EUROPÄISCHE LIDAR-MISSIONEN ZUR ERDBEOBACHTUNG
STATUS UND AUSBLICK

Benjamin Witschas

Europäische bestehende und ausgewählte Lidar-Satellitenmission zur Erdbeobachtung

Aeolus (2018)
Wettervorhersage, Dynamik

esa
European Space Agency

EarthCARE (2023)
Aerosole, Wolken, Strahlung

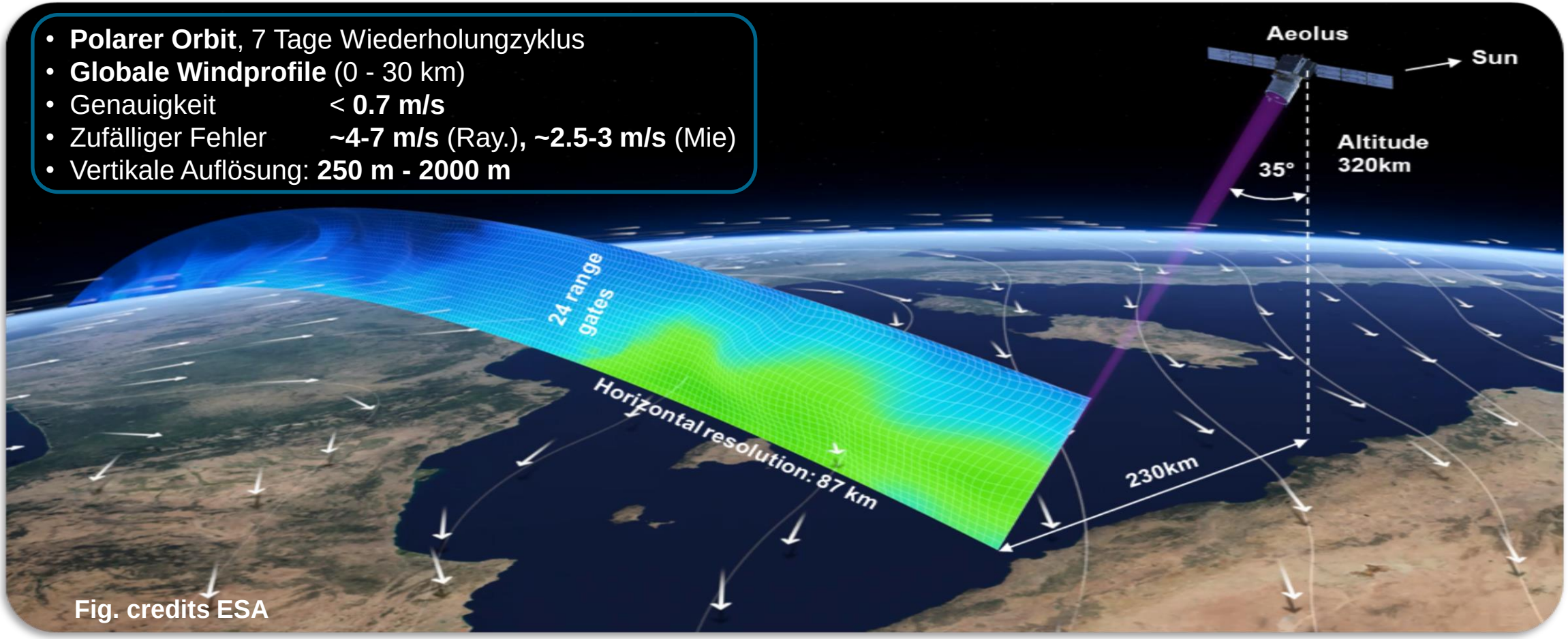
esa
European Space Agency
JAXA

MERLIN (2028)
Treibhausgase, Klima

DLR
cnes

ESA‘s Aeolus Mission
ALADIN – der erste satellitengestütze Windlidar

- Vor dem Start von Aeolus war die Datenlage vom atmosphärische Windfeld unzureichend
  → präzise Windmessung notwendig zur **Verbesserung der numerischen Wettervorhersage**

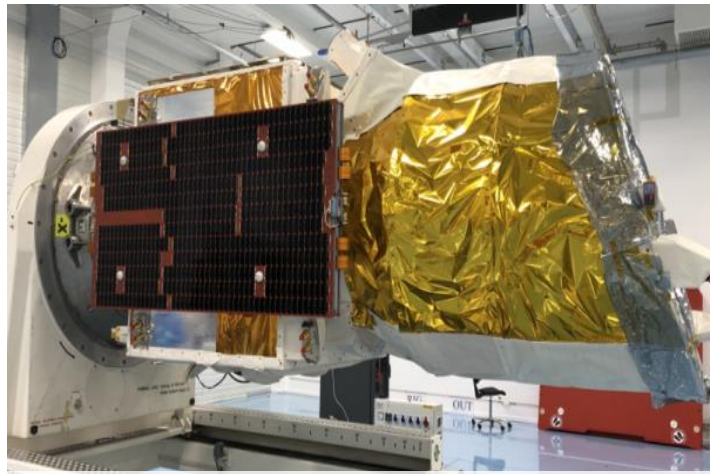


- **Polarer Orbit**, 7 Tage Wiederholungzyklus
- **Globale Windprofile** (0 - 30 km)
- Genauigkeit < **0.7 m/s**
- Zufälliger Fehler **~4-7 m/s** (Ray.), **~2.5-3 m/s** (Mie)
- Vertikale Auflösung: **250 m - 2000 m**

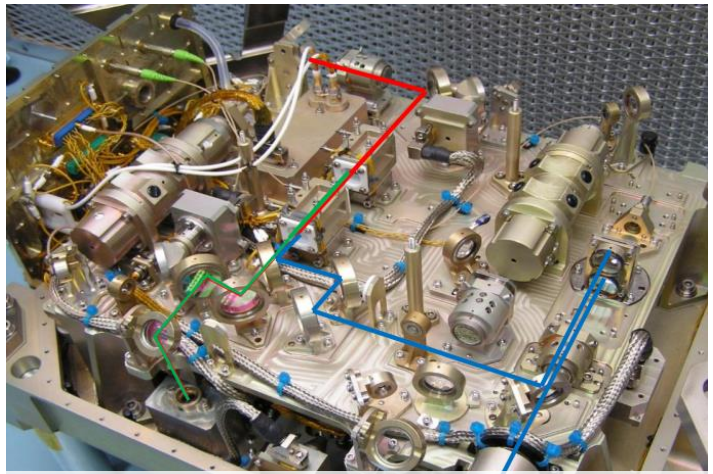
Fig. credits ESA

References: ESA, 1999 - The four candidate earth explorer core missions, Reitebuch et al., J-TECH, 2009

ESA‘s Aeolus Mission
Eine technologische Herausforderung



Aeolus satellite



ALADIN laser transmitter

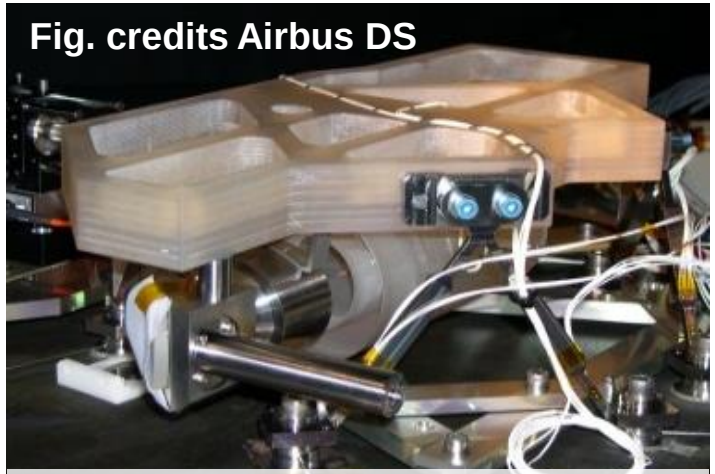
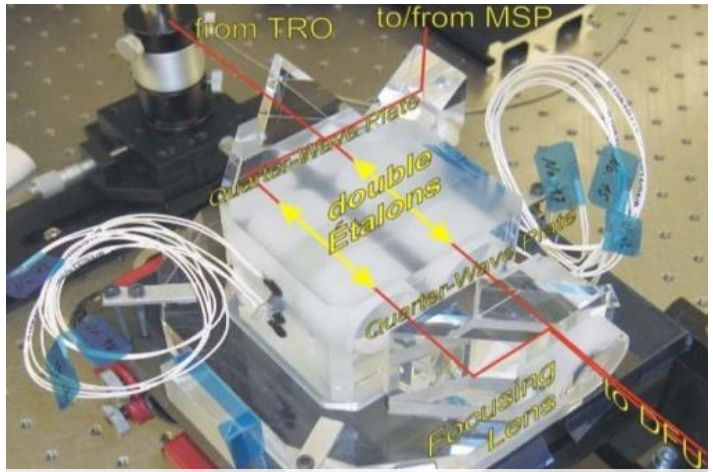


Fig. credits Airbus DS

Mie spectrometer



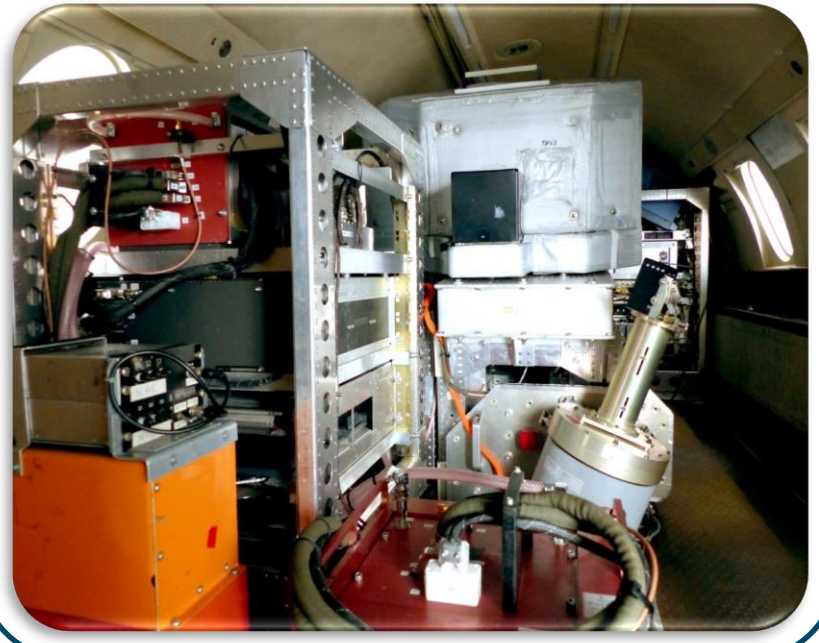
Rayleigh spectrometer

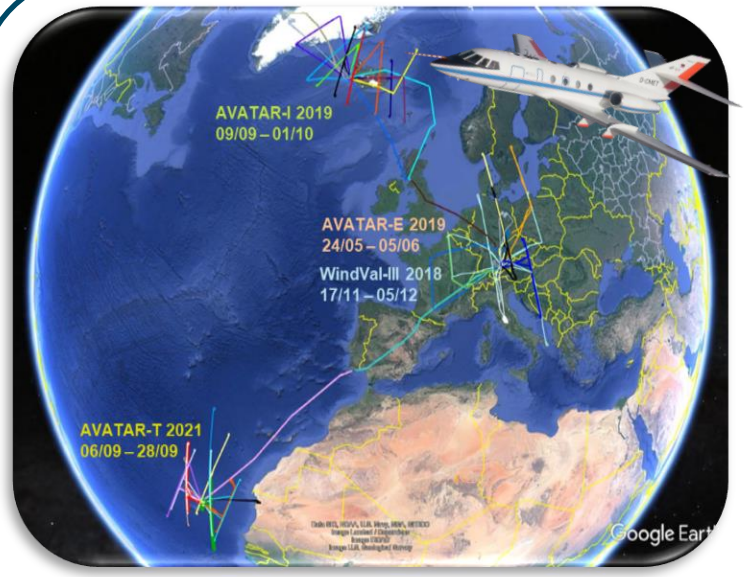
- **Erste europäische Lidarmission** nach 20 Jahren herausfordernder Entwicklung
- Weltweit **erste Windlidar-Mission**
- **Erster leistungsstarker UV-Laser im All,** mit höchsten Anforderungen an die Frequenzstabilität
- **Komplexe und neuartige Technologien**
  → Validierung der Funktionalität in Real-bedingungen notwendig

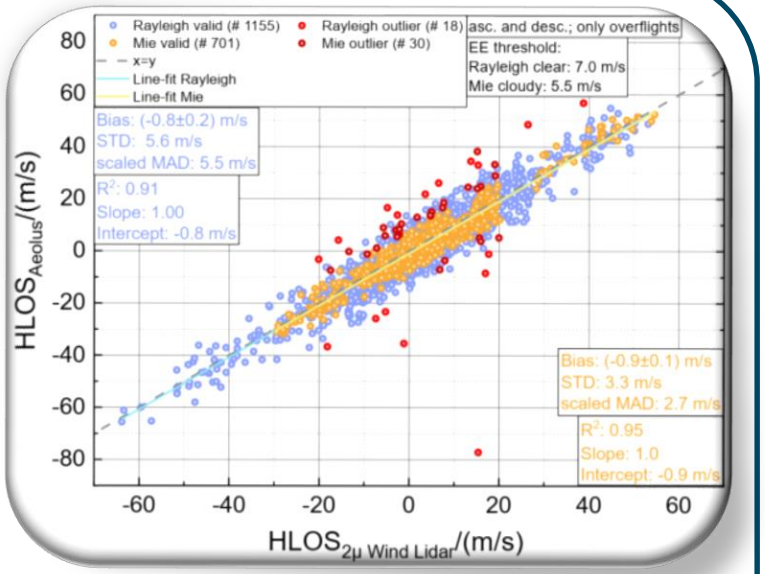
References: ESA, 1999 - The four candidate earth explorer core missions, Reitebuch et al., J-TECH, 2009

Aeolus Validierungaktivitäten des DLR‘s
Pre- und post-launch Unterstützung für Aeolus

Aeolus CalVal Nutzlast auf Falcon: Der Aeolus Airborne Demonstrator (A2D) + Referenz-lidar **seit 2009 im Einsatz**







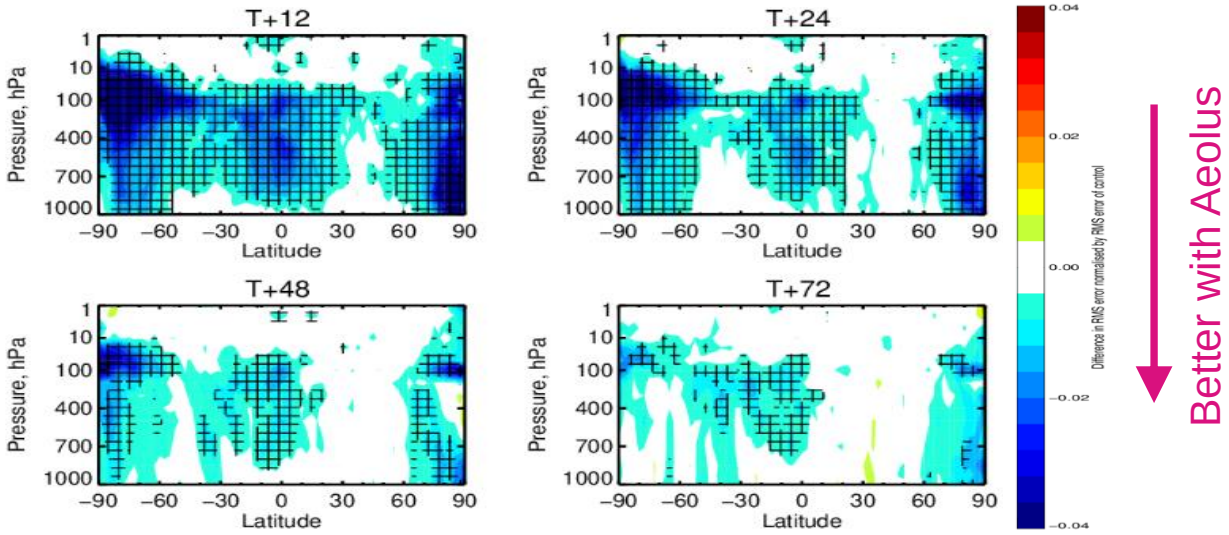
- Flugzeugkampagnen **seit 2009**
- 4 Validierungskampagnen (2018-2021)
  - 52 Forschungsflüge
  - **>26000 km unter Aeolus**

- Aeolus Performance-Validierung unter verschiedenen Bedingungen
- Mehr als **150 Empfehlungen an ESA** basierend auf **Pre-Launch** Aktivitäten (Instrument und Algorithmen)

References: Witschas et al., AMT, 2019/2021/2022, Lux et al., AMT., 2019/2021/2022

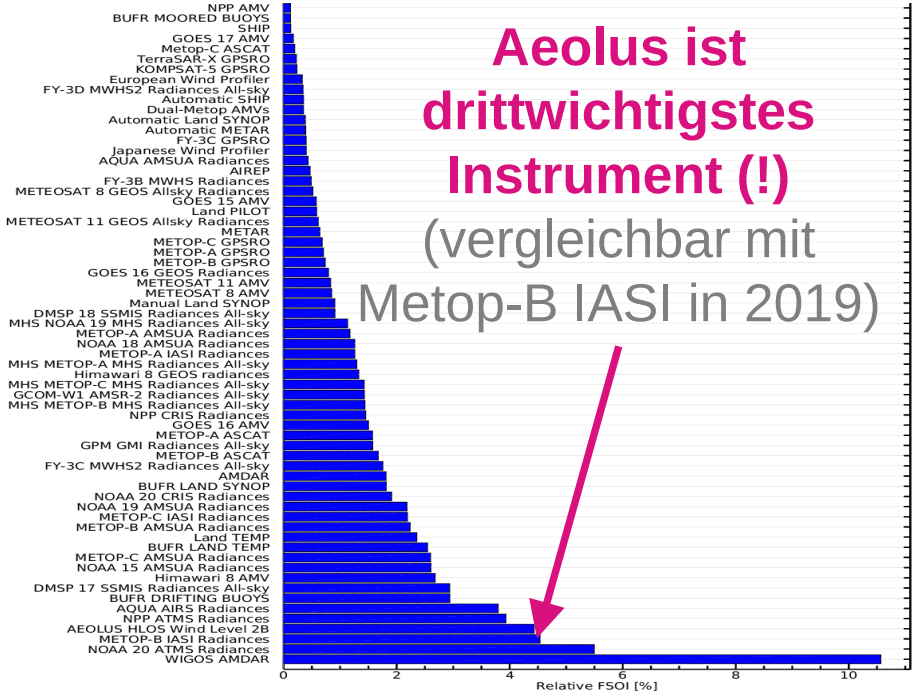
Signifikante Verbesserung der numerischen Wetter-vorhersage durch Aeolus Daten → Missionsziel erreicht

April to September 2020 NRT data
Observing System Experiment



- Signifikanter, positiver Einfluss in der **tropischen** und **polaren Troposphäre**, und unteren Stratosphäre
- **Gilt auch für Temperatur und Feuchte**

Relative Forecast Sensitivity Observation Impact (FSOI) split by instruments



Aeolus ist drittwichtigstes Instrument (!)
(vergleichbar mit Metop-B IASI in 2019)

- Die Funktionalität hochkomplexer Lidar-Technologie in Space wurde demonstriert
- Die positive Einfluss auf die Wettervorhersage wurde gezeigt (ECMWF, DWD, Meteo France)

Europäische bestehende und ausgewählte Lidar-Satellitenmission zur Erdbeobachtung

Aeolus (2018)
Wettervorhersage, Dynamik

esa
European Space Agency

EarthCARE (2023)
Aerosole, Wolken, Strahlung

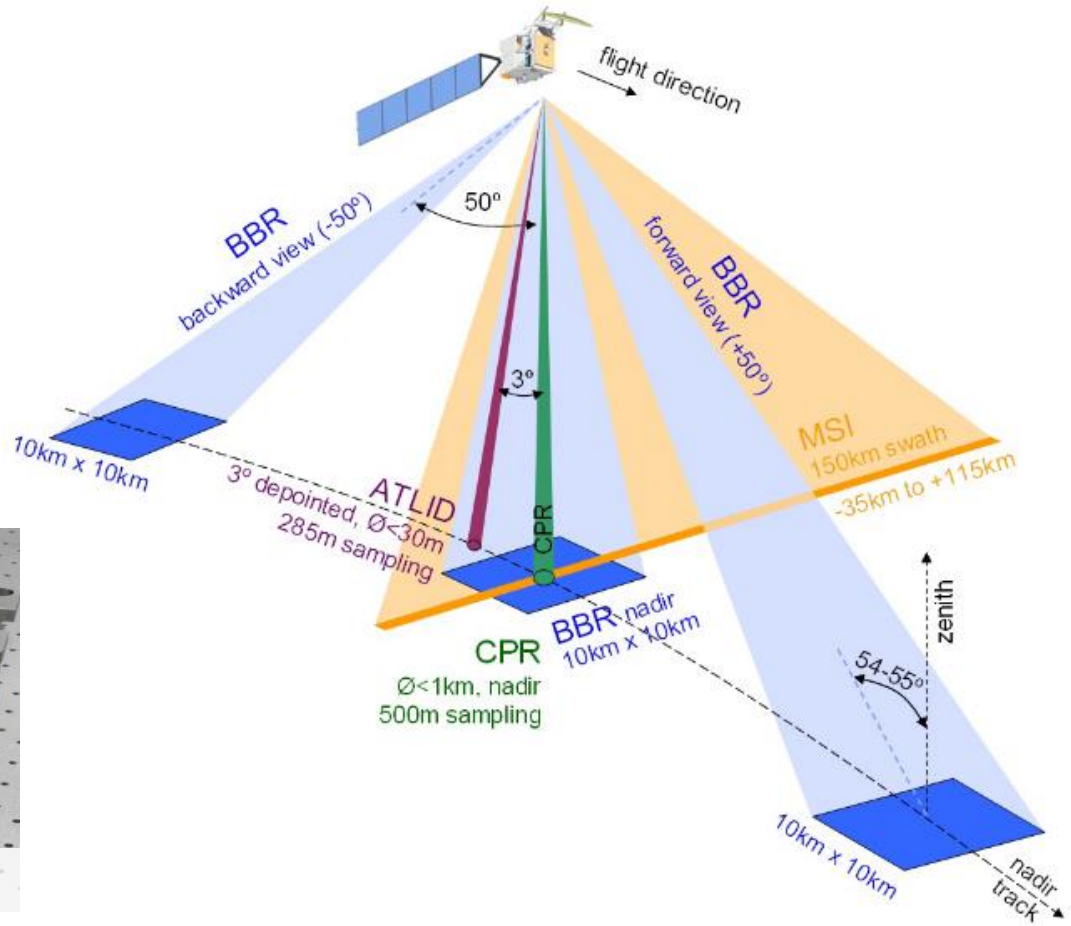
esa
European Space Agency
JAXA

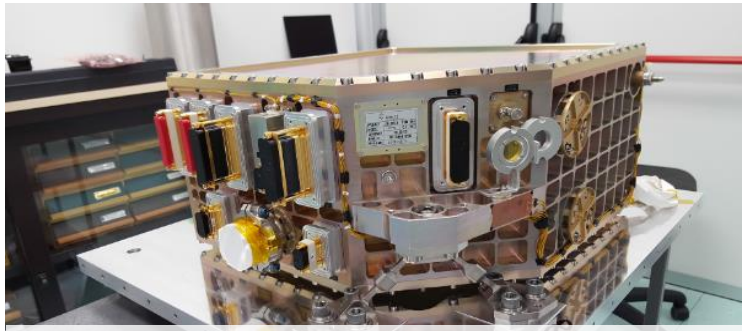
MERLIN (2028)
Treibhausgase, Klima

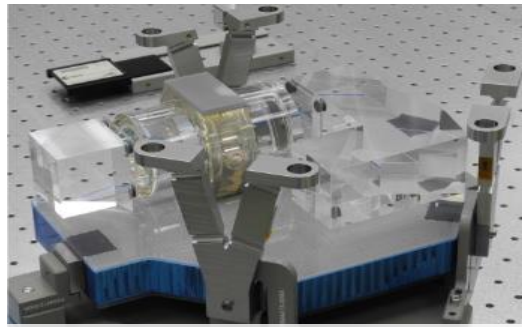
DLR
cnes

EarthCARE Mission by ESA and JAXA
The Earth Clouds Aerosols and Radiation Explorer

- Charakterisierung der optischen Eigenschaften von Aerosolen und Wolken und deren Einfluss auf Strahlung in der Erdatmosphäre
  → **Besseres Prozessverständnis für bessere Klima- und Wettermodelle**.
- Instrumentierung: Spektral hochauflösendes **Lidar**, Wolkenradar, Multi-Spektral Imager, Radiometer



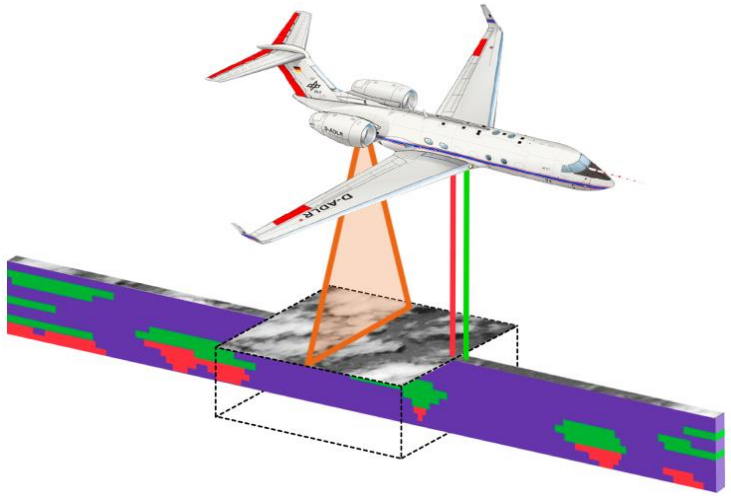

EarthCARE laser transmitter


Spectrometer

- Optimierung der EarthCARE Payload durch Aeolus Heritage → z.B. Laser in bedrucktem Gehäuse

Vorbereitung der EarthCARE Mission
Wolkenphysikalische Eigenschaften aus Lidar/Radar-Messungen

EarthCARE Demonstrator-Nutzlast auf HALO

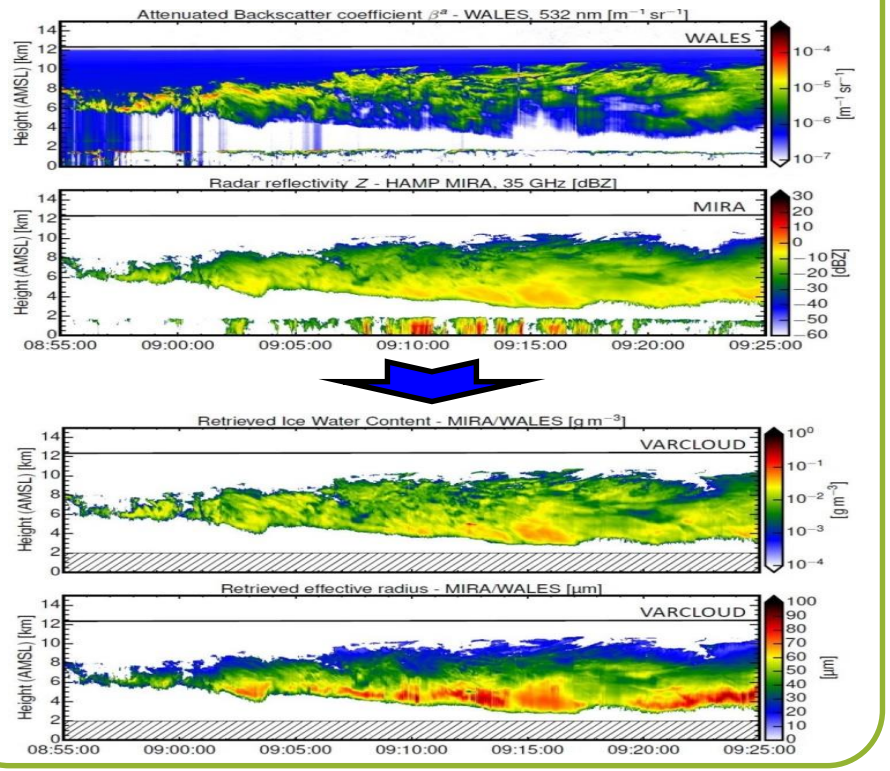


WALES (HSR-Lidar)
- Partikelkonzentration
- Wolkenoberkanten
- Wasserdampf DIAL

HAMP (Wolkenradar)
- Partikelgröße
- Dringt in Wolken ein
- Dopplergeschwindigk.

Lidar/Radar-Synergie zur Ableitung wolkenphysikalischer Parameter

Lidar/Radar-Synergiealgorithmen NAWDEX 2016, Island



- Technologie-Demonstration und Algorithmenentwicklung- und Validierung basierend auf realen Daten

References: Schäfler et al., BAMS, 2018, Ewald et al., AMT, 2019/2021, Cazenave et al., AMT, 2019

Europäische bestehende und ausgewählte Lidar-Satellitenmission zur Erdbeobachtung

Aeolus (2018)
Wettervorhersage, Dynamik

esa
European Space Agency

EarthCARE (2023)
Aerosole, Wolken, Strahlung

esa
European Space Agency
JAXA

MERLIN (2028)
Treibhausgase, Klima

DLR
cnes

Die Klimamission MERLIN
IPDA Lidar zur globalen Messung von Methan

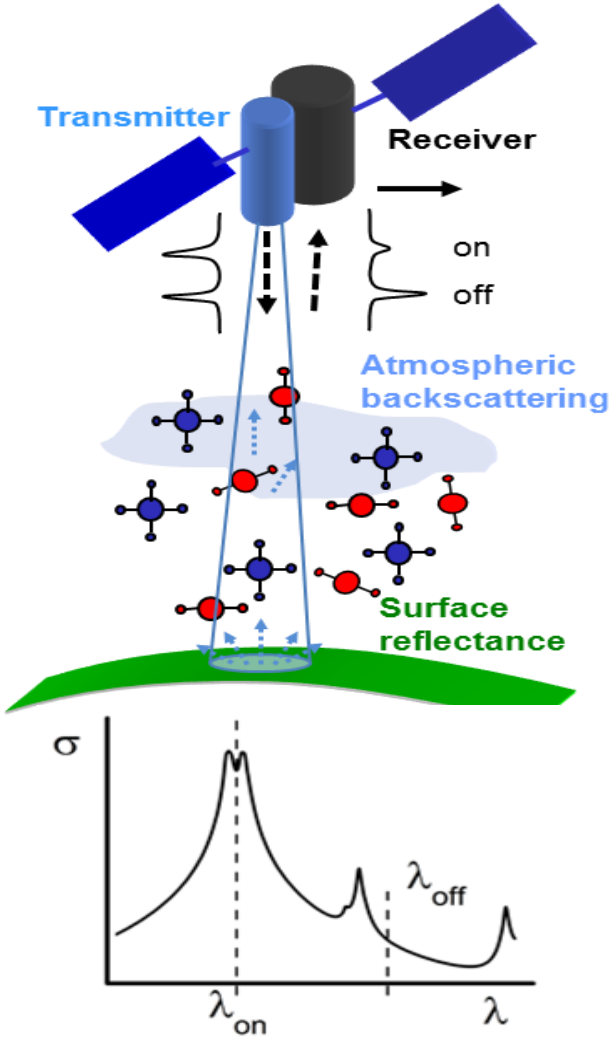
- Methan ist **28-mal klimawirksamer** als CO2 (über ~100 Jahre)
- Methan trägt **~ 25%** zur anthropogenen Klimaerwärmung bei
- Das Wissen über Methanquellen- und Senken ist unvollständig
  → **Deutsch-französische Klimamission MERLIN**

Missionsziele:

- IPDA Lidar zur Messung der Säulenkonzentration von Methan
- **Systematischer/Zufälliger Fehler: 1.8 ppb/18 ppb**
- Horizontale Auflösung: 10 – 50 km
- Tag- und Nachmessungen in allen Breiten und Jahreszeiten
- Messungen auch bei durchbrochener Bewölkung möglich

Spezifikationen:

- Launch: **2028**, Mission: **3 Jahre**, Orbit: **500 km** (Dusk-dawn),

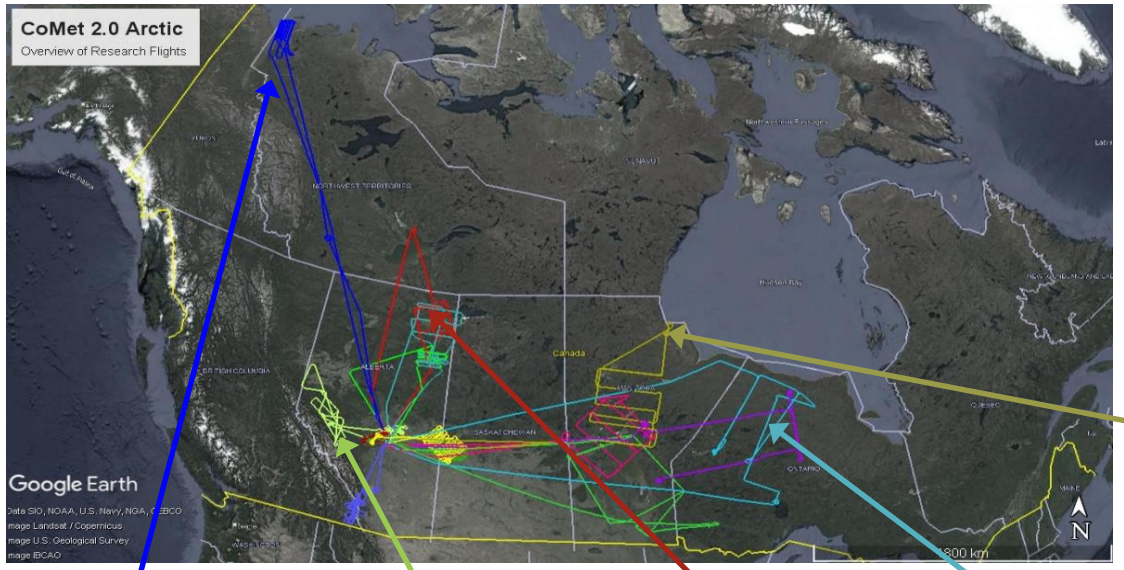


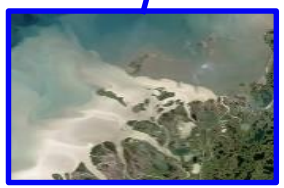
References: Ehret et al., Remote Sensing, 2017, Amediek et al., Appl. Opt., 2017, Bousquet et al., JGR, 2018

Vorbereitung der MERLIN Mission am DLR
CoMet 2.0 Arctic (Carbon Dioxide and Methane Mission)

- **Flugkampagne** (Aug/Sept 2022, Edmonton, Kanada) mit HALO (DLR, Uni-Bremen, MPI, LMU)
- **CHARM-F** als MERLIN Demonstrator + Dropsonden + passive- und in-situ Instrumente

MERLIN
Demonstrator
CHARM-F auf Halo



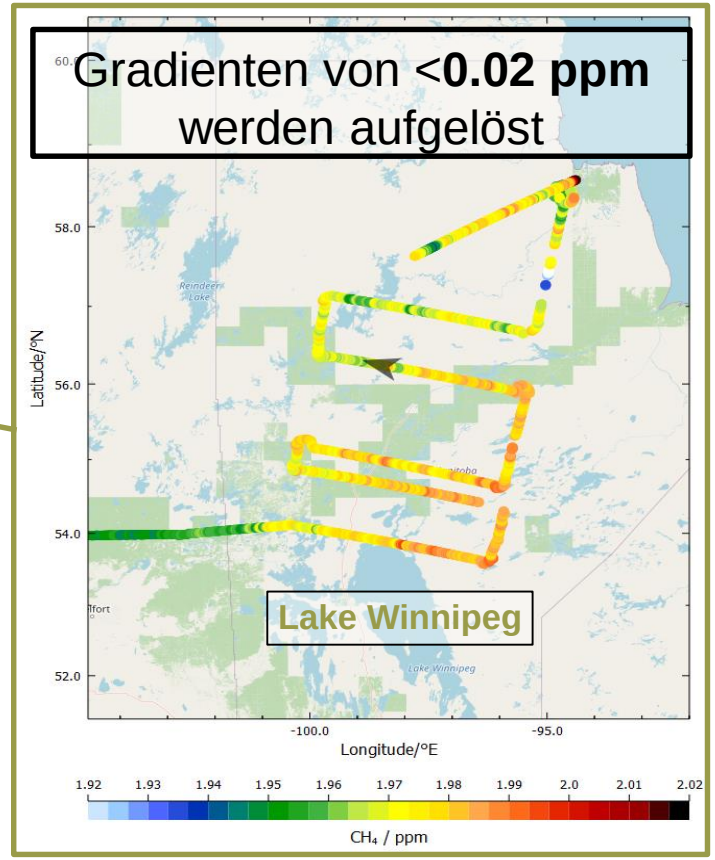


McKenzie River Delta

Anthropogene Quellen
(Gas, Öl, Kohle)

Athabasca Peace River Delta

Hudson Bay Lowlands



References: Ehret et al., Remote Sensing, 2017, Amediek et al., Appl. Opt., 2017, Bousquet et al., JGR, 2018

Zusammenfassung

- Mit **Aeolus** im All und den geplanten Mission **EarthCARE** und **MERLIN** hat Europa eine führende Rolle in der Lidar-Erdbeobachtung.
- Durch erfolgreiche **Aeolus**-Mission wurde die **Funktionalität hochkomplexer Lidar-Technologie** in Space **demonstriert** und ebnet den Weg für anstehende Missionen.
- **Flugzeug-Demonstratoren** tragen gerade bei komplexen Lidar-Missionen zu einer erfolgreichen Durchführung bei (**sowohl vor- als auch nach Missionsstart).**
- **EarthCARE** ist startbereit (Verzögerung wegen Launcher-Verfügbarkeit)
- Neben EarthCARE und MERLIN wird derzeit intensive über eine **Aeolus Nachfolge-Mission** diskutiert (ESA + EUMETSAT)
  - 2 baugleiche Satelliten (á 5 Jahre) mit „modifizierter“ Aeolus Technologie und einem geplanten Starttermin 2030+