

Spectroscopie van de aardatmosfeer

satellietwaarnemingen van broeikasgassen en luchtkwaliteit

Ralph Snel

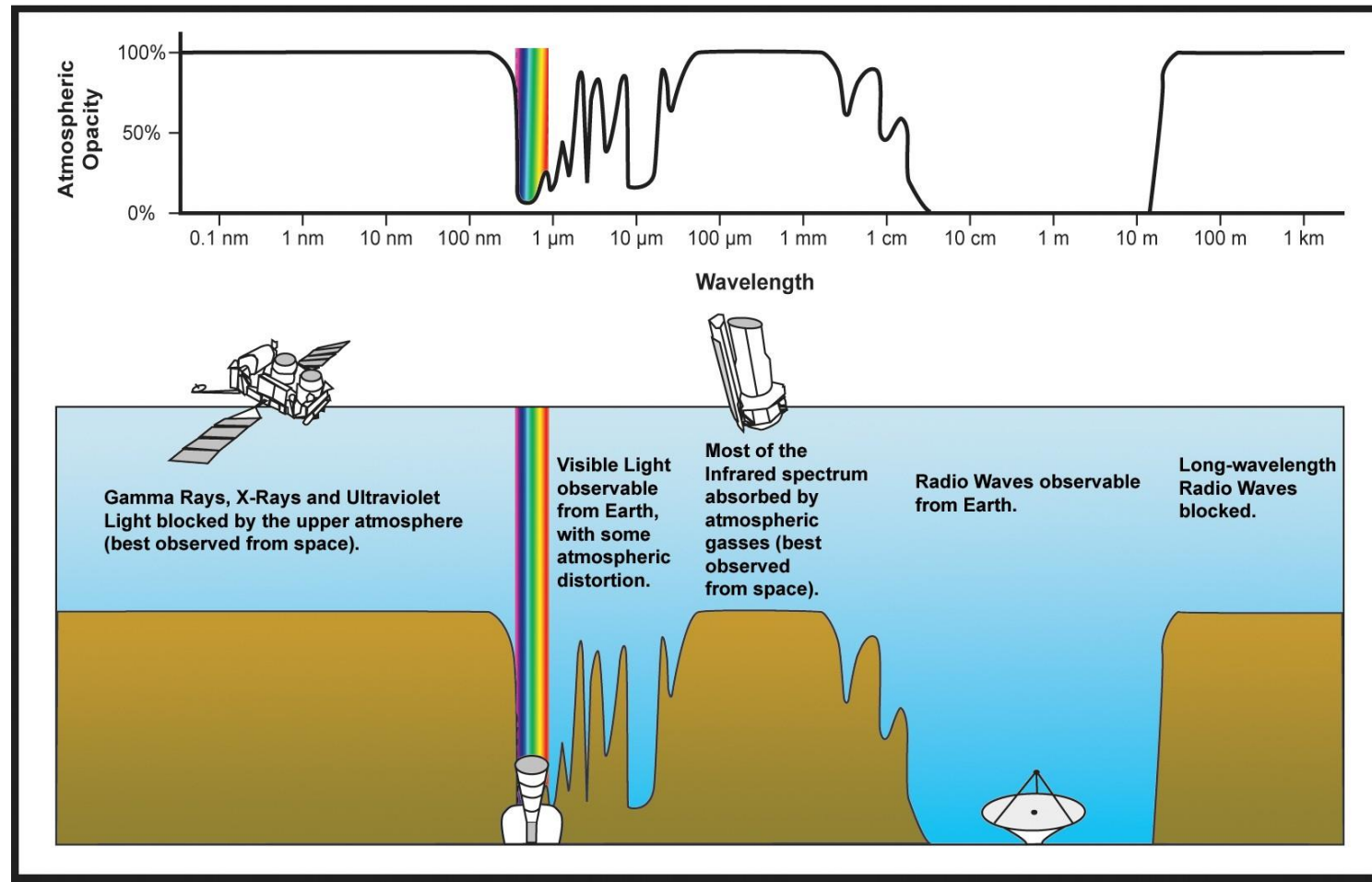
2018-11-24

Overzicht

- Waarom spectroscopie van de aardatmosfeer
- Hoe ontstaan spectraallijnen
- Broeikasgassen
- Luchtkwaliteit
- Enkele voorbeelden

Waarom spectroscopie van de aardatmosfeer

- Spectra van astronomische objecten vanaf de grond

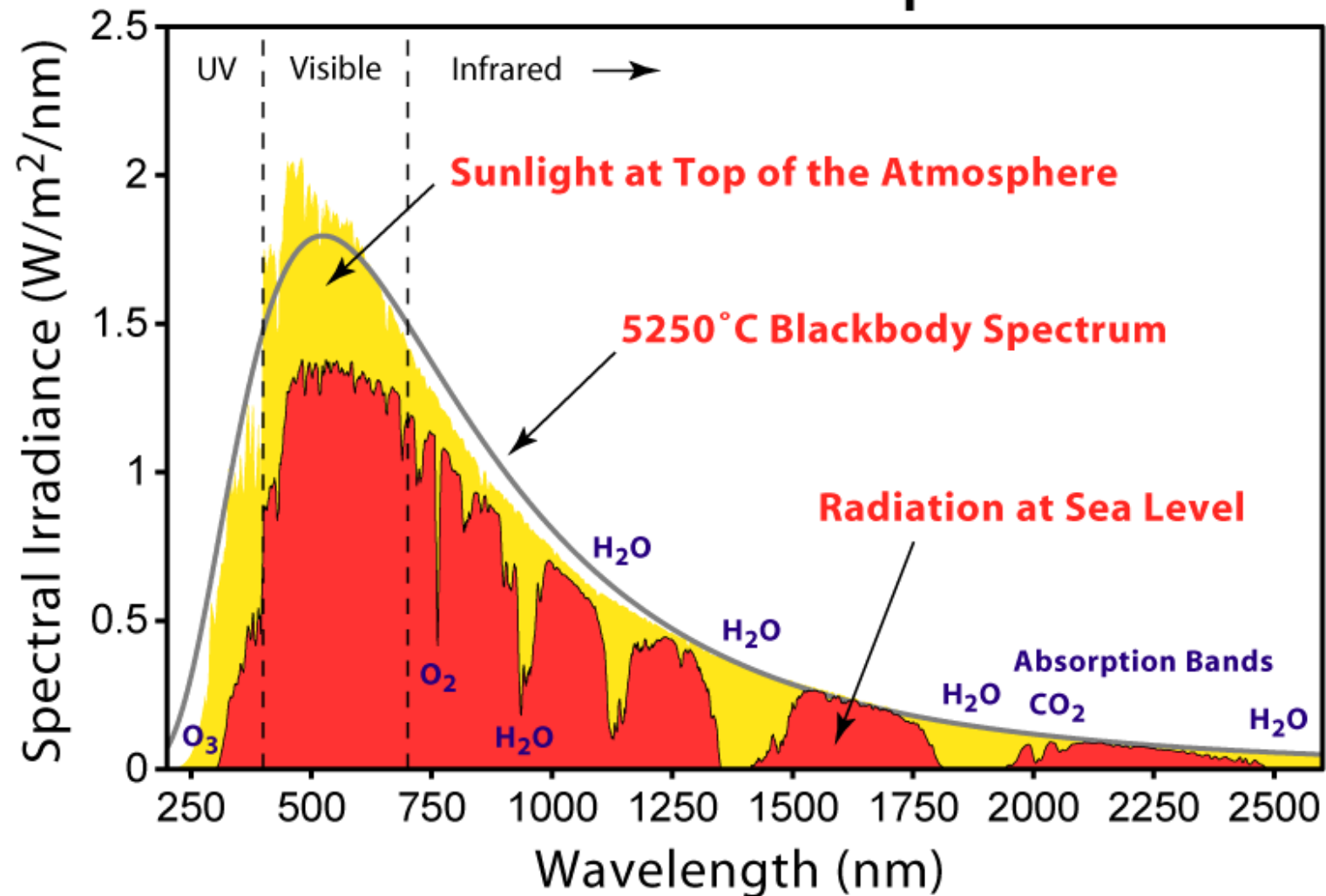


Waarom spectroscopie van de aardatmosfeer

- Spectra van astronomische objecten vanaf de grond
- Niet al het licht kan de grond voor 100% bereiken – correctie nodig?

Waarom spectroscopie van de aardatmosfeer

Solar Radiation Spectrum

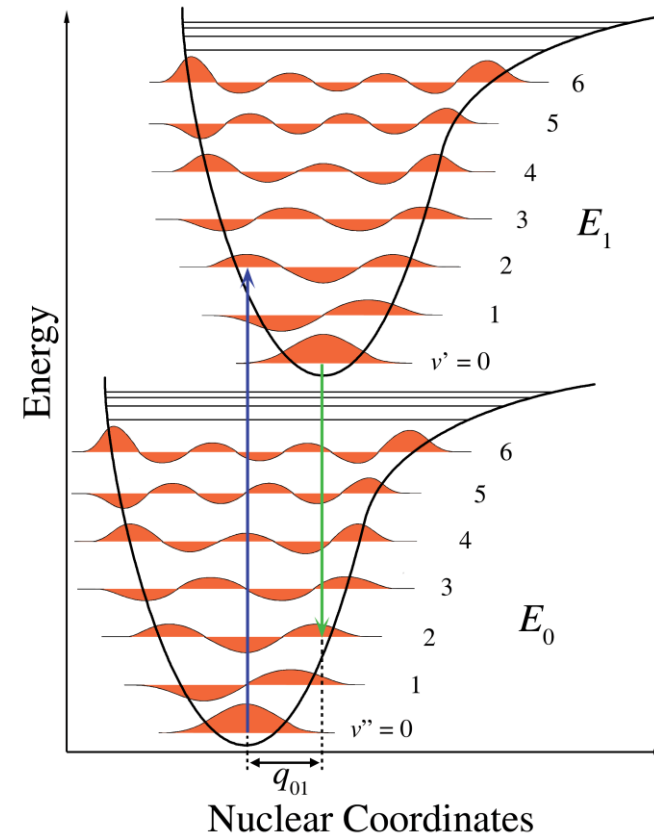
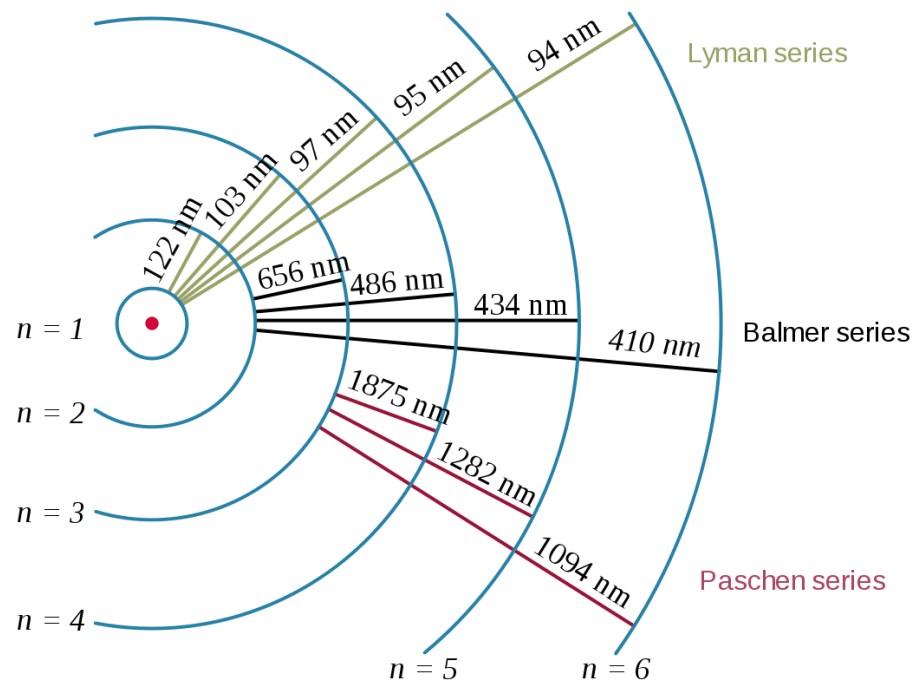


Waarom spectroscopie van de aardatmosfeer

- Spectra van astronomische objecten vanaf de grond
- Niet al het licht kan de grond voor 100% bereiken – correctie nodig?
- Maar de atmosfeer is op zichzelf ook al interessant!
- Atmosfeeronderzoek van de grond naar boven toe
- En van boven naar beneden: gereflecteerd zonlicht
- Satellieten kunnen de samenstelling van de aardatmosfeer meten

Hoe ontstaan spectraallijnen

- Elektronische overgangen (atomen en moleculen)
- Vibraties en rotaties (moleculen)



Spectraallijnen: wet van Lambert-Beer (1)



Spectraallijnen: wet van Lambert-Beer (2)

- Hoe hoger de concentratie, des te meer absorptie
- Hoe langer de afstand door het absorberende medium, des te meer absorptie



Spectraallijnen: wet van Lambert-Beer (2)

- Hoe hoger de concentratie, des te meer absorptie
- Hoe langer de afstand door het absorberende medium, des te meer absorptie
- $I_1 = I_0 * 10^{-\epsilon * c * d}$
 - I_0 : oorspronkelijke intensiteit
 - I_1 : overgebleven intensiteit
 - c : concentratie
 - d : afstand, dikte
 - ϵ : extinctiecoëfficiënt

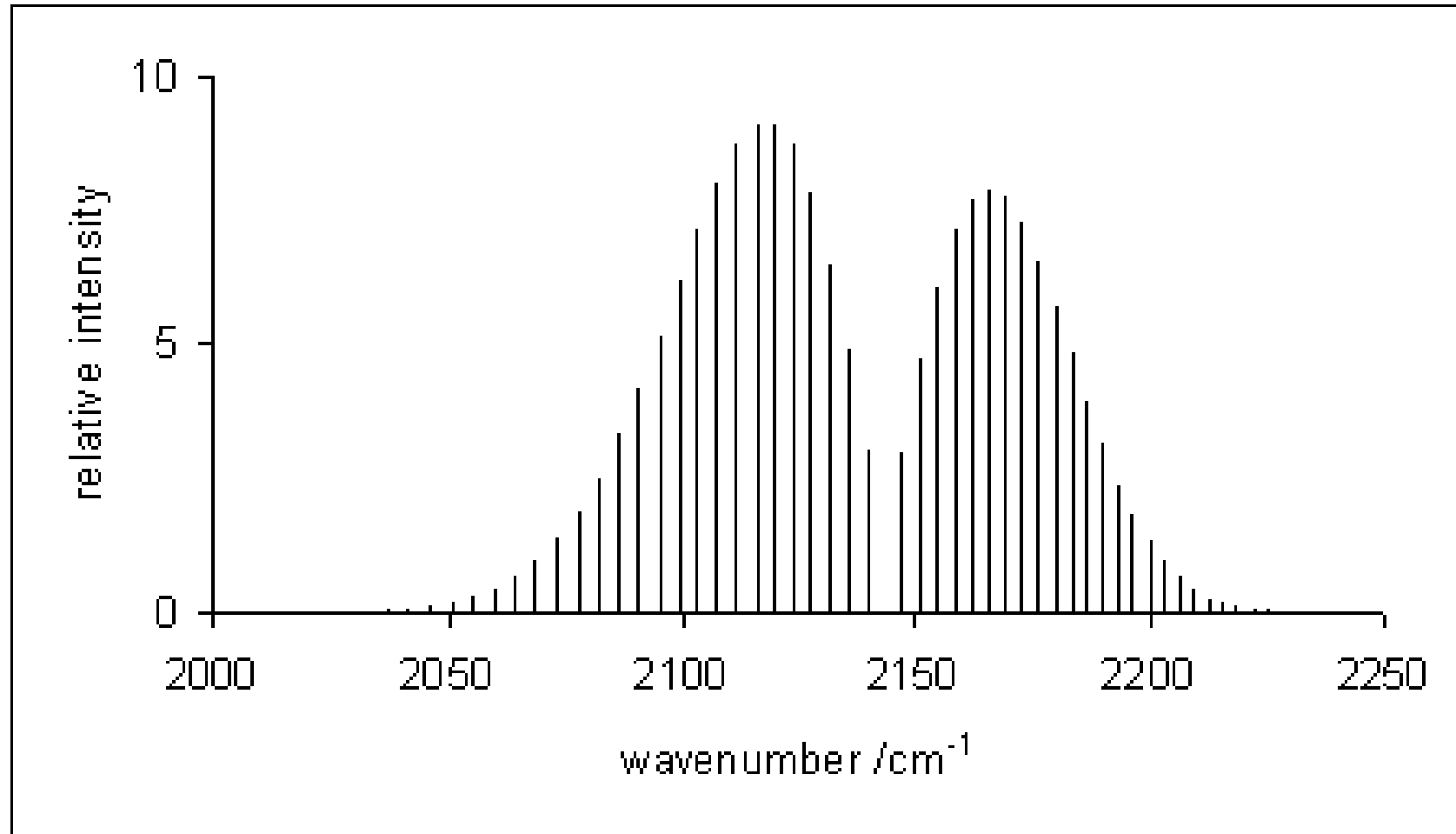


Spectraallijnen: wet van Lambert-Beer (2)

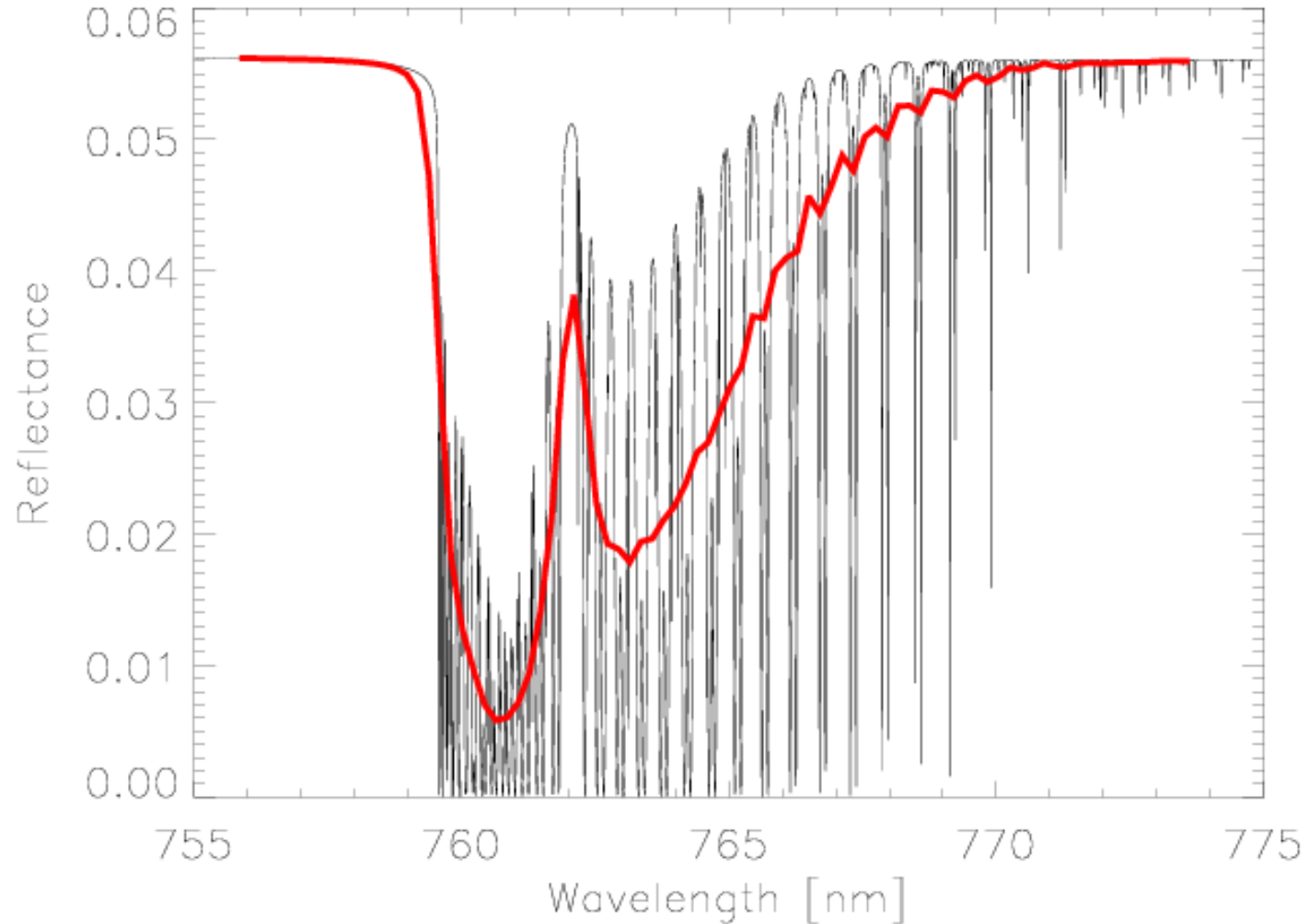
- Hoe hoger de concentratie, des te meer absorptie
- Hoe langer de afstand door het absorberende medium, des te meer absorptie
- $I_1 = I_0 * 10^{-\epsilon * c * d}$
 - I_0 : oorspronkelijke intensiteit
 - I_1 : overgebleven intensiteit
 - c : concentratie
 - d : afstand, dikte
 - ϵ : **extinctiecoëfficiënt**
Golflengteafhankelijk!



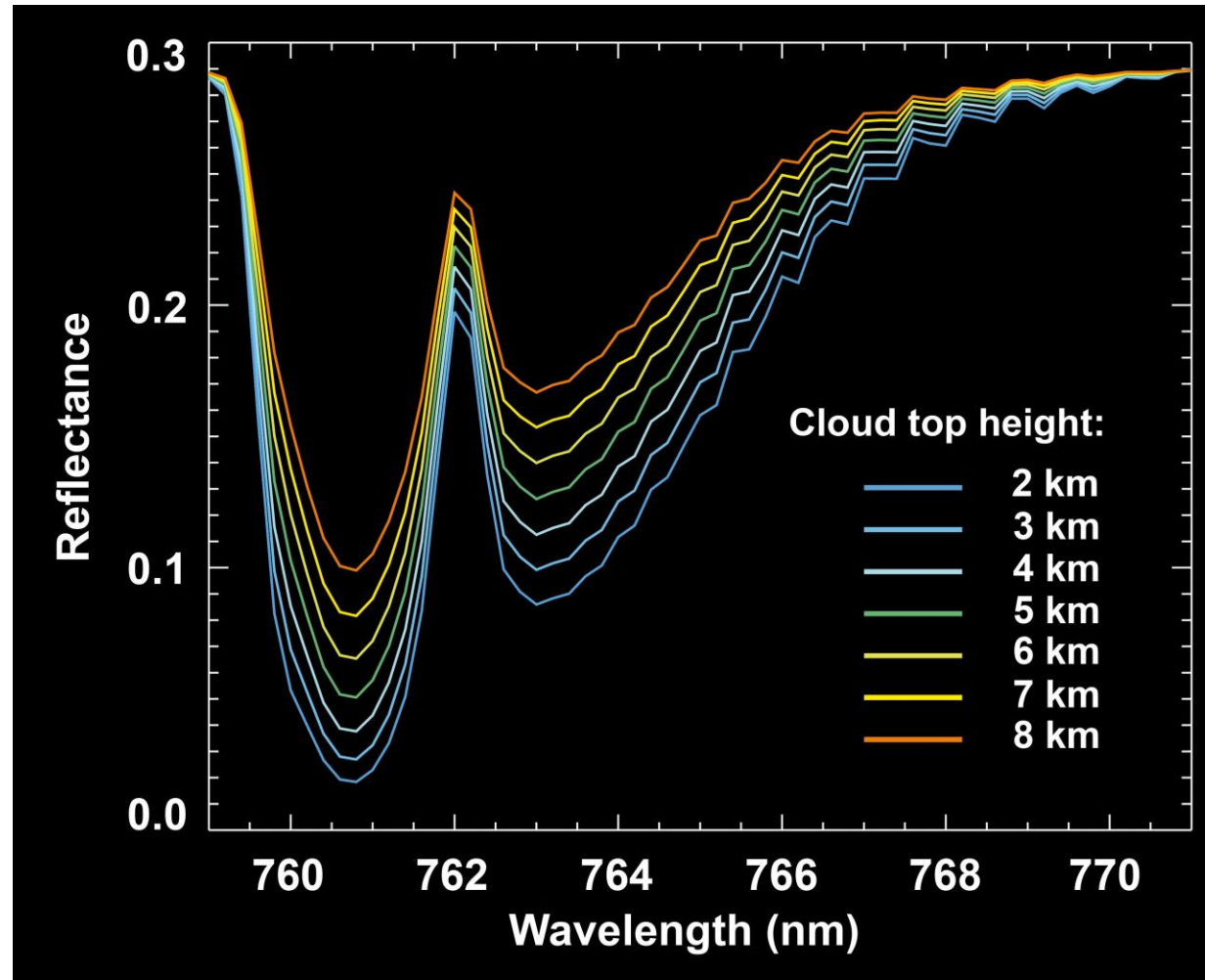
Extinctiecoëfficiënt van een eenvoudig molecuul (koolmonoxide, CO)



Spectrum van een eenvoudig molecuul (zuurstof, O₂)



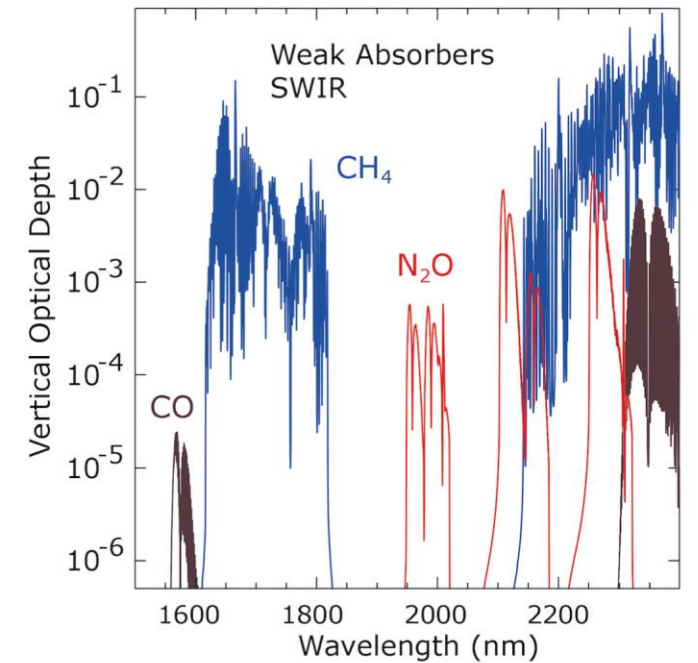
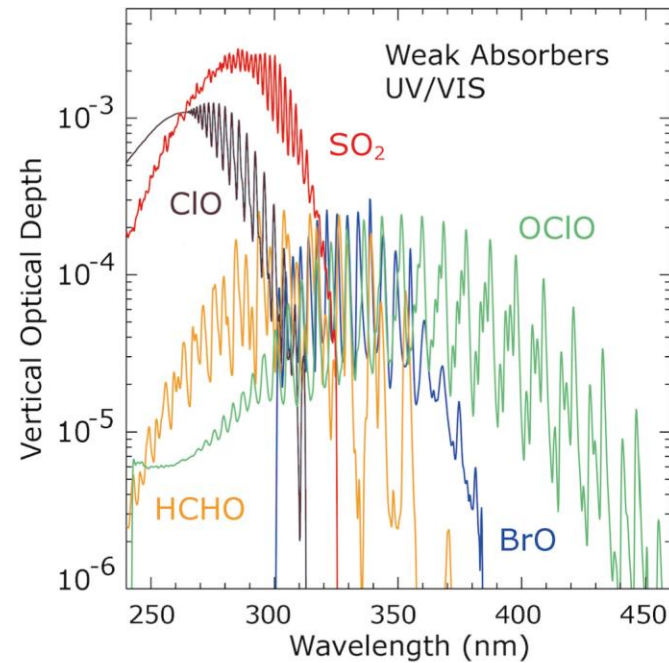
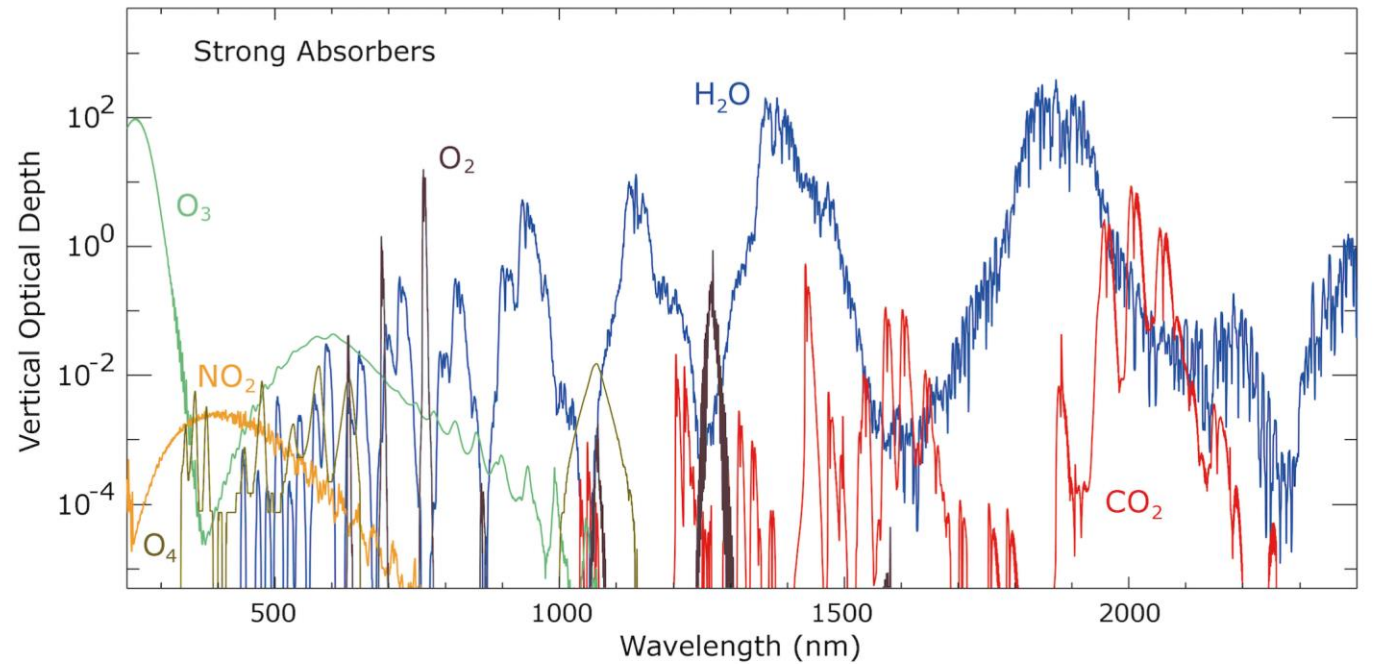
Het effect van padlengte: zuurstof vanuit de ruimte gezien



Hoe ontstaan spectraallijnen

- Golflengte is afhankelijk van de (chemische) samenstelling
- Sterkte is afhankelijk van concentratie en padlengte
- Resolutie van de waarneming is erg belangrijk

Veel verschillende gassen



Satellietwaarnemingen: spectrofotometers

- Al decennia lang:
 - Meteorologische satellieten (waterdamp)
 - Ozongat (ontdekt 1985, terug te zien vanaf 1976)
 - CFC's
 - Broeikasgassen
 - Luchtkwaliteit
- Satellieten met inbreng van Nederland:
 - GOME (1995-2011)
 - SCIAMACHY (2002-2012)
 - OMI (2004-nu)
 - GOME-2 (2006-nu, 2012-nu, 2018-nu)
 - TROPOMI (2017-nu)
 - Sentinel 5 (2021?)

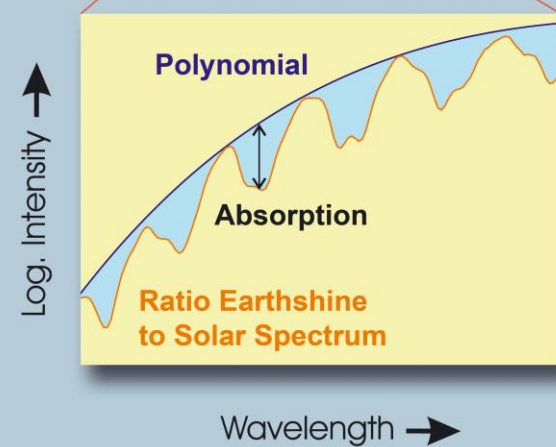
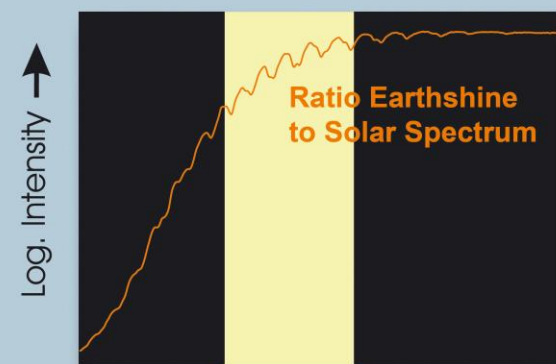
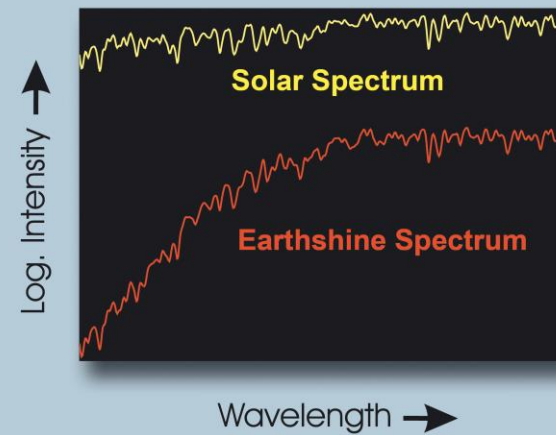
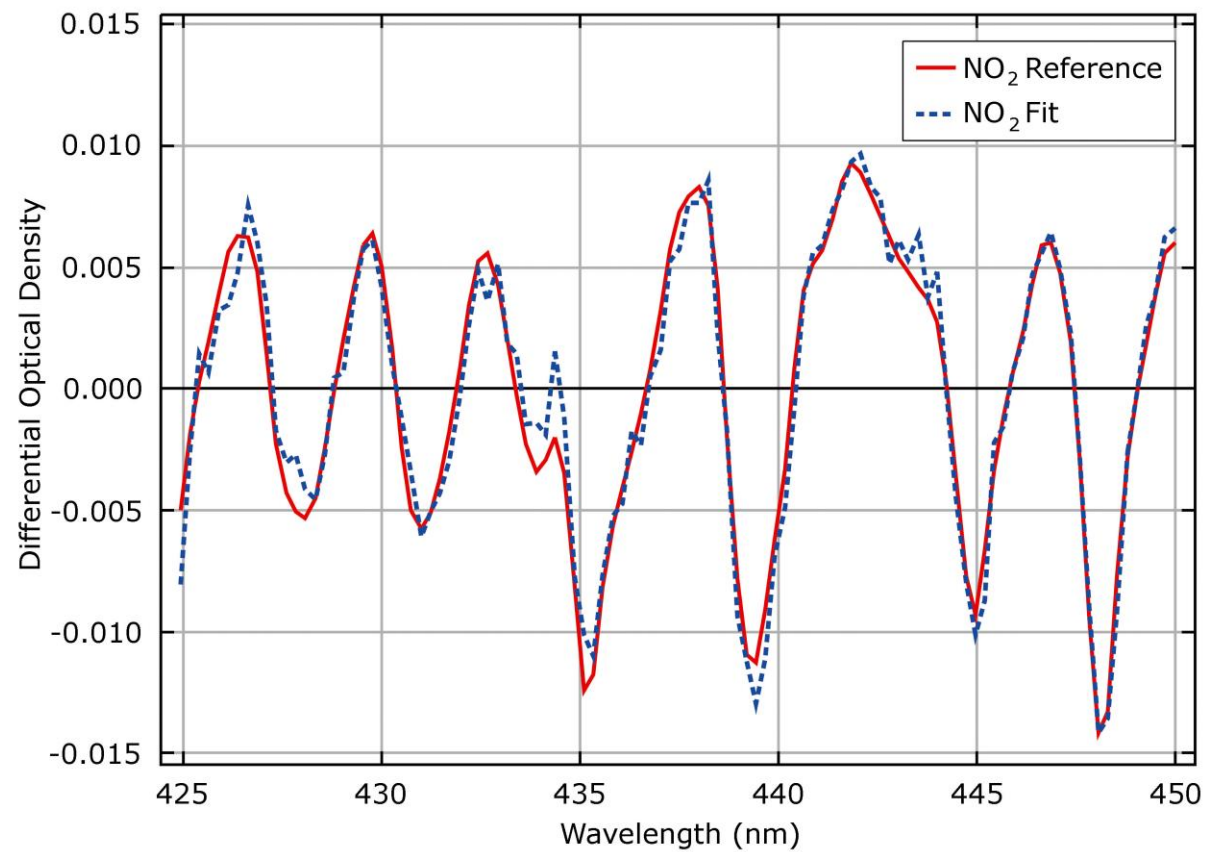
Broeikasgassen

- Infra-rood, typisch boven of ver boven 1000 nm golflengte
- SCIAMACHY en TROPOMI meten tot 2500 nm
- H₂O (waterdamp), CH₄ (methaan), CO₂ (kooldioxide)
- Gemeten spectrum wordt vergeleken met een gesimuleerd spectrum, simulatie wordt aangepast om op het gemeten spectrum te lijken:
 - Concentratie als functie van plaats op aarde, hoogte in de atmosfeer, en tijd

Luchtkwaliteit

- UV, zichtbaar, IR
- Kleine stukjes van het spectrum (gassen) of het hele spectrum (fijn stof)
- Fijn stof, NO_2 (uitlaatgassen), SO_2 (zwaveldioxide, zure regen en vulkaanuitbarstingen), O_3 (ozon, smog)
- Differential Optical Absorption Spectroscopy DOAS:
 - Kijk naar (heel) kleine verschillen in spectrum met heel specifieke signatuur

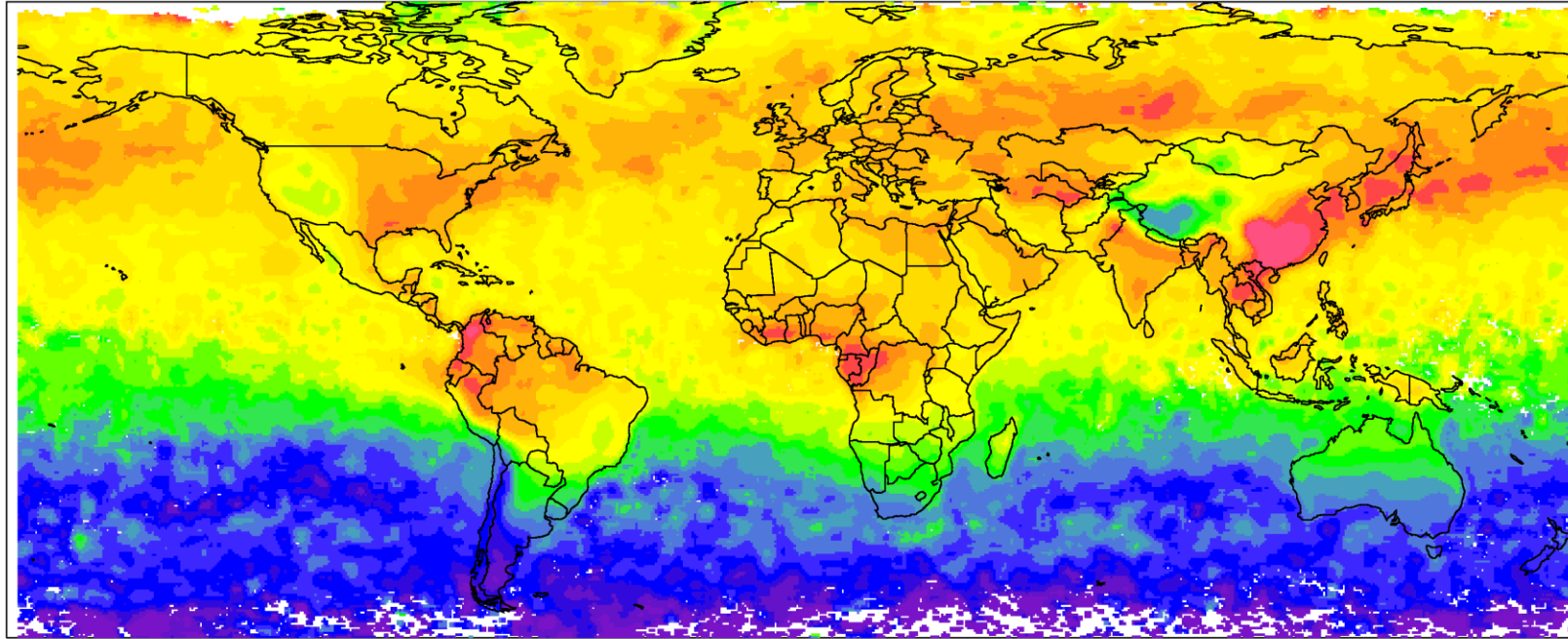
DOAS



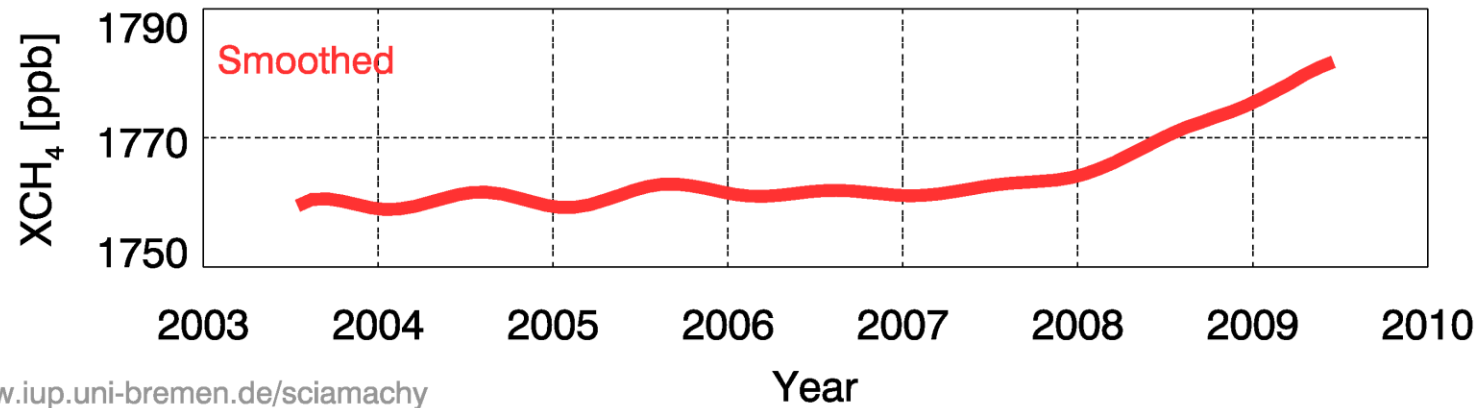
Enkele voorbeelden

- SCIAMACHY CH₄ (broeikasgas)
- SCIAMACHY CO (koolmonoxide, luchtkwaliteit)
- TROPOMI CO (koolmonoxide, luchtkwaliteit)
- TROPOMI NO₂ (luchtkwaliteit)
- TROPOMI SO₂ (vulkaanuitbarsting)

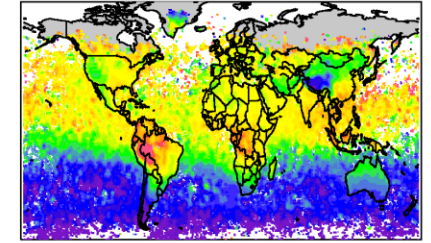
Methane SCIAMACHY/ENVISAT



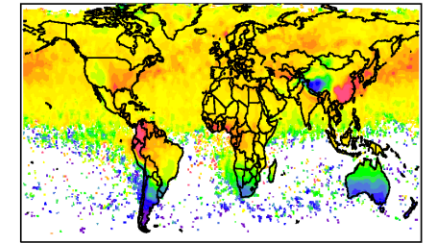
CH₄ column averaged mixing ratio [ppb]



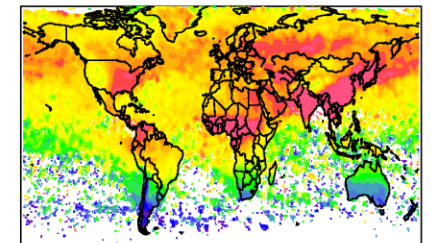
Jan-Mar



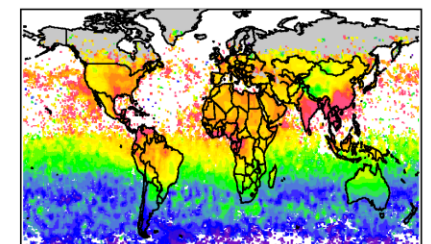
Apr-Jun



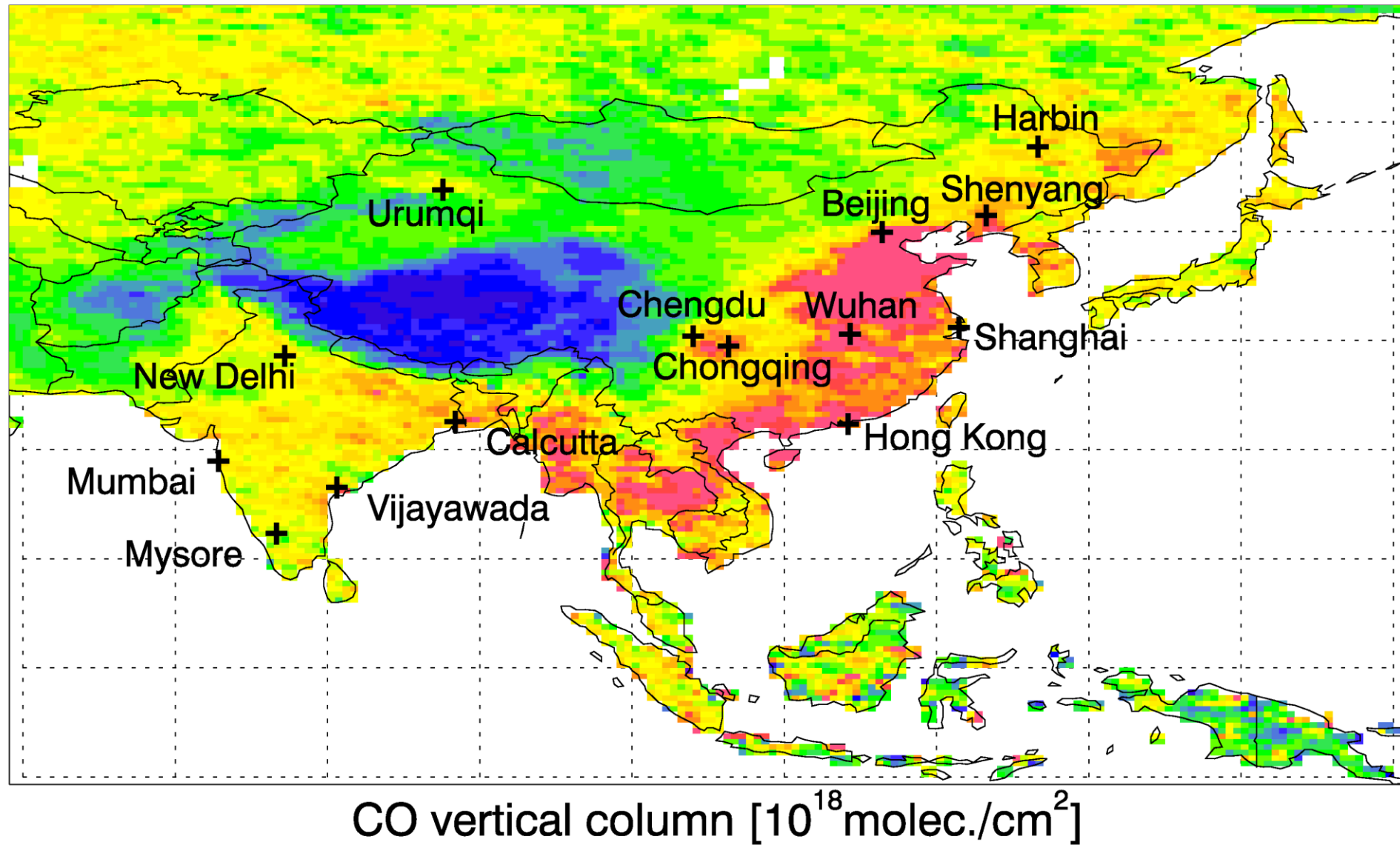
Jul-Sep



Oct-Dec



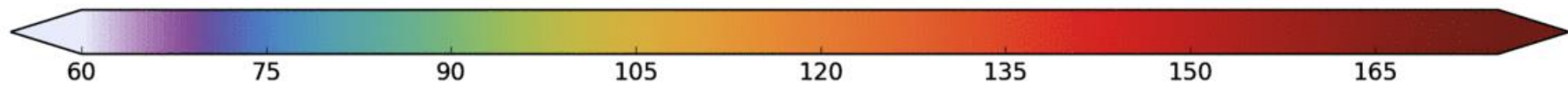
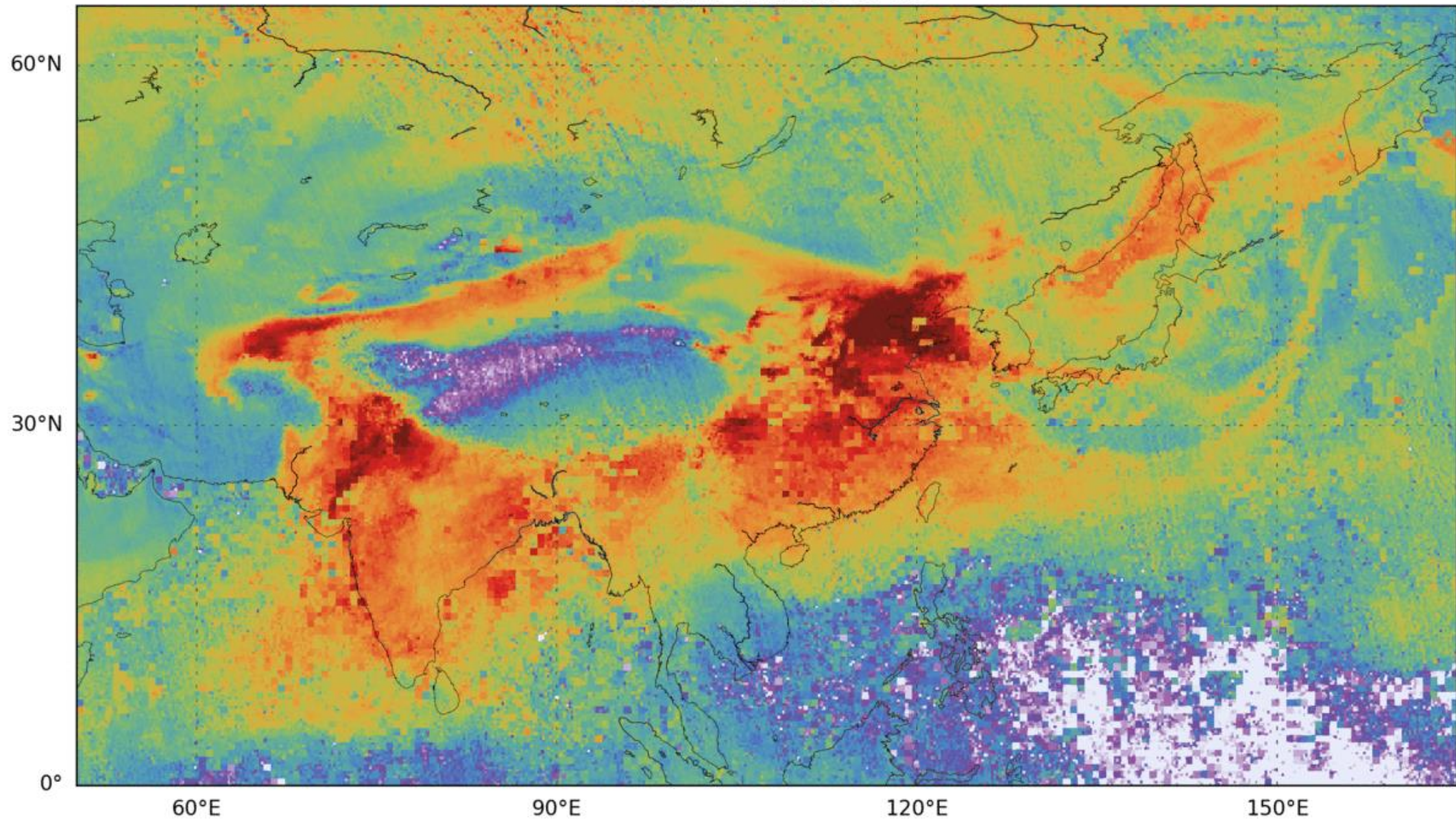
Carbon monoxide SCIAMACHY/WFMD 2004



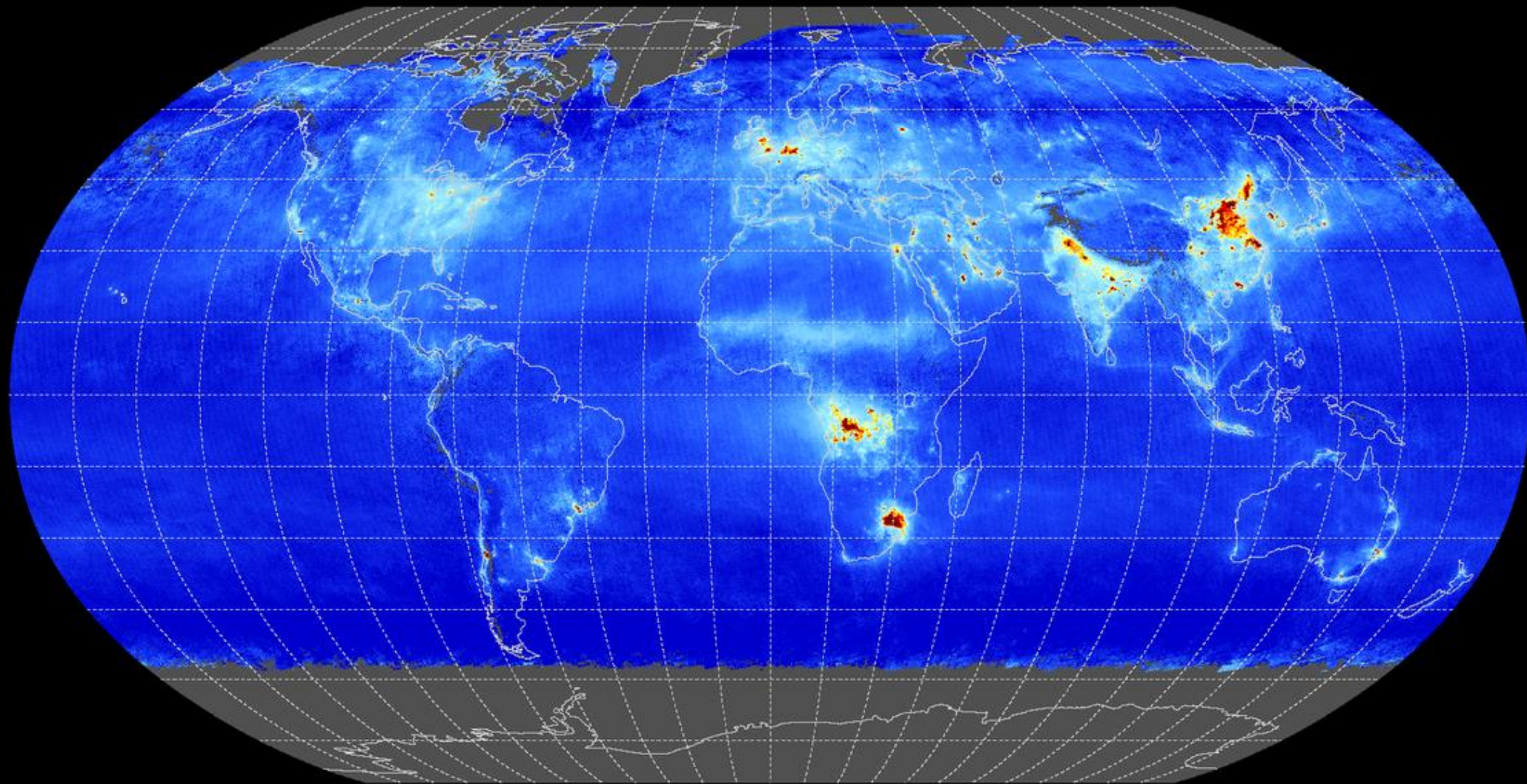
CO vertical column [10^{18} molec./cm²]



TROPOMI CO 2017-11-16



S5P/TROPOMI mean NO₂ tropospheric column, June 2018

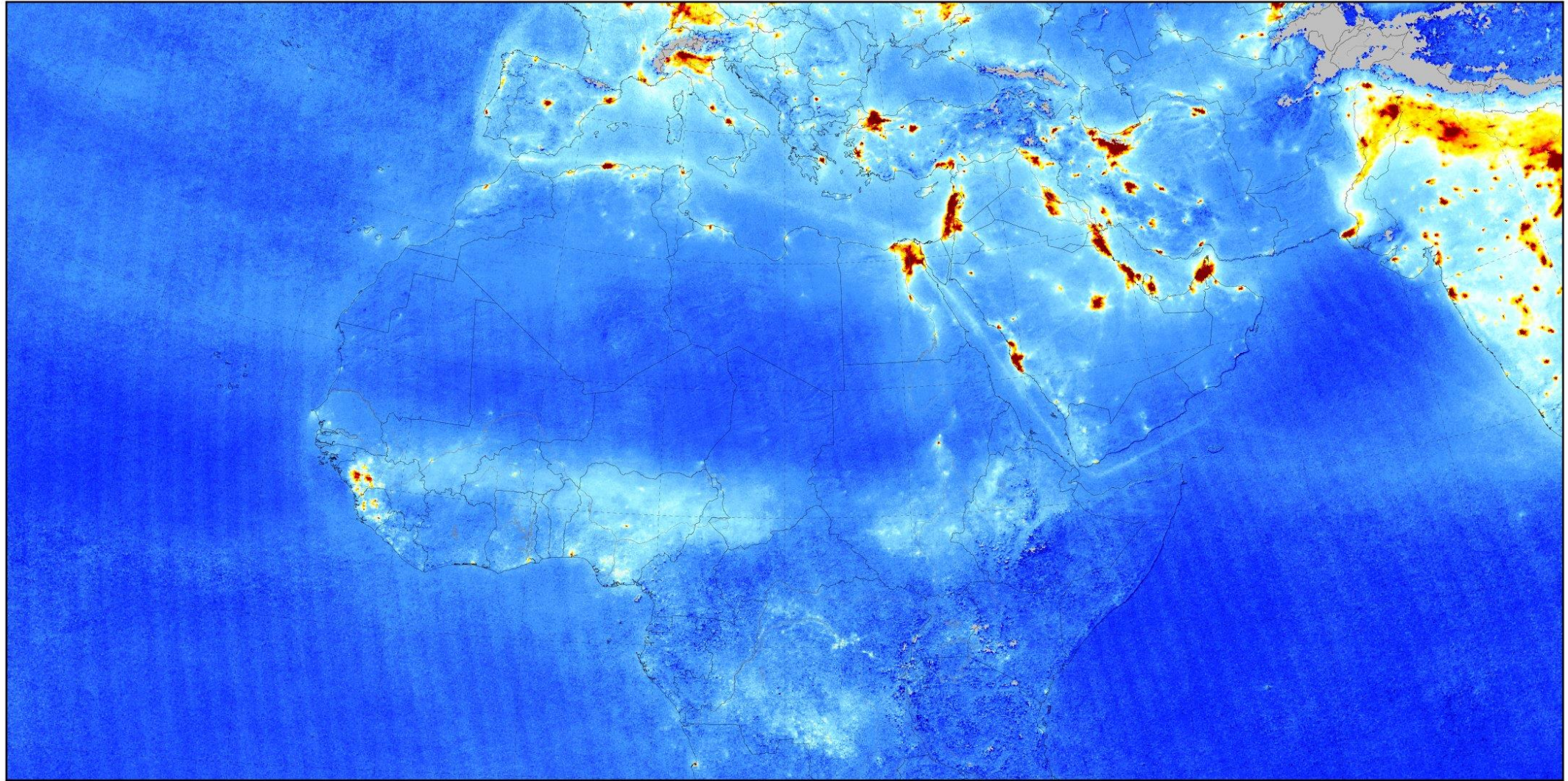


NO₂ tropospheric column [10^{-6} mol m⁻²]

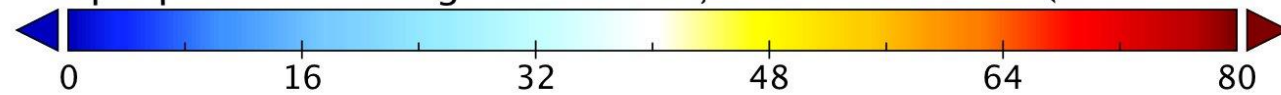


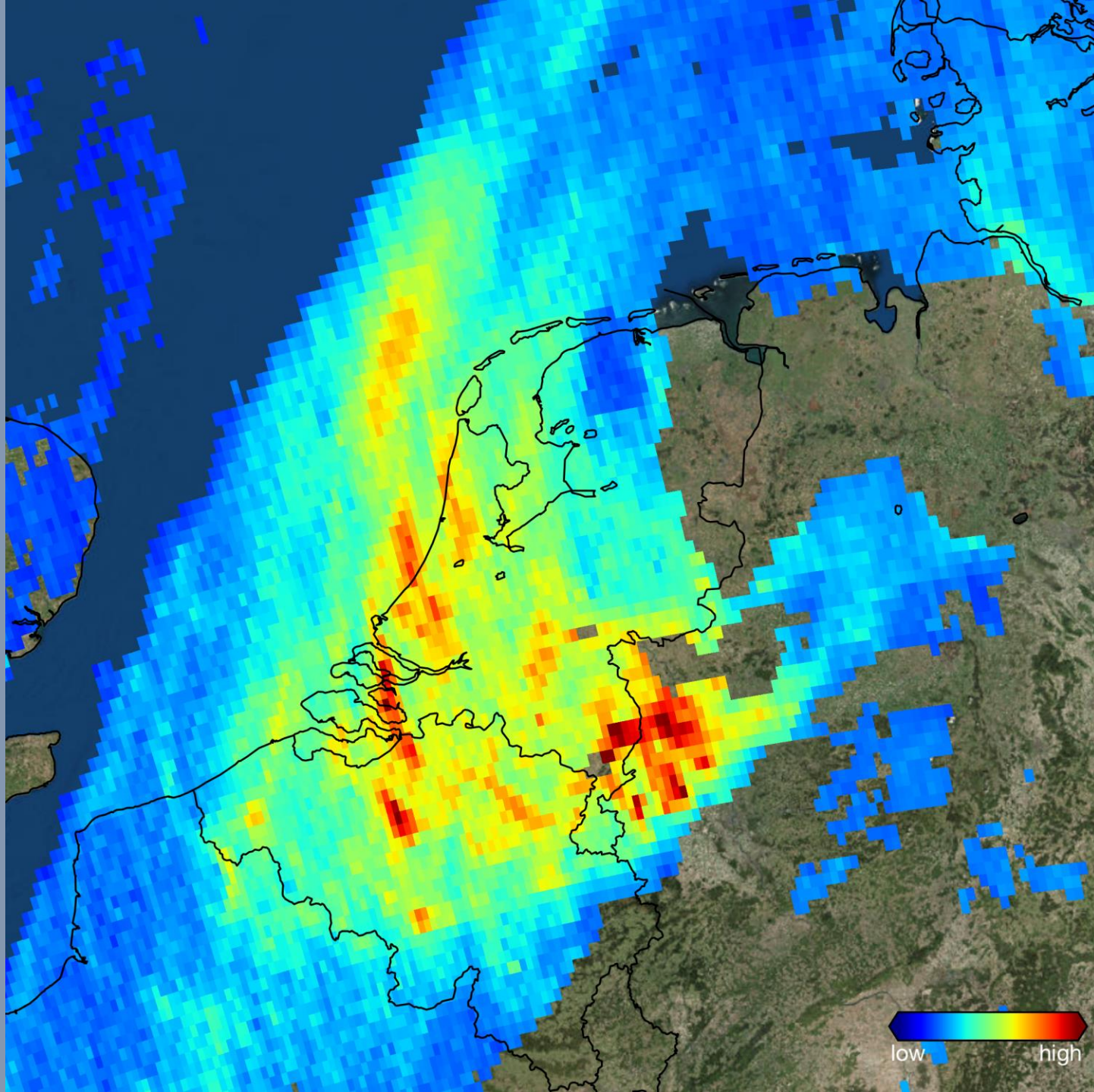
Data Min = -128, Max = 668, Mean = 8

TROPOMI tropospheric NO₂, April 2018

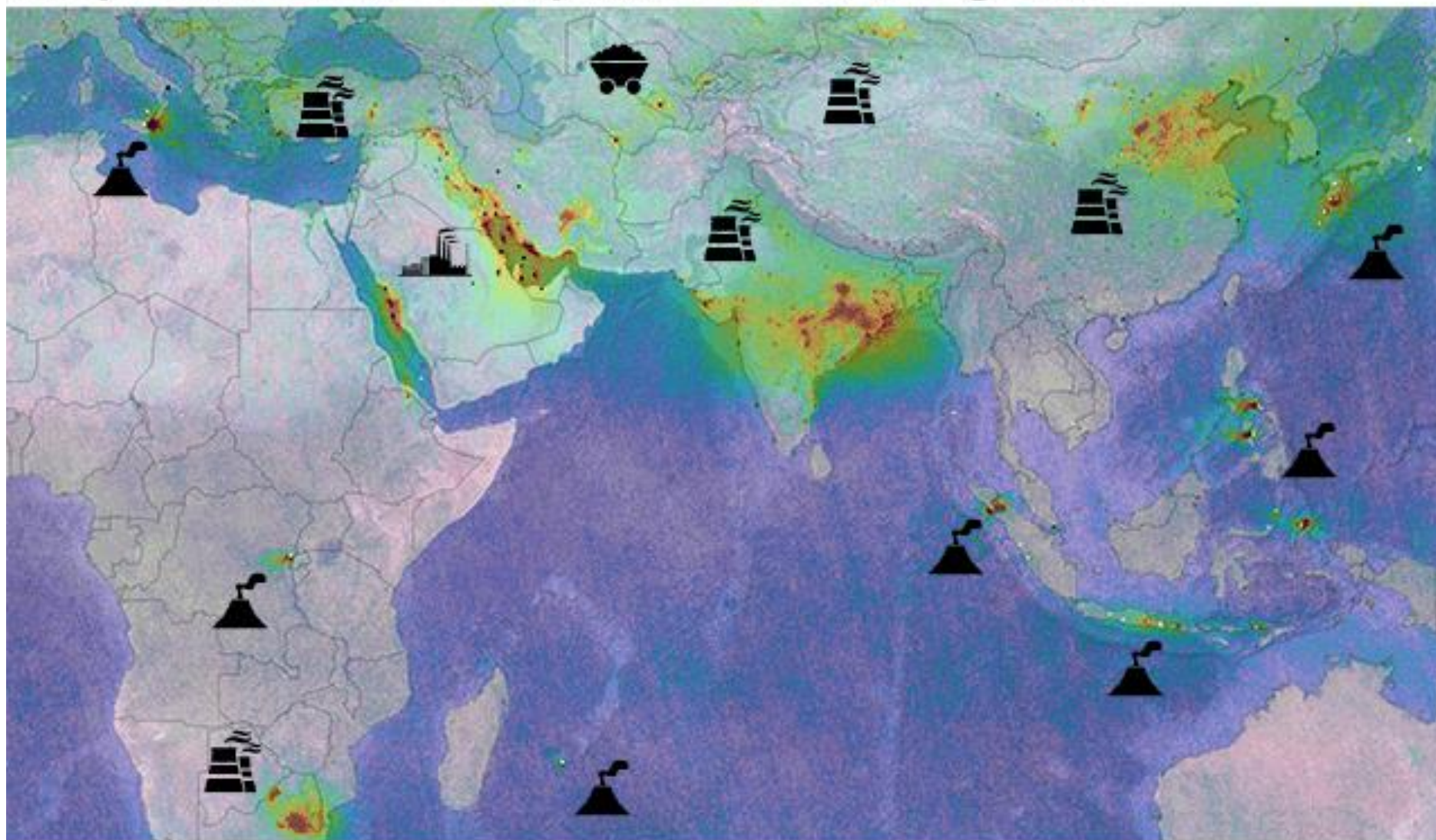


NO₂ tropospheric column gridded mean, TROPOMI sensor (10^{-6} mol m⁻²)





Sulphur dioxide hotspots across the globe



 Coal power plants  Volcanoes  Smelters/mines  Oil industry

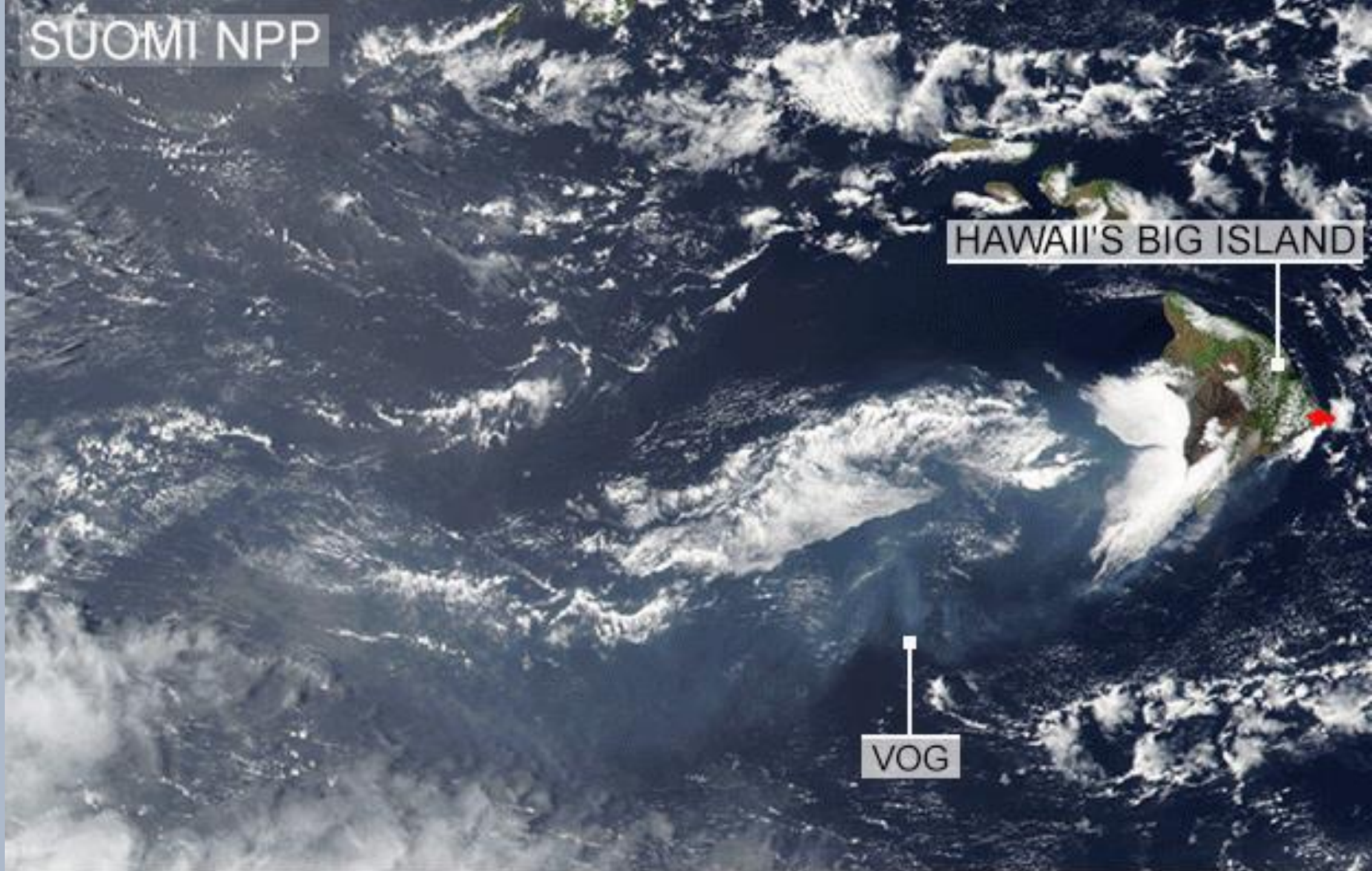
Source: Copernicus Sentinel Data 2018/TROPOMI/BIRA-IASB/DLR

BBC

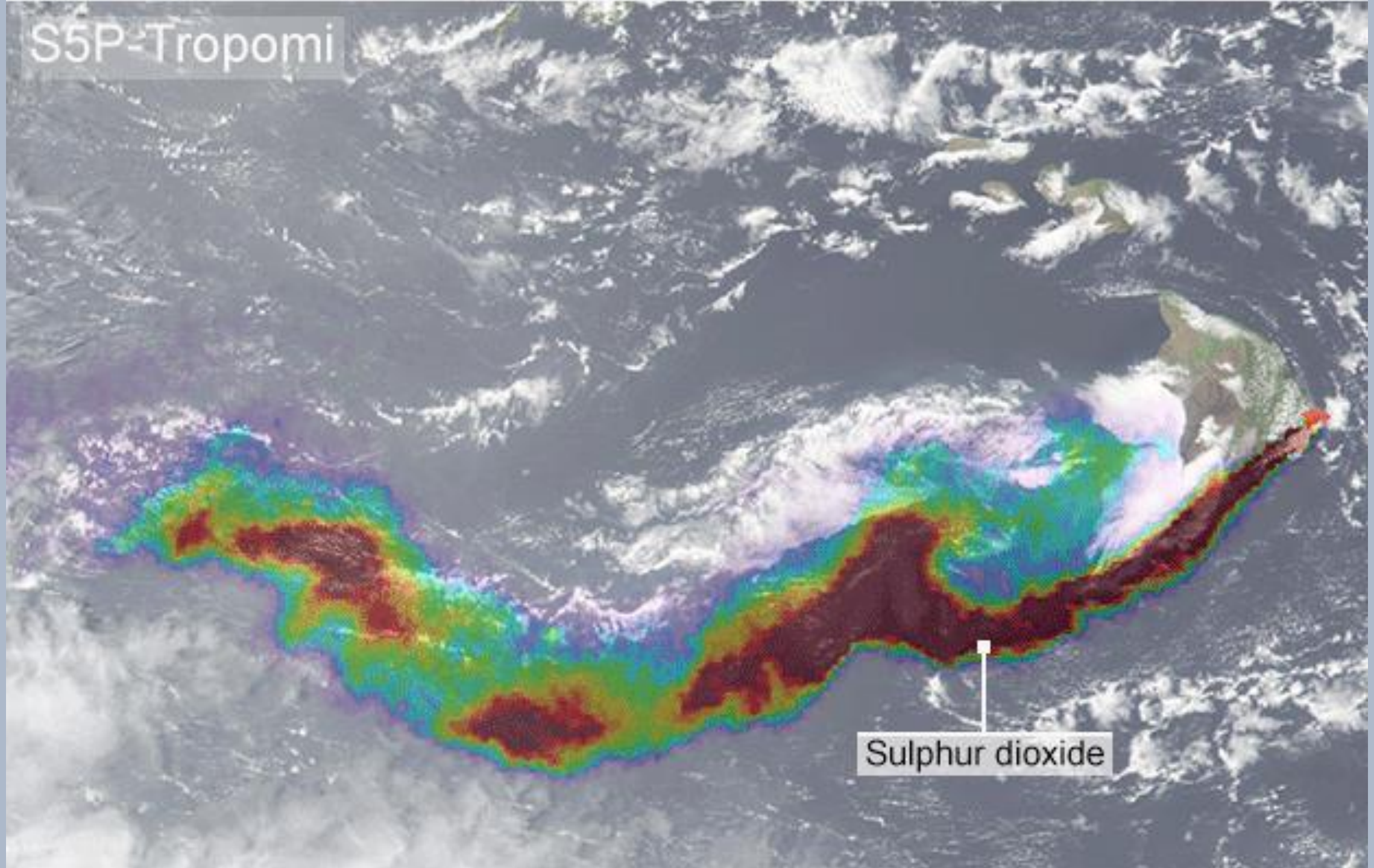
SUOMI NPP

HAWAII'S BIG ISLAND

VOG



S5P-Tropomi



Sulphur dioxide



A group of five individuals, three men and two women, are dressed in full-body blue protective suits (coveralls) with hoods, white face masks, and white gloves. They are standing in a laboratory or industrial setting, with various pieces of equipment and machinery visible in the background. Each person is giving a thumbs-up gesture. The suits have white patches with the letters 'TNO' on them. The overall atmosphere is professional and positive.

Dank voor uw aandacht!