



Validierung der Wind- und Aerosolprodukte der europäischen Satellitenmission Aeolus und Assimilationsexperimente mit numerischen Modellen zur Wettervorhersage

Alexander Geiß¹, Anne Martin¹, Holger Baars², Ulla Wandinger², Alexander Cress^{3a}, Ronny Leinweber^{3b},
Volker Lehmann^{3b} und viele mehr

- 1) Ludwig-Maximilians-Universität, Meteorologisches Institut, München
- 2) Leibniz-Institut für Troposphärenforschung, Leipzig
- 3) Deutscher Wetterdienst, Offenbach^a und Observatorium Lindenberg^b

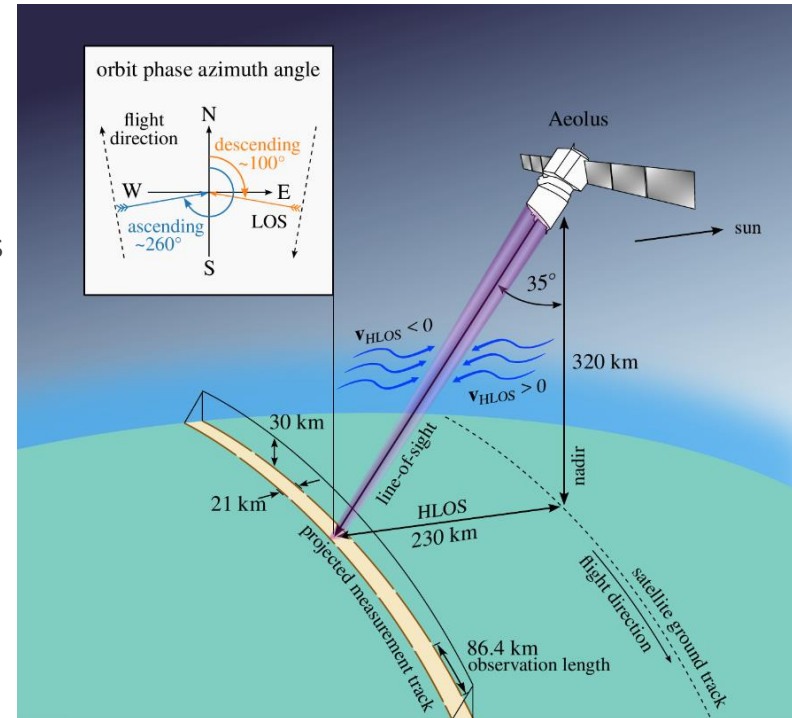


4. Symposium „Neue Perspektiven der Erdbeobachtung“
26.-28. Juni 2023, Bonn



Aeolus – erstes Doppler-Windlidar im Weltraum

- Earth Explorer Mission der Europäischen Raumfahrtbehörde ESA als Teil des Living Planet Programms
- Gestartet am 22. August 2018, letzte Windmessungen Mai 2023
- Polarumlaufender, sonnensynchroner Orbit, 7 Tage Wiederholzyklus
- Instrument: ALADIN Windlidar bei einer Wellenlänge von 355 nm
- Streuung an Luftmolekülen (Rayleigh), Aerosolen und Wolkenpartikeln (Mie)
- Liefert neben globalen, höhenaufgelösten Winddaten (HLOS) auch Wolken- und Aerosolprodukte also Spin-Off Produkt
- Winddaten füllen eine Lücke im globalen Beobachtungssystem
→ wurden von vielen Wetterzentren operationell assimiliert
- **Validierung des Satelliteninstruments war und ist essentiell**



Schematische Darstellung der Messgeometrie von Aeolus (Geiß et al., 2024, in Vorbereitung)

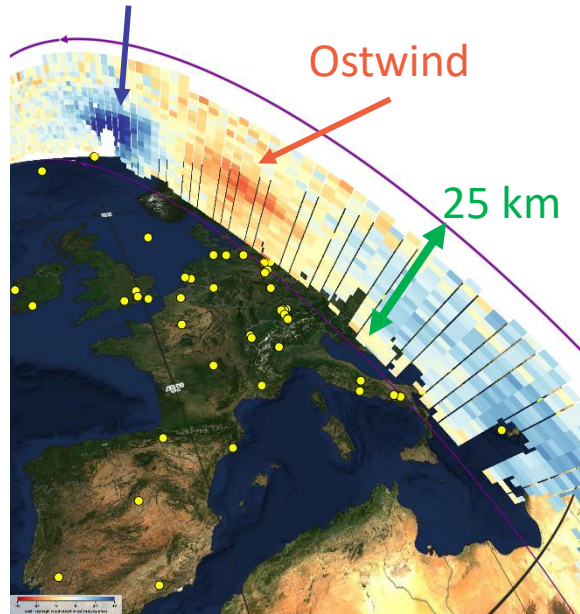
Aeolus – Produktübersicht mit Visualisierungen von <https://aeolus.services/>

Rayleigh-Winde

Westwind

Ostwind

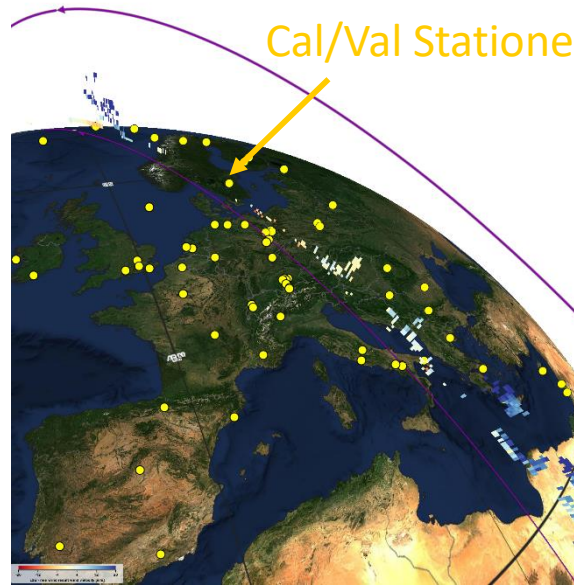
25 km



Mie-Winde

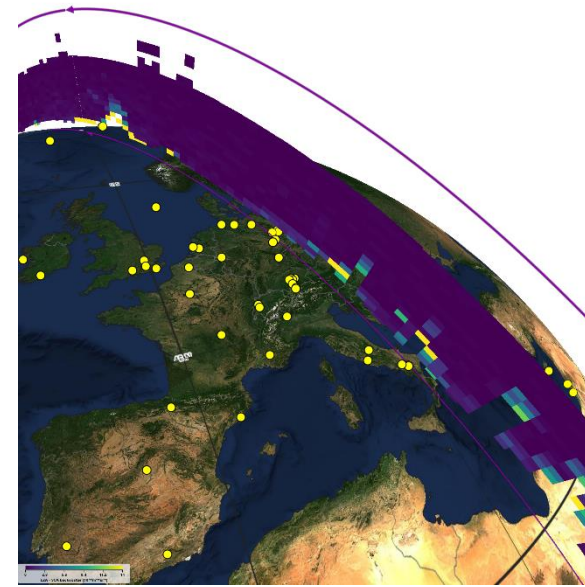
Nur wo Wolken präsent

Cal/Val Stationen



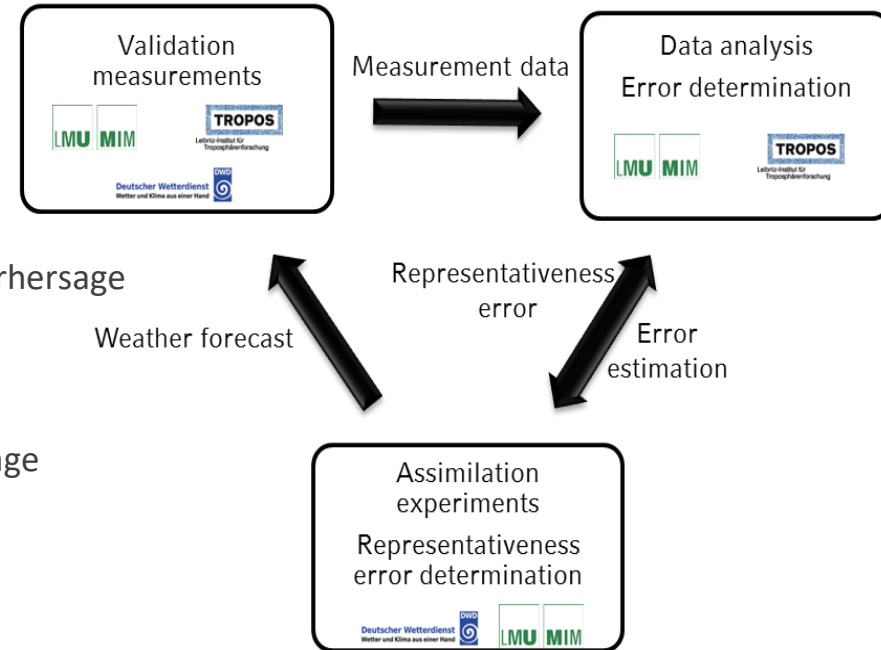
Partikel-Rückstreuungskoeffizient

Bei Aerosol- und Wolken



EVAA – Experimentelle Validierung und Assimilation von Aeolus-Beobachtungen

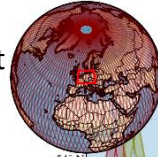
- Deutscher Beitrag zur Validierung und Nutzung der Wind- und Aerosolprodukte von Aeolus
- Offiziell bestätigtes ESA Cal/Val Team
- Validierung der Aeolus-Produkte mit
 - Radar-Windprofiler Netzwerk des DWD
 - Radiosonden und numerischen Modellen zur Wettervorhersage
 - Windlidar und Doppler-Wolkenradar
- Unterstützung der Flugmesskampagnen des DLR
- Impakt-Abschätzung der Aeolusdaten für die Wettervorhersage
 - Assimilationsexperimente
- Validierung des Aeolus Aerosolprodukts mit
 - PollyXT Aerosollidar an verschiedenen Standorten



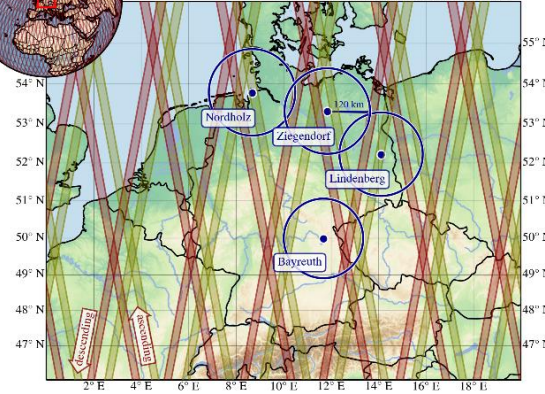
Troposphärischer Radar-Windprofiler und ALADIN

Troposphärischer Radar-Windprofiler als ideales Referenzgerät

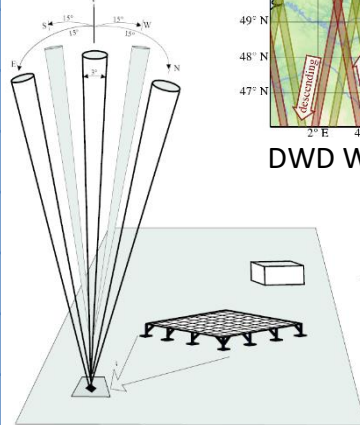
Aeolus	RWP (482 MHz)
Abdeckung/Wind in	
Partikel / klare Luft	Partikel / klare Luft
Vertikale Entfernung	
0 – 30 km	Bis zu 16 km
Vertikale Auflösung	
250 – 2000 m	<330 m
Zeitlich-räumliche Auflösung	
90 km oder weniger	15 min – 30 min
Windkomponenten	
HLOS	u, v, (w)



- Radar wind profiler
- Weekly Aeolus orbits ANX2.0 since 21.06.21
- Weekly Aeolus orbits ANX4.5 until 17.06.21

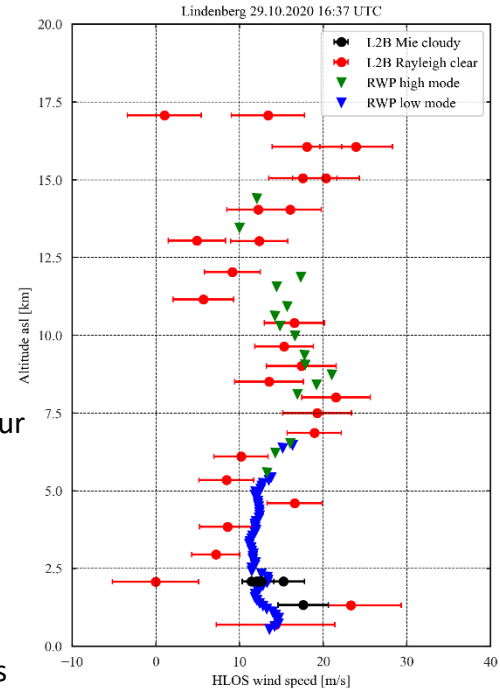


DWD Windprofiler und Aeolus-Bodenspur



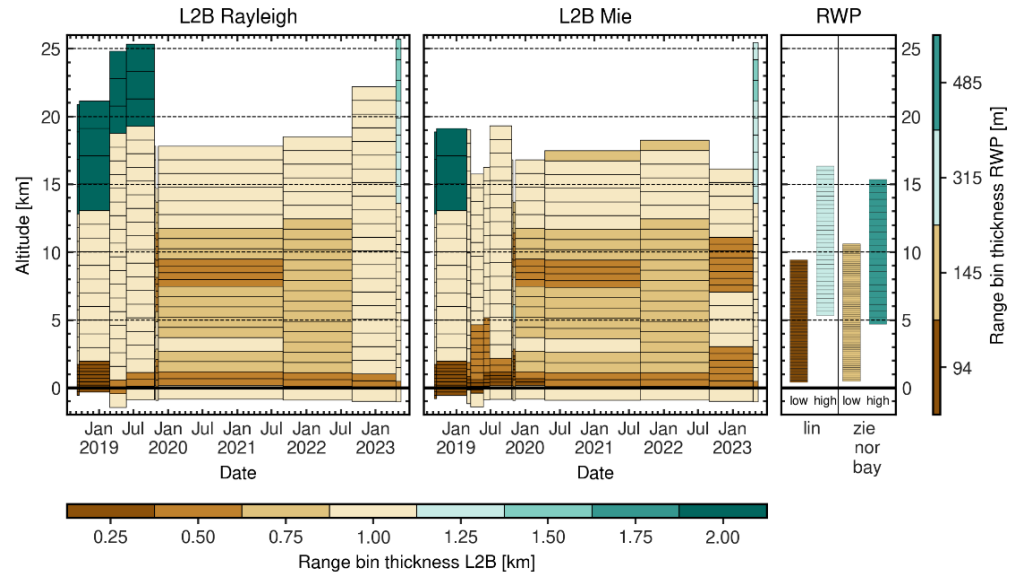
Arbeitsprinzip des Windprofilers

Profilvergleich Aeolus - Windprofiler



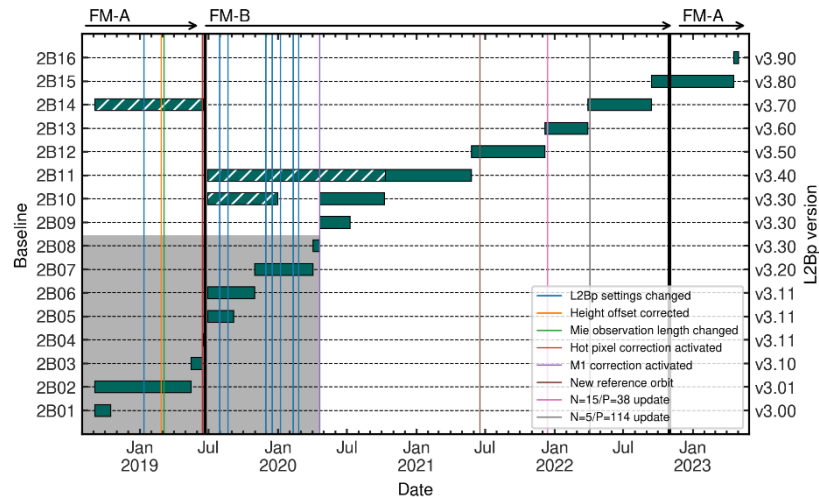
Aeolus L2B Windprodukt

- Entwicklung der Datenprozessoren in Baselines
- Kontinuierliche Verbesserungen mit regelmäßigen Reprozessierungskampagnen
- Wechsel zwischen Laser FM-A und FM-B



- 24 Range-Bins sind in ihrer Dicke änderbar
→ Einfluss auf vertikale Auflösung/Abdeckung und zufälligen Fehler

Wichtig ist eine kontinuierliche, modellunabhängige Validierung zum Bestimmen zeitlicher Qualitätsschwankungen



Zeitliche Fehlerentwicklung des Rayleigh Windprodukts – **Operationeller Datensatz**

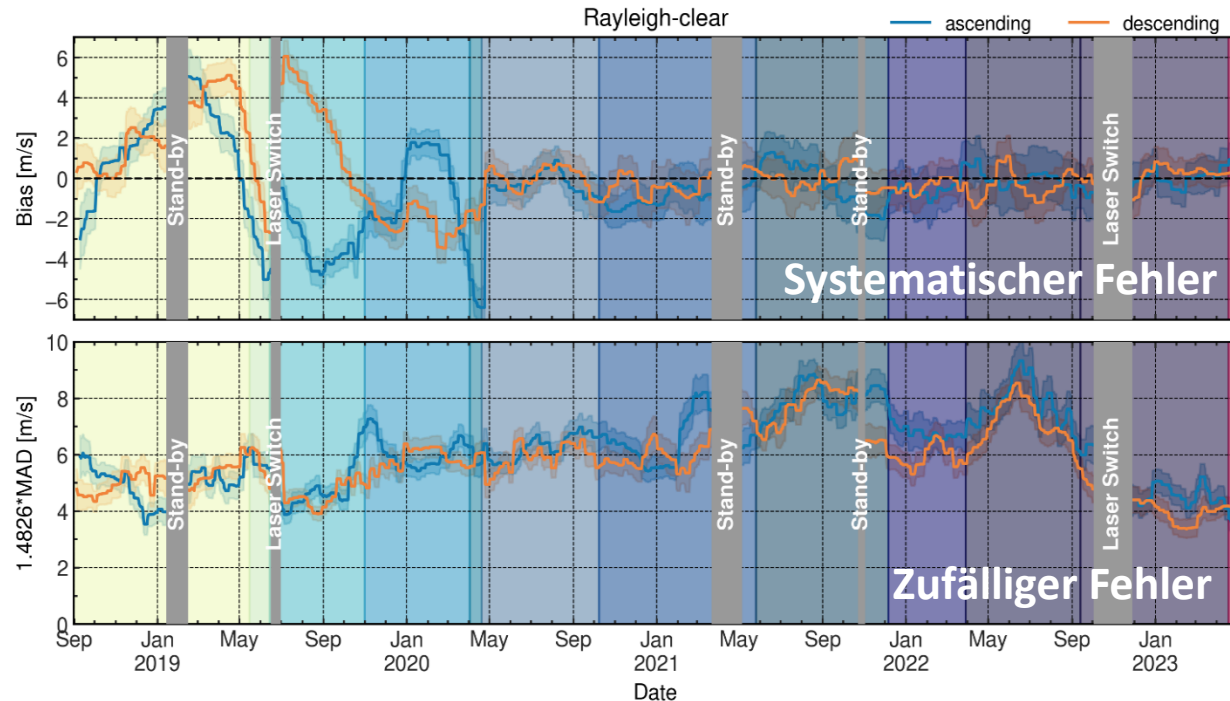
- Laufende Statistik mit 21-Tage-Fenster

Systematischer Fehler

- Starke Schwankung zu Beginn bis zur Teleskoptemperaturkorrektur im Mai 2020
- Danach zwischen ± 1.5 m/s
- Unterschiede zwischen Orbitphasen

Zufälliger Fehler

- Anstieg für FM-A und FM-B Perioden verursacht durch abnehmende Laserenergie und sinkendes Signal im Atmosphärenpfad
- Niedrigster Fehler zum Ende der Mission



Zeitliche Fehlerentwicklung des Rayleigh Windprodukts – Reprozessierter Datensatz

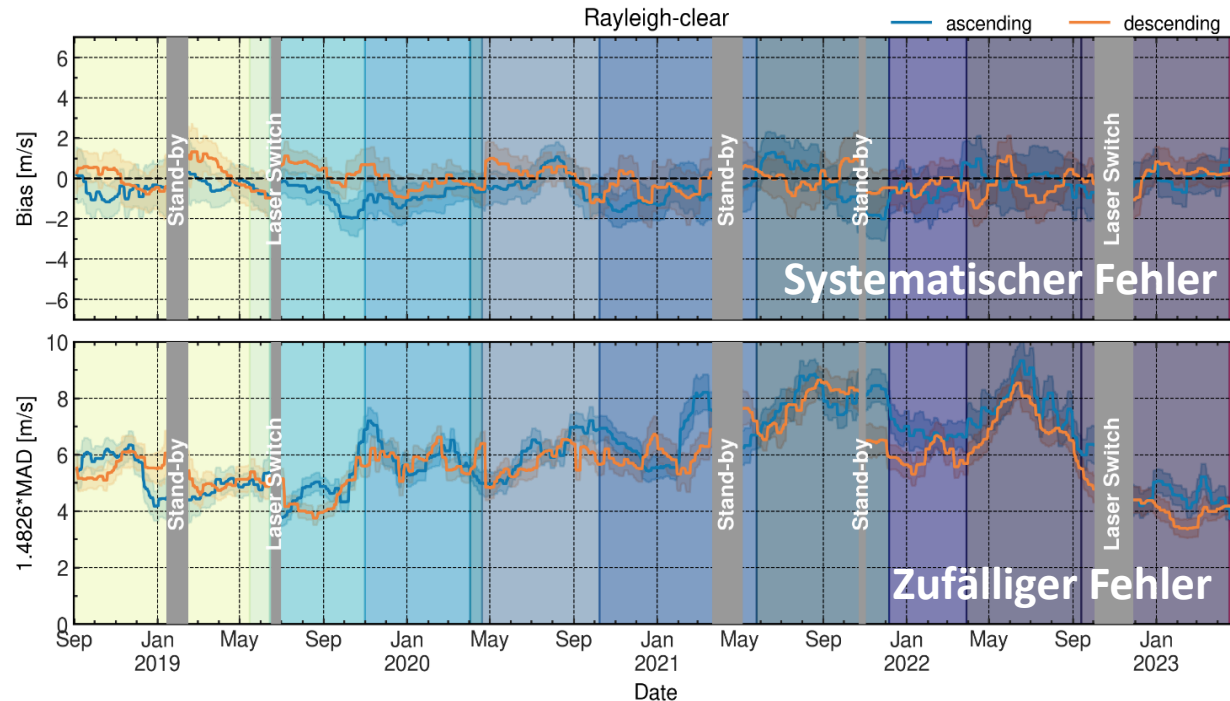
- Laufende Statistik mit 21-Tage-Fenster

Systematischer Fehler

- Starke Schwankung zu Beginn bis zur Teleskoptemperaturkorrektur im Mai 2020
- Danach zwischen ± 1.5 m/s
- Unterschiede zwischen Orbitphasen

Zufälliger Fehler

- Anstieg für FM-A und FM-B Perioden verursacht durch abnehmende Laserenergie und sinkendes Signal im Atmosphärenpfad
- Niedrigster Fehler zum Ende der Mission



Zeitliche Fehlerentwicklung des Mie Windprodukts – **Operationeller Datensatz**

- Laufende Statistik mit 28-Tage-Fenster

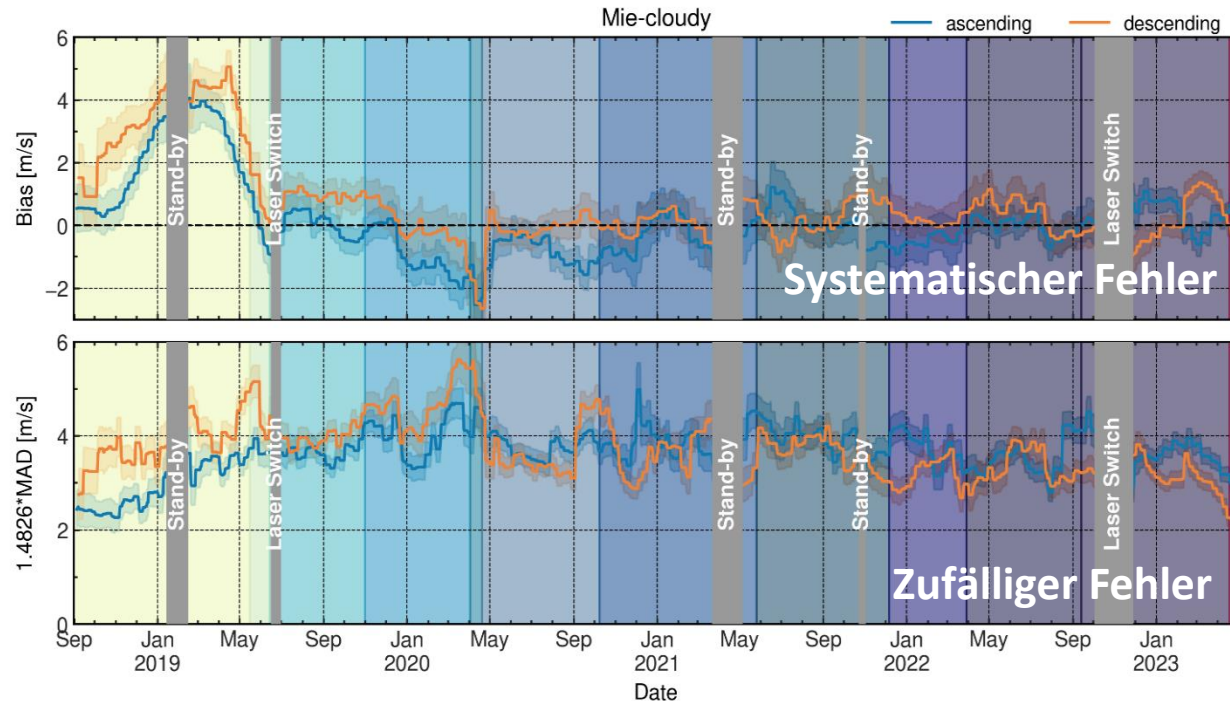
Systematischer Fehler

- Starke Schwankungen zu Beginn
- Kleine Unterschiede zwischen den Orbitphasen
- Einfluss der Teleskoptemperaturkorrektur ist geringer

- Ab Mai 2020 zwischen ± 1.5 m/s

Zufälliger Fehler

- Stetiger Anstieg bis April 2020
- Danach Schwankungen zwischen 3-4 m/s



Zeitliche Fehlerentwicklung des Mie Windprodukts – **Reprozessierter Datensatz**

- Laufende Statistik mit 28-Tage-Fenster

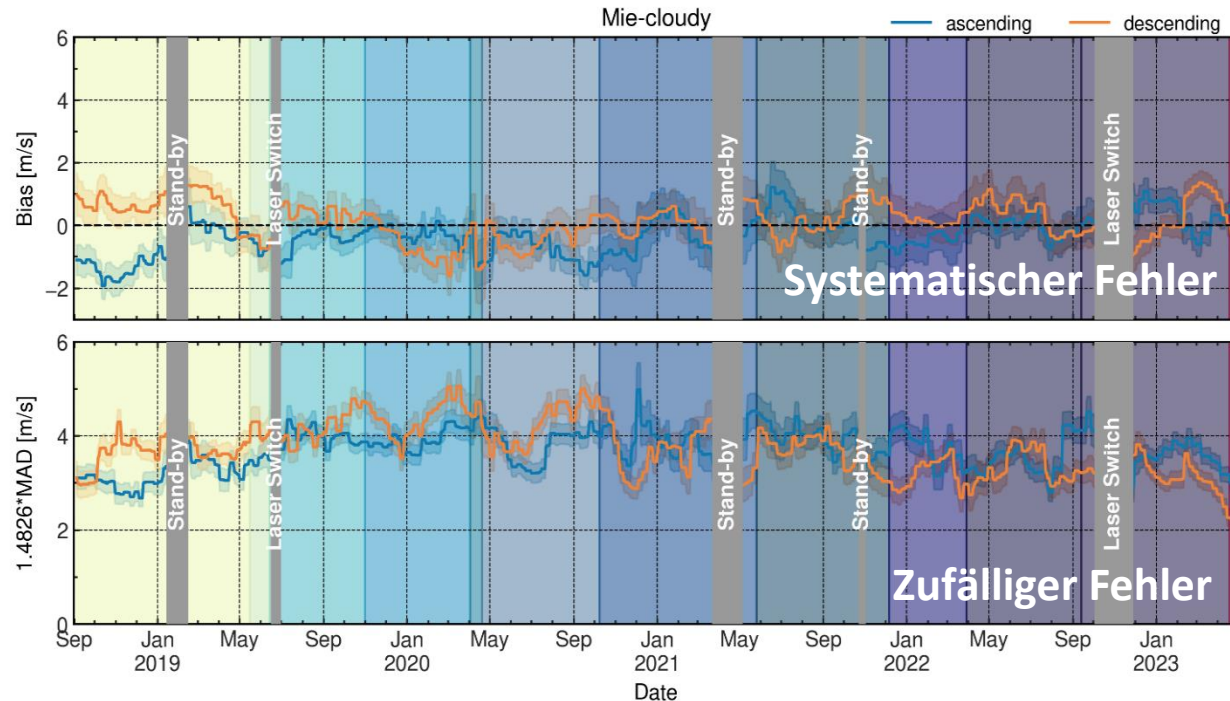
Systematischer Fehler

- Starke Schwankungen zu Beginn
- Kleine Unterschiede zwischen den Orbitphasen
- Einfluss der Teleskoptemperaturkorrektur ist geringer

- Ab Mai 2020 zwischen ± 1.5 m/s

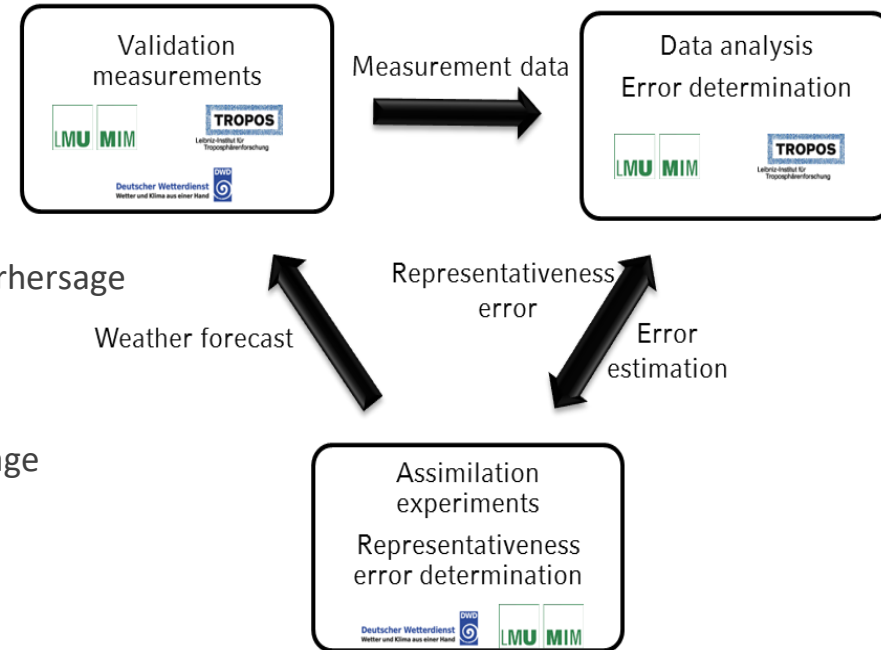
Zufälliger Fehler

- Stetiger Anstieg bis April 2020
- Danach Schwankungen zwischen 3-4 m/s



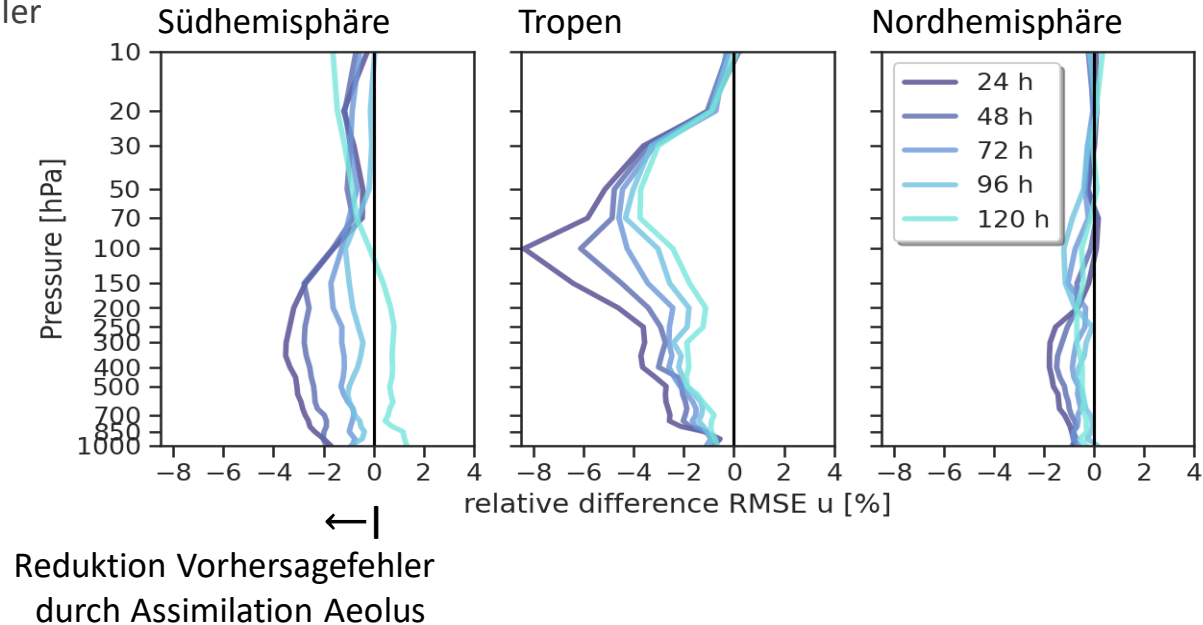
EVAA – Experimentelle Validierung und Assimilation von Aeolus-Beobachtungen

- Deutscher Beitrag zur Validierung und Nutzung der Wind- und Aerosolprodukte von Aeolus
- Offiziell bestätigtes ESA Cal/Val Team
- Validierung der Aeolus-Produkte mit
 - Radar-Windprofiler Netzwerk des DWD
 - Radiosonden und numerischen Modellen zur Wettervorhersage
 - Windlidar und Doppler-Wolkenradar
- Unterstützung der Flugmesskampagnen des DLR
- Impakt-Abschätzung der Aeolusdaten für die Wettervorhersage
 - Assimilationsexperimente
- Validierung des Aeolus Aerosolprodukts mit
 - PollyXT Aerosollidar an verschiedenen Standorten



Impakt-Abschätzung von Aeolus-Messungen im DWD-Modellsystem

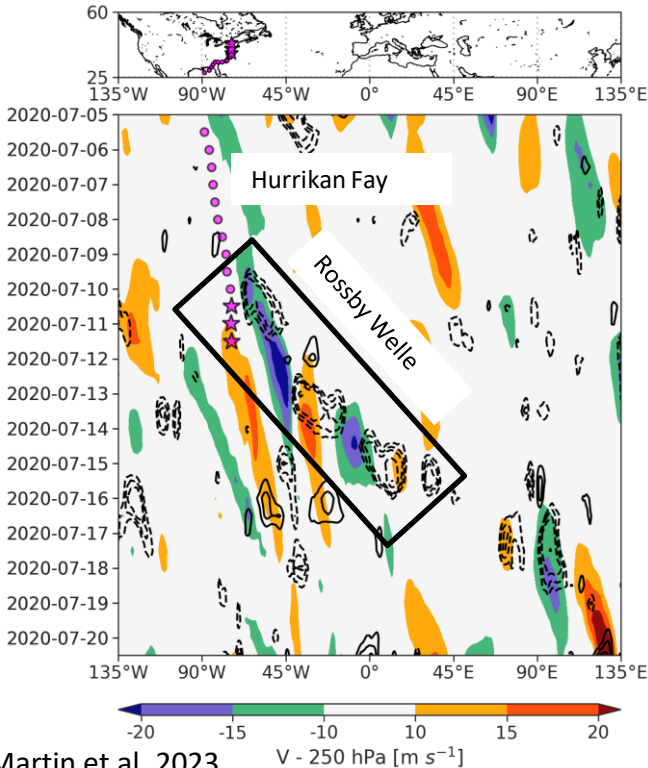
- Assimilationsexperiment für die Zeitperiode Juli-September 2020 im Modell ICON (Data Denial Experiment)
- Kontrolllauf ohne Aeolus – Experimenteller Lauf mit Rayleigh- und Mie-Winden
- Aeolus führt zu einer Fehlerreduktion von einigen Prozent
- Größte Reduktion in den Tropen
- Zweitgrößte Reduktion auf der Südhemisphäre
- Auch auf der Nordhemisphäre Einfluss
- Aeolusdaten wurden seit Mai 2020 operationell am DWD assimiliert



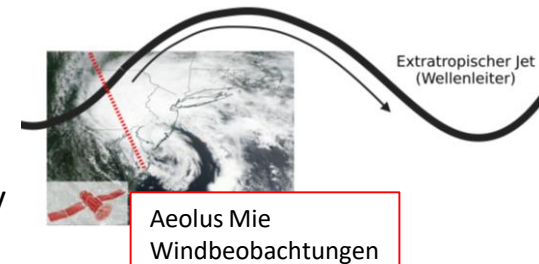
Martin et al. 2022a

Woher kommt der große Einfluss von Aeolus auf die Wettervorhersage?

- Verbesserung im Zusammenhang mit Phasenwechsel großskaliger Zirkulationssysteme in den Tropen
- Dynamische Auswirkungen in der mittleren Breiten der Nordhemisphäre
- Potential von Aeolus durch Verbesserungen in der Erfassung skalenübergreifender Wechselwirkung
- Verringerung der stromabwärts gerichteten Vorhersagefehler
- Entscheidend für genaue Vorhersagen extremer Wetterereignisse
- Weitere Fälle wurden identifiziert

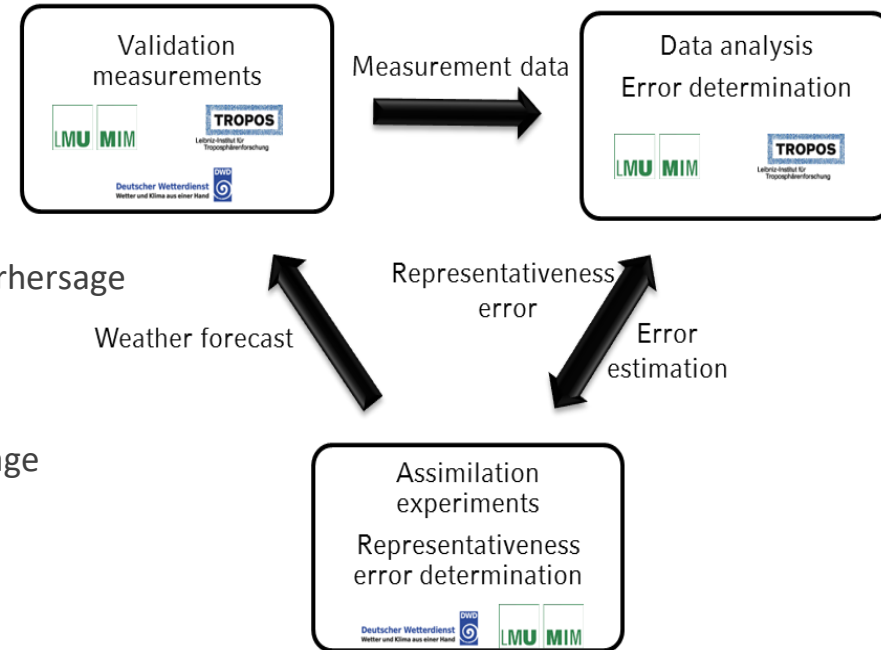


Martin et al. 2023

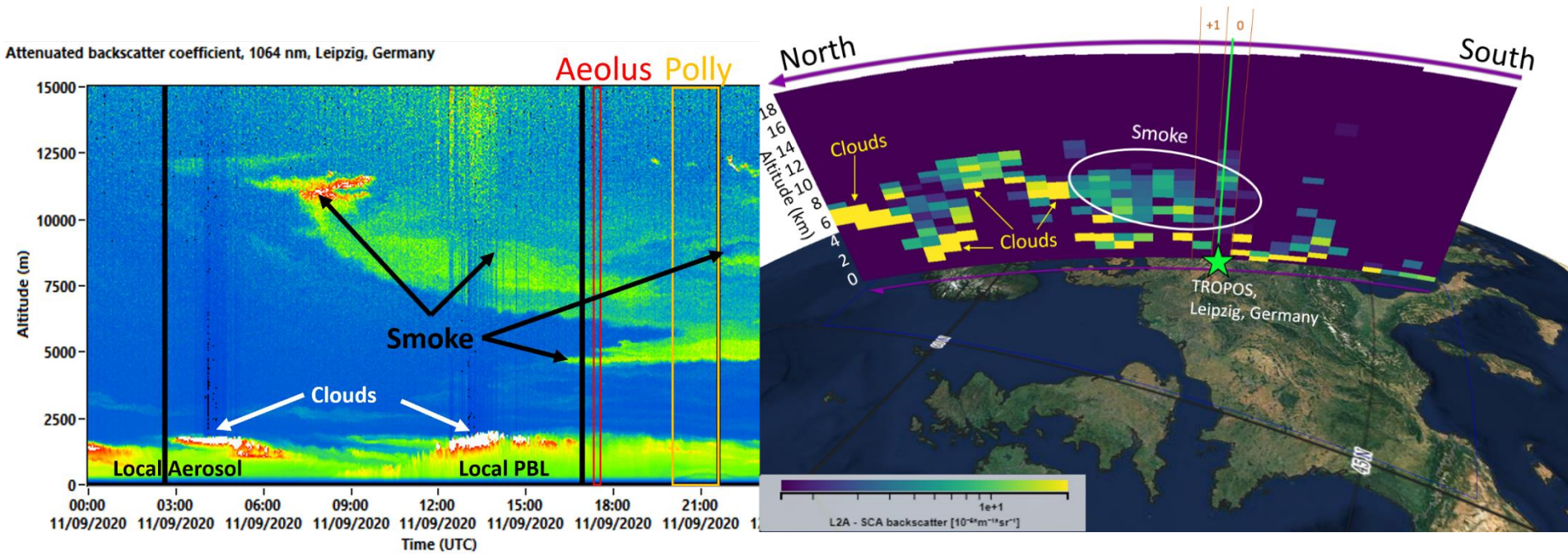


EVAA – Experimentelle Validierung und Assimilation von Aeolus-Beobachtungen

- Deutscher Beitrag zur Validierung und Nutzung der Wind- und Aerosolprodukte von Aeolus
- Offiziell bestätigtes ESA Cal/Val Team
- Validierung der Aeolus-Produkte mit
 - Radar-Windprofiler Netzwerk des DWD
 - Radiosonden und numerischen Modellen zur Wettervorhersage
 - Windlidar und Doppler-Wolkenradar
- Unterstützung der Flugmesskampagnen des DLR
- Impakt-Abschätzung der Aeolusdaten für die Wettervorhersage
 - Assimilationsexperimente
- Validierung des Aeolus Aerosolprodukts mit
 - PollyXT Aerosollidar an verschiedenen Standorten

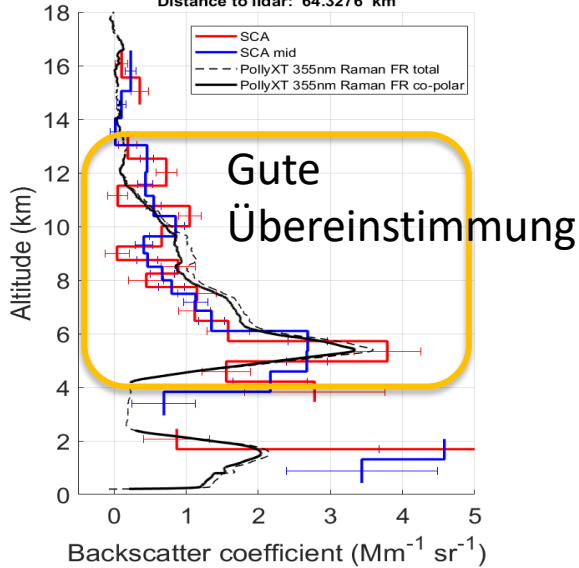


Fallstudie zum Waldbrandaerosol aus Kalifornien über Mitteleuropa im Jahr 2020



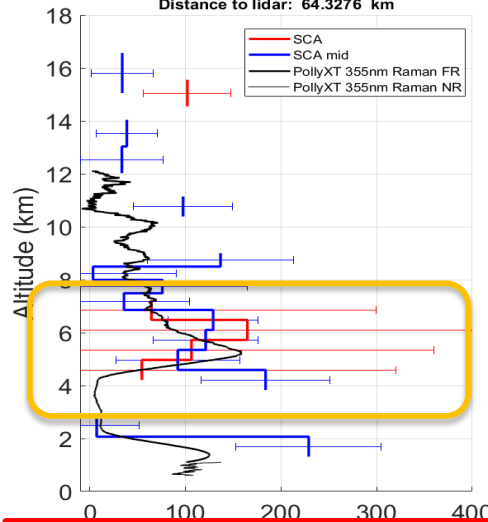
Fallstudie zum Waldbrandaerosol aus Kalifornien über Mitteleuropa im Jahr 2020

TROPOS, Leipzig, Germany, 2020-09-11 16:49:11.224904
Orbit location: 51.8168 N 11.88 E
Lidar location: 51.35 N 12.43 E
Distance to lidar: 64.3276 km

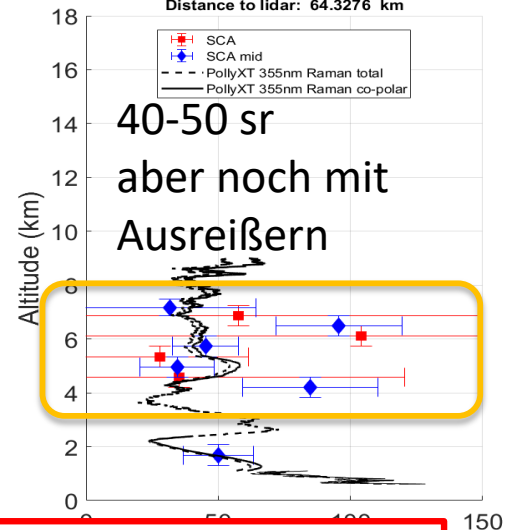


Optische Eigenschaften

TROPOS, Leipzig, Germany, 2020-09-11 16:49:11.224904
Orbit location: 51.8168 N 11.88 E
Lidar location: 51.35 N 12.43 E
Distance to lidar: 64.3276 km



TROPOS, Leipzig, Germany, 2020-09-11 16:49:11.224904
Orbit location: 51.8168 N 11.88 E
Lidar location: 51.35 N 12.43 E
Distance to lidar: 64.3276 km



- Gute Übereinstimmung in der Rauchschiicht
- Qualitätsflags noch nicht ausgereift
- Aber, proof of concept für spin-off Aerosolprodukt!



- Die Aeolus-Mission war eine bahnbrechende und sehr erfolgreiche Satellitenmission
- Das Verbundprojekt EVAA konnte dabei einen wichtige Beitrag leisten
 - Erkenntnisse über die Produktqualität sind direkt in die Prozessorentwicklung miteingeflossen
 - Enger Austausch mit dem Aeolus Data Innovation and Science Cluster (DISC) unter Leitung des DLR-IPA
 - Aeolus-Winddaten konnten bald nach Start der Mission beim DWD operationell assimiliert werden
 - Beteiligung an mehreren Aeolus Cal/Val Workshops
 - Halbjährliche Reports mit neuesten Ergebnissen an ESA
 - Teilnahme an der internationalen Aeolus-Validierungs-Kampagne JATAC in den Tropen
- Ergebnisse wurden in mehreren Veröffentlichungen publiziert und auf Konferenzen und Workshops vorgestellt
- EVAA-Aktivitäten zeigen Wichtigkeit auch für kommende Satellitenmissionen wie EarthCare, wo eine ausgiebige Validierung durch noch mehr Instrumente essentiell ist
- Vielen Dank an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) für die Möglichkeit zur Durchführung dieser Aktivitäten und an das DLR-Raumfahrtmanagement als Projektträger für die gute Zusammenarbeit



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!