



Koninklijk Meteorologisch Instituut

Institut Royal Météorologique

Königliche Meteorologische Institut

Royal Meteorological Institute

Ozon in de atmosfeer: een reis door de tijd aan de hand van ozonsondes

Roeland Van Malderen

Koninklijk Meteorologisch Instituut

- Samenstelling van de atmosfeer & ozon
- Ozonprofielen meten
- De ozonsonde
 - ✓ meetprincipe
 - ✓ netwerk
- Tijdsevolutie van ozon
 - ✓ Uccle ozonprofielen
 - ✓ Stratosfeer
 - ✓ Troposfeer
- Uitsmijter: ozonprofielen in Afrika
- Conclusies

- voornaamste bestanddelen (99.9%) zijn

- ✓ N_2 (78% van de lucht bij volume)

- ✓ O_2 (21%)

- ✓ Ar (0.9%)

- De overblijvende 0.1% zijn “spoorgassen”:

broeikas-
gassen

- ✓ water(damp) (H_2O) → tot 2-3% in warme mist dicht bij de grond, maar 4 tot 6 ppmv of 0.0004 tot 0.0006% in de stratosfeer)

- ✓ koolstofdioxide (CO_2) → 0.04% of 400 ppmv

- ✓ ozon (O_3) → 10 ppmv in de stratosfeer → **Vanwaar die focus op ozon?**

- ✓ methaan (CH_4) → 1.8 ppmv

- ✓ verschillende stikstofoxides

- ✓ Neon → 0.002% of 20 ppmv

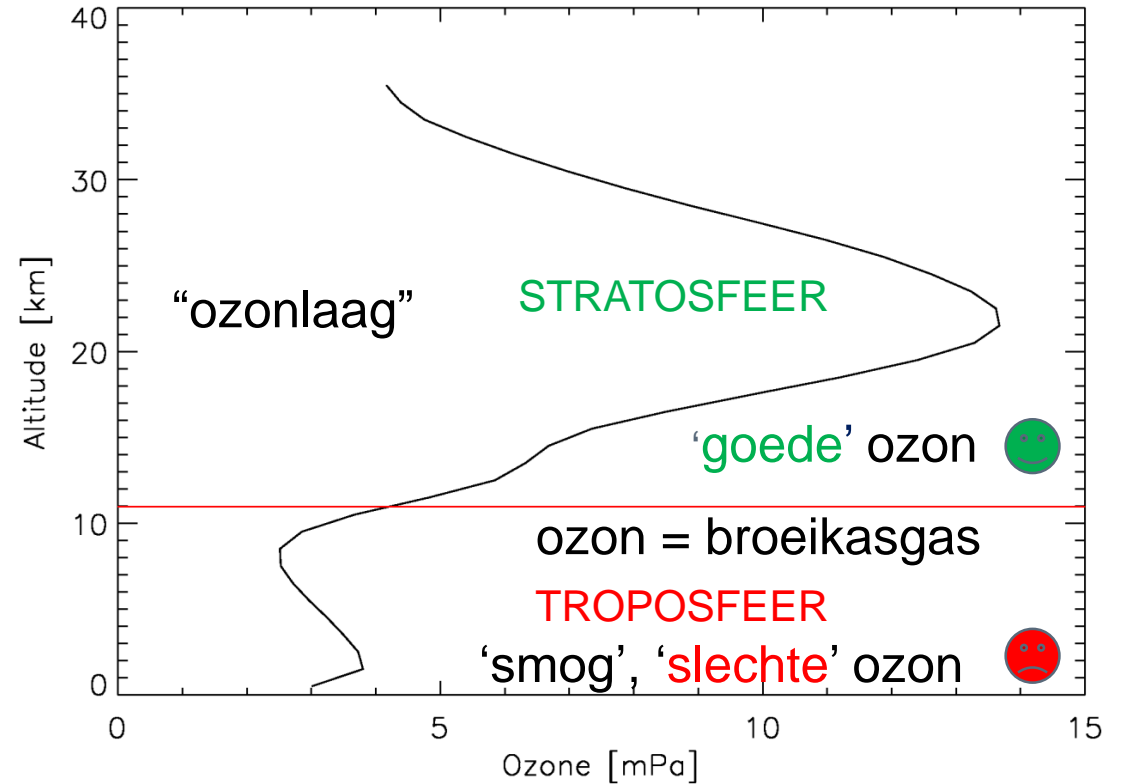
- ✓ Helium → 5 ppmv

- bijkomende atmosferische componenten: aërosolen en ionen

- 90 % van atmosferische ozon
- gevormd door een evenwicht van chemische reacties met UV-straling van de zon die ozon produceren en terug afbreken
- **heilzame rol**: fungeert als een beschermend schild tegen UV-straling
- 10 % van atmosferische ozon
- gevormd door reacties tussen UV-straling en emissies (NO_x, VOC, CO, methaan) afkomstig van transport en industrie
- **schadelijke effecten** voor mens (gezondheid), ecosystemen en oogsten
- broeikasgas



Gemiddeld ozonprofiel te Ukkel



**Verschillende hoogtes = verschillende rollen
= verschillende processen**

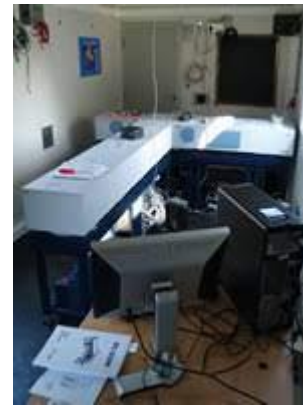
vanaf satellieten



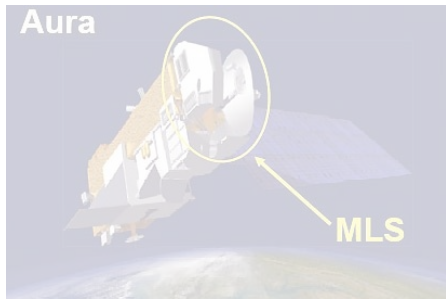
in-situ



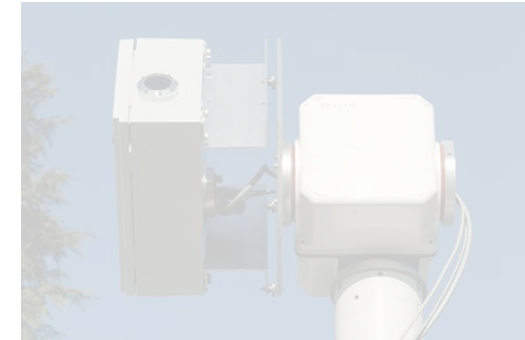
vanop de ground



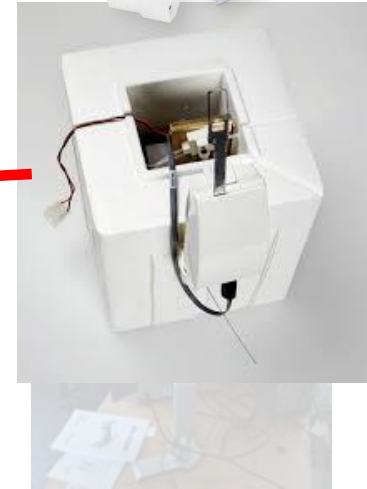
vanaf satellieten



vanop de ground

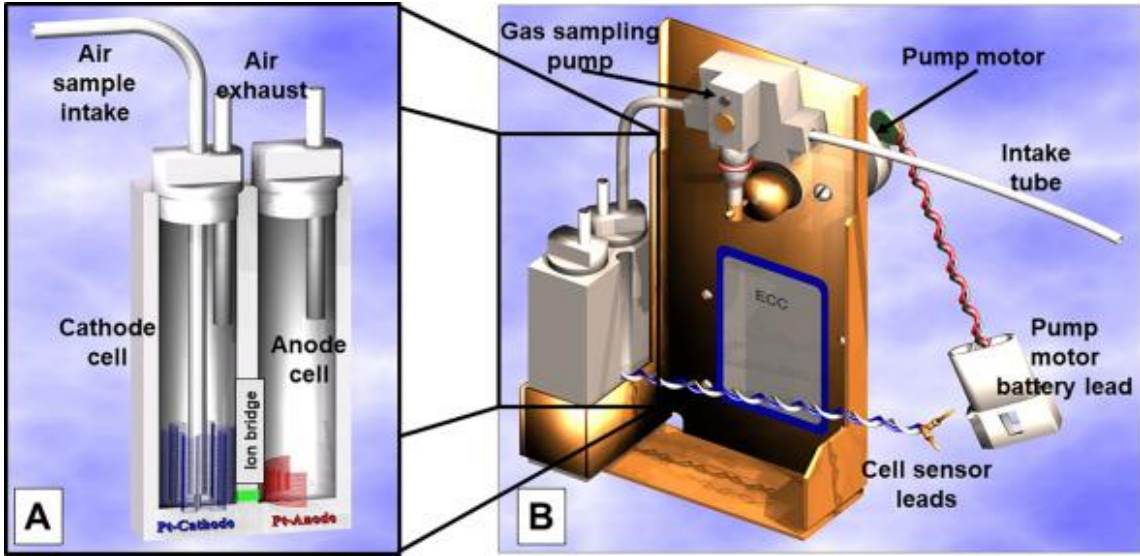


ozonsonde

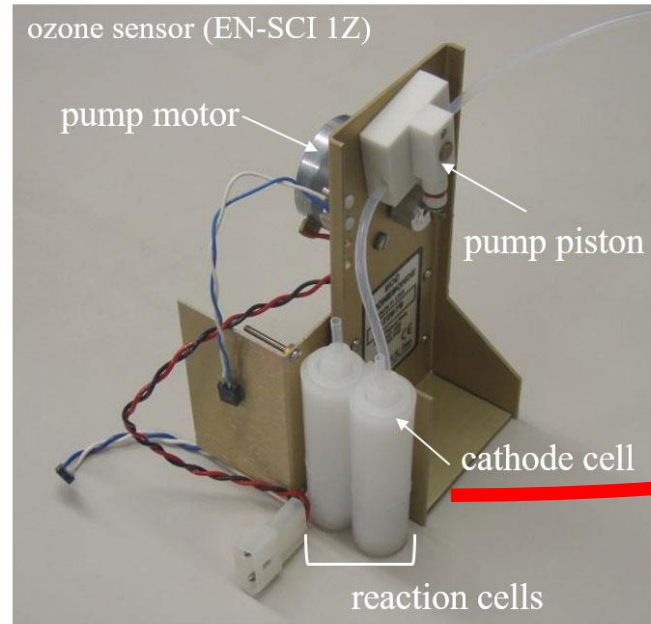


voordelen ballonmetingen

- hoge verticale resolutie (5 m)
- vanop de grond tot boven ozonlaag (30-35 km)
- absoluut meetinstrument → validatiereferentie voor andere instrumenten

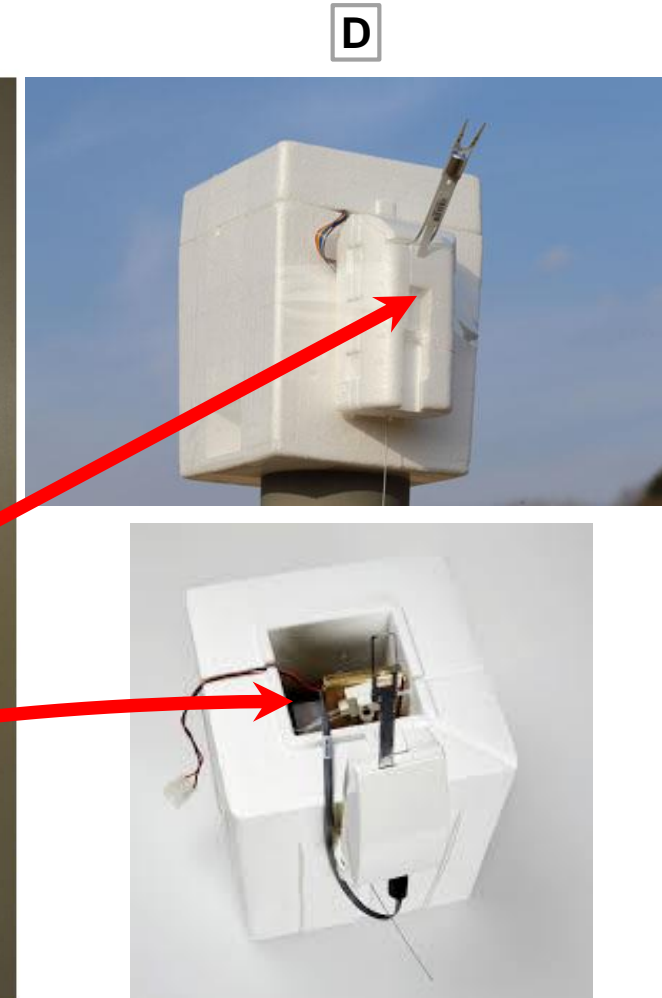
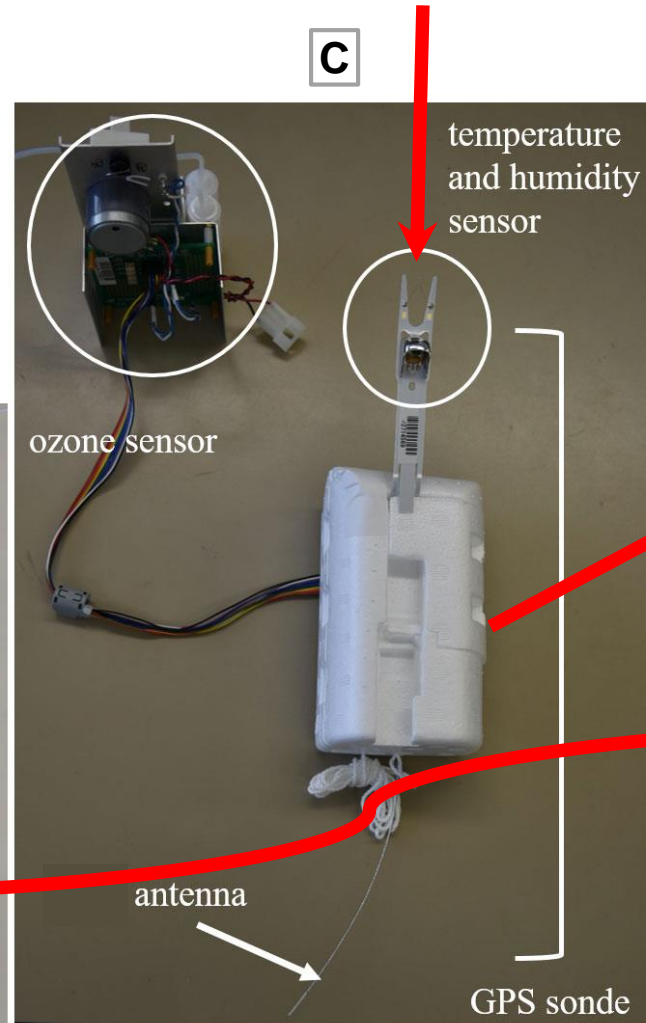


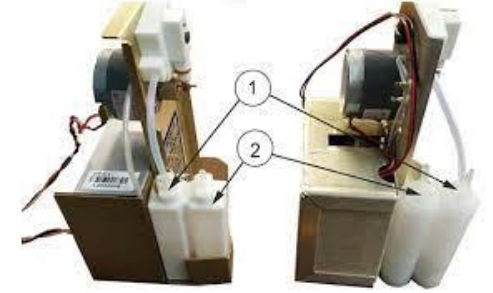
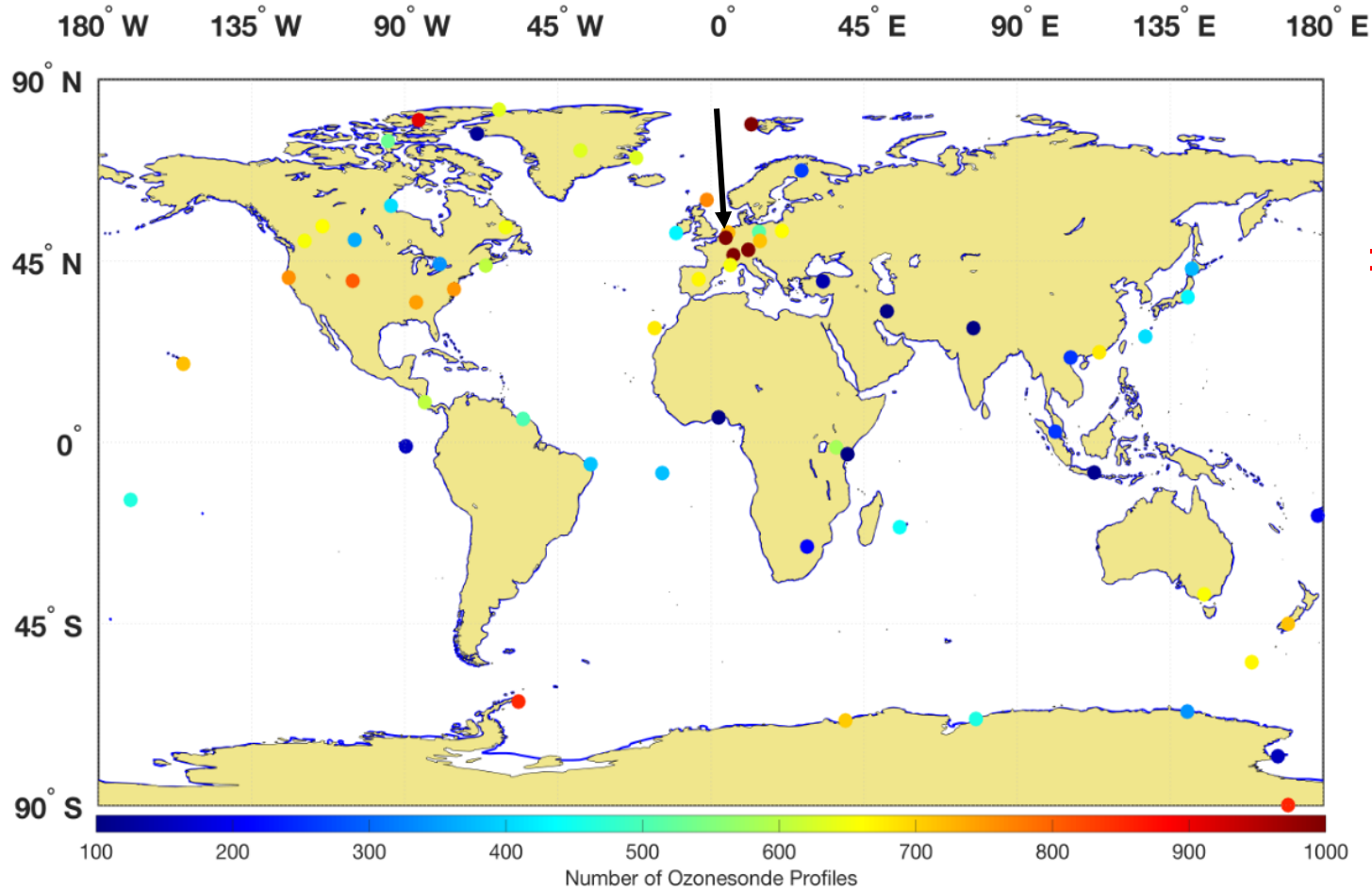
ozonsonde
(pomp + cellen)



radiosonde
(mini-weerstation)

piepschuimen doos
(isolatie vloeistoffen)

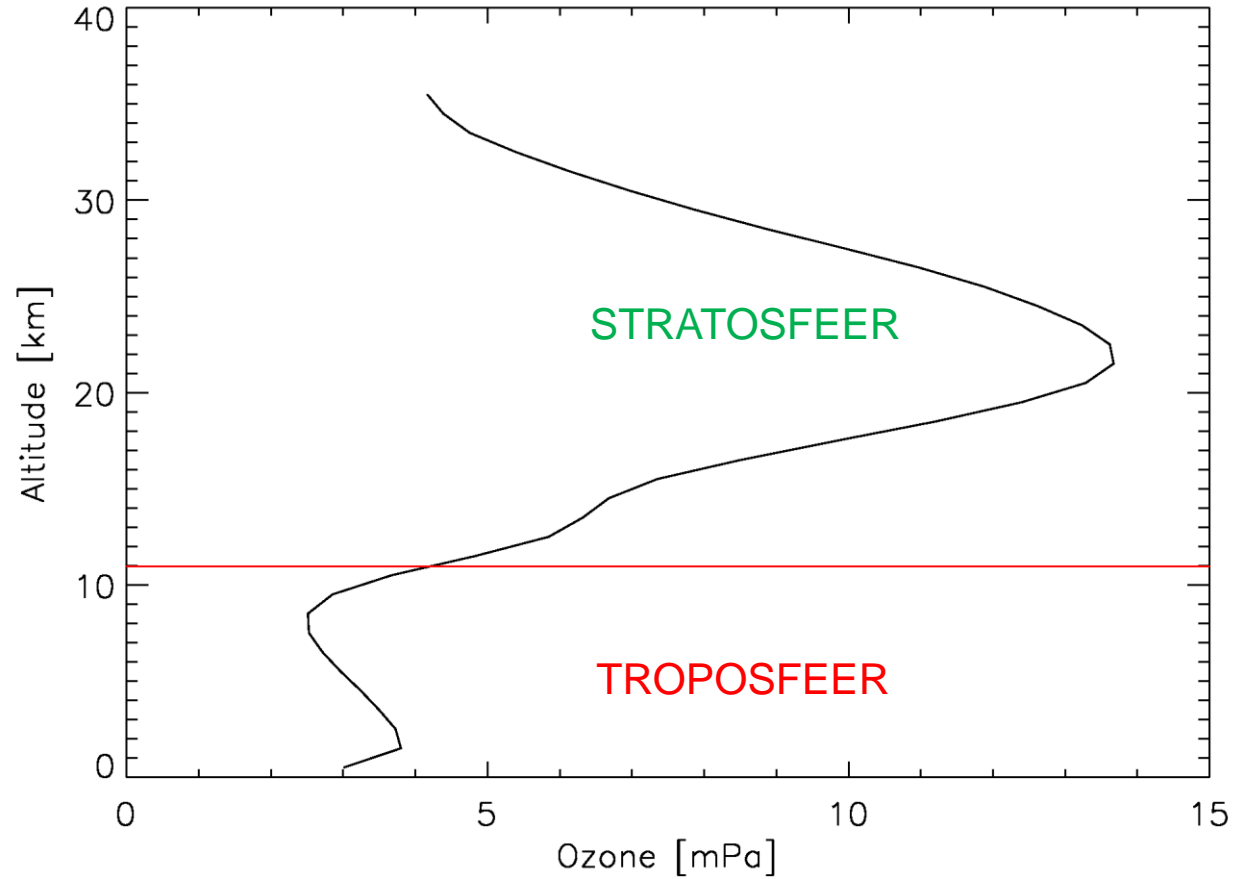




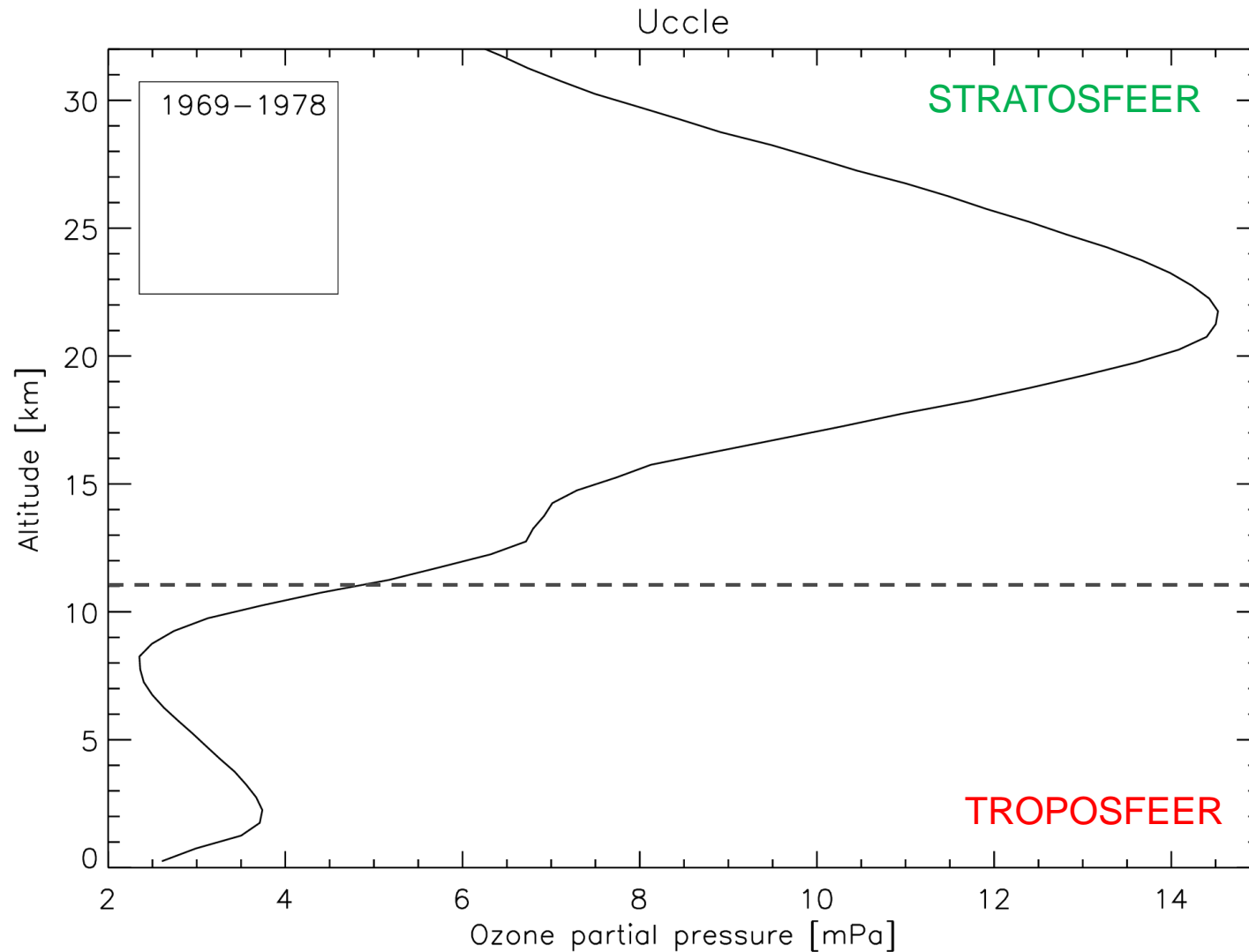
± 60 actieve sites

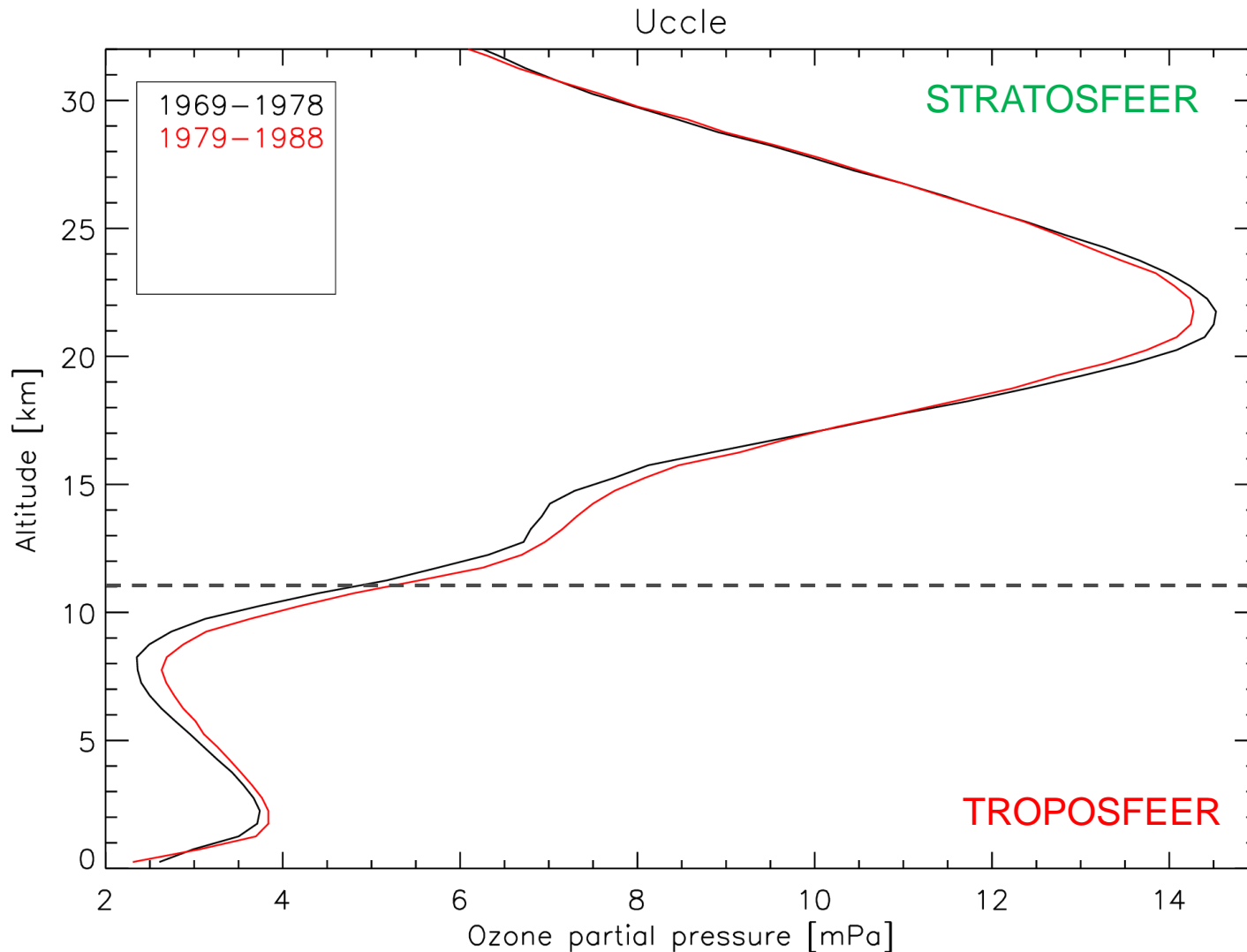
- ✓ 2 verschillende ozonsonde producenten (5% verschil)
- ✓ 4 verschillende oplossingen in gebruik
- ✓ verschillen in voorbereidingsprocedures, correctiemethoden, etc.
- ✓ weinig sites in Azië, Afrika en zuidelijk halfrond

Gemiddeld ozonprofiel te Ukkel



- gemiddeld profiel over de tijdsperiode 1969-2024 (55 jaar!)
- tijdsevolutie over de verschillende decennia?
- stratosfeer vs. troposfeer!



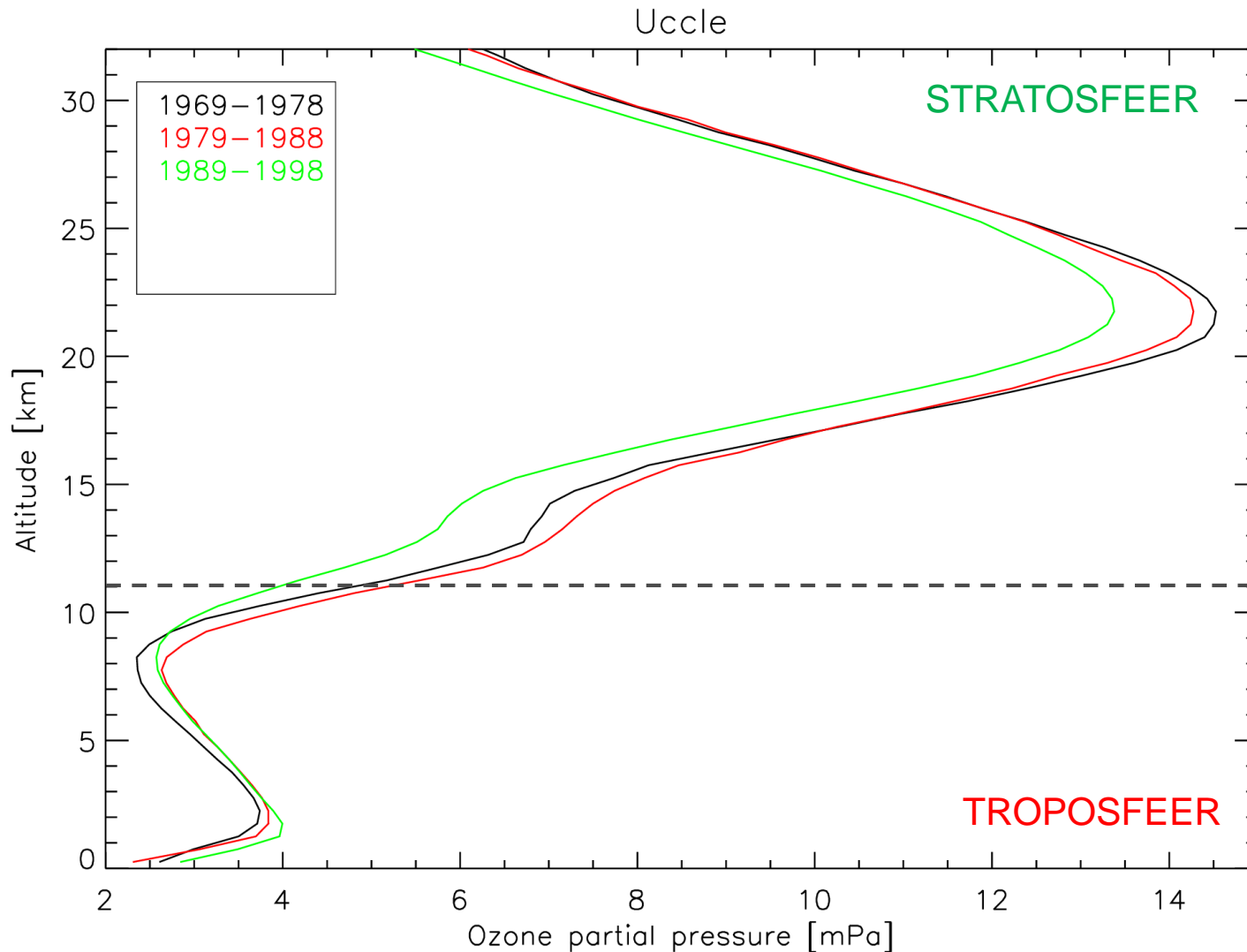


STRATOSFEER

- weinig verschillen, licht andere verticale verdeling

TROPOSFEER

- toename, vooral hogere troposfeer

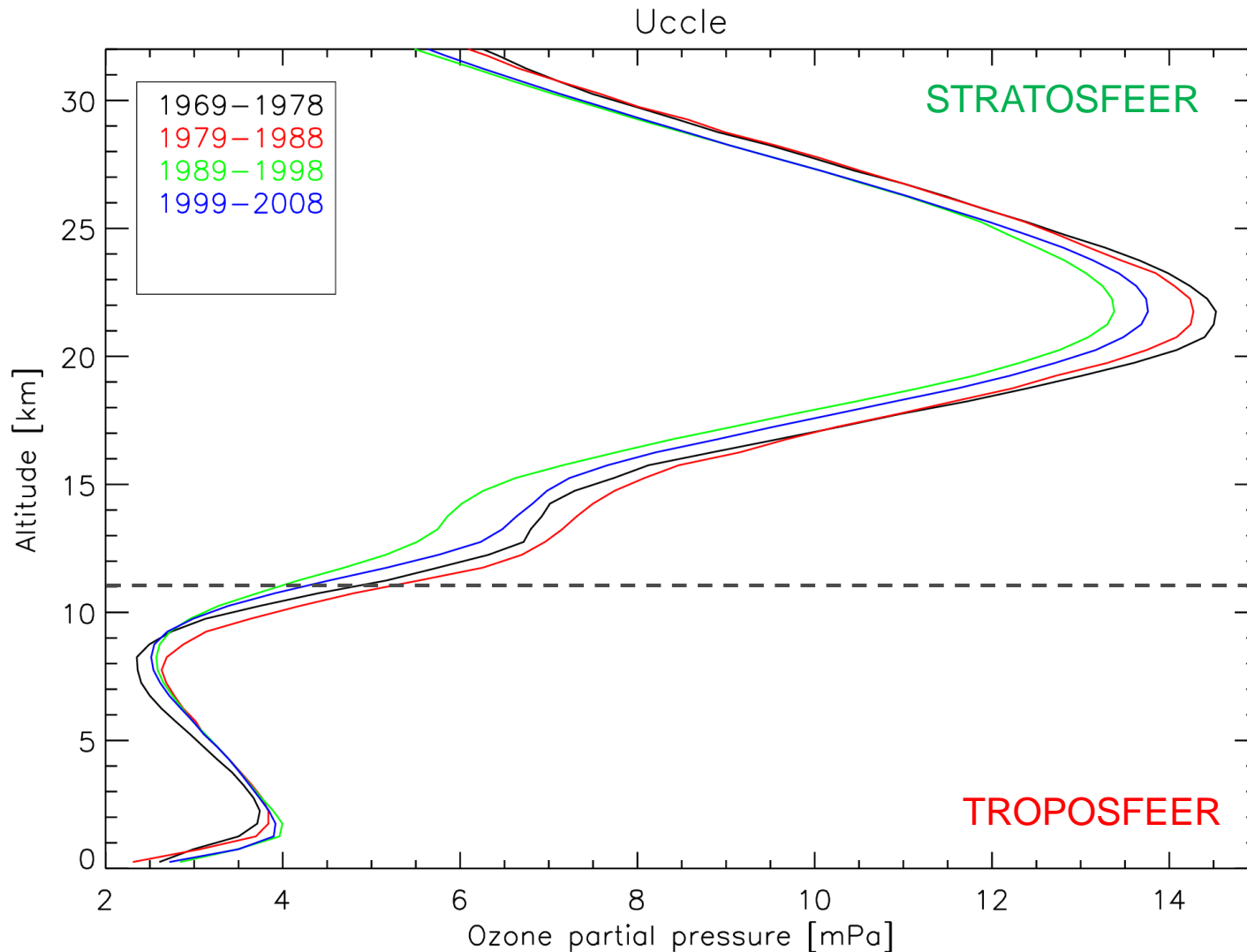


STRATOSFEER

- sterke afname van ozonconcentraties in 1989-1998!

TROPOSFEER

- toename aan de grond, afname in hogere troposfeer

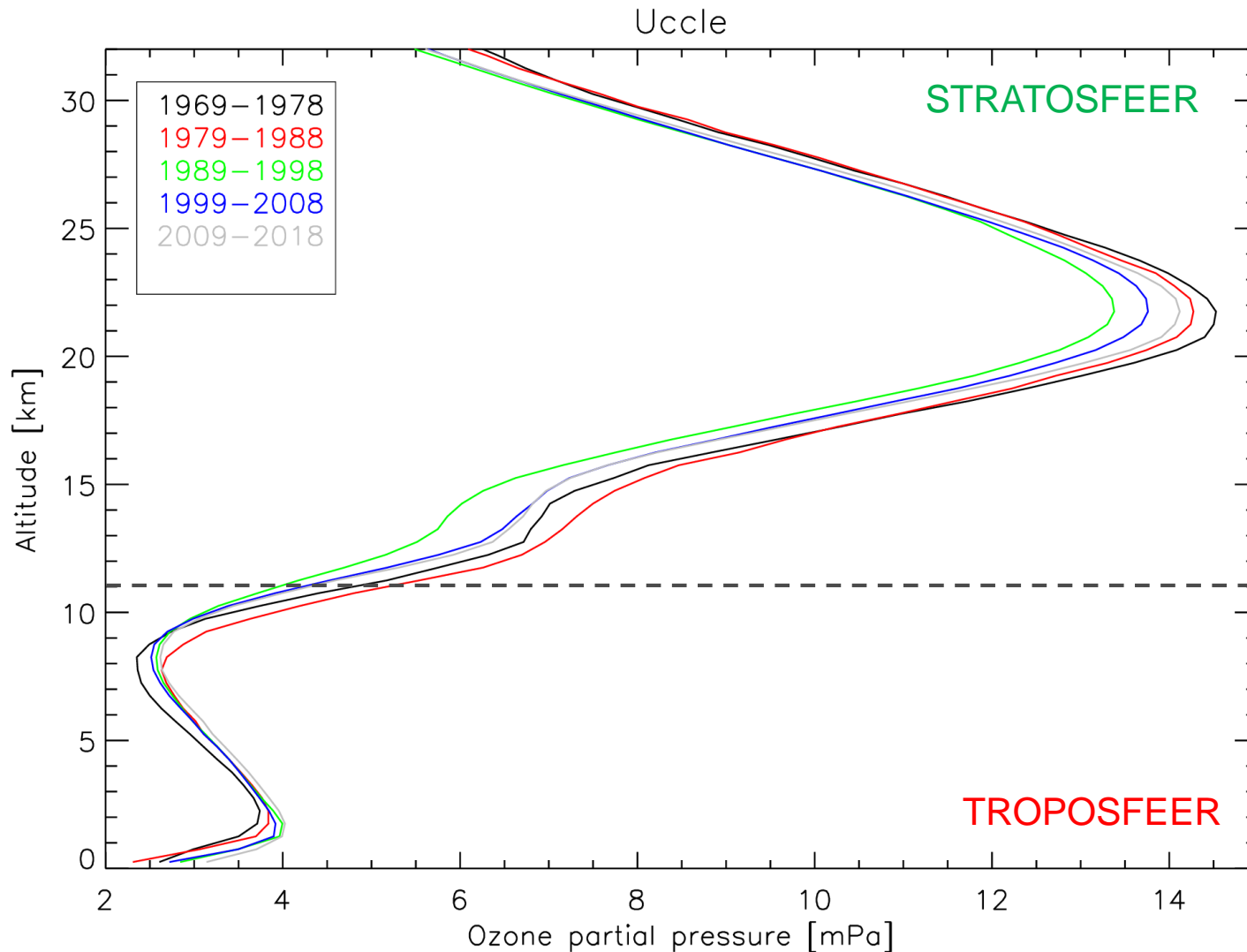


STRATOSFEER

- toename van ozonconcentraties in 1999-2008

TROPOSFEER

- ozonconcentraties nagenoeg gelijk

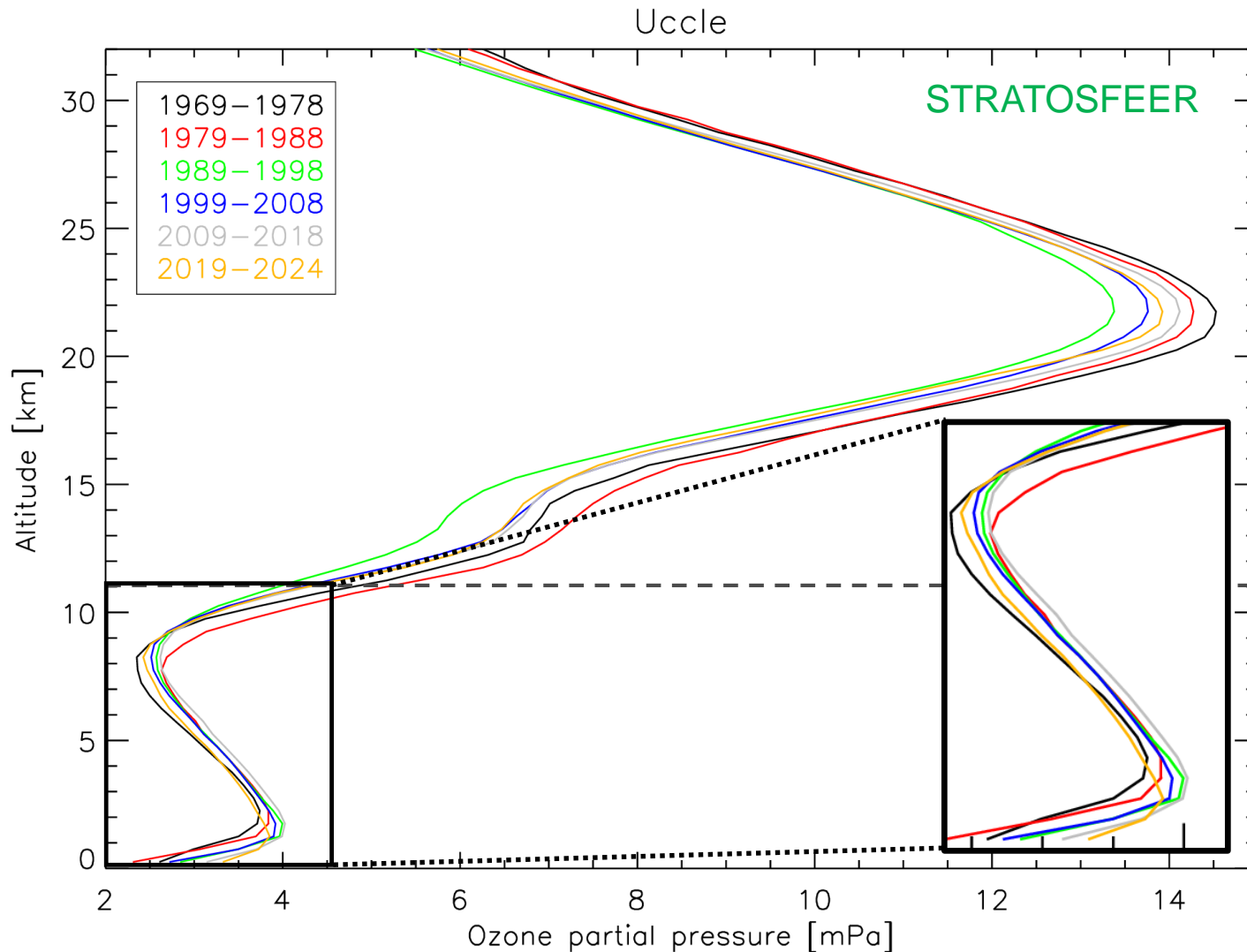


STRATOSFEER

- verdere toename van ozonconcentraties in 2009-2018

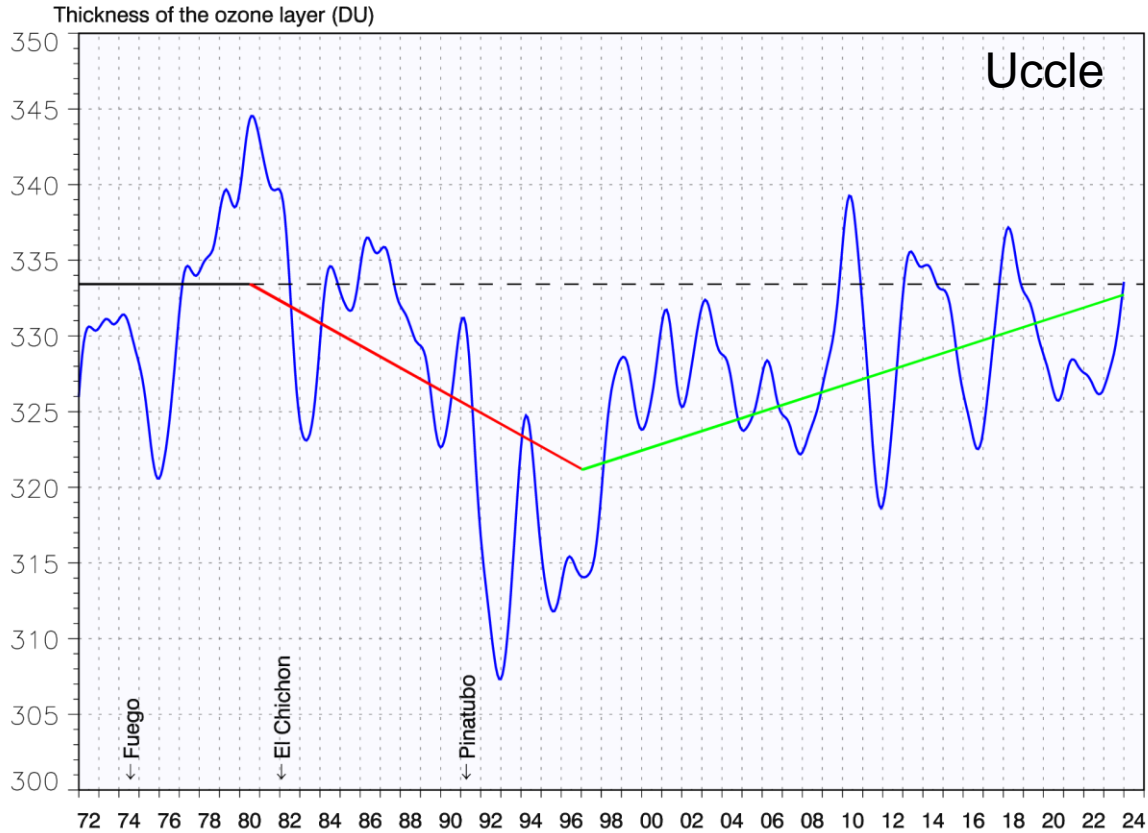
TROPOSFEER

- ozonconcentraties stijgen een beetje door
- hoogst opgemeten waarden in lagere troposfeer

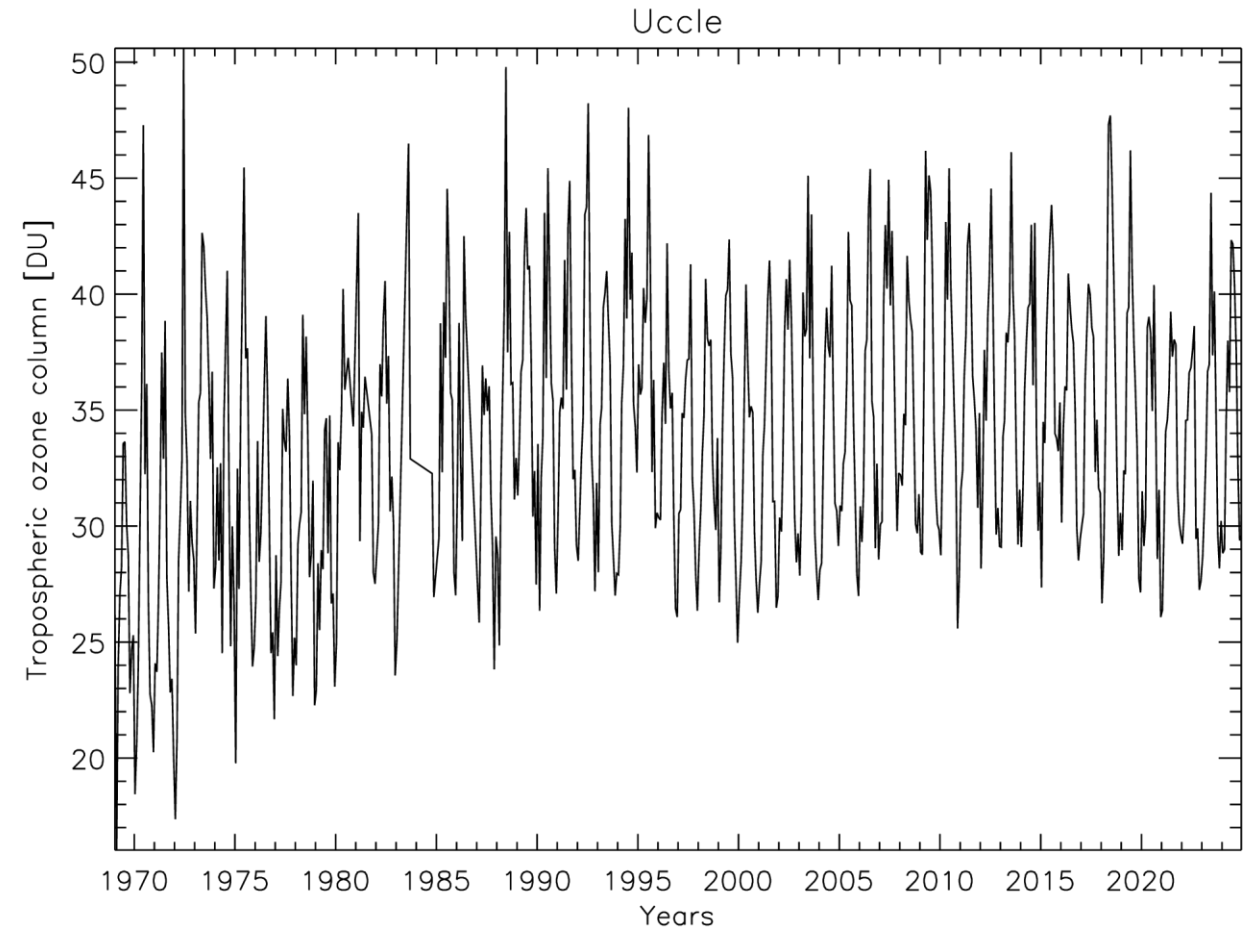


- ongeveer op hetzelfde niveau tegenover vorige decennium
 - hogere concentraties dan in 1989-1998, maar lager dan in eerste decennium
-
- ozonconcentraties vallen terug naar beginwaarden, vooral in vrije troposfeer.

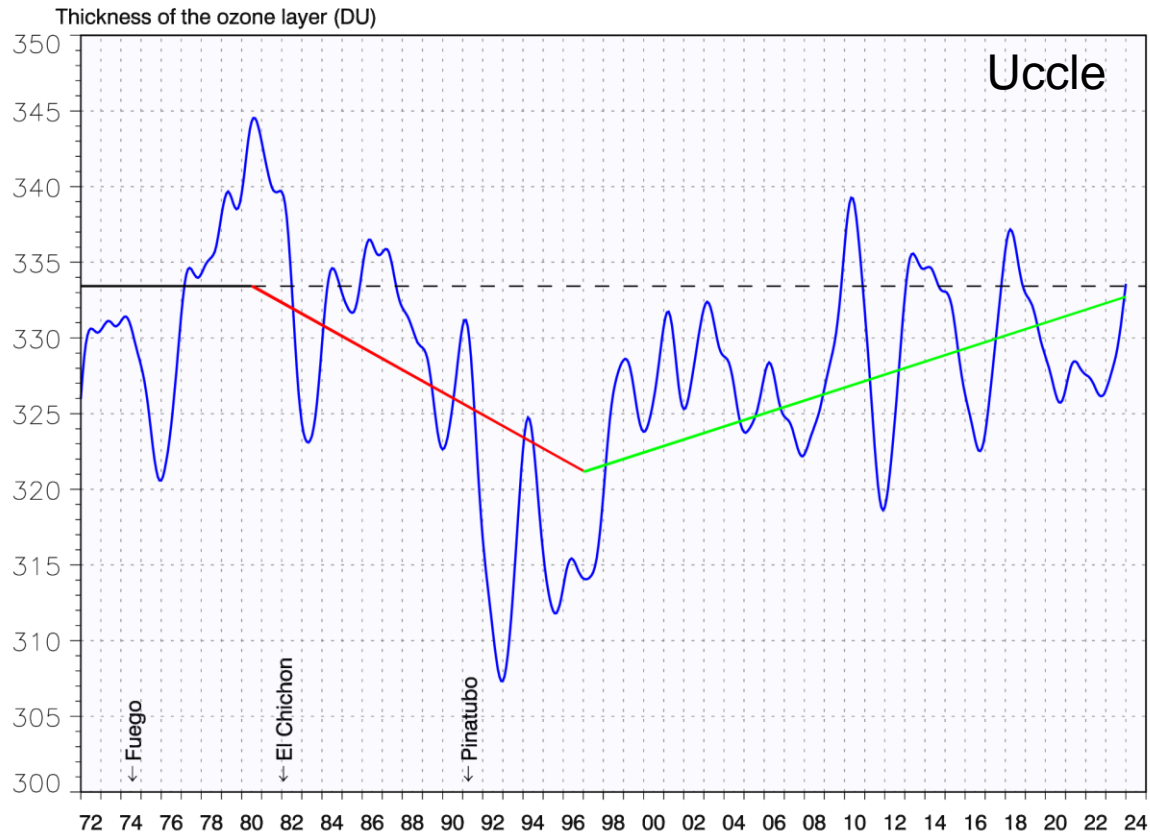
STRATOSFEER



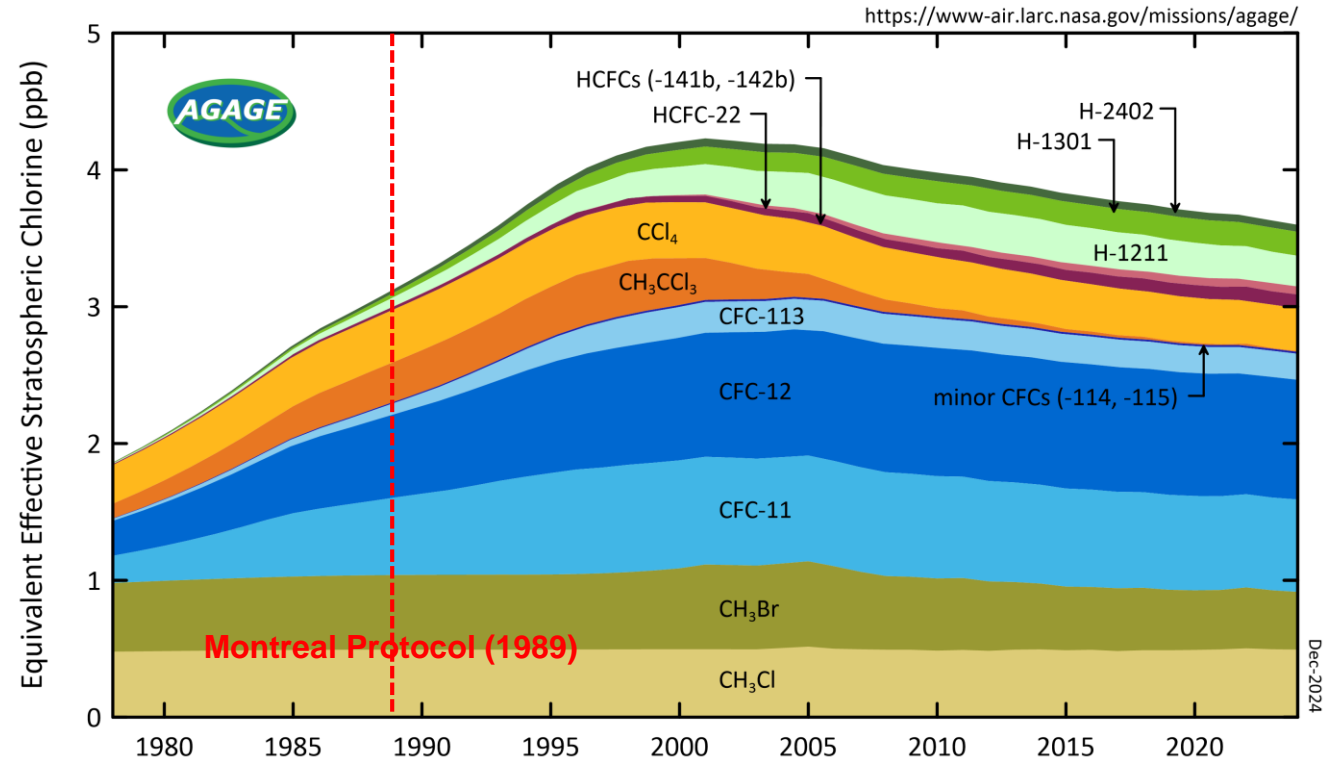
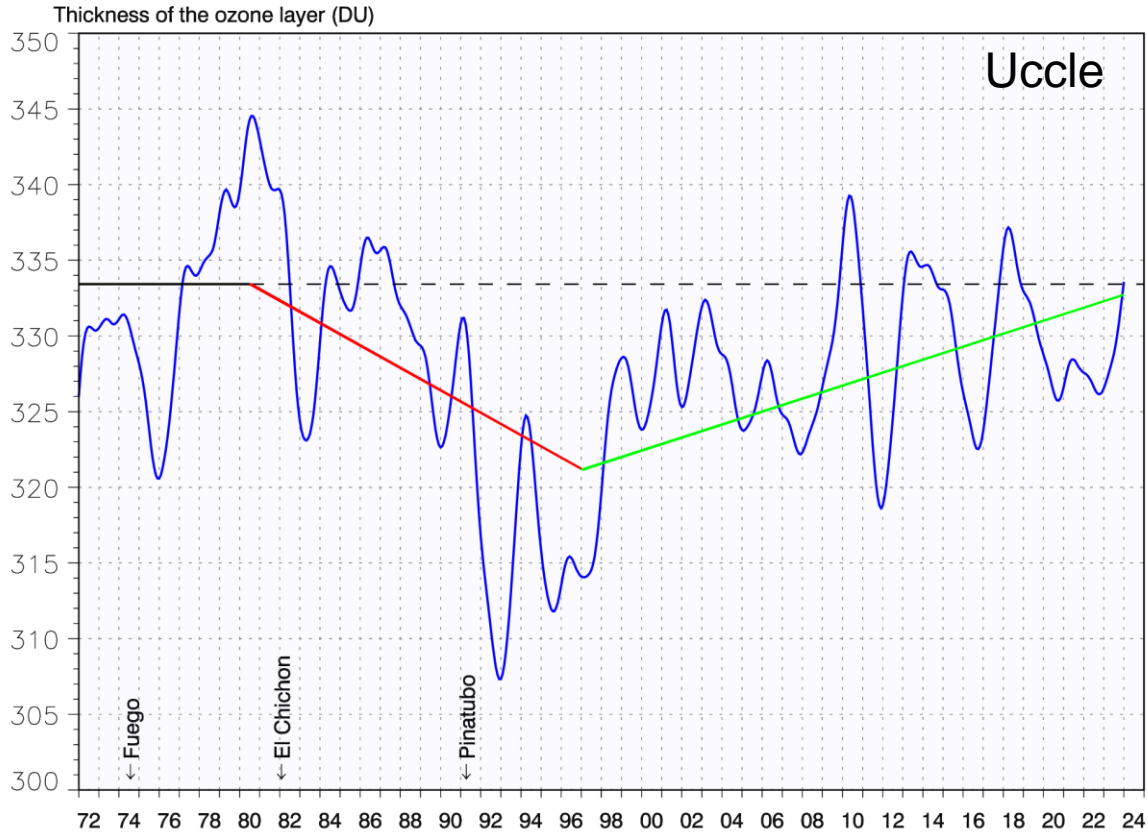
TROPOSFEER



STRATOSFEER



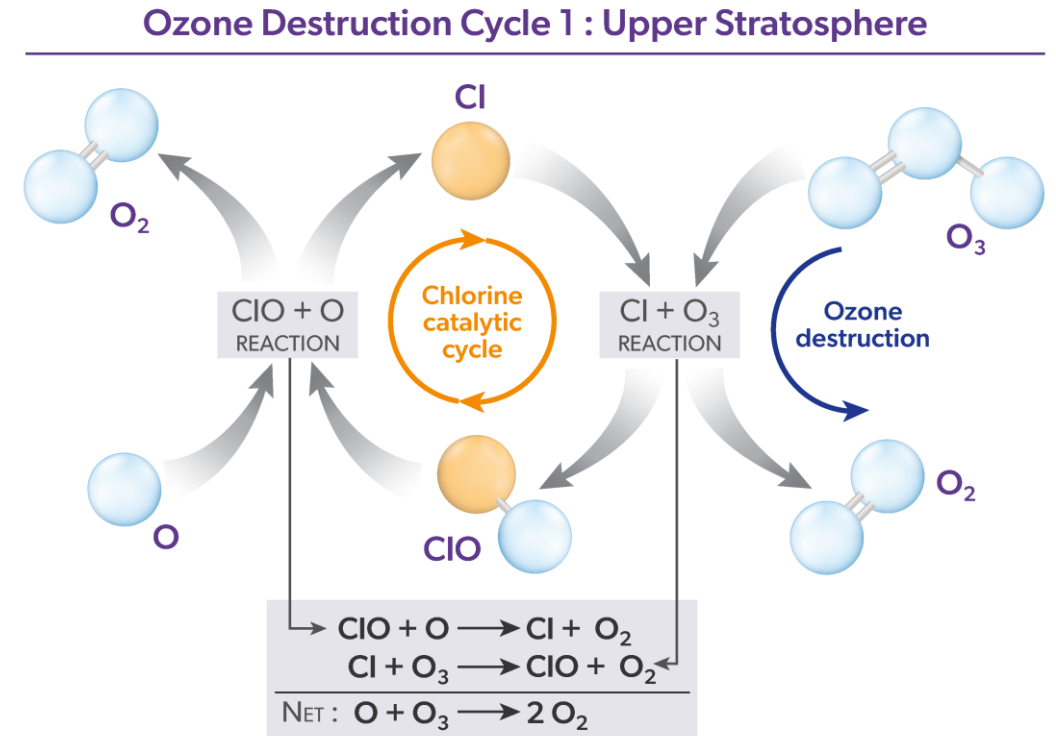
STRATOSFEER



- tijdsevolutie van stratosferische ozon- en Cl+Br-concentraties lijken gespiegeld!
- herstel van de ozonlaag door Montreal Protocol+ ?

STRATOSFEER

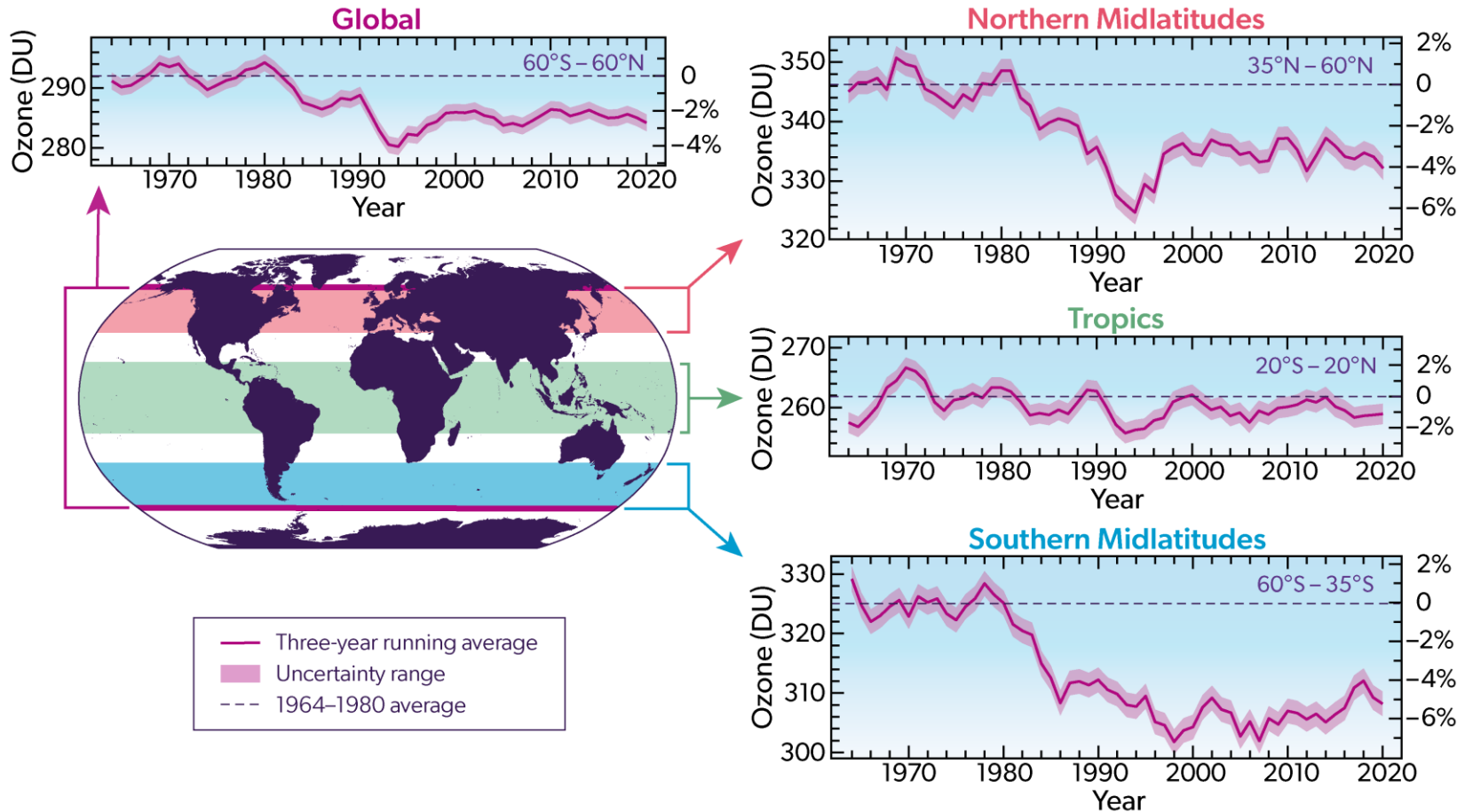
- CFKs (**Chloor**fluorkoolstofverbindingen) en halonen (Broom, Chloor) werden op industriële schaal geproduceerd als koelmiddelen, drijfgassen voor spuitbussen en blusmiddels in het midden van vorige eeuw
- ozon kan ook afgebroken worden door **katalytische reacties** met Cl_x ($\text{Cl} + \text{ClO}$), NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$), Br_x ($\text{Br} + \text{BrO}$), HO_x ($\text{OH} + \text{HO}_2$)
- katalysator = faciliteert reacties zonder zelf afgebroken te worden
- dit zijn ook broeikasgassen!



STRATOSFEER

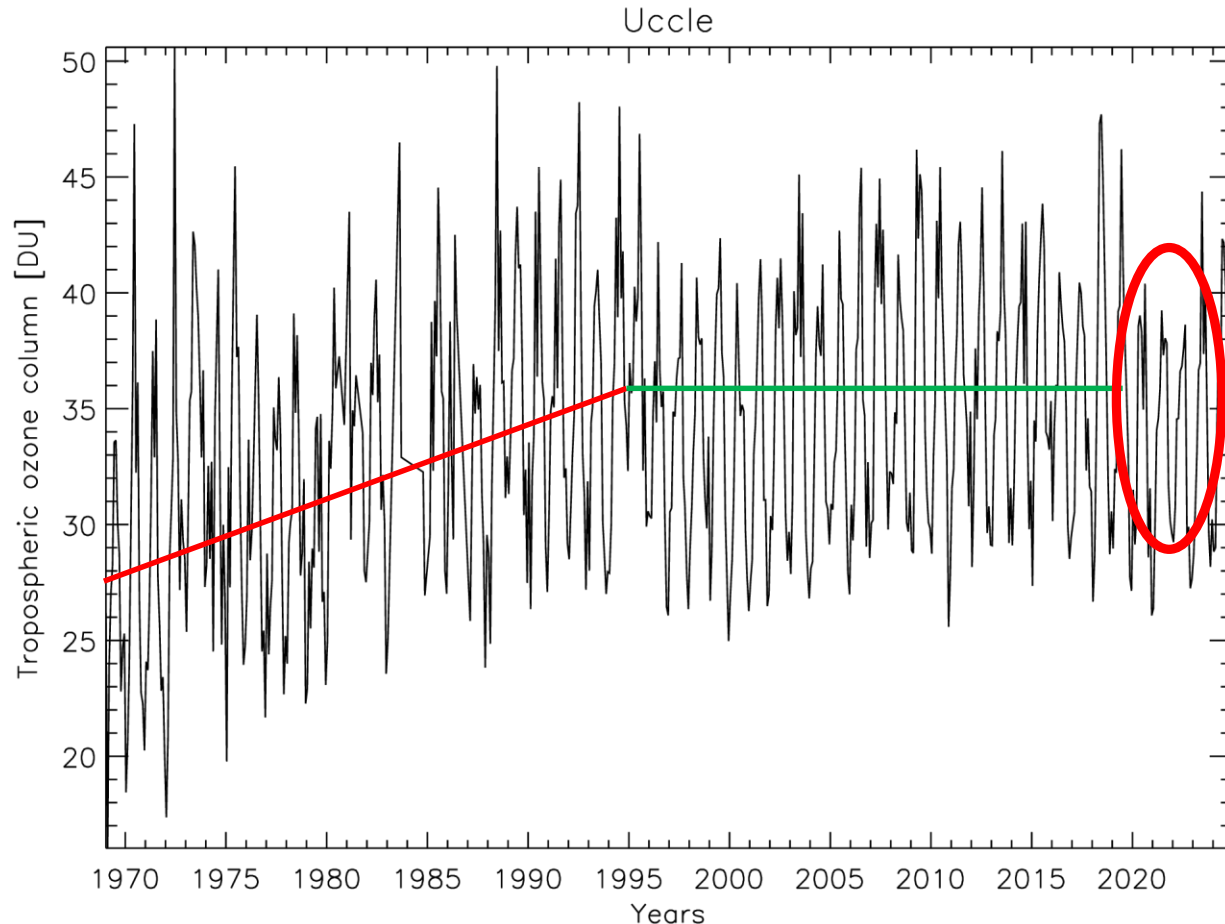
Global and Regional Total Ozone Changes

Observed changes relative to the 1964–1980 average



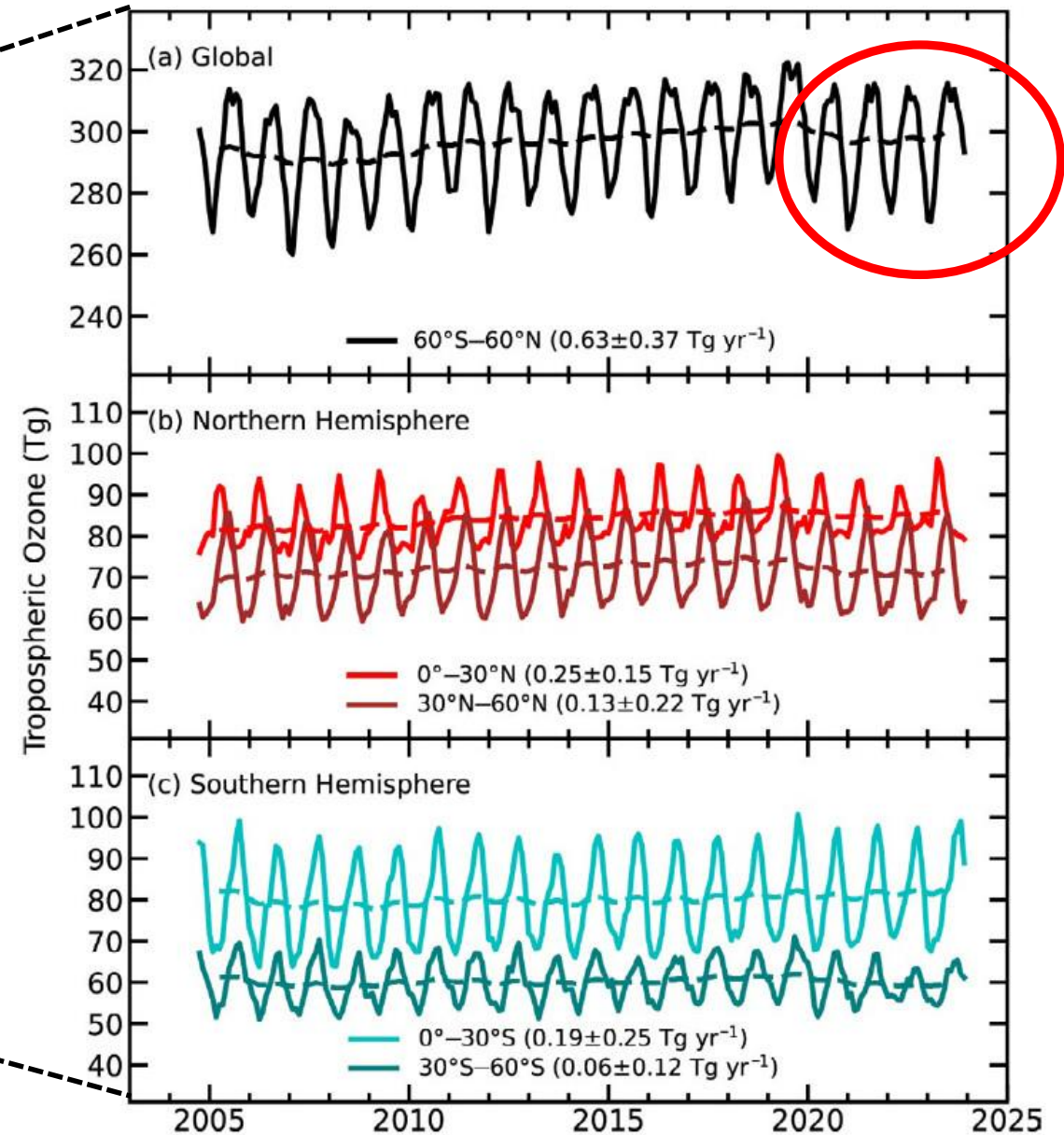
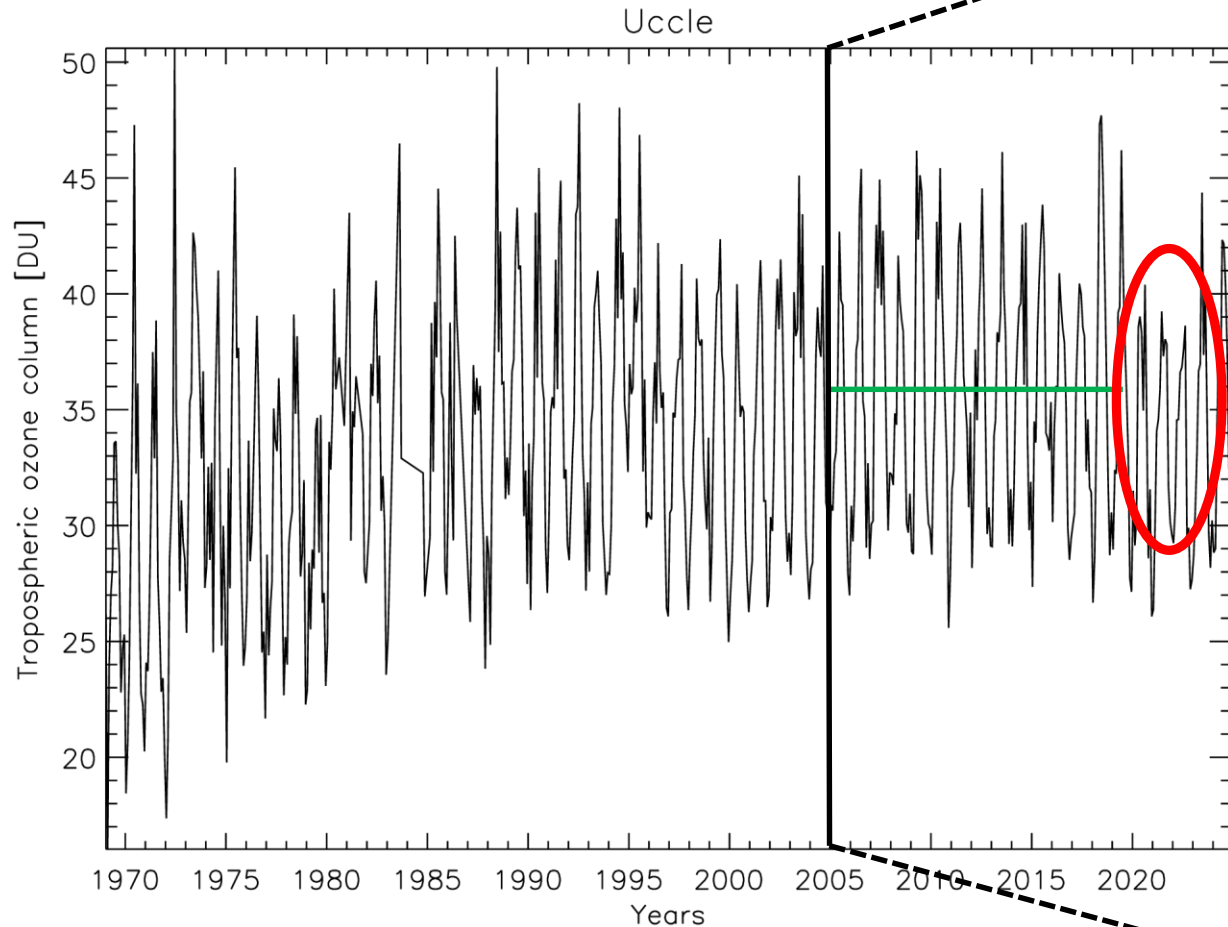
- Ukkel is illustratief voor noordelijke gematigde breedtegraden

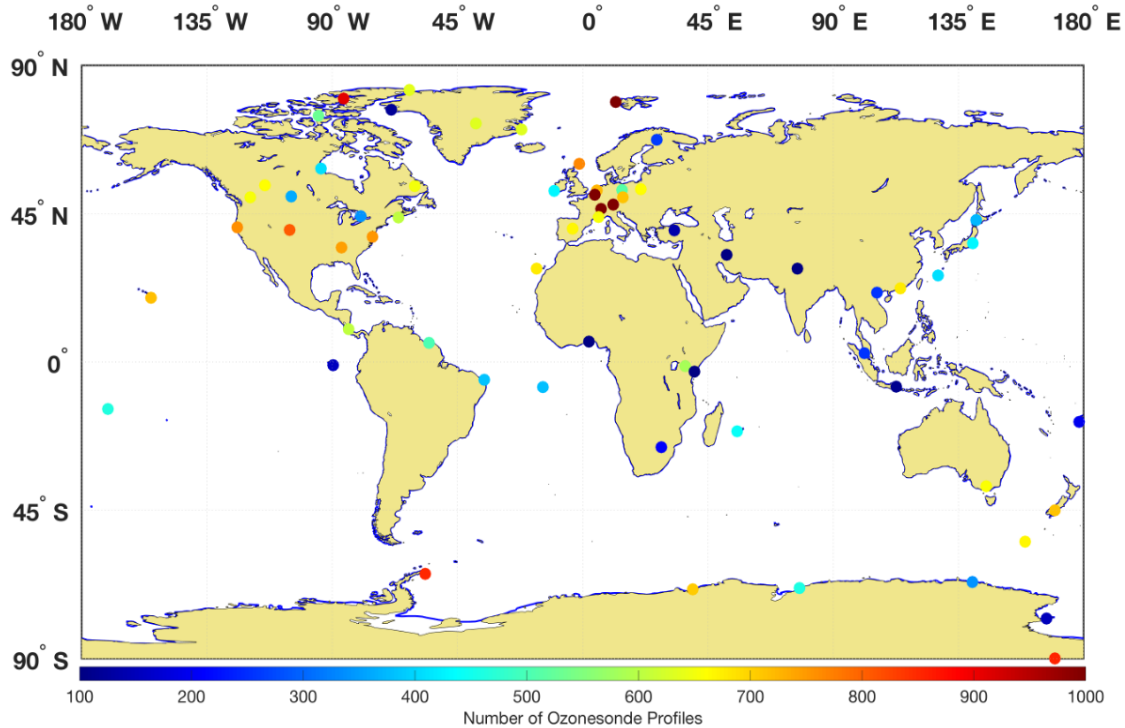
TROPOSFEER



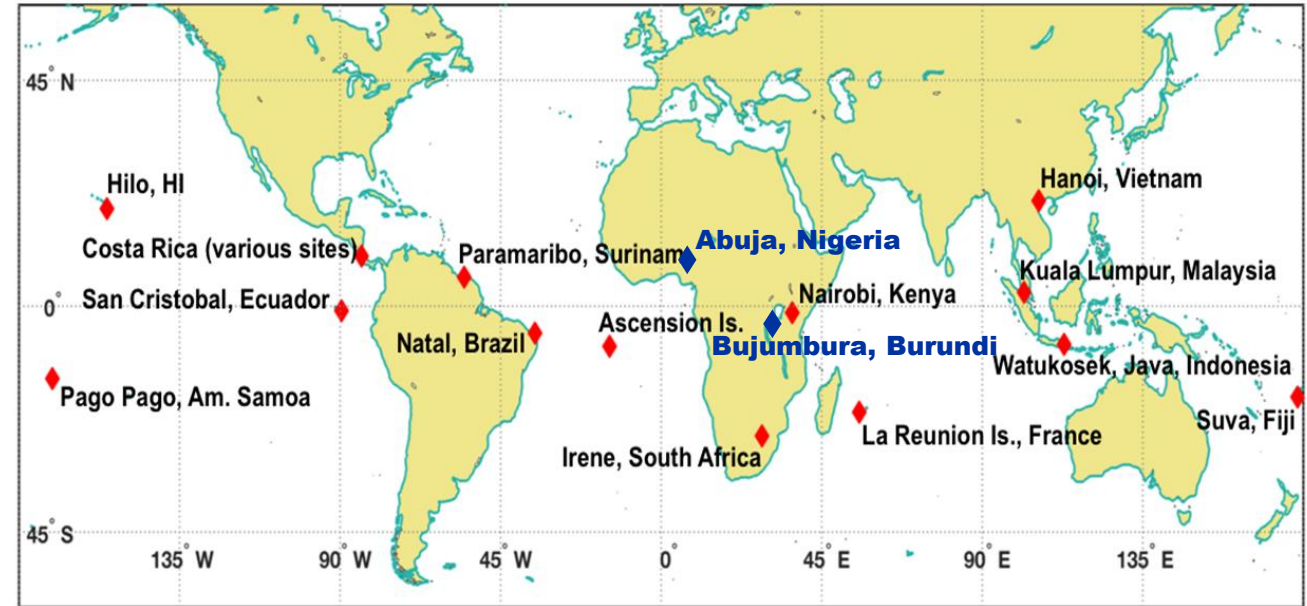
- toename tot midden-eind jaren 90 door toenemende uitstoot van gassen als NO_x , VOC, CO.
- daarna blijven de ozonconcentraties min of meer stabiel
- in de periode 2020-2022: sterke daling (vooral in lente-zomer) door verminderde uitstoot door COVID-19 lockdown restricties!
- tijdsevolutie is exemplarisch voor alle geïndustrialiseerde gebieden (USA, Europe)
- Bij zich ontwikkelende landen (Azië, Afrika, Zuid-Amerika) stijgen de ozonconcentraties gewoon door, zij het minder snel.

TROPOSFEER





SHADOZ Sites: <https://tropo.gsfc.nasa.gov/shadoz>



- tropen = veel UV-licht van de zon = brongebied van stratosferisch ozon!
- MoU met Universiteit van Bujumbura, Burundi
- MoU met National Space Research and Development Agency (NASRDA) te Nigeria
- De beschikbaarheid van helium of waterstofgas is een groot probleem! Wordt vervolgd!

- Afhankelijk van de hoogte in de atmosfeer, speelt ozon verschillende rollen
 - ✓ “goede” ozon: stratosfeer
 - ✓ “slechte” ozon: troposfeer
- kennis van de verticale verdeling van ozon, bijv. door ozonsondes, is cruciaal
- Tot enkele decennia geleden ging het met zowel de stratosferische (↘) als troposferische ozon (↗) de slechte kant op.
- Deze trends lijken gekeerd de laatste decennia:
 - ✓ herstel van de stratosferische ozonlaag
 - ✓ Afvlakking/afname van troposferische ozonconcentraties, hierbij een handje geholpen door COVID-19 lockdown restricties!
- Een grote onbekende in dit alles is het Afrikaanse continent. Meer waarnemingen zijn nodig!

THANK YOU

**Het Koninklijk
Meteorologisch Instituut**

**L'Institut Royal
Météorologique**

**Das Königliche
Meteorologische Institut**

**The Royal Meteorological
Institute**



The RMI provides reliable public service realized by empowered staff and based on research, innovation and continuity.

Het KMI verleent een betrouwbare dienstverlening aan het publiek en de overheid gebaseerd op onderzoek, innovatie en continuïteit.

L'IRM fournit un service fiable basé sur la recherche, l'innovation et la continuité au public et aux autorités.

Vertrauenswürdige Dienstleistungen für Öffentlichkeit und Behörden begründet auf Forschung, Innovation und Kontinuität.

- gelanceerd met een weerballon, gekoppeld met een radiosonde
- pomp + electrochemische concentratie cellen
- titratie van ozon in een KI (Kaliumjodide) oplossing:
 $2 \text{KI} + \text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{I}_2 + \text{O}_2 + 2 \text{KOH}$
- basisformule:

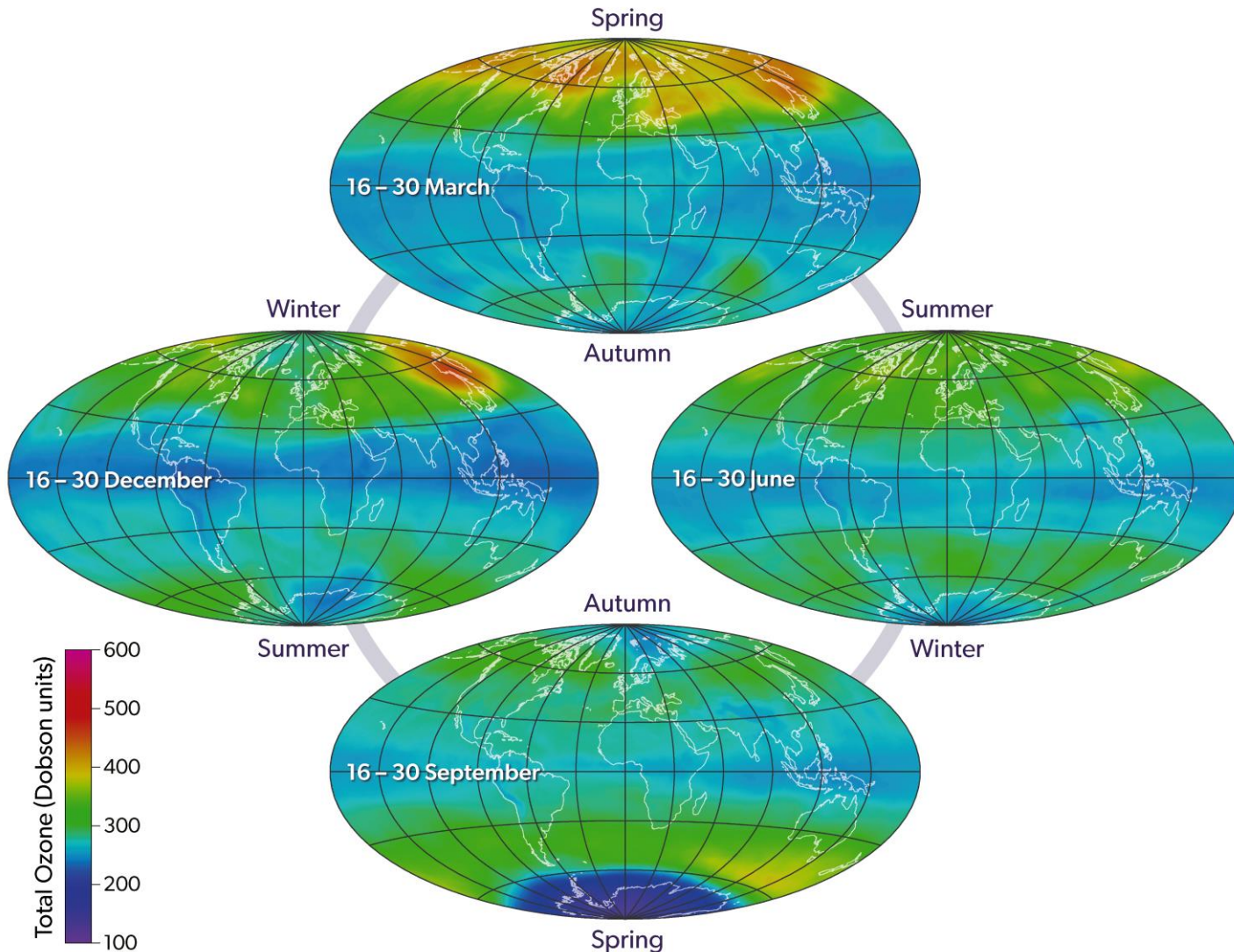
$$P_{\text{O}_3} = 0.043085 * \frac{T_P}{(\eta_P * \eta_A * \eta_C * \Phi_{P0})} * (I_M - I_B)$$

pomptemperatuur
stroom

pompefficiëntie
pompdebiet

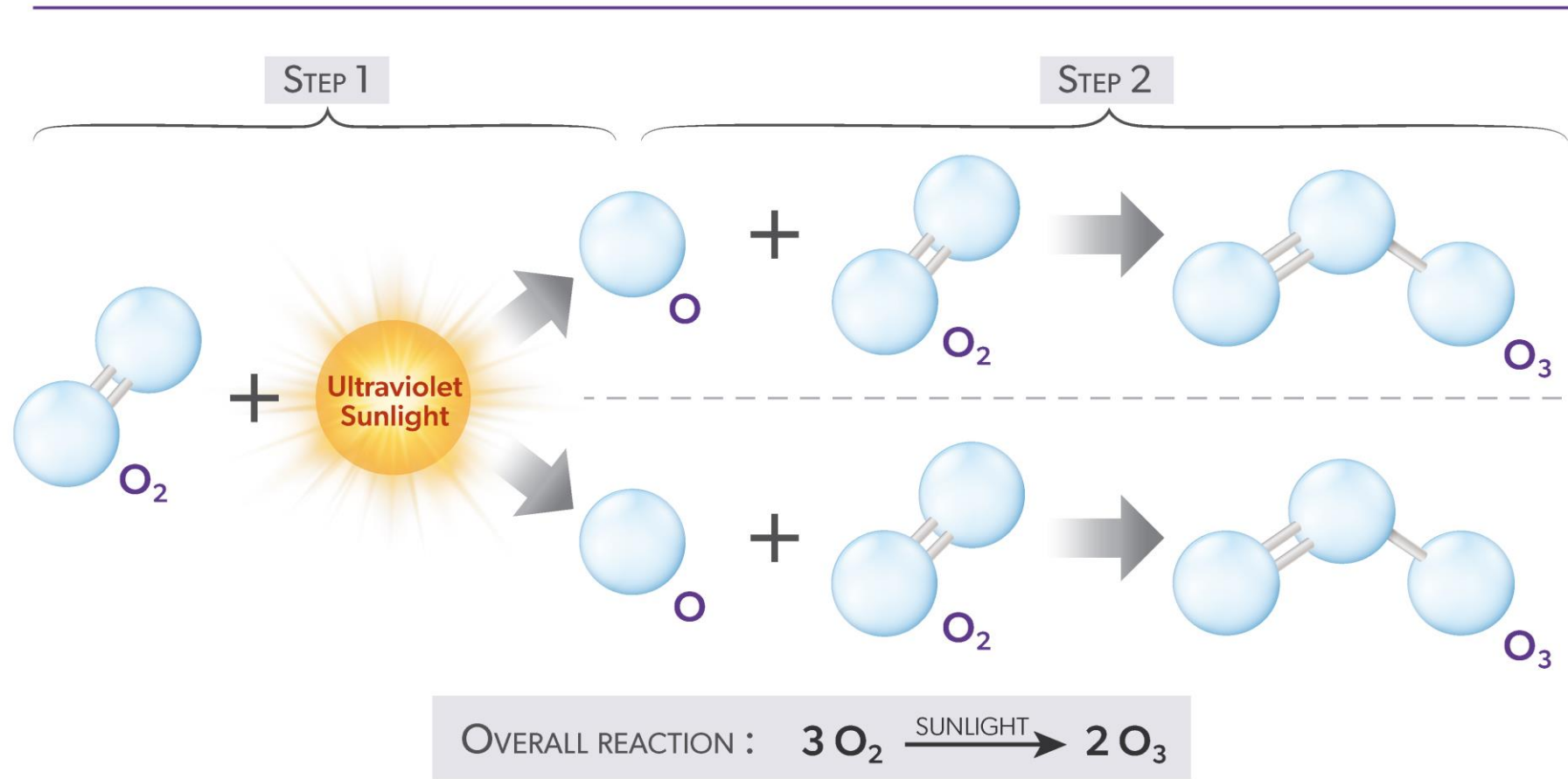
opgemeten in het labo, voor de lancering

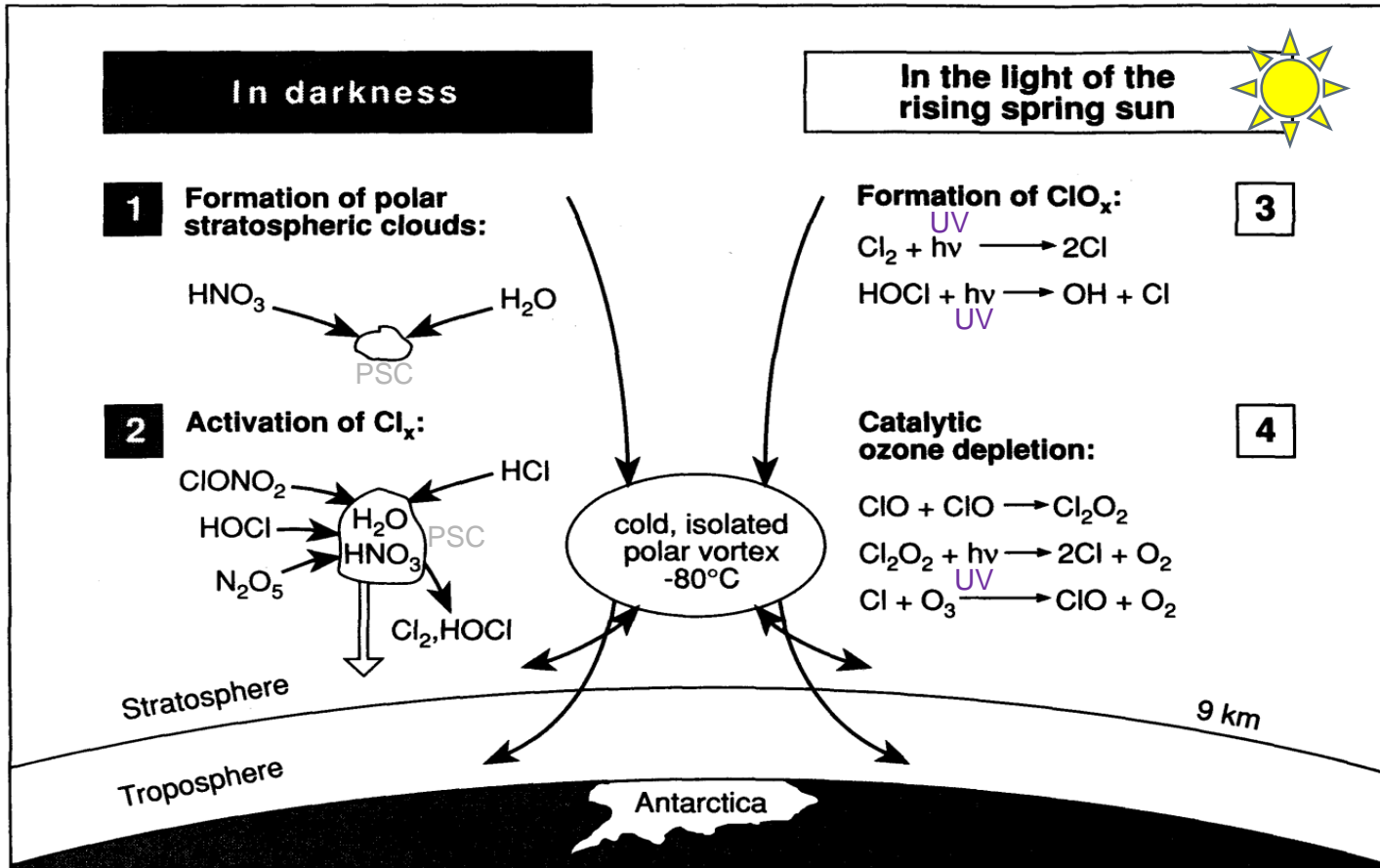
Global Satellite Maps of Total Ozone in 2021



- Hoewel ozon vooral gevormd wordt boven de tropen, zijn de hoeveelheden daar lager en aan de polen hoger door transport
- dit transport is sterker op het einde van de herfst en winter en in de noordelijke hemisfeer (meer gebergtes, hoger contrast continent-oceaan)
→ hoogste ozonhoeveelheden late winter en begin lente
- Lage ozonhoeveelheden in september-oktober aan de Zuidpool: gat in de ozonlaag

Stratospheric Ozone Production



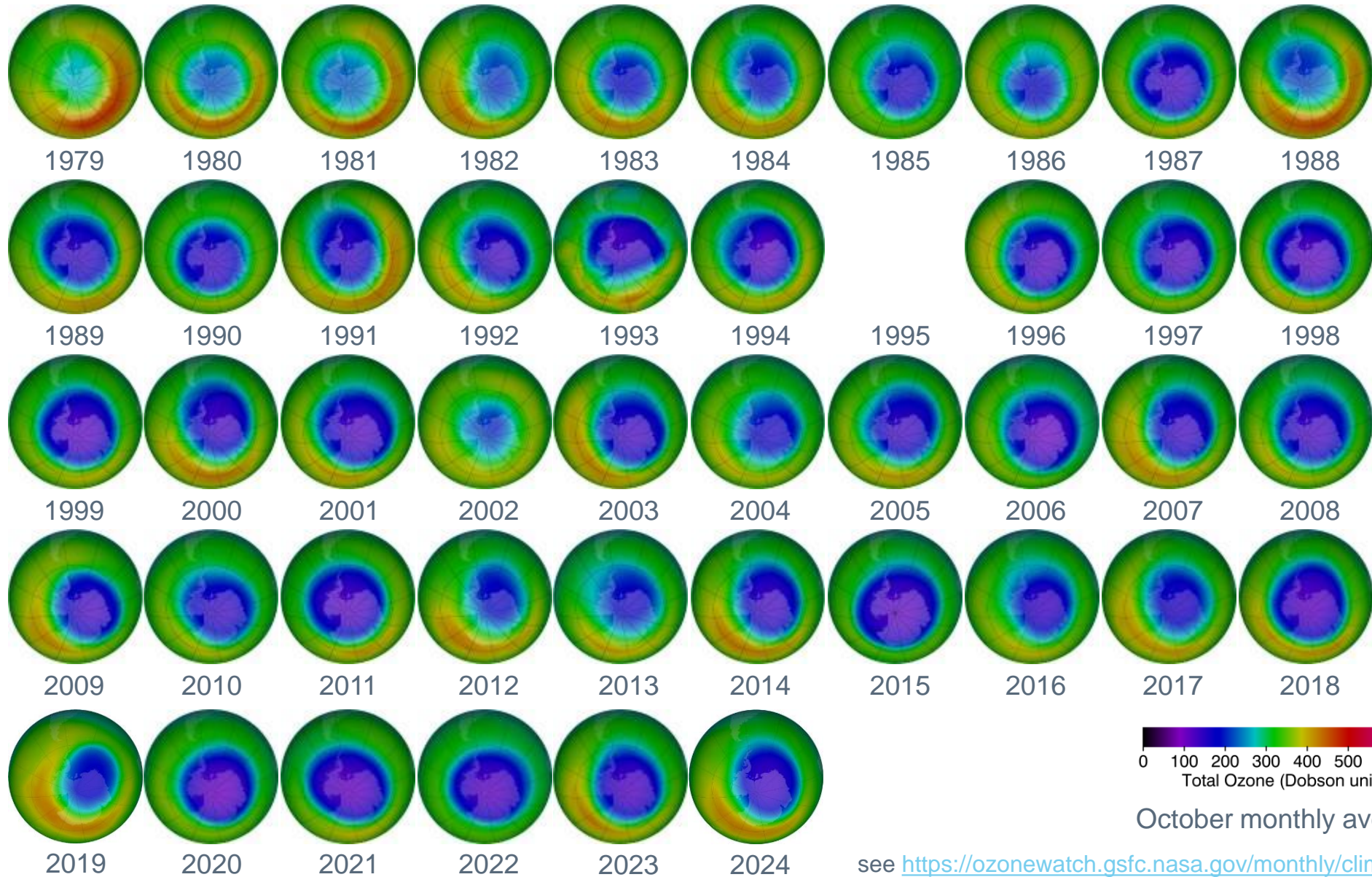


Ingrediënten om ozonafbraak te hebben aan de polen

- Cl in de stratosfeer
- Koude: polaire vortex
- Seizoenen: donker (winter) en licht (lente)
- Wolken: polaire stratosferische wolken (tussen 15-20 km)
- UV-straling: zonnelicht (lente)

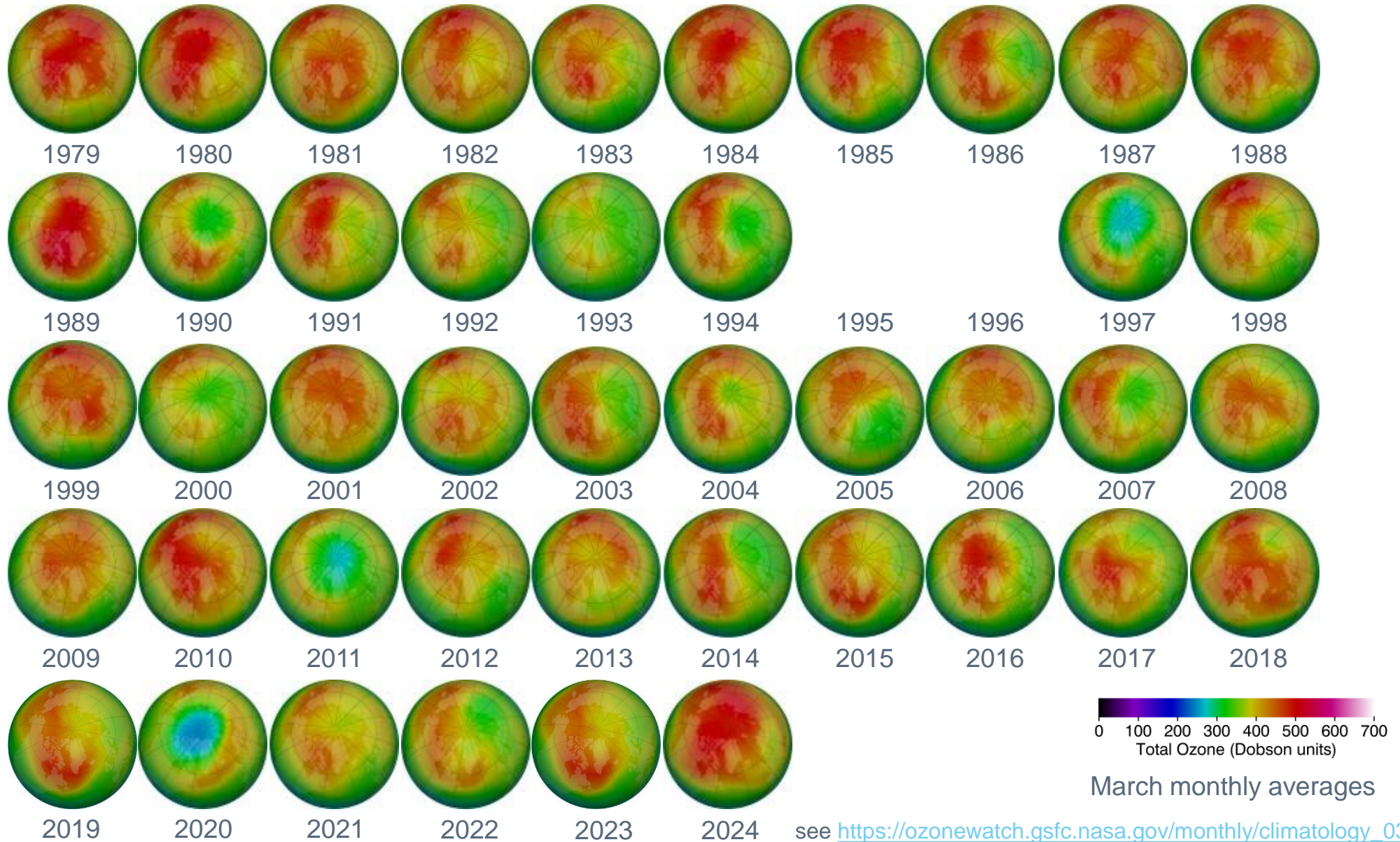


Het gat in de ozonlaag boven Antarctica

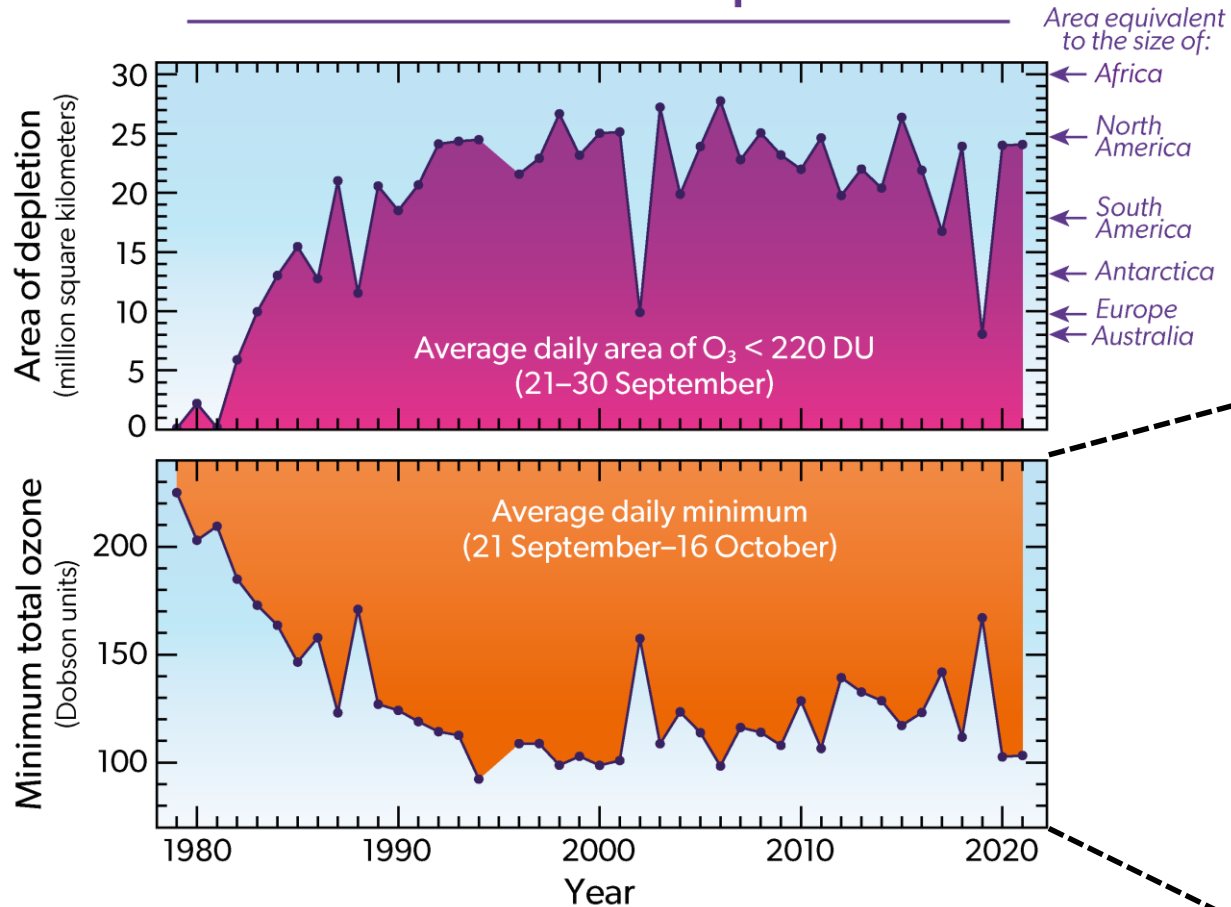


see https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/monthly/climatology_10_SH.html

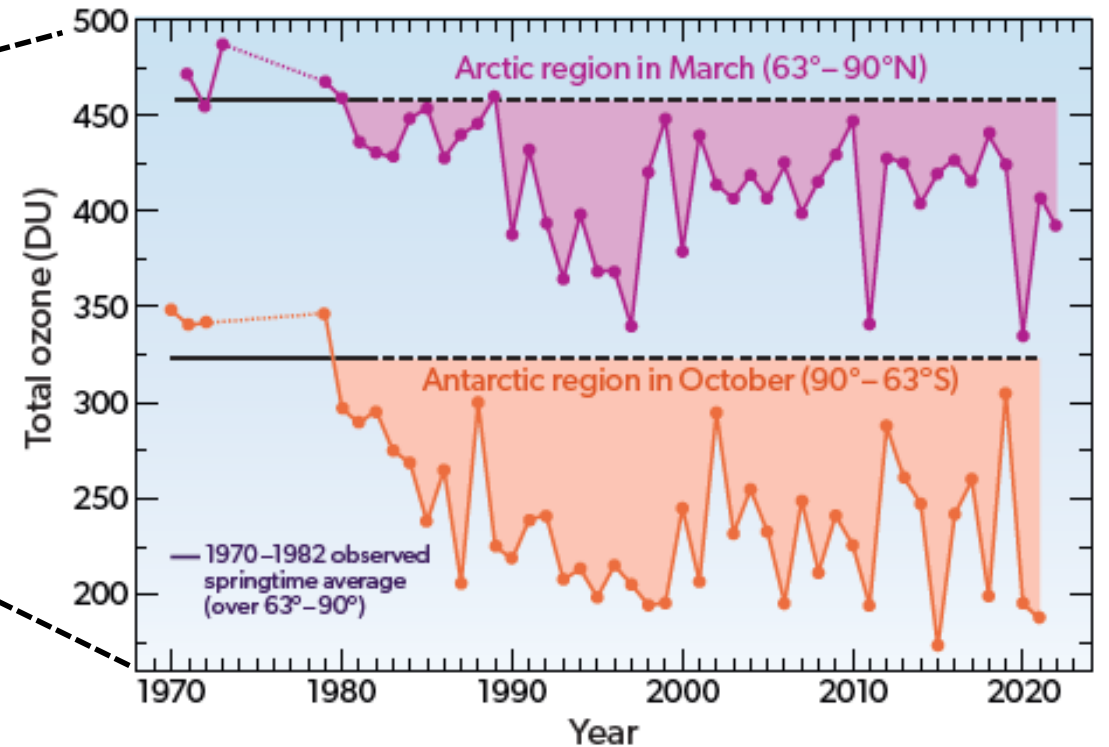
Het gat in de ozonlaag boven Arctica



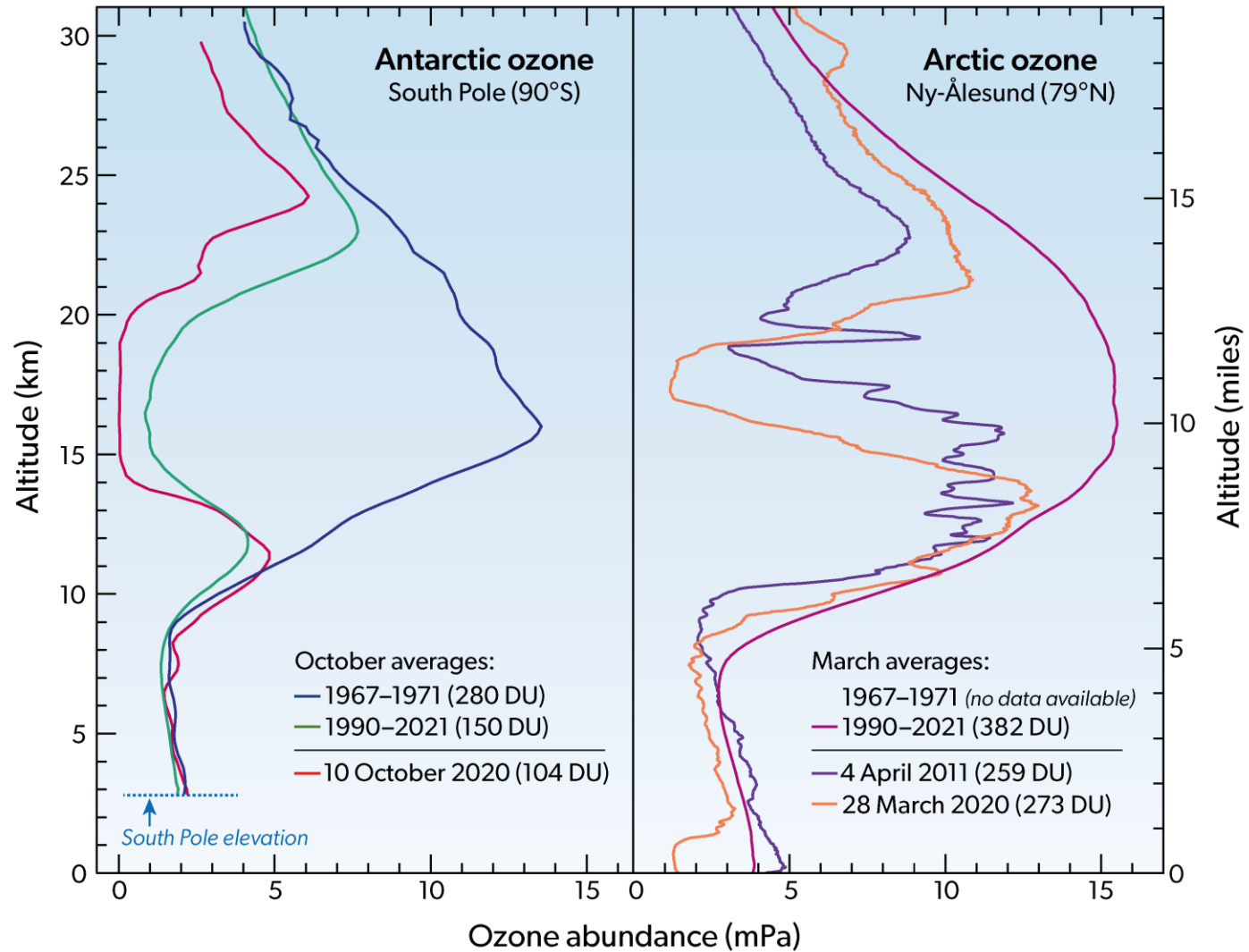
Antarctic Ozone Depletion



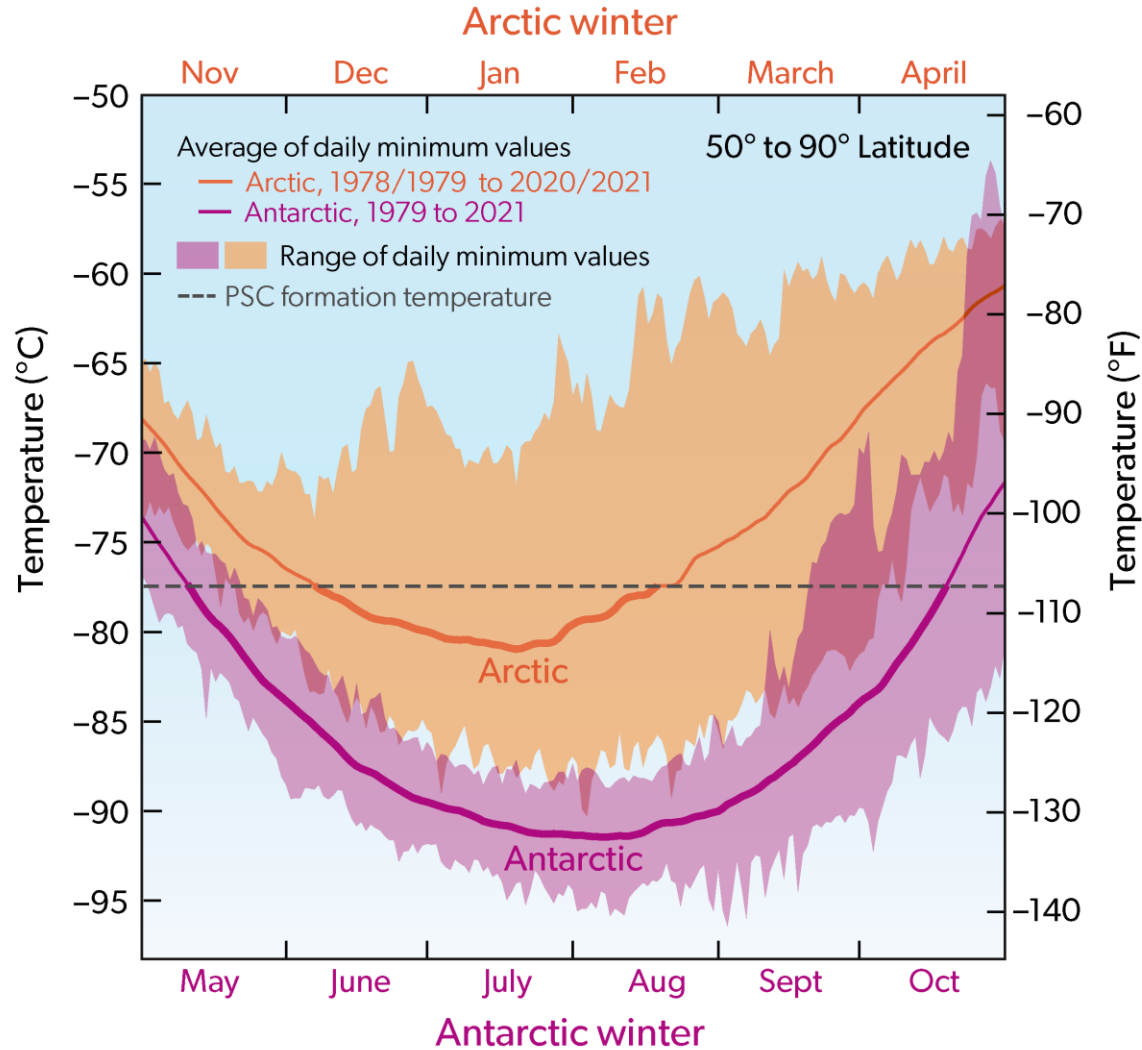
Average Total Ozone in Polar Regions



Polar Ozone Depletion



Minimum Air Temperatures in the Polar Stratosphere



Changes in Global and Antarctic Ozone

