

Klimawandel und Ozonloch

Über die Einflüsse der Sonne und menschlicher Aktivitäten auf Veränderungen des Erdklimas

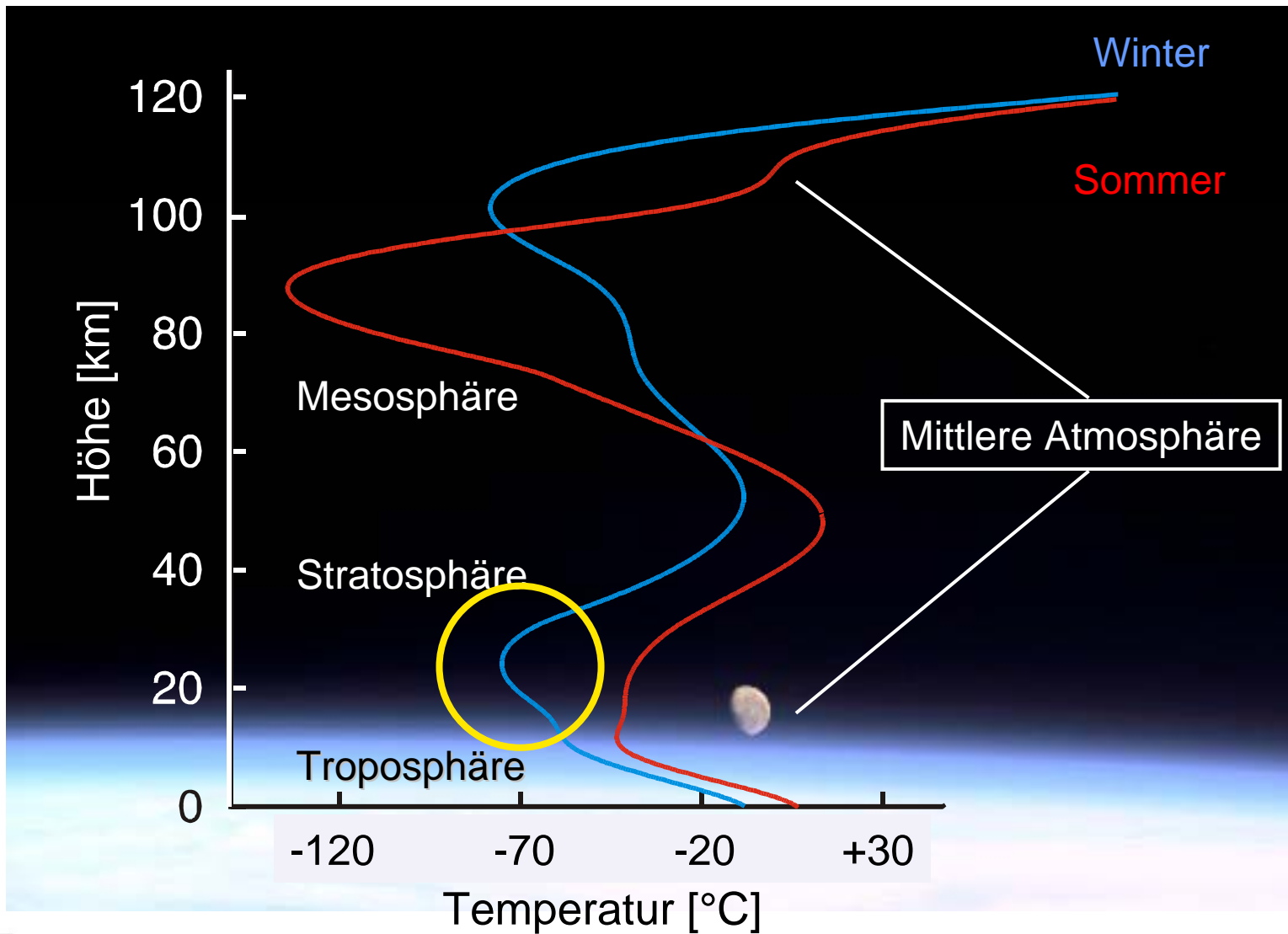
Prof. Dr. Martin Dameris

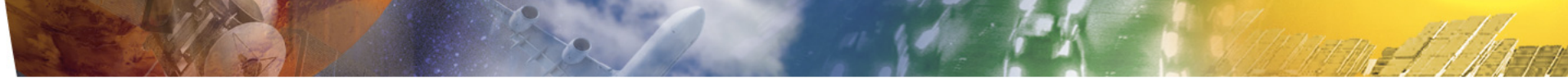
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Aufbau der Erdatmosphäre (~ 70°N)





Polare Stratosphärenwolken im Winter (~ 20 km Höhe)

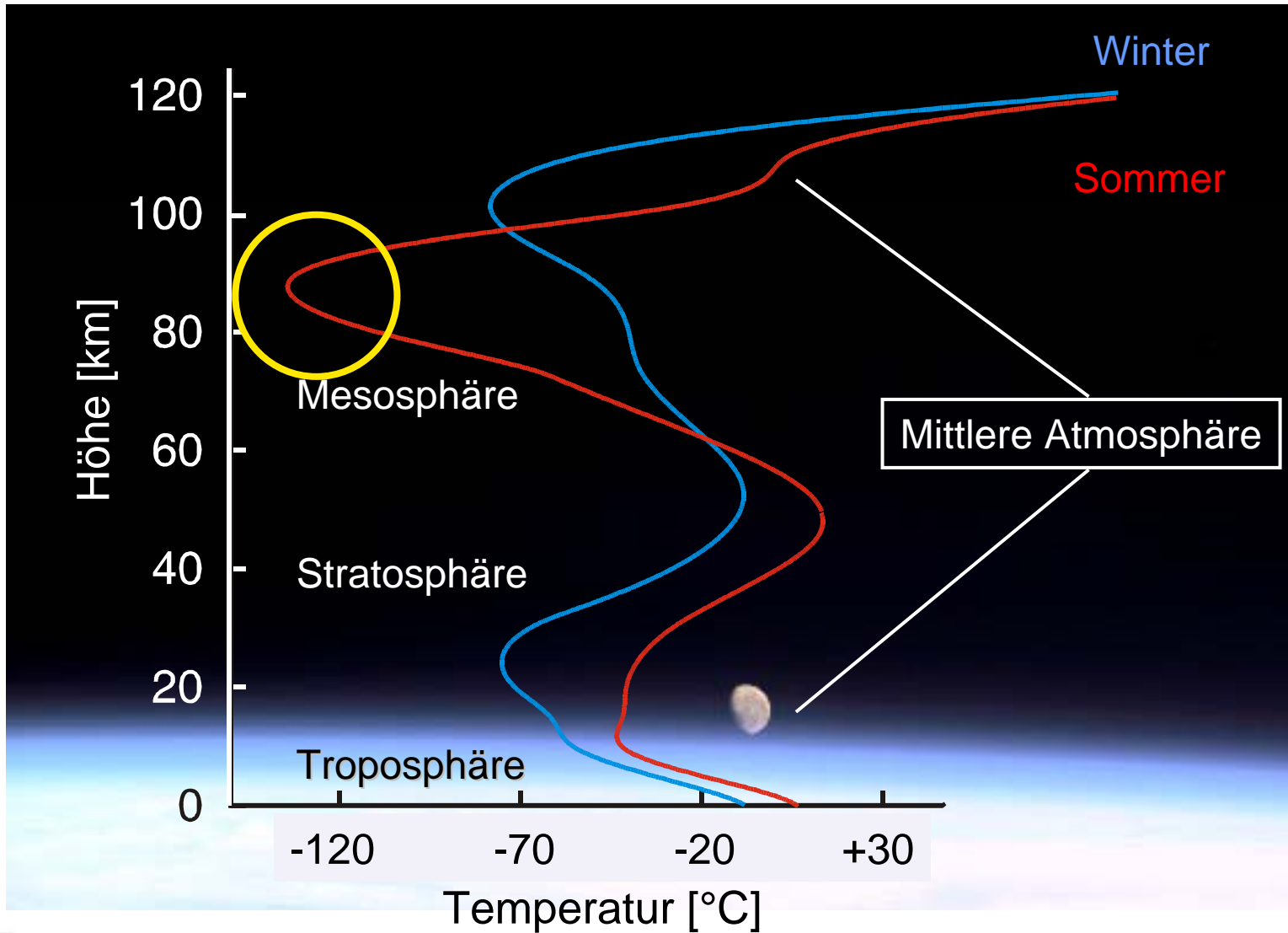




Polare Stratosphärenwolken im Winter (~ 20 km Höhe)



Aufbau der Erdatmosphäre (~ 70°N)



Leuchtende Nachtwolken im Sommer (~ 83 km Höhe)



Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik, Kühlungsborn



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

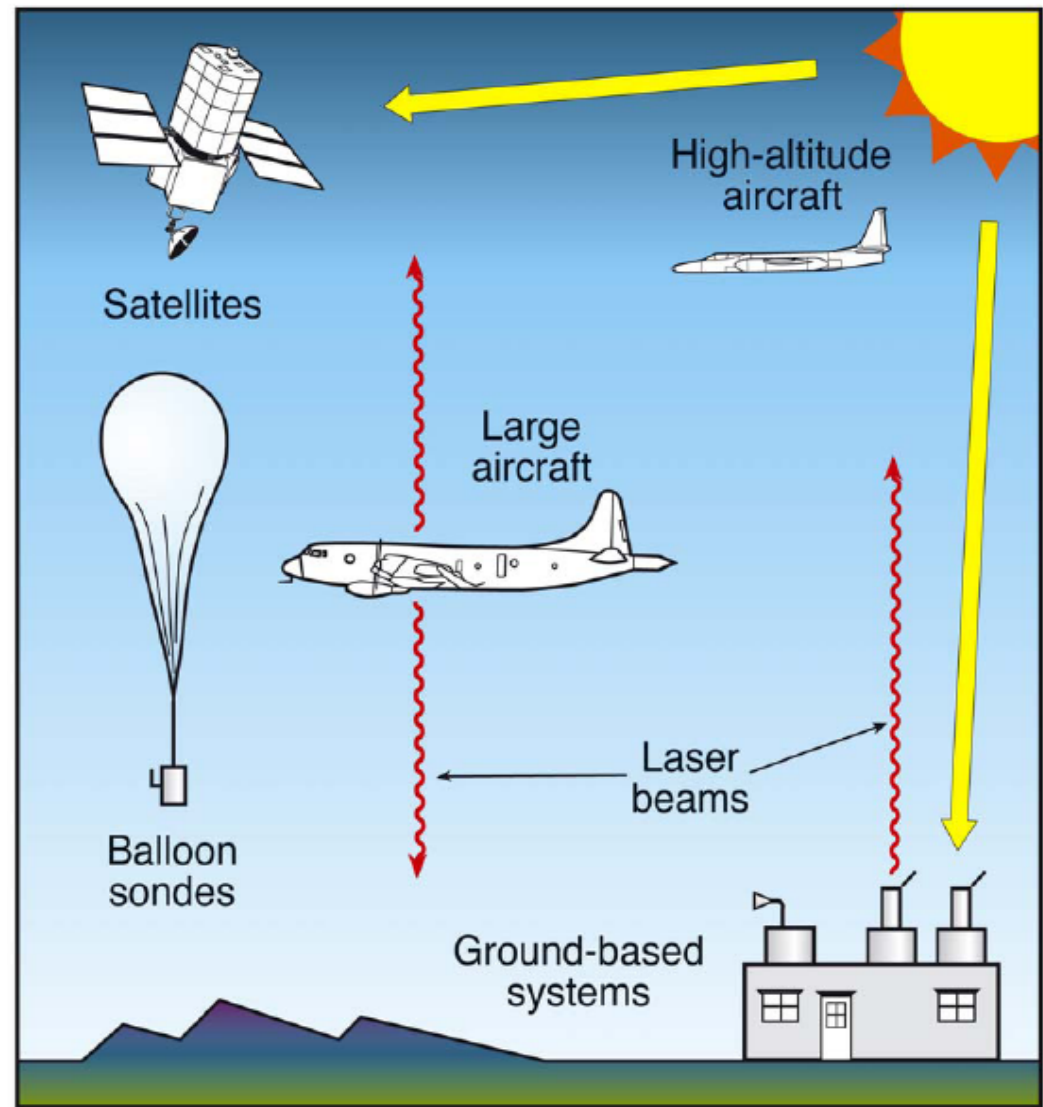
Institut für Physik der Atmosphäre

Leuchtende Nachtwolken im Sommer (~ 83 km Höhe)



Messmethoden in der Mittleren Atmosphäre

- Boden gestützt
 - Spektrophotometer
 - Lidars
- In-situ
 - Radio-, Ozonsonden
 - Forschungsballone
- Fernerkundung
 - Flugzeuge
 - Satelliten



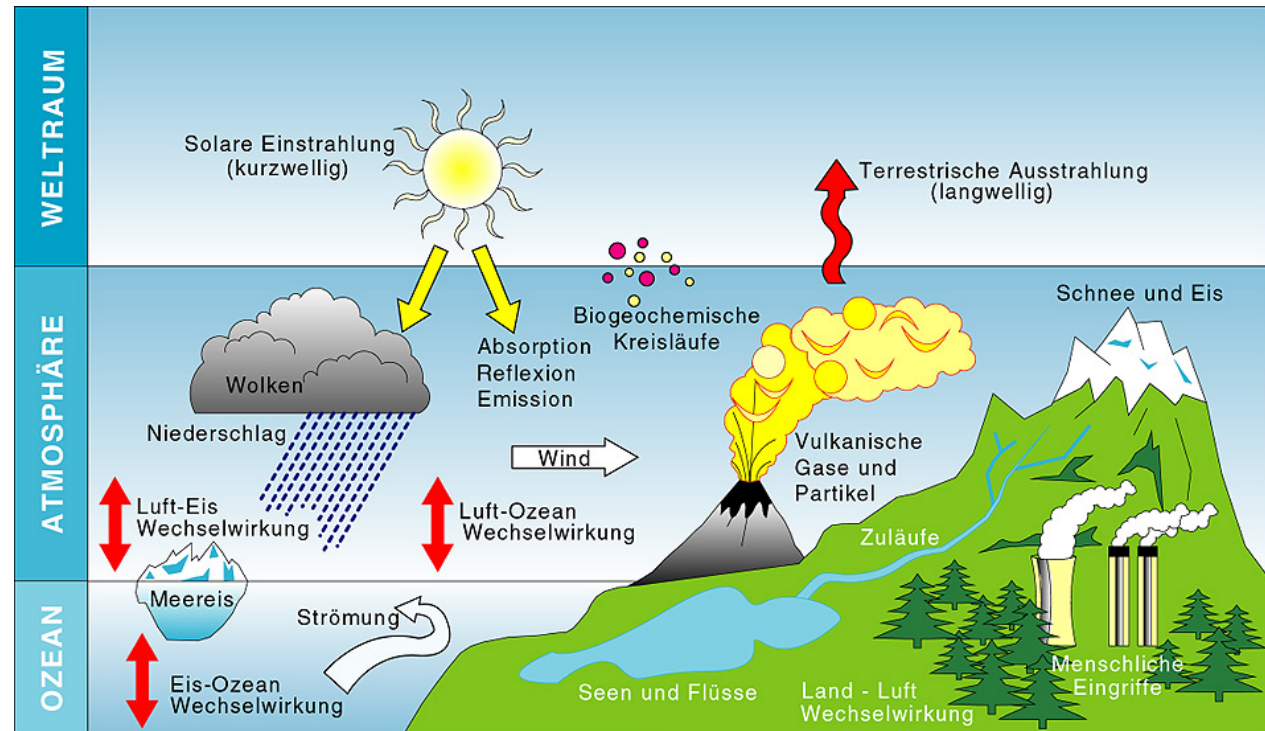
Messmethoden in der Mittleren Atmosphäre



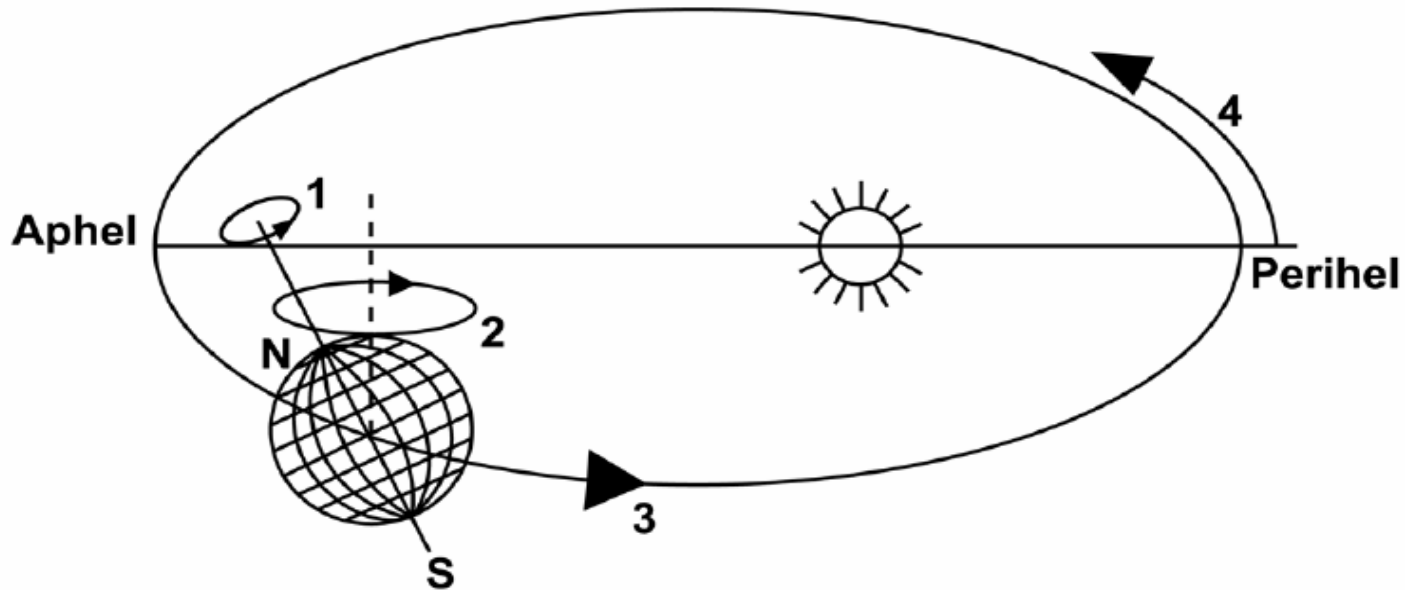
Was bestimmt unser Klima?

Wechselwirkungen im Klimasystem - Antriebe von "außen"

- Einstrahlung der Sonne
- Konzentration von Treibhausgasen (natürliche und anthropogene) und anderer strahlungsaktiver Substanzen
- Orographie, Land-See-Verteilung, Bodeneigenschaften
- Vulkanausbrüche
- ...



Zeitliche Variabilität der solaren Einstrahlung - Variation der Erdbahnparameter



- (1) Erdrotation (Tag und Nacht)
 - (2) Präzession der Erdachse; Achsneigung
 - (3) Bahn der Erde um die Sonne
 - (4) Drehung des großen Durchmessers der Bahnellipse
(Präzession des Perihels)
- + Exzentrizität der Bahnellipse



Zeitliche Variabilität der solaren Einstrahlung - Variation der Erdbahnparameter

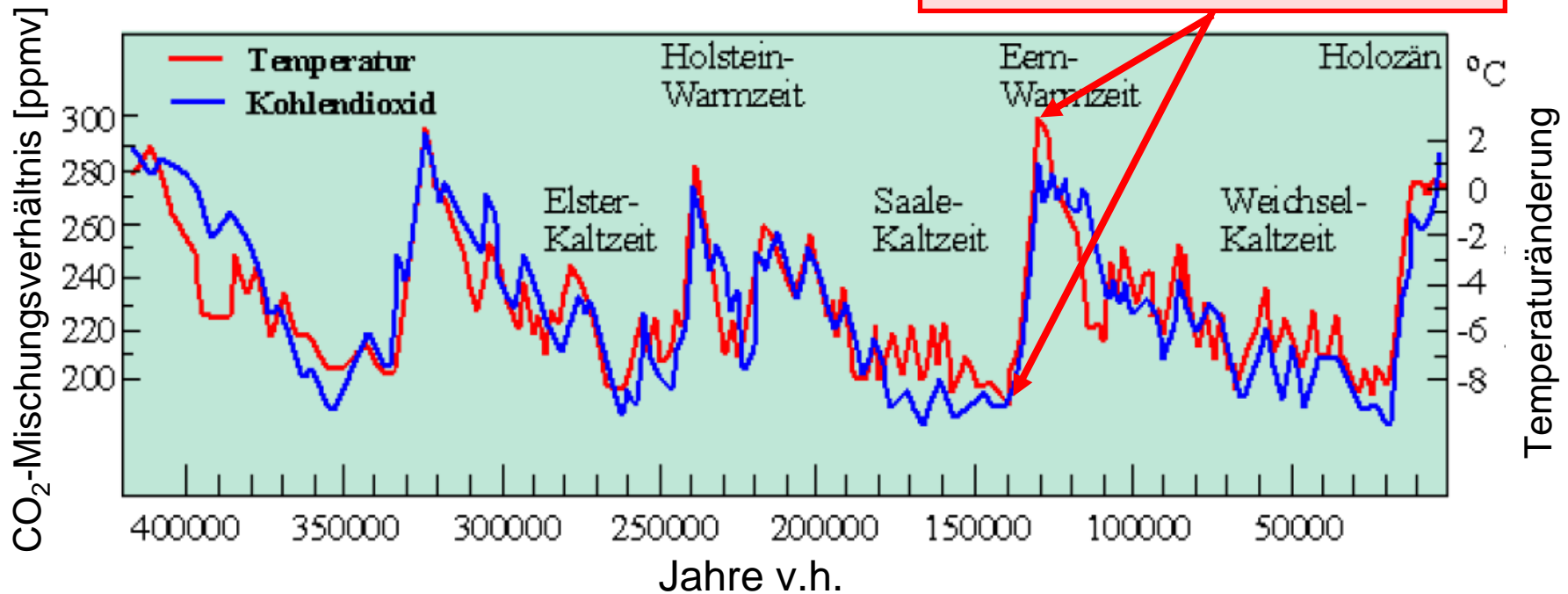
Parameter	Einfluss auf	mittl. Periode
Exzentrizität	Intensität der am Oberrand der Atmosphäre ankommenden Solarstrahlung (Saisonalität)	95.800 Jahre
Erdachsneigung	Meridionale Verteilung der Einstrahlung	41.000 Jahre
Lage des Perihels (Präzession d. Äquinoktien)	Saisonalität der Einstrahlung	21.700 Jahre (19.500 bzw. 24.000)



Zeitliche Variabilität der solaren Einstrahlung - Variation der Erdbahnparameter

Zeitskala: Jahrhunderte, Jahrtausende

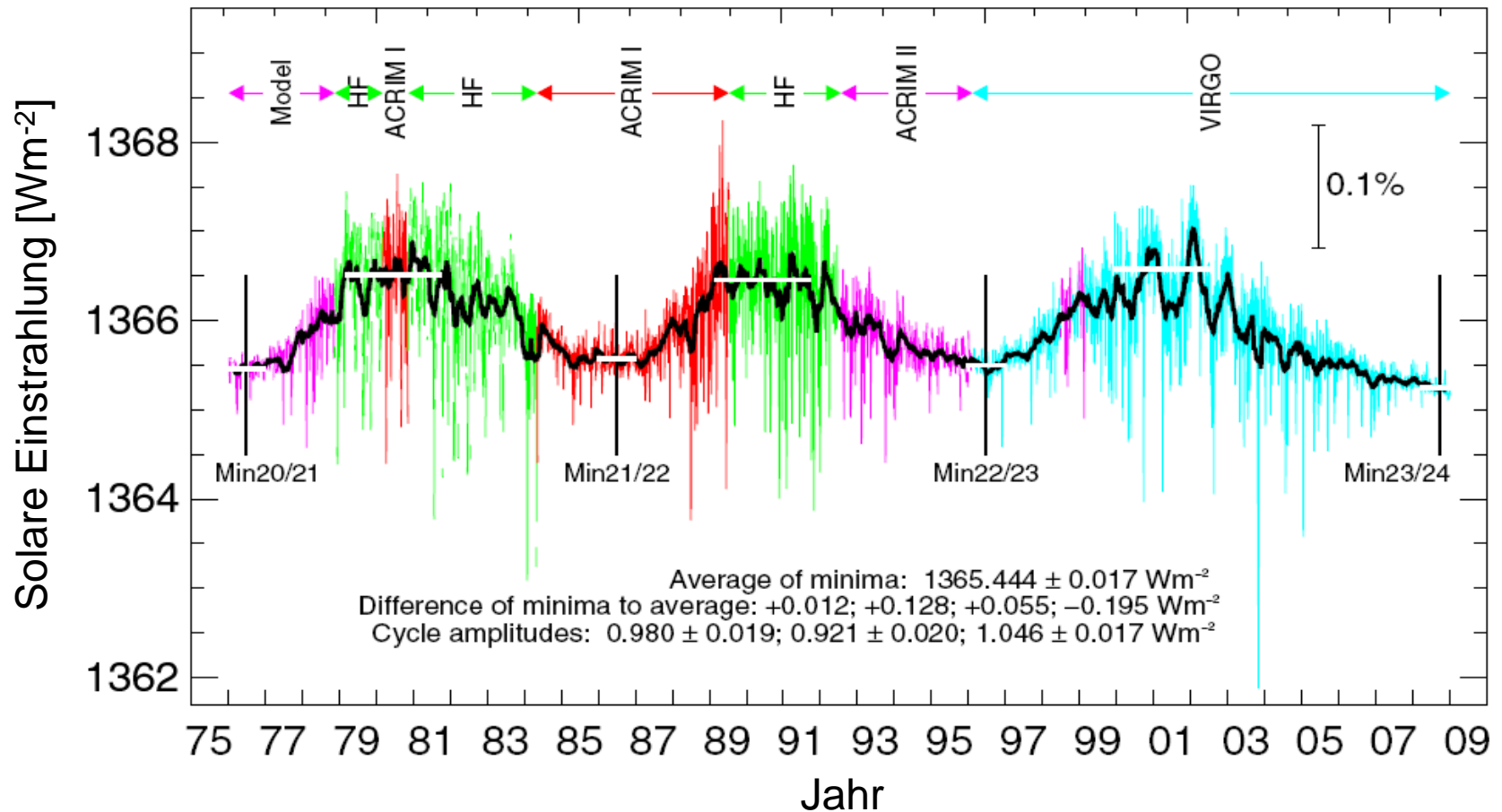
~ + 10°C in 10.000 Jahren
= + 0.1°C in 100 Jahren



Milankovitch (1938): Veränderungen der Erdbahn um die Sonne führen zu veränderten Einstrahlungsverhältnissen auf der Erdoberfläche.
Zusammenhang zwischen Strahlungskurven und Warm-/Eiszeiten

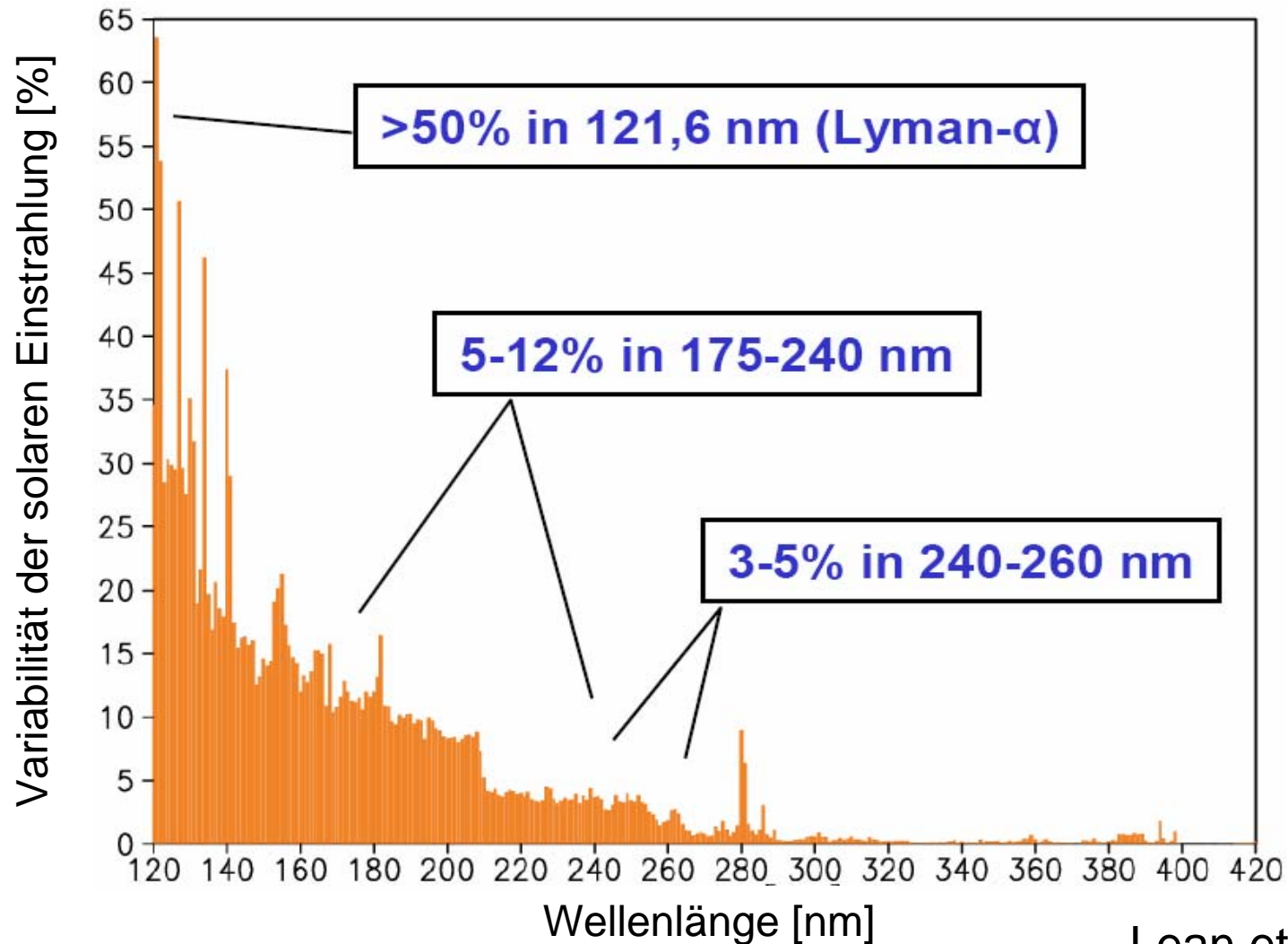


Zeitliche Variabilität der solaren Einstrahlung - Der 11-jährige Sonnenaktivitätszyklus



<http://www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant>

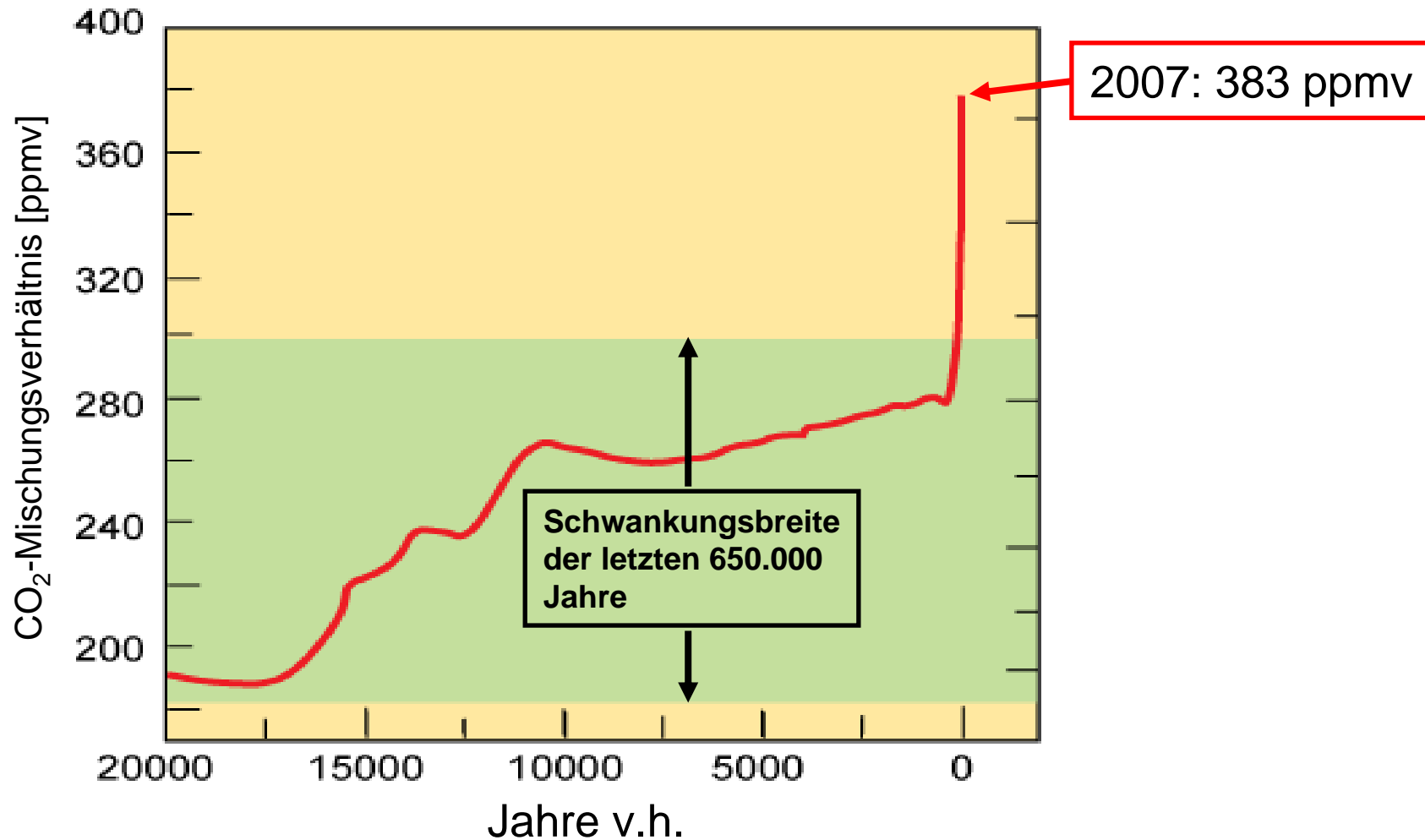
Spektrale Verteilung und Variabilität der Sonnenstrahlung



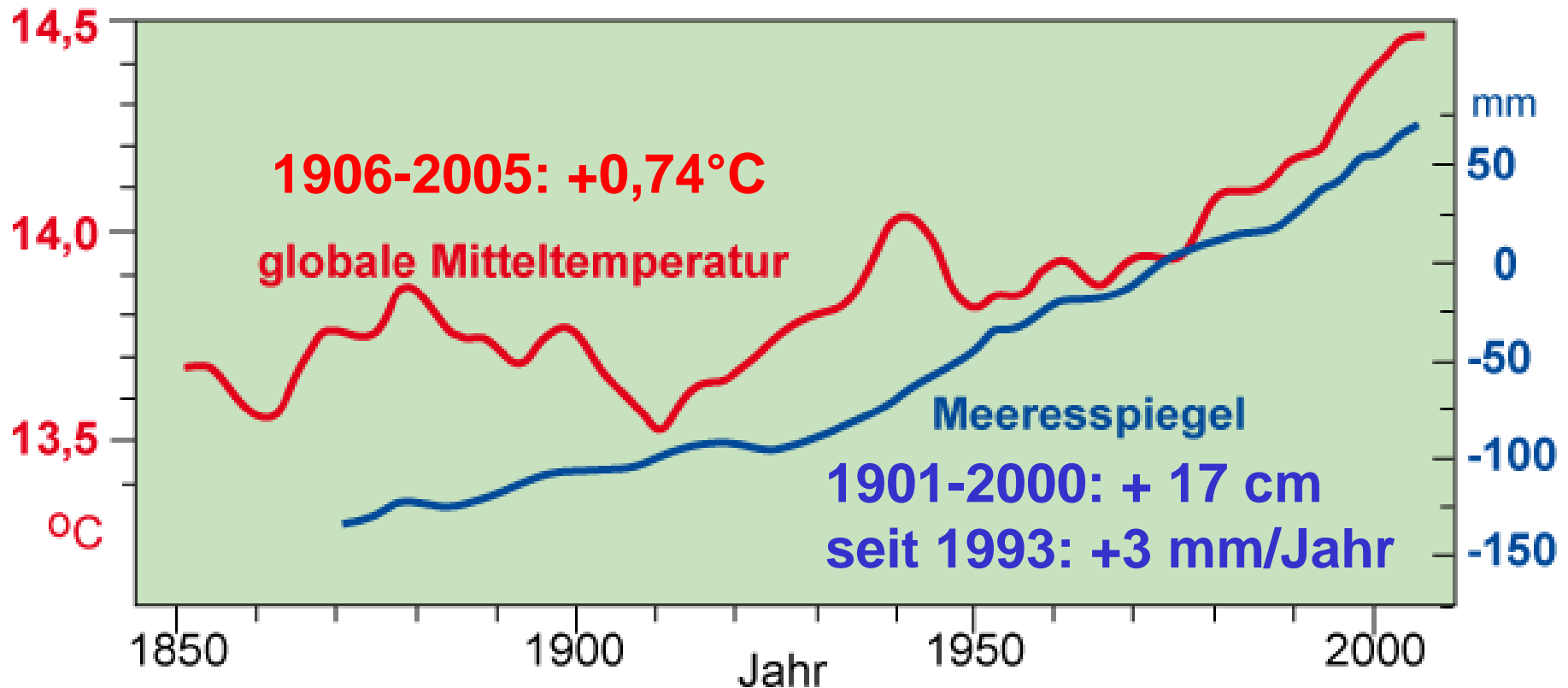
Lean et al., 1997



Entwicklung des Kohlendioxidgehalts in der Atmosphäre



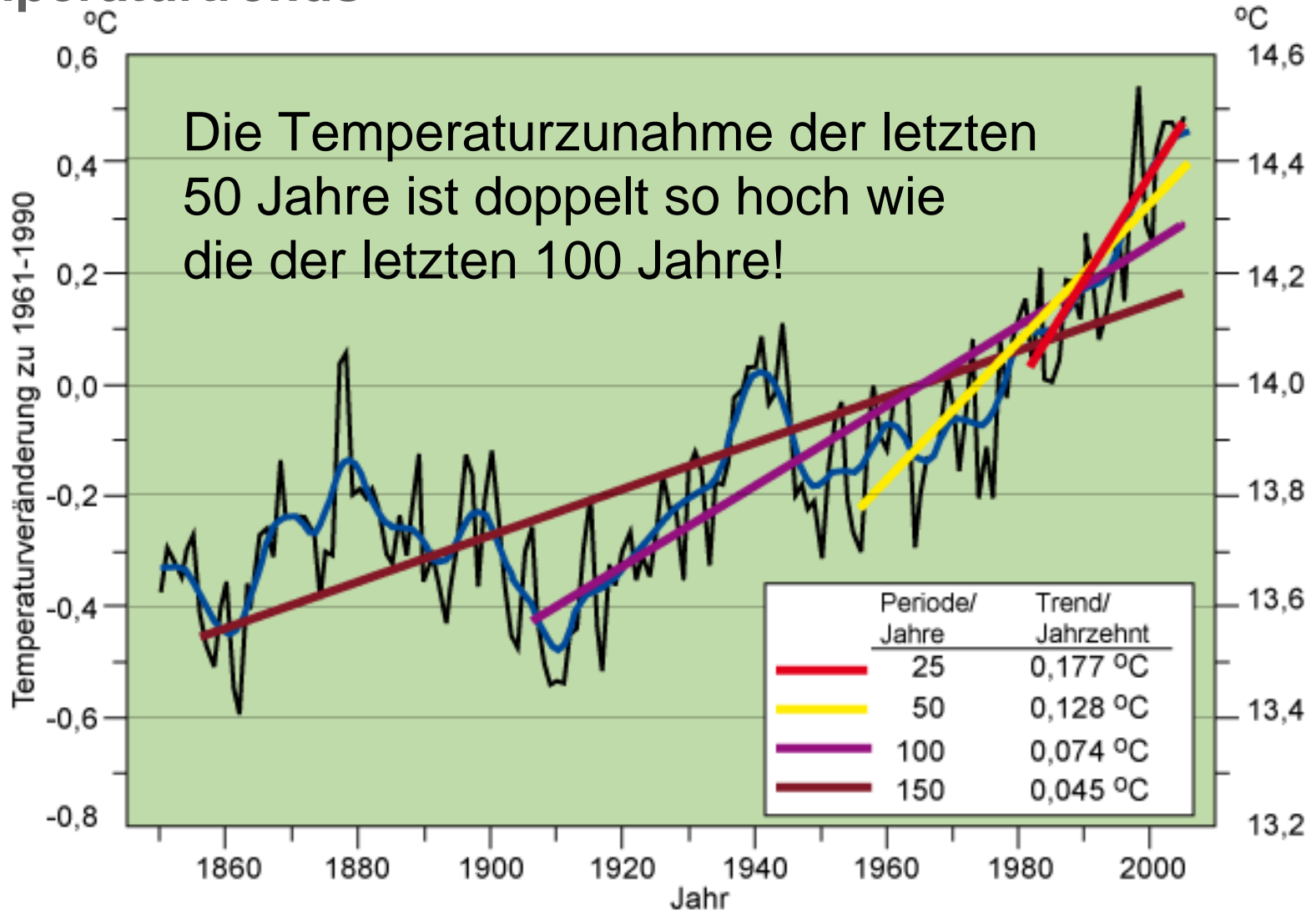
Globale Jahresmittelwerte der bodennahen Lufttemperatur und des Meeresspiegels



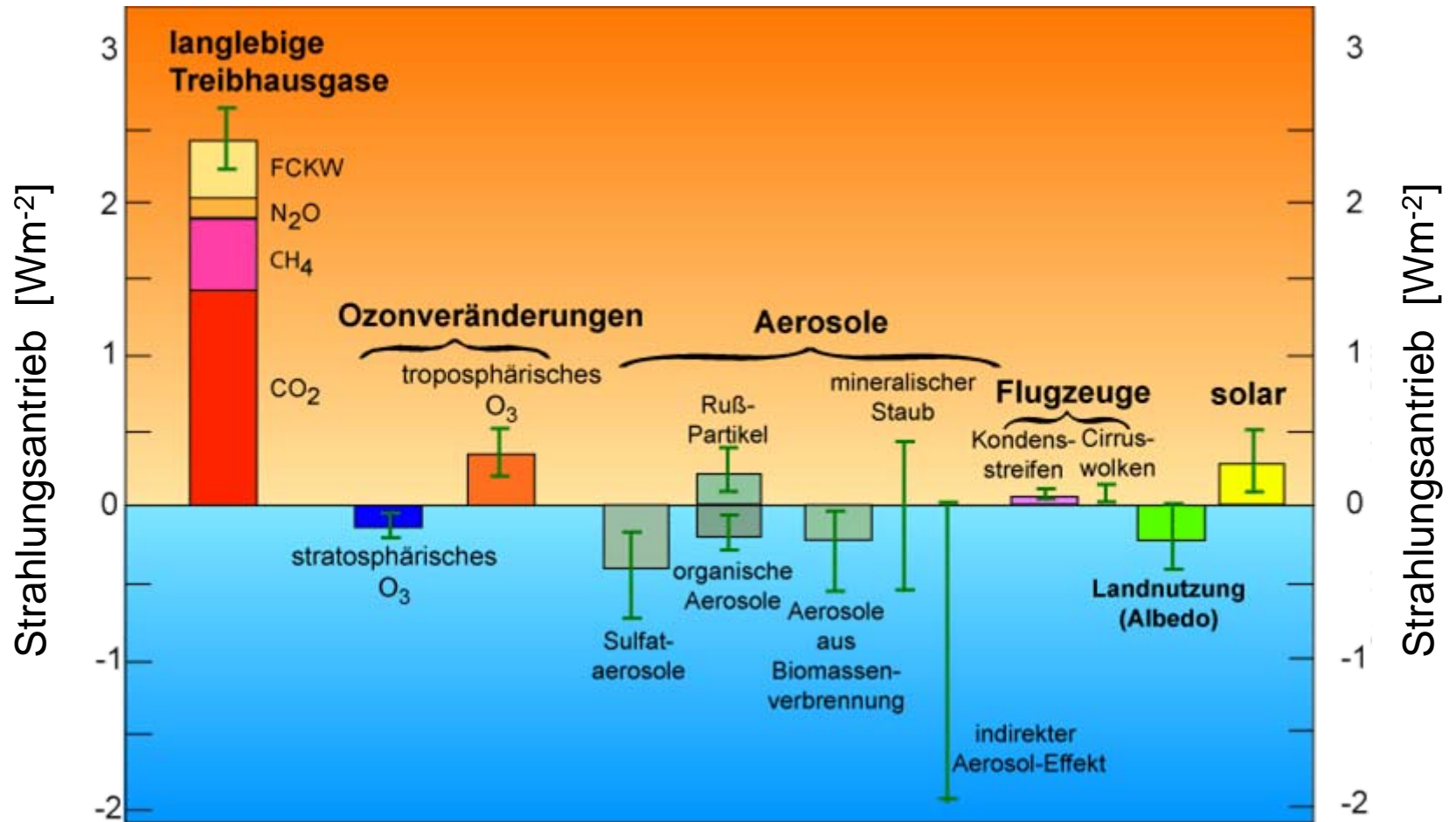
IPCC, 2007



Temperaturtrends

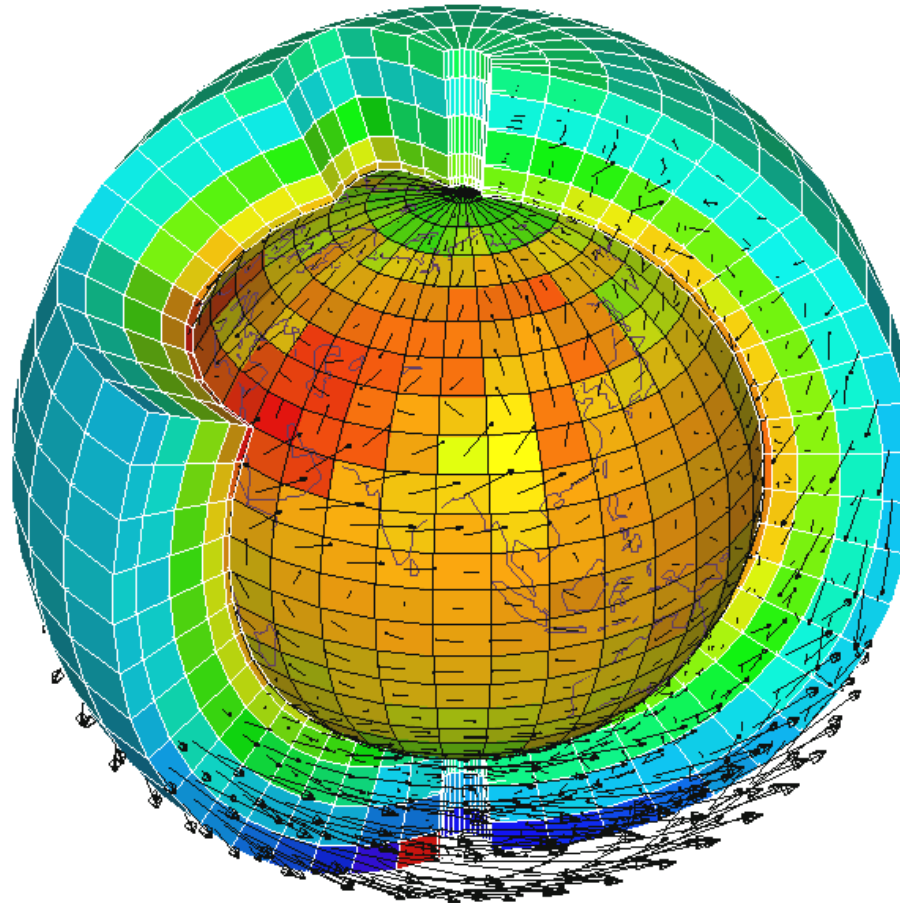


Strahlungsantrieb: Maßstab für den Einfluss, den ein einzelner Faktor auf die Veränderung des Strahlungshaushalts der Atmosphäre hat

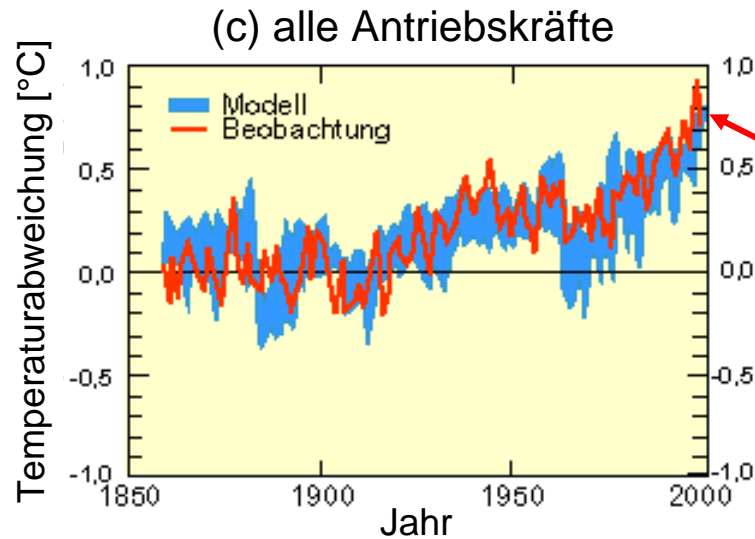
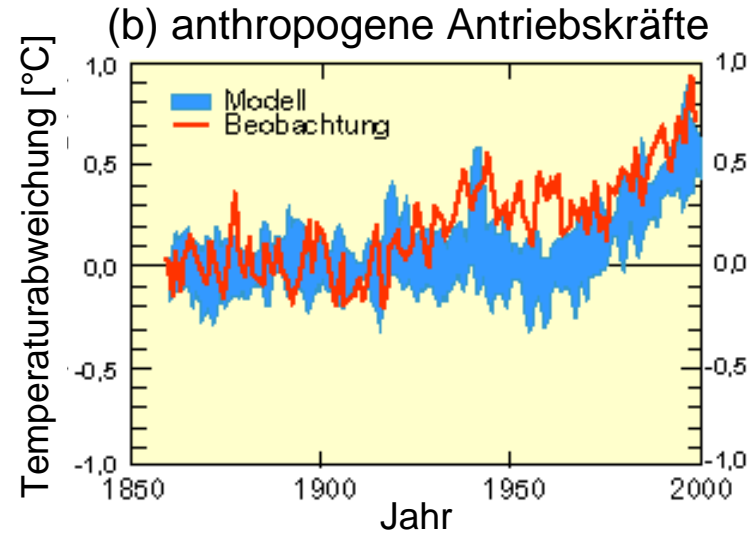
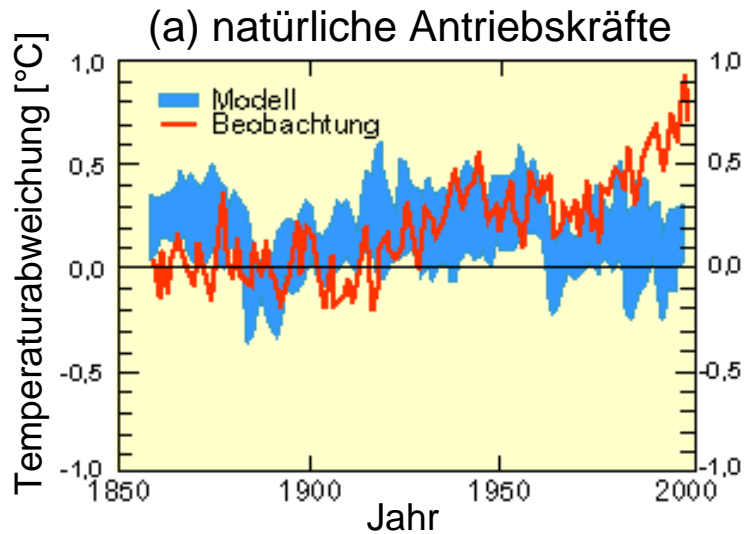


Wie funktioniert ein Klimamodell?

Diskretes Gitter über den Globus



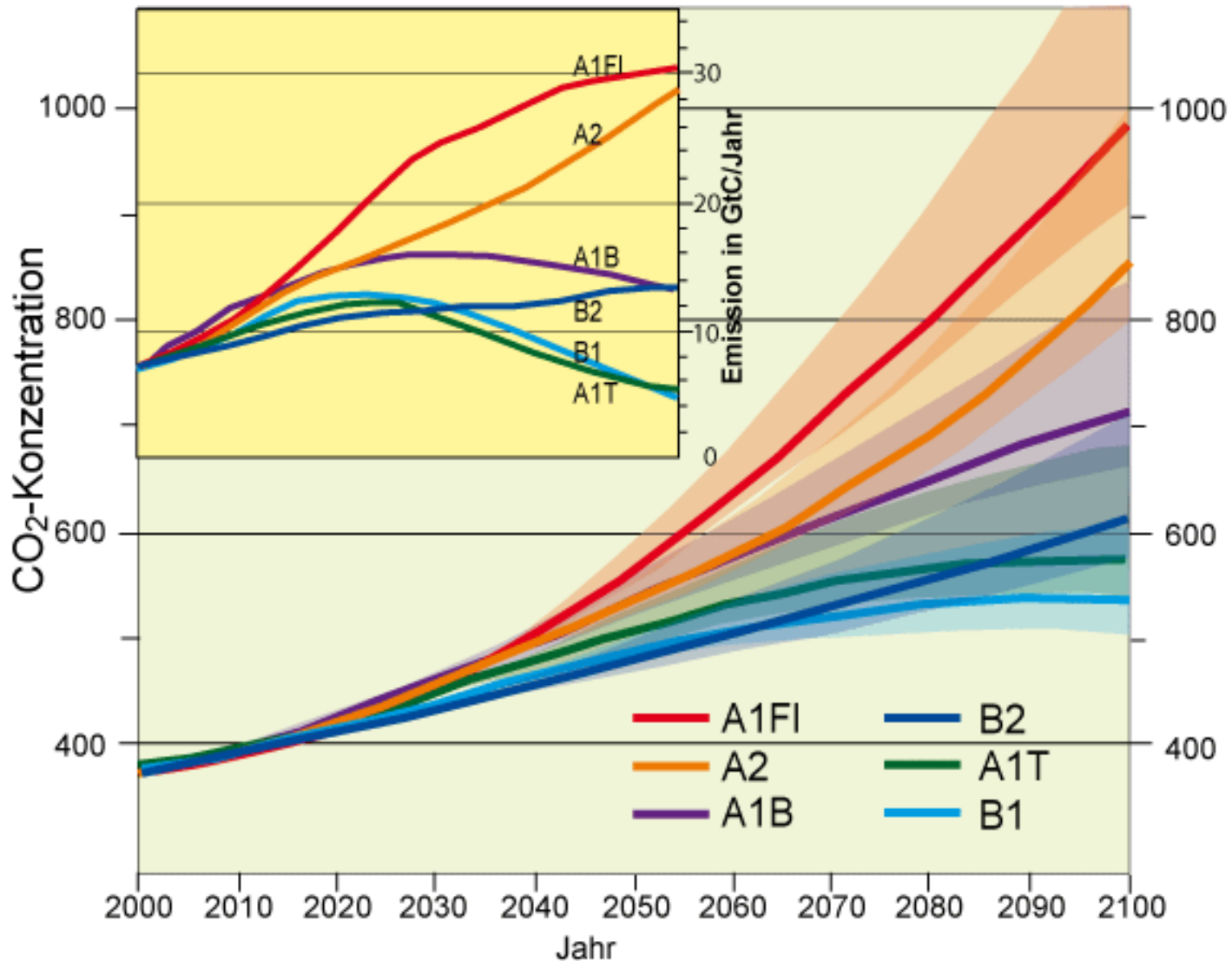
Simulationen mit Klimamodellen für IPCC



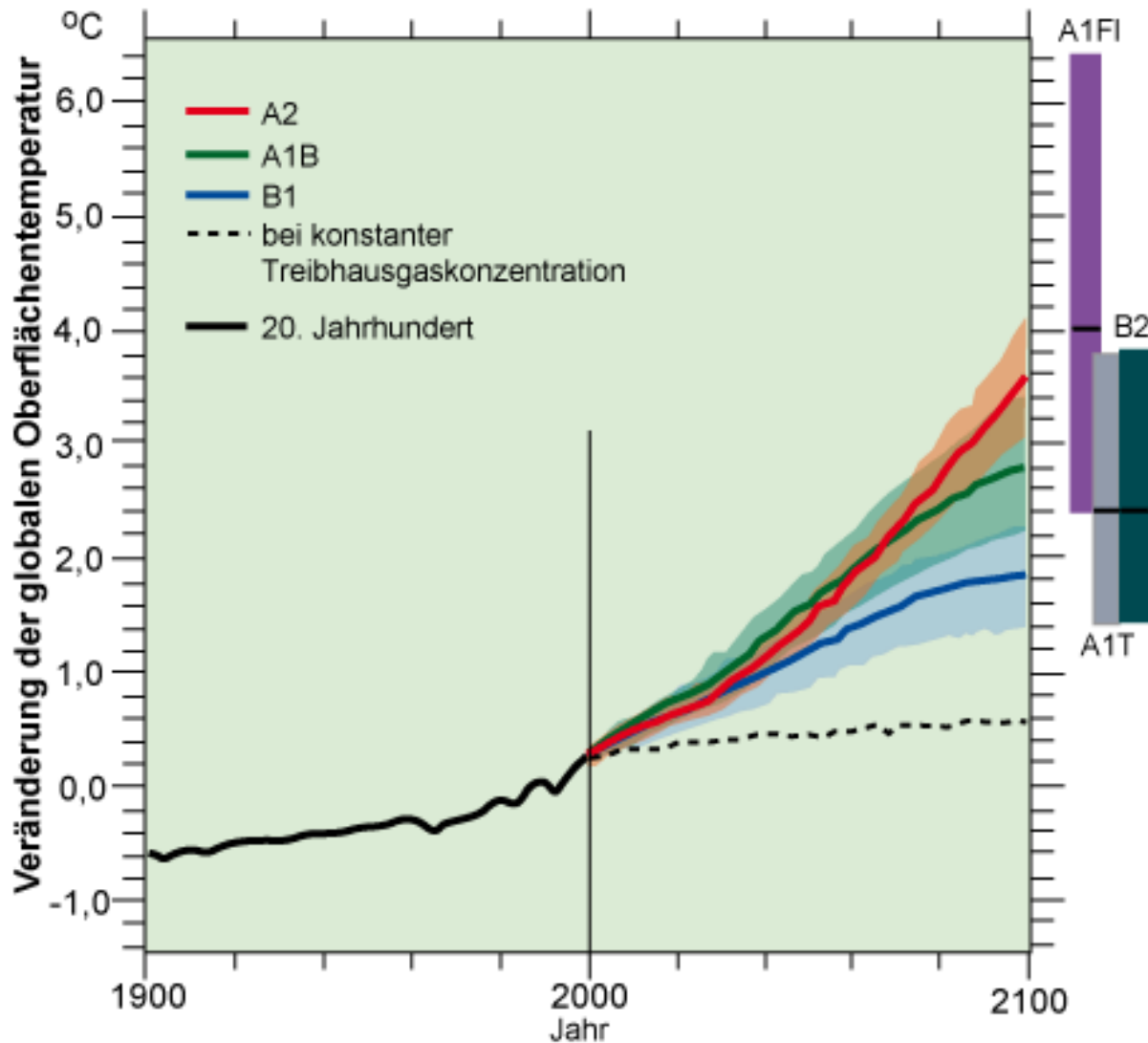
+ 0.74°C in den letzten 100 Jahren



Szenarien der Zukunft (Konzentrationen und Emissionen)



Zukünftige Entwicklung der globalen Oberflächentemperatur



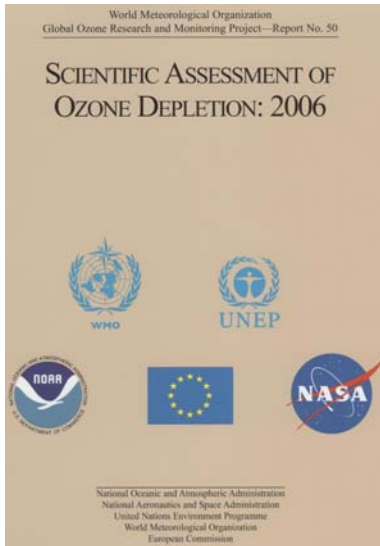
+4,0°C (2,4°-6,0°)

+1,8°C (1,1°-2,9°)

+0,6°C

+2°C (bis 2050) ⇒
-50% CO₂ bzgl. 1990
-60% CO₂ bzgl. heute





Assessment Cochairs

Ayité-Lô Nohende Ajavon
Daniel L. Albritton
Robert T. Watson

Assessment Scientific Steering Committee

Marie-Lise Chanin
Susana B. Diaz
John A. Pyle
A.R. Ravishankara
Theodore G. Shepherd

Chapters and Lead Authors

I. Source Gases

Chapter 1. Long-Lived Compounds (*Cathy Clerbaux and Derek Cunnold*)
Chapter 2. Halogenated Very Short-Lived Substances (*Katherine S. Law and William T. Sturges*)

II. Ozone Changes

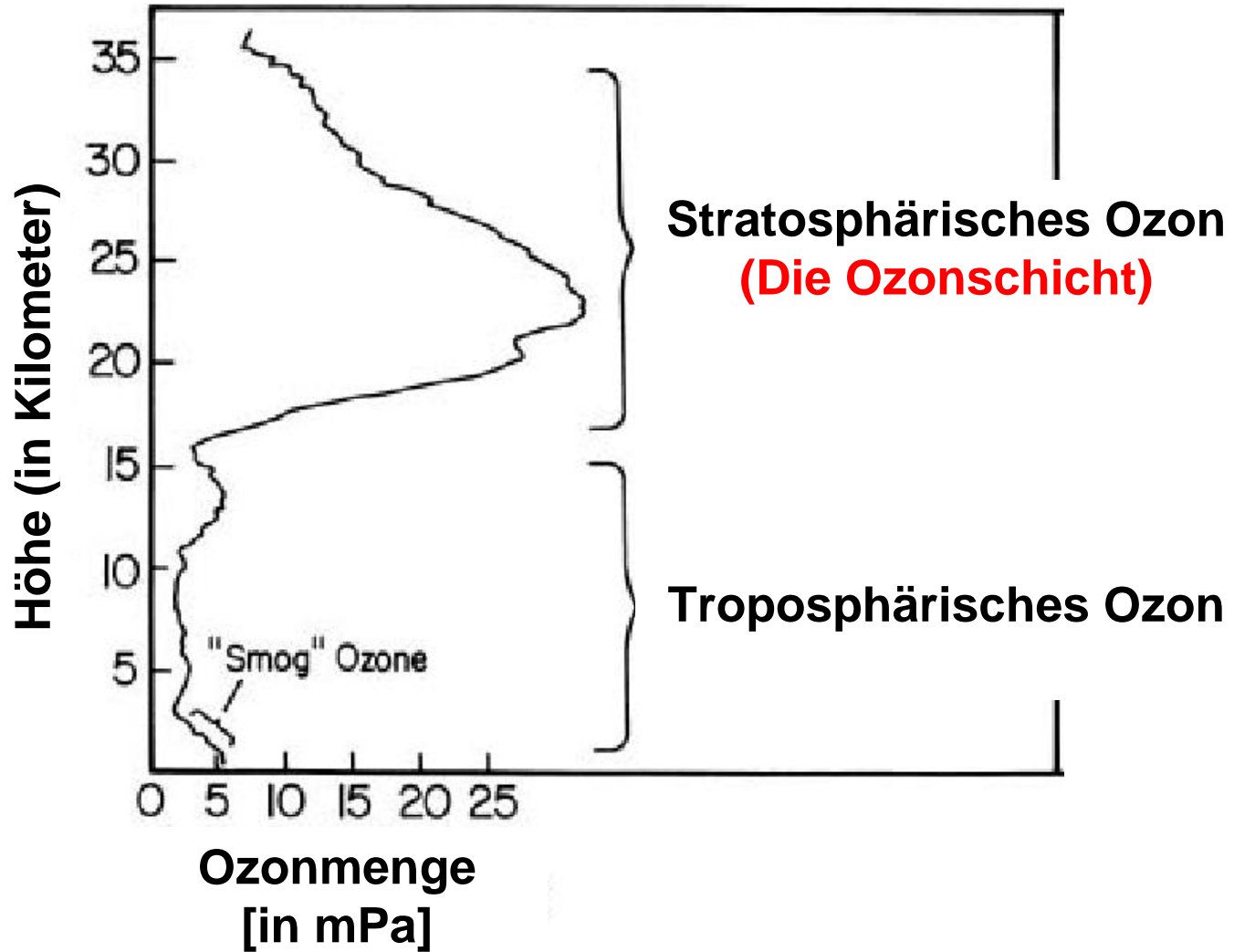
Chapter 3. Global Ozone: Past and Present (*Martyn P. Chipperfield and Vitali E. Fioletov*)
Chapter 4. Polar Ozone: Past and Present (*Paul A. Newman and Markus Rex*)

III. Future Expectations for Ozone, Ozone-Depleting Substances, and UV

Chapter 5. Climate-Ozone Connections (*Mark P. Baldwin and Martin Dameris*)
Chapter 6. The Ozone Layer in the 21st Century (*Greg Bodeker and Darryn W. Waugh*)
Chapter 7. Surface Ultraviolet Radiation: Past, Present, and Future (*Alkiviadis F. Bais and Dan Lubin*)
Chapter 8. Halocarbon Scenarios, Ozone Depletion Potentials, and Global Warming Potentials
(*John S. Daniel and Guus J.M. Velders*)

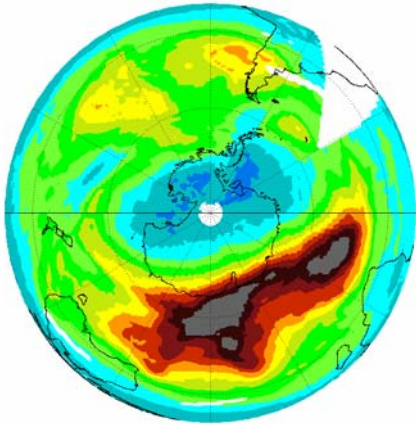


Ozon in der Atmosphäre

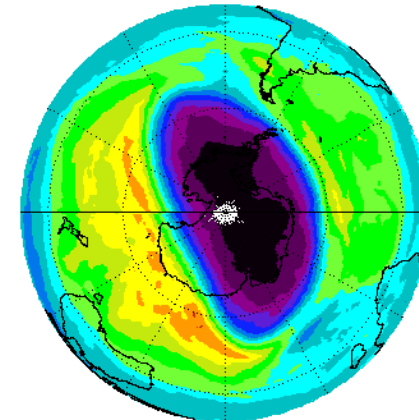


Entwicklung des Ozonlochs über der Antarktis

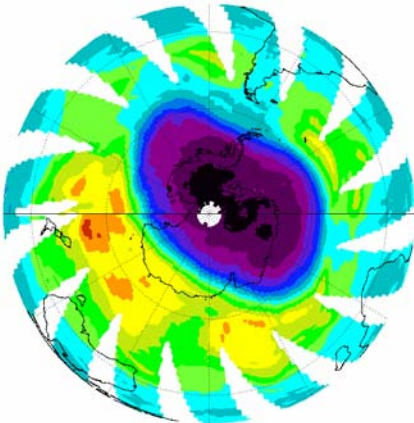
Nimbus-7/TOMS Version 8 Total Ozone for Oct 1, 1979



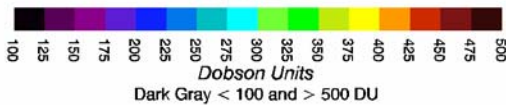
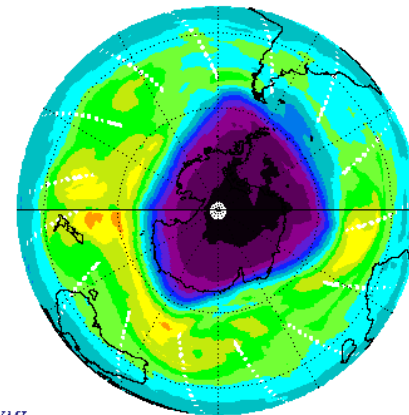
OMI Total Ozone for Oct 1, 2006



EP/TOMS Version 8 Total Ozone for Oct 1, 1997

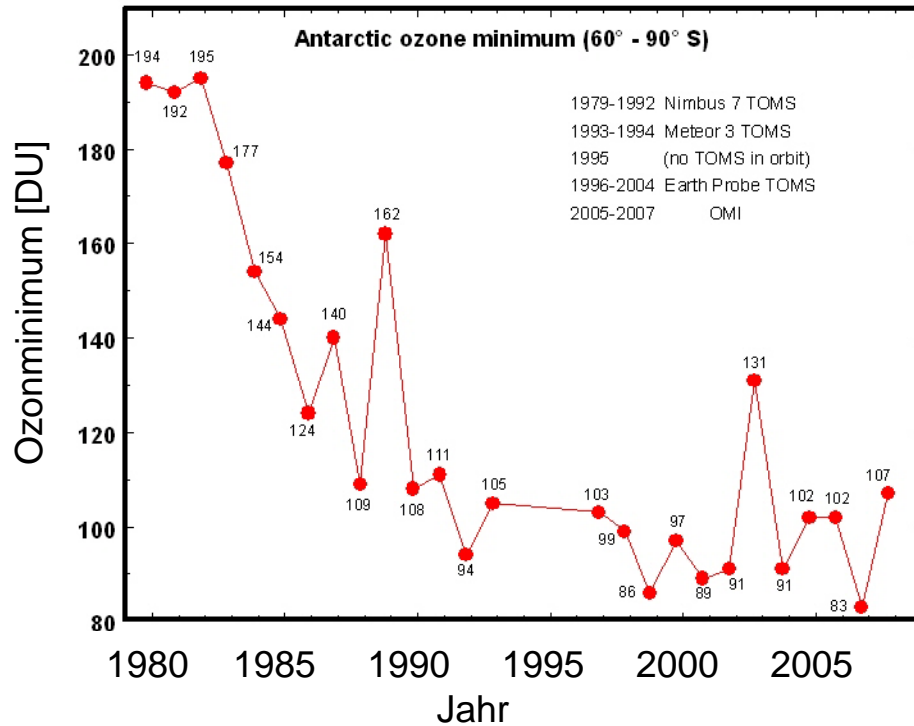


OMI Total Ozone for Oct 1, 2008

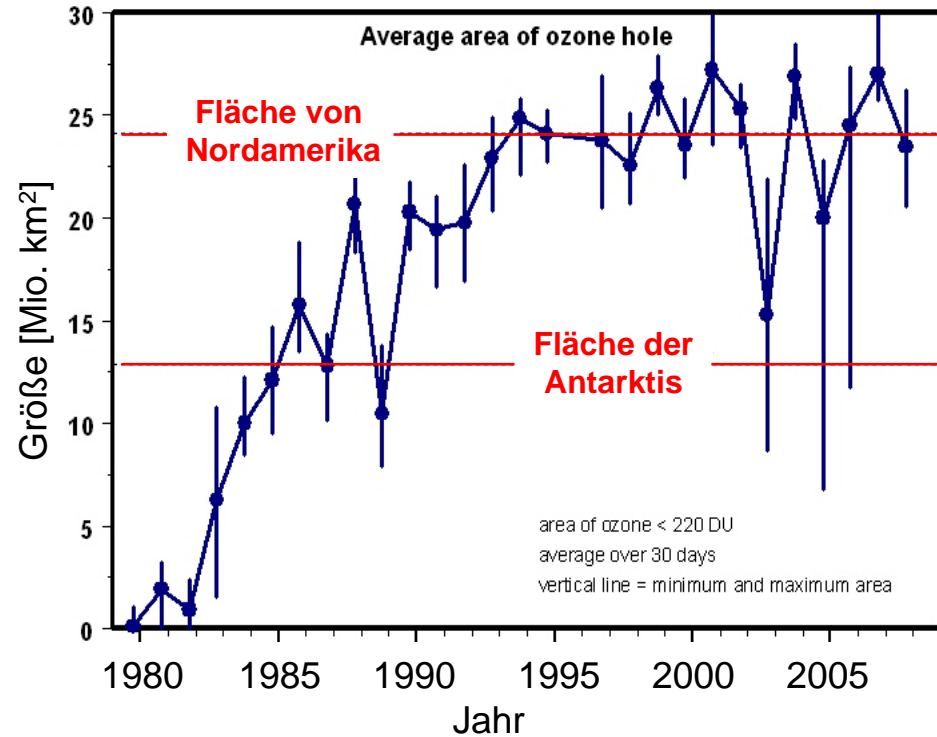


Entwicklung des Ozonlochs über der Antarktis

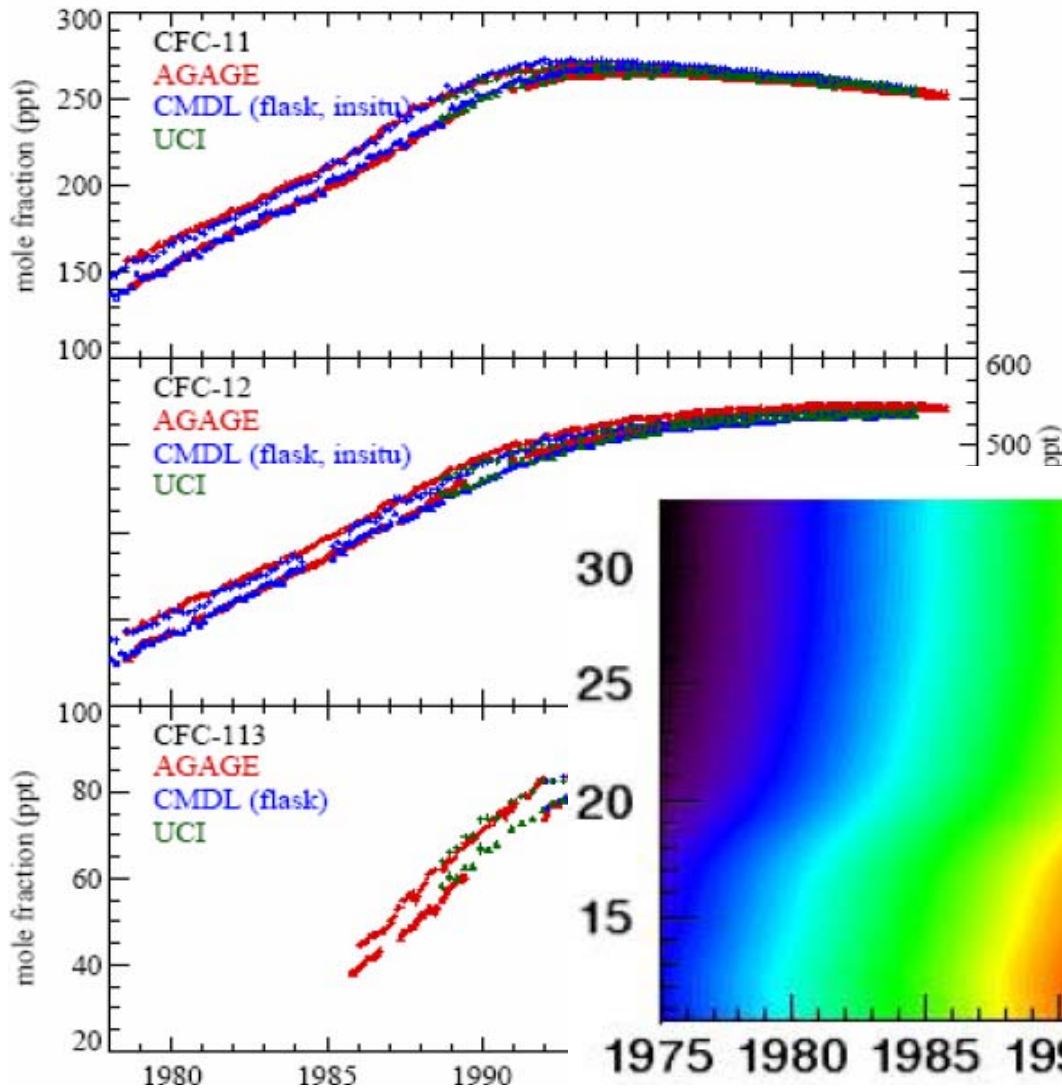
Ozonminimum über der Antarktis



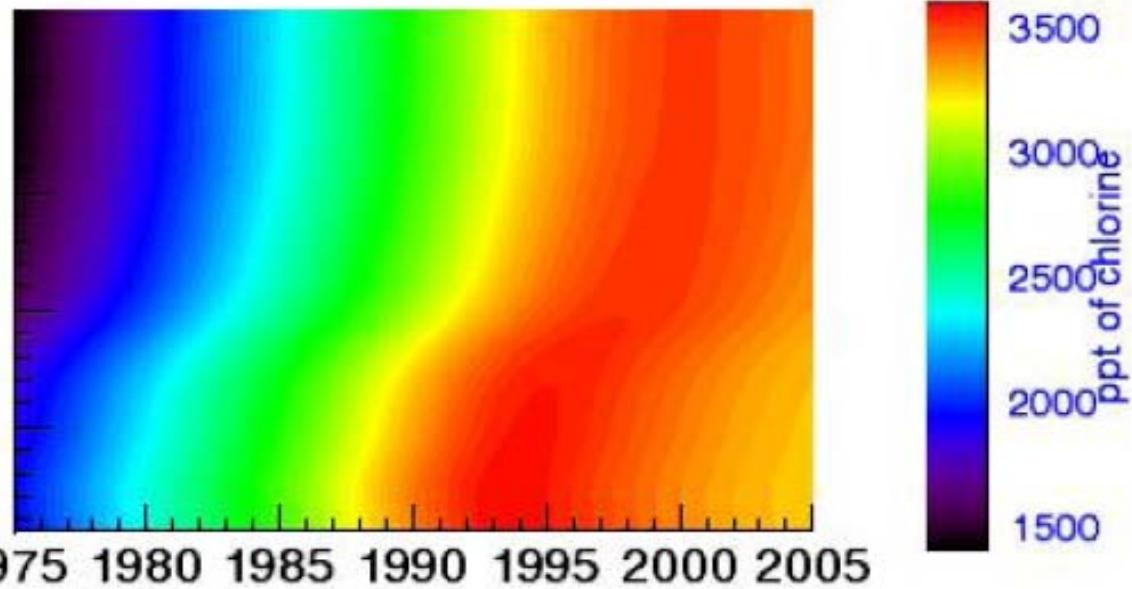
Größe des Ozonlochs



FCKW-Gehalt in der Troposphäre

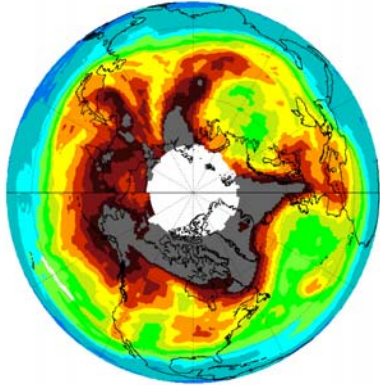


Chlorgehalt in der Stratosphäre

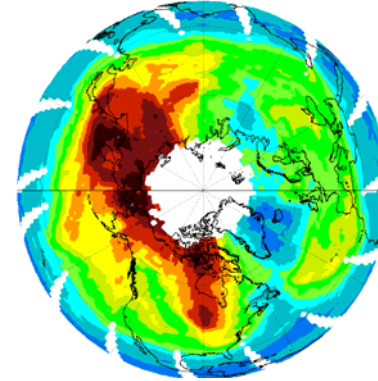


Entwicklung der Ozonschicht über der Arktis

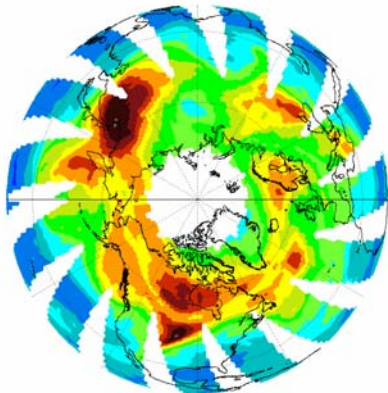
Nimbus-7/TOMS Version 8 Total Ozone for Mar 1, 1979



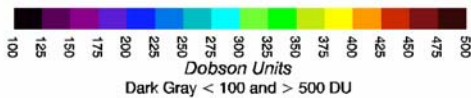
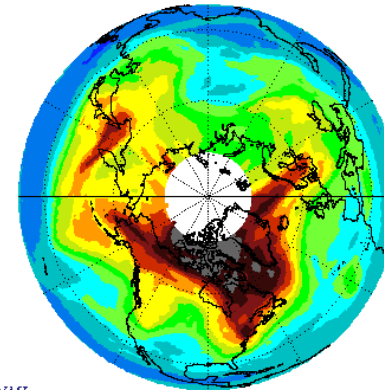
EP/TOMS Version 8 Total Ozone for Mar 1, 2005



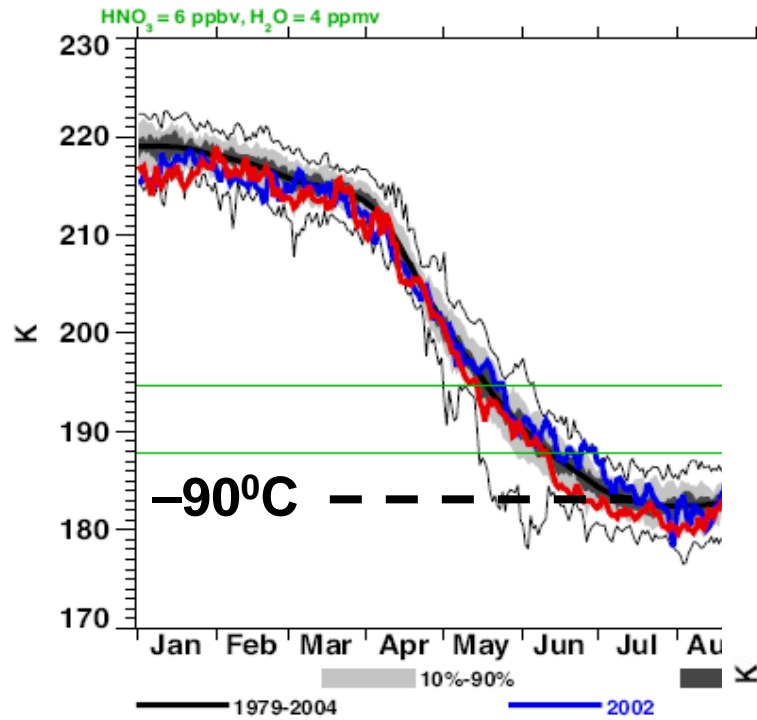
EP/TOMS Version 8 Total Ozone for Mar 1, 1997



OMI Total Ozone for Mar 1, 2008

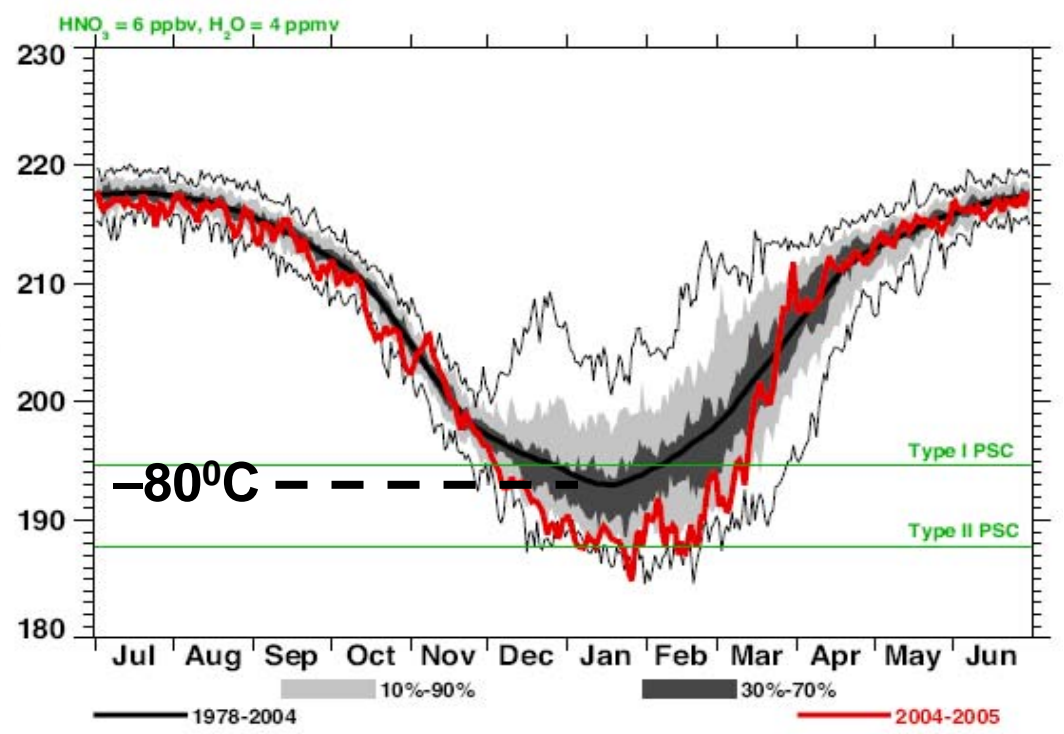


Jahresgang der stratosphärischen Temperatur

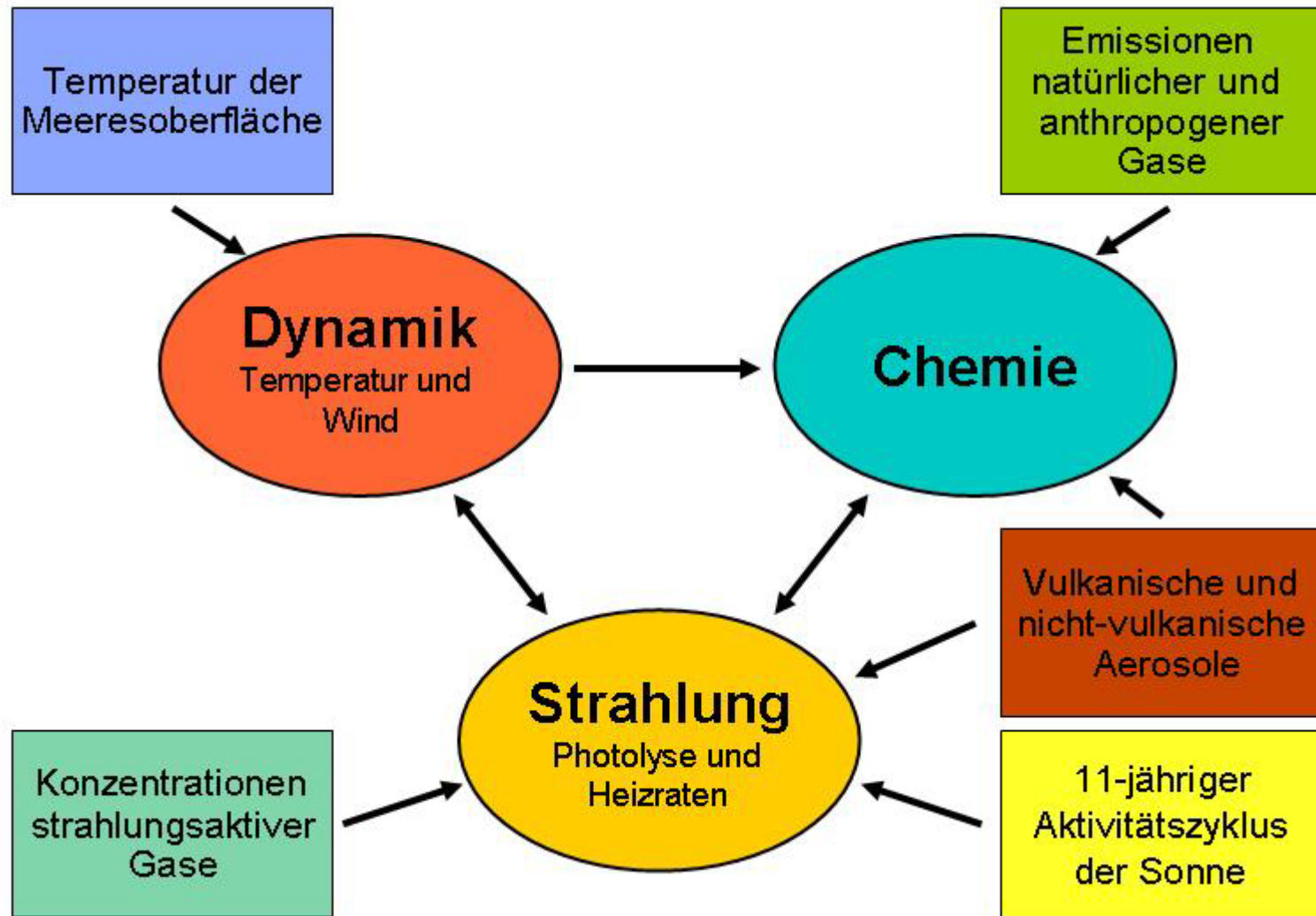


polare Nordhemisphäre

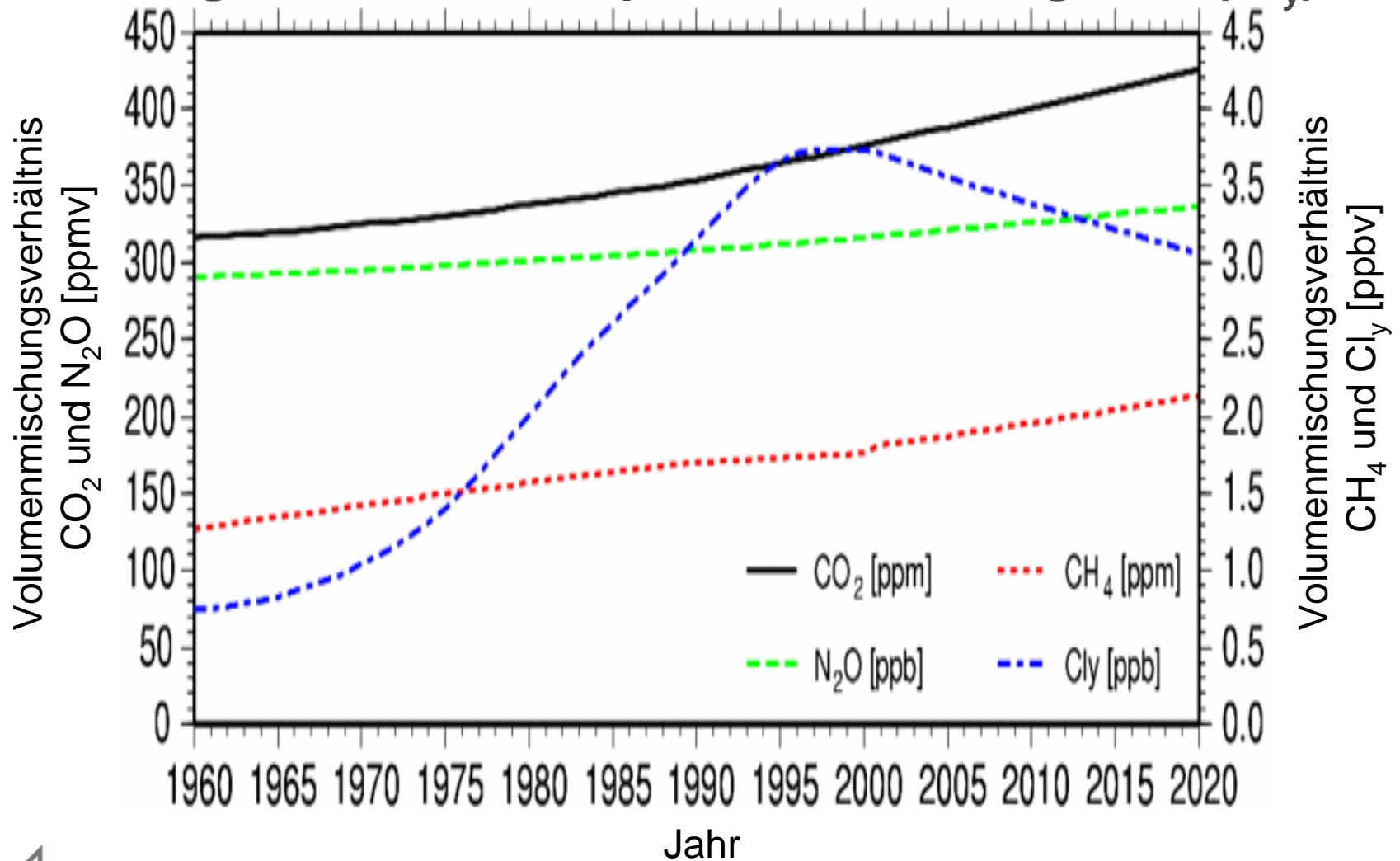
polare Südhemisphäre



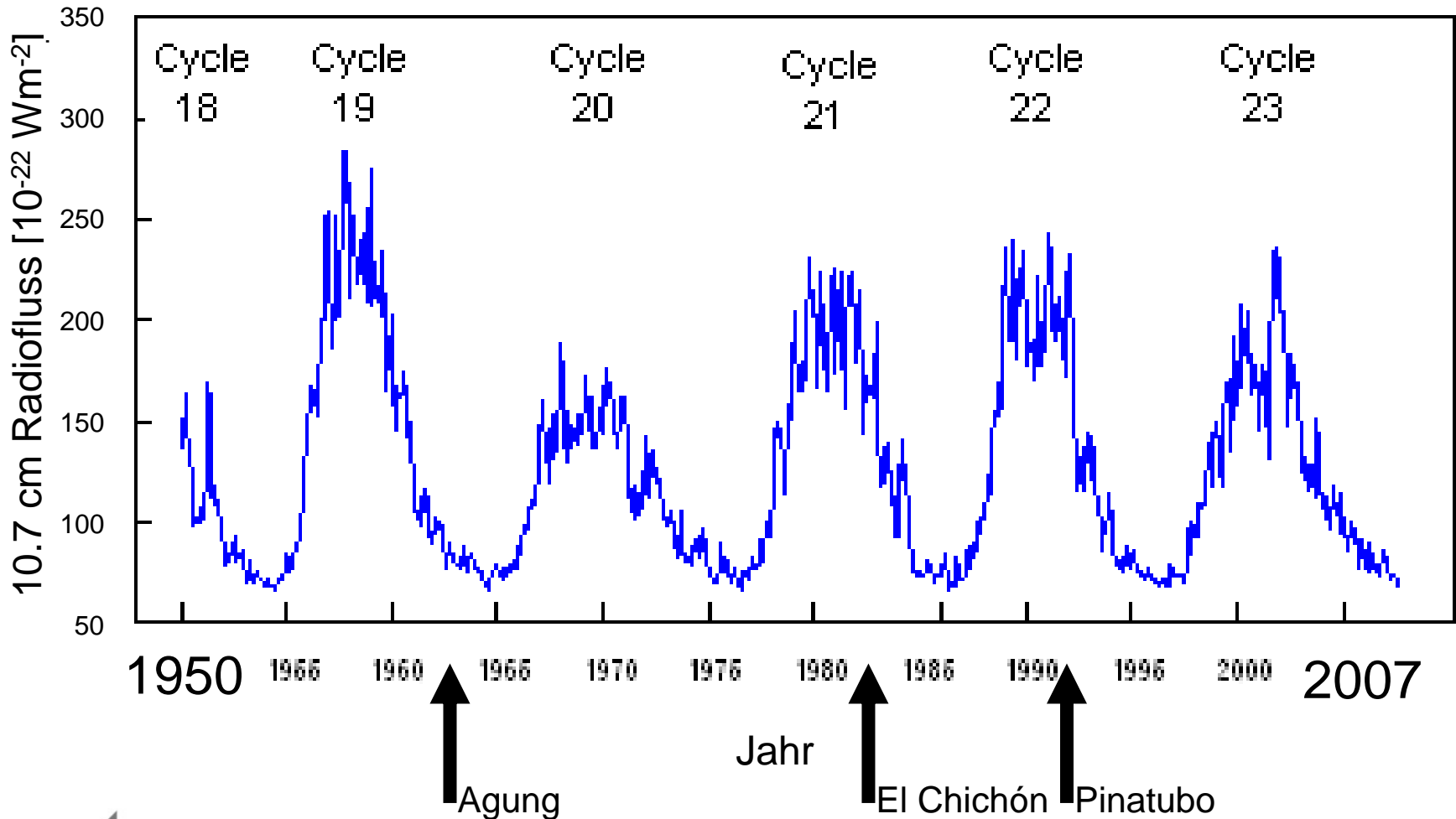
Schema eines gekoppelten Klima-Chemie-Modells



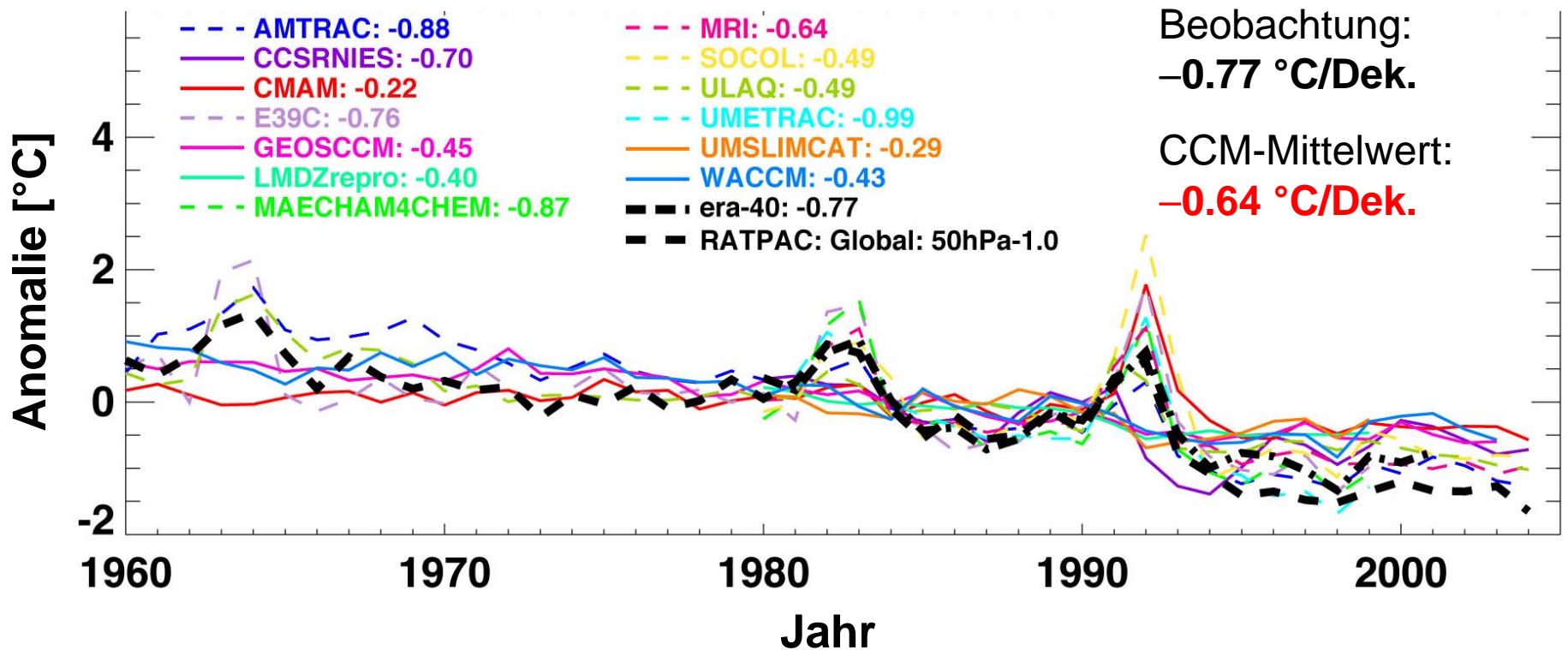
Randbedingungen für das Klima-Chemie-Modell: Treibhausgase und stratosphärischer Chlorgehalt (Cl_y)



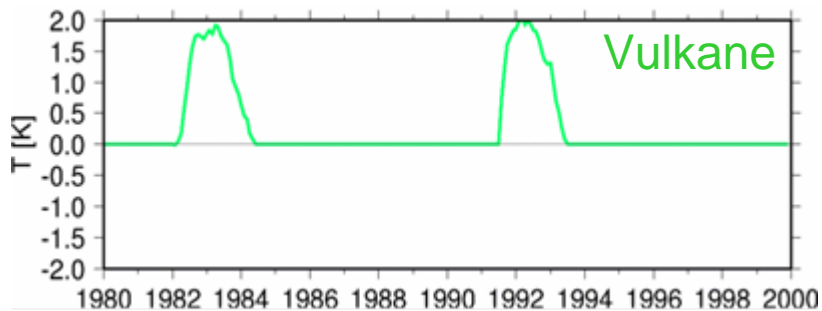
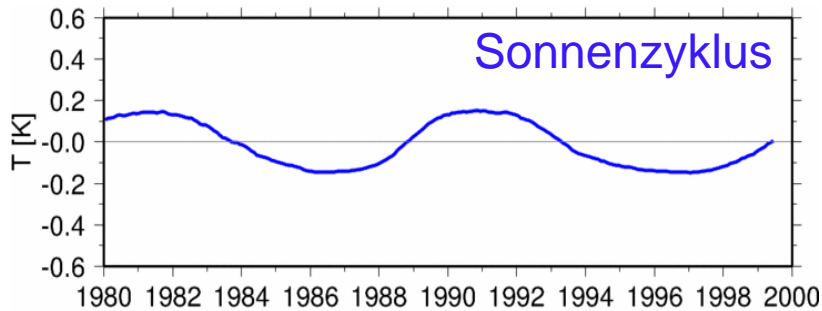
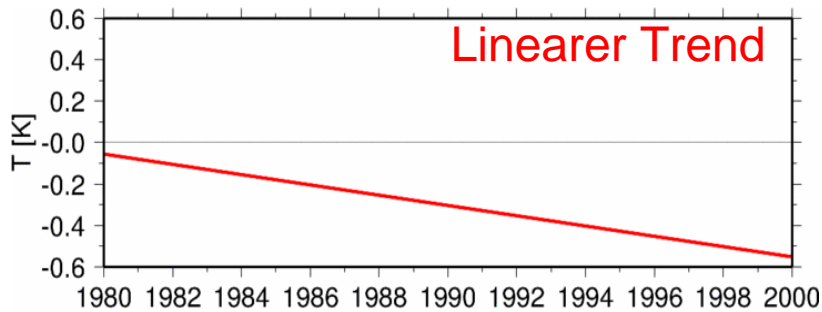
Randbedingungen für das Klima-Chemie-Modell: Der 11-jährige Sonnenaktivitätszyklus



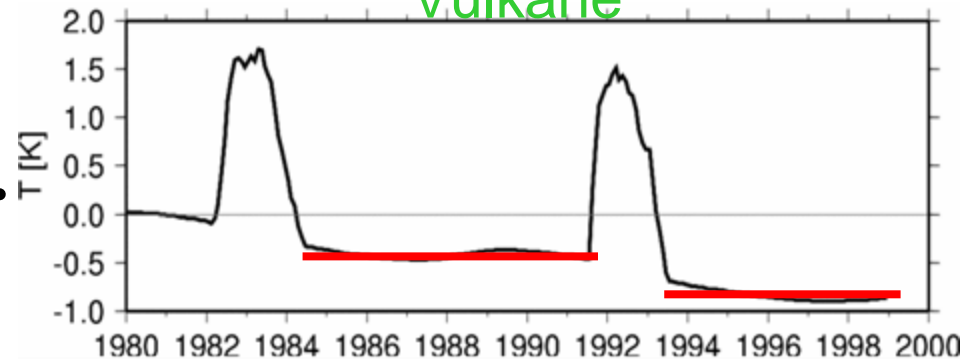
Entwicklung der globalen mittleren Jahrestemperatur in der unteren Stratosphäre (20 km)



Variabilität und Trend der Temperatur in der Stratosphäre



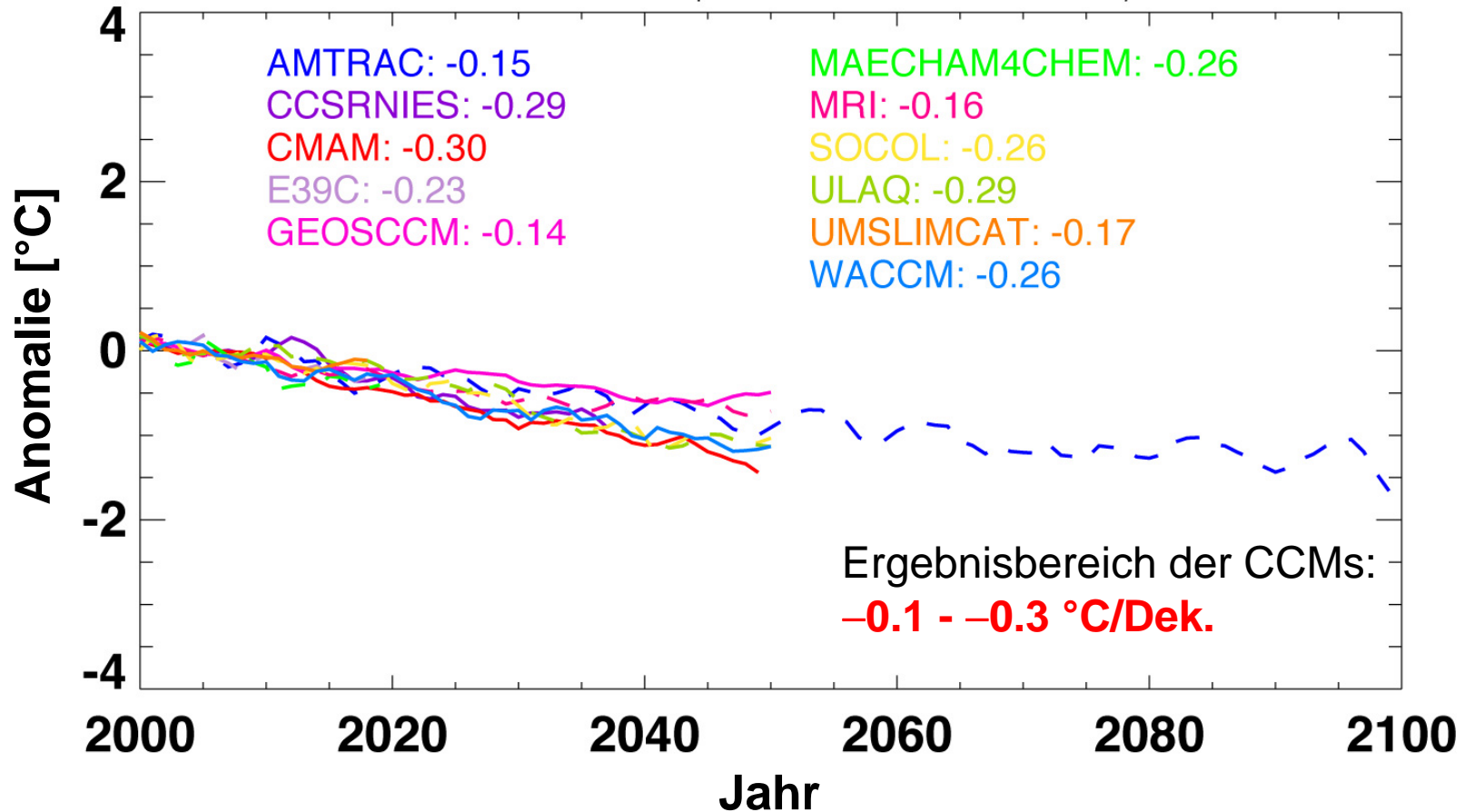
Trend + Sonnenzyklus +
Vulkane



⇒ "stufenweise"
Abkühlung der
unteren Stratosphäre

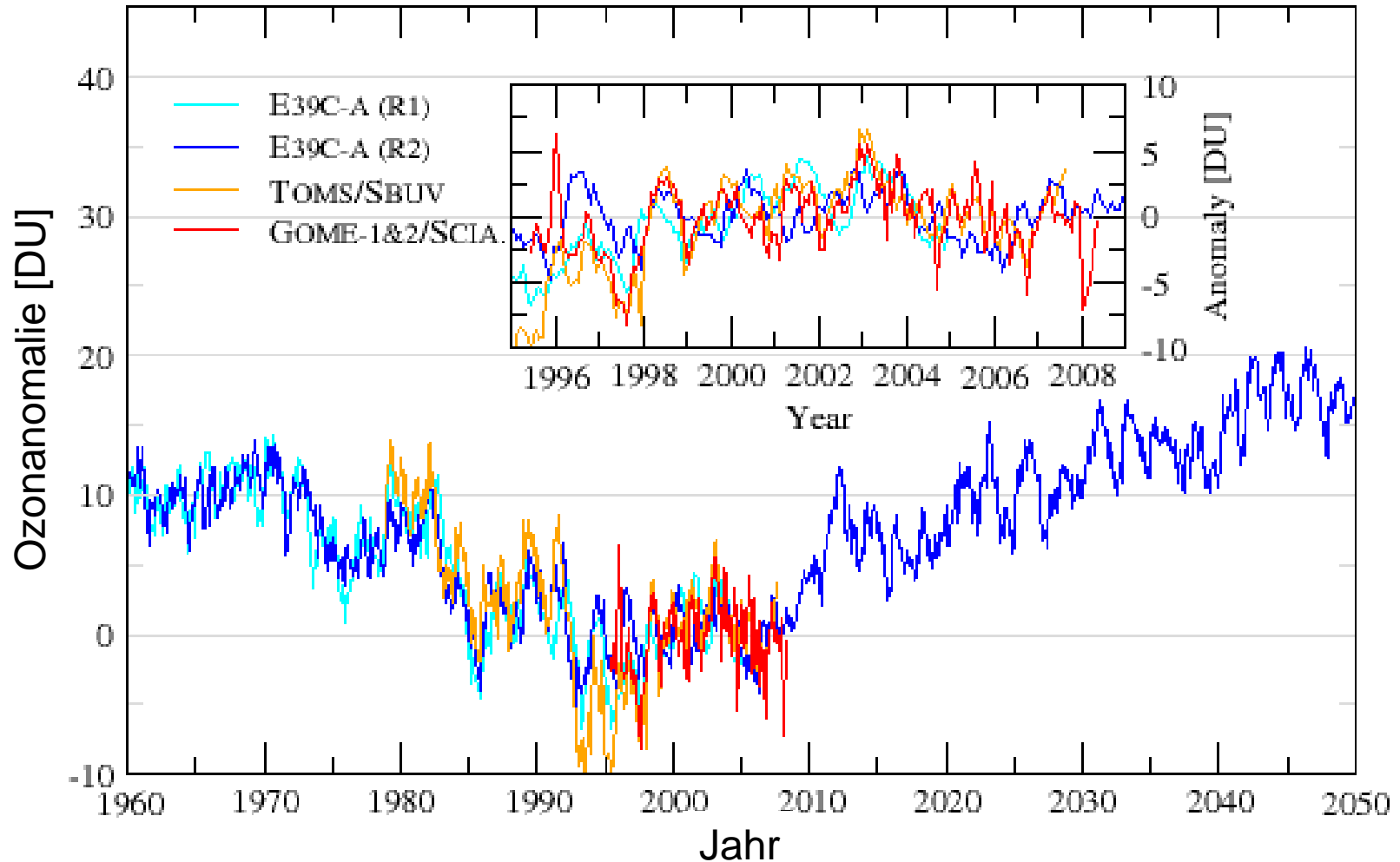
Entwicklung der globalen mittleren Jahrestemperatur in der unteren Stratosphäre (20 km)

From Chapter 5 of *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006* (WMO, 2007).



Entwicklung der Ozonschicht (1960 - 2050)

60°N - 60°S



Was wissen wir bisher?

- ✓ Die Veränderungen des Klimas und der Ozonschicht können mittels von Klima-Chemie-Modellen nachvollzogen werden, wenn sowohl natürliche als auch anthropogene Antriebe berücksichtigt werden.
- ✓ Klima-Chemie-Modelle zeigen in konsistenter Weise, dass die Erholung der Ozonschicht in einigen Regionen schneller von statten geht, wenn die Stratosphärentemperatur aufgrund des Klimawandels weiter sinkt; dies gilt nicht für die Polregionen.
- ✓ Dort führen niedrigere Temperaturen zu einer stärkeren Bildung von polaren Stratosphärenwolken (PSCs).
- ⇒ Die Erholung der Ozonschicht verläuft möglicherweise regional unterschiedlich. Sie ist keine simple Umkehrung des Abbaus.
- ✓ Eine vollständige Erholung der Ozonschicht einschließlich der Polarregionen wird etwa zur Mitte des Jahrhunderts erwartet.
- ? Ein "super-recovery" der Ozonschicht scheint möglich.

