

Erweiterte Anwendungen bei der Radiusmessung optischer Komponenten

David Sommer*, Michael Schulz*, Axel Wiegmann**, Nico Triefenbach***

* Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

** Mahr GmbH, Carl-Zeiß-Promenade 10, 07745 Jena

*** SCHWIND eye-tech-solutions GmbH & Co. KG, Mainparkstraße 6-10, 63801 Kleinostheim

<mailto:david.sommer@ptb.de>

Wir präsentieren erweiterte Anwendungen des Radiusmessplatzes der PTB bei der Messung optischer Komponenten. Neben der Bestimmung des Krümmungsradius von Linsen mit sphärischer Form wird die Apparatur auch für komplexere Messungen an Multi-Radien-Prüflingen und die Bestimmung der Brechzahl von Plankonvexlinsen verwendet.

1 Einführung

Viele optische Elemente besitzen Flächen mit einer sphärischen Form, bei welcher der Krümmungsradius eine wichtige Kenngröße ist. Die interferometrische Radiusmessung stellt dabei die genaueste Methode zur Bestimmung des Radius von Sphärenabschnitten dar. Der Messplatz an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) bietet neben dieser Standardkalibrierung auch die Möglichkeit, komplexere optische Komponenten zu vermessen. So können die Krümmungsradien von Multi-Radien-Prüflingen, die aus zusammengesetzten Sphärenabschnitten bestehen, ermittelt und die Brechzahl von Linsen bestimmt werden.

2 Radien-Messplatz

Der flexible Aufbau kann für Optiken unterschiedlicher Größe mit Krümmungsradien von 5 mm bis zu 700 mm verwendet werden. Dabei können sowohl konkave als auch konvexe Sphärenabschnitte vermessen werden. Die Ermittlung der Position des Prüflings erfolgt über ein Distanz-messendes Interferometer (DMI) von der Rückseite des Prüflings (siehe Abb. 1).

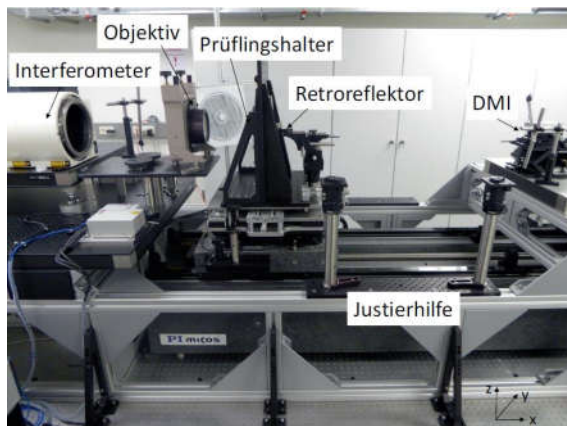


Abb. 1 Aufbau Radiusmessplatz an der PTB

3 Messprinzip

Zur interferometrischen Messung des Krümmungsradius wird ein konvergentes optisches Strahlenbündel eines Interferometers genutzt. Im ersten Schritt wird der Prüfling so positioniert, dass der Fokus der einlaufenden Strahlen auf der Prüflingsoberfläche liegt und das Licht in einem Punkt reflektiert wird. Bei der zweiten Position wird der Prüfling entlang der optischen Achse so verschoben, dass das Strahlenbündel senkrecht auf die sphärische Oberfläche trifft und in sich zurückreflektiert wird (siehe Abb. 2). Der Krümmungsradius des Sphärenabschnitts ist dann durch die Differenz der beiden Positionen bestimmt, korrigiert um die Sphärizitätsabweichung im Scheitelpunkt.

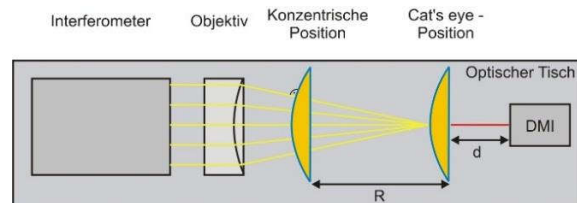


Abb. 2 Messprinzip interferometrische Radiusmessung

Die jeweils optimale Position wird zunächst vom Anwender grob bestimmt, danach wird der Bereich mittels einer Software schrittweise automatisiert abgefahren. Dabei ist die optimale Position dadurch bestimmt, dass der Zernike-Defokusterm Null ist. Durch einen Geradenfit an die aufgenommenen Messwerte in Abhängigkeit von der Position kann man so die optimale konzentrische (Benennung in der klassischen Literatur: konfokale Position) bzw. cat's eye-Position bestimmen.

Das Messergebnis weist neben dem ermittelten Krümmungsradius eine Messunsicherheit auf. Typischerweise werden in einer Messreihe mit 15-20 Radienmessungen bei Sphärenabschnitten mit einem Krümmungsradius von bis zu 40 mm Unsicherheiten von $U(k=2) \approx 200$ nm erreicht (beispielhaftes Messunsicherheitsbudget siehe Tab. 1).

Messunsicherheitsbeitrag	Wert
Achsenfehler	28,6 nm
Temperatur	65 nm
Abbefehler	1,5 nm
Totstrecke DMI	68 nm
DMI allgemein	16,4 nm
Luftturbulenzen	1 nm
Positionierung	23 nm
Objektiveinfluss	13 nm
Resultierende Messunsicherheit mit $k=2$	210 nm

Tab. 1 Unsicherheiten für Prüfling mit $R = 27,99466 \text{ mm}$

4 Erweiterung auf Multi-Radien-Prüflinge (MRP)

Neben den klassischen Sphärenabschnitten nimmt die Bedeutung von Flächen mit einer Abweichung von der sphärischen Form wie z.B. Asphären oder Freiformflächen, zu. Bei der messtechnischen Rückführung von Asphären- und Freiformmessgeräten kann der Radiusmessplatz wesentlich beitragen: Ein erster Schritt stellt hierbei die Messung von MRPs dar, welche aus zusammengesetzten Sphärenabschnitten bestehen [1].

Zur Ermittlung des zusätzlichen Radius muss das Messprinzip um eine weitere konzentrische Position erweitert werden. Die Herausforderung hierbei besteht in der exakten Justierung des MRP, um alle drei Positionen auf die optische Achse zu bringen. Dadurch und auch aufgrund des kleineren nutzbaren Bildausschnitts (siehe Abb. 3), werden bei der Messung von MRPs derzeit nur Unsicherheiten von $U(k=2)$ von etwa 400 nm erreicht.

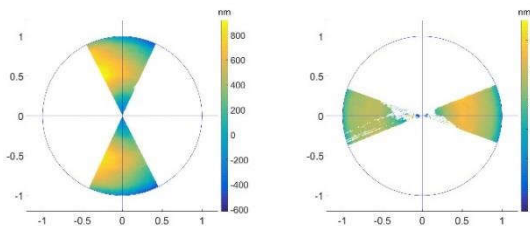


Abb. 3 Sphäritätsabweichungen eines MRP (max. Apertur 36 mm) mit den Radien $R_1 = 40,00517 \text{ mm}$ und $R_2 = 39,50530 \text{ mm}$

5 Erweiterung zur experimentellen Bestimmung der Brechzahl

Der Radiusmessplatz kann neben der klassischen Radiusmessung an Sphären und MRPs auch zur experimentellen Bestimmung der Brechzahl von Plankonvex-Linsen benutzt werden. Das Konzept dazu wurde entsprechend den Notwendigkeiten im Bereich der Laser-Hornhautchirurgie entwickelt, auf dem SCHWIND eye-tech-solutions tätig ist. Zur Rückführung und Qualitätssicherung der Operationsgeräte werden gefasste Plankonvex-Linsen (siehe Abb. 4) als Referenz verwendet. Die Prob-

lemstellung war, die Brechzahl dieser Linsen im eingebauten Zustand zu bestimmen.



Abb. 4 Referenzlinse im eingebauten Zustand

Zur Lösung des Problems wird die klassische Radiusmessung erneut um eine Position erweitert, den Fokus der Linse (deshalb: „konfokal“). Zudem wird eine Planplatte hinter der Linse aufgestellt (siehe Abb. 5), sodass die zusätzliche Position interferometrisch erfasst werden kann.

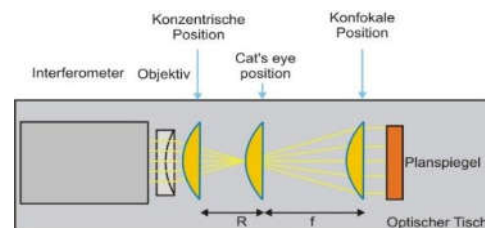


Abb. 5 Erweiterter Aufbau zur Brechzahlbestimmung

Mit dieser Erweiterung kann man neben dem Krümmungsradius R nun auch die Brennweite f der Plankonvex-Linse messen, sodass sich gemäß Formel (1) die Brechzahl n bestimmen lässt

$$n = \frac{R}{f} + 1 \quad (1)$$

Trotz der in dem hier vorgestellten Messbeispiel relativ hohen Unsicherheit von $U(k=2) \approx 1,0 \cdot 10^{-3}$ (bedingt durch ein sehr kleines Interferogramm aufgrund des ungünstigen Verhältnisses von Prüflingsdurchmesser $d = 12 \text{ mm}$ und Prüflingsbrennweite $f = 300 \text{ mm}$) sind die Ergebnisse ausreichend genau, um ausschließen zu können, dass die Linse aus einem falschen Material besteht. Der Brechzahlwert kann mit Blick in das Abbe-Diagramm ausschließlich BK-7 zugeordnet werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Der Radiusmessplatz der PTB wurde so erweitert, dass neben Kalibrierungen von Sphärenabschnitten auch die Vermessung von Multi-Radien-Prüflingen und die Bestimmung der Brechzahl von Plankonvex-Linsen möglich ist.

Durch einen Umbau des DMIs auf die Seite des formprüfenden Interferometers kann in Zukunft die Messunsicherheit weiter gesenkt werden.

7 Literatur

- [1] G.Blobel, A.Wiegmann, J.Siepmann, M. Schulz, „Metrological multispherical freeform artifact“, Opt. Eng. 55 (2016) 071202 - 1-8