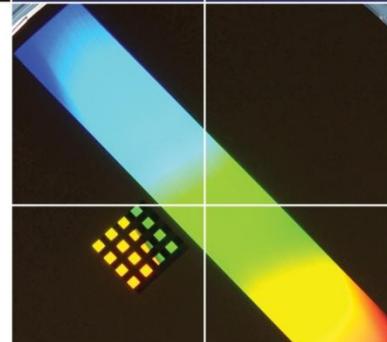
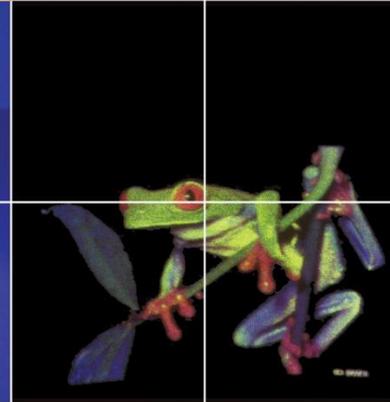
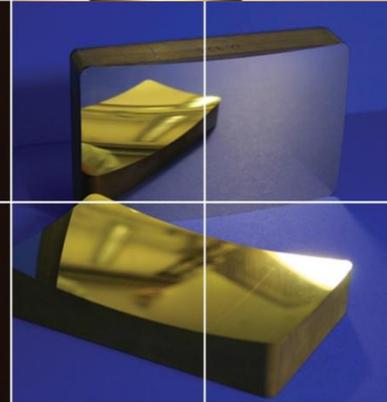
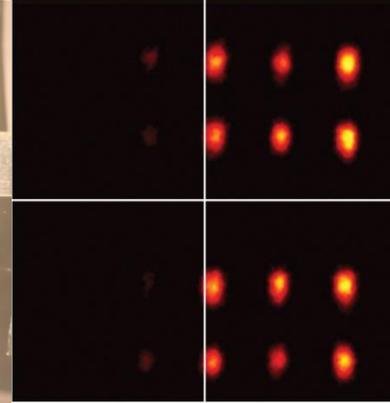
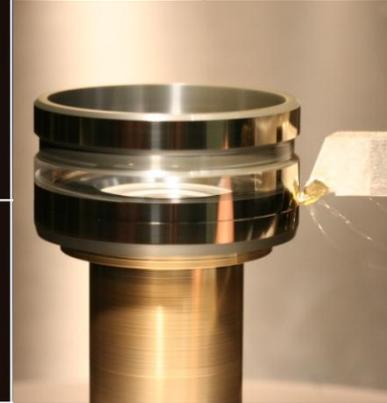
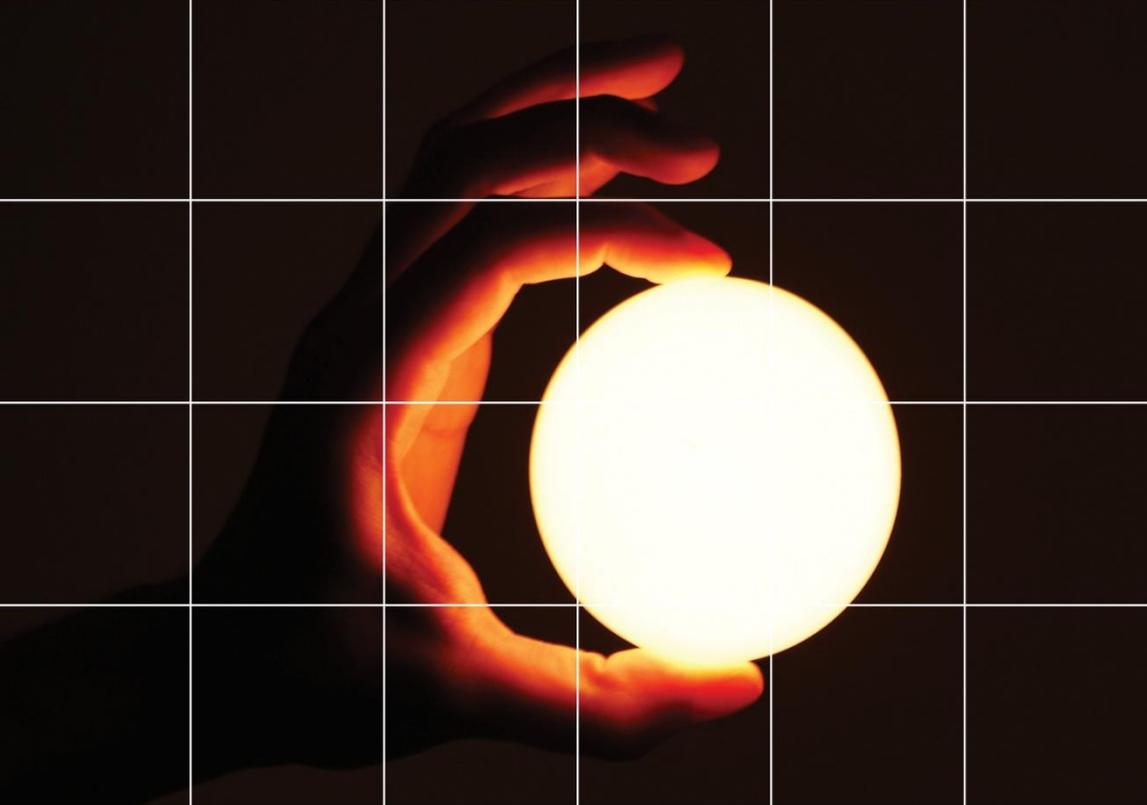
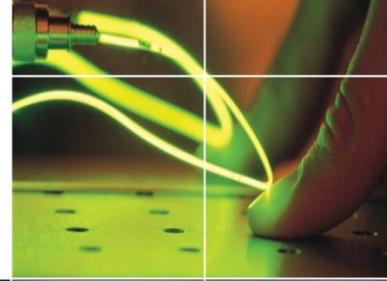


Tailored Light - Licht nach Maß

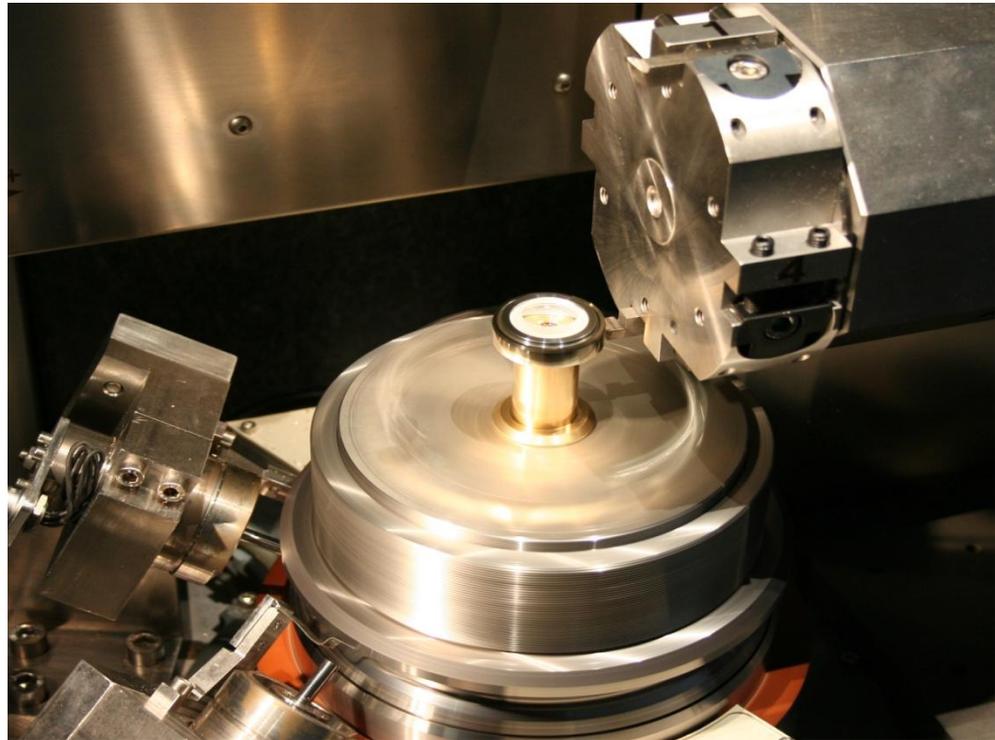
Fraunhofer IOF



Feinwerktechnik für Hochleistungsobjektive

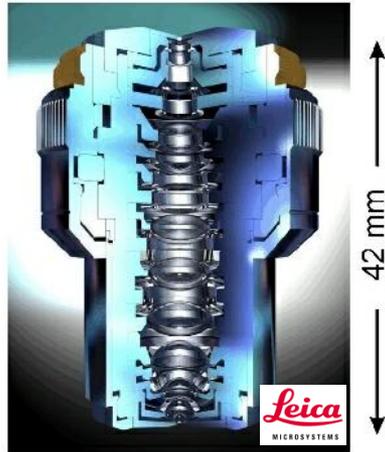
Dipl.-Ing. Andreas Gebhardt

4. Tagung „Feinwerktechnische Konstruktion“



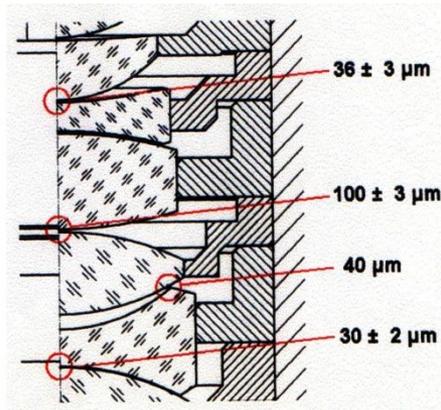
- **Justierdrehen – Feinwerktechnik für Hochleistungsobjektive**
 - Vorteile und Herausforderungen
 - Montagetechnologie
- **Verfahrensvarianten**
 - Sequenzielle Justierung beider Krümmungsmittelpunkte
 - Justierung der optischen Achse
 - Schiefdrehen
- **Realisierung einer Justierdrehmaschine**
 - Maschinenkonzept
 - Ergebnisse
- **Zukünftiges Entwicklungspotential**

Motivation



150x/0.9 DUV AT Objektiv, © Leica

- Linsenfertigung mit sehr kleinen Formfehlern ($< \lambda/20$) und geringer Oberflächenrauigkeit ($< 1 \text{ nm RMS}$)
- Bildqualität wird begrenzt durch Fertigungsgenauigkeit der Subbaugruppe



Anforderungen an Fertigungstoleranzen einer Subbaugruppe für High-End / Präzisions-Optiken

- Dezentrierung $< 1 \mu\text{m} / 2 \mu\text{m}$
- Fassungsdurchmesser $< 1 \mu\text{m} / 2 \mu\text{m}$
- Planschlag $< 1 \mu\text{m} / 1 \mu\text{m}$
- Scheitelhöhe $< 1 \mu\text{m} / 2 \mu\text{m}$

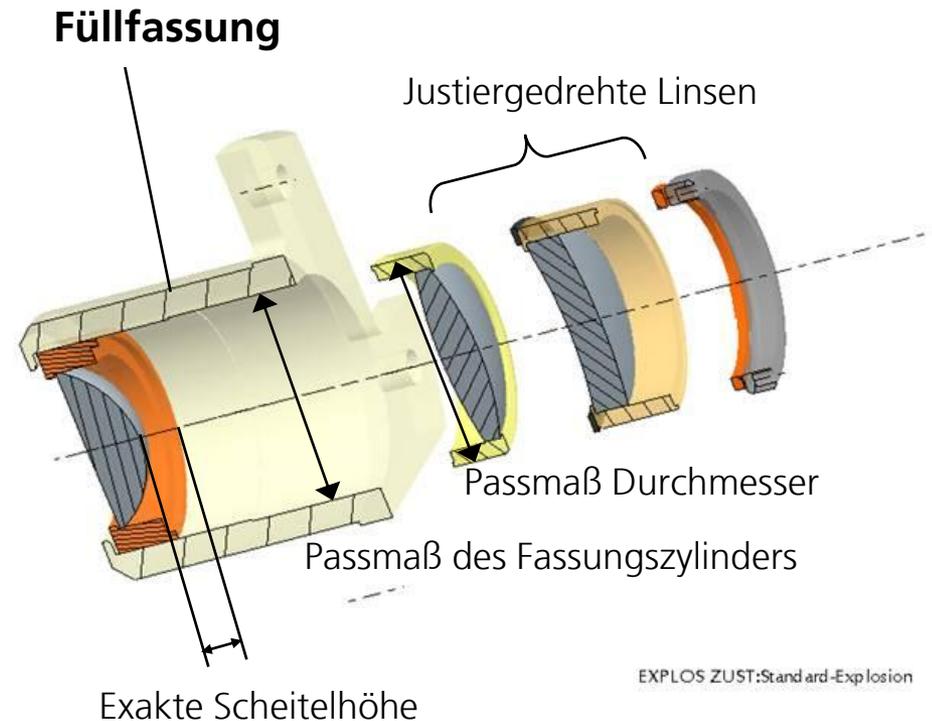
Idee des Justierdrehens

ZIEL:

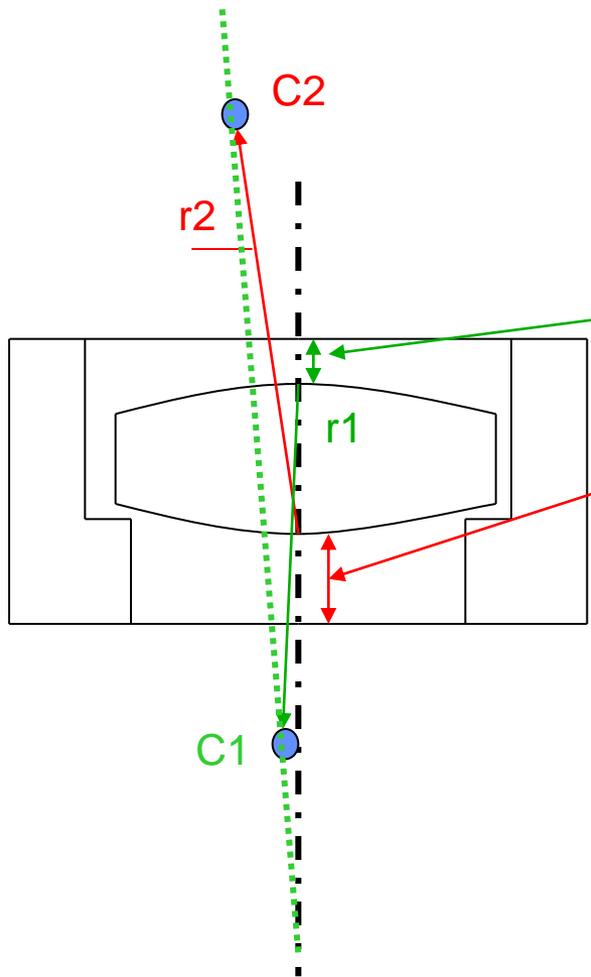
- spannungsarme Linsenmontage
- Koinzidenz der optischen zur mechanischen Achse der Linsenfassung
- Luftabstandstoleranzen 1 ... 10 μm
- Koinzidenz der einzelnen optischen Achsen der Linsen im Gesamtsystem

LÖSUNGSWEG:

- Linsen werden mit spezialisierter Klebertechnik in Einzelfassungen montiert.
- Die Linsenfassung wird referenziert zur optischen Achse auf ein Passmaß abgedreht.
- Die Fassungsplanflächen werden relativ zum Linsenscheitel präzise gefertigt.
- Die Einzellinsen werden in ein hochgenau hergestelltes Fassungsrohr gestapelt.



Dezentrierte Linse



„Linse“ (auch Kittgruppe) mit Fassung

$C1, C2$ – Krümmungsmittelpunkte der Linse

$r1, r2$ – Radien der Außenflächen der Linse

S_o – obere Scheitelhöhe der Fassungsbaugruppe

S_u – untere Scheitelhöhe der Fassungsbaugruppe

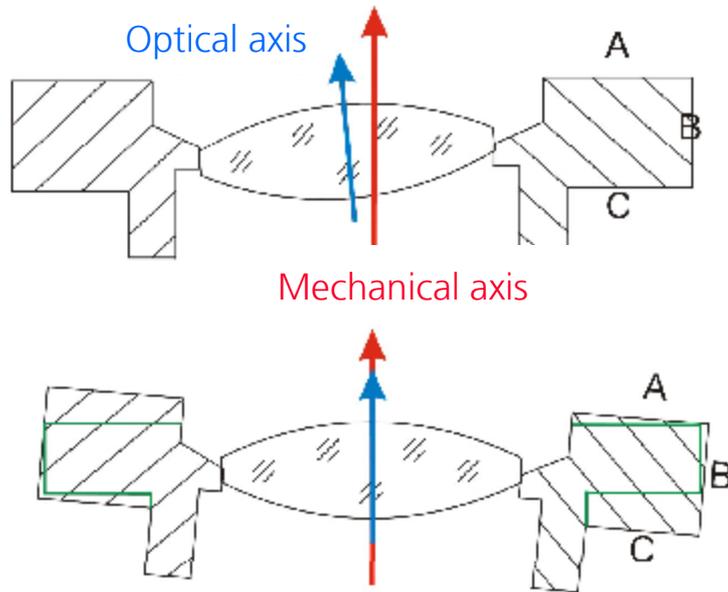
obere Fläche der Linse hat Radius $r1$ und $C1$

untere Fläche der Linse hat Radius $r2$ und $C2$

..... optische Achse

- . - . - . Formachse der Fassung

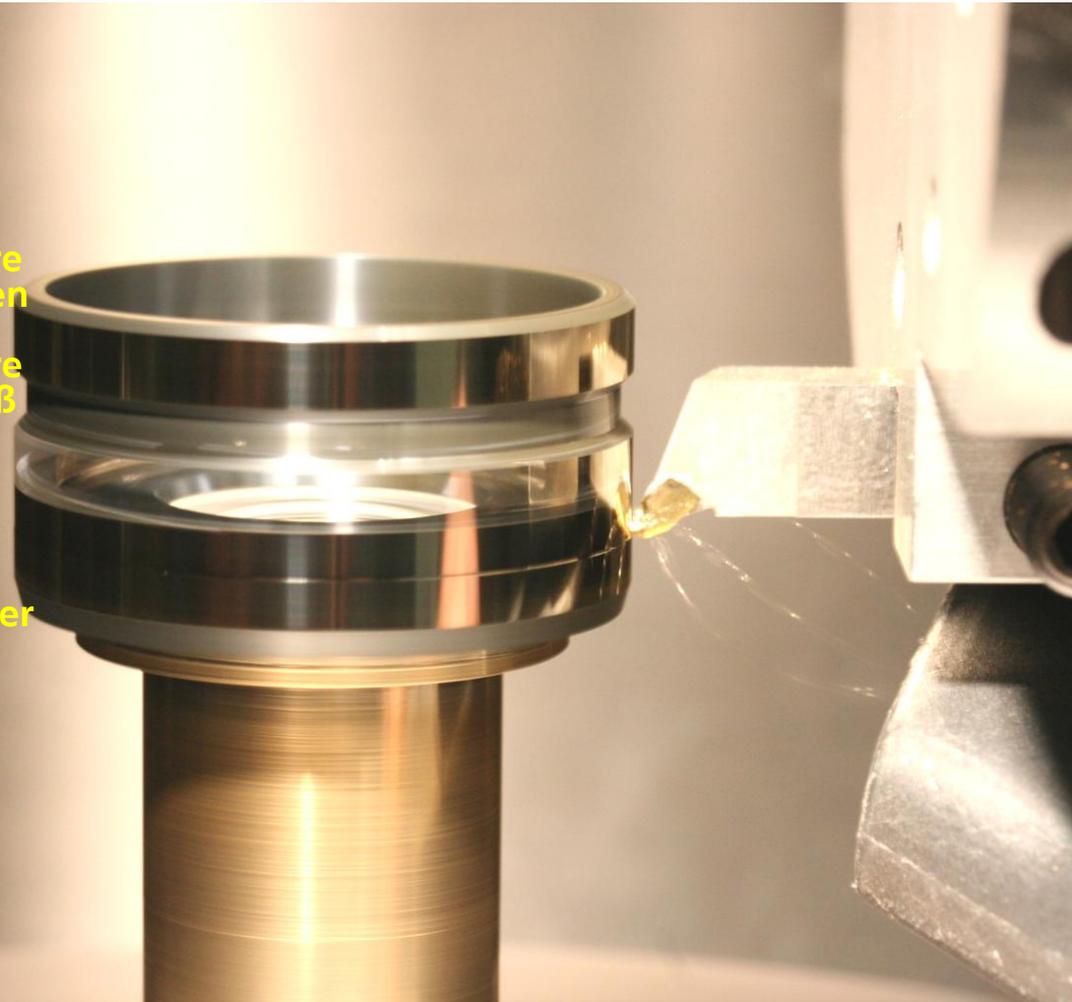
Zentriergedrehte Linsenfassung



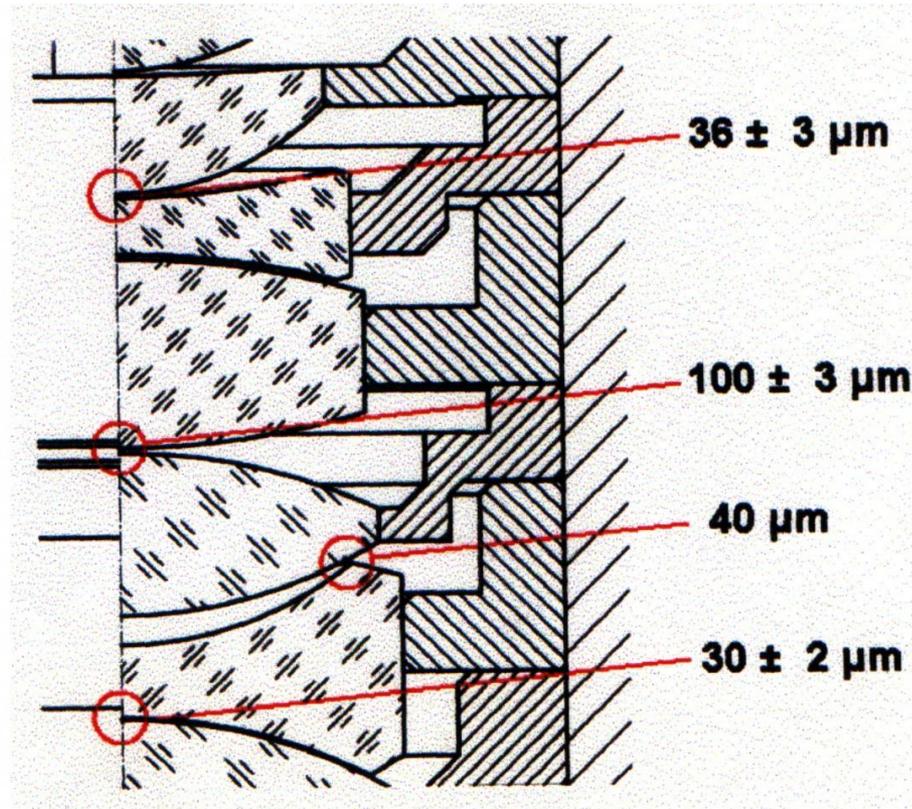
→ Optische Achse der Linse und mechanische Achse der Fassung fallen zusammen

Drehprozess, typisch

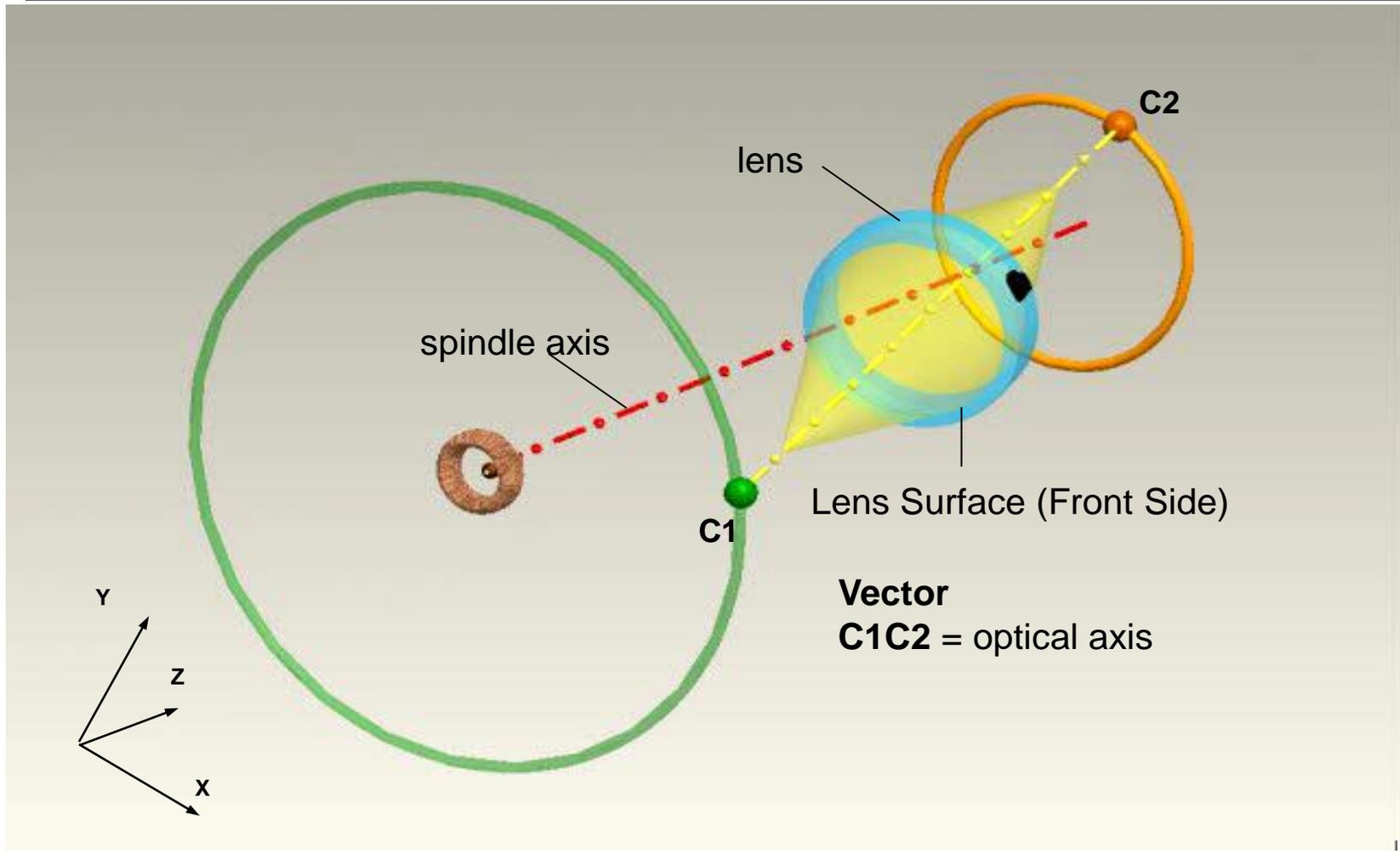
- Durchmesser und obere Planfläche mit Aufmaß überdrehen
- Durchmesser und obere Scheitelhöhe vermessen
- Durchmesser und obere Planfläche auf Passmaß abdrehen
- untere Planfläche abdrehen
- Fassung abnehmen oder abstechen
- untere Scheitelhöhe ausmessen



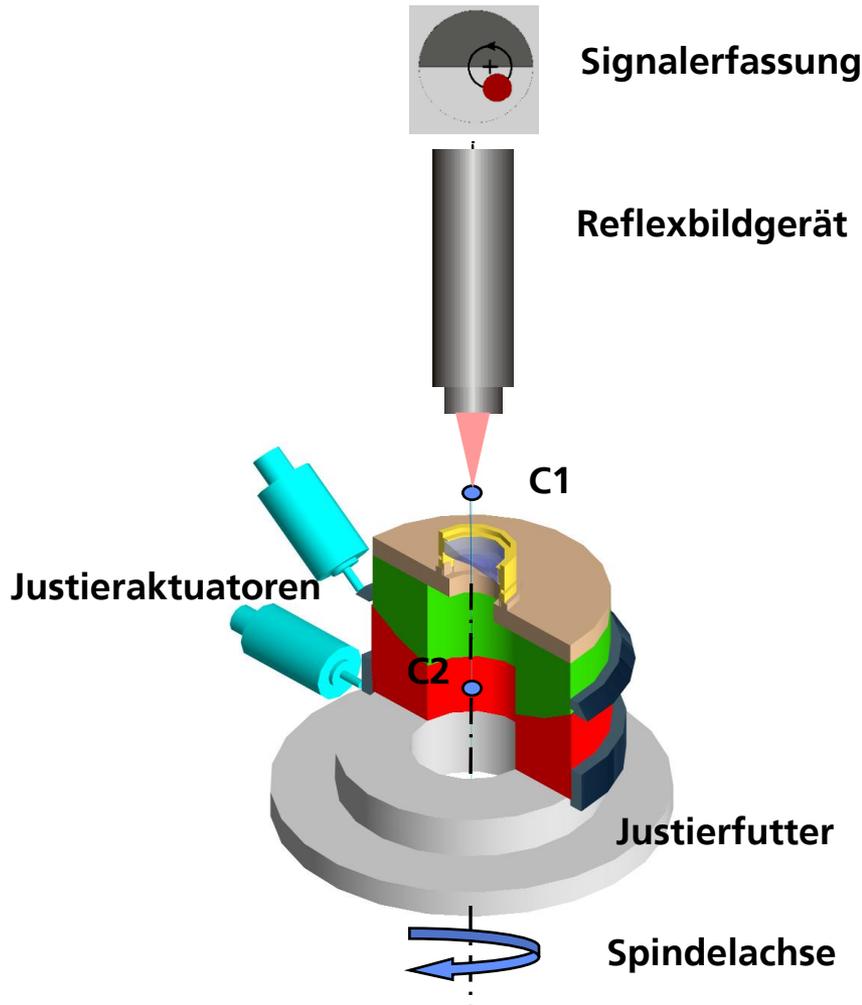
Luftabstände und Montageabfolge



Verfahrensvarianten



Sequenzielle Justierung der Krümmungsmittelpunkte I

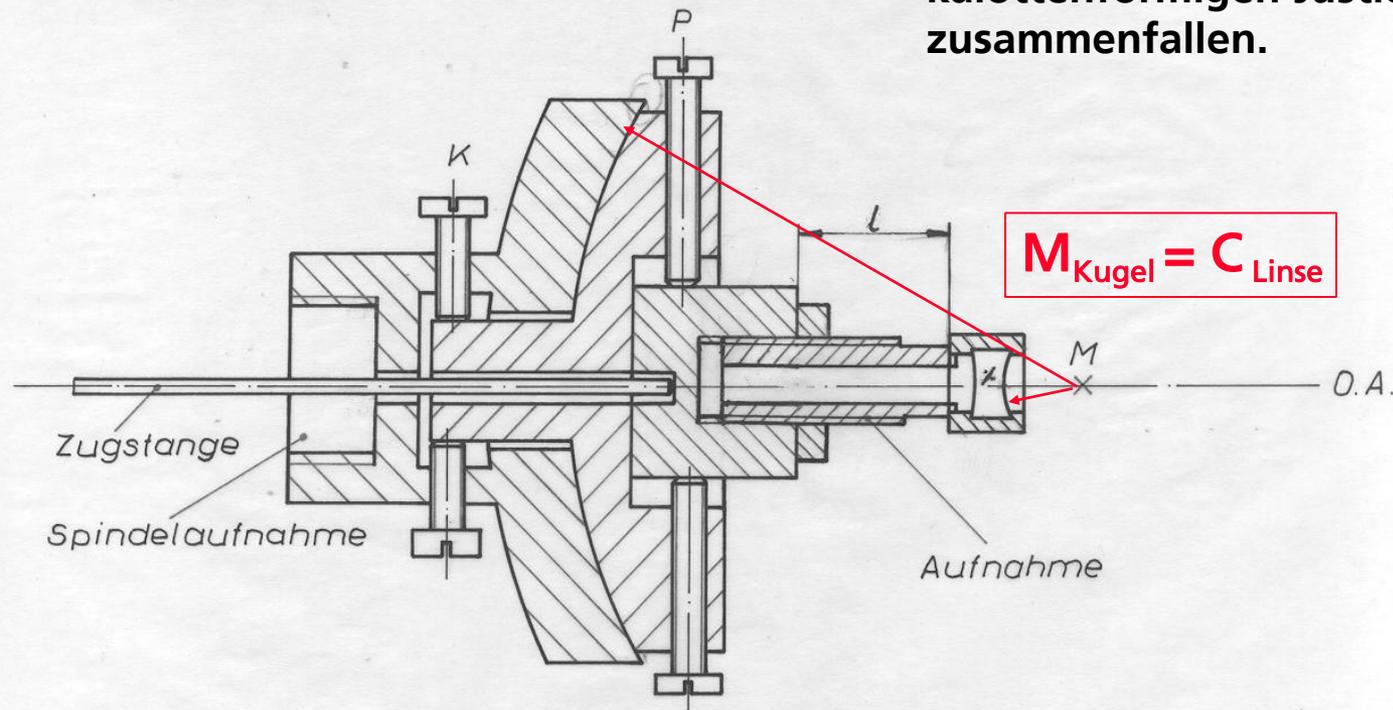


- Hochgenaue Spindel verkörpert die optische Achse
- Beobachtung einseitig durch Reflexbildgerät
- Unter Rotation werden die umlaufenden Reflexe C1 oder C2 erfasst und justiert
- Iterativer Prozess
- **Mittelpunktsbedingung** muss für eine systematische Justierung eingehalten sein

Mittelpunktsbedingung

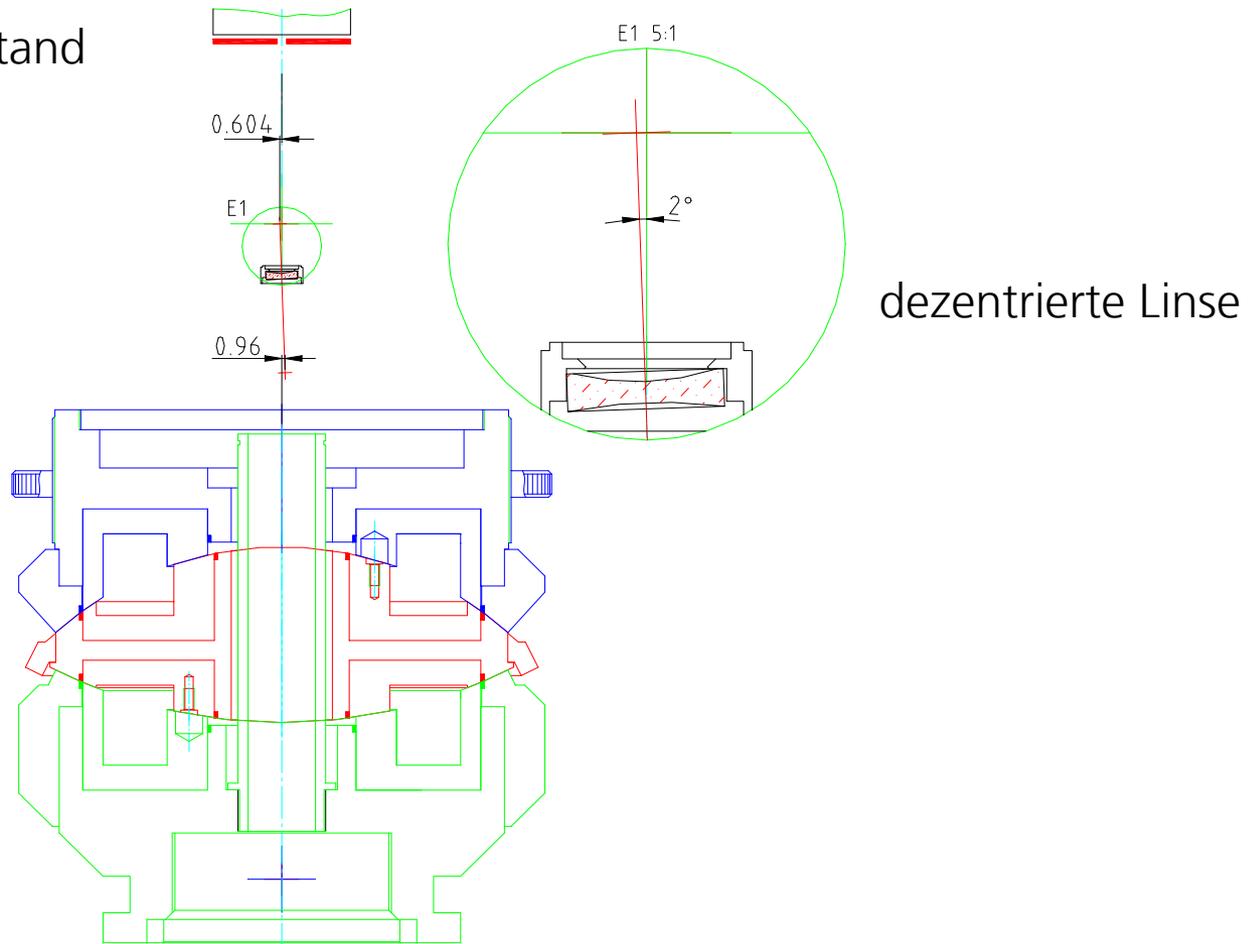
Historisches „Kugelfutter“ um 1968 von Zeiss Jena mit Mittelpunktsbedingung

- Der Krümmungsmittelpunkt einer Linsenseite muss mit dem Krümmungsmittelpunkt eines kalottenförmigen Justierelements zusammenfallen.



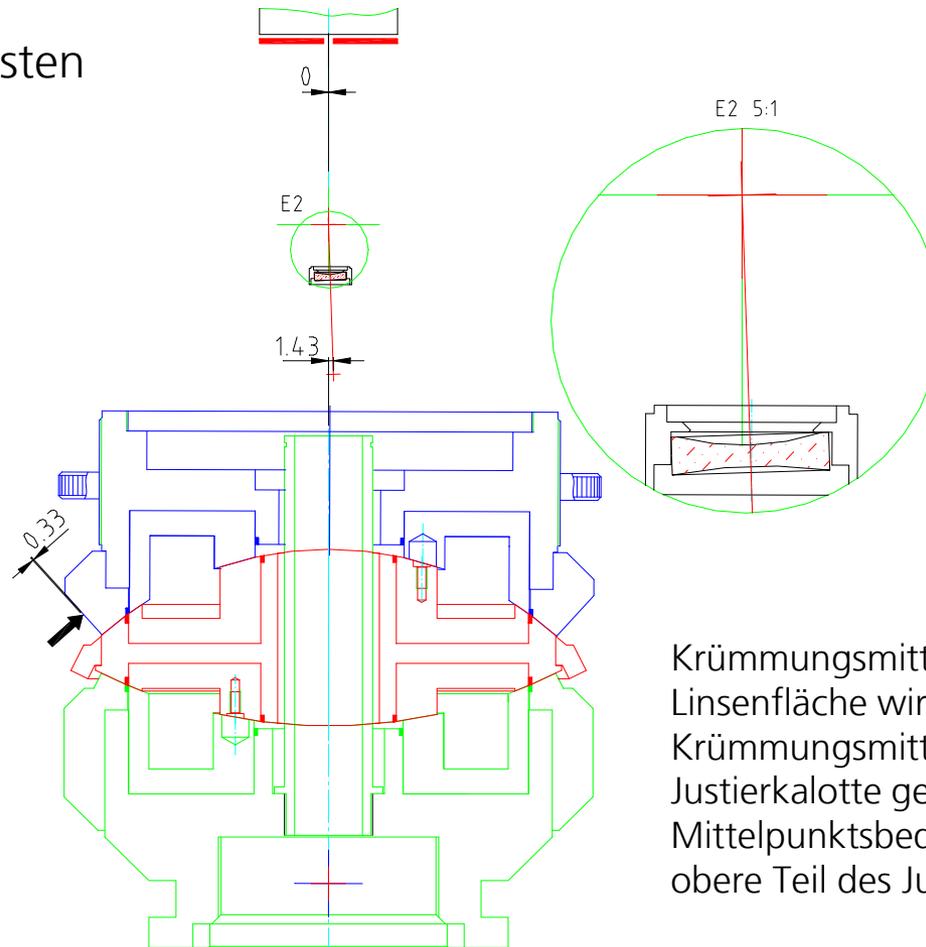
Prinzip zur Kompensation von Zentrierfehlern

1. Ausgangszustand



Prinzip zur Kompensation von Zentrierfehlern

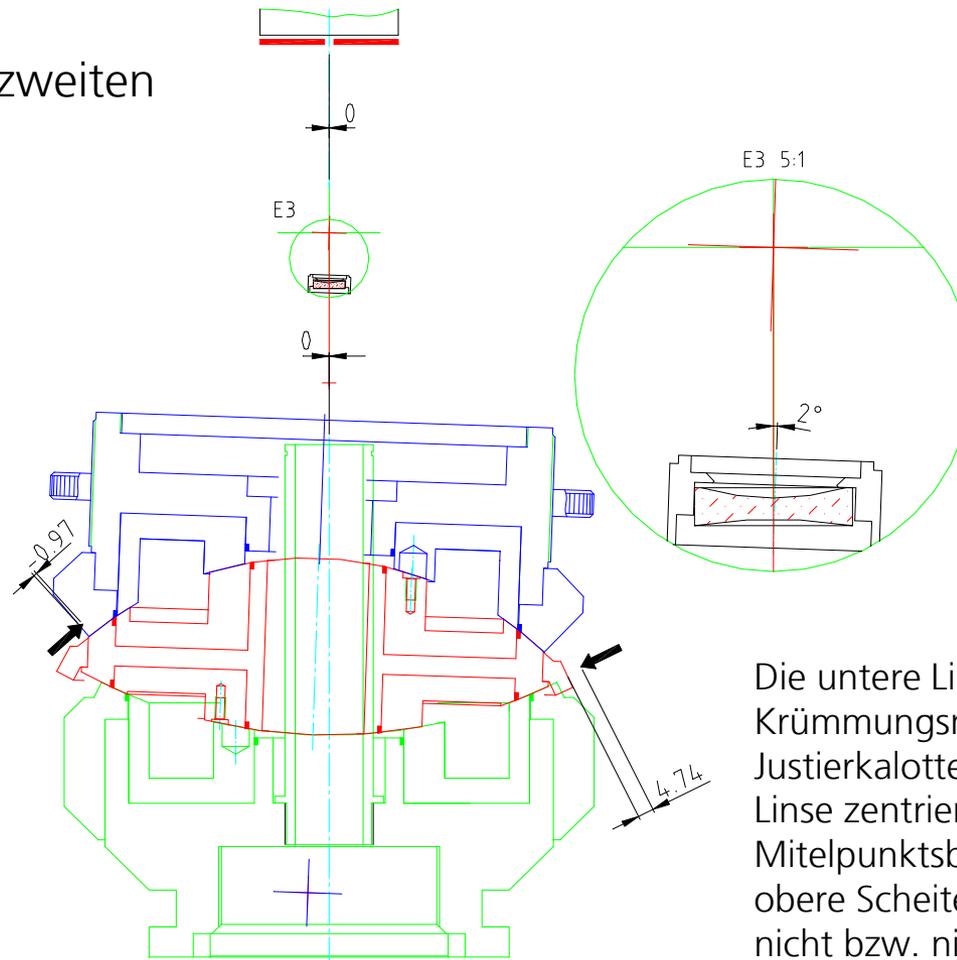
Justierung der ersten
Linsenfläche



Krümmungsmittelpunkt der oberen
Linsenfläche wird in den
Krümmungsmittelpunkt der unteren
Justierkalotte geschlagen. Damit wird die
Mittelpunktsbedingung hergestellt. Das
obere Teil des Justierfutters wird bewegt.

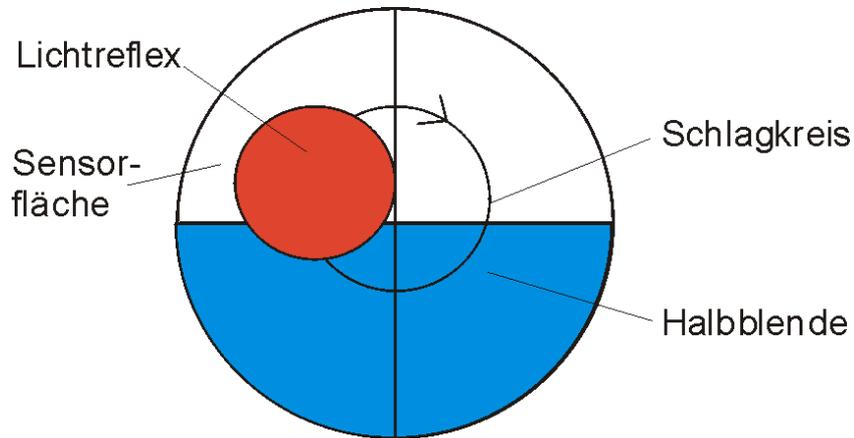
Prinzip zur Kompensation von Zentrierfehlern

Justierung der zweiten
Linsenfläche

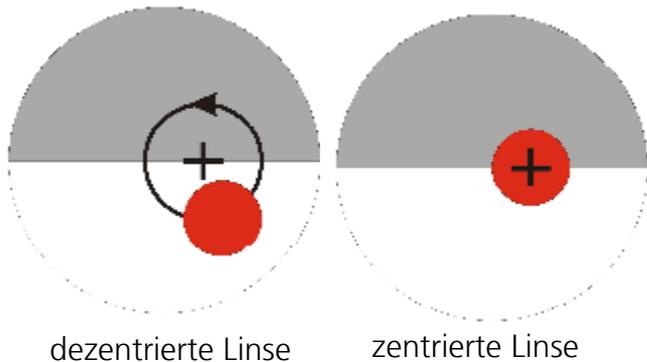


Die untere Linsenfläche wird um den Krümmungsmittelpunkt der unteren Justierkalotte geschlagen. Damit wird die Linse zentriert. Durch die Mittelpunktsbedingung verschiebt sich der obere Scheitelpunkt (obere Linsenfläche) nicht bzw. nicht wesentlich.

Messprinzip zur Erfassung des Schlagkreises

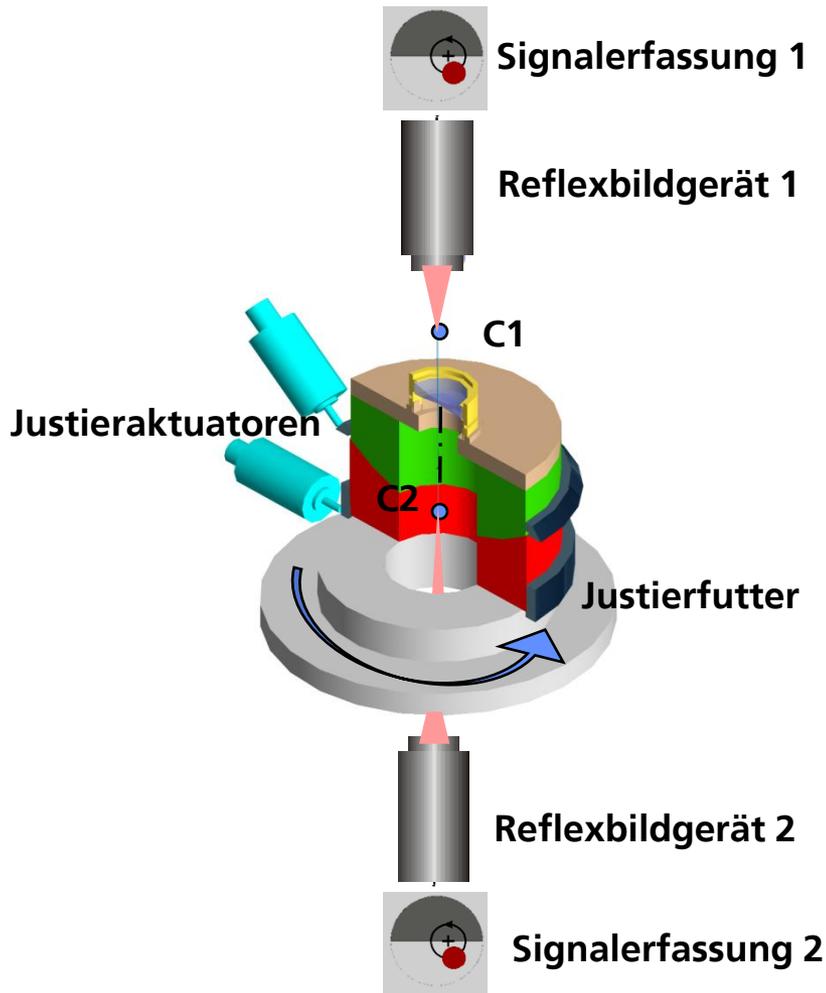


- Sensorprinzip: Photodiode mit Halbblende
- Erzeugung eines Sinus-Signals
- zur Spindeldrehung synchrone Erfassung mit 2-Phasen-Lock-In-Verstärker



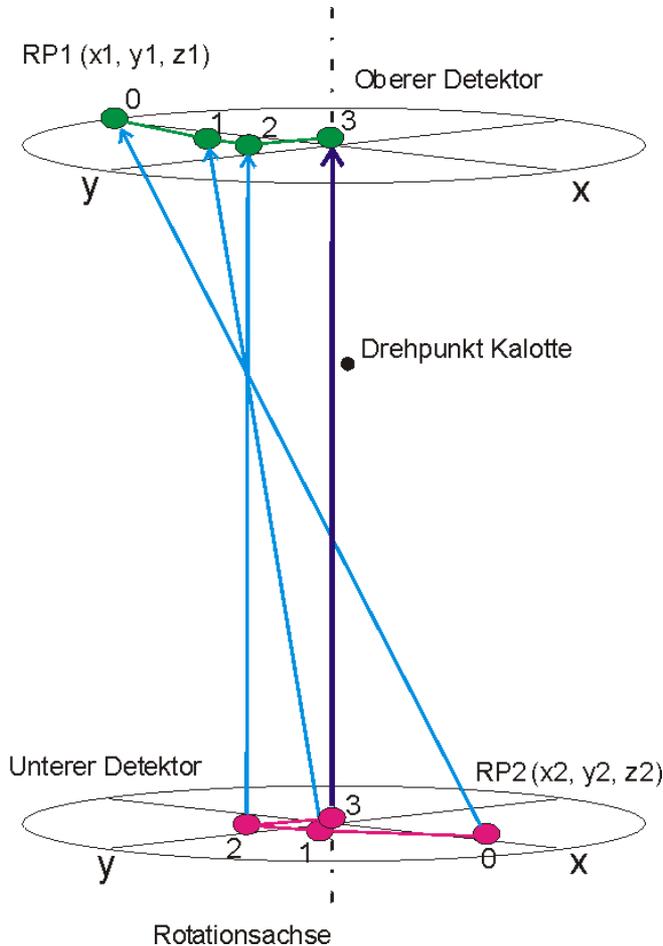
- dezentrierte Linse erzeugt umlaufendes Reflexbild
- zentrierte Linse erzeugt „stehendes“ (in sich selbst rotierendes) Reflexbild

Justierung der optischen Achse I



- Hochgenaue Spindel verkörpert die optische Achse
- Beobachtung beidseitig durch zwei Reflexbildgeräte
- Unter Rotation werden die umlaufenden Reflexe C1 und C2, respektive die Optische Achse erfasst und justiert
- Mittelpunktbedingung **nicht** notwendig!

Justierung der optischen Achse II



- Gleichzeitige Erfassung der oberen und unteren Reflexbildlage
 - Aufrichten der optischen Achse (0→1→2)
 - Schieben der optischen Achse (2→3)
- Gleichzeitige Justage der oberen und unteren Linsenfläche
- **Prinzip wurde praktisch umgesetzt innerhalb des Förderprojektes „FERMI“**


Fraunhofer
Institut
Angewandte Optik
und Feinmechanik

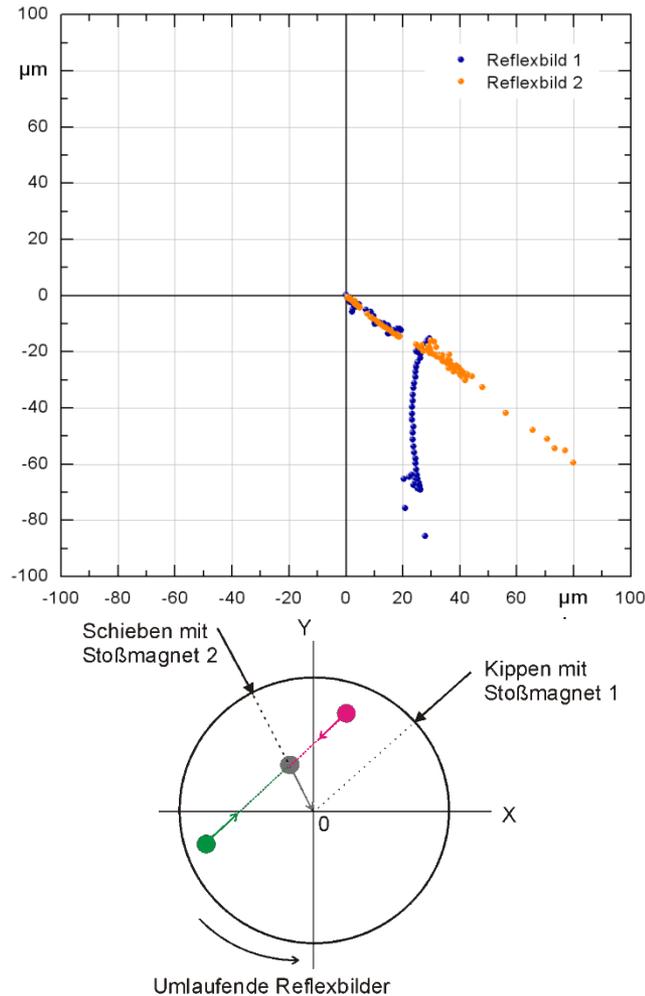

Laser.Optik.
— Systeme.


MICROSYSTEMS

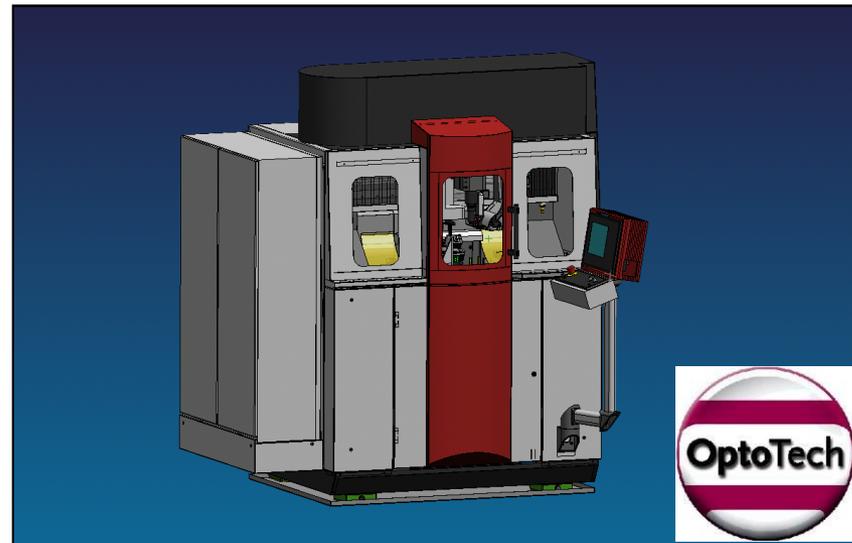




Justierung der optischen Achse III



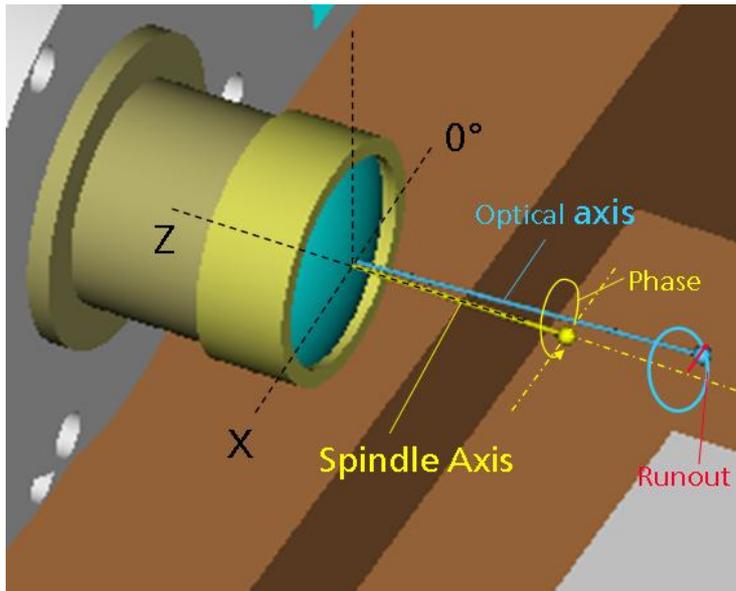
- Abbildung der beiden Reflexbilder in einem gemeinsamen Koordinatensystem
- Kippen der Achse: Minimierung Abstand der Reflexe
- Schieben: Minimierung Abstand zum Drehzentrum
- Variation der Messgenauigkeit und der Schrittweiten



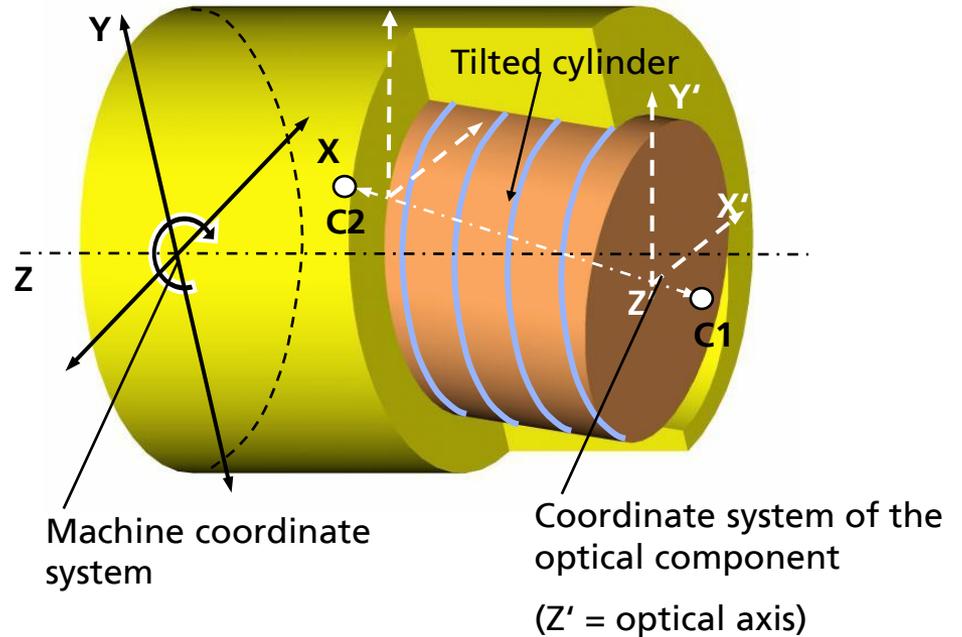
Justierdrehmaschine für High-End-Optiken (FERMI)

Schiefdrehen I, Prinzip

Decentered lens mounted on spindle



Required geometry of lens housing

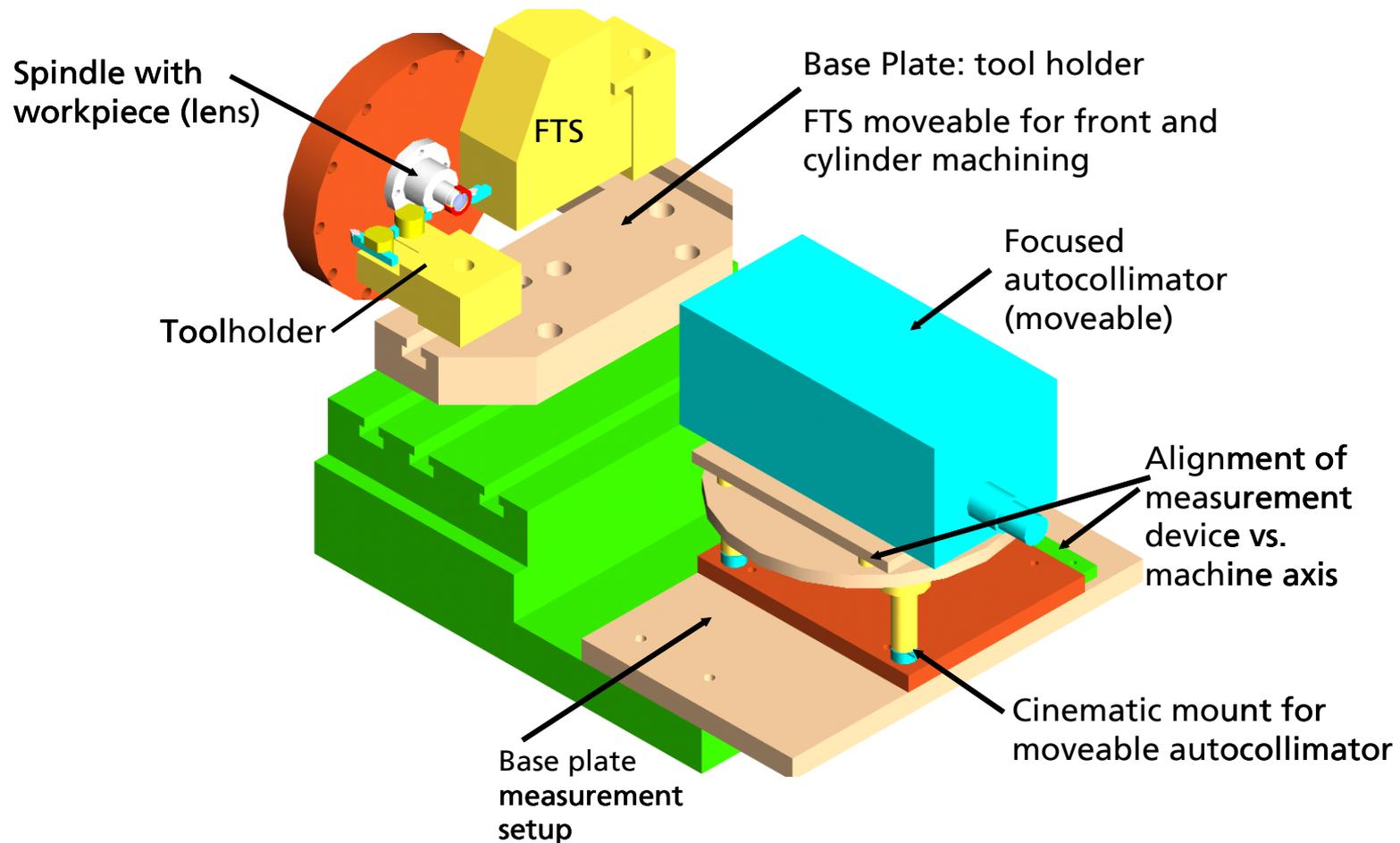


Measuring the centering error

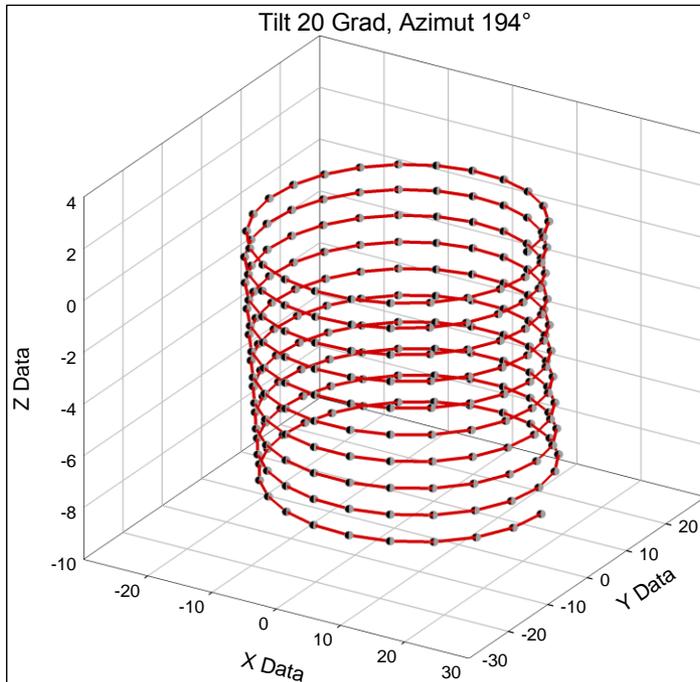
Calculation the optical axis

Generating the tool path

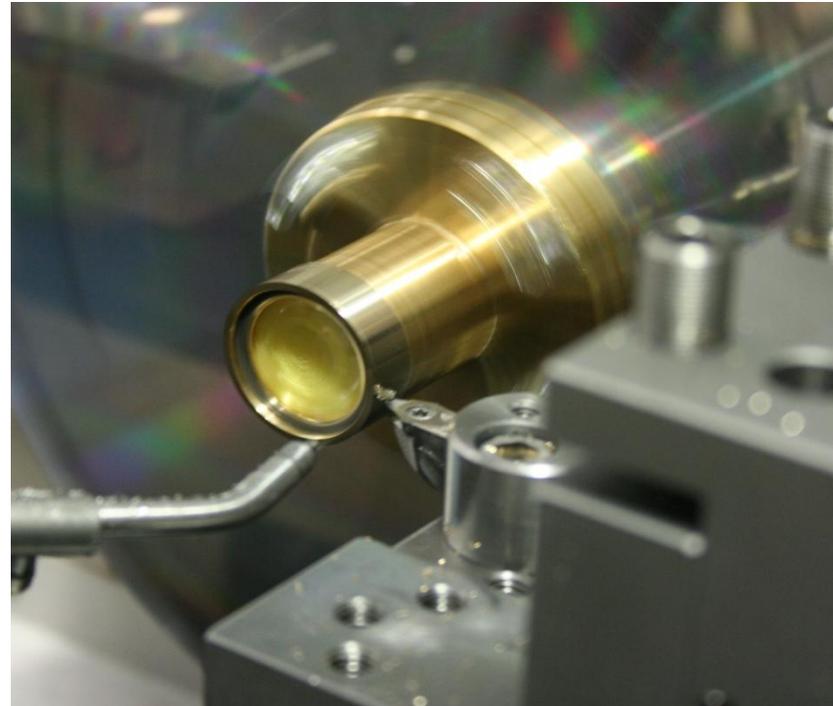
Schiefdrehen II, Maschinen Set-up



Schiefdrehen III, Experiments



Toolpath simulation

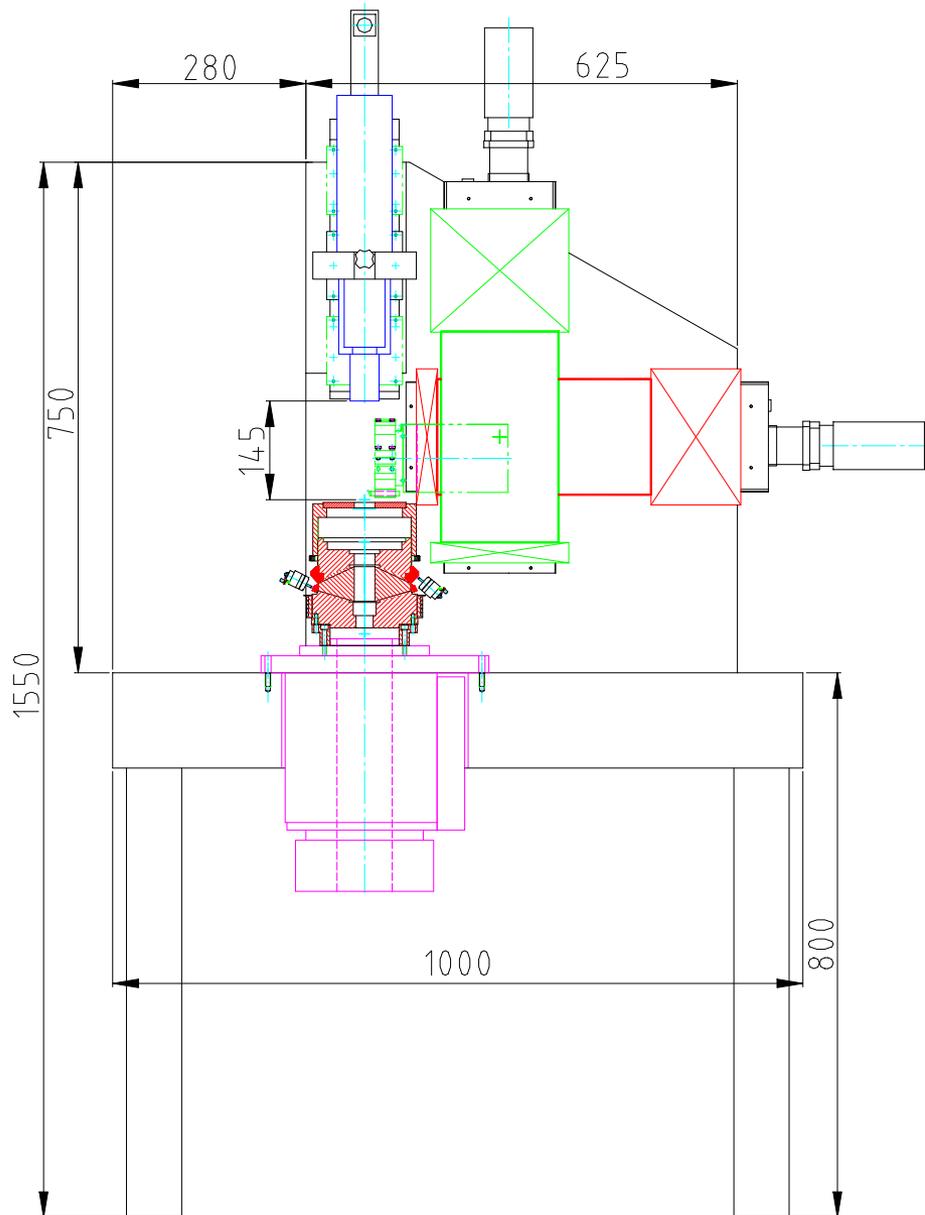


Machining the outer diameter of the lens housing

Realisierung einer Justierdrehmaschine



Überblick Justierdrehmaschine



Maschinenelemente

Maschinengestell incl. Natursteinplatte und Natursteinwand

Bewegungsachsen (X, Z1)

Bewegungsachse (Z2)

Drehwerkzeughalter incl. Schnellwechsler

CNC-Steuerung incl. Antriebs- und Leistungselektronik

Spindel, hydrostatisch

Hydroaggregat

Reflexbildgerät

Reflex-Sensorik

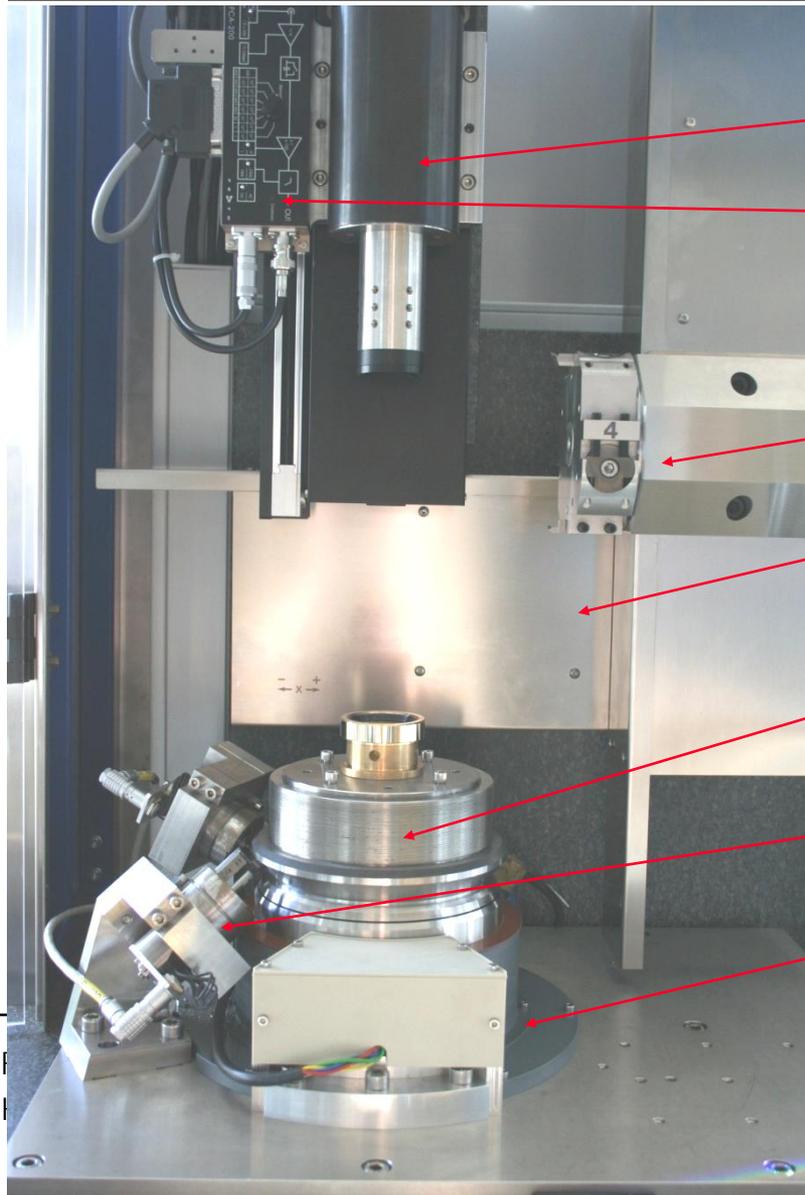
Justierfutter

Schlagwerk

Justierelektronik

PC, Justiersoftware

Komponenten Justierdrehmaschine



Reflexbildgerät,
Sensorelektronik

Werkzeugwechsler

Bearbeitungsachsen

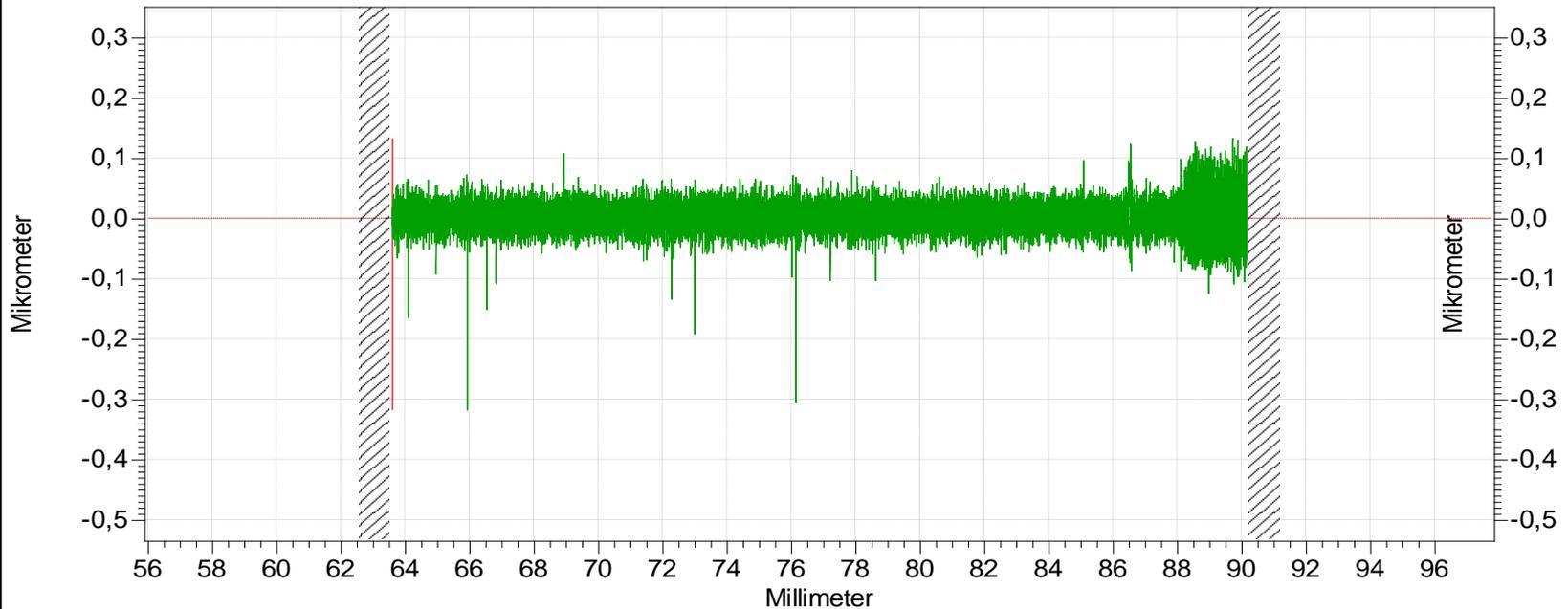
Justierfutter

Justierhämmer

hydrostatische Spindel

Hydrostatische Spindel – ultrapräzise und belastbar

Berechnetes Profi 080425_justier_2_stirn - 7 - R/332x0.08mm/G/10/LS-Gerade 25.04.08 13:44:18
 080425_justier_2_stirn - 58.1mm/Admin/FTS-S 3D 25.04.08 13:01:35



Ra	0,0224	µm	Neigung	0,012	°		
			Rq	0,0285	µm		
						Rz(DIN)	0,1040 µm
			Rt	0,4507	µm		

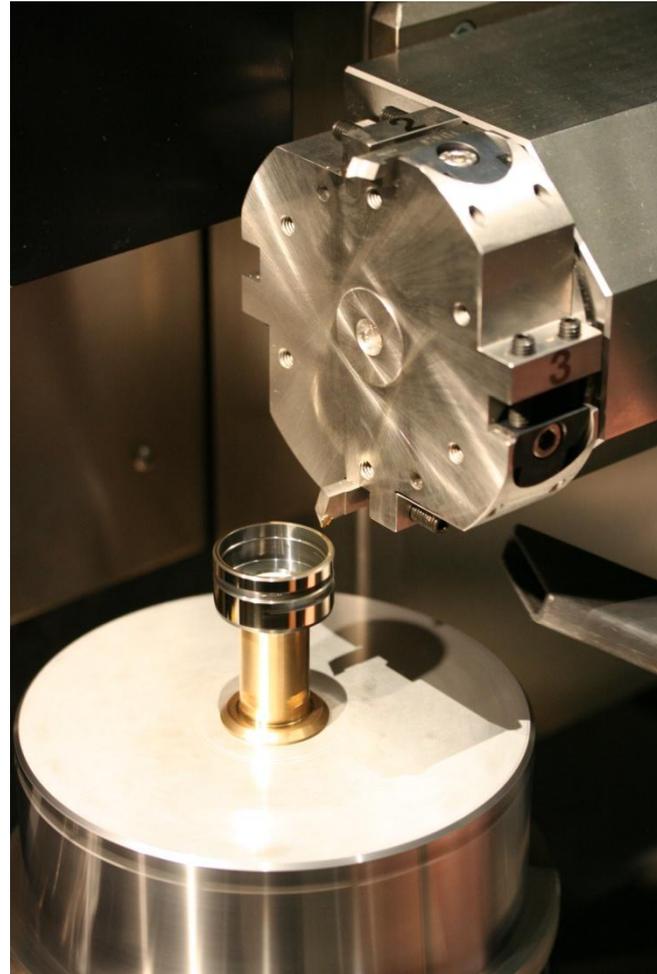
Werkzeugwechsler

Drehwerkzeughalter für:

- Plandrehen oben
- Außendurchmesser
- Plandrehen unten
- (Abstechen / Facettieren)
- Messmittel
- mit 4 Raststellungen
- spielfreie Drehlagerung

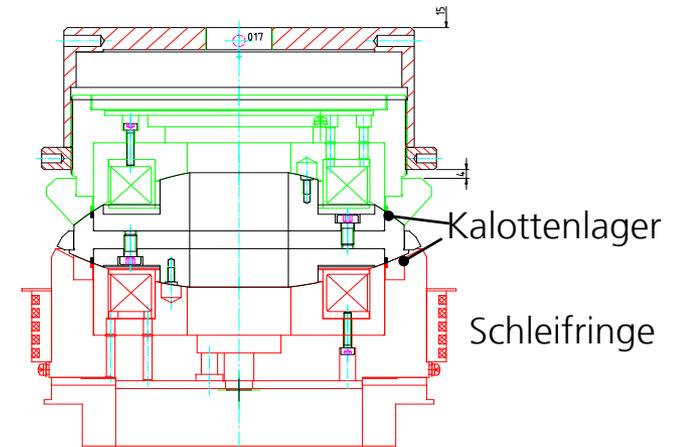
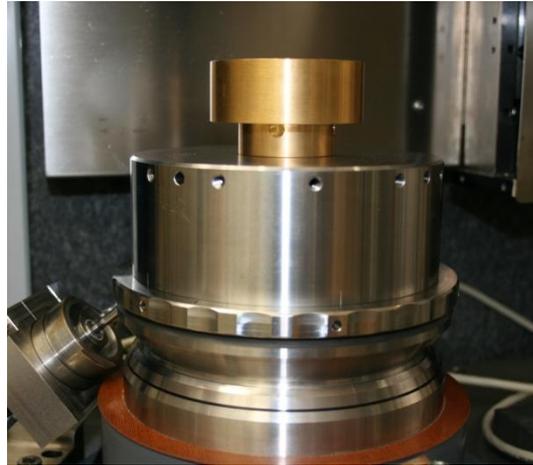
Schaltteller

- mit 4 Raststellungen
- Wiederholgenauigkeit $< 1 \mu\text{m}$
- spielfreie Drehlagerung
- manuelle Bedienung

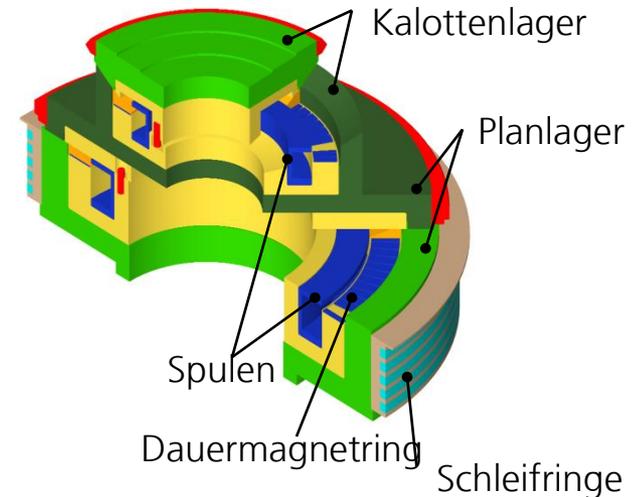


Justierfutter zur Kompensation des Zentrierfehlers

- **Doppelkalottenfutter**
- 2 kalottenförmige Verstellelemente (Kalotten-, Plan-Ebene)
- Verstellbereich: +/- 2,0 mm
- Variable Vorspannkraft 300...3000 N

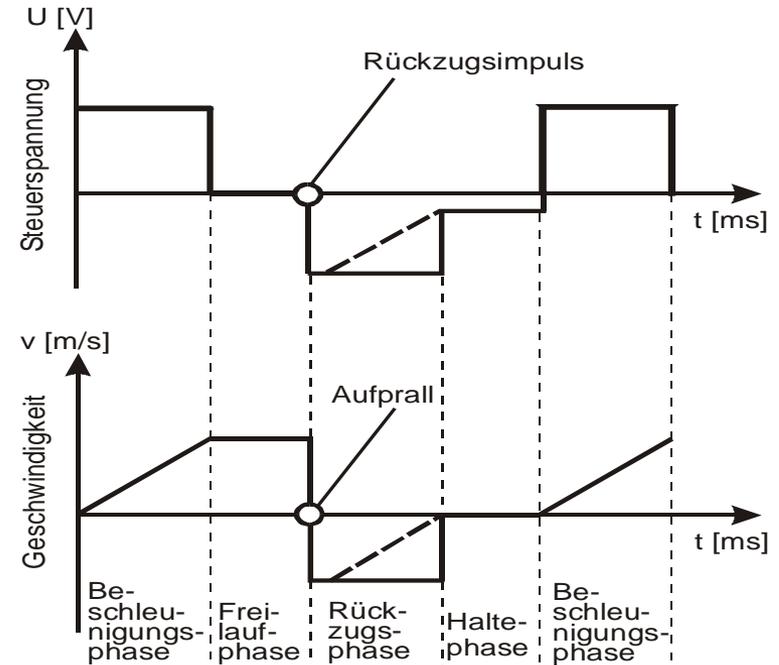
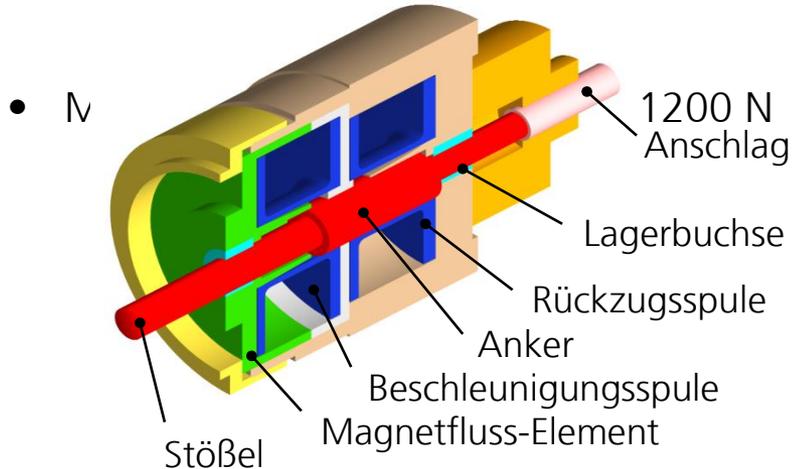


- **Plan- Kalottenfutter**
- Innenbohrung für unteres Reflexbildgerät



Justieraktuatoren, elektromagnetisches Schlagwerk

- Hub: 8 -10 mm
- Ankermasse: 20 ... 25 g
- Max. Stoßfrequenz: 15 Hz
- Stoßenergie: 0 ... 25 mJ



Ansteuerimpulse und Bewegungsphasen

Applikationsbeispiel: inspec.x 2.8/50 UV-VIS APO

Parameter Justierdrehen

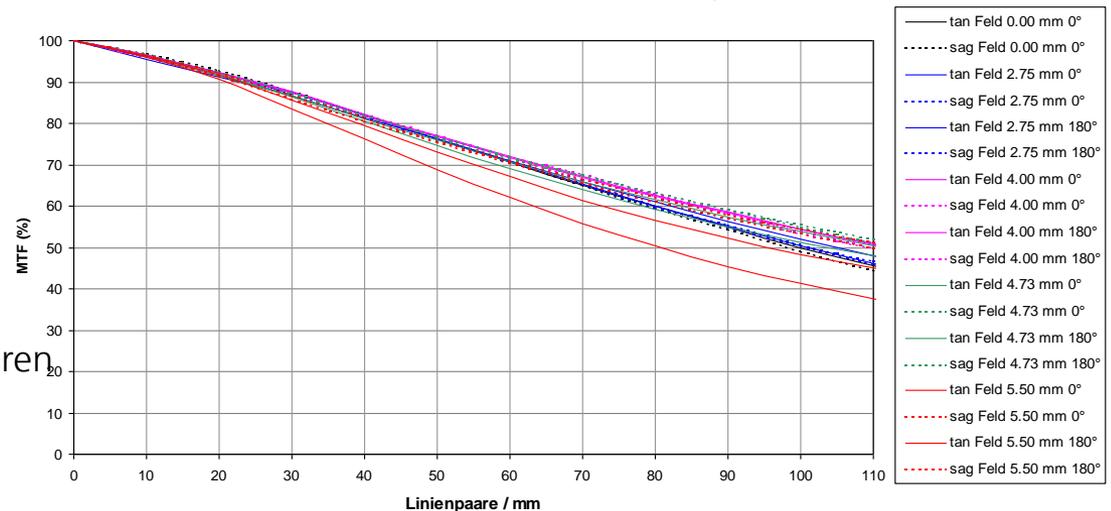
- Zentriergenauigkeit:
 - Flächenkipfung 0,1 Bogenminute
 - Dezentrierungen $< 2 \mu\text{m}$
- Fertigungstoleranzen für Scheitelhöhe und Außendurchmesser $< 2 \mu\text{m}$
- Ebenheit der Planflächen $< 1 \mu\text{m}$
- Zylindrizität der Fassung $< 0.5 \mu\text{m}$



MTF 650 mm Abstand, F3.5, weiss, vermittelte Fokussierung

Parameter Objektiv

- Auflösung $> 100 \text{ lp/mm}$
- Wellenlängenbereich: 240 – 700 nm
- 8 Linsen in 8 Gruppen
- geeignet für hochauflösende UV-Sensoren

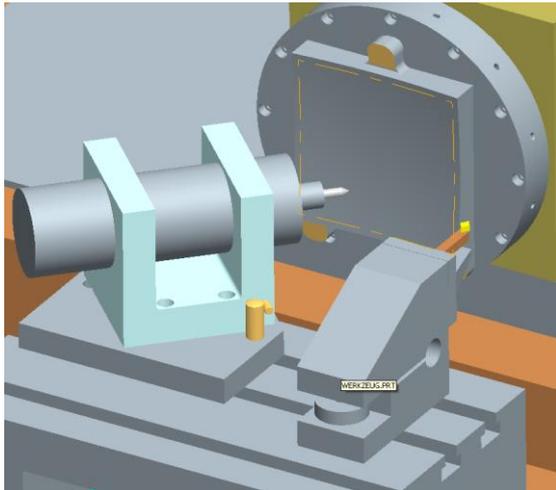


Zukünftiges Entwicklungspotential

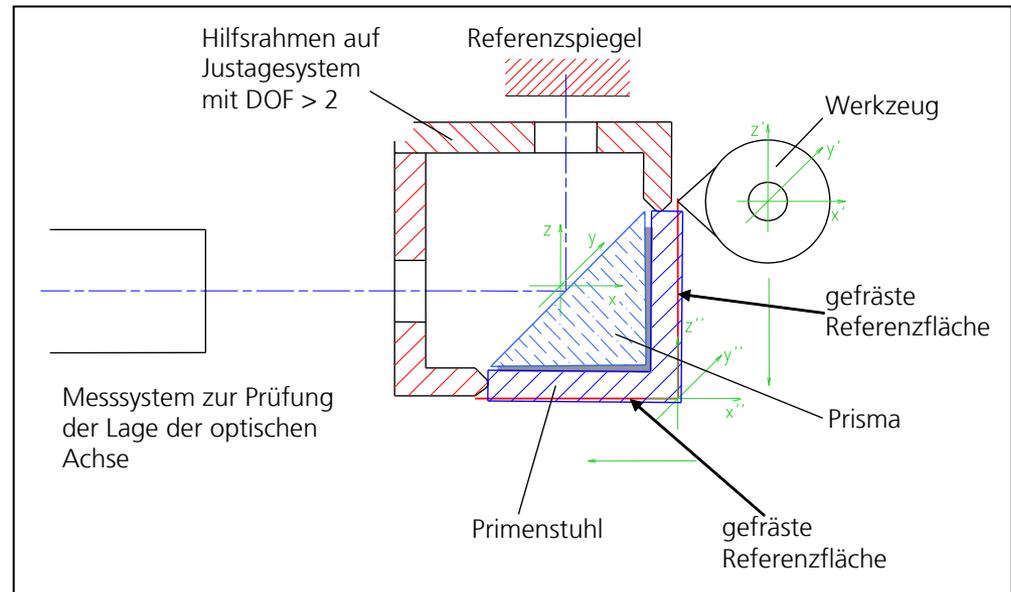
- Justierdrehen von **Asphären**
- **Integration** hochgenauer **Messverfahren** für Scheitelhöhe und Fassungsk Durchmesser
- Prozess**automatisierung**
- **Zentrierdrehen und Prüfen** der finalen Zentrierqualität in einer Maschine

Justierfräsen (Referenzflächenbearbeitung) von:

- Plan- und Zylinderoptik
- Off-Axis-Optiken
- Freiformen



Referenzflächenbearbeitung Freiformspiegel



Justierfräsen einer Prismenfassung

Acknowledgement

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

BETREUT VOM



Projektträger
Forschungszentrum
Karlsruhe (PTKA)



Tailored Light – Licht nach Maß

