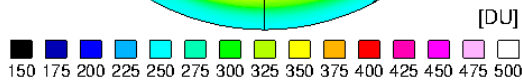
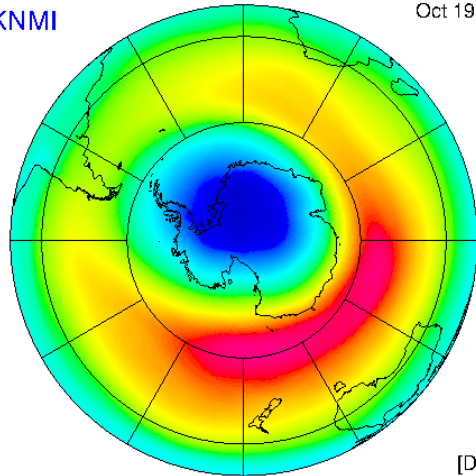


Ozonschicht und Klimawandel

wolfgang.steinbrecht@dwd.de

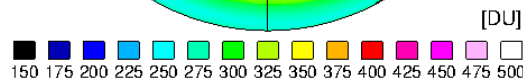
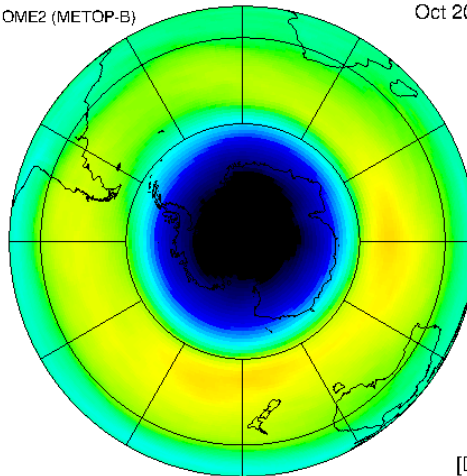
Multi Sensor Reanalysis 2
Monthly mean total ozone
Oct 1984
KNMI



Okt. 1984

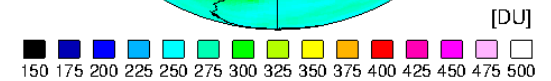
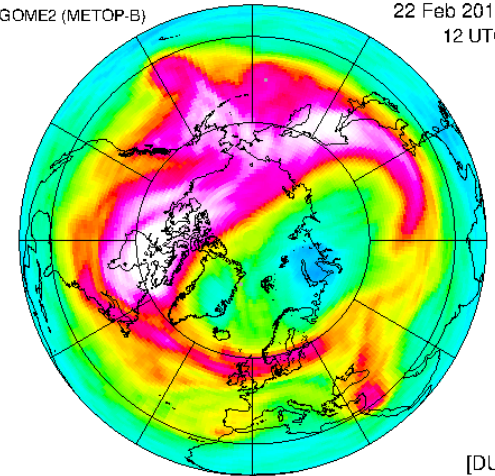
Antarktis

KNMI / EUMETSAT
GOME2 (METOP-B)
Monthly mean total ozone
Oct 2015



Okt. 2015

KNMI / DLR / EUMETSAT
GOME2 (METOP-B)
Assimilated total ozone
22 Feb 2016
12 UTC

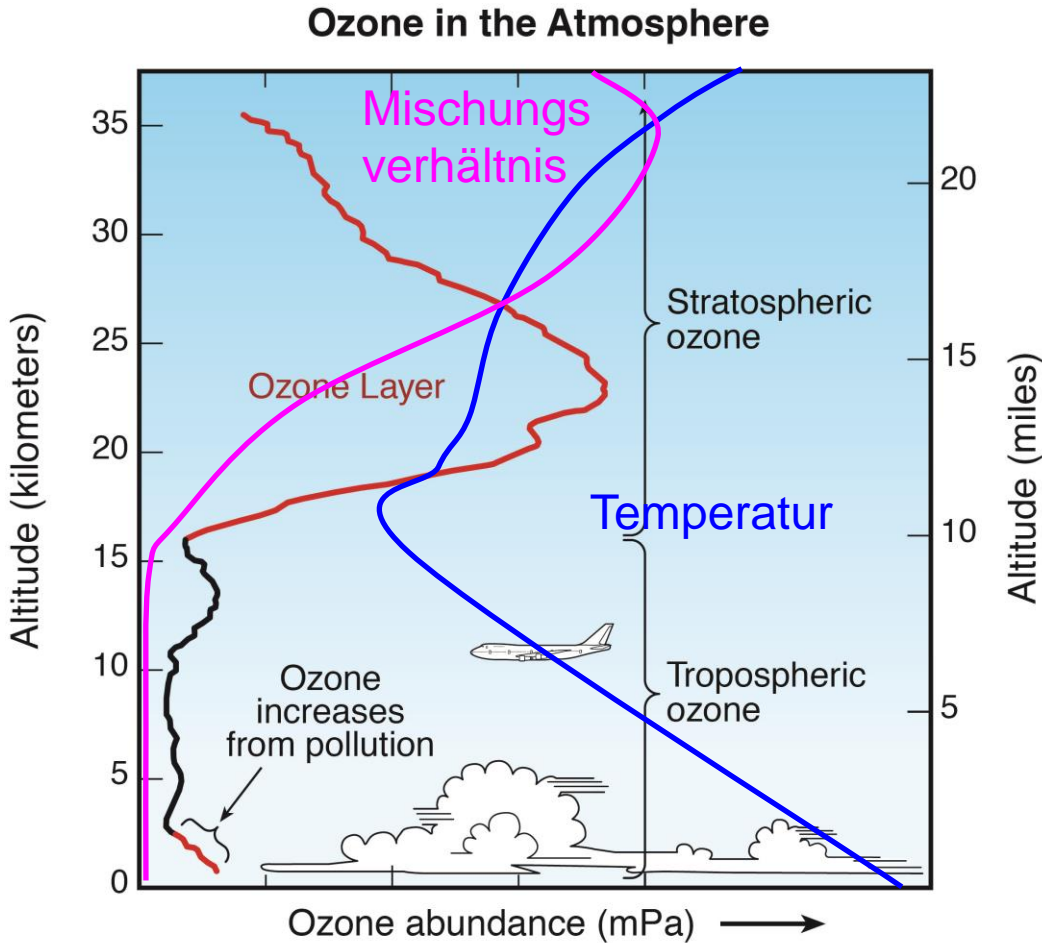


22. Feb. 2016

Arktis

EHRENKOLLOQUIUM
KLIMA UND MENSCHHEIT
Berlin, 14. April 2016





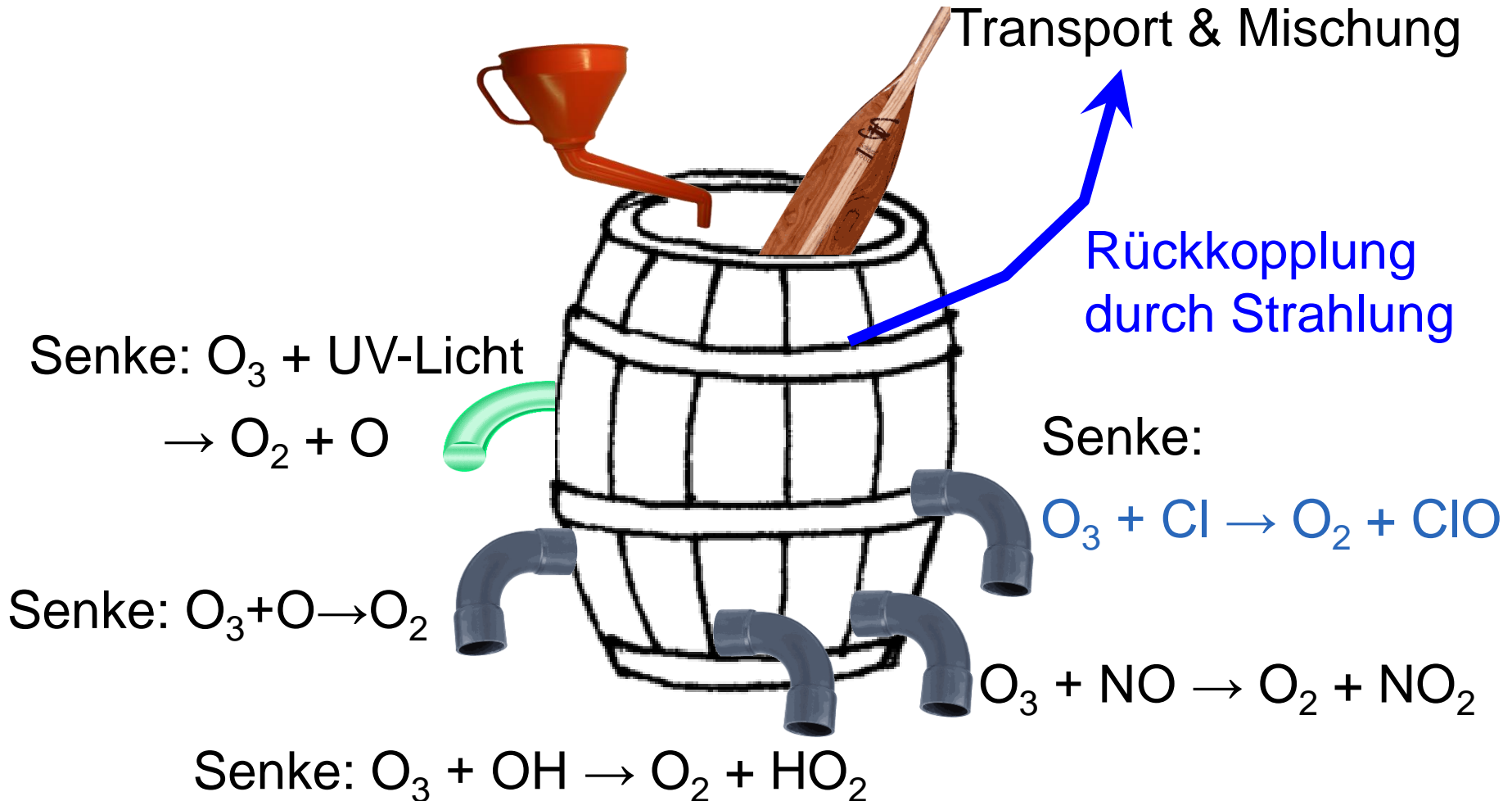
Ozon

- absorbiert & blockt UV Strahlung
- Treibhausgas
- Heizung der Stratosphäre
- CO₂ = Kühlung
- beeinflusst Temperaturverteilung und Zirkulation
- “deckelt” die Troposphäre

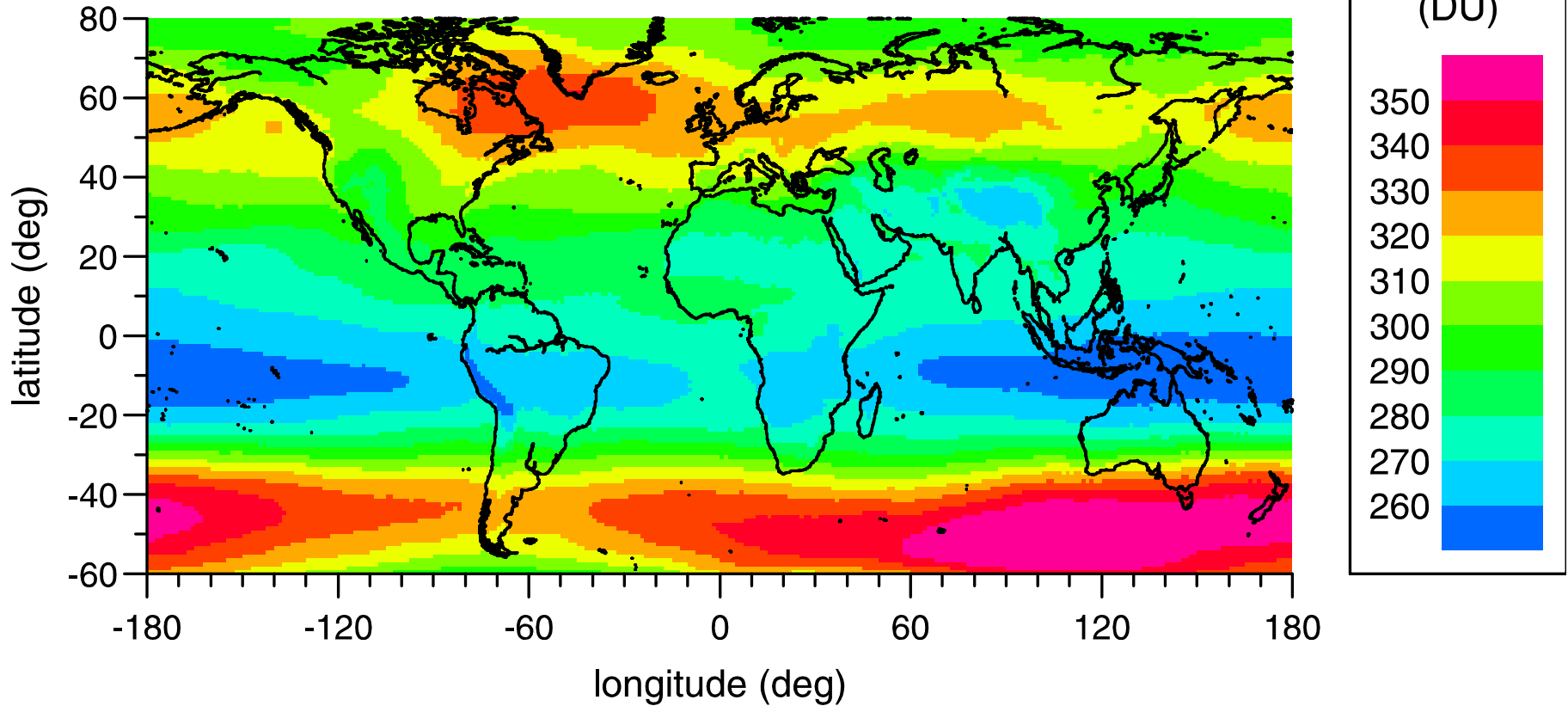
- starkes Oxidationsmittel – Schlüsselsubstanz i.d. Atmosphären-Chemie
- “Reizgas” für Flora u. Fauna

Was bestimmt das stratosphärische O₃?

Quelle: $O_2 + \text{UV-Licht} + M \rightarrow O_3$

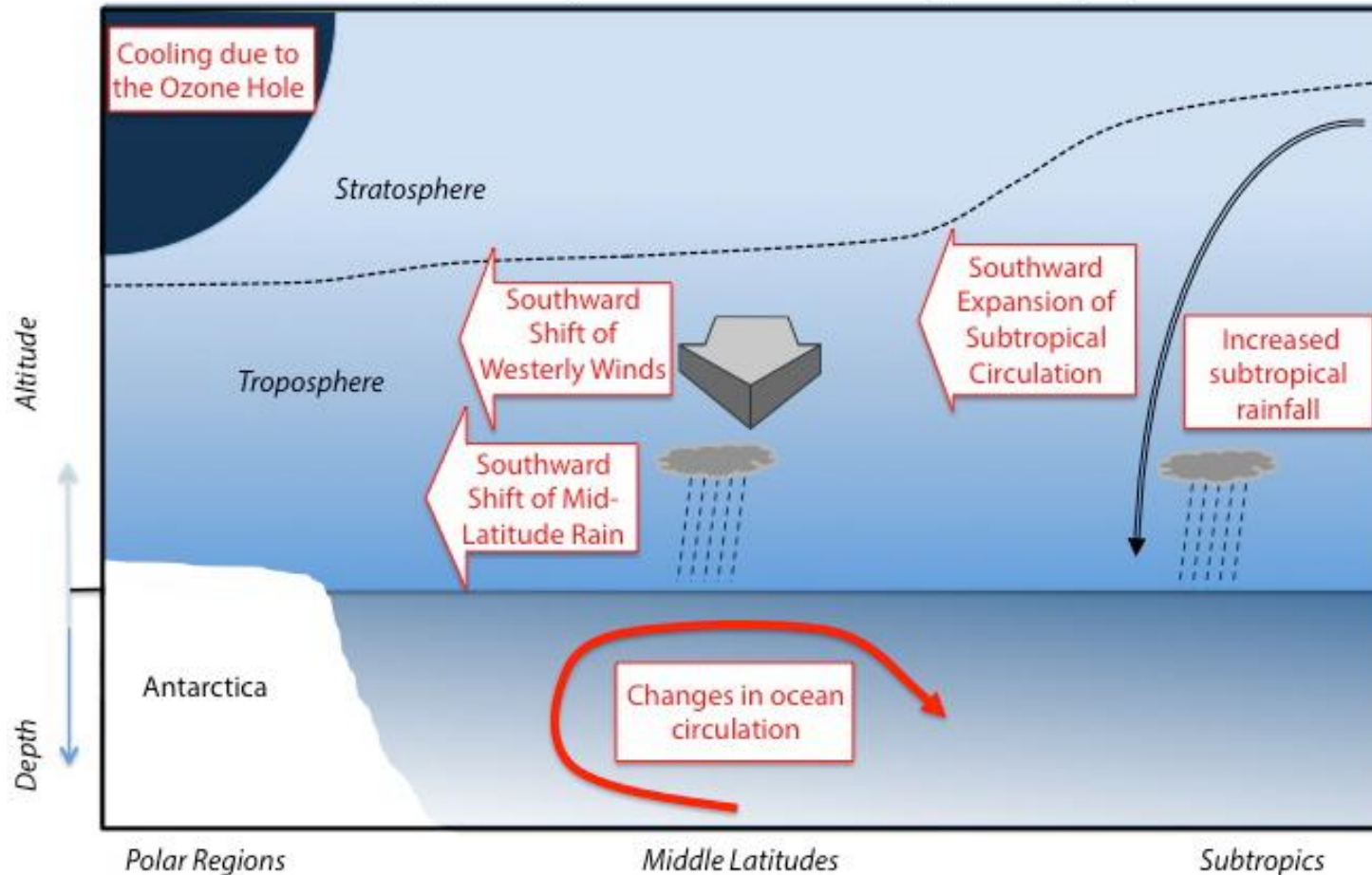


MEAN TOTAL OZONE
(TOMS, august 1979 - 2000)



Spänkuch und Schulz
Globale Ozontrends und Großwetterlagen
DWD Ozon-Bulletin Nr. 79, 2001

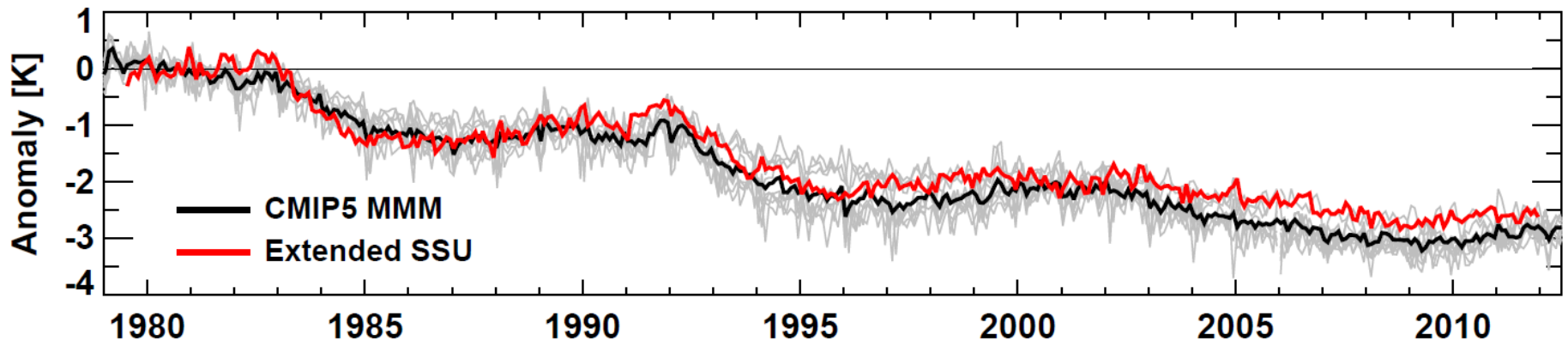
Antarctic Ozone Depletion Impacts on Southern Hemisphere Tropospheric Climate



WMO/UNEP
2014

weniger Ozon → kälter → Verschiebung der Jets / Fronten → Klima

Globale Temperatur, 30 bis 60 km SSU Channel 3



Ozon heizt, CO₂ kühlt die Stratosphäre

McLandress et al., ACP, 2015



Was bestimmt das stratosphärische O₃?

Quelle: $O_2 + \text{UV-Licht} + M \rightarrow O_3$

Sonnenzyklus

**QBO, ENSO,
Wetter, Klima**

Klimaänderung

**Rückkopplung
durch Strahlung
Menschen**

Senke: $O_3 + \text{UV-Licht} \rightarrow O_2 + O$

Senke: $O_3 + Cl \rightarrow O_2 + ClO$

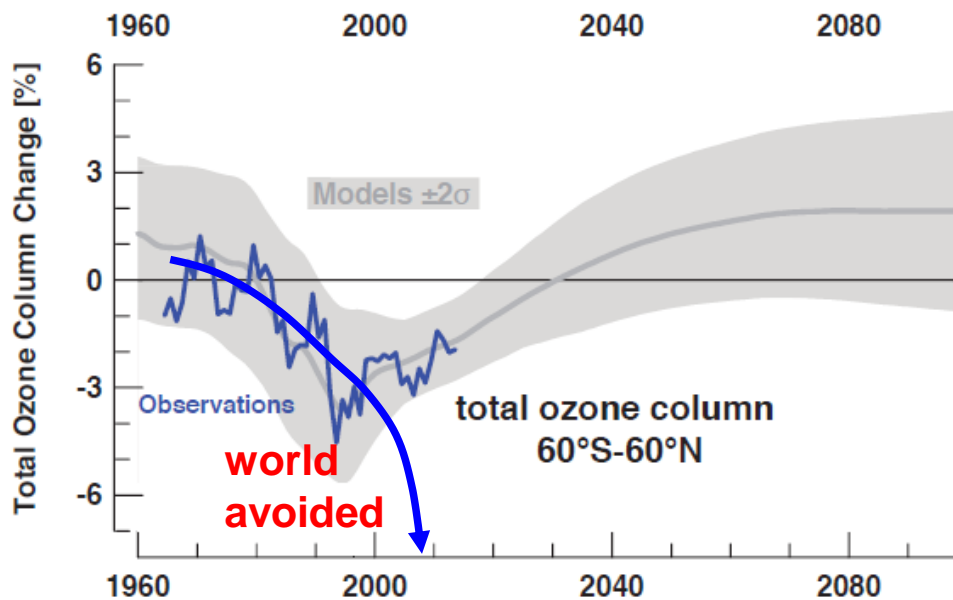
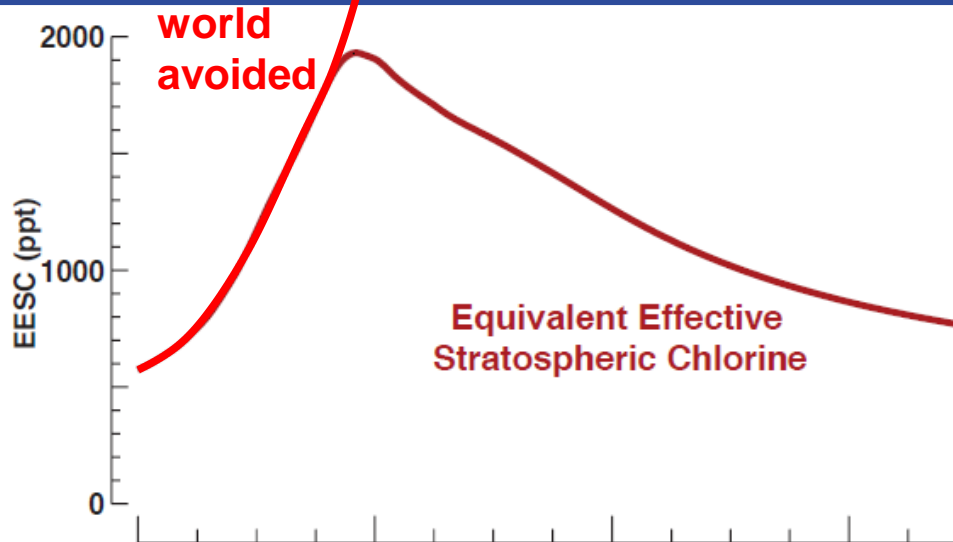
Senke: $O_3 + O \rightarrow O_2$

$O_3 + NO \rightarrow O_2 + NO_2$

Senke: $O_3 + OH \rightarrow O_2 + HO_2$

- FCKWs, Halone, Cl & Br: starke Zunahme bis Ende d. 1990er, langsamer Rückgang seit 2000; **Wiener Konvention (1985), Montrealer Protokoll (1987 ...)**
- CO₂ und andere Treibhausgase nehmen zu, **(Kyoto 1997, ..., Paris 2015)**
- N₂O, NO_x nehmen zu (Dünger, Verkehr)
- CH₄ nimmt zu (Viehzucht, Reisfelder, Tundra)
- Klima + H₂O ändern sich (CH₄ Oxidation)

Ozon-Gesamtsäule weltweit



Beobachtungen:

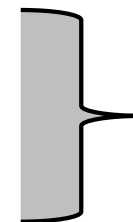
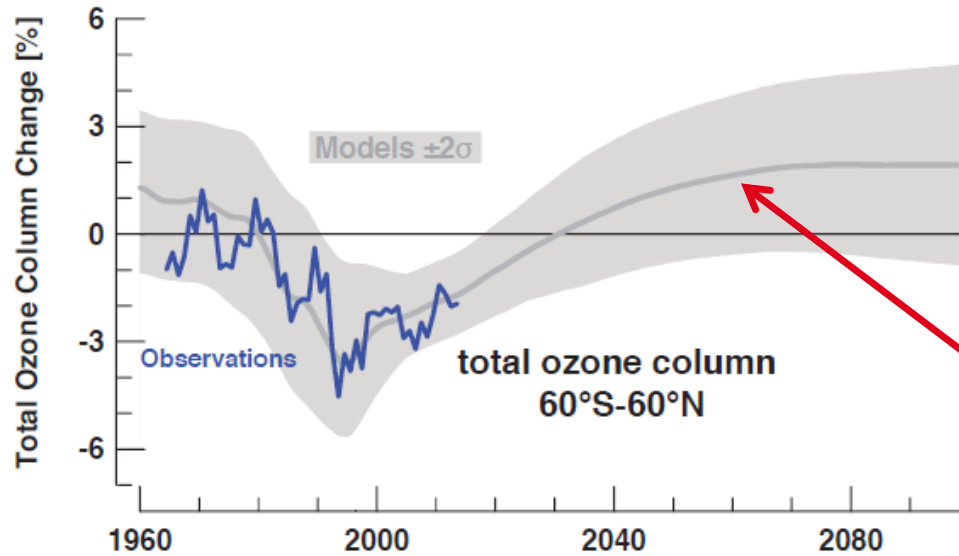
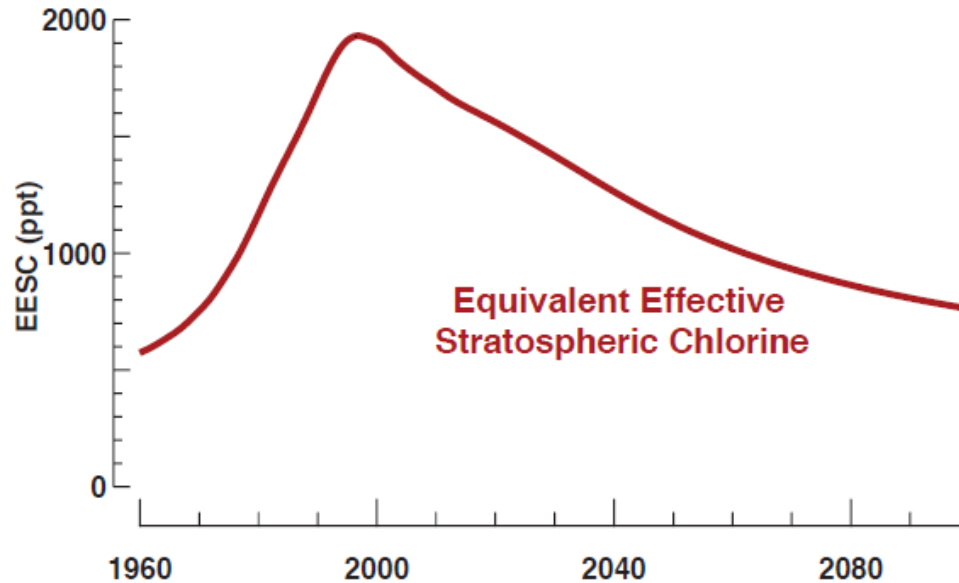
Stationen (Dobson+Brewer)
Satelliten (SBUV, OMI, GOME-1,2,
SCIAMACHY, ...)

Chemie Klima Modelle:

CCMVal-2, CCM1-5
Entwicklung v. ODS, CO₂, CH₄,
N₂O, Meeresoberfläche, (Aerosol,
Sonnenzyklus, QBO)

WMO/UNEP 2014

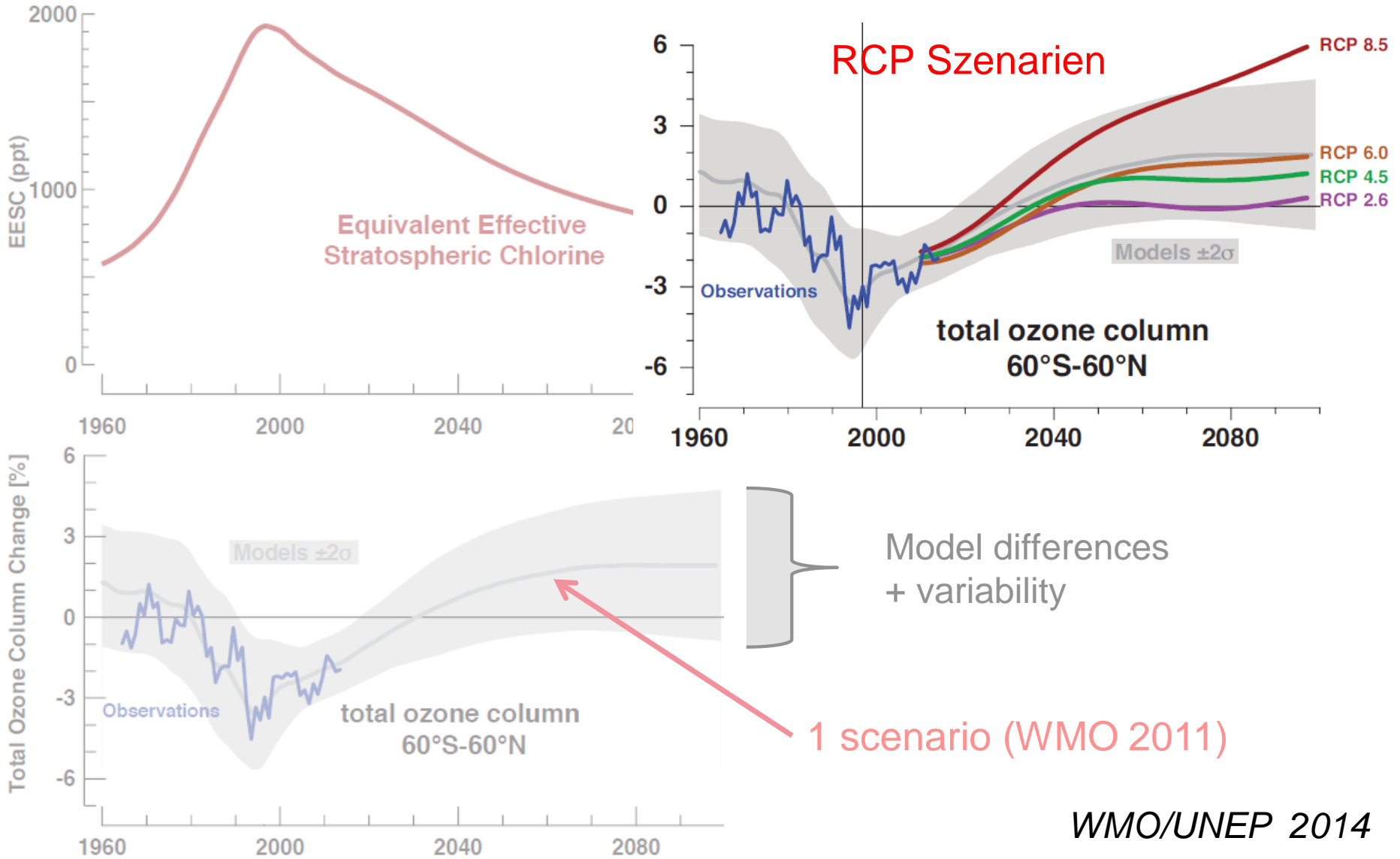
Ozon-Gesamtsäule weltweit



Modellunterschiede
+ natürliche Variabilität

Nur 1 Szenario (WMO 2011)
(Über-Erholung)

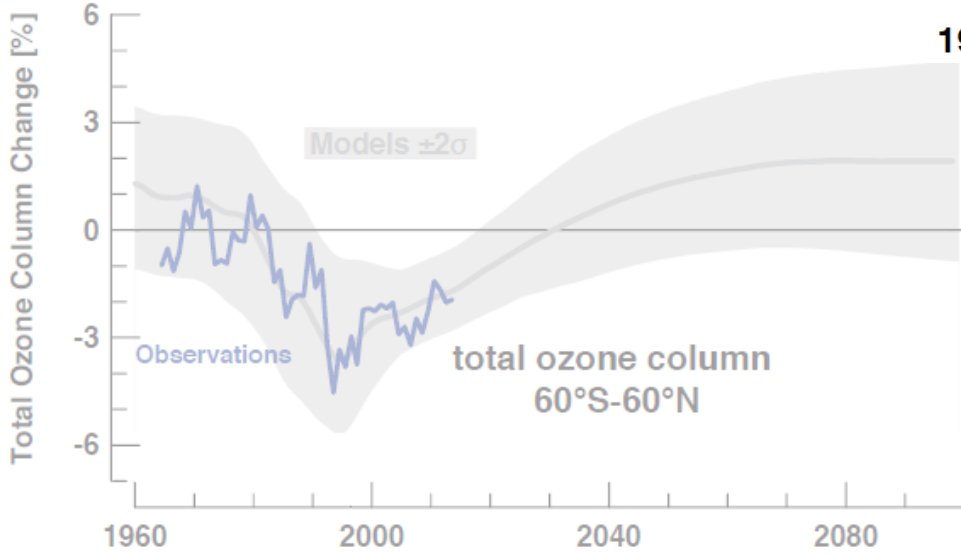
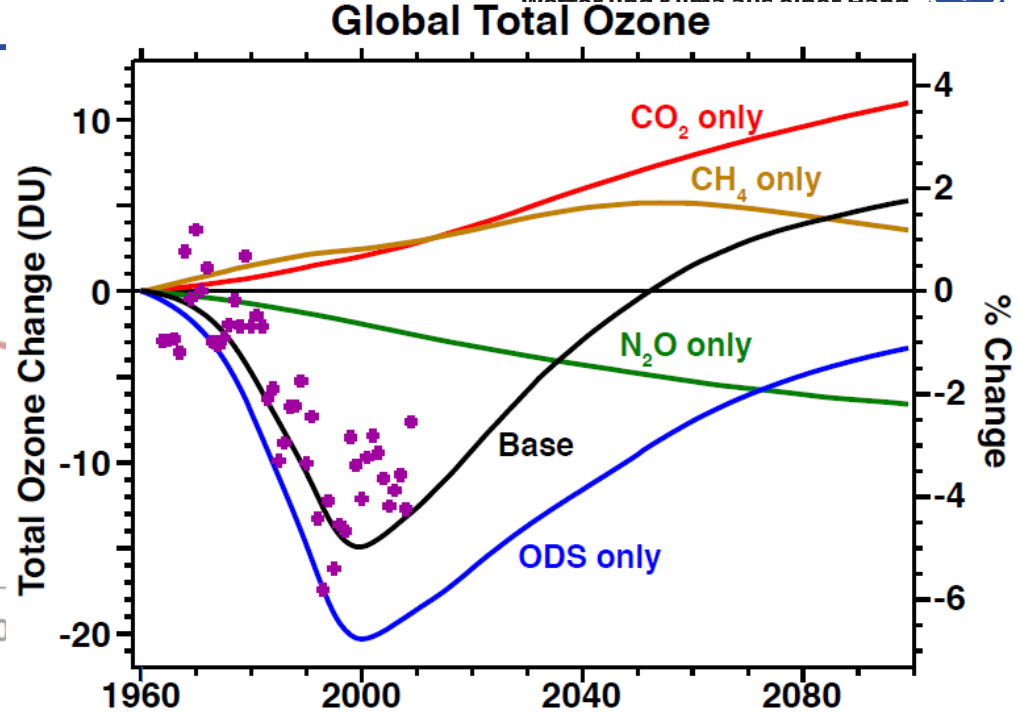
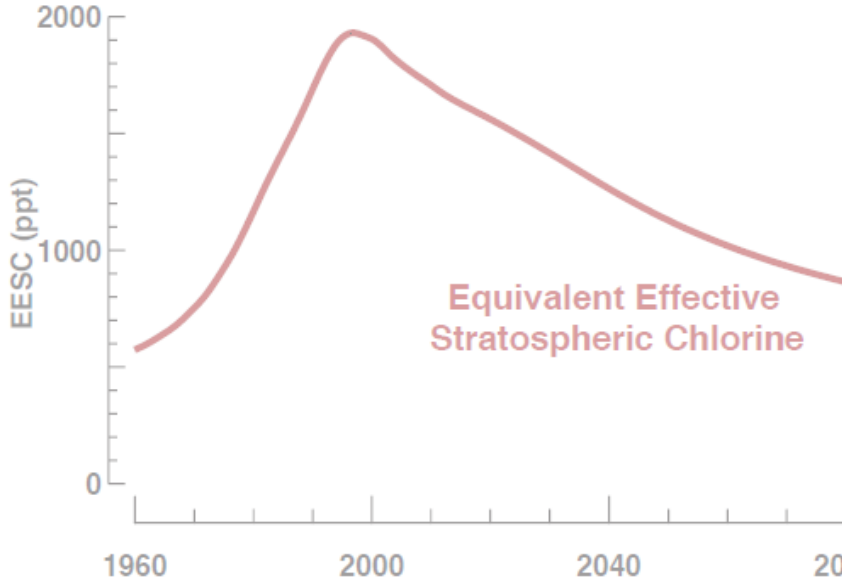
Ozon-Gesamtsäule weltweit



WMO/UNEP 2014



Zukünftiges Ozon



- ➔ **ODS zerstören O₃**
- ➔ **CO₂ kühlt, mehr O₃**
- ➔ **N₂O zerstört O₃**
- ➔ **CH₄ erhöht O₃**

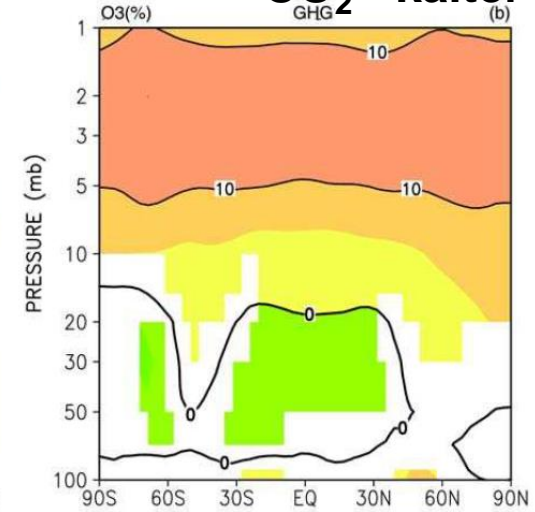
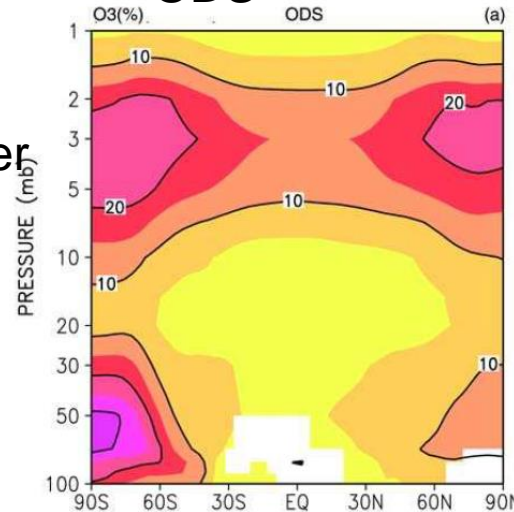
Fleming ACP 2011, Portmann RoySoc 2012



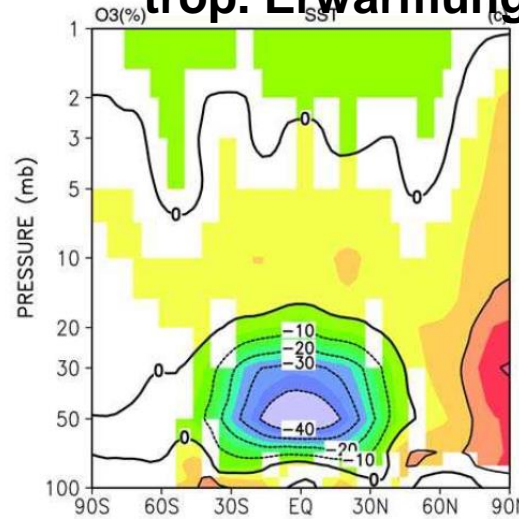
Zukünftige Entwicklung

- weniger ODS → mehr O₃
- mehr CO₂ → Stratosphäre kälter → mehr O₃
- mehr Treibhausgase → Troposphäre wärmer → mehr Wellen, mehr Aufsteigen i.d. Tropen → verstärkte BDC
- fast überall mehr Ozon
- Geringere Ozonsäulen in den Tropen?

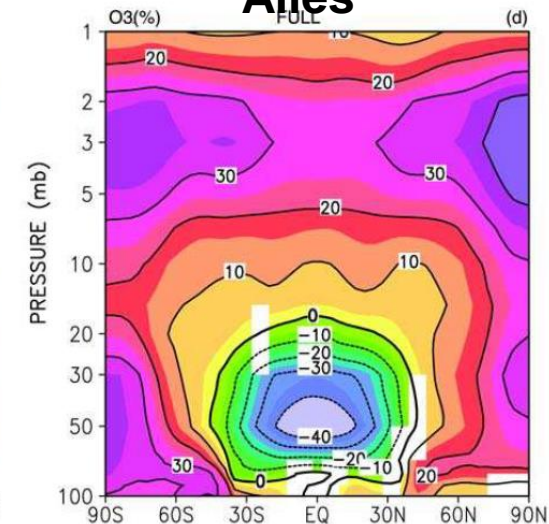
ODS O₃(2100) – O₃(2000) CO₂ - kälter



trop. Erwärmung

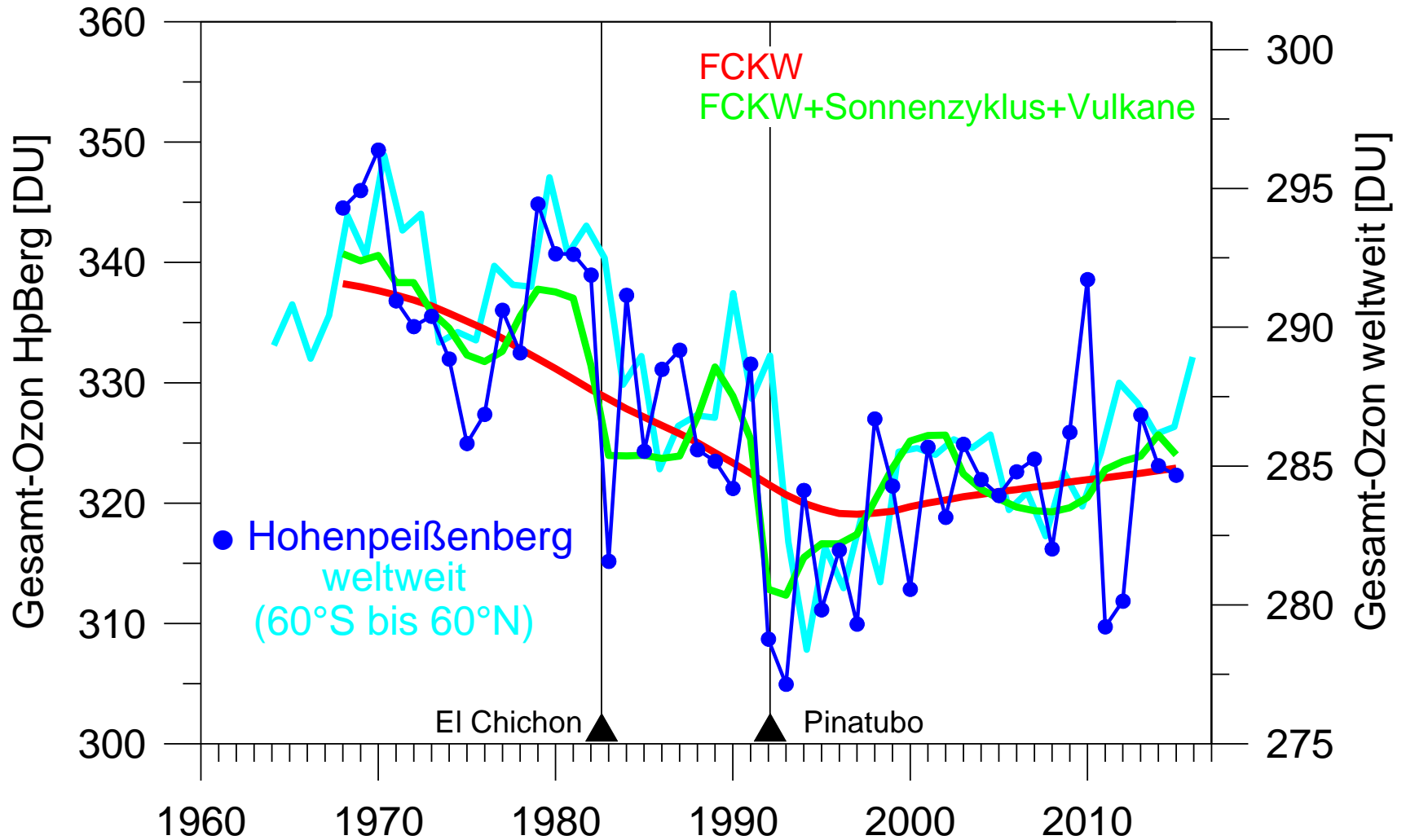


Alles



Zubov et al. 2012

Erst am Anfang der Erholung!



- FCKW, CO₂, N₂O, CH₄ haben erheblichen Einfluss auf die Ozonschicht
- N₂O, CH₄ wichtiger, FCKW Einfluss geht zurück
- Montrealer Protokoll erfolgreich !! 😊
- beginnende Erholung, **noch schwach, v.a. bei der Gesamtsäule**

- Stratosphäre kühlt ab (-15°C / 100 Jahre ↔ +4°C / 100 Jahre in Troposphäre), Kyoto Protokoll 😞
- bedeutend für Chemie & **Brewer Dobson Zirkulation (laut Modellen)**
- “Super Recovery” fast überall (2050-2100), **nicht i.d. Tropen!**
- **Hängt vom Szenario ab!**

- **Genauere Messungen weiter nötig, aber Interesse lässt nach** 😞