ZAFH Photon^n
3. Photoniktag Aalen 21.10.2011

Höchstauflösende Optische Metrologie

Ruven Spannagel, Thilo Schuldt, Martin Gohlke, Anja Keetman, Dennis Weise, Ulrich Johann, Wolfgang Kronast, Ulrich Mescheder, Josep Sanjuan, Guido Mueller, Claus Braxmaier

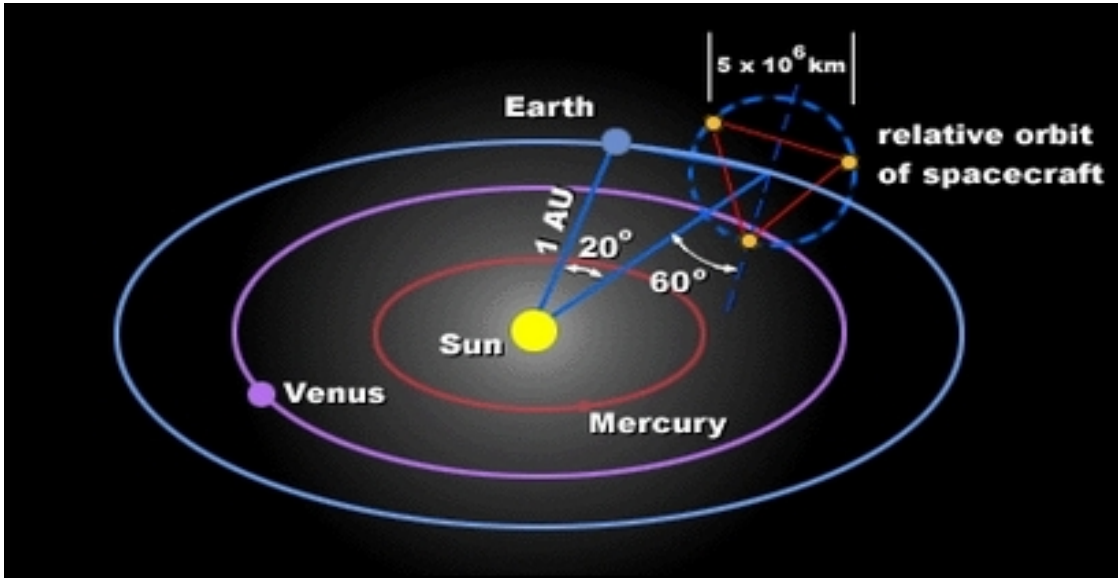
Hochschule Konstanz (HTWG), Hochschule Furtwangen, Humboldt-Universität zu Berlin, University of Florida

Inhalt

- Motivation: LISA
- Hochpräzise Interferometrie
  - Aufbau und Verbindungstechnologie
  - Neuer Zerodur Interferometer-Aufbau
- Profilometrie
- Dilatometrie
  - Hochstabile Materialien
  - Feste Struktur (Teleskop)
- Zusammenfassung und Ausblick

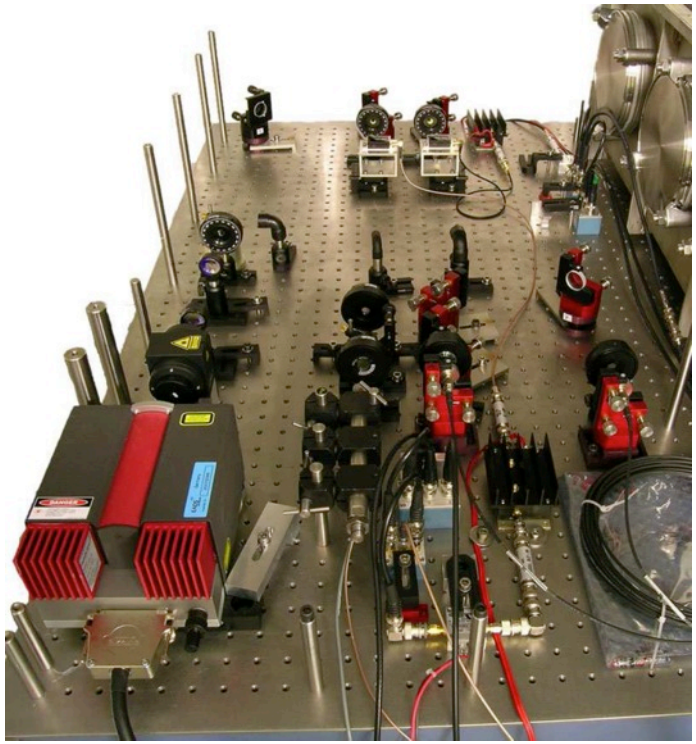
Motivation: LISA

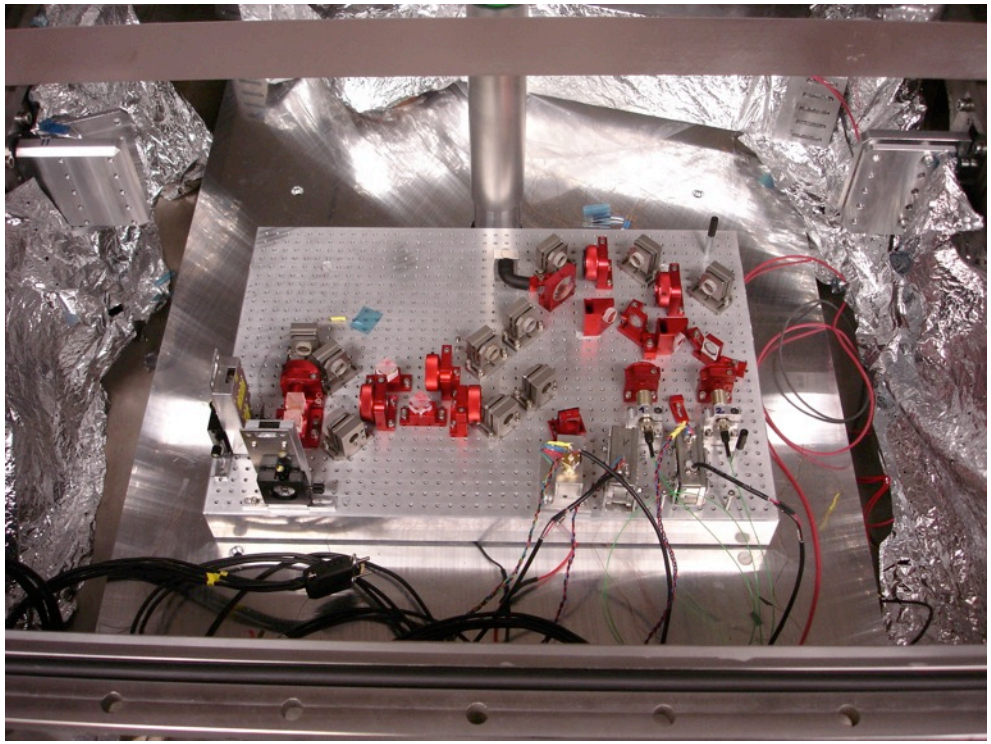
- Laser Interferometer Space Antenna
- Weltraum-gebundener Gravitationswellendetektor im Frequenzbereich zwischen 30 µHz und 1 Hz
- Start vorgesehen für 2020
- 3 Satelliten bilden ein Interferometer mit einer Armlänge von etwa 5 mio km
- Endspiegel des Interferometers sind durch frei-fliegende Testmassen realisiert



Hochpräzise Interferometrie (1/3)

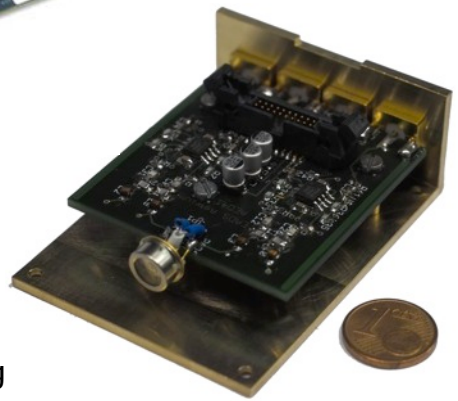
- Bestehender Aufbau eines heterodynen Interferometers mit demonstrierter pm bzw. nrad Sensitivität
- Differential wavefront sensing (DWS) zur Winkelmessung

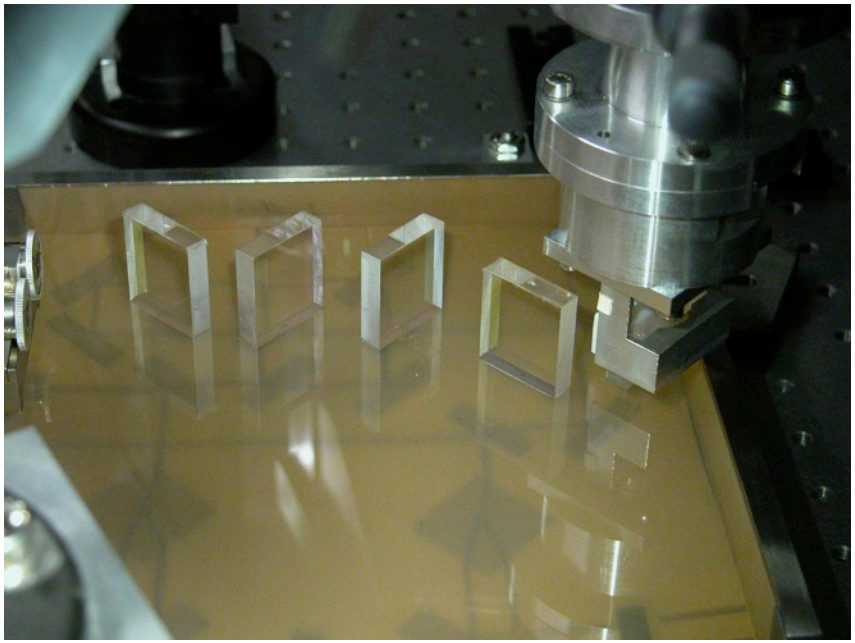




Hochpräzise Interferometrie (2/3)

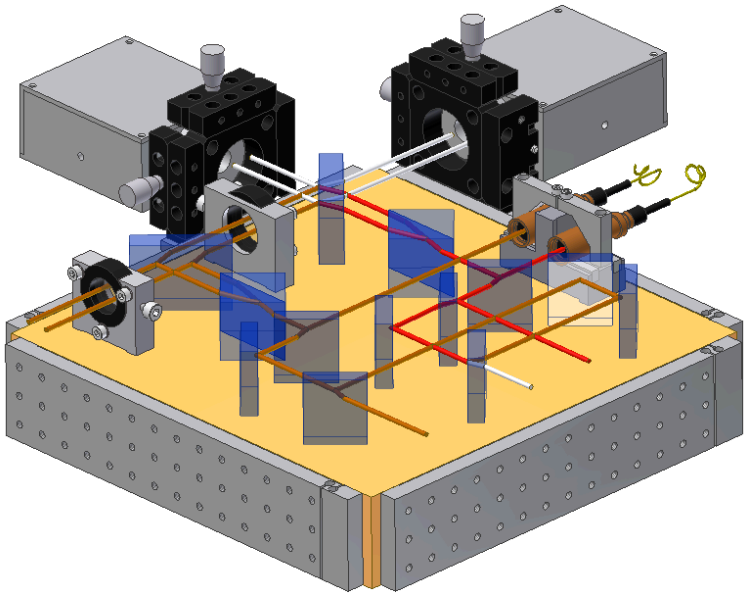
- Grundplatte aus Zerodur (Glaskeramik mit CTE < $2*10^{-8}\,K^{-1}$)
- Vergleich von hydroxide catalysis bonding und adhesive bonding
- Heterodyn-Frequenzbereich: 2-20 MHz (LISA-Bereich)
  → Entwicklung Quadrantendioden
  → Entwicklung phasemeter (FPGA-basierend)

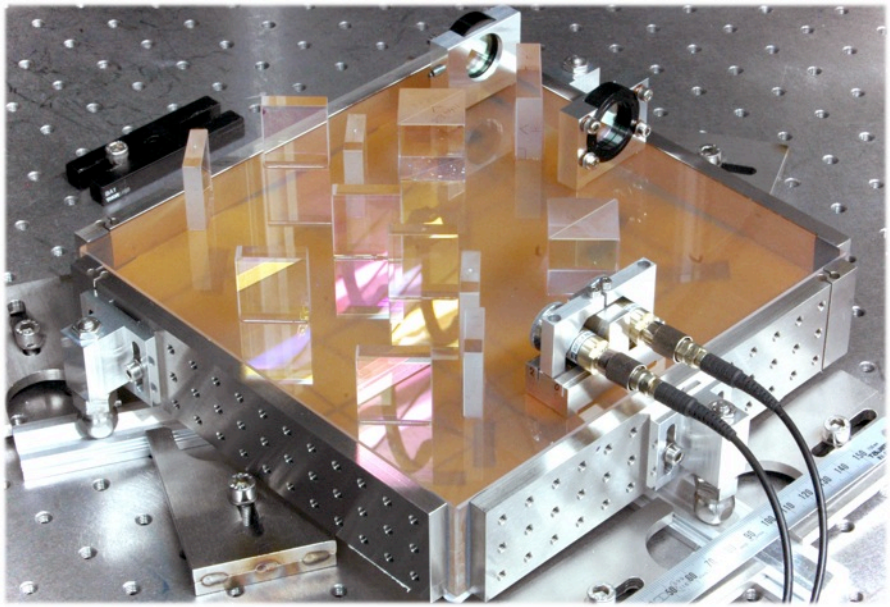




Hochpräzise Interferometrie (3/3)

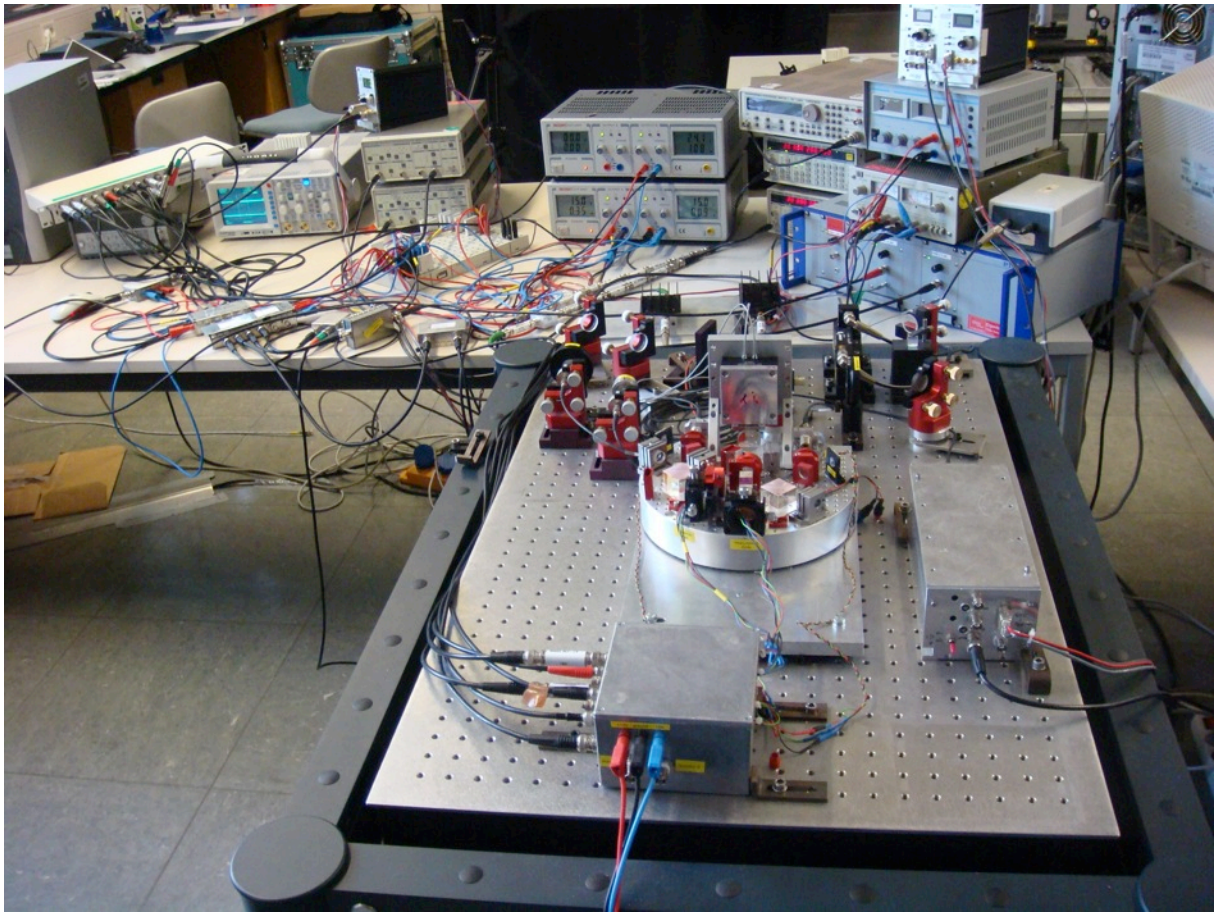
- Demonstrierte Sensitivität:
  → < 5 pm/√Hz in der Translationsmessung
  → < 10 nrad/√Hz in der Winkelmessung





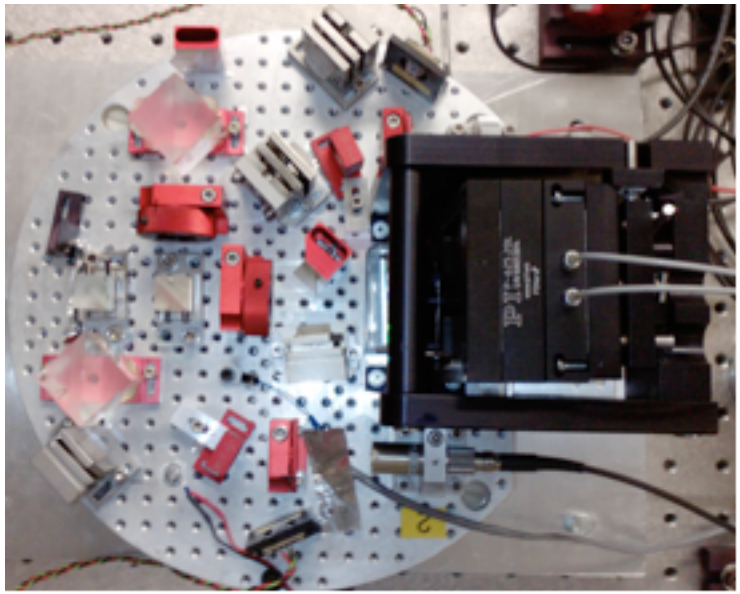
Profilometrie (1/2)

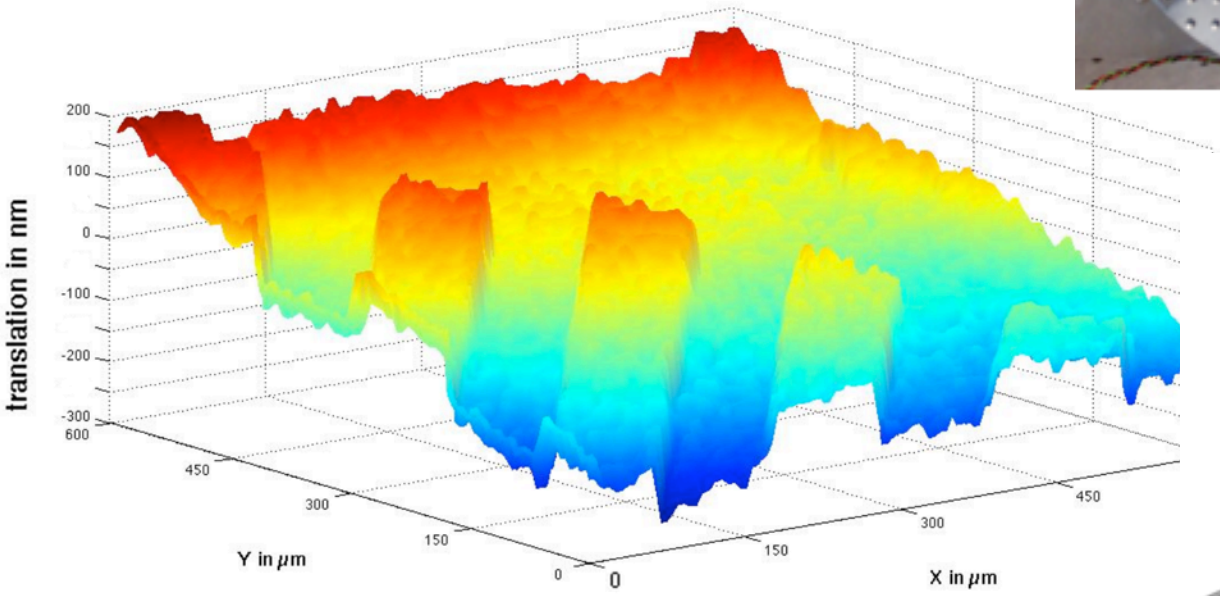
- DBR Laserdiode
- Aufbau zur Heterodynfrequenz-Erzeugung
- Interferometer
- Aktuator
- Datenverarbeitung

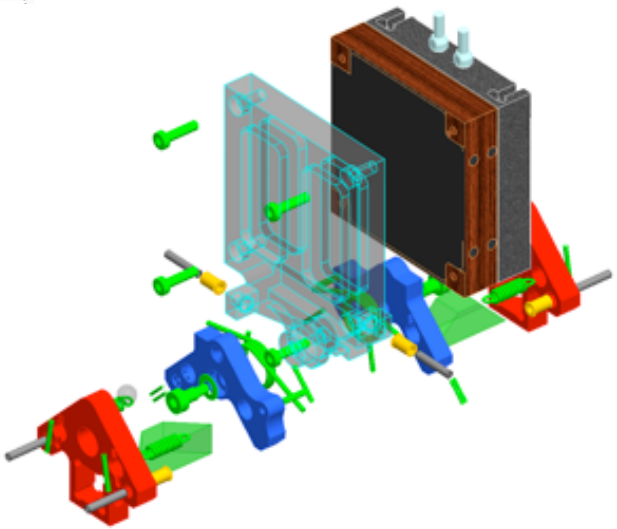


Profilometrie (2/2)

- Vermessung einer Referenz Oberfläche der Firma Simetrics
- Genauigkeiten im nm-Bereich wurden bei Raumtemperatur und ohne Vakuum erreicht
- Laterale Auflösung <15µm



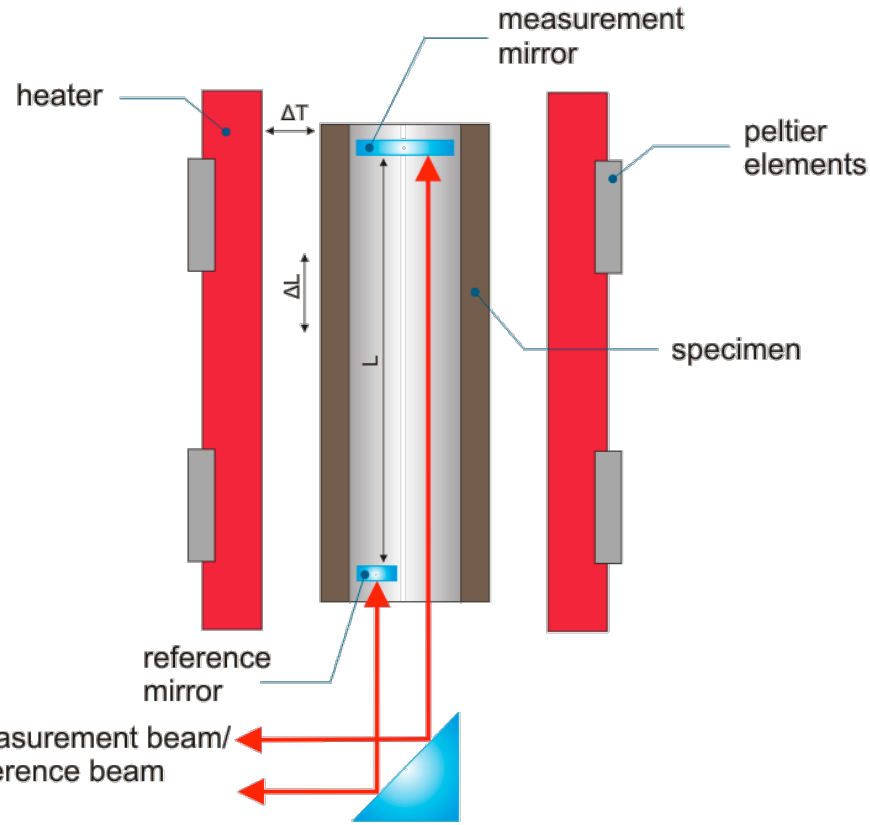


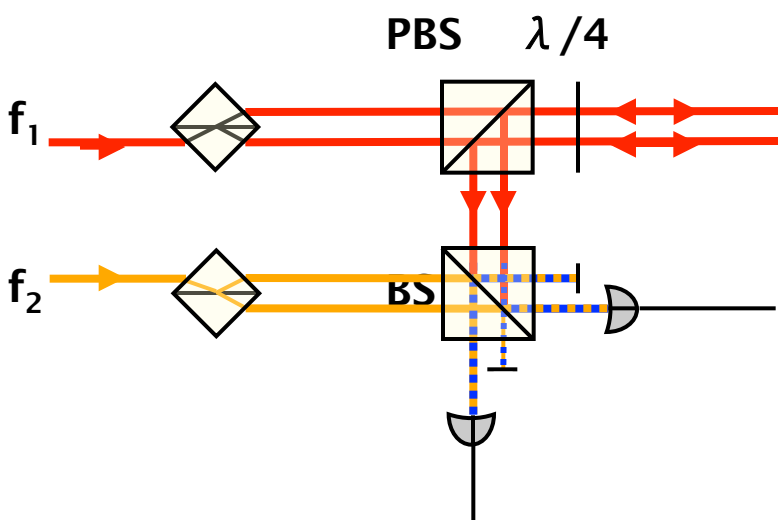


Dilatometrie (1/3)

Messung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten

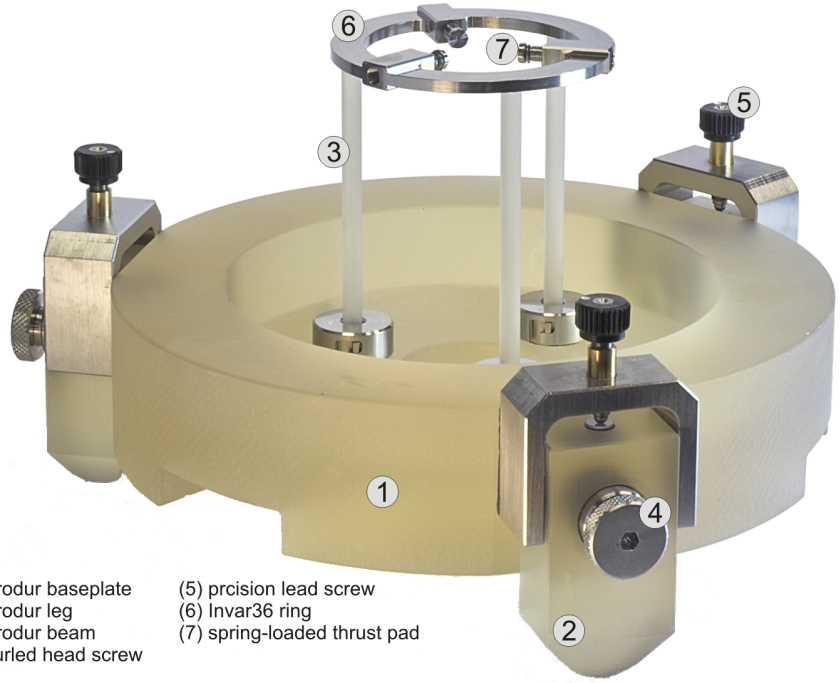
$$\mathrm{CTE} = \alpha = \frac{\Delta L}{L} \cdot \frac{1}{\Delta T}$$

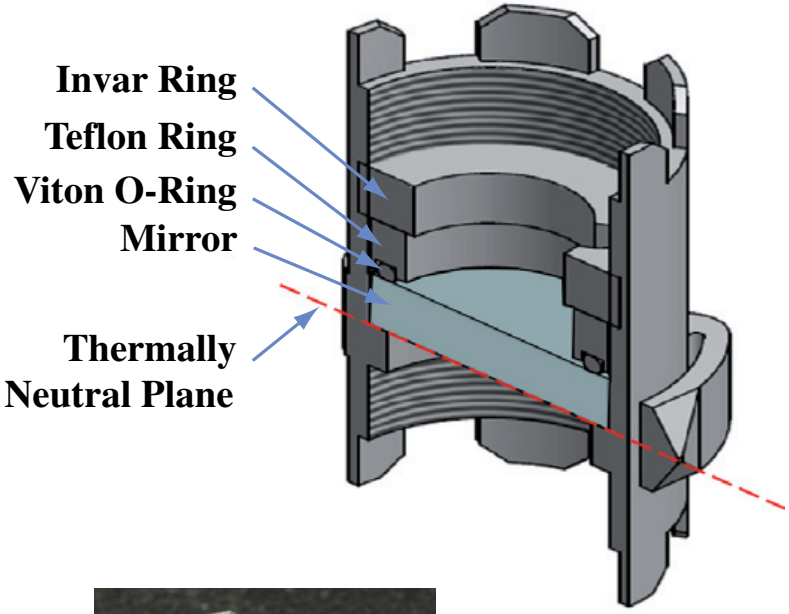




Dilatometrie (2/3)

- Rohr-Halter aus Zerodur
- Spezielle Spiegelhalter aus Invar

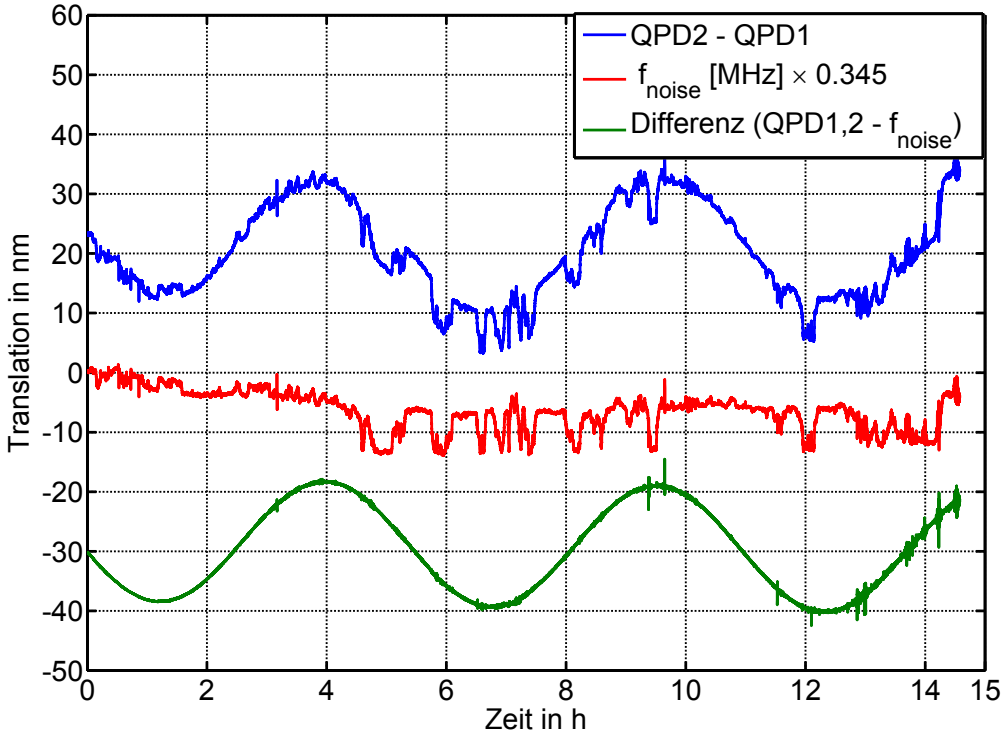




Dilatometrie (3/3)

- Messungen an Zerodur
- DWS-Signale (Verkippungen) werden zur Korrektur der gemessenen Translationswerte benutzt
- Erzielte Genauigkeit in der CTE-Messung: < 10^{-7} K^{-1}

Dargestellt ist in blau (QPD2-QPD1) der Laser mit Frequenzrauschen, in rot das ermittelte Frequenzrauschen und in Grün die Differenz der beiden Graphen QPD2-QPD1 und f_{noise}.



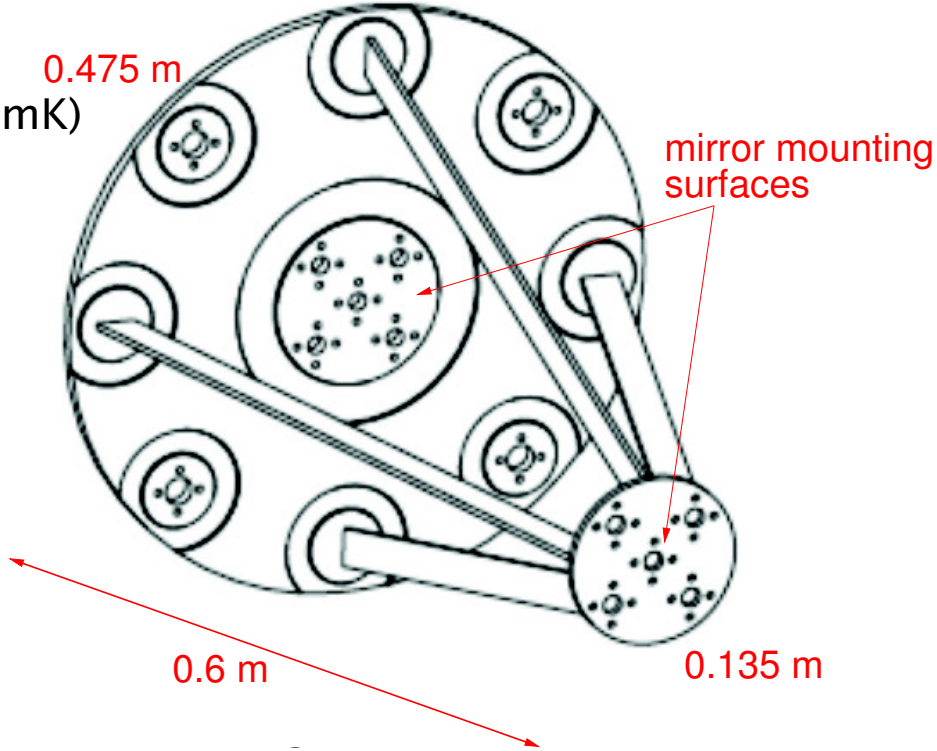
Teleskop Untersuchung (1/5)

Material: SiC

- Hohe Wärmeleitfähigkeit:~200W/(mK)
  Geringer CTE: 2×10−6 K−1
- Wenig Hohlraumeinschlüsse
  Gutes Stabilität-zu-Gewicht Verhältnis

Design: 4 Fuß Struktur

- 4 Streben verhindern Messfehler auf der QPD (Quadranten Foto Diode)
- Abstand zwischen primary und secondary: 0.6 m



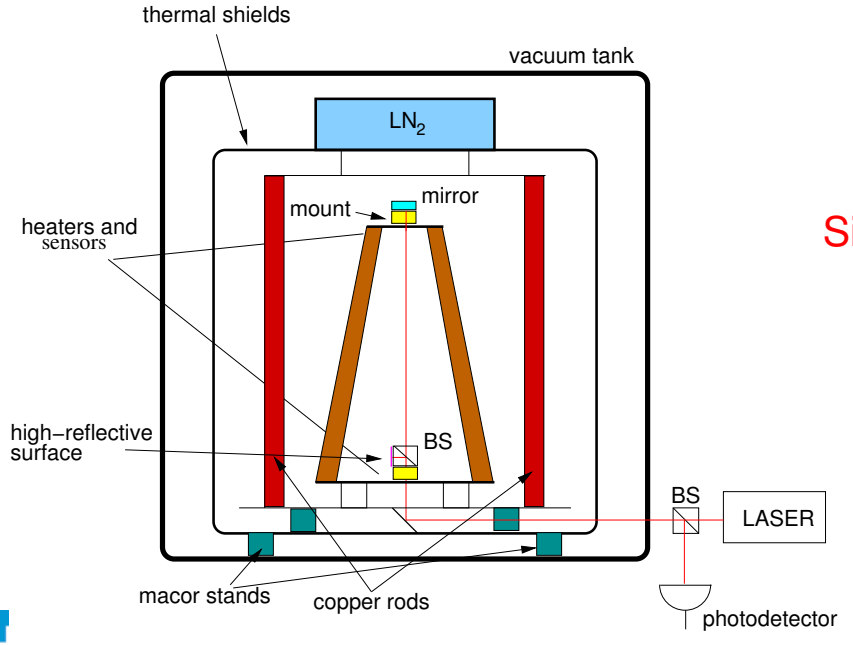
Messungen:

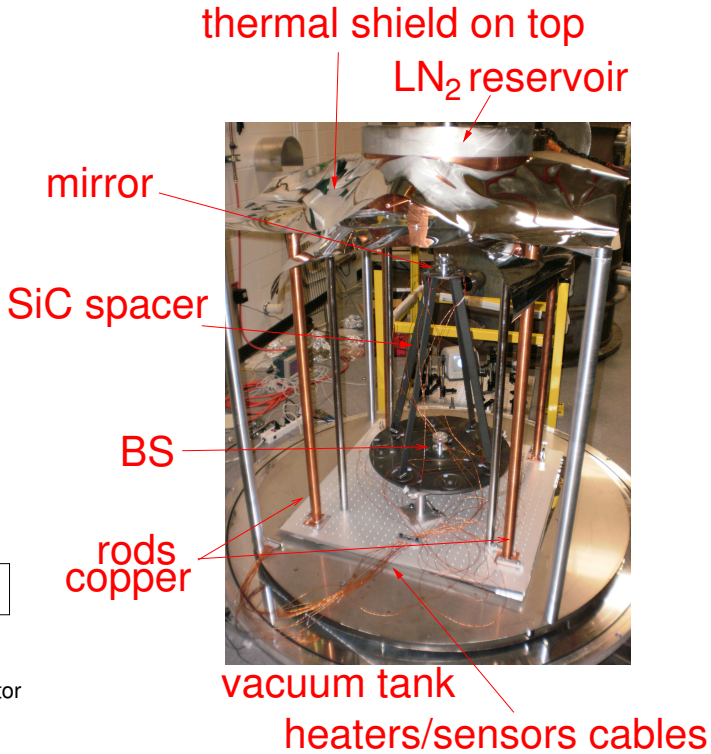
- Zwei Michelson Interferometer zur Messung des CTE (coefficient of thermal expansion) von -70˚C bis RT und eine Cavity (optischem Resonator) zur Stabilitätmessung bei Betriebstemperatur
- Ziel: Demonstration der Stabilität der LISA Anforderungen

Teleskop Untersuchung (2/5)

Tests bei Betriebstemperatur von −70˚C :

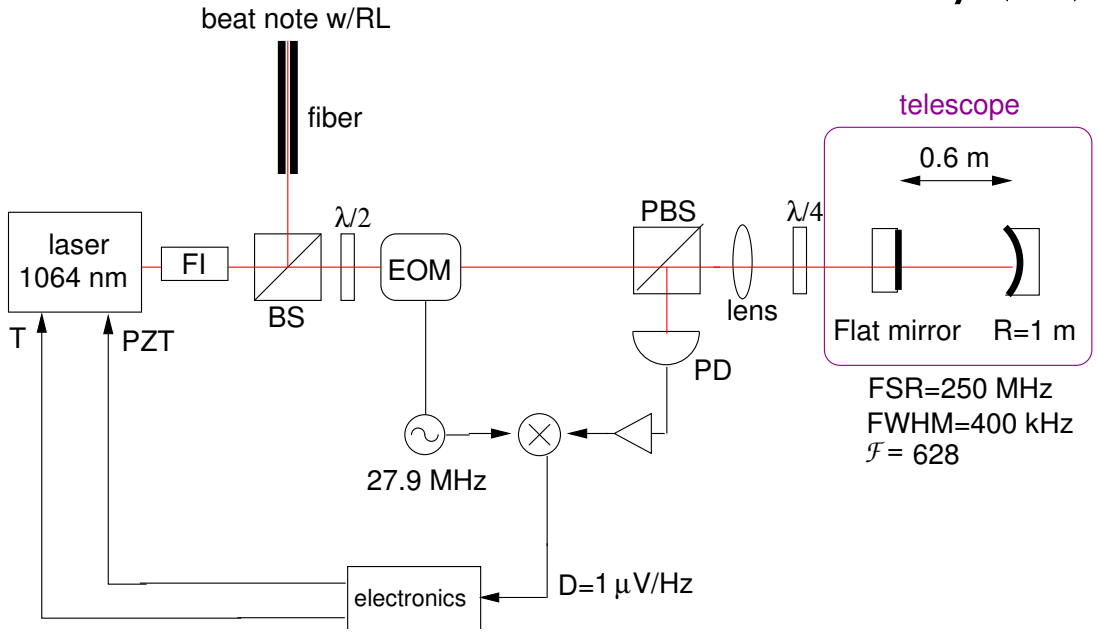
- LN2 Reservoir eingebaut im Vakuum Tank
- Heizelemente und Temperatursensoren für die Regelung der Temperatur im Vakuumtank
- Schwingungsisolierung im Tank zur Verringerung der Vibrationen im Teleskop



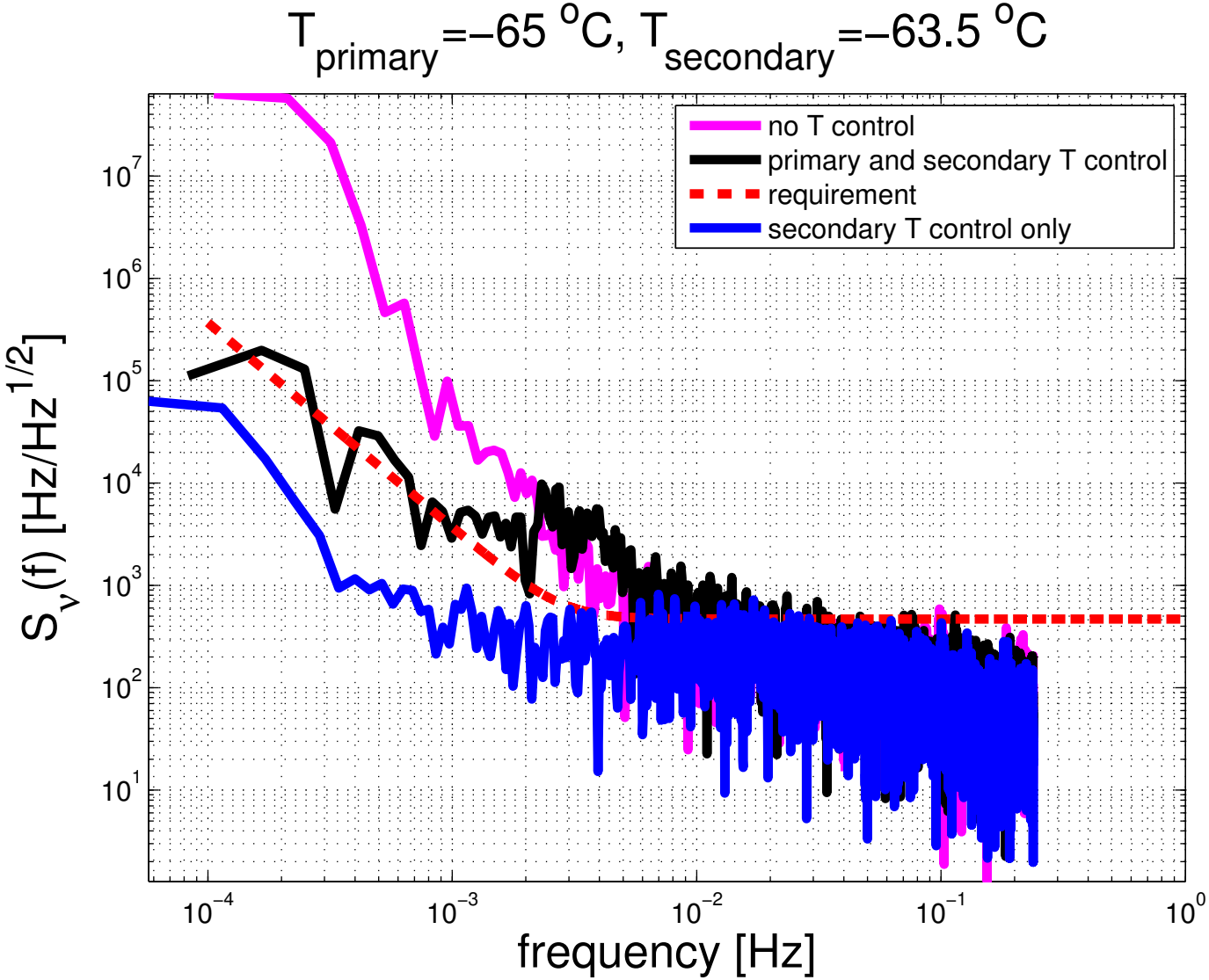


Teleskop Untersuchung (3/5)

- Messung der Stabilität bei -70°C
- Laser wurde auf die Teleskop Cavity gelockt.
- $S_\nu^{1/2}(f)$: Beatnote zwischen Teleskop Laser und einem Laser der zu einer Zerodur-Referenz-Cavity (RL) gelockt ist.

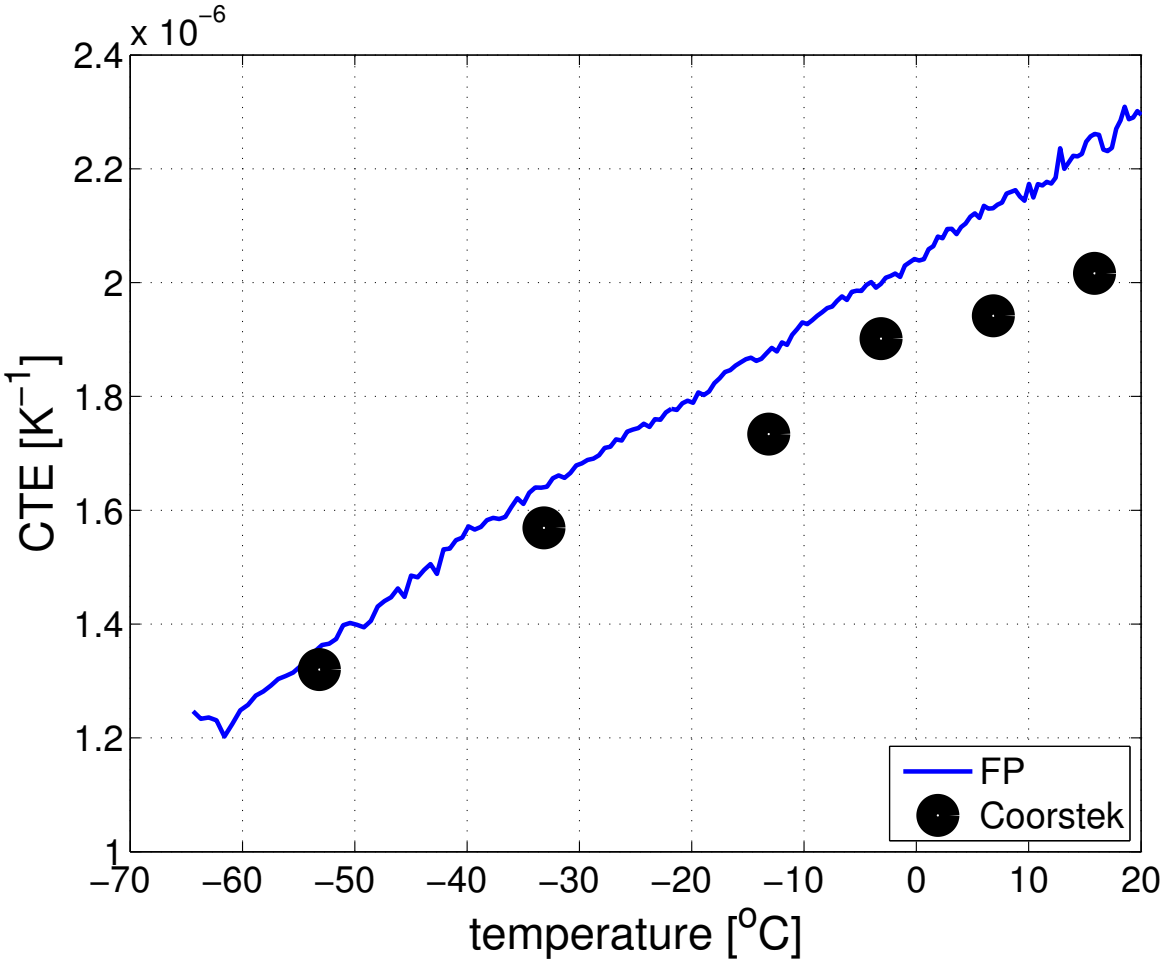


Teleskop Untersuchung (4/5)



Teleskop Untersuchung (5/5)

CTE Messung im Temperatur-bereich von -70°C bis 20°C im Vergleich zur Angabe des Herstellers



Zusammenfassung

- Hochauflösende Interferometrie
  - Integration des Zerodur-Interferometers
  - Erste Charakterisierung des Zerodur-Interferometers
- Profilometer
  - Vermessung einer Referenzfläche
  - Gesteigerte laterale Auflösung auf 15µm
- Dilatometer
  - Neuer Aufbau auf Zerodurbasis
- Untersuchung des SiC Teleskops
  - Aufbau einer Aufhängung zur Minimierung der Vibrationen
  - Messung des CTE und Stabilität bei -70°C (Betriebstemperatur) bis 20°C im Vakuum 10^{-6} Torr

Ausblick

- Hochauflösende Interferometrie
  - Charakterisierung des Zerodur-Interferometers
  - Durchführung von Umwelttests (shaker, thermal,...)
- Aktuierbarer Mikrospiegel zur Strahlfokusierung
  - Realisierung eines Prototypen (Hochschule Furtwangen)
  - Erste Charakterisierungen zur Performance
- Profilometer
  - Integration eines neuen Interferometeraufbaus
- Dilatometer
  - Vergleich unseres Messsystems mit einem geeichten Dilatometer der PTB
  - Charakterisierung von low-CTE Materialen wie Zerodur, Clearceram, CFRP, C-SiC, C/C-SiC,...

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!