

Entwicklung eines neuen bodengebundenen Infrarotspektrometers für das *Network for the Detection of Mesospheric Change*

J.Stehr*, P. Knieling*, F. Olschewski*, M. Kaufmann**, K. Mantel***, R. Koppmann*

* Institut für Atmosphären- und Umweltforschung, Bergische Universität Wuppertal

** Institut für Energie- und Klimaforschung, FZ Jülich

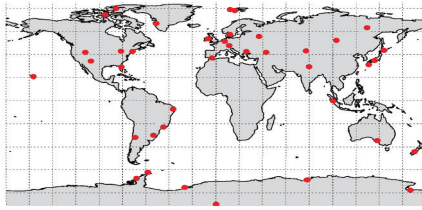
*** Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts, Erlangen

gstehr@uni-wuppertal.de

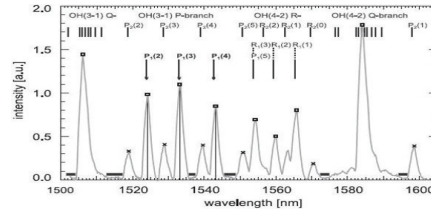


**MAX-PLANCK-INSTITUT
für die Physik des Lichts**

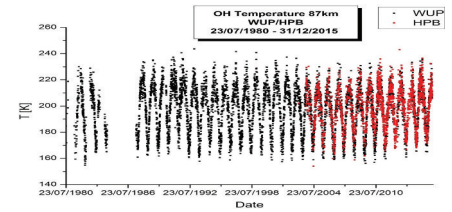
NETWORK FOR THE DETECTION OF MESOSPHERIC CHANGE (NDMC)



Observatorien des NDMC Quelle: NDMC, 2009



NIR-Spektrum der OH*-Schicht in 87 km Höhe. Quelle: C.Schmidt, 2013



Temperaturverlauf der Mesopause über 30 Jahre

- Globales Netzwerk bodengebundener Messstationen
- Beobachtung des Mesopausenbereichs (80-100 km)
- Überwachung von Schlüsselparametern (z.B. Temperatur)
- Früherkennung von Klimasignalen
- Validierung von Satellitenexperimenten

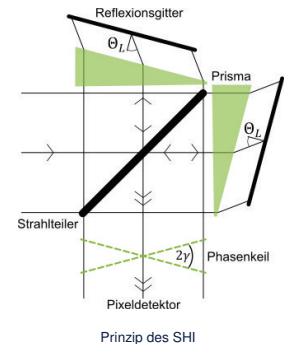
- 30 Jahre Temperaturmessung in Wuppertal
- Ground-based Infrared P-Branch Spectrometer (GRIPS)
- Messung der P₁ Emissionslinien (≈ 1550 nm) der OH*-Schicht in ≈ 87 km Höhe
- Temperaturableitung aus den relativen spektralen Intensitäten

NEUES REFERENZMESSGERÄT: GRIPS-HETERODYNE INTERFEROMETER

ANFORDERUNGEN

- Hochgenaues Interferometer zur weltweiten Kalibrierung vorhandener GRIPS-Geräte
 - Spektroskopischer Messbereich zwischen 1520 nm und 1550 nm
 - Identifikation von Temperaturtrends auf langen Zeitskalen (1K/Dekade)
 - Bestimmung der relativen spektralen Intensitäten mit einer Unsicherheit unter 0,5 %
 - Spektrale Auflösung $\frac{\lambda}{\Delta\lambda} \geq 6000$
 - Vermeidung maßgefertigter Bauteile
- ⇒ Infrarot-Fourier-Spektrometer auf Basis eines SHI (Spatial Heterodyne Interferometer)

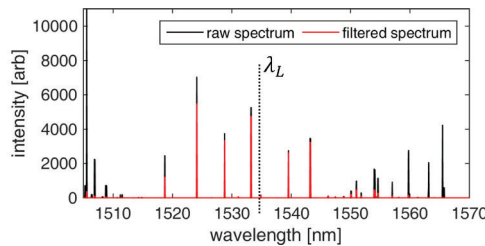
- Littrow-Anordnung der Gitter für eine spezifische Littrow-Wellenlänge λ_L
- Für $\lambda \neq \lambda_L$: $\gamma \neq 0$
 $\sin \Theta_L + \sin(\Theta_L - \gamma) = \frac{m\lambda}{d}$
- Fizeau-Streifenfrequenz:
 $f \approx 4 \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_L} \right) \tan(\Theta_L)$
- Spektrale Auflösung R:
 $R(\lambda) = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{4W}{\lambda} \sin(\Theta) = \frac{2W\lambda_L}{d\lambda}$
- Feldweitung durch Keilprismen



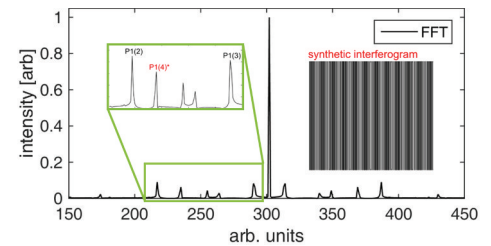
Θ_L : Littrow-Winkel, γ : Phasentilt für $\lambda \neq \lambda_L$,
 d : Gitterkonstante, W : Gitterbreite, $m = 1$: Beugungsordnung

SPEZIFIKATION UND SIMULATION

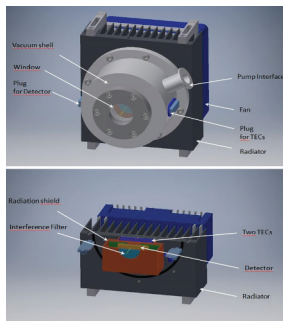
- $\lambda_L = 1534,7 \text{ nm}$
- Bandpassfilter 30 nm FWHM (Omega Optical)
- 2" NIR-Strahlteiler (Newport)
- 2" Holographische Gitter, $d = 5 \mu\text{m}$ (Shimadzu)
- Effektive Gitterfläche: 9 cm^2
- Akzeptanzwinkel am Gitter: $7,5^\circ$ (Halbwinkel)
- Maximale Auflösung: $\frac{\lambda}{\Delta\lambda} \approx 12000$



Simuliertes Emissionsspektrum (T = 200 K) / Spektrum nach Bandpassfilter



Rekonstruktion des Emissionsspektrums aus einem simulierten Interferogramm



Vakuümgehäuse des InGaAs Detektors

- InGaAs Pixeldetektor (SWIR)
- Cardinal 640 (SCD / Israel)
- Format: 640 x 512
- Pixelgröße: 15 μm
- Arbeitstemperatur: -40°C (Peltierkühlung)
- Dunkelstrom: $60 \frac{e^-}{\text{pix} \cdot \text{s}}$
- Interferenzfilter (gekühlt) zur Unterdrückung der thermischen Hintergrundstrahlung
- Unter Vakuum betrieben

GRIPS-HI



Skizze eines monolithischen SHI

- Vorteile des Michelson-Interferometers
- Hohe Auflösung in einem schmalen Wellenlängenbereich
- Ortsaufgelöste Messung der Mesopausentemperatur
- Ortsauflösung kleiner als 2 km
- Monolithische Bauweise
- Gesamtgröße: 70 mm x 70 mm x 70 mm
- Referenzierung europaweit vorhandener GRIPS Geräte ab 2020

[1] NDMC, Poster: *the network for the detection of mesopause change*, https://ndmc.dlr.de/sites/wdc.dlr.de/ndmc/files/documents/ndmc_poster_dinA0_6apr.pdf, 2009

[2] C. Schmidt, *A ground-based spectrometer equipped with an InGaAs array for routine observations of OH(3-1) rotational temperatures in the mesopause region*, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 102, 125 - 139, 2013

[3] J.M. Harlander et al., *Spatial heterodyne spectroscopy: Interferometric performance at any wavelength without scanning*, ProQuest Dissertations and Theses, 1991