

# Retroreflektoren in der Industrievermessung

Christoph Herrmann

## Einleitung

In der Industrievermessung bzw. Large Volume Metrology (LVM) hat sich der Lasertracker als Messmittel u. a. zur produktionsbegleitenden Qualitätskontrolle oder Roboterkalibrierung etabliert. Wie z. B. Tachymeter benötigen auch Lasertracker einen Reflektor. In der Vergangenheit hat man sich mit unterschiedlichen Reflektorkonzepten (Winkelspiegel, Winkelprisma und Kugelreflektoren) für Lasertracker auseinandergesetzt und jeweilige Stärken und Schwächen diskutiert. Allen Konzepten gemein ist ihr signifikanter Einfluss auf die Unsicherheit des Messergebnisses. Mit dem Ishikawa-Diagramm lassen sich die Störgrößen strukturiert darstellen, um sie zu einer reflektorbedingten Messunsicherheit nach dem Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) zusammenzufassen.

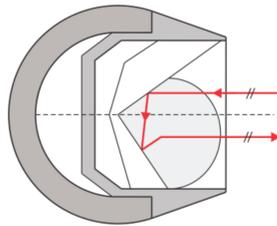
## Winkelspiegel (SMR)



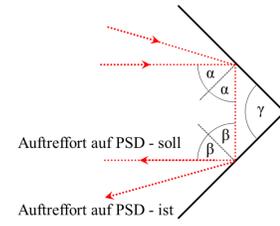
Break Resistant Reflektor [1]



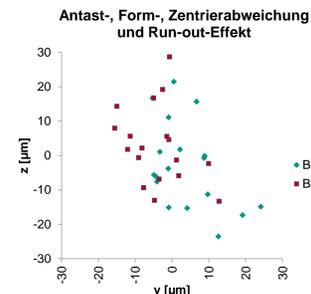
Red Ring Reflektor [1]



Schema SMR [2]



Winkelfehler durch  $\gamma \neq 90^\circ$



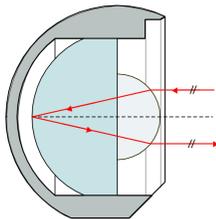
Bsp.: BRR, 6m, Rotation um 20 gon-Schritte

Das am häufigsten anzutreffende Reflektordesign ist der „Spherical Mounted Retroreflector“ (SMR). Im Prinzip besteht dieses Reflektordesign aus drei rechtwinklig zueinander stehende Spiegelebenen in einer Kugelfassung. Stehen die Spiegelebenen beim SMR nicht rechtwinklig aufeinander, wird der einfallende Strahl nicht exakt parallel zu dieser Richtung reflektiert. Der vom Lasertracker gemessene Winkel weicht dann vom tatsächlichen Winkel ab, wenn der positionsempfindliche Detektor (PSD) aufgrund einer Dejustierung eine mit einem Offset behaftete Regelgröße liefert. Außerdem können das optische und mechanische Zentrum des Reflektors nicht identisch sein. Abweichungen durch diesen Fehler sind von der Ausrichtung des Reflektors abhängig. D. h., dreht man den Reflektor in einem Nest um eine Achse, beschreibt das optische Zentrum einen Kreis. Bei Winkelprismen sind zusätzlich die (aus der EDM bekannten) einfallswinkelabhängigen lateralen und Distanzabweichungen zu berücksichtigen.

## Kugelreflektoren



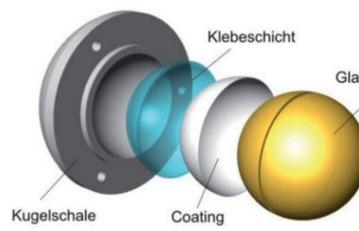
Cat Eye [1]



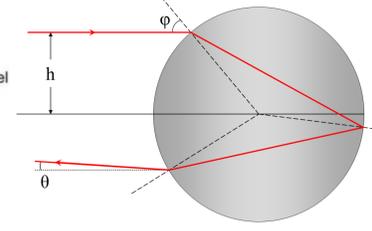
Schema Cat Eye [2]



R160A [1]



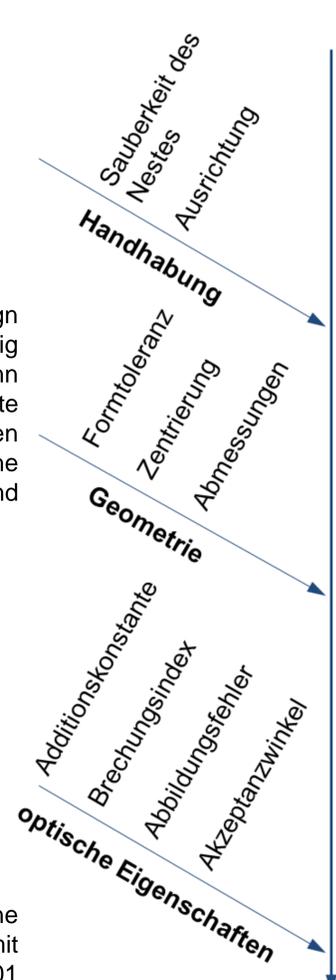
Aufbau R160A [1]



Schema R160A [2]

Kugelreflektoren (wie Cat Eye und R160A) mit einem größeren Akzeptanzwinkel als SMR eignen sich besonders für kinematische Messaufgaben, weisen aber spezielle optische Eigenschaften auf.

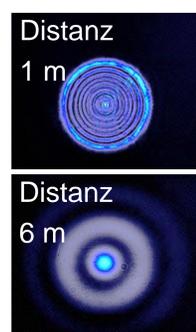
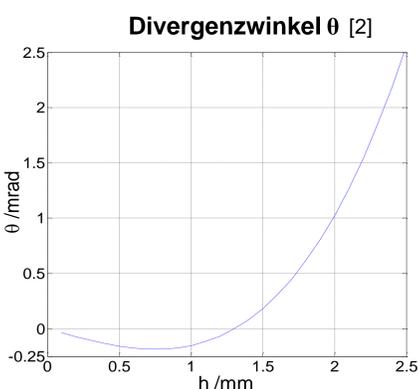
Für eine komfortablere Handhabung wurde am GIK eine Glas Reflektorkugel in eine Stahlfassung geklebt (R160A). Aus der Klebung resultiert eine Exzentrizität von  $36 \mu\text{m}$  mit einer Messunsicherheit von  $\pm 10 \mu\text{m}$ . In dieser Konfiguration wurde mit einem Leica AT 901 Lasertracker die ADM-Additionskonstante mit  $32,261 \text{ mm} \pm 0,028 \text{ mm}$  bestimmt [1]. Diese Parameter sind bei absoluten, antastenden Messungen zu berücksichtigen.



Messergebnis

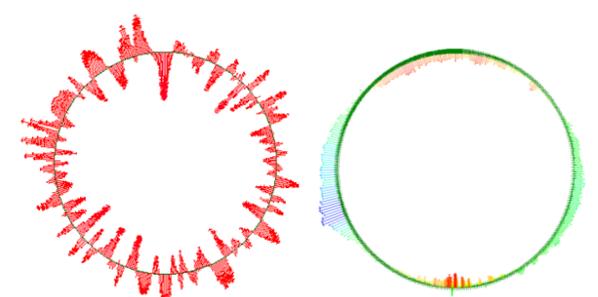
## Optische Eigenschaften von Kugelreflektoren

Die optischen Eigenschaften werden durch Interferenzeigenschaften beeinflusst. Toleranzabweichungen in der Ebenheit und Ausrichtung der Spiegelflächen führen zu Veränderungen in den Wellenfronten. Bei Kugelreflektoren ist selbst bei einer perfekten Kugel mit Interferenzerscheinungen zu rechnen, weil die Ausfallrichtung  $\theta$  von der Eintrittshöhe  $h$  des Strahls und vom Verhältnis des Strahlquerschnitts zum Kugeldurchmesser abhängt, was zur Interferenz von Signalanteilen mit unterschiedlicher Phasenlage und damit zu ringförmigen Mustern in der Intensitätsverteilung führt. Mit einer Strahlanalysekamera und einem Strahlteiler wurden die reflektierten Signale untersucht, mit dem Ziel, die bei Kugelreflektoren – die aufgrund des Strahlquerschnitts – zu erwartenden Ringstrukturen nachzuweisen.



Intensitätsverteilung reflektiertes Signal vom R160A

Die Periodizität der Abweichungen ist abhängig von der Reflektor-Geschwindigkeit und des Reflektortyps. Der Betrag der Abweichungen ist distanzabhängig und nimmt bei extremen Fehlauseichungen auf bis zu  $0,5 \text{ mm}$  zu. Ursache: Die Winkelkorrektur durch den PSD ist unzureichend, vermutlich verursacht durch die ringförmige Intensitätsverteilung und ein Offset in der Regelgröße.



Radiale Abweichungen von einer kinematisch gemessenen Kreisbahn, Größenordnung:  $\pm 0,1 \text{ mm}$ ; R160A frontal und CCR frontal, 6m.

## Unsicherheiten

Je nach Reflektortyp variieren die Unsicherheitsbeträge für die verschiedenen Parameter. Für einen BRR ist die Unsicherheit der optischen Zentrierung  $\pm 10 \mu\text{m}$ , des Radius  $\pm 2,5 \mu\text{m}$ , der Formtoleranz  $\pm 1,5 \mu\text{m}$  und der Additionskonstante  $\pm 10 \mu\text{m}$ . Dazu kommt die Unsicherheit bzw. Toleranz der rechten Winkel zwischen den Spiegelebenen, die maximal eine Abweichung des reflektierten Strahls von  $5 \text{ arcsec} = 25 \mu\text{rad}$  (in Form einer Divergenz oder Konvergenz) verursacht, deren Auswirkung (Run-Out-Effekt) nur selten  $0,1 \text{ mm}$  übersteigt. Nach GUM ergibt sich daraus eine kombinierte Standardunsicherheit von  $0,1 \text{ mm}$ . Eine derart große Auswirkung durch die Abweichung in der Rechtwinkligkeit der Spiegelebenen konnte bei den am GIK untersuchten Reflektoren nicht nachgewiesen werden.

## Referenzen

- [1] Bernhart, F. (2010): Eigenschaften von Kugelreflektoren. Diplomarbeit. Geodätisches Institut Karlsruhe. Unveröffentlicht.
- [2] Yang, B., Friedsam, H. (1999): Ray-Tracing Studies for a Whole-Viewing-Angle Retroreflector. International Workshop on Accelerator Alignment. Grenoble (FR).