

Weiterentwicklung des Doppelendinterferometers für die Kalibrierung von Referenzkugeln zur Rückführung des Meters

Messprinzip

Doppelendinterferometer [1]

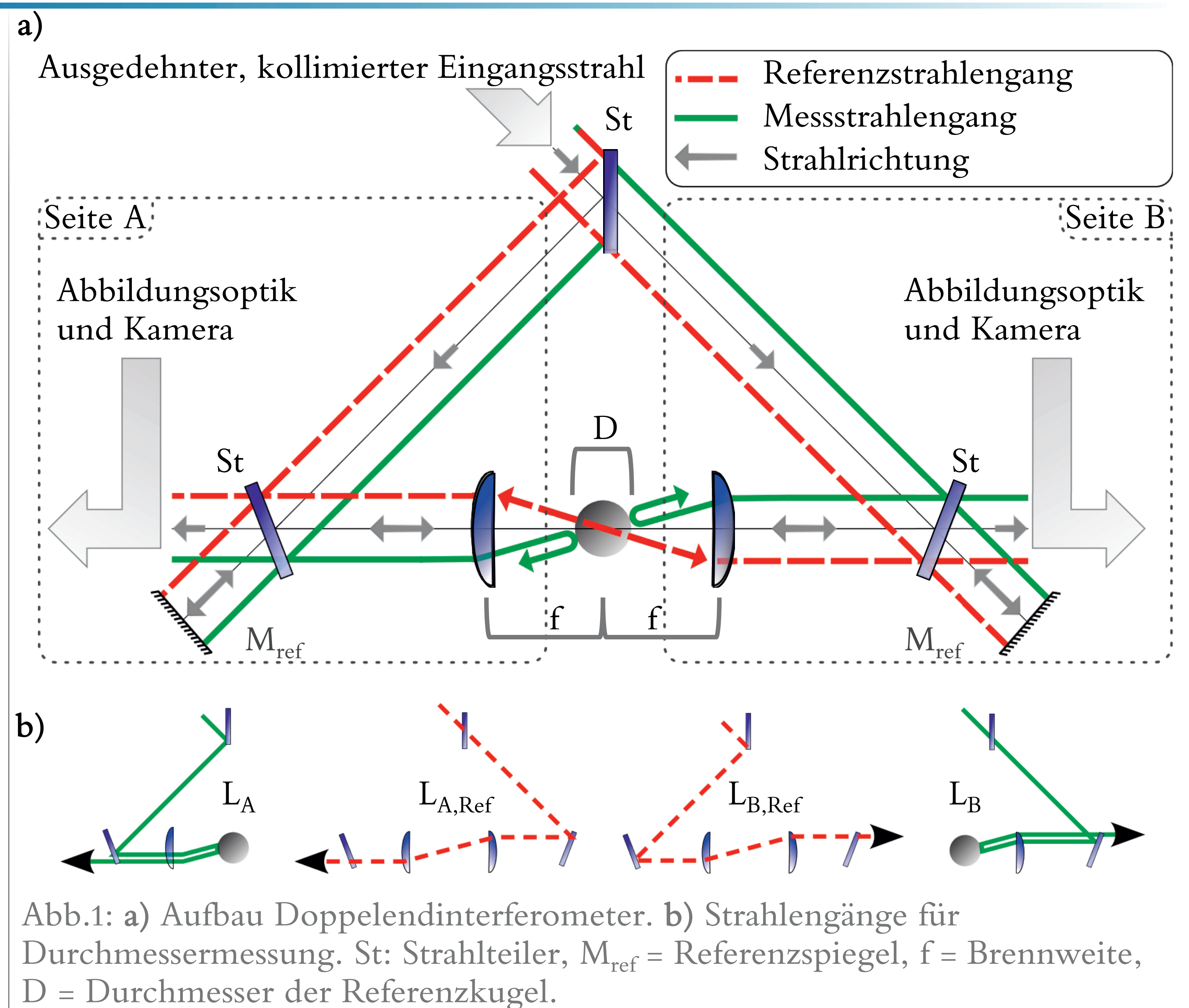
- Zwei gegenläufige Twyman-Green-Interferometer zur Messung absoluter Längen
- Genutzte Laser:
 - Nd:YAG SHG (532 nm): $u\lambda = 2 \cdot 10^{-19}$ m
 - HeNe (633 nm): $u\lambda = 1,7 \cdot 10^{-18}$ m
- Aufbau in temperierter Vakuumkammer: $\Delta T_{24h} = \pm 5$ mK, $p = 10^{-4}$ hPa
- Phasenberechnung durch Phasen-Schritt-Verfahren

Kalibrierung von Referenzkugeln [2]

- Abtastung Kugel: beidseitig durch identische, fokussierende Optiken
- Optiken justiert zu Teleskop mit $M = 1$
 - Referenzmessung ohne Kugel
 - Kugelmessung mit Kugelzentrum auf gemeinsamen Brennpunkt
- Durchmesserberechnung (siehe Abb.1b):

$$D = \frac{L_{A,Ref} + L_{B,Ref}}{2} - \frac{L_A + L_B}{2}$$

- Bestimmung der absoluten Länge durch Koinzidenzverfahren [3]
- Berechnung der Durchmesser-Topografie durch Zuordnung der Messpunkte P_A (Seite A) zu den Messpunkten P_B (Seiten B)



Zuordnungsmethoden

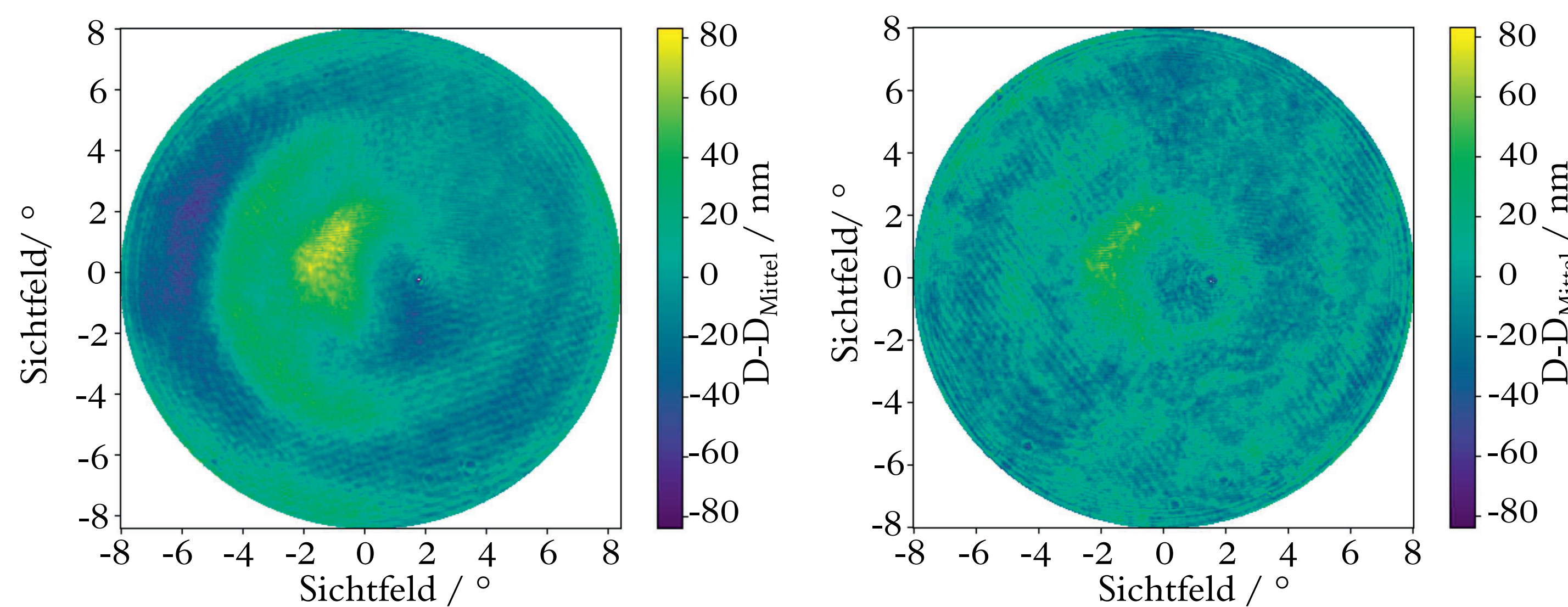


Abb.2: Abweichung der Durchmesser-Topografie vom jeweiligen mittleren Durchmesser. Links: Zuordnungsmethode 1, rechts: Zuordnungsmethode 2.

Zuordnungsmethode 1: Pixel

- Bestimmung der diametralen Punkte durch Kamerapixel
 - $P_A(x-x_{A,Z}, y-y_{A,Z})$ zu $P_B(-(x-x_{B,Z}), -(y-y_{B,Z}))$
 - Mit x, y = Pixelindex der Kamera, $x_{A/B,Z}, y_{A/B,Z}$ = Kugelmitte in Pixelkoordinaten

Zuordnungsmethode 2: Kugelkoordinaten

- Bestimmung der diametralen Punkte durch Kugelkoordinaten
 - $P_A(\theta_A, \phi_A)$ zu $P_B(\theta_B, \phi_B)$
 - Mit θ = Polarwinkel, ϕ = Azimutwinkel
 - $\cos(\theta) = \left(1 + \left(\frac{x-x_Z}{f}\right)^2 + \left(\frac{y-y_Z}{f}\right)^2\right)^{-\frac{1}{2}}$; $\tan(\phi) = \frac{y-y_Z}{x-x_Z}$
 - Diametraler Punkt: $\theta_A = -\theta_B; \phi_A = \phi_B + \pi$

Ergebnis

Durchmesser

- Kalibrierwert: $D = (29,99274 \pm 150 \cdot 10^{-6})$ mm
- Zuordnungsmethode 1: $D = (29,99279 \pm 200 \cdot 10^{-6})$ mm
- Zuordnungsmethode 2: $D = (29,99283 \pm 200 \cdot 10^{-6})$ mm

Bewertung der Topografie (Abb.2)

Konzentrische Ringe

- Rückführbar auf Fertigungsartefakte der Optiken (Plan-Asphären)
- Sichtbarkeit der Ringe reduziert durch Zuordnungsmethode 2

Wellenstruktur

- Verursacht durch Störreflexionen/-Interferenzen
- Störreflexe an Linsen können Justage bedingt nicht reduziert werden

Modifizierung

Außeraxiale Parabolspiegel

- Keine Störreflexe
- Keine chromatische Abhängigkeit
- Aufwändigere Justage

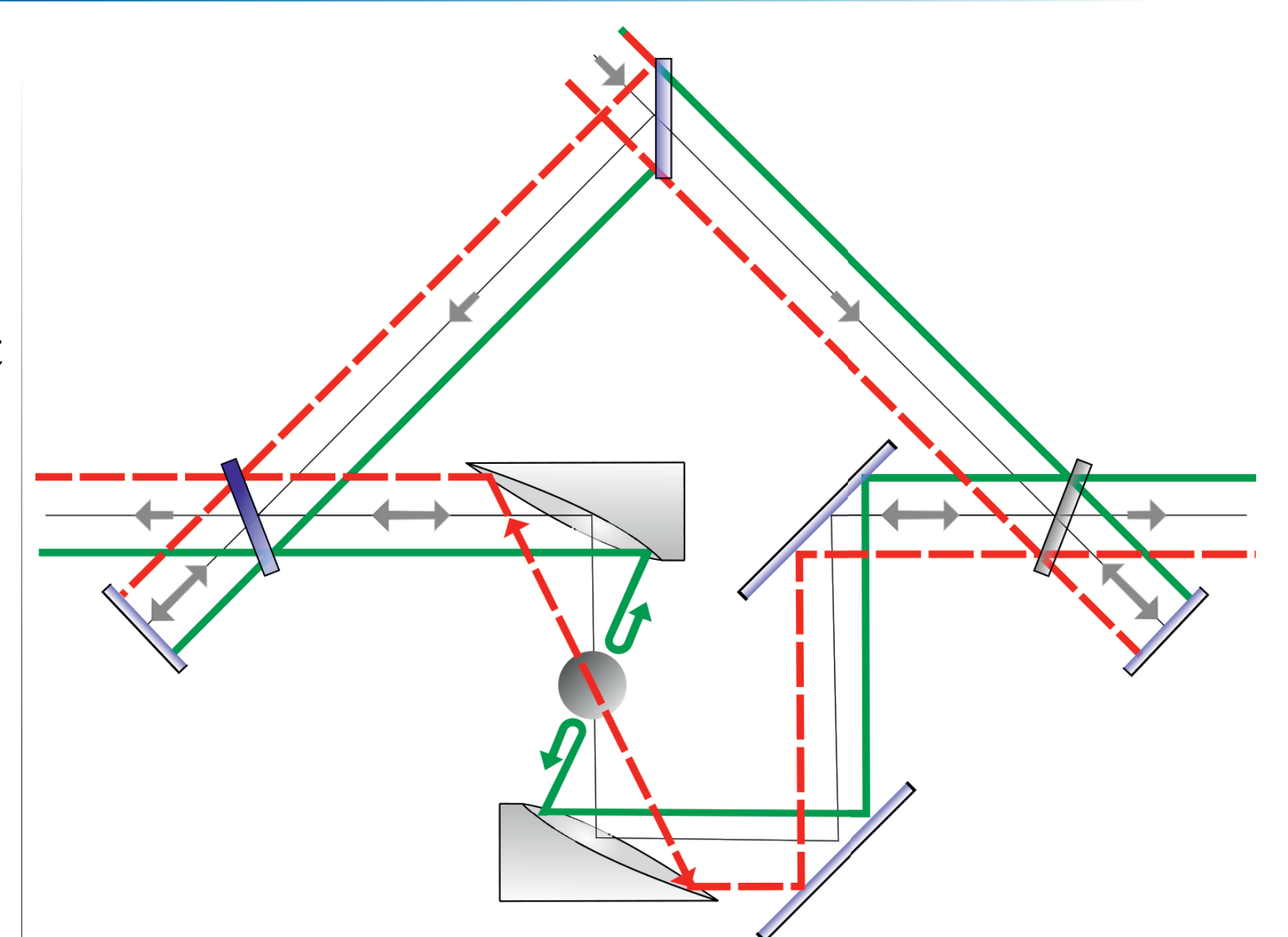


Abb.3: Doppelendinterferometer mit außeraxialen Parabolspiegeln.

Referenzen

- [1]: Abdelaty, A. et.al. (2012), *Challenges on double ended gauge block interferometry unveiled by the study of a prototype at PTB*, Metrologia 49 307, DOI: 10.1088/0026-1394/49/3/307
 [2]: Schödel, R et.al. (2021), *Proposed extension of double-ended gauge block interferometers for measuring spheres*, Measurement Science and Technology, DOI: 10.1088/1361-6501/abfe35
 [3]: Schödel, R. (2015), *Utilization of coincidence criteria in absolute length measurements by optical interferometry in vacuum and air*, Measurement Science and Technology, DOI: 10.1088/0957-0233/26/8/084007