

Laserinterferometrie für zukünftige Satellitenmissionen

Alexander Koch¹, Germán Fernández Barranco², Malte Misfeldt², Laura Müller², Vitali Müller², Henry Wegener², Gerhard Heinzel² und Wolfgang Ertmer¹

¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik, Hannover, Deutschland

² Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik, Hannover, Deutschland



Background



Abb. 1: Das Gravitationsfeld der Erde beeinflusst den Abstand der GRACE Follow-On Satelliten

- Hochpräzise **Messungen von Abstandsänderungen** zwischen zwei Satelliten ermöglichen **Rückschlüsse auf das Gravitationsfeld** der Erde
- **GRACE** (2002 – 2017) und **GRACE Follow-On** (2018 – heute):
 - US / Deutsche Kollaboration
 - Low Earth Orbit (LEO) – ca. 450 km
 - Intersatelliten Abstand 170 – 270 km
 - Mikrowellen Instrument auf GRACE und Laser Ranging Interferometer (LRI) als Technologie-Demonstrator auf GRACE Follow-On
 - LRI erreicht ~100pm/rtHz @ 1Hz

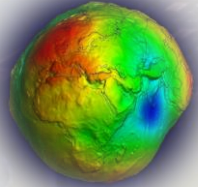


Abb. 2: Darstellung eines Geoids [Quelle: GFZ]

LRI Basics

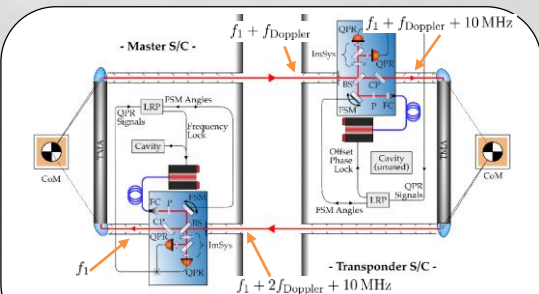


Abb. 3: Schematisches Design des LRI auf GRACE-FO

Basics:

- Heterodyn-Laserinterferometrie zwischen lokalem (~20mW) und empfangenen Laserstrahl (pW – nW)
- „Beatnote“ im MHz Bereich
- 1 Master Satellit und 1 „Active Transponder“

Technologien:

- Laserfrequenz-Stabilisierung mithilfe Fabry-Perot Cavity
- Optoelektronische Signalverarbeitung mit hochpräzisen Quadranten-Photoreceivern bei MHz (InGaAs QPDs + Transimpedanzverstärker)
- Phasenmeter (FPGAs mit MHz Taktrate, rauscharme ADCs, DACs) für
 - Präzise Phasenmessung
 - Offset Frequenzlock
 - Differential Wavefront Sensing (DWS, Hochpräzise Winkelmessung zwischen Laserstrahlen, s. Box rechts)

LRI 2.0

- Im Sommer 2020 wurde **Studie** zu Nachfolgemission für GRACE-FO durchgeführt: **GRACE-I** (GRACE-ICARUS)
- **LRI 2.0 als Haupt-Messinstrument** erfordert neuartiges Redundanzkonzept, inkl.
 - Vollständig redundante Phasenauslesung
 - Redundante Faserauskopplung auf Optische Bank
- Analyse und Trade-Off diverser Technologie-Optionen, z.B.
 - Optisch ausgelesene Inertialsensoren
 - Absolute Abstandsmessung durch Ranging mit PRN Codes und Datenübertragung auf dem Laser Link
 - Dedizierte **Laser Link Akquisitions-Sensoren**
 - Nutzung der LRI Winkelinformationen (Differential Wavefront Sensing) für die Lageregelung der Satelliten
- **Differential Wavefront Sensing (DWS)**
 - Kombination der Phasensignale der einzelnen Segmente einer Quadranten-Photodiode liefert Information über **relative Verkippung** zwischen lokalem und empfangenem Laserstrahl
 - GRACE-FO: Lokaler Laserstrahl wird entlang empfangenen Strahl ausgerichtet
 - Zukünftig: Lokaler Satellit könnte entlang empfangenen Laserstrahl ausgerichtet werden

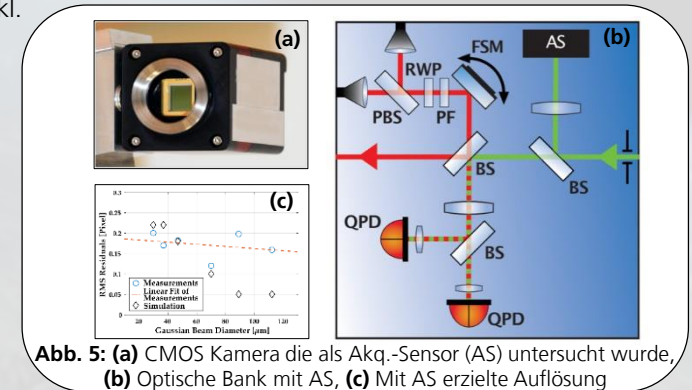


Abb. 5: (a) CMOS Kamera die als Akq.-Sensor (AS) untersucht wurde, (b) Optische Bank mit AS, (c) Mit AS erzielte Auflösung

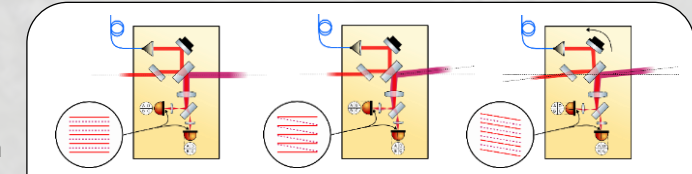


Abb. 6: Schematische Darstellung der Ausrichtung des Winkels des lokalen an den empfangenen Laserstrahl mithilfe der DWS Technologie