
Justierdrehen

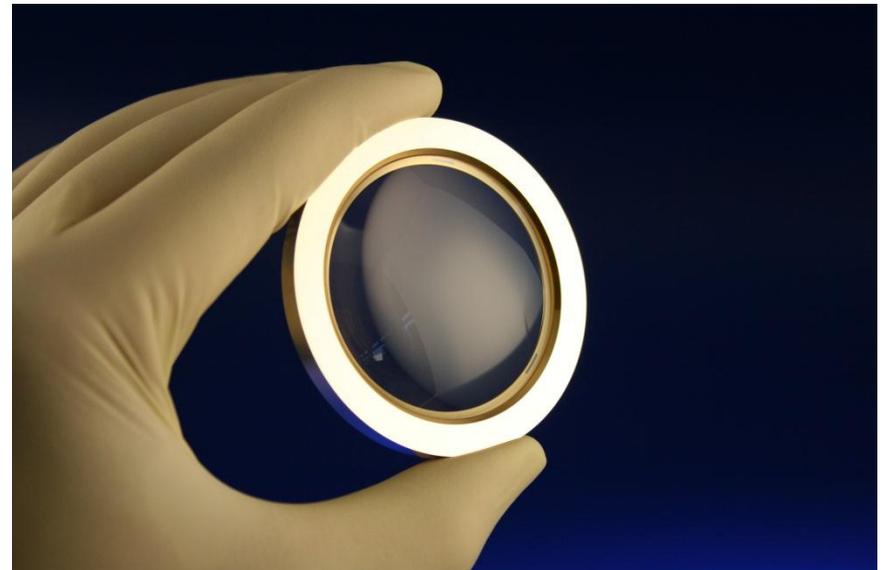
-

Technologie zur Herstellung von Objektiven hoher Abbildungsqualität

Dipl.-Ing. Matthias Beier

6. Tagung
„Feinwerktechnische Konstruktion“

Dresden, 08.11.2012



Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

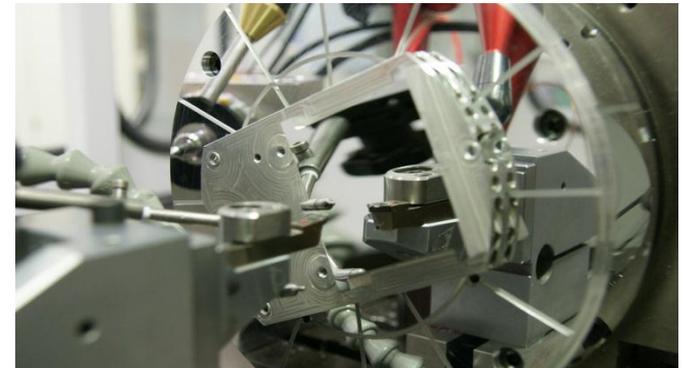


Daten und Fakten

- Gegründet 1992
- Neubau 2002 auf dem Beutenberg-Campus in Jena
- 2009 – 2011 Erweiterungsbau
- 170 Mitarbeiter + 65 Studenten
- ca. 7000 m² Nutzfläche
- Budget 2011 \approx 19 Mio €

Geschäftsfelder

- Funktionale optische Oberflächen und Schichten
- Mikro- und Nanooptik
- Laser
- Bildgebung und Beleuchtung
- Optische Komponenten und Systeme
- Feinmechanische Komponenten und Systeme
- Optik extremer Wellenlängen
- Photonische Sensoren und Messsysteme



Distanztriebseinheit zur Herstellung optischer Spiegel

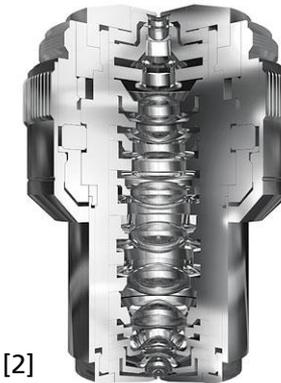
Inhalt

- Einleitung und Motivation – Montage von Hochleistungsobjektiven
- Referenzflächenbearbeitung an gefassten Rundoptiken
 - Justierdrehen
 - Schiefdrehen
- Justierdrehen für Sphären
- Justierdrehen für Asphären
- Entwicklungspotential und Ausblick



Montage von Hochleistungsobjektiven – Anforderungen

- Hochleistungsobjektive mit extremen Anforderungen an Fertigungs- und Montagetoleranzen
- Effektive und spannungsarme Montage
- Hohe Abbildungsqualitäten
- Serienfertigung



[2]

DUV-Mikroskopieobjektiv von Leica Microsystems©

- 42 mm Länge
- 17 Einzellinsen
- $\lambda=248$ nm
- NA=0,9



Justierdrehen

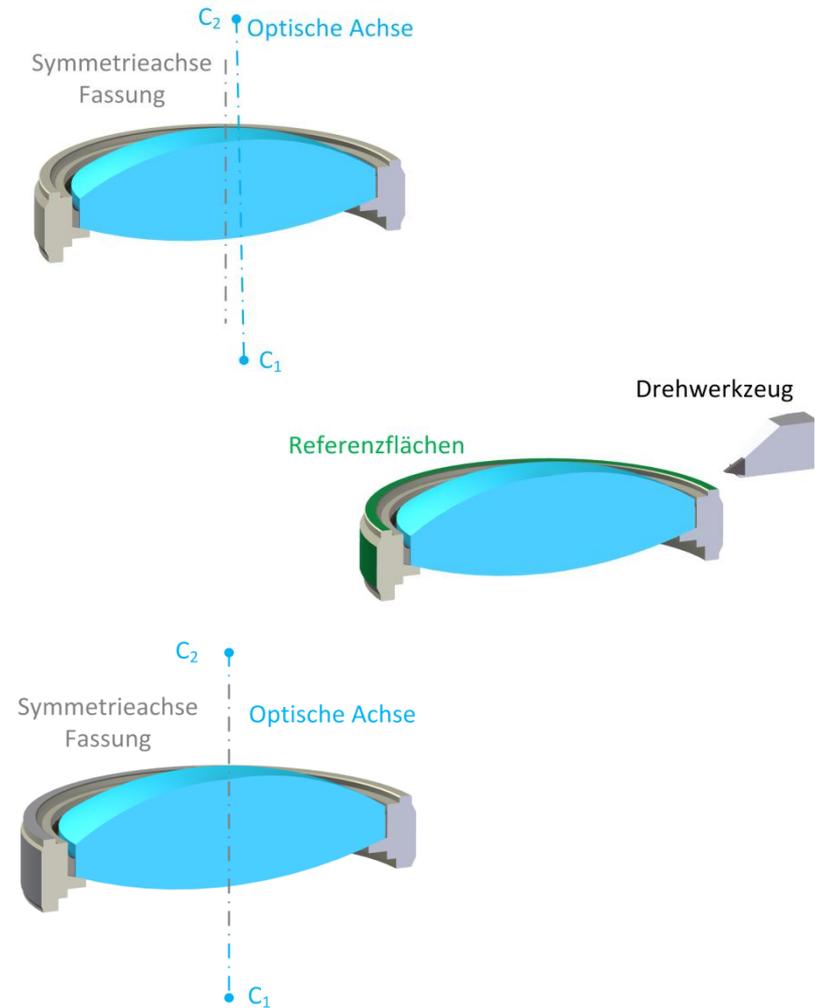
[1]

Parameter	Mittelklasseoptik	Hochleistungsoptik	Höchstleistungsoptik
Passefehler	$> \lambda/10$	$\lambda/10 \dots \lambda/20$	$< \lambda/20$
Luftabstandstoleranzen	$> 5 \mu\text{m}$	1 ... 5 μm	$< 1 \mu\text{m}$
Zentriertoleranzen	$> 2''$ RFK	0,2'' ... 2'' RFK	$< 0,5''$ RFK
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Fotografie • Digitale Projektion • Zielfernrohre 	<ul style="list-style-type: none"> • Mikroskopie • Waferinspektion • Vermessungstechnik 	<ul style="list-style-type: none"> • Halbleiterlitografie
Typische Linsendurchmesser	5 ... 50 mm	5 ... 300 mm	10 ... 300 mm

RFK...relative Flächenkipfung
 DUV...Deep Ultraviolet
 (Wellenlängenbereich 130...300 nm)
 NA...Numerische Apertur

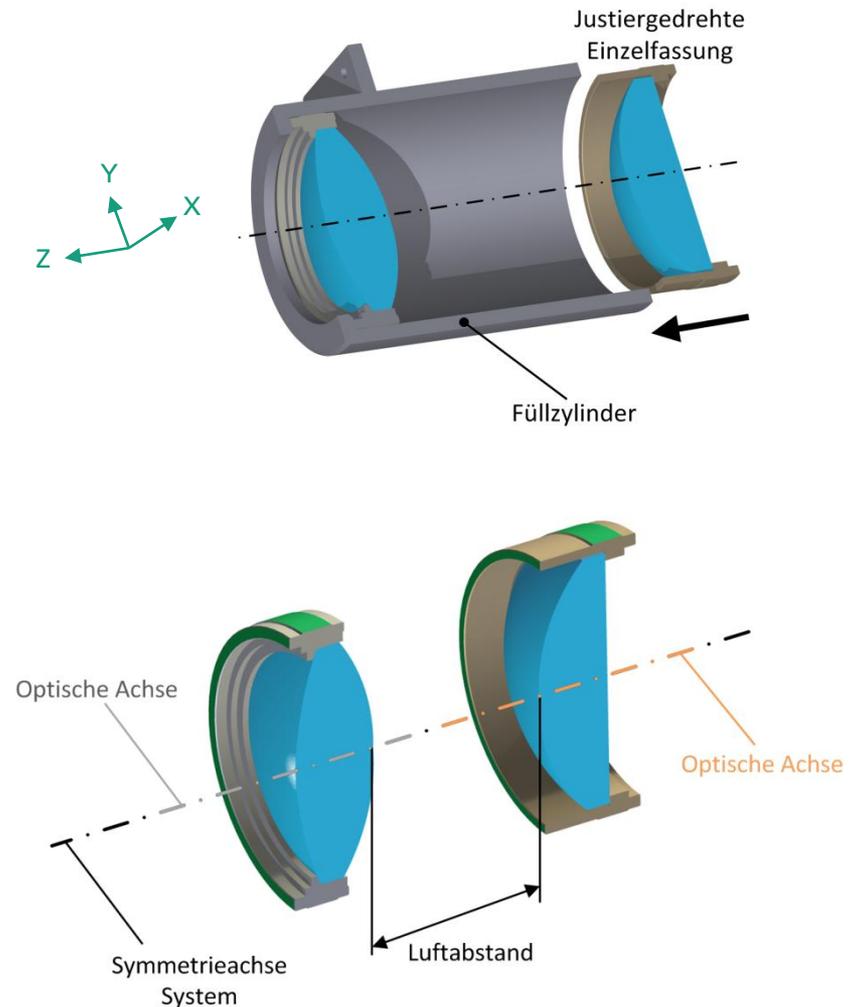
Montage von Hochleistungsobjektiven – Referenzflächenbearbeitung

- Zentrierfehler zwischen Linse und Fassung durch
 - Zentrierfehler der Linse (Fertigungstoleranz)
 - unmittelbares Fassen der Linse (Vorschraubringe, Kleben, Löteten etc.)
- Idee der Referenzflächenbearbeitung
 - spannungsarmes Fassen der Linse
 - Bearbeitung der relevanten Fassungsflächen in Bezug zur optischen Linsenachse
 - Übereinstimmung zwischen mechanischer und optischer Achse
 - keine Nachjustierungen bei der Systemmontage



Montage von Hochleistungsobjektiven – Füllfassungsprinzip

- Klassische optische Linsensysteme mit gemeinsamer Symmetrieachse
- Systemmontage nach dem Füllfassungsprinzip
 - Füllzylinder mit exakt gefertigten Innendurchmesser
 - Stapeln der **justiergedrehten Einzelfassungen** mit exakt gefertigten Außendurchmessern und Scheitelhöhen
 - **Einfache Montage durch fertigungsorientierten Ansatz!**
- Fassungsaußendurchmesser → X, Y
- Fassungsplanflächen → Z, Luftabstände



Inhalt

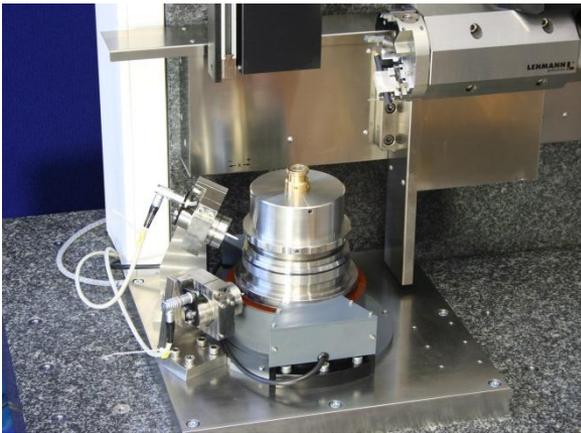
- Einleitung und Motivation – Montage von Hochleistungsobjektiven
- Referenzflächenbearbeitung an gefassten Rundoptiken
 - Justierdrehen
 - Schiefdrehen
- Justierdrehen für Sphären
- Justierdrehen für Asphären
- Entwicklungspotential und Ausblick

Referenzflächenbearbeitung an gefassten Rundoptiken (1)

Referenzflächenbearbeitung an Rundoptiken

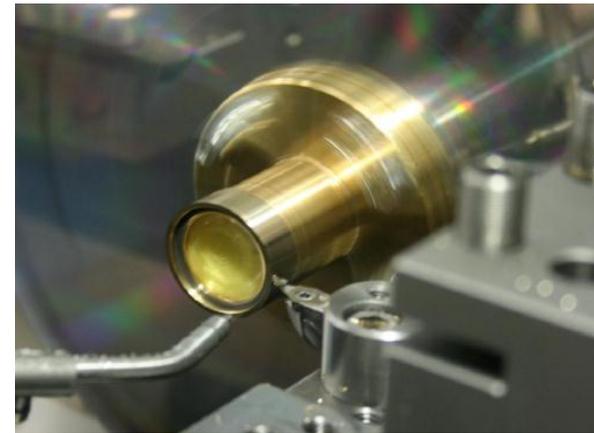
Justierdrehen mit Justierfutter

- Bearbeitung auf Vertikaldrehmaschine mit Justierfutter
- Parallele Bewegung des Drehwerkzeugs zur Hauptspindel



Schiefdrehen

- Bearbeitung auf UP-Drehmaschine durch FTS-Drehen
- Exakte Ausrichtung der Metrologie zum Maschinenkoordinatensystem



[3]

FTS...Fast Tool Servo

Referenzflächenbearbeitung an gefassten Rundoptiken (2)

Justierdrehen mit Justierfutter

- Aufnahme der Linse über ein Justierfutter auf einer Vertikaldrehmaschine
- Lagevermessung der Krümmungsmittelpunkte relativ zur Spindeldrehachse
- Ausrichtung der optischen Achse durch Stoßjustierung
- Drehbearbeitung der Fügeflächen der optomechanischen Subbaugruppe



Justierfutter

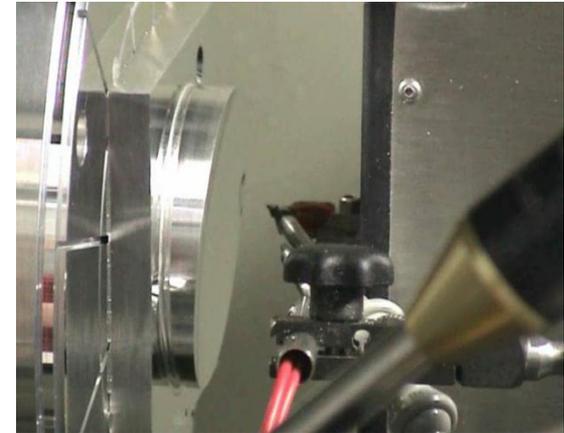


Schlagaktor zur Justierung

Referenzflächenbearbeitung an gefassten Rundoptiken (3)

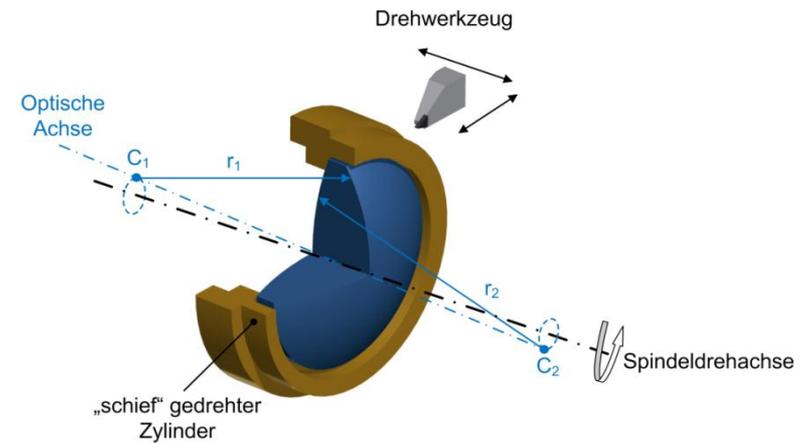
Schiefdrehen

- Aufnahme der Linse auf Ultrapräzisionsdrehmaschine
- Erfassung der absoluten Lage im Maschinenkoordinatensystem (MKS)
- Bearbeitung der Fassung „schief“ zum MKS, aber konzentrisch zur optischen Linsenachse
- Oszillierende Bewegung des Drehwerkzeug (Fast Tool Servo)
- Kein Justierfutter notwendig



[4]

Prinzip des FTS-Drehens

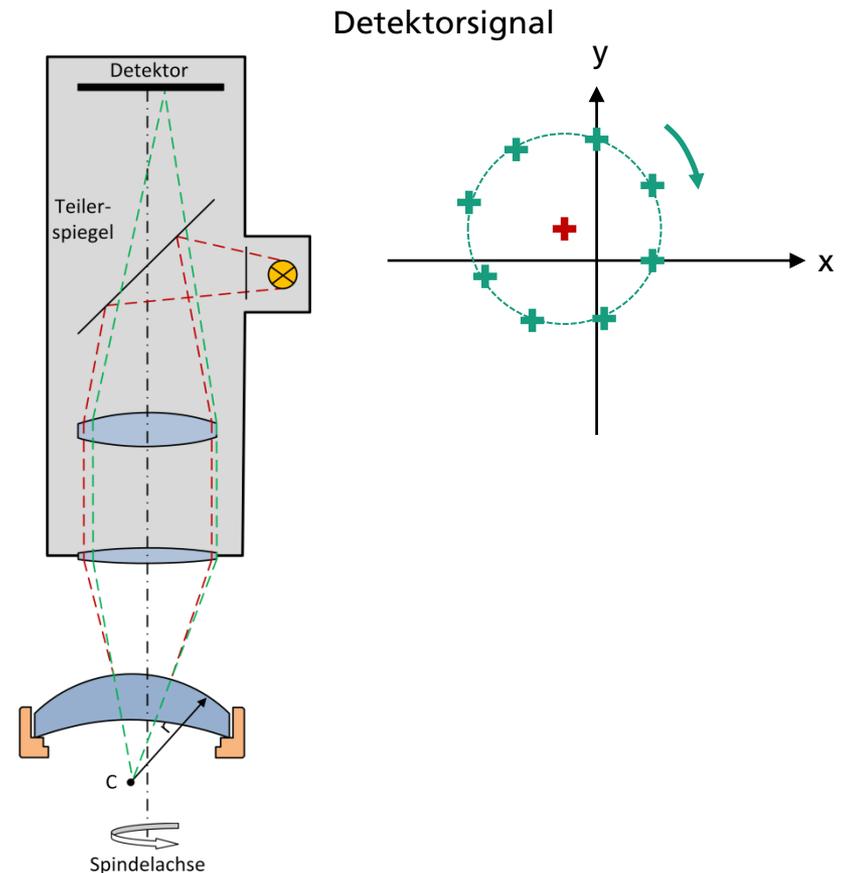


Inhalt

- Einleitung und Motivation – Montage von Hochleistungsobjektiven
- Referenzflächenbearbeitung an gefassten Rundoptiken
 - Justierdrehen
 - Schiefdrehen
- Justierdrehen für Sphären
- Justierdrehen für Asphären
- Entwicklungspotential und Ausblick

Justierdrehen für Sphären – Zentriermessung

- Zentrierprüfung durch Autokollimator im Reflexbildverfahren
 - Projektion einer Testmarke auf die zu zentrierende Linse
 - Reflektion an der optischen Fläche
 - Beobachtung des Markenbildes bei verschiedenen Spindelstellungen
→ Schlagkreis
 - Berücksichtigung der optischen Abbildung bei der Vermessung rückgelagerter Flächen
- Optische Linsenachse ist durch die Lage der Krümmungsmittelpunkte beider Sphärenflächen eindeutig beschrieben



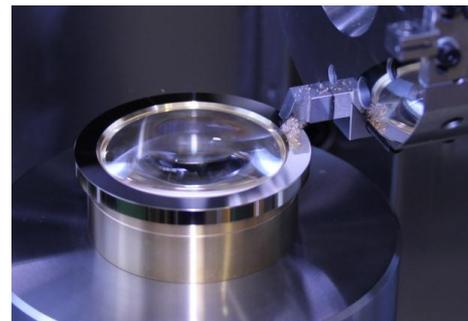
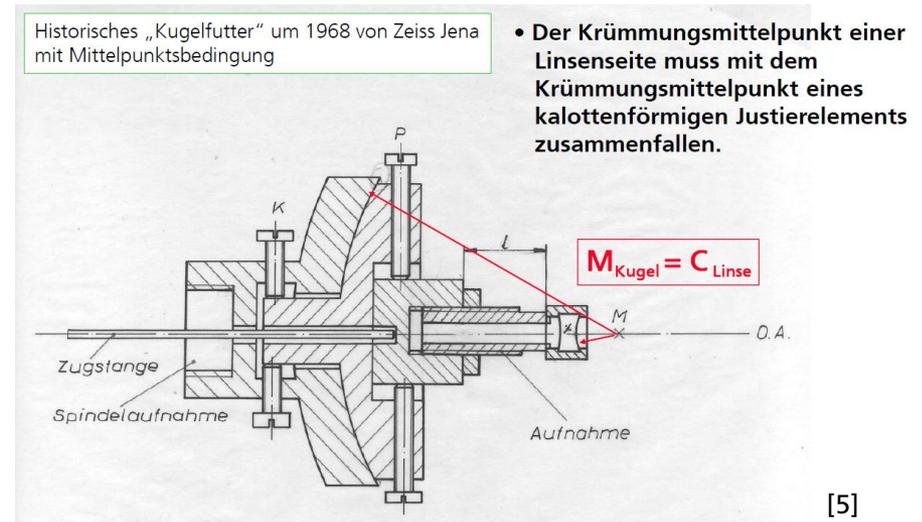
Justierdrehen für Sphären – Justierung und Fertigung

Justierung

- Justierung mit Plankalottenfutter oder Doppelkalottenfutter
- Mittelpunktsbedingung für effektive und systematische Justierung
- Justierzeit ~ 0,5 ... 2 min

Fertigung

- Erreichbare Fertigungstoleranzen
 - Zentrierung < 10" ($\approx 0,0028^\circ$)
 - Durchmesser < 2 μm
 - Scheitelhöhen < 2 μm
 - Ebenheit Planflächen < 1 μm
 - Zylindrizität < 1 μm



Justierdrehen



Justiergedrehte sphärische Linse

Justierdrehen für Sphären – Video



Inhalt

- Einleitung und Motivation – Montage von Hochleistungsobjektiven
- Referenzflächenbearbeitung an gefassten Rundoptiken
 - Justierdrehen
 - Schiefdrehen
- Justierdrehen für Sphären
- Justierdrehen für Asphären
- Entwicklungspotential und Ausblick



Justierdrehen für Asphären

Warum Asphären?

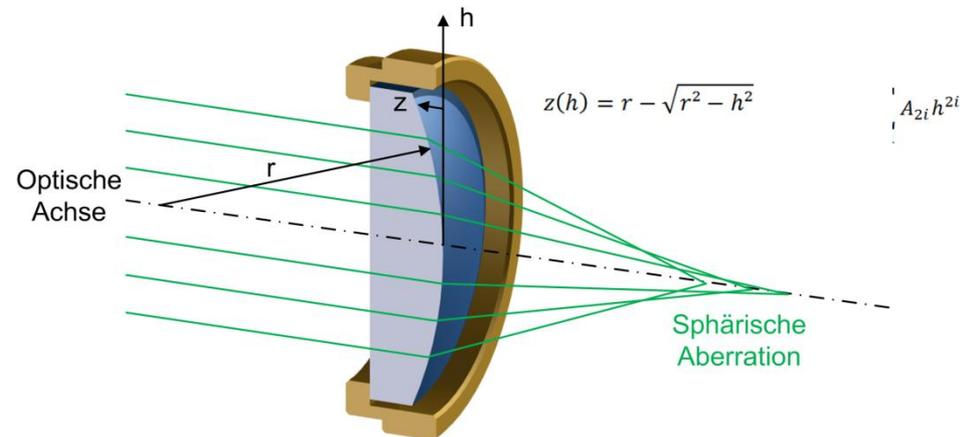
- Miniaturisierung des optischen Systems
- Gewichtsersparnis
- Verbesserte Abbildungseigenschaften

Herausforderungen

- Asphärische Fläche definiert eigene Rotationsachse
- Justierung unter Berücksichtigung der zulässigen Zentrierfehler beider Linsenflächen
- Lageerfassung durch konventionelles Reflexbildgerät für Asphären nicht ausreichend
- Zusätzliche Sensorik zur Erfassung der Verkipfung der asphärischen Fläche



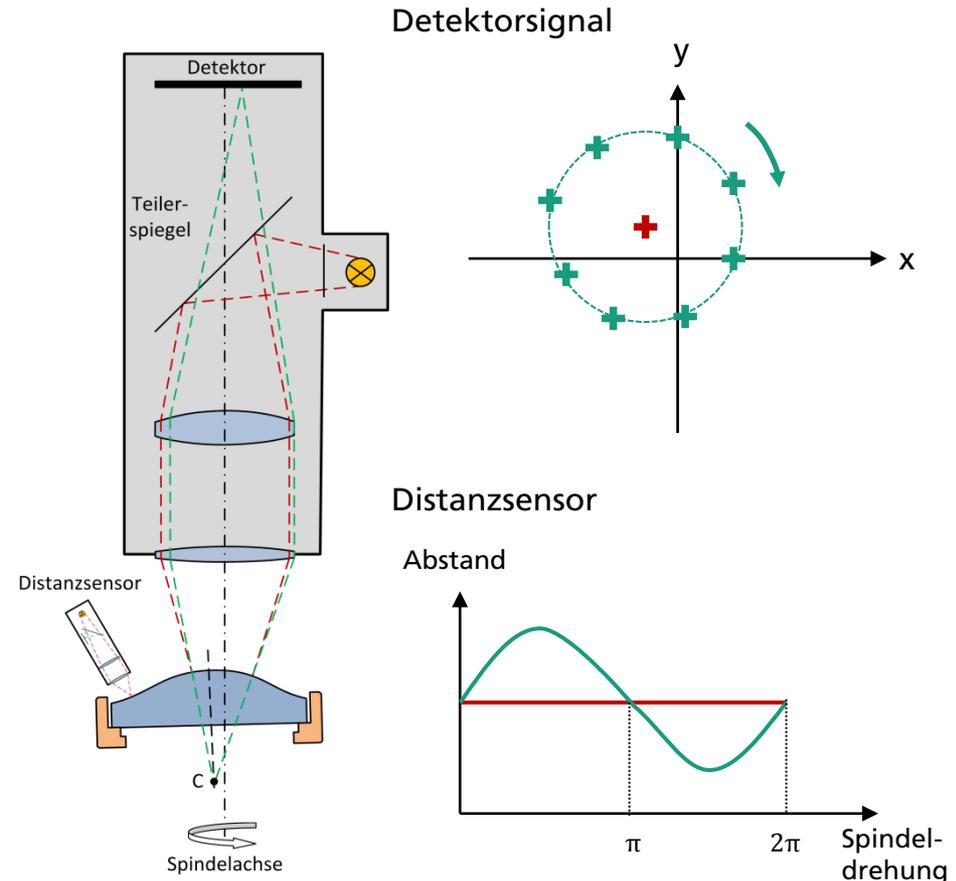
Vergleich eines sphärischen und asphärischen Fotoobjektivs von Schneider Kreuznach ©



Justierdrehen für Asphären – Zentriermessung

Zentriermessung [6]

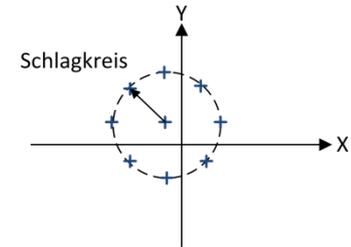
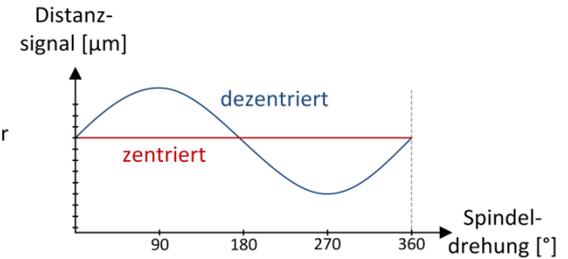
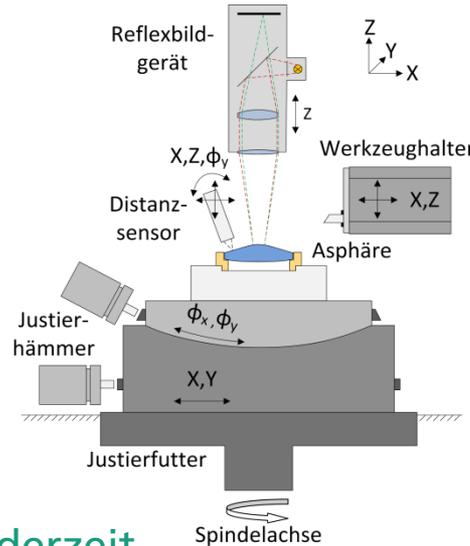
- Reflexbildgerät (RBG) mit zusätzlichen, hochgenauen Distanzsensor
- RBG detektiert Schlagkreis des paraxialen Krümmungsmittelpunktes
- Distanzsensor misst periodisches Signal individuell in Abhängigkeit von
 - Asphärengometrie
 - Messposition
 - Linsendenzentrierung
- Separierung der Anteile von Linsenverschiebung und –verkippung durch Berechnungsmodell



Justierdrehen für Asphären – Justierung und Fertigung

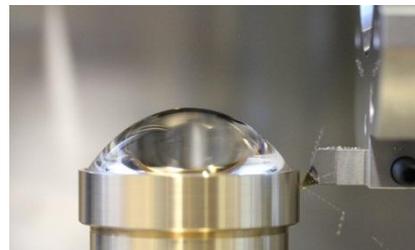
Justierung

- Justierung mit Plankalottenfutter
- Justierproblem ist überbestimmt
 - Ausrichtung nach den Vorgaben des Optikdesigns
- Justierzeit ~ 1 ... 3 min



Fertigung

- Erreichbare Fertigungstoleranzen **derzeit**
 - Zentrierung <math>< 30''</math> ($\approx 0,0083^\circ$)
 - Durchmesser <math>< 2 \mu\text{m}</math>
 - Scheitelhöhen <math>< 2 \mu\text{m}</math>
 - Ebenheit Planflächen <math>< 1 \mu\text{m}</math>
 - Zylindrizität <math>< 1 \mu\text{m}</math>



Diamantbearbeitung der Fassung einer zentrierten Asphäre

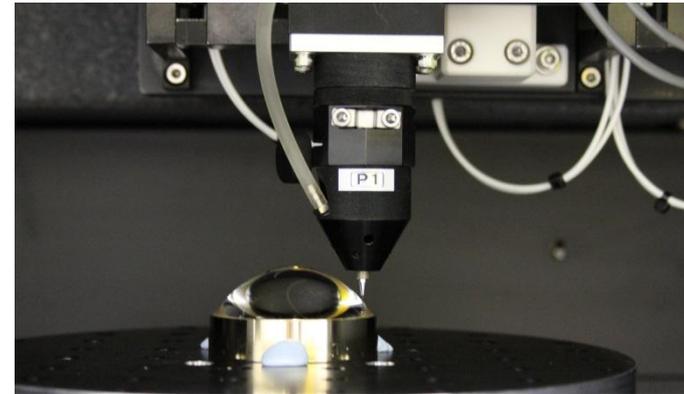


Justiergedrehte Asphäre

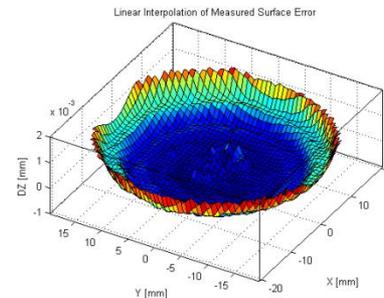
Justierdrehen für Asphären – Entwicklungspotential

Herausforderungen

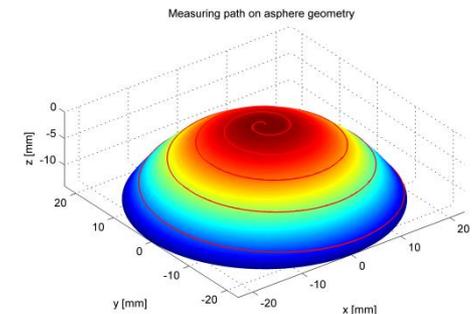
- Einfluss von Linsenformfehlern
 - Herstellung der endgültigen Asphärenform durch lokale Politurverfahren
 - Rotationssymmetrische und nichtrotationssymmetrische Fehler
 - Charakteristische Welligkeiten
 - Ansätze zur Zentriermessung
 - Mehrere radiale Positionen
 - Spiralförmige Messung
- Ziel: Geringerer Zentrierfehler und Messunsicherheit!



Messung des Formfehlers einer gefassten Asphäre mit Ultrapräzisions-3D-Profilometer UA3P (Panasonic)



Taktill bestimmter Formfehler



Spiralförmige Zentriermessung

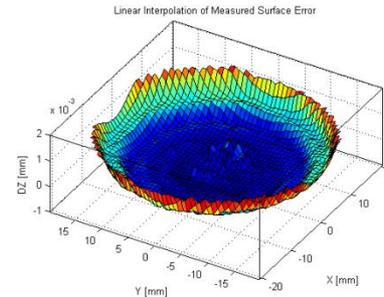
Inhalt

- Einleitung und Motivation – Montage von Hochleistungsobjektiven
- Referenzflächenbearbeitung an gefassten Rundoptiken
 - Justierdrehen
 - Schiefdrehen
- Justierdrehen für Sphären
- Justierdrehen für Asphären
- Entwicklungspotential und Ausblick



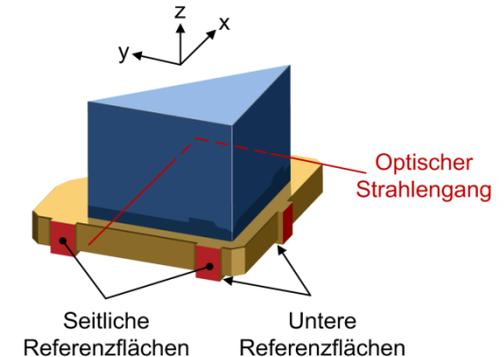
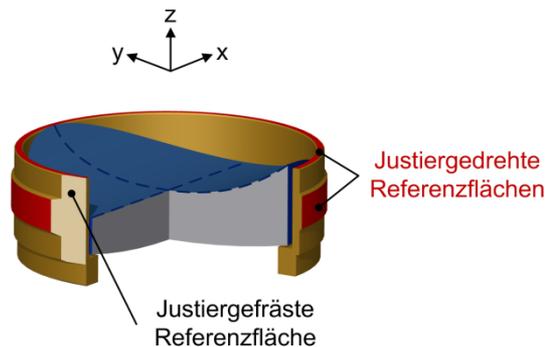
Entwicklungspotential und Ausblick

- Justierdrehen von Asphären
 - Einfluss von Linsenformfehlern
 - Alternative Messtechniken
 - Alternative Justieralgorithmen



- Justierfräsen für nichtrotations-symmetrische Optiken

- Zylinderlinsen
- Prismen
- Off-Axis Optiken
- Freiformen



Acknowledgements

Justierdrehen von Asphären:

HOBAS - Effiziente und hochgenaue Fertigung von **Hochleistungsobjektiven** bestehend aus **asphärischen** Linsen. Förderkennzeichen VF 2011 0003



Justierfräsen:

„Montagegerechte Fertigungstechnologie für gefasste Optik - Justierfräsen“

Gefördert durch AiF, IGF-Vorhaben Nr. 16909BR/1



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

