

## Weitwinkelreflektorsysteme

cand. geod. Franziska Bernhart, Prof. Dr.-Ing. M. Hennes  
14. Oktober 2010,  
Optische Messtechnik für Anwendungen im Maschinenbau

GEODÄTISCHES INSTITUT (GIK)



KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und  
nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

[www.kit.edu](http://www.kit.edu)

## Weitwinkelreflektorsysteme

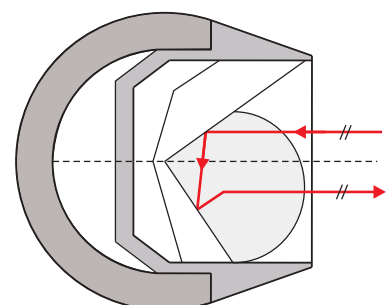
- Motivation
- Optische Lösungen
  - Corner Cube-Reflektoren (CCR)
  - Tooling Ball-Reflektoren (TBR)
  - Cat Eye-Reflektoren (CER)
  - n<sup>2</sup>-Reflektoren
- Mechanische Lösungen
  - Active hub

# Motivation

- Herausforderung trackende Systeme
  - Anwendung antastend
  - Anwendung bewegtes Objekt (Roboter, Radioteleskop)
- Drawback:
  - Limitierter Einfallswinkel
  - Gewicht

# Optische Systeme – Corner Cube-Reflektor (CCR)

- 3 Planspiegel (orthogonal montiert)
- „open-air“ Reflektor
- parallele Strahlführung
- Spezifizierte Zentriergenauigkeit  $\leq \pm 10 \mu\text{m}$   
(Radius:  $2.5 \mu\text{m}$ , Form  $1.5 \mu\text{m}$ , mech. Zentrierung  $6 \mu\text{m}$ )
- Sehr empfindlich gegen Stöße
  - ➔ Bruchresistente Variante
- Akzeptanzwinkel  $\leq \pm 30^\circ$



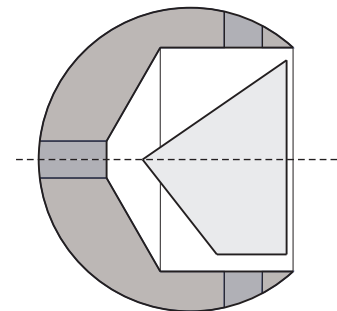
[nach Yang/Friedsam]

# Optische Systeme – Tooling Ball-Reflektor (TBR)

- Glasprisma mit orthogonal zueinander stehenden hinteren verspiegelten Flächen
- Zentriergenauigkeit  $\leq \pm 12 \mu\text{m}$   
(Radius:  $4 \mu\text{m}$ , Form  $3 \mu\text{m}$ , mechanische Zentrierung  $10 \mu\text{m}$ )
- Akzeptanzwinkel  $\leq \pm 50^\circ$
- geringere Herstellungskosten
- robust
- Refraktionsbedingte Abweichungen durch zusätzliche Materialübergänge Luft-Glas-Luft  
➔ Additionskorrektur, Richtungskorrektur

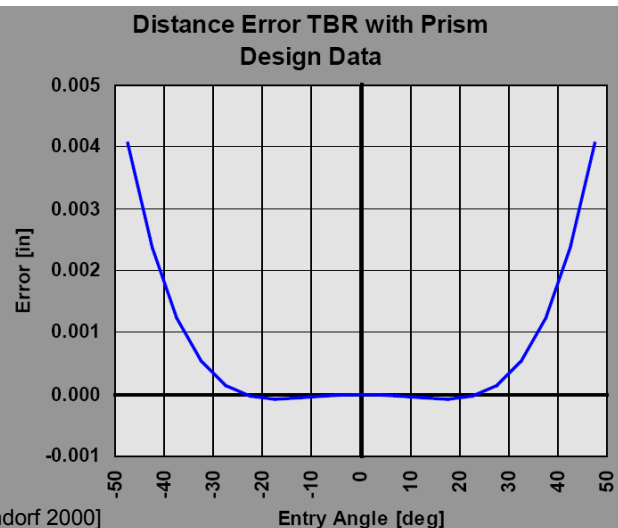
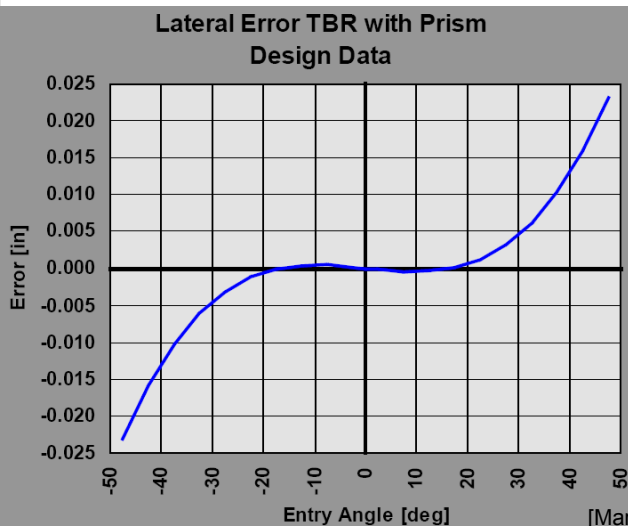


[Leica]



[nach Yang/Friedsam]

# Optische Systeme – Tooling Ball-Reflektor



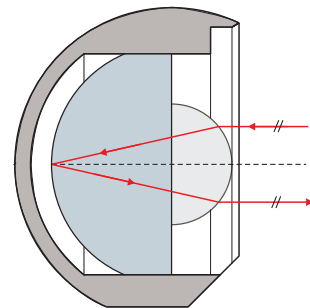
- Einschränkung des Arbeitsbereiches
- montierbarer Ring
- Akzeptanzwinkel  $\leq \pm 22^\circ$



[Leica]

## Optische Systeme – Cat Eye-Reflektor

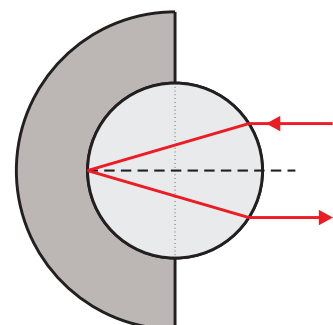
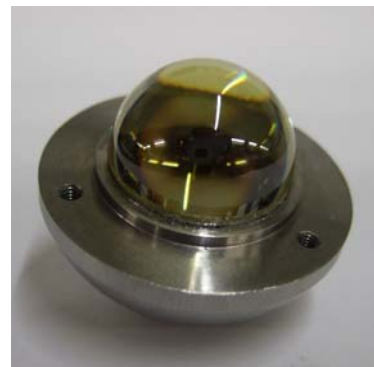
- Zwei Halbkugeln aus Glas des identischen Brechungsindex
- Zentriergenauigkeit  $\leq \pm 10 \mu\text{m}$
- Akzeptanzwinkel  $\leq \pm 60^\circ$
- Größe: 75 mm Durchmesser
- Gewicht: 730 g (mit Fassung)
- empfindlich gegen Schmutz und Stöße
- Additionskorrektur ( + Richtungskorrektur)



[nach Yang/Friedsam]

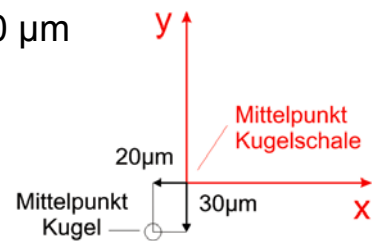
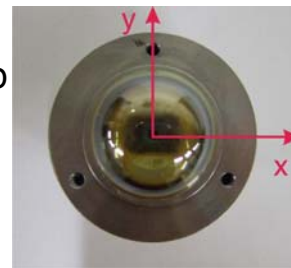
## Optische Systeme – n2-Reflektor

- Vollkugel aus Glas
- Brechungsindex  $n = 1,99613$  bei  $\lambda = 633\text{nm}$
- Zentriergenauigkeit  $\leq \pm 100 \mu\text{m}$
- Akzeptanzwinkel  $\leq \pm 80^\circ$
- Größe: 38,1 mm Durchmesser
- Gewicht: 98 g (mit Fassung)
- empfindlich gegen Schmutz und Stöße
- Additionskorrektur ( + Richtungskorrektur)



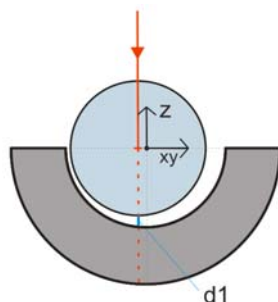
# Optische Systeme – n2-Reflektor

- Exzentrumsproblematik
  - Ermittlung mittels Autokollimationsmikroskop
  - -20  $\mu\text{m}$  in x-Richtung
  - -30  $\mu\text{m}$  in y-Richtung
  - -3  $\mu\text{m}$  in z-Richtung
  
- spezifizierte Zentrierabweichung: max. 100  $\mu\text{m}$
  
- Problematisch für alle antastenden Messungen

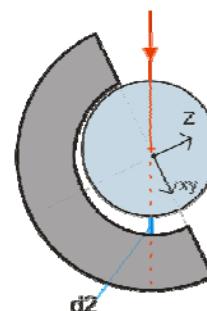


# Optische Systeme – n2-Reflektor

- Betrachtung der Streckenverfälschung in Mittelpunktsebene
  - Kleiner Einfallswinkel
  - Großer Einfallswinkel



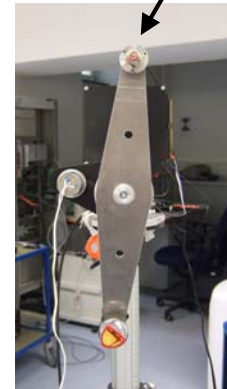
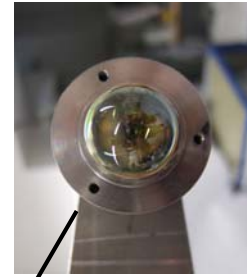
- Maximale Abweichung der Strecke:  
z-Exzentrizität (3  $\mu\text{m}$ )



- Maximale Abweichung der Strecke:  
diagonale Lage-Exzentrizität (36  $\mu\text{m}$ )

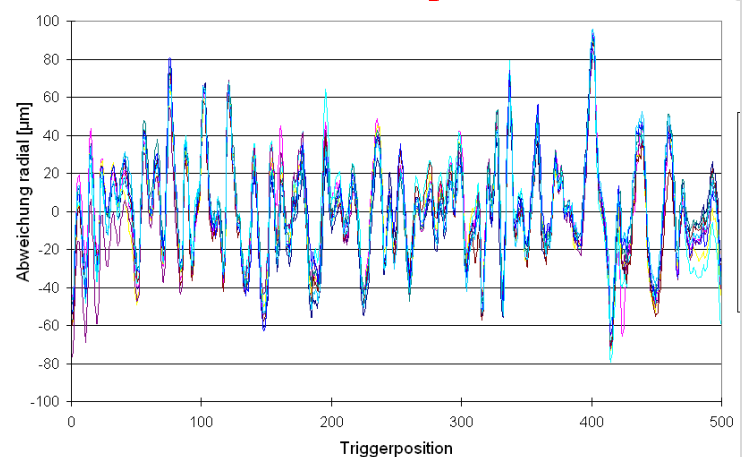
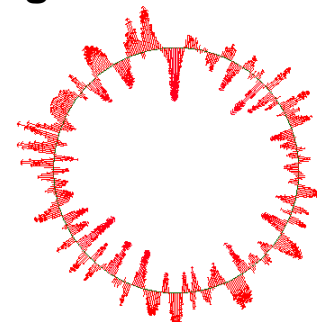
## Optische Systeme – n2-Reflektor

- Verwendung des n2-Reflektors zur Erweiterung des A-TOM-Arbeitsbereiches (6DOF-Bestimmung)
- Exzentrische Lage der Glaskugel gegenüber Kugelhülle irrelevant
- Kenntnis der Additionskorrektur wichtig

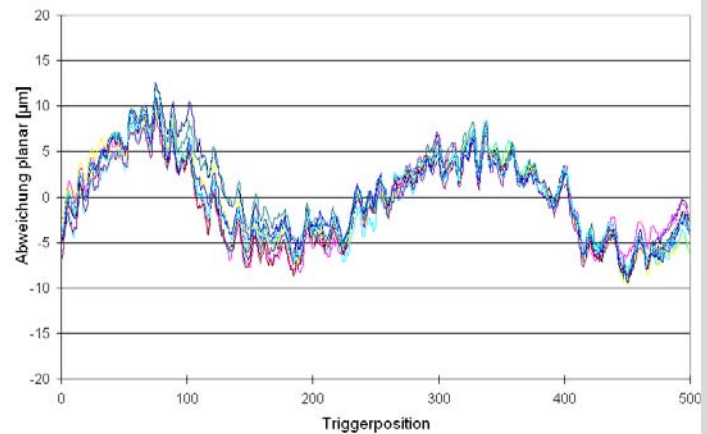
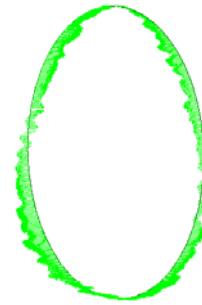


## Optische Systeme – n2-Reflektor – Ergebnisse

- Frontale Messung - Betrachtung radial
- Sinusförmige Abweichungen in radialer Richtung zum ausgeglichenen Kreis
- Abweichung zum Kreis bis zu 100  $\mu\text{m}$
- Wiederholgenauigkeit der Einzelabweichungen im Mittel  $\pm 6 \mu\text{m}$



- Frontale Messung - Betrachtung planar
- Sinusförmige Grundschiwingung
- Abweichung zum Kreis bis zu 10  $\mu\text{m}$
- Überlagerte Sinusschwingungen
- Wiederholgenauigkeit der Einzelabweichungen im Mittel  $\pm 1 \mu\text{m}$

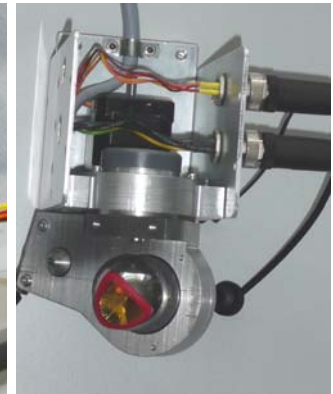
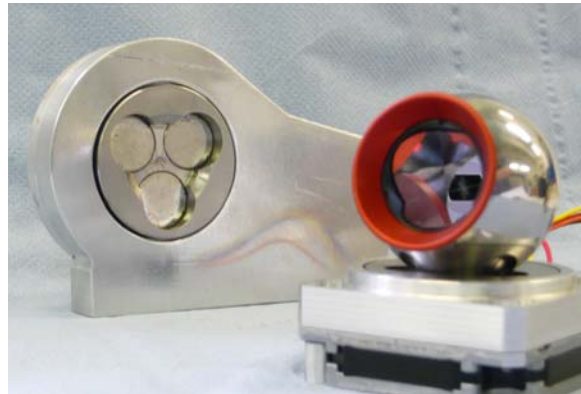


## Weitwinkelreflektorsysteme

- Motivation
- Optische Lösungen
  - Corner Cube-Reflektoren (CCR)
  - Tooling Ball-Reflektoren (TBR)
  - Cat Eye-Reflektoren (CER)
  - n2-Reflektoren
- Mechanische Lösungen
  - Active hub

## Mechanisches System: Active Hub

- Idee
  - Mechanische Reflektornachführung
  
- Antrieb & Ansteuerung
  - Konstantstrom-Motor
  - kommerzieller Treiber
  - individuelle Lösung: labview-basiert



15



Geodätisches Institut

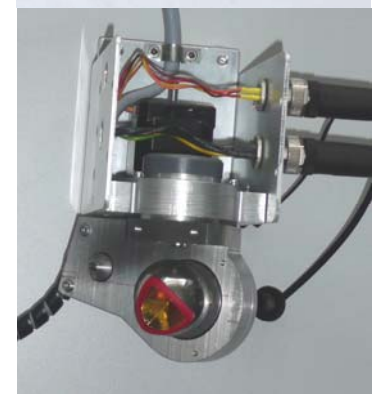
Weitwinkelreflektorsysteme

14. Oktober 2010, Optische Messtechnik für Anwendungen im Maschinenbau

F. Bernhart, M. Hennes

## Active Hub - Spezifikationen

- Active Hub – einachsig
  - Rotation: nahezu endlos  
(einzige Limitierung: Kabelführung und Montierung)
  - Kinematik:  $20^\circ/s$  bzw.  $10^\circ/s^2$
  - Positioniergenauigkeit:  $0.2^\circ$  (Auflösung)
  - Gewicht: 510 g (ohne CCR)
  
- Active Hub – zweiachsig
  - Einfallswinkel nahezu endlos bzw.  $270^\circ$
  - Achsschnittpunkt 0.5 mm, justierbar auf 0.1 mm



16



Geodätisches Institut

Weitwinkelreflektorsysteme

14. Oktober 2010, Optische Messtechnik für Anwendungen im Maschinenbau

F. Bernhart, M. Hennes



# Active Hub - Exzentrizitätsprüfung

- Active Hub – einachsig
  - Mechanische Exzentrizität  $|a| < 2 \mu\text{m}$

