

Zentriermessung an Asphären – auch doppelseitig

Engelbert Hofbauer, Ronald Kometer

HOFBAUER OPTIK Mess- und Prüftechnik, München

mailto: e.hofbauer@hofbauer-optik.de

Die ‚Vignetting-Field-Stop‘-Technologie ermöglicht es, den lokalen Krümmungsmittelpunkt am Rand der asphärischen Fläche sowie beidseitig im Zentrum präzise zu erfassen und so den inneren Zentrierfehler zu bestimmen.

1 Einführung

Zur Angabe der Zentrierung auf einer Sphäre genügt die Angabe eines einzigen Wertes für die laterale Verschiebung L des Krümmungsmittelpunktes. Aus der Verschiebung gegenüber dem Radius R erhält man den Neigungswinkel σ der Fläche. Die asphärische Achse hat u.U. eine Neigung und eine seitliche Verschiebung L zur Bezugsachse am Scheitelpunkt der Asphäre. Dieser als „äußerer Zentrierfehler“ bezeichnete Wert bezieht sich auf äußere Referenzen - Randzylinder und Sphäre.

Indem die Linse verschoben und geneigt wird, kann die asphärische Achse mit der Bezugsachse zusammenfallen (Abb. 1). Dann kann der Zentrierfehler auf nur einen Aspekt reduziert werden, nämlich die seitliche Verschiebung des Krümmungsmittelpunktes C_1 . Wir nennen diesen Aspekt den „inneren Zentrierfehler“. Dieser innere Zentrierfehler ist ein immanent bestehender Fehler. Er kann nach Fertigstellung der optischen Flächen nicht mehr korrigiert werden, auch nicht durch Zentrierdrehen.

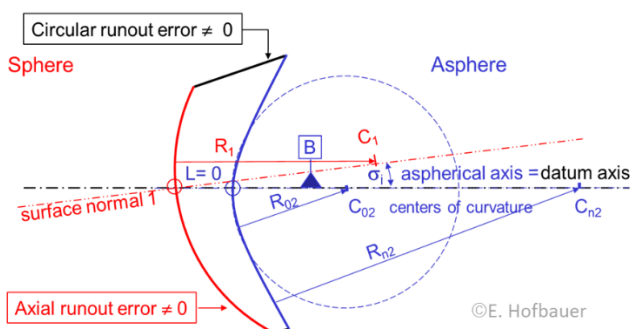


Abb. 1 Innerer Zentrierfehler bei einer Sphäre - Asphäre

2 Probleme bei der Asphärenherstellung

Es ist also die Herausforderung, den inneren Zentrierfehler während des Herstellungsprozesses von sphärisch-asphärischen Linsen oder doppelseitig asphärischen Linsen zu vermeiden oder zu reduzieren. Abbildung 2 zeigt die Situation an einer halbfertigen asphärischen Linse. Die bereits fertig bearbeitete Seite wird möglichst gut auf die mechanischen Achse des Dorns montiert (Abb. 2d). Im nächsten Schritt wird die rohe oder mit Best-Fit-Ra-

dus vorgeschliffene Fläche durch Schleifen und Polieren der Asphäre bearbeitet. Am Ende wird nochmals der Rand geschliffen, um den äußeren Zentrierfehler zur 2. Asphäre zu minimieren.

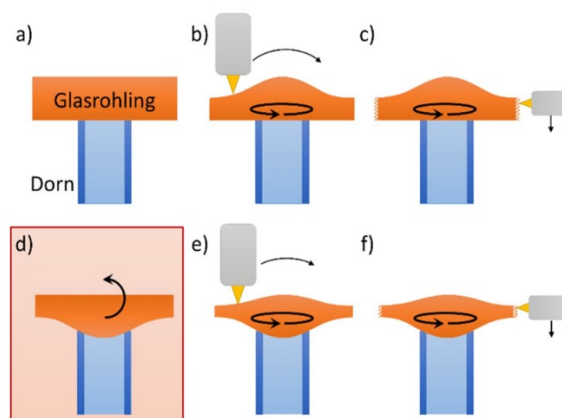


Abb. 2 Fertigungsprozess Asphäre. a-c) schleifen/ polieren Asphäre 1 + Randbearbeitung d) Umkitten e) schleifen/ polieren Asphäre 2 f) erneute Randbearbeitung

3 Zentriermessung an Asphären

Sagittale Krümmungsmittelpunkte liegen bei Asphären auf der Rotationsachse, während meridionale auf einem Kreiskegel oder Ähnlichem liegen. Über die Messung der Krümmungsmittelpunkte an Scheitel, Zone oder Rand mit Abstand q bestimmen wir die Achslage der Asphäre in meridionaler und sagittaler Richtung. Je kleiner q desto kritischer ist die verlässliche Auswertung der Asphärenachse.

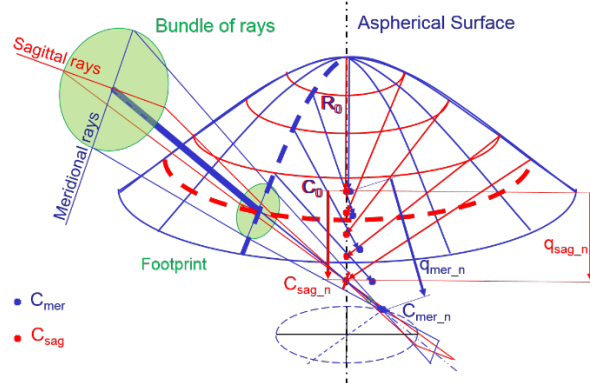


Abb. 3 Meridionale und sagittale Asphärenradien in unterschiedlichen Zonen der Asphäre.

Das Messen von Asphären mit klassischem Auto-kollimator hat seine Grenzen (Abb. 4). Geringer Messbereich bzw. kleiner Arbeitsabstand wegen Vignettierungseffekten erschweren das Messen. Der Astigmatismus am Rand der Asphäre ermöglicht keine eindeutige Messung der sagittalen und meridionalen Größen. Die Messung mit Punktsensoren wird erschwert durch die Bewegung der Linse in bis zu 5 Freiheitsgraden sowie durch Formabweichungen, sogenannte mittelfrequente Fehler.

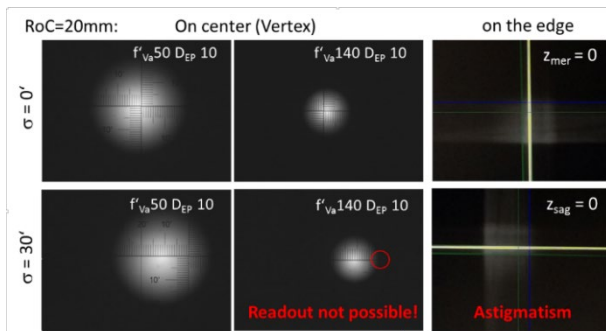


Abb. 4 Probleme bei der Asphärenmessung mit AKF.

4 Neues Setup mit VFS-Prinzip

Das ‚Vignetting Field Stop‘-Prinzip [1] ermöglicht die gleichzeitige Messung und Zuordnung von meridionalen und sagittalen Krümmungsmittelpunkten der Asphärenfläche in nur einem Messumlauf, was mit AKF und Punktsensoren nicht möglich ist. Mit einem zweiten Messumlauf - vorzugsweise am Scheitel – lässt sich die Asphärenachse damit eindeutig auswerten. Meridionale und sagittale Achslage sind bei guter Asphäre identisch. Um dies zu prüfen, werden die Messungen an mehreren Zonen bzw. unter verschiedenen Winkeln an einem Meniskus erfasst.

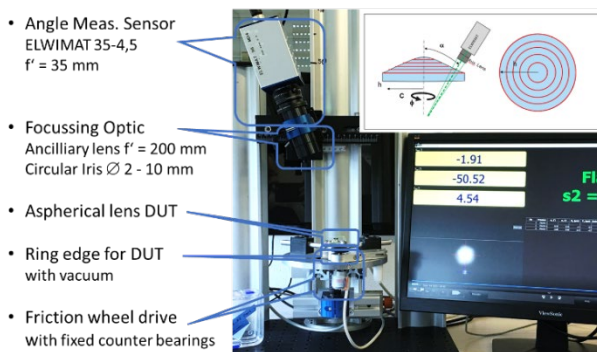


Abb. 5 Prinzip der Asphären-Zentriermessung mit dem VFS-Sensor an unterschiedlichen Zonen unter Winkel α .

5 Ergebnis

Das Ergebnis der Messungen ist als X-Y-Lage der sagittalen Krümmungsmittelpunkte mit Fehlerbalken aus Mehrfachmessung und Unsicherheitsbetrachtung in Abb. 6 dargestellt. Die zugehörigen Radien R_{sag} (Z-Ebene) sind angegeben. Es zeigt sich ein ungewöhnlicher nichtlinearer Zusammenhang bzw. ein Knick in der optischen Achse, wobei der

Rand der Asphäre mit $R = 35,3$ mm sehr gut mit der mechanischen Achse (Zylinderrand und Sphäre) läuft.

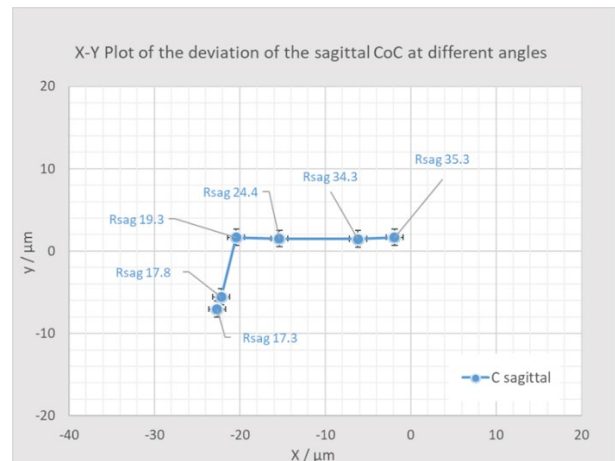


Abb. 6 X-Y-Darstellung der Zentrierabweichungen in Abhängigkeit der Krümmungsradien.

Der innere Zentrierfehler ist somit als Abweichung des Krümmungsmittelpunktes der Sphäre mit $R = 39$ unkritisch, egal wie man die Achse der Asphäre nun definiert: Endpunktanpassung mit max. q_{mer} oder nur mit den äusseren 4 Zonenwerte ohne Scheitel. Der Vergleich der Ergebnisse im Rahmen eines Round-Robin Test mit anderen Herstellern zeigt eine sehr gute Übereinstimmung des inneren Zentrierfehlers im Bereich von $0,22'$ bis $0,32'$. Der Wert des äusseren Zentrierfehlers stimmt mit dem Ergebnis von Hersteller A auf $< 0,18$ wmin überein.

Hersteller	Äussere Zentrierung		Innere Zentrierung	
	σ_a	L/ μm	σ_i	L/ μm
A	4,48	-	0,30	3,4
B	-	-	0,224	0,323/d
C	-	-	0,315	3,58
Hofbauer	4,3'	45,3	0,32	3,6

Tab. 1 Ergebnis der HLEM Round-Robin Tests 2021/ 22

6 Zusammenfassung

Der innere Zentrierfehler ist ein wichtiges Maß bei der Herstellung von Asphären, da er nicht mehr zu korrigieren ist. Bereits während des Fertigungsprozesses muss die Linse den Zentrierkriterien beim Kitten auf Dorn entsprechen.

Literatur

[1] E. Hofbauer, M. Lenz: „Vignettierung als physikalisches Messprinzip zur zweidimensionalen Winkel-messung“, tm - Technisches Messen, 75 (3), 153-167, 2008
 [2] I. Fortmeier, M. Schulz: Asphere and Freeform Measurement Comparison Braunschweig, March 15, 2022