

A global map showing aerosol measurements. The map uses a color scale from black to yellow to red to indicate aerosol concentration. Major ocean basins are labeled: ARCTIC OCEAN, NORTH PACIFIC OCEAN, NORTH ATLANTIC OCEAN, SOUTH PACIFIC OCEAN, SOUTH ATLANTIC OCEAN, and INDIAN OCEAN. The map shows high concentrations of aerosols in the mid-latitude oceans and near major industrial regions.

Großräumige (globale) Aerosolmessungen

Johannes Schneider

Max-Planck-Institut für Chemie, Abteilung Partikelchemie, Mainz

2000 km

2000 mi

2007-02-07 22:30

Globale Aerosolverteilung: GEOS-5 Datenassimilierung u.a. aus MODIS Satellitendaten

(https://gmao.gsfc.nasa.gov/research/aerosol/modeling/nr1_movie/)



10-km GEOS-5 Aerosol Optical Depth

Dust | Organic & Black Carbon | Sulfates | Sea Salt

Global Modeling and Assimilation Office - William.M.Putman@nasa.gov



Messmethoden: In-situ, Fernerkundung (aktiv/passiv)

Bodennetzwerke (Aeronet, GAW, Earlinet, EuBrewNet)

Flugzeugmissionen (IAGOS-CORE, IAGOS-CARIBIC, ATom)

Satellitenmessungen:

- MODIS (Aqua, Terra),
- OMI (Aura),
- CALIOP (CALIPSO),
- TROPOMI (Sentinel 5P)

Messtationen (Boden)



Flugzeug



Passiv

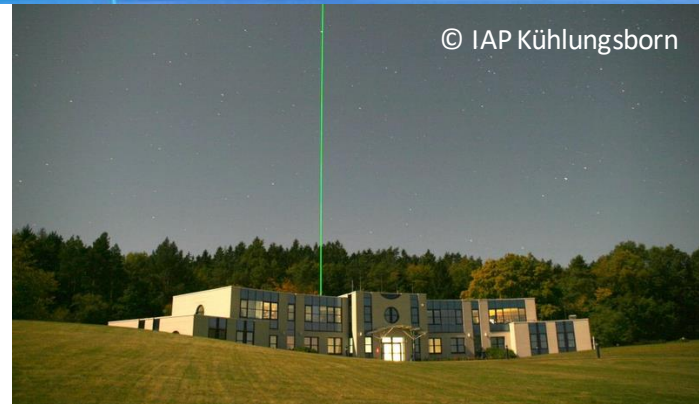


Abbildendes Spektrometer,
Sonnenphotometer

Aktiv

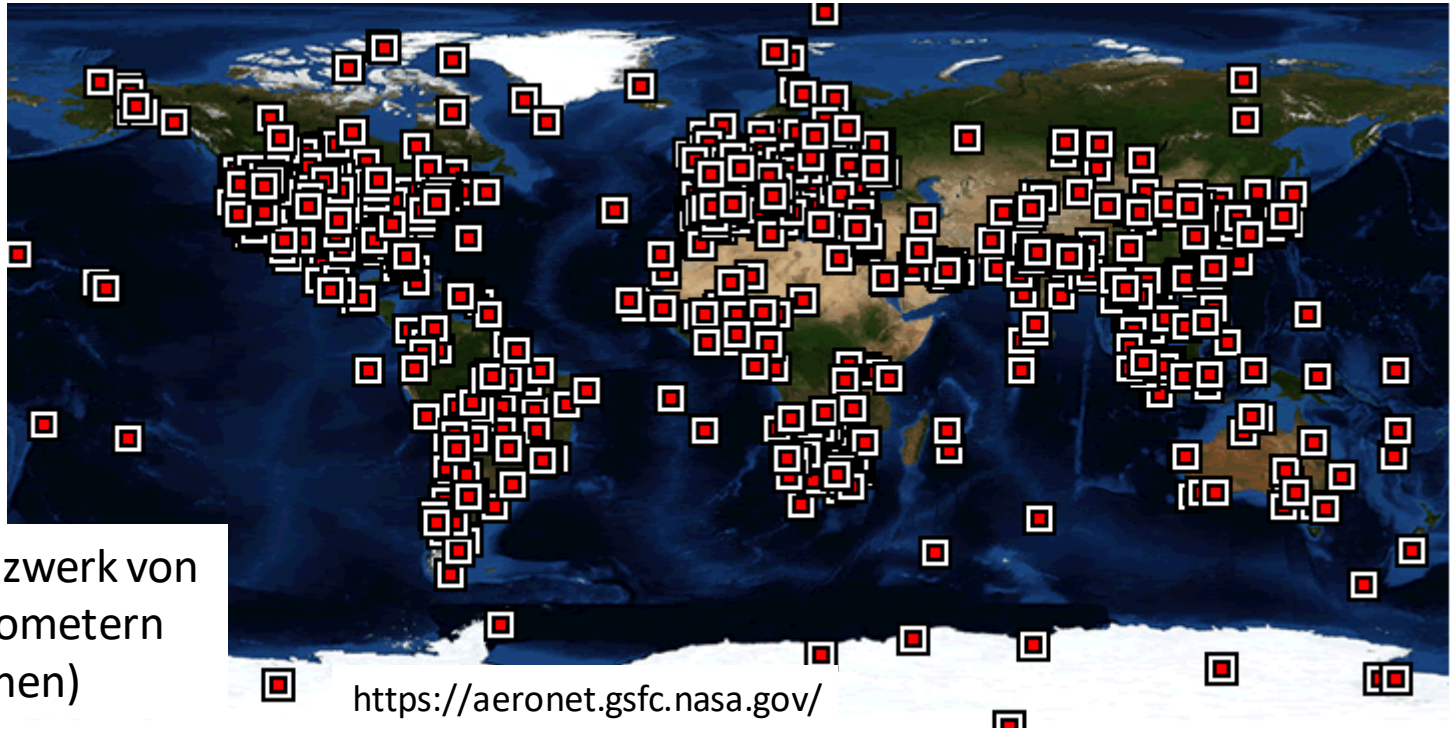


Lidar



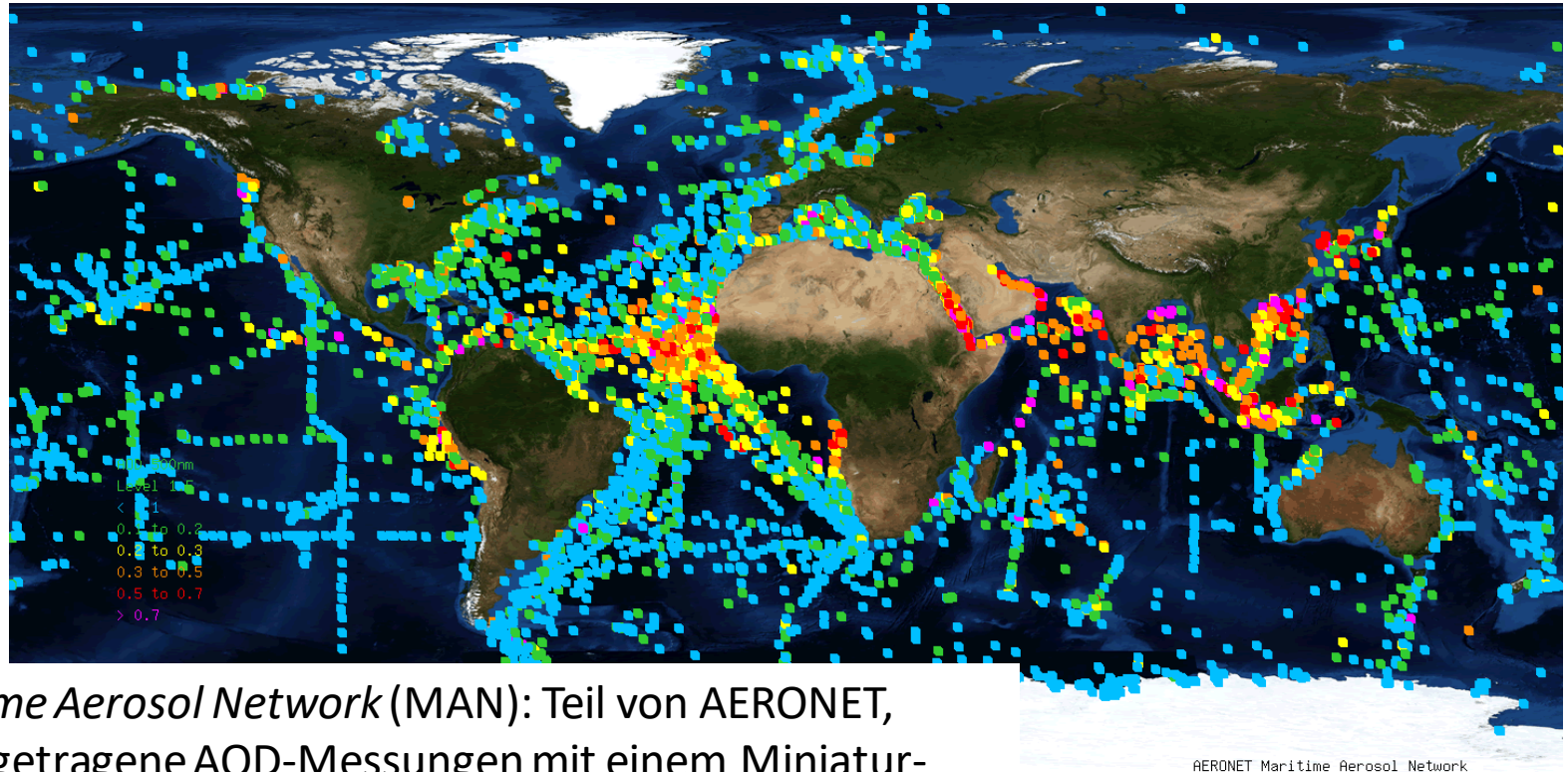
Bodenstationen - Netzwerke

Seit 1993



Globales Netzwerk von
Sonnenphotometern
(1504 Stationen)

<https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>

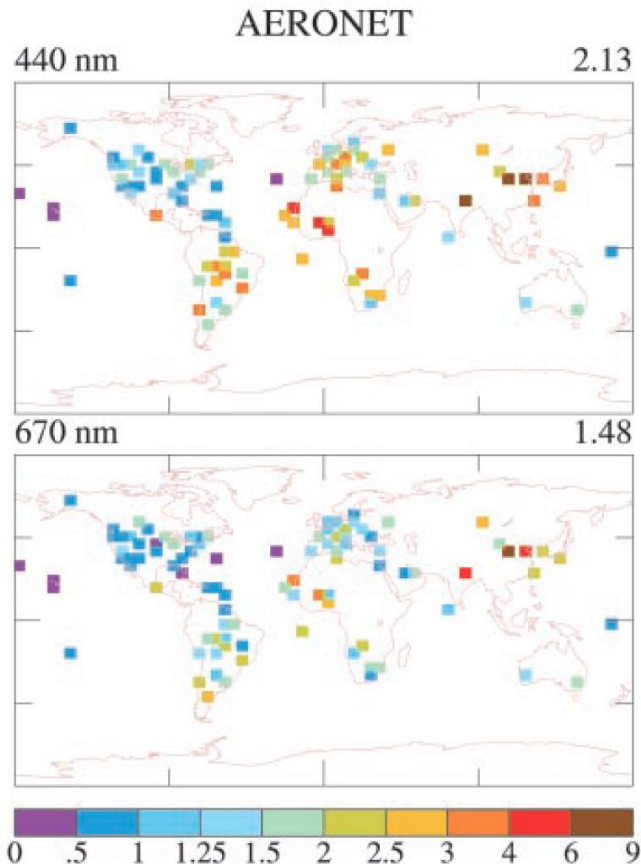


Maritime Aerosol Network (MAN): Teil von AERONET, schiffstragene AOD-Messungen mit einem Miniatur-Sonnenphotometer (Microtops II), seit 2004.

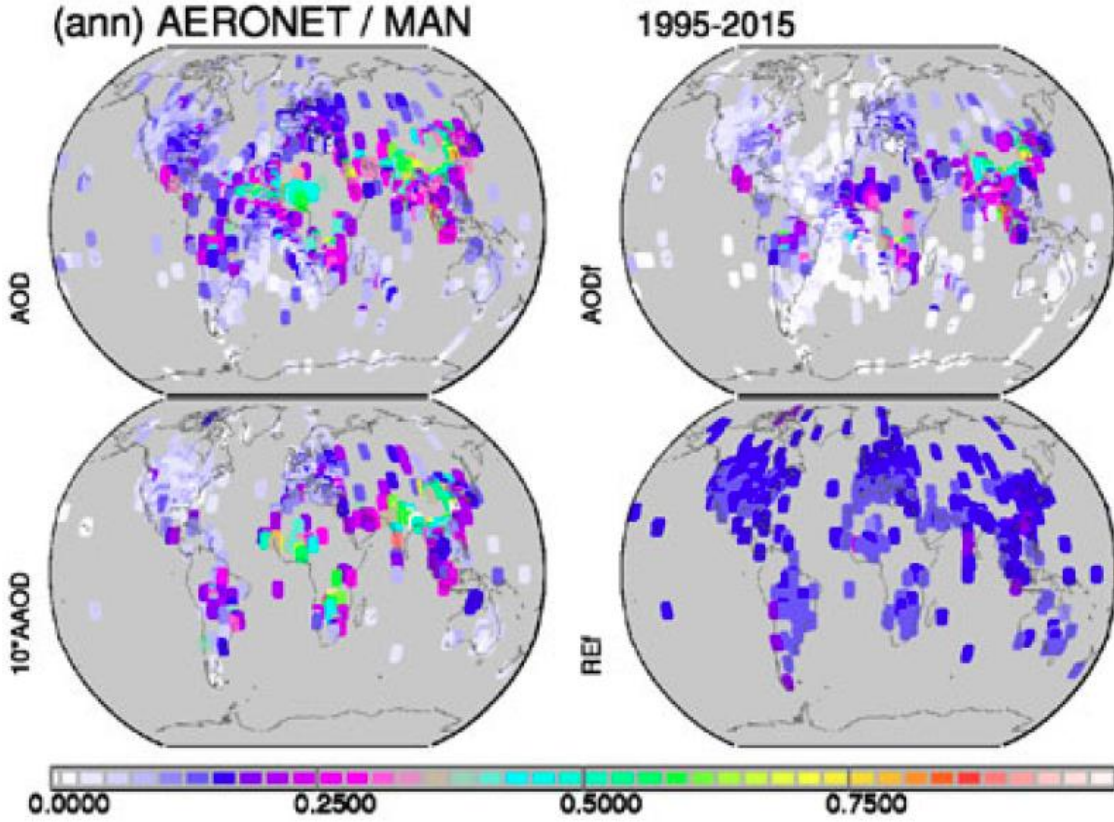
Spektralbereich von Aeronet (340, 380, 440, 500, 675, 870 and 1020 nm)

→ Unterscheidung von Aerosoltypen:

Staubpartikel und organische Partikel absorbieren am stärksten im UV-Bereich, Ruß (Black Carbon) absorbiert in allen Bereichen.



Sato et al., PNAS, 2003



MAC aerosol climatology:

Monatliche globale Datensätze für Aerosoleigenschaften

Definition der optischen und mikrophysikalischen Eigenschaften basieren auf mehrjährigen Statistiken von AERONET und MAN.

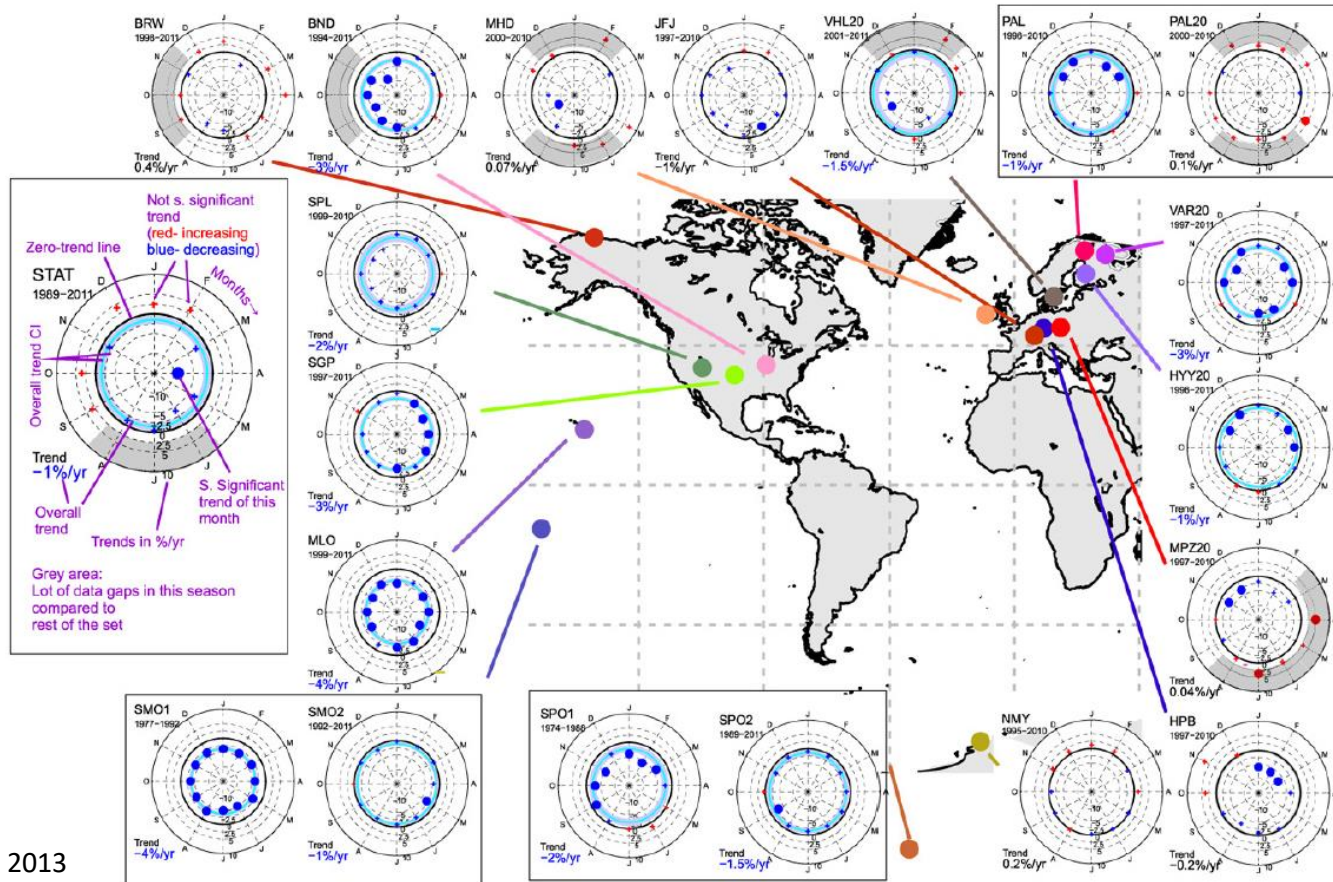
Kinne, Tellus B, 2019

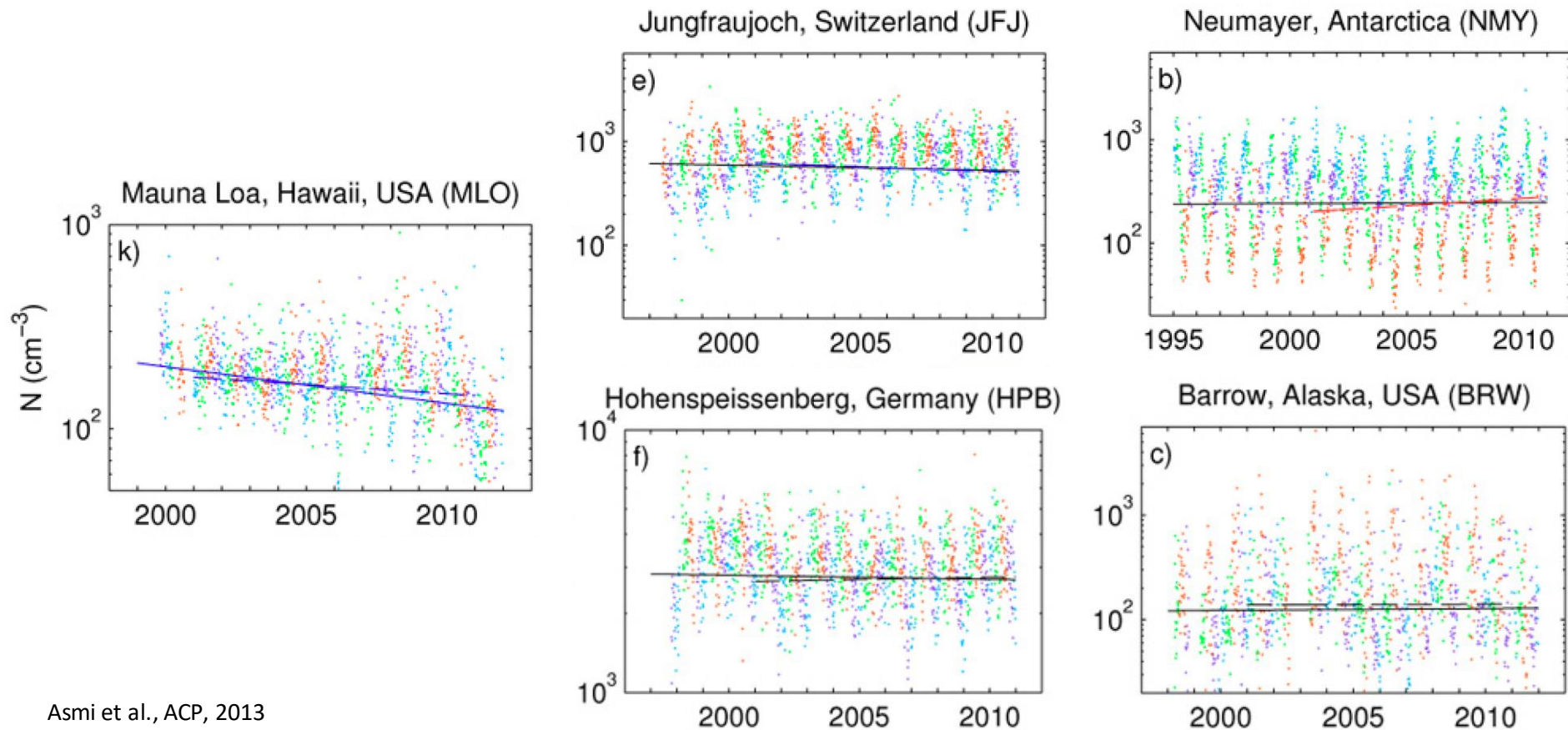
Bodenmessstationen mit in-situ Messungen



https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_home_en.html

GAW (Global Atmospheric Watch)



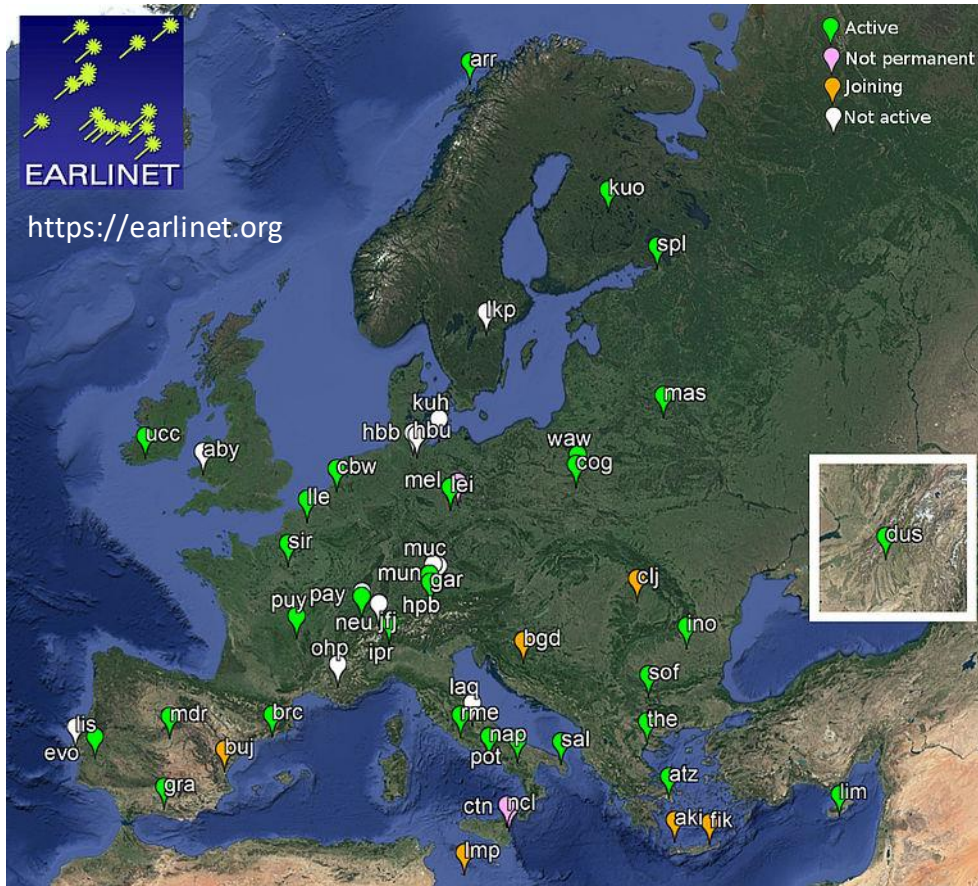


EARLINET (European Aerosol Research Lidar Network)

Lidar-Netzwerk,
Seit 2000

Mehrwellenlängen-Raman-
Lidarsysteme

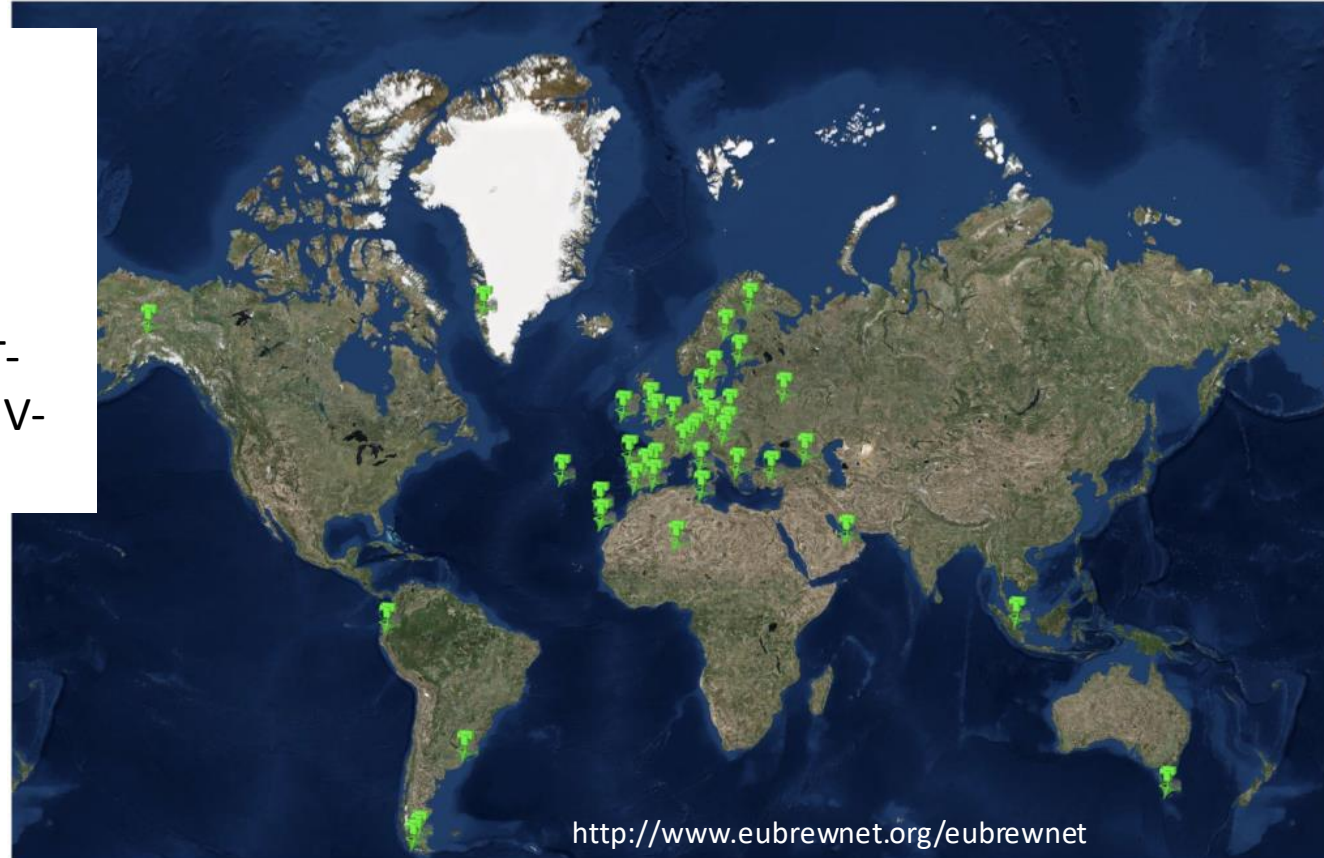
Vertikalprofile von Rückstreu- und
Extinktionskoeffizient, über
wellenlängenabhängige Parameter
auch Information über
Aerosoltypen.



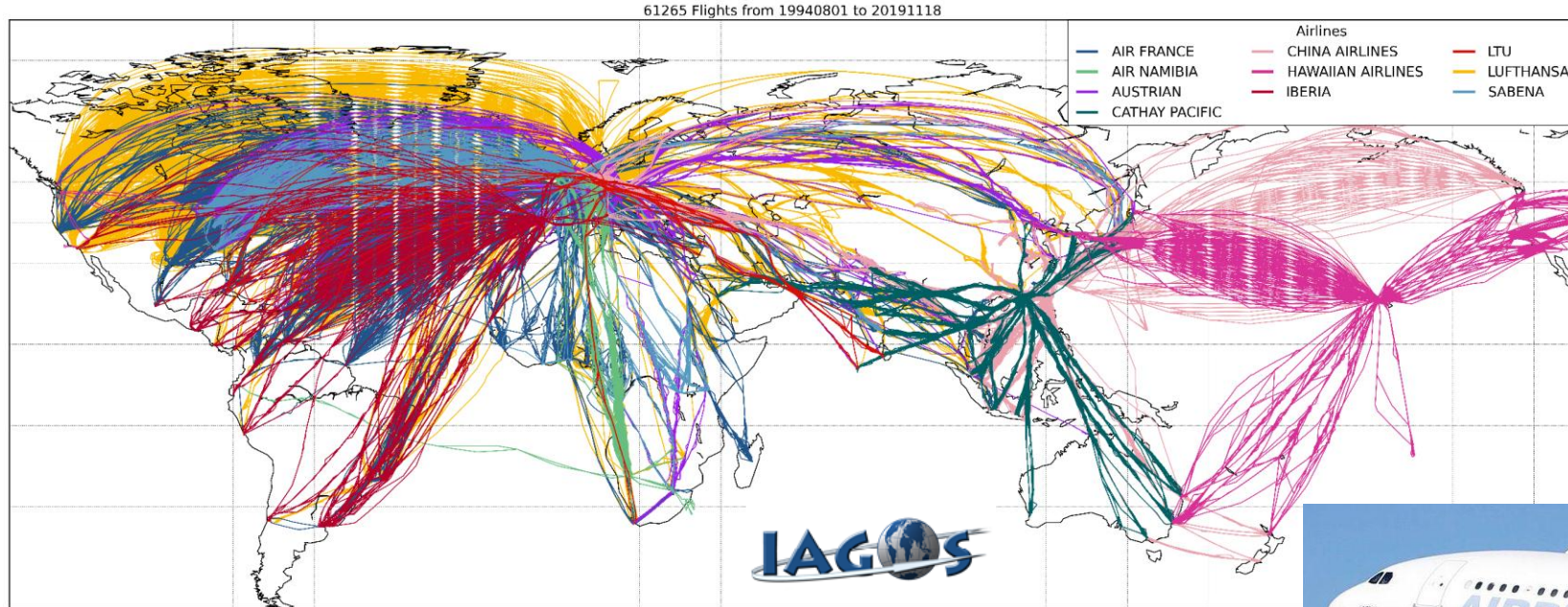
Brewer-Spektrometer:
Eigentlich Ozonsäule, aber
auch AOD im UV-Bereich

300 – 320 nm

→ Ergänzung des AERONET-
Wellenlängenbereichs im UV-
Bereich



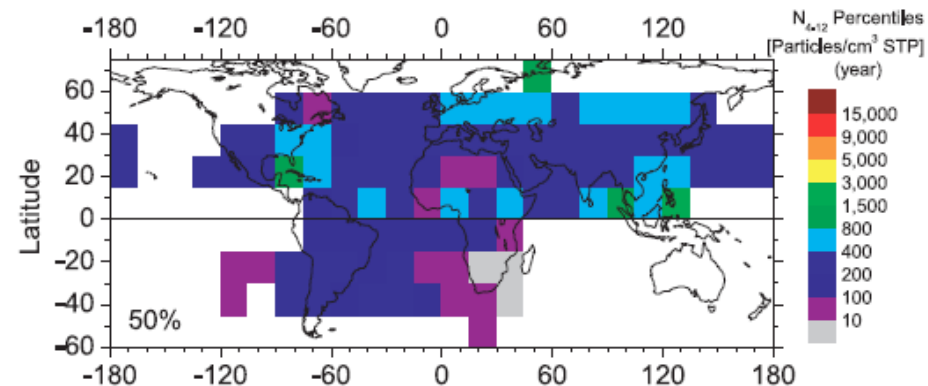
Flugzeuggetragene Aerosolmessungen mit "globaler" Abdeckung



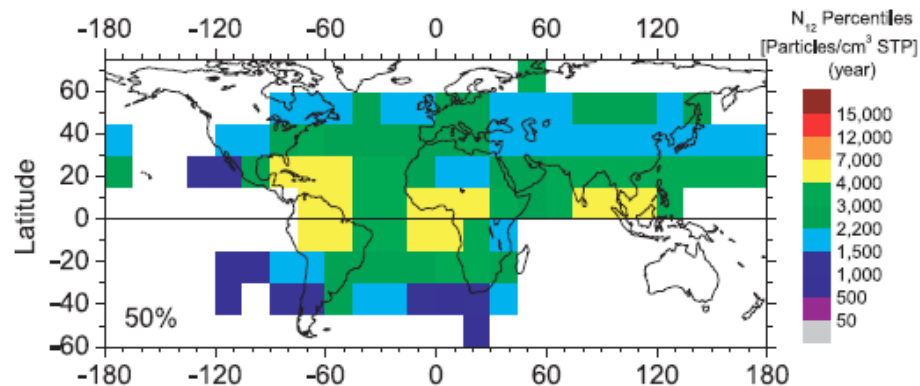
In-Service Aircraft for a Global Observing System:
Kleine in-situ Nutzlast auf Verkehrsflugzeugen, vollautomatisch
Leider bis jetzt keine Aerosolmessungen (in Vorbereitung)



CARIBIC-Daten von 1997 bis 2008



Partikelanzahlkonzentration $4 \text{ nm} < d < 12 \text{ nm}$
 $15^\circ \times 15^\circ$ Gitterzellen.

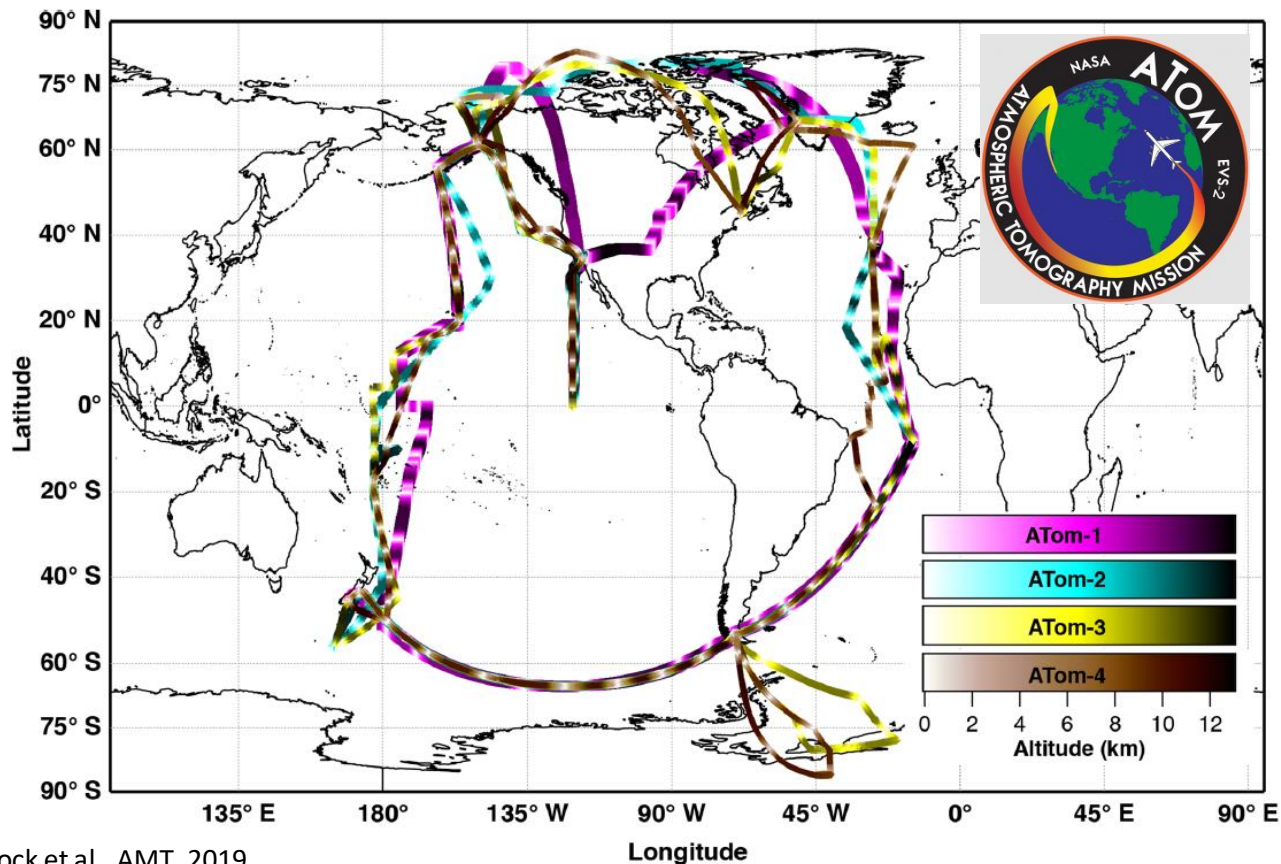


Partikelanzahlkonzentration, $d \geq 12 \text{ nm}$
 $15^\circ \times 15^\circ$ Gitterzellen.

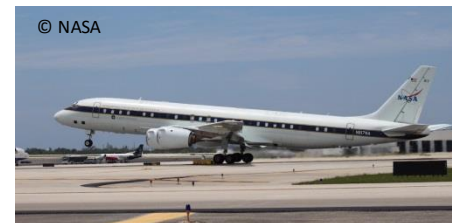
"Near-global aerosol mapping in the upper troposphere and lowermost stratosphere"

Heintzenberg et al., Tellus 2011

ATom (Atmospheric Tomography Mission)



Brock et al., AMT, 2019

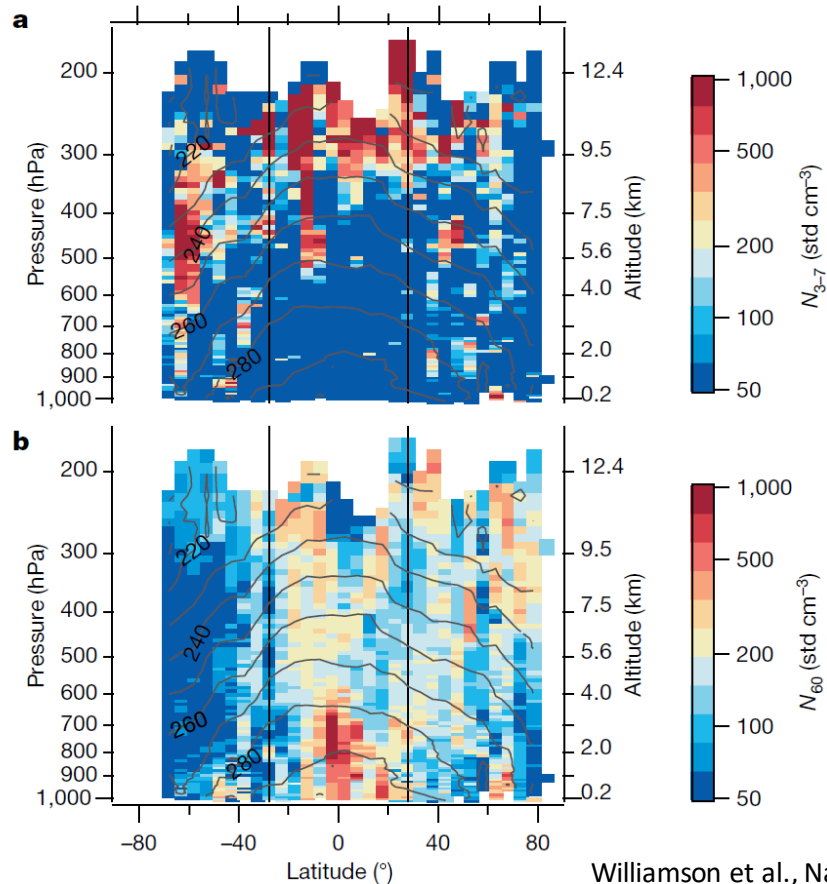


NASA DC-8

Großes
Forschungsflugzeug,
sehr detaillierte Payload

4 Kampagnen,
2016 – 2018

ATom (Atmospheric Tomography Mission)



Williamson et al., Nature, 2019

Kleinste Aerosolpartikel ($3 \text{ nm} < d < 7 \text{ nm}$)

→ Neu gebildete Partikel (Nukleation) in der oberen tropischen Troposphäre.

Größere Aerosolpartikel ($d > 60 \text{ nm}$), die als Wolkenkondensationskeime (CCN) wirken, deutlich häufiger in der unteren Troposphäre.

Satellitenbeobachtungen

NASA:

Terra + Aqua (MODIS)

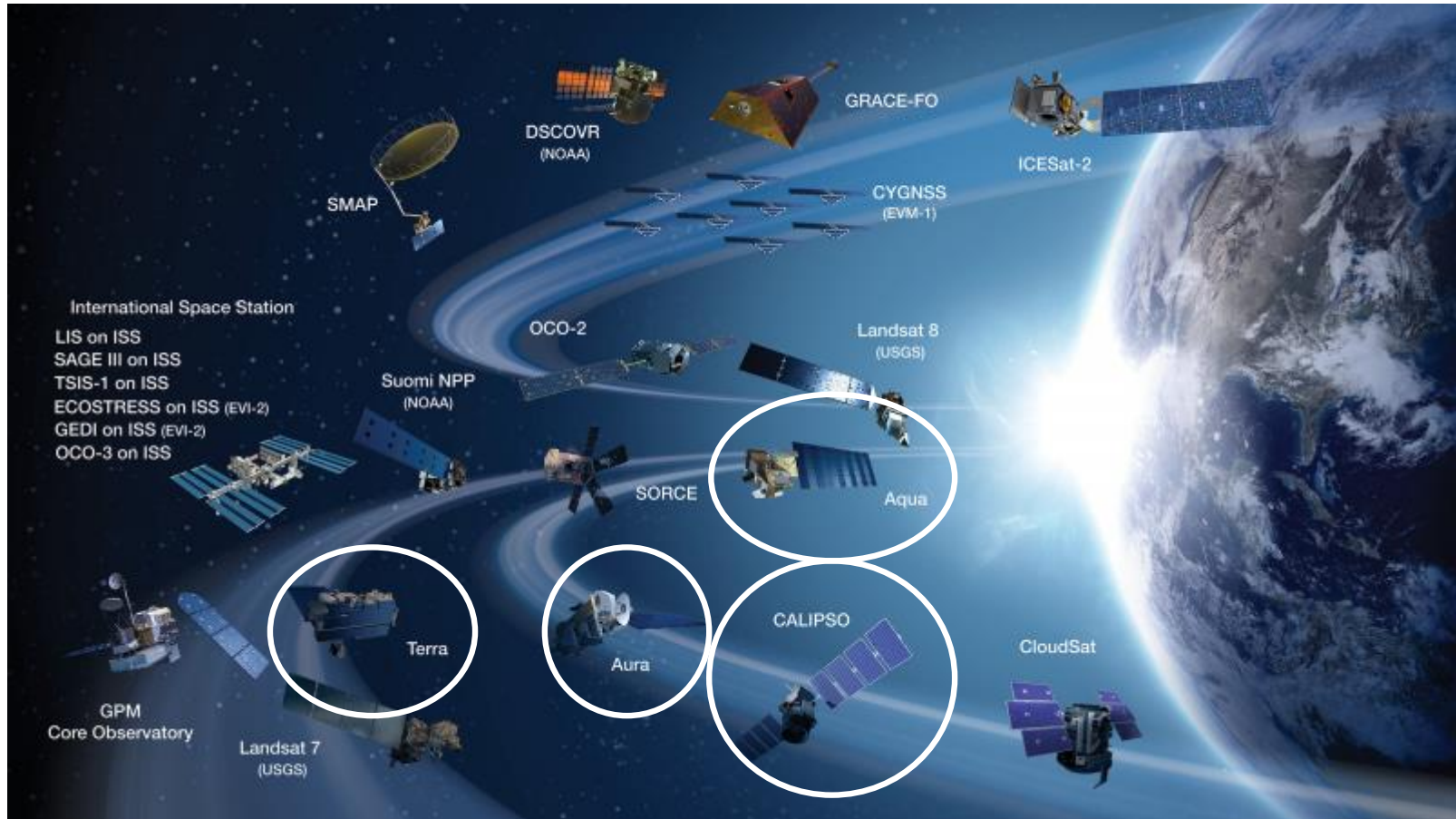
Aura (OMI)

CALIPSO (CALIOP)

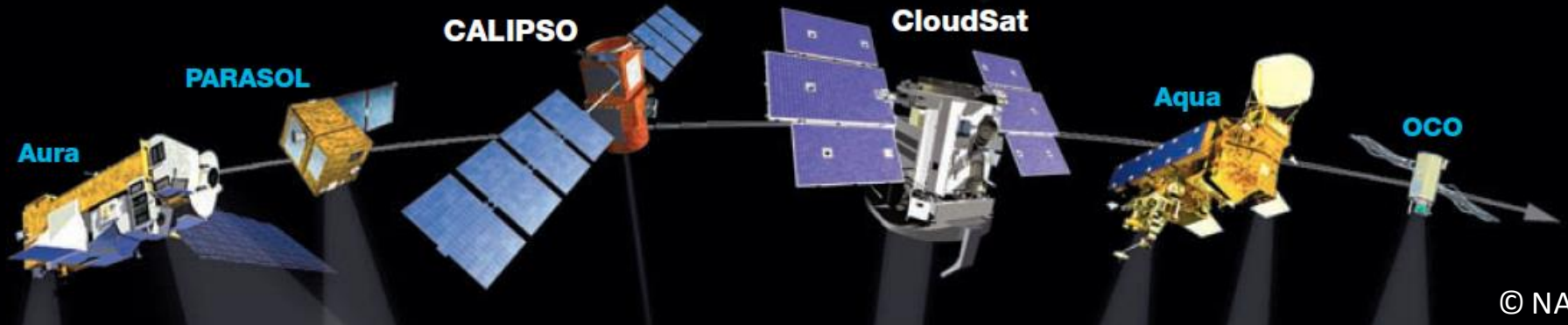
ESA:

Sentinel 5P (TROPOMI)

NASA Earth Observing System (EOS) Satelliten



Formation Flying: The Afternoon 'A-Train'



Fliegen der Satelliten in Formation: Bessere Synchronisation der Beobachtungen von verschiedenen Instrumenten.

Der Name "A-Train" stammte von dem Jazz-Stück "Take the A-Train" (Duke Ellington Band) als Spitzname für die "Afternoon Constellation".

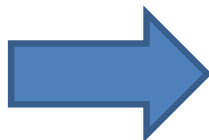
Satellit	Instrument	Funktionsweise
Aqua (Afternoon train) Terra (Morning train)	MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	Passives Spektrometer 36 Spektralbänder von 0.4 μm to 14.4 μm (VIS, NIR, SWIR/MWIR and LWIR)
Auro (Afternoon train)	OMI (Ozone Monitoring Instrument)	Passives Spektrometer 3 Kanäle (UV-1: 270–310 nm, UV-2: 310–365 nm, visible: 350–500 nm)
CALIPSO (Afternoon train)	CALIOP (Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization)	Lidar (532 nm, 1064 nm) Vertikal: 30 - 60 m Horizontal: 333 m

Beispiele: Bilder im sichtbaren Wellenlängenbereich

Terra: gestartet 1999

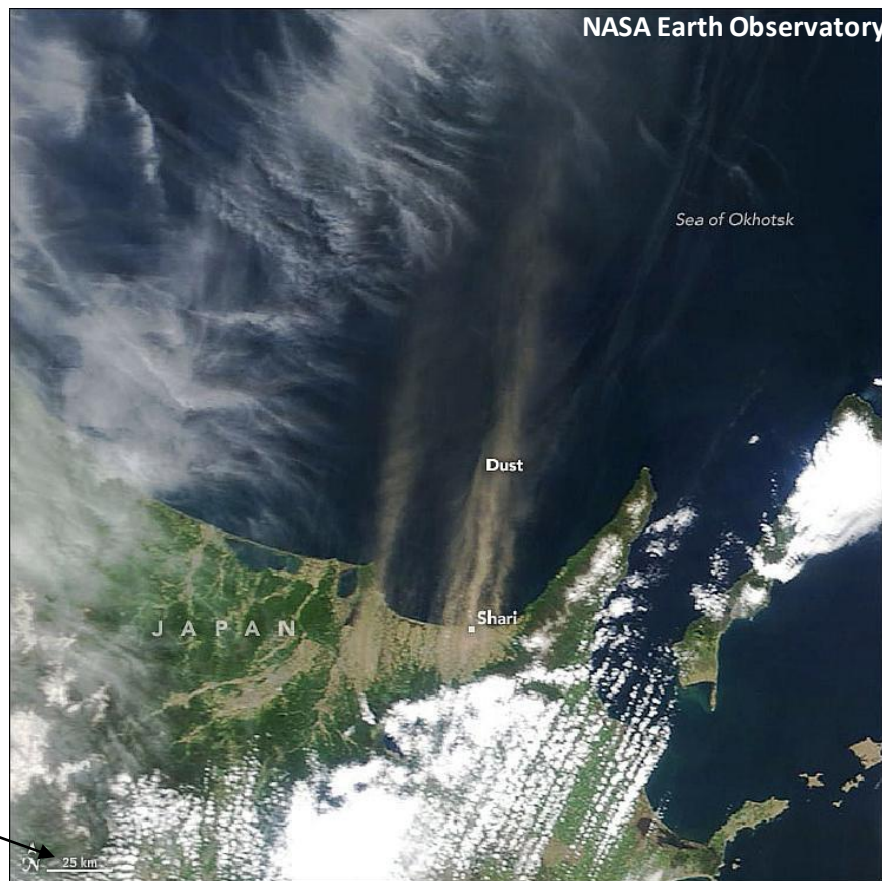
Aqua: gestartet 2002

MODIS (Terra)



Staubtransport über dem Ozean im Norden Japans

25 km
↔

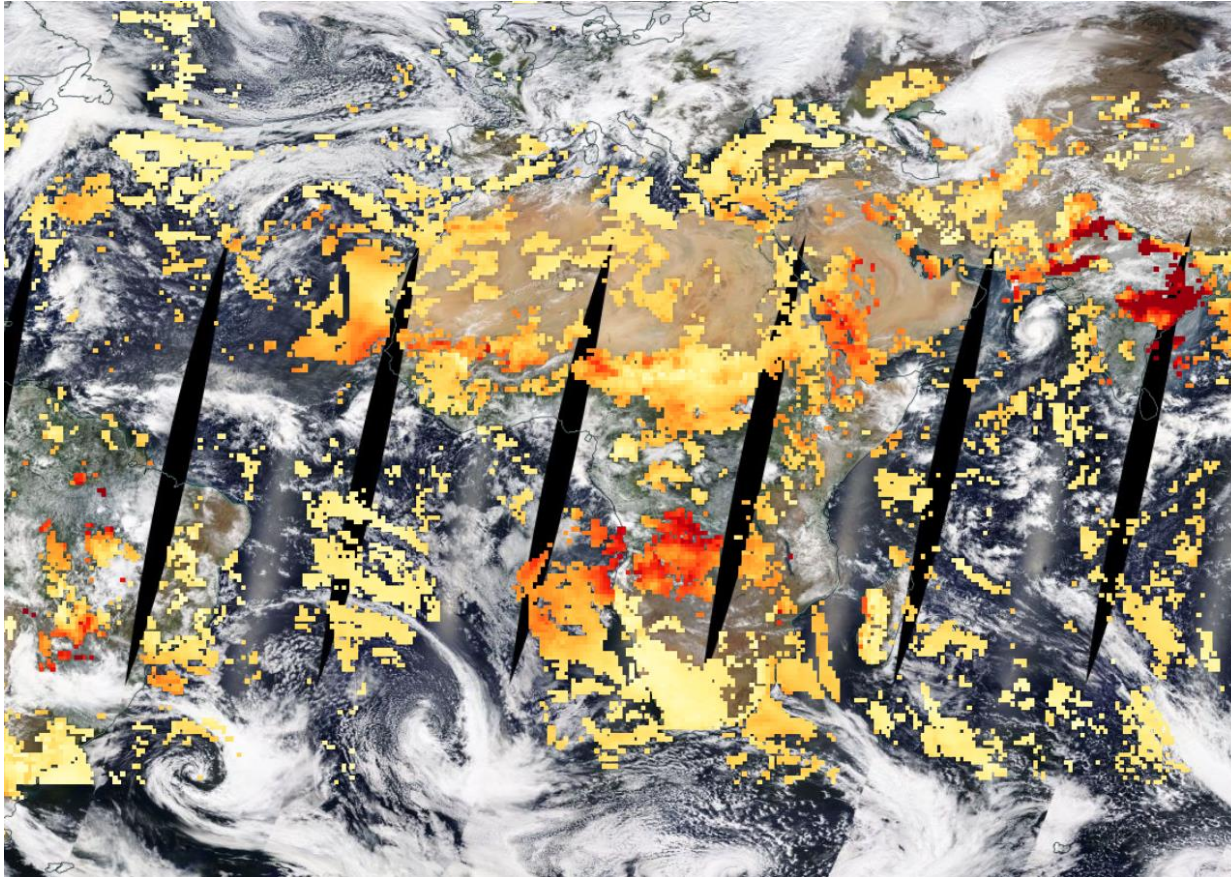




MODIS

November 12, 2019

Fires in New South Wales



03.Nov 2019

AOD

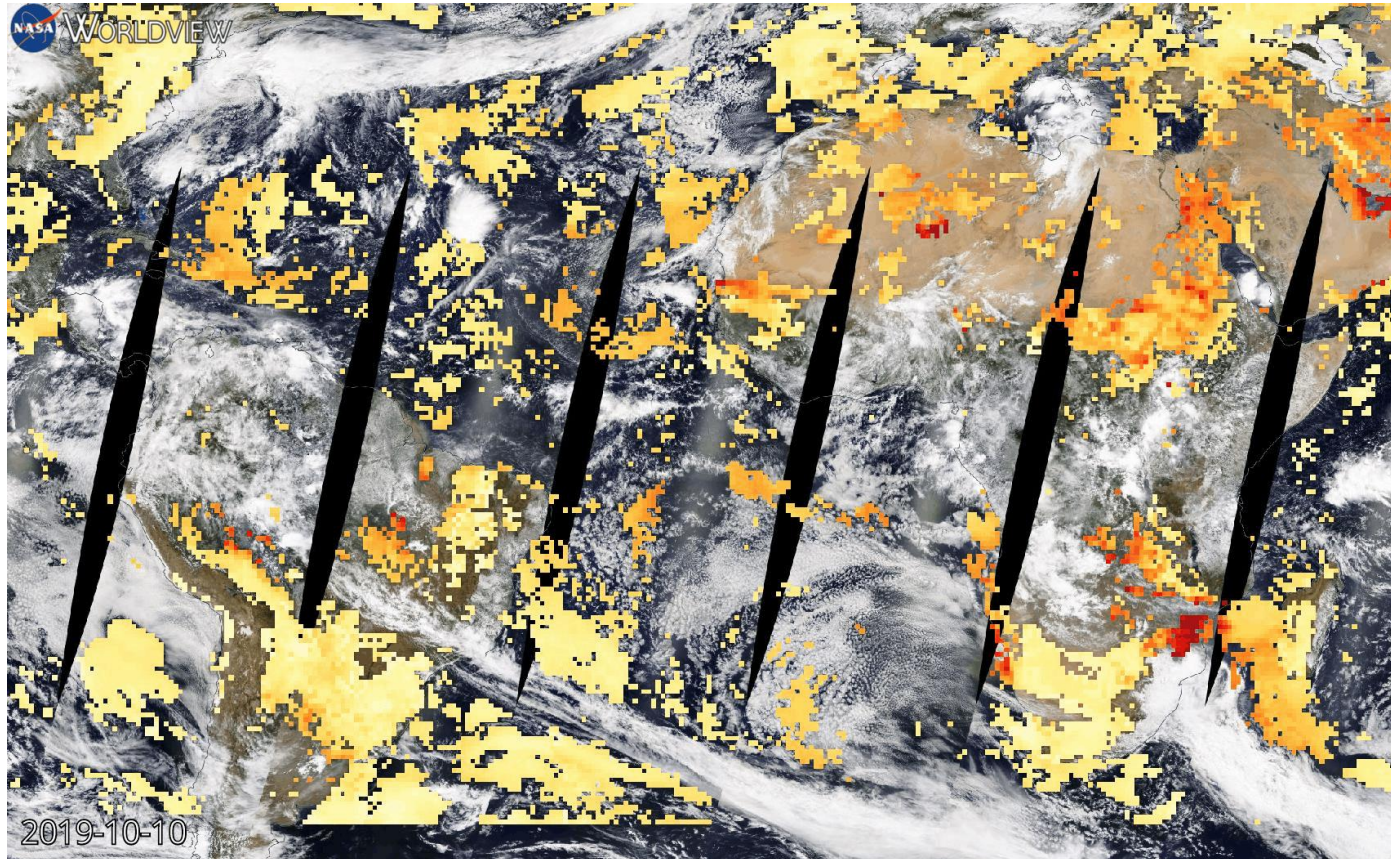
Aerosol Optical Depth

Terra und Aqua / MODIS

Terra MODIS and Aqua
MODIS sehen die komplette
Erdoberfläche alle 1 bis 2
Tage

<https://worldview.earthdata.nasa.gov>

MODIS AOD: 10.10.2019 – 10.11.2019

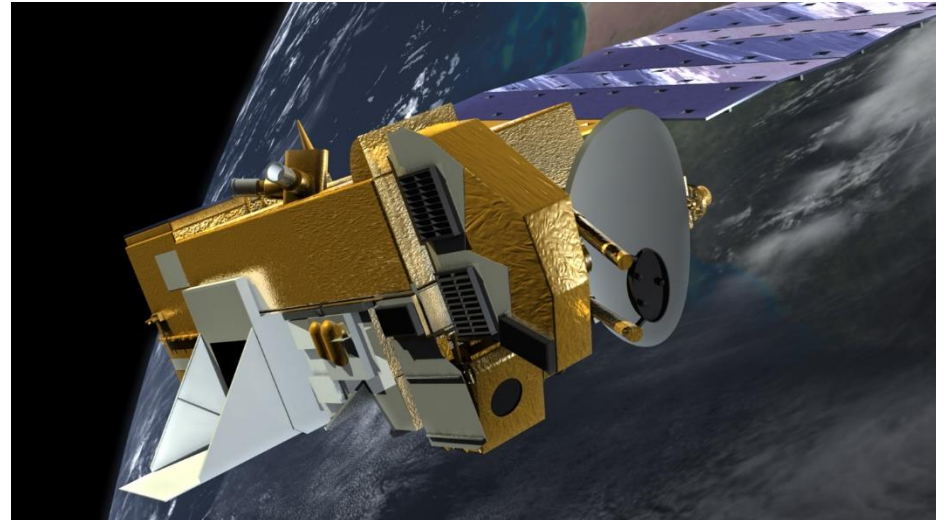


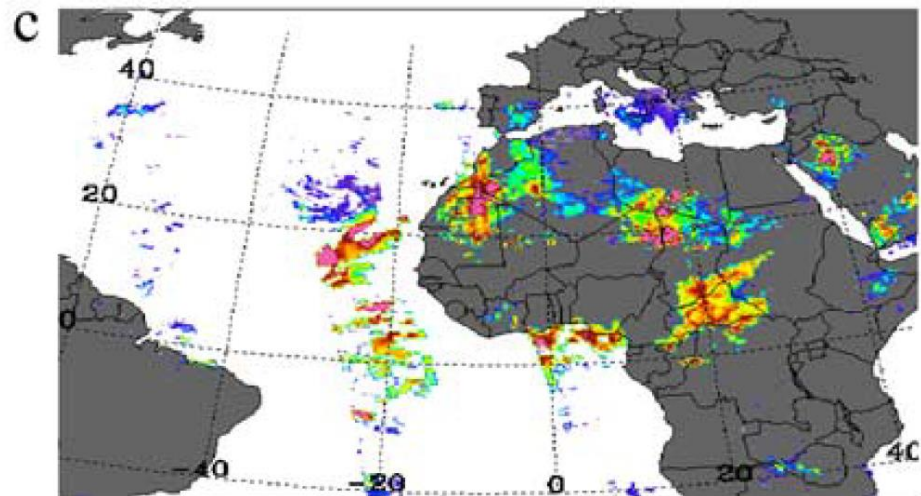
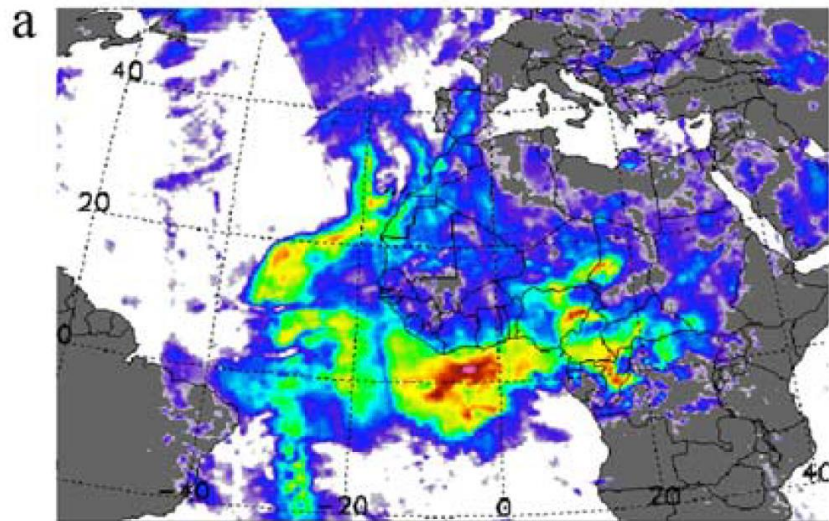
<https://worldview.earthdata.nasa.gov>

Aura Satellit: gestartet 2004

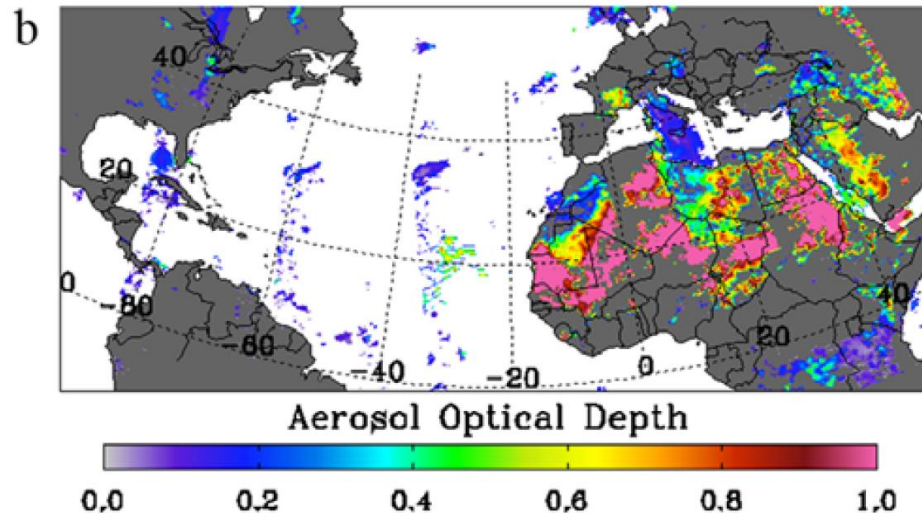
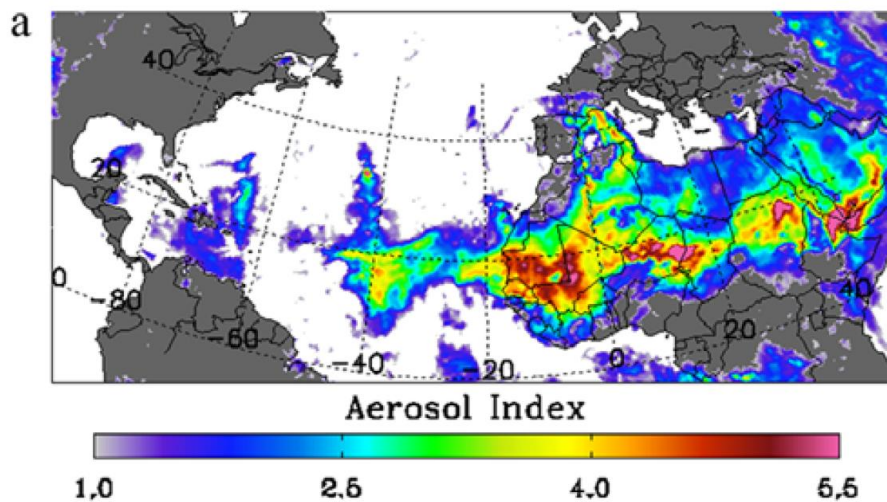
OMI: Mehrere Wellenlängen im nahen UV und sichtbaren Bereich

Aerosolpartikel, die im UV-Bereich absorbieren (carbonaceous aerosols, desert dust, volcanic ash) tragen am meisten zum Aerosolindex bei.





Organisches Aerosol: (a) Aerosolindex, (c) extinction optical depth

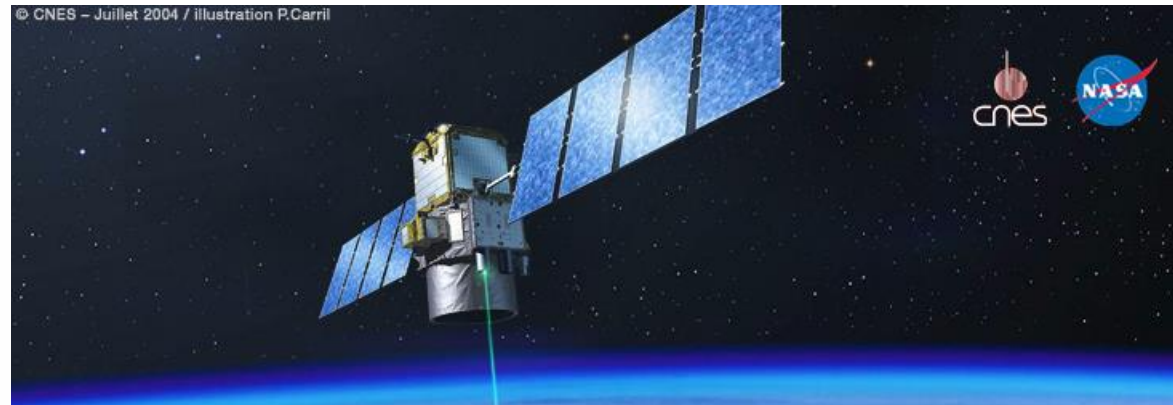
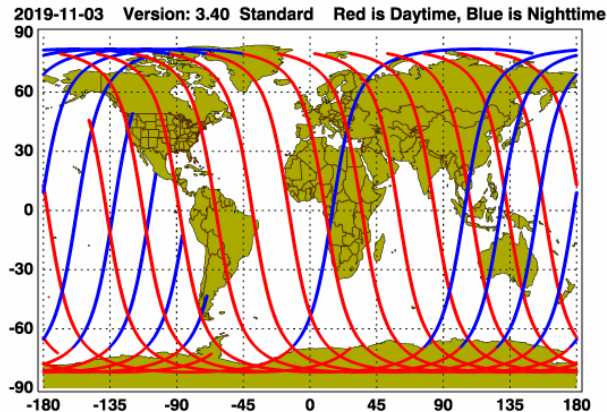


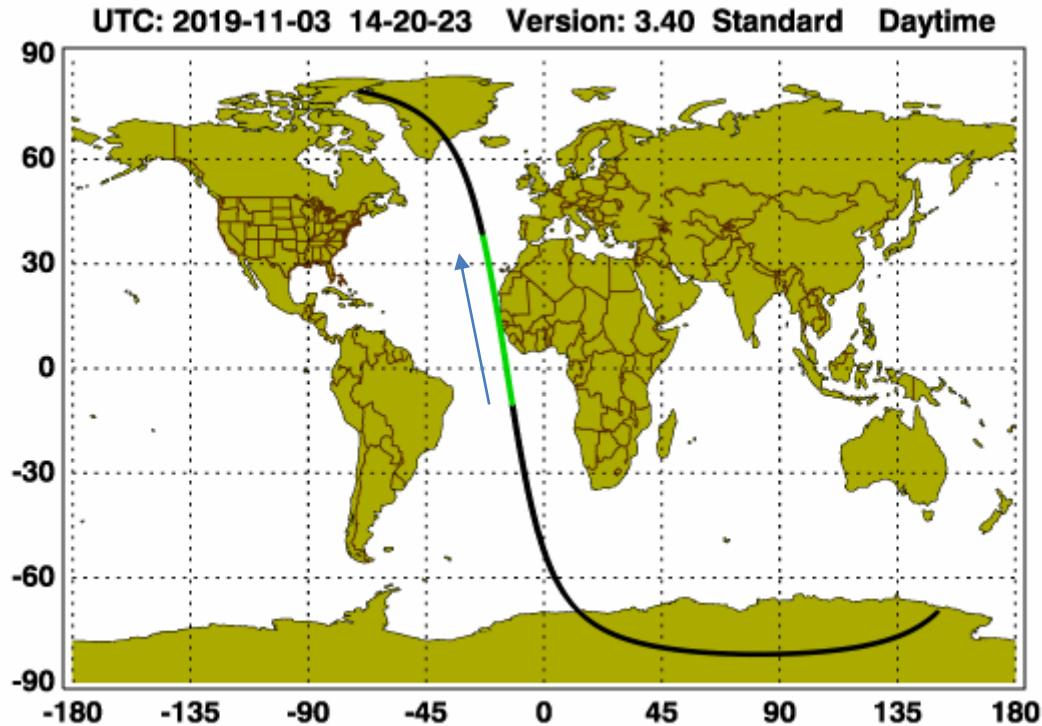
Saharastaub-Event, 15 Juni 2006: (a) Aerosolindex, (b) Extinction optical depth

Torres et al., JGR 2007

Aktives Satelliten-Instrument:
CALIOP (Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization) auf CALIPSO (Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation).

Im Betrieb seit 2006.

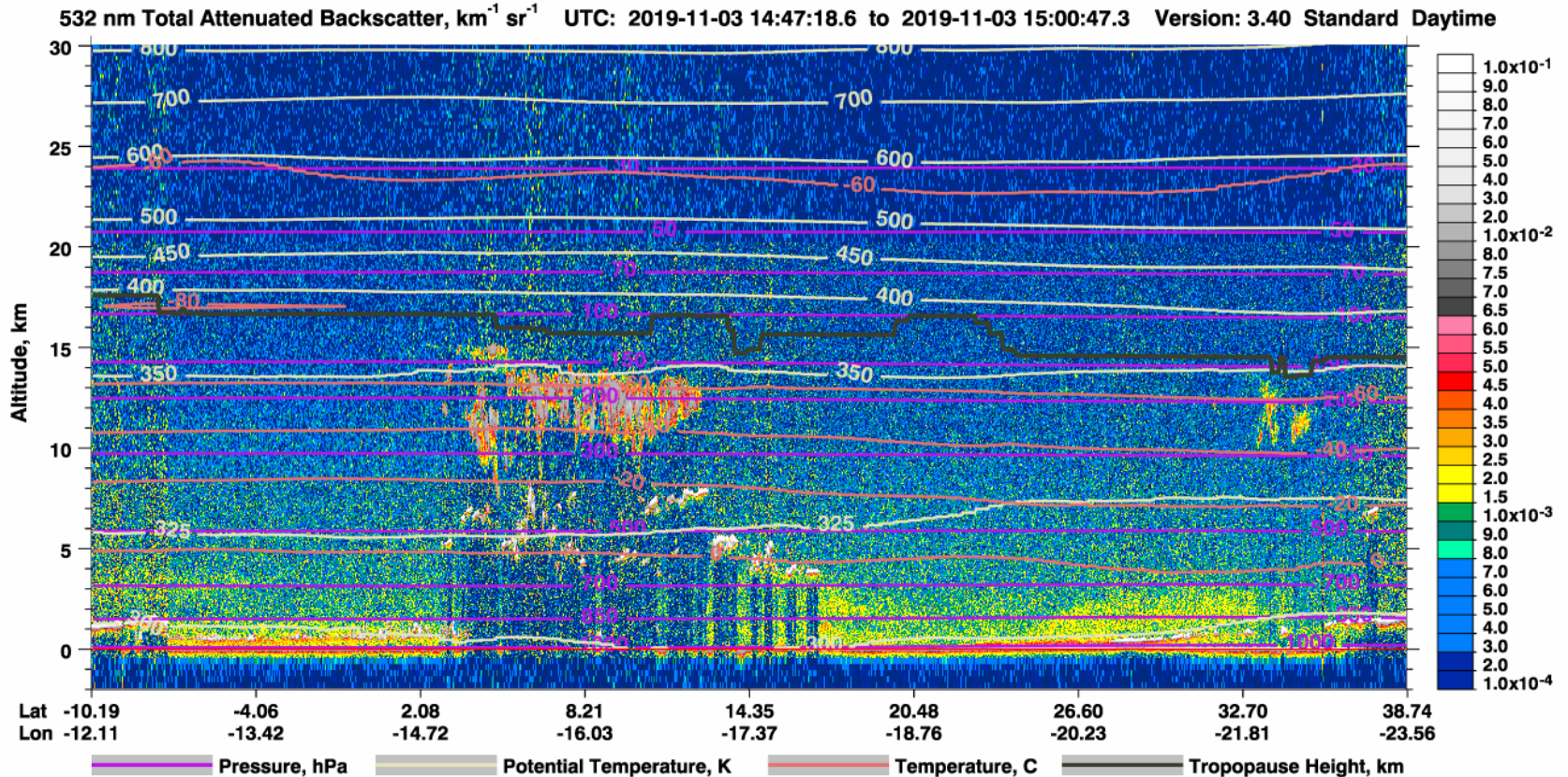




Beispiel für einen
Datensatz:
03.11.2019

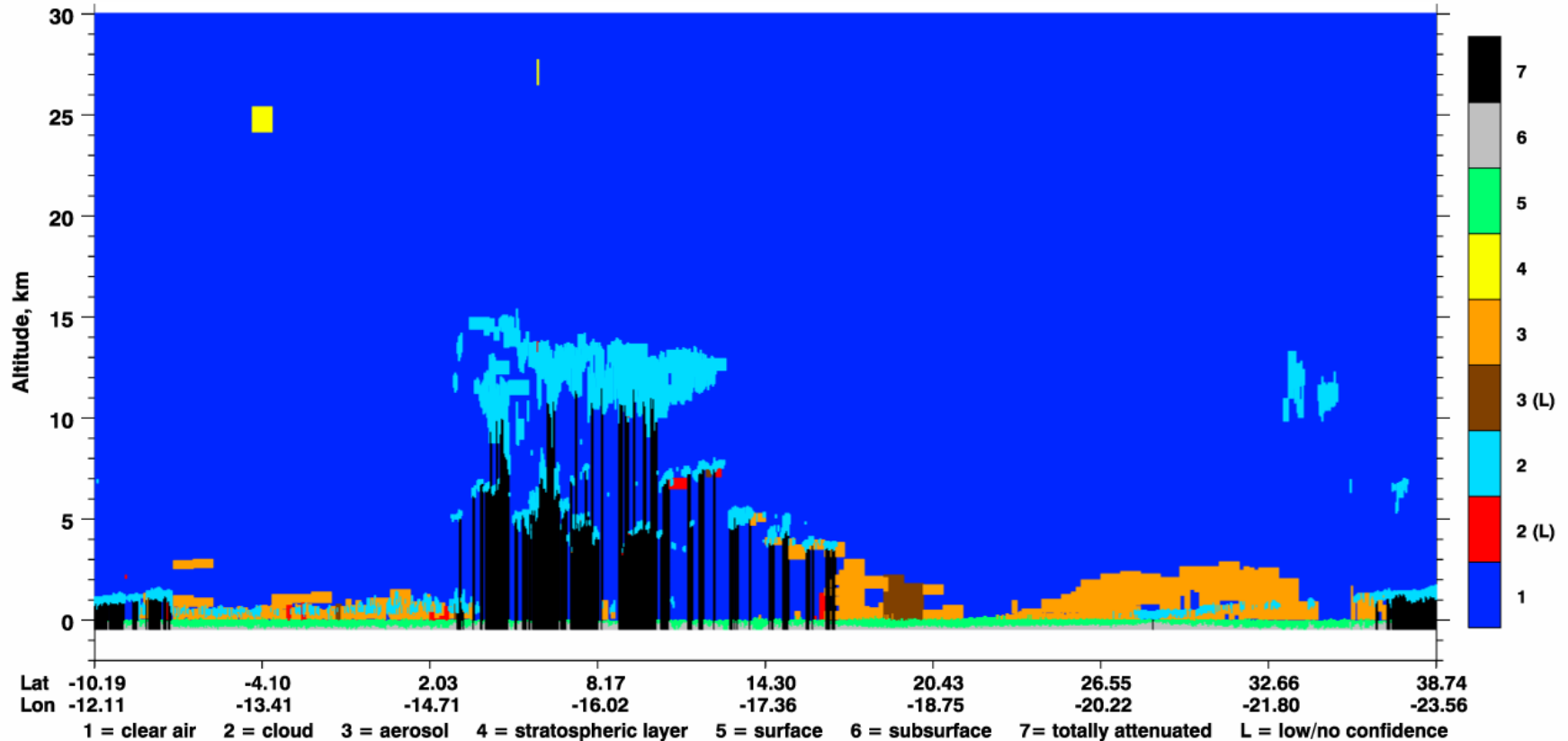
https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images

CALIPSO/CALIOP – Primärdaten (Rückstreuoeffizient)

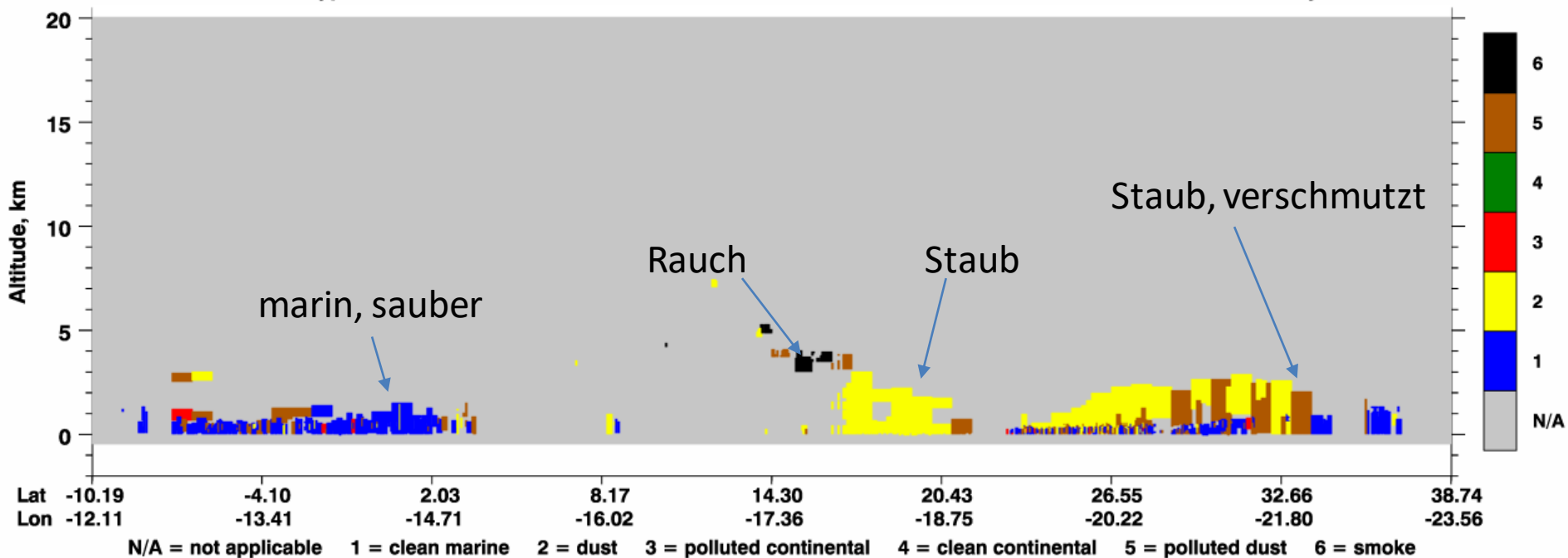


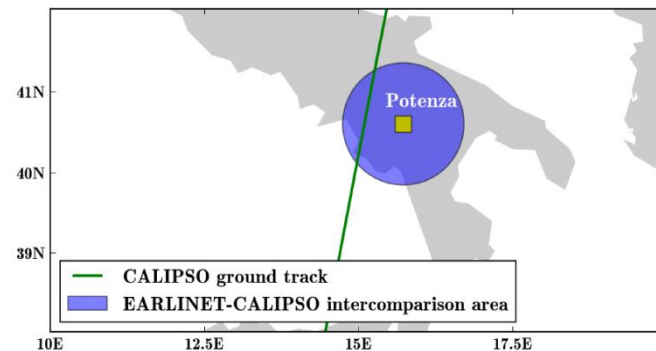
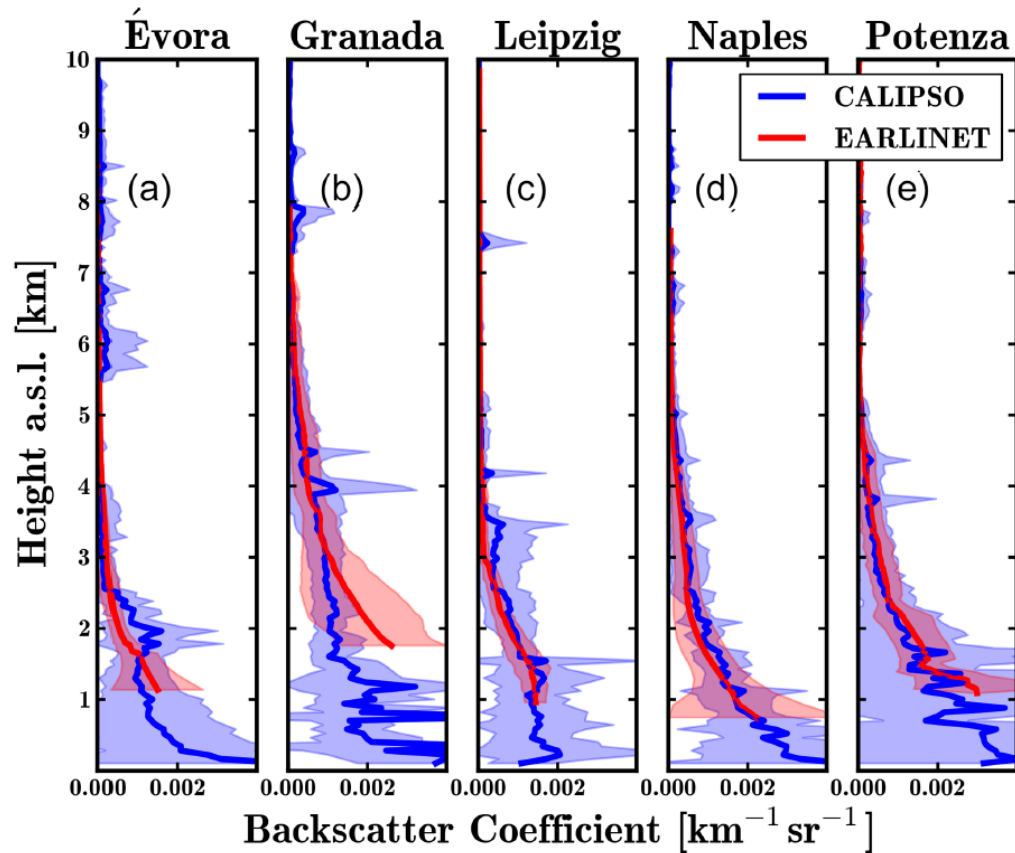
CALIPSO/CALIOP – Sekundärdaten

Vertical Feature Mask UTC: 2019-11-03 14:47:18.6 to 2019-11-03 15:00:47.3 Version: 3.40 Standard Daytime

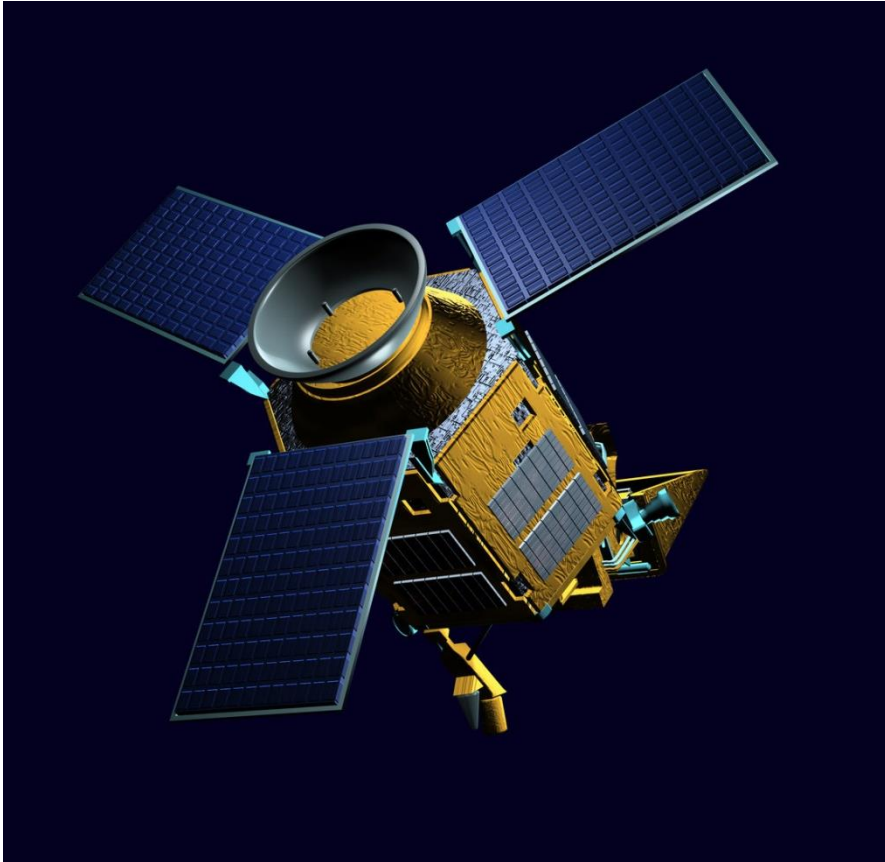


Aerosol Subtype UTC: 2019-11-03 14:47:18.6 to 2019-11-03 15:00:47.3 Version: 3.40 Standard Daytime





Papagiannopoulos et al., ACP, 2016



TROPOMI

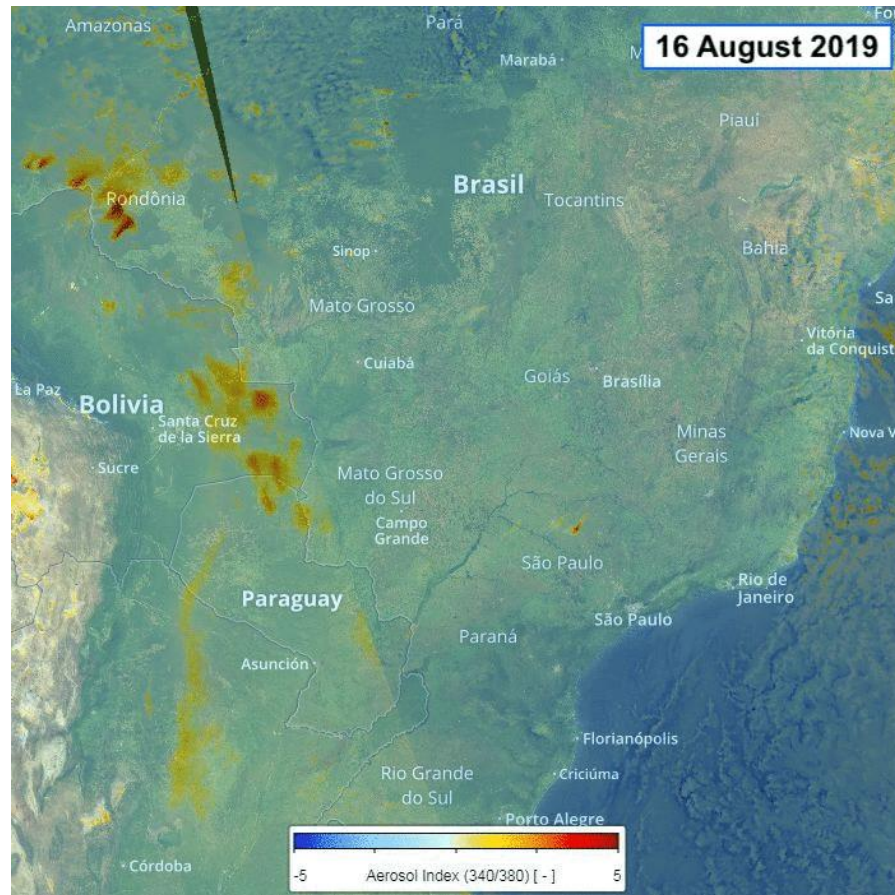
(Tropospheric Monitoring Instrument):
Das Spektrometer misst Stickoxide,
Kohlenmonoxid, Formaldehyd, Ozon, Methan
und Aerosol.

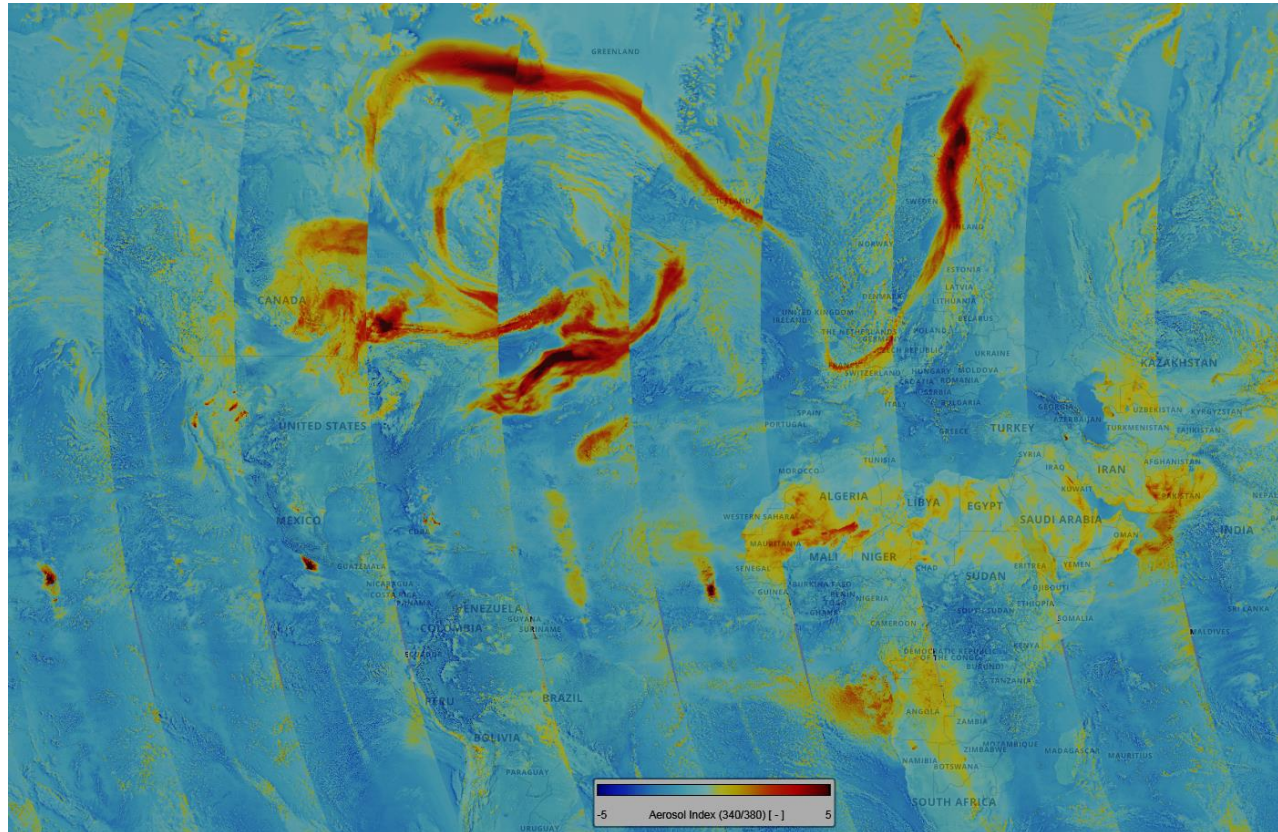
An Bord des Sentinel-5 Precursor (S-5P)
Satelliten der ESA.
Seit Oktober 2017.

UV-VIS-NIR-SWIR Spektrometer.
Spectralbereiche: 270-495 nm, 710-775 nm,
2305-2385 nm

Horizontale Auflösung: $7 \times 7 \text{ km}^2$

TROPOMI – Waldbrände in Brasilien (16. – 20. August 2019)



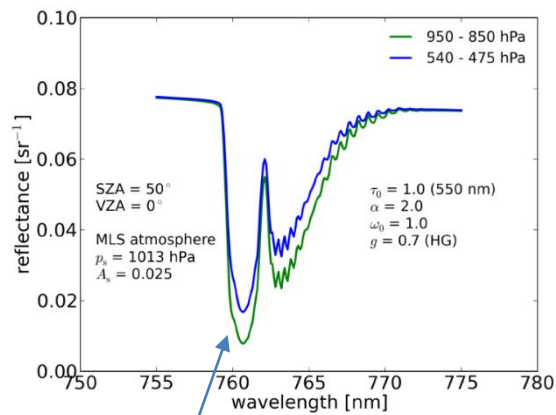
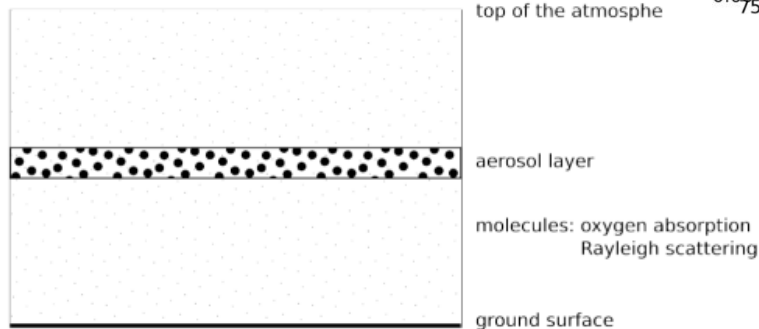
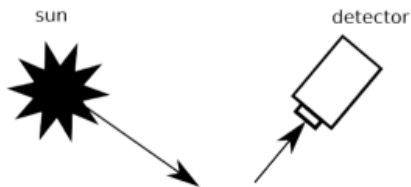


Aerosolindex für den
24 August 2018

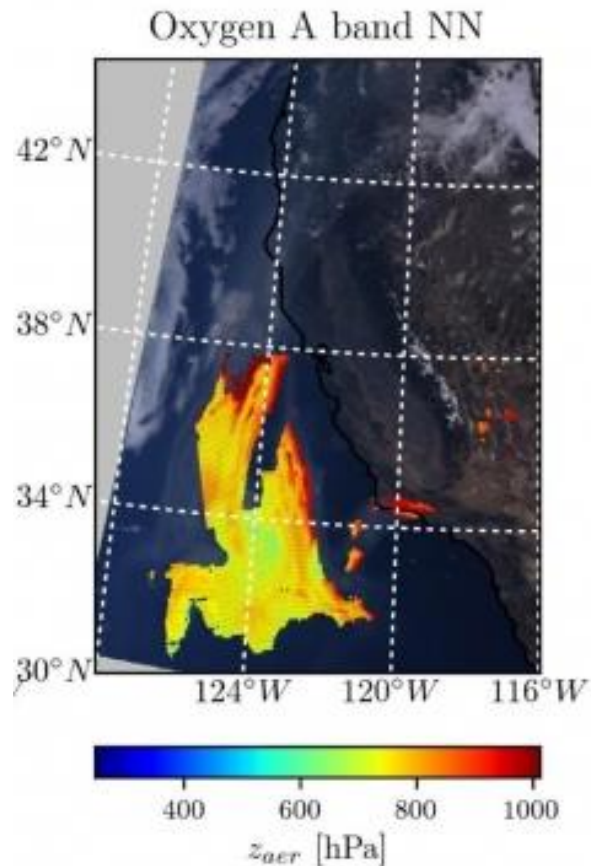
- Vor TROPOMI war es nicht möglich, täglich globale Informationen über die Höhe von Aerosolschichten zu erhalten
- Aktive Sensoren (wie CALIOP) liefern Höheninformation, aber diese Instrumente beobachten nur sehr enge Bahnen
- Passive Sensoren wie TROPOMI beobachten eine größere Fläche und können daher die ganze Erde an einem Tag abdecken

TROPOMI – AHL (Aerosol Layer Height)

Die Höhe einer Aerosolschicht kann aus der druckabhängigen Absorption der O₂ A-Bande (zwischen 759 und 770 nm) gewonnen werden.



Differenz der
Spektren ergibt den
Druck in der
Aerosolschicht



TROPOMI – Validierung mit CALIOP

<https://doi.org/10.5194/amt-2019-348>
Preprint. Discussion started: 14 October 2019
© Author(s) 2019. CC BY 4.0 License.

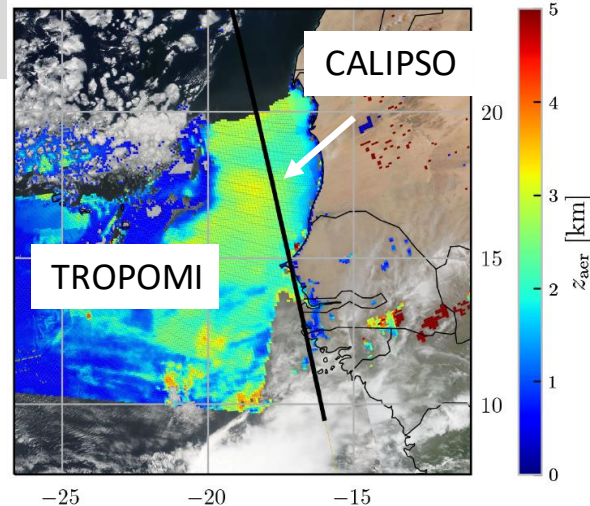


Atmospheric
Measurement
Techniques
Discussions
Open Access
EGU

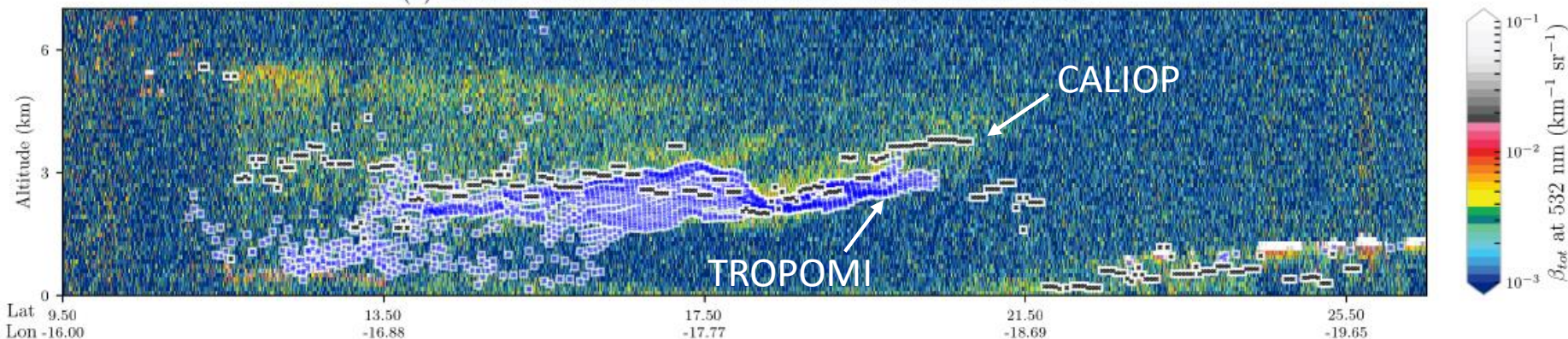
Validating TROPOMI aerosol layer height retrievals with CALIOP data

Swadhin Nanda², Martin de Graaf¹, J. Pepijn Veeffkind^{1,2}, Maarten Sneep¹, Mark ter Linden^{1,3}, Jiyunting Sun^{1,2}, and Pieterneel F. Levelt^{1,2}

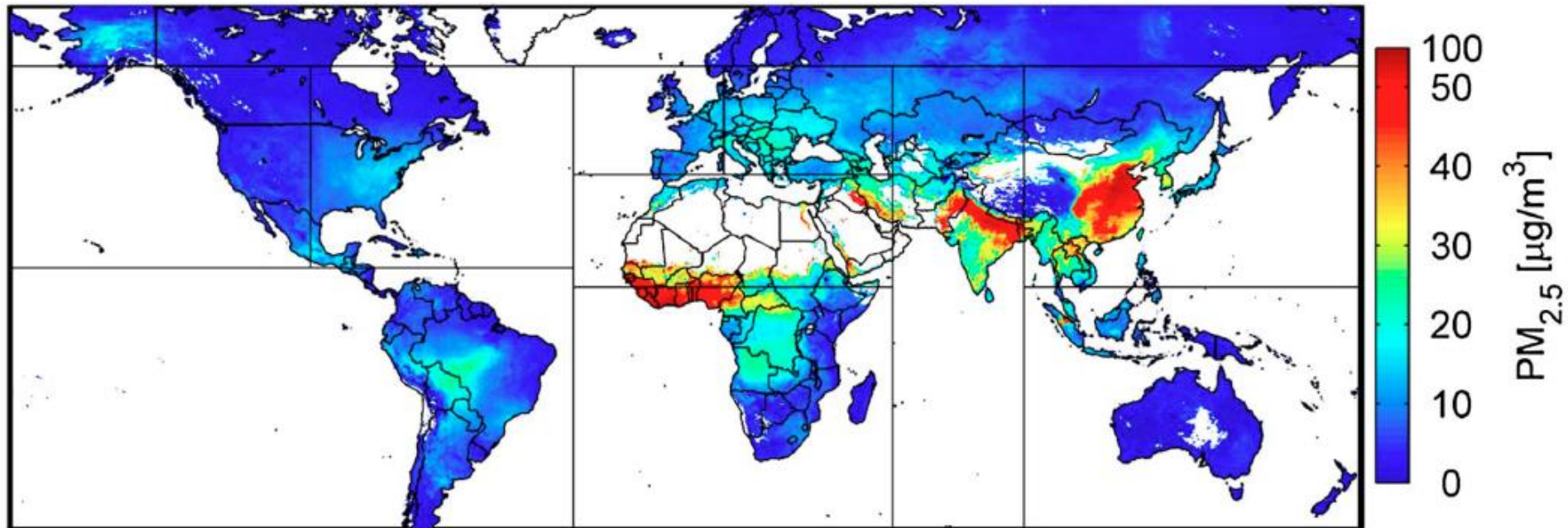
(o) 2018-06-10



(c) 10 Jun 2018 14:43:31 UTC - 10 Jun 2018 14:52:06 UTC



MODIS + AERONET + CALIOP + GEOS-Chem Modell



van Donkelaar et al., JGR, 2013

- Seit den neunziger Jahren Aufbau und Etablierung von globalen Aerosolmessungen, vom Boden, von Flugzeugen und von Satelliten aus
- Passive und aktive Fernerkundung als auch in-situ Verfahren
- In-Situ Messungen liefern mehr Details (chemische Zusammensetzung, Partikelgröße, -anzahl etc.), aber nicht wirklich global zu realisieren
- Auch mit Bodenstationen keine vollständige globale Abdeckung möglich
- Satelliten können globale Daten liefern, benötigen aber Validierung und Ergänzung durch Bodenmessungen und/oder in-situ Daten für die Datenauswertung
- Kombination aus mehrere Verfahren liefert die bestmögliche Datenbasis
- Ausblick: EarthCARE (ESA) mit Aerosol-Lidar, passivem Spektrometer, Wolkenradar etc., Start geplant für 2021

Vielen Dank!



ESA-Satellit EarthCARE

© ESA