.

#### AGUSTI PINTO

Es ist allseits bekannt, dass die Leistung eines optischen Systems mit herkömmlicher sphärischer Optik durch verschiedene Aberrationen geometrischer und spektraler Natur eingeschränkt ist. Doch durch den Einsatz von asphärischen optischen Elementen und optischen Freiformelementen können geometrische Aberrationen reduziert und sogar beseitigt werden, zugleich werden die Anzahl Komponenten sowie die Größe und das Gewicht des gesamten Systems reduziert.

In den letzten Jahren nahm die Nachfrage nach Anwendungen mit erschwinglicher Optik für den Serieneinsatz dermaßen zu, dass sie heute nahezu überall zu finden sind. Damit stieg auch der Bedarf an in Serie produzierten asphärischen Linsen, da diese eine hochwertige Bildgebung bieten und die Herstellungs-

kosten zugleich erschwinglich sind. Infolgedessen wurde die Metrologie für derartige Linsen zu einem wichtigen Faktor bei der Herstellung, da der Markt präzise Profilmesser mit einer geringen Messunsicherheit fordert und zugleich ein geringer Wartungsaufwand, eine einfache Bedienung und angemessene Robustheit für den Einsatz in Produktionsumgebungen verlangt wird. In der Forschung und Entwicklung geht der Trend hingegen zu Freiformdesigns, da sie die größte Flexibilität hinsichtlich der optischen Leistungsabstimmung bieten, wenngleich sie noch höhere Anforderungen an Messwerkzeuge stellen.

#### Der Trend hin zur berührungslosen Metrologie

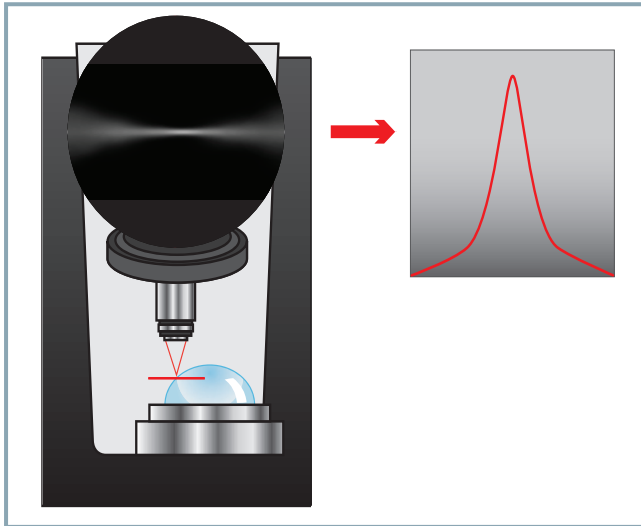
Viele Jahre lang waren Kontaktsysteme der Maßstab bei der zweckbestimmten 3D-Metrologie für Linsen und Formen. Sie

hatten jedoch die unerwünschte Nebenwirkung, dass die Messprobe bei der Messung berührt wird, wobei winzige, dennoch optisch relevante Kratzer zurückbleiben. Mit der Einführung der ersten berührungslosen Systeme basierend auf optischen Techniken lässt sich seit einigen Jahren auf dem Markt jedoch ein neuer Trend hin zu berührungslosen Systemen feststellen. Zu diesen Techniken gehören auch das Laser-Autofokus-Tracking und das Multi-Zone-Stitching.

Das Spezialgebiet von Sensofar Tech mit Sitz in Terrassa, Spanien, ist die

#### KONTAKT

Sensofar Tech S.L.  
08227 Terrassa, Spanien  
Tel. +34 93 700 14 92  
info@sensofar.com  
www.sensofar.com



**1** Entlang der horizontalen Achse projizierter zentraler Spalt. Der Punkt mit der besten Fokussierung befindet sich an der Position mit dem maximalen axialen Reaktionsgrad.

bietet, die nur durch Lichtbrechung beschränkt wird. Die Phasenverschiebungsinterferometrie, eine andere voll entwickelte Technologie, ermöglicht die präzise Rauheitsmessung im Sub-Nanometer-Bereich.

### Messprinzip für Profilometrie

Das Messprinzip des Confocal Tracking wurde aus dem Konzept der Spalt-basierten konfokalen Mikroskopie entwickelt. Bei Confocal Tracking wird mittels einer Profiliereinrichtung mit einer Linse mit hoher numerischer Apertur ein Spalt auf der zu messenden Oberfläche abgebildet. Der Punkt mit der besten Fokussierung (das heißt, Schärfe) kann anhand eines Schärfentiefe-Algorithmus basierend auf einer strukturierten Beleuchtung auch als der Punkt mit dem maximalen axialen Reaktionsgrad bestimmt werden (Bild 1).

optische Metrologie. Bei der Entwicklung einer neuen optischen Technologie griffen sie daher auf ihr Know-how im Bereich Konfokale Mikroskopie zurück. Das sogenannte »Confocal Tracking« ist vor allem auf die Messung asphärischer und Freiform-Optik ausgelegt. Die konfokale Mikroskopie bietet eine hohe laterale und vertikale Auflösung, indem Licht, das nicht aus der am besten fokussierten Ebene stammt, effizient geblockt wird. Das Ergebnis sind Bilder mit hohem Kontrast.

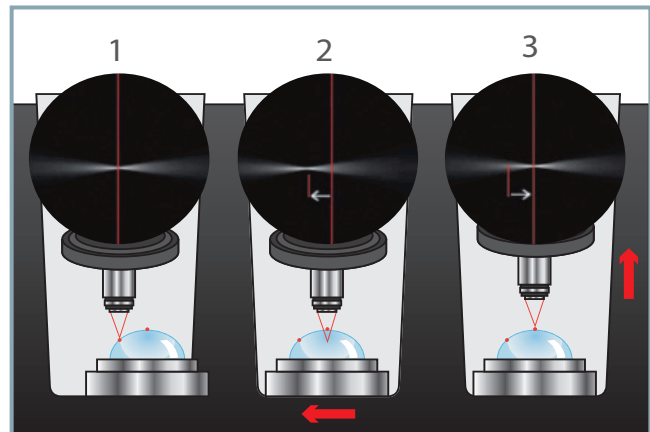
Confocal Tracking kann als optisches Gegenstück zur Kontaktprofilometrie verstanden werden. Es kommt dabei jedoch nicht zu einem mechanischen Kontakt mit der Messprobe. Der Kontakt erfolgt vielmehr auf optische Weise, das heißt, das System kann die Messprobe mithilfe einer konfokalen Einrichtung präzise fokussieren.

### Confocal Tracking

Confocal Tracking wurde neben anderen Technologien in »PLu apex«, der Lösung von Sensofar für eine berührungslose asphärische Inspektion und Freiform-

Inspektion, integriert. Die Lösung bietet darüber hinaus noch ergänzende Technologien, mit denen eine umfassende Analyse von Asphären und Freiformen möglich ist. Dabei wird das Confocal

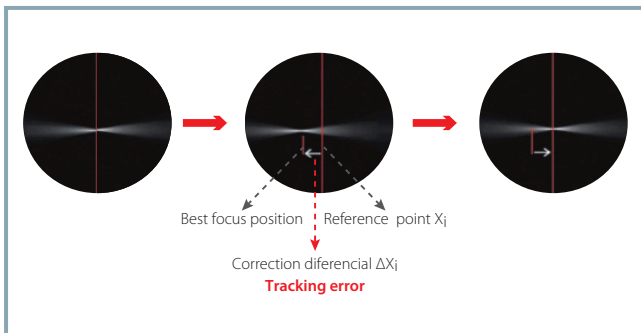
**2** Für Confocal Tracking verwendeter Autofokus mit geschlossenem Regelkreis



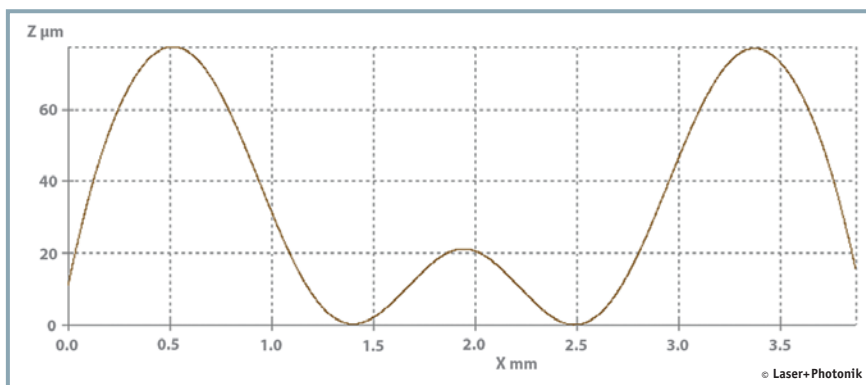
Tracking mit konfokalem Scanning und der Phasenverschiebungsinterferometrie kombiniert. Das konfokale Scanning wurde mehr als zehn Jahre lang weiter entwickelt und ist eine ausgefeilte Technologie, die die Messung verschiedener Linsentypen ermöglicht und die eine höhere laterale Auflösung (0,3 µm)

Für die Messung wird die Messprobe mit gleichbleibender Geschwindigkeit entlang der horizontalen Achse verschoben, dabei befindet sich die Messprobe dank eines Autofokus-Regelkreis-Algorithmus stets im Fokus. Dieser Algorithmus sorgt dafür, dass der Sensorkopf dementsprechend entlang der vertikalen Achse verschoben wird. Diese aufeinander abgestimmten Bewegungen werden so durchgeführt, dass die Position mit der besten Fokussierung auf der Oberfläche so nah wie möglich bei einem Referenzpunkt liegt, im Allgemeinen der Kamera- mitte (Bild 2). Auf diese Weise wird die Oberfläche abgetastet, bis die gewünschte Messlänge erreicht wurde.

Es ist jedoch allgemein bekannt, dass das Tracking mit selbst dem besten und schnellsten Autofokus mit geschlos-



**3** Korrektur von Restfehlern beim Tracking als Abstand zwischen Punkt mit bester Fokussierung und Referenzpunkt



4 LED-Kollimator für ein in Mobiltelefone integriertes Blitzlicht

► seinem Regelkreis Restfehler behaftet ist. Diese Fehler sind hinnehmbar, wenn die Messprobe sich nur im Schärfentiefebereich befinden soll. Bei Formmessungen im nm-Bereich können diese Ungenauigkeiten jedoch schon zu viel sein. Mithilfe von Confocal Tracking können Sie diese Einschränkungen überwinden, indem die Tracking-Restfehler korrigiert werden. Dazu werden die inhärenten Eigenschaften einer bildbasierten Technologie (im Vergleich zu Einzelpunkt-basierten Verfahren) genutzt. Wie in **Bild 3** gezeigt, kann eine Korrekturdifferenz aus dem Abstand zwischen den Punkten mit der besten Fokussierung und den Referenzpunkten berechnet werden. Es ist offenkundig, dass die mit dieser Messmethode erzielten Formen sehr viel genauer sind als jene, die mithilfe eines Einzelpunkt-basierten Verfahrens erfasst wurden, da sich die Abbildung der Oberfläche vollständig aus Punkten mit bester Fokussierung zusammensetzt. Bei einem Kontaktsystem müssten dazu alle Punkte bei optimalem Kontakt zwischen Abtastspitze und Oberfläche erfasst werden.

### SensoTRACK-Software

PLU apex wird mit der Software »SensoTRACK« bedient, die eine benutzerfreundliche Schnittstelle bietet. Zudem kann sie in Produktionsumgebungen und in Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen eingesetzt werden. Die Software umfasst beispielsweise Tools, mit denen eine etwaige Linsenneigung aus der Auswertung beseitigt und die Linsenmitte leichter ermittelt werden kann. Diese beiden Schritte sind ausschlaggebend für die Erfassung aussagekräftiger Daten, da nach Durchführung dieser Schritte die optische Achse am Metrologiebezugsrahmen ausgerichtet wird. Somit werden Daten in demselben Referenzsystem wie bei der Herstellung und während des Designs bereitgestellt, was die Voraussetzungen für einen direkten Vergleich mit dem gewünschten Design schafft. Des Weiteren ermöglicht ein leistungsstarkes Modul zur Analyse einer asphärischen Krümmung die Formbewertung im Hinblick auf Design, Passgenauigkeit oder eine Referenzform.



5 Die Flexibilität des PLU apex Systems wird hier durch die Profilmessung an verschiedenen Linsen gezeigt.

Darüber hinaus stehen weitere Funktionen zur Verfügung, unter anderem verschiedene Filter, eine Funktion zur Ermittlung der Linsenneigung oder eine Funktion zur Berechnung von Rauheitsparametern gemäß dem ISO-Standard.

Diese neue Technik ist ausreichend flexibel, um präzise Messungen für jede asphärische optische Komponente oder optische Freiformkomponente durchzuführen. Der Einsatz ist jedoch nicht auf diesen Bereich beschränkt. Diese Technologie kann auch zur Messung von in Mobiltelefonen integrierten Blitzlicht-Kollimatoren (mit einer typischen Doppel-Peak-Struktur, siehe **Bild 4**) genutzt werden. Darüber hinaus wird sie für die Messung von in Kataraktoperationen eingesetzten Intraokularlinsen (IOLs) verwendet, wobei eine Kombination aus refraktiver asphärischer Optik und einer diffraktiven Struktur zum Einsatz kommt.

### Fazit

**In den letzten Jahren ist der Bedarf an Messtechniken für asphärische Oberflächen und Freiformoberflächen gestiegen. Im gleichen Maß nahm die Produktion solcher Linsen zu, um der Nachfrage am Markt nach hochwertigen und erschwinglichen optischen Systemen nachzukommen. Berührungslose optische Techniken wie Confocal Tracking bieten die geforderte Präzision bei geringer Messunsicherheit. Durch die Kombination verschiedener Techniken kann eine Komplettlösung mit geringem Wartungsaufwand, großer Bedienfreundlichkeit und hoher Robustheit geboten werden. Dies wiederum ermöglicht die vollständige Erfassung solcher Messproben für Produktionsumgebungen sowie für Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen.**

### AUTOR

Dr. AGUSTI PINTO erhielt seinen Dokortitel in Physik im Jahr 2002 vom CD6 der Polytechnischen Universität Katalonien für die Entwicklung eines Phasensystems für segmentierte Spiegelteleskope basierend auf der Weißlicht-Interferometrie. Er arbeitet jetzt in der Abteilung für Forschung und Entwicklung bei Sensofar, wo er für die Entwicklung von PLU apex verantwortlich ist.

■ [www.laser-photonik.de](http://www.laser-photonik.de)  
Online unter LP110213