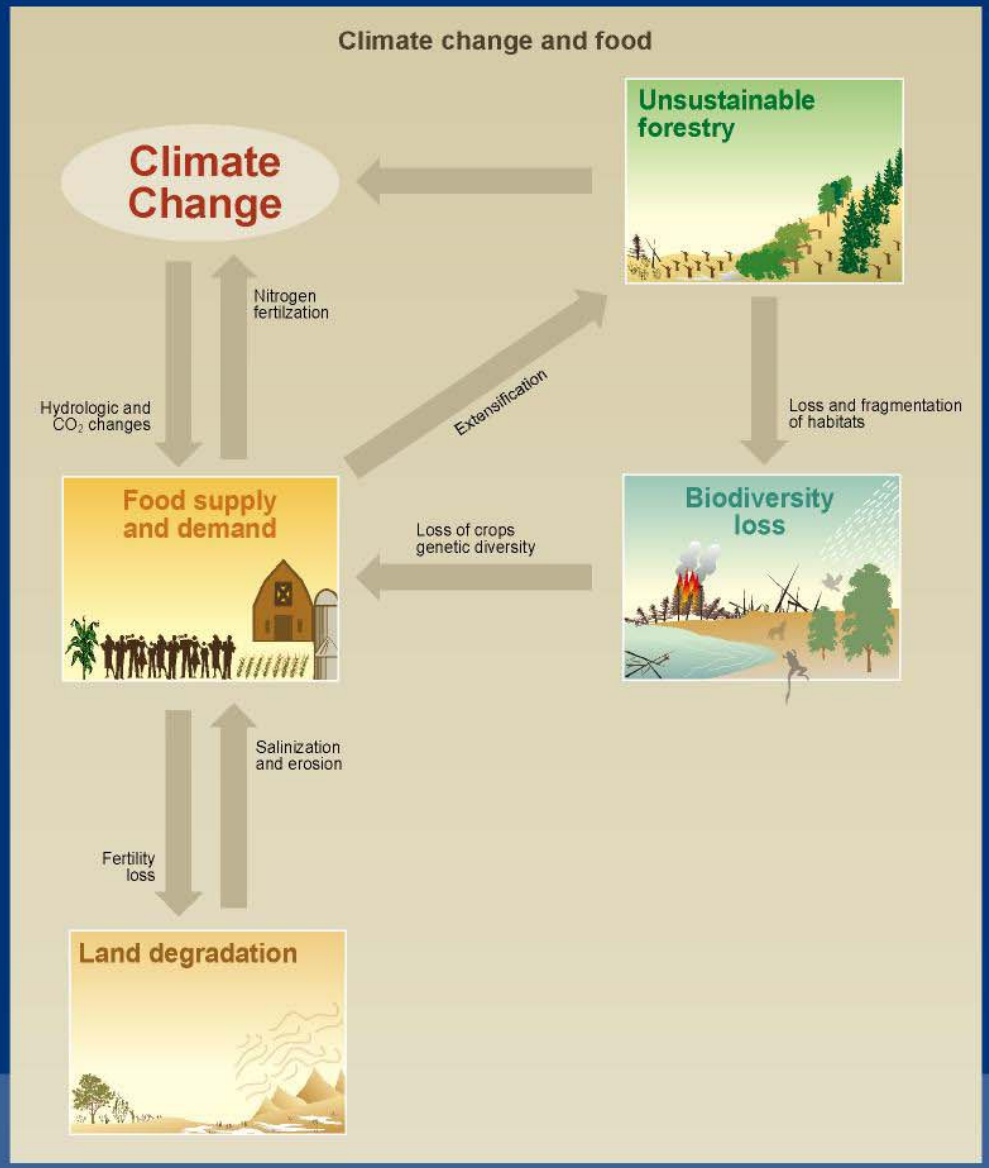
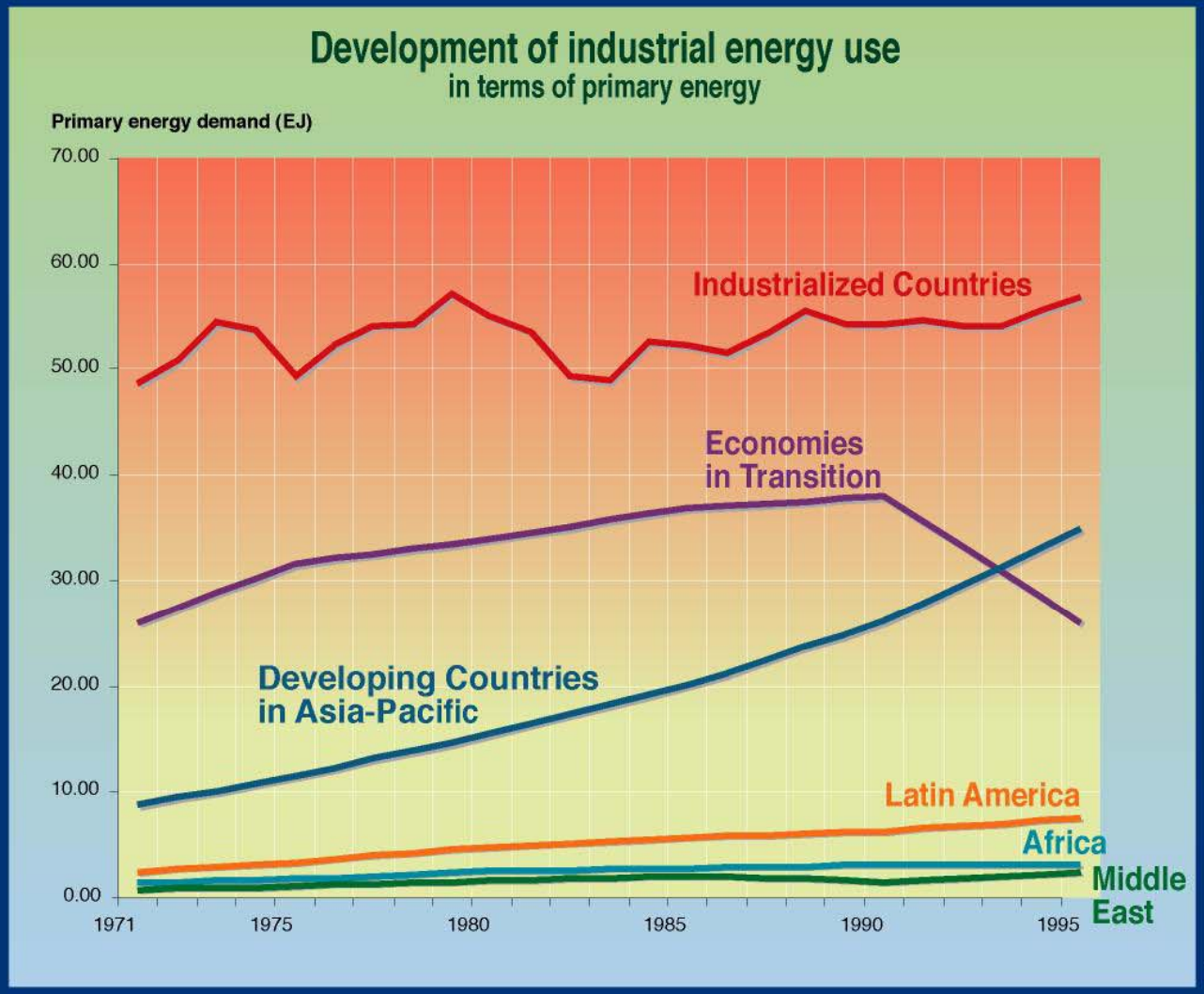
Übersicht

1. **Allgemeine Betrachtung**
2. **IPCC bisherige Klimaentwicklung**
3. **Antrieb Strahlung**
4. **Strahlungs-Forcing**
5. **IPCC globale Entwicklung**

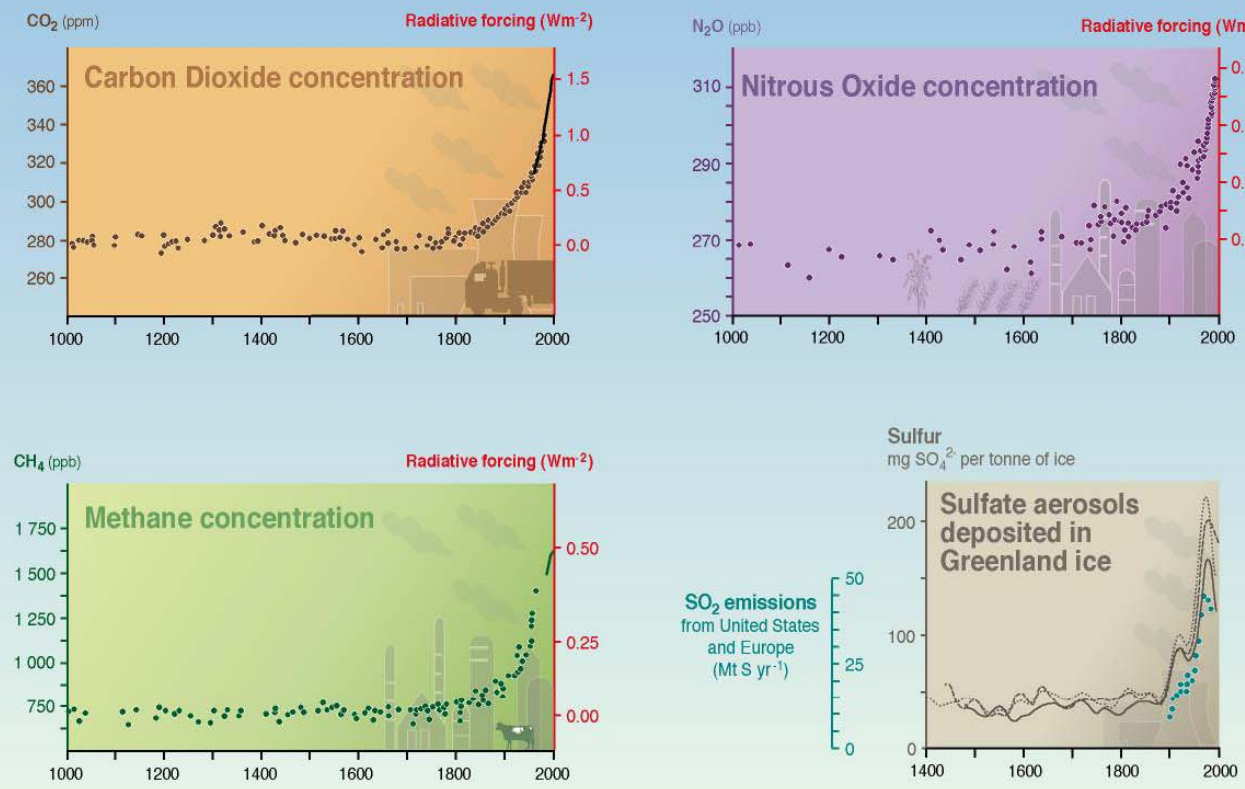


SYR - FIGURE 8-2

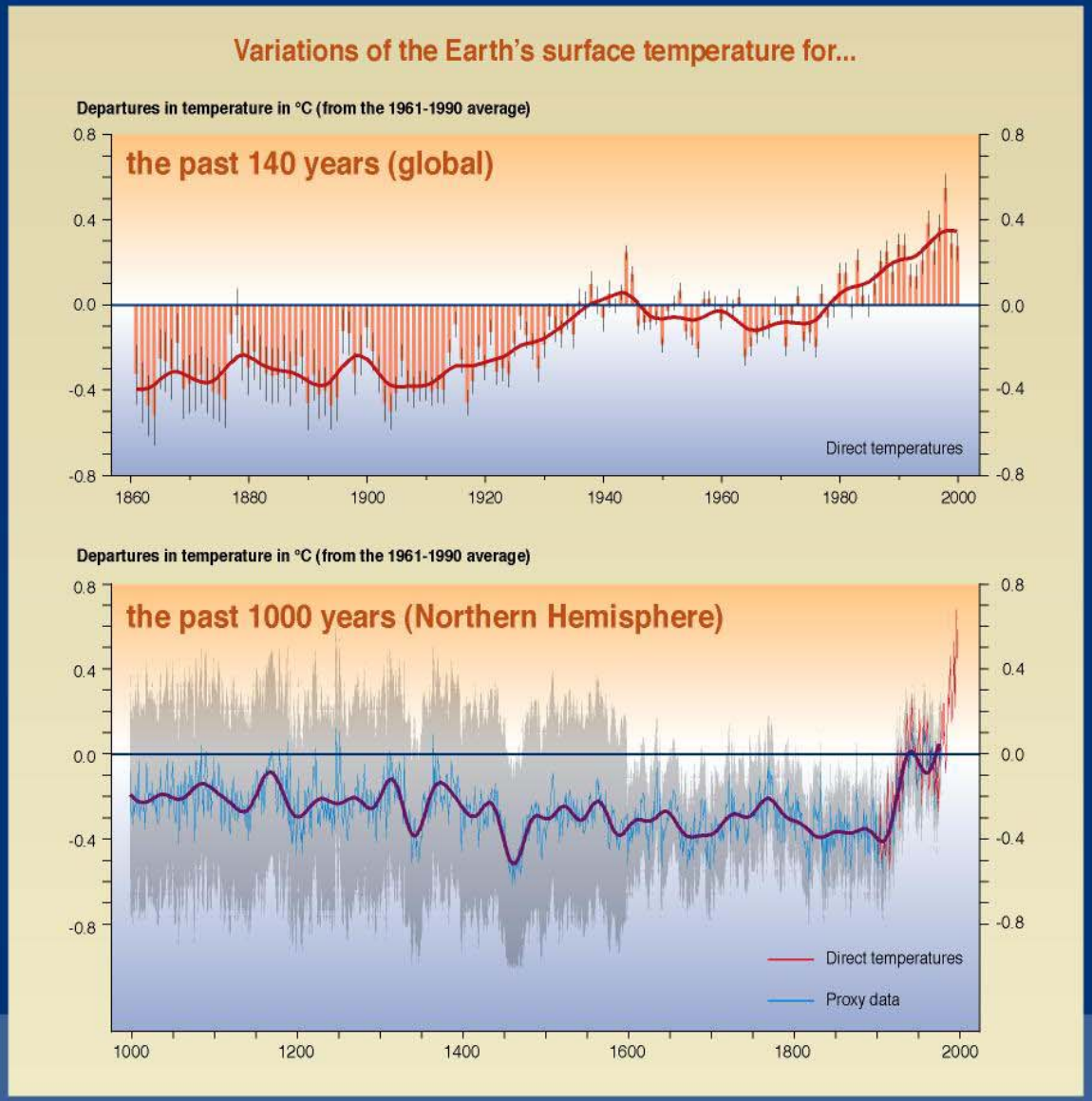


WG3 - TAR FIGURE 3.11

Indicators of the human influence on the atmosphere during the Industrial era



SYR - FIGURE 2-1
WG1 FIGURE SPM-2



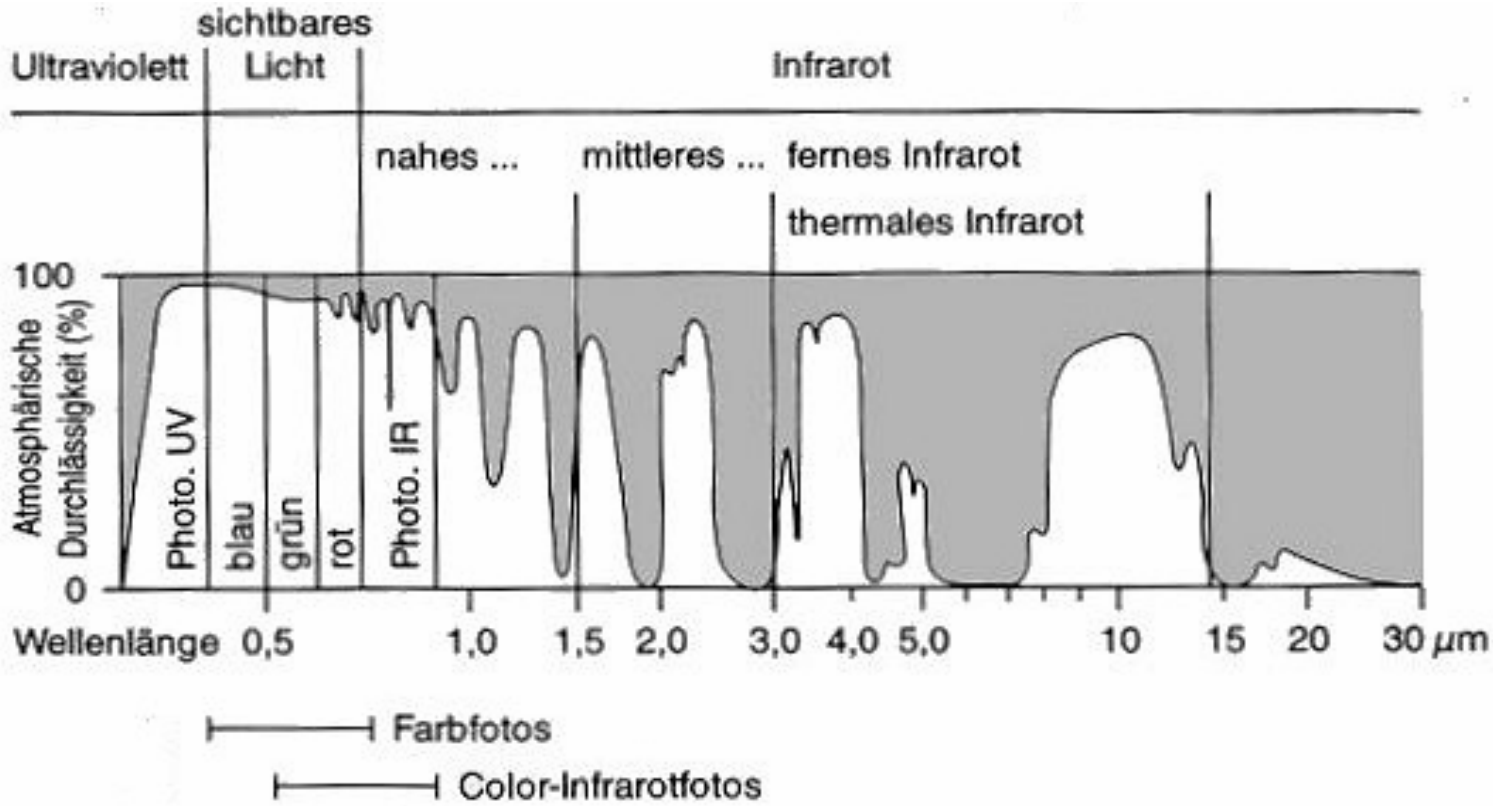
SYR - FIGURE 2-3

Strahlungshaushalt der Atmosphäre

- Strahlung ist Energiefluß in Form elektromagnetischer Wellen

- Die Strahlungsarten werden hierbei nach Wellenlängen unterschieden,
  - von extrem kurzwellig (UV-Strahlung)
  - bis zu extrem langwelliger Strahlung (Infrarot).

- Feststellung:
  - Der vom Menschen verursachte oder anthropogene Treibhauseffekt ist eine Verstärkung des natürlichen Treibhauseffekts.
  - Ohne die natürliche Treibhauswirkung der Atmosphäre würde die globale Mitteltemperatur der Erde gegenwärtig nicht bei +15 °C, sondern bei -18 °C liegen.

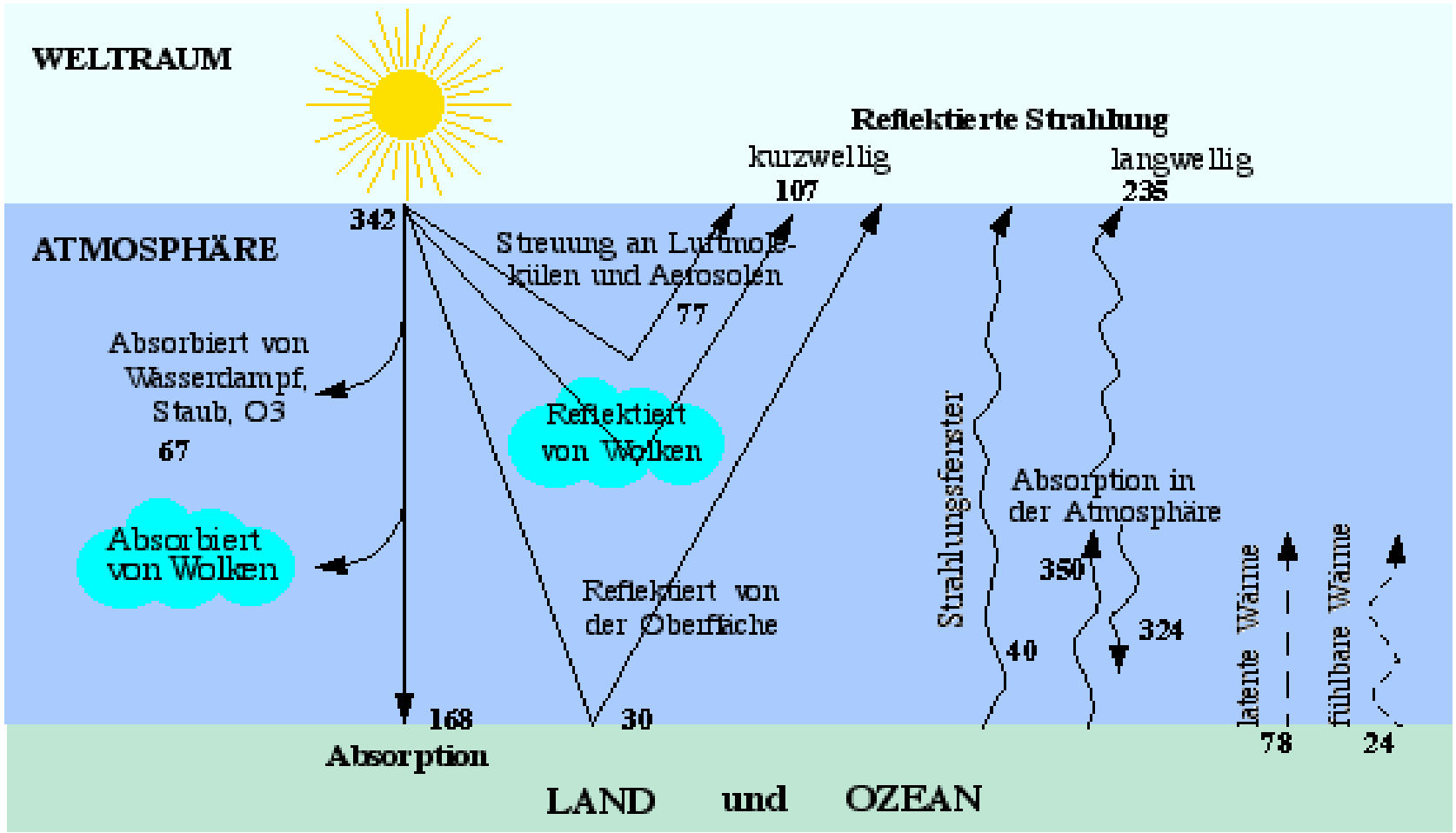


Die einfallende Strahlung wird beim Durchgang der Atmosphäre beeinflusst:

- durch Extinktion (Filterung)
- durch Verringerung der Einstrahlung durch diffuse Reflexion selektive Absorbtion

- diffuse Reflexion und Streuung des Sonnenlichts an verschiedenen Substanzen (Luftmoleküle, Staub, Gase, Wasserdampf, Wolken, Nebel und Dunst.
  - Dabei bleibt die Strahlung an sich erhalten. Durch unterschiedliche Reflektion der verschiedenen Wellenlängen (verschiedene Farben) ergeben sich optische Effekte (blauer Himmel oder das Abendrot).
- Bei der selektiven Absorbtion wird Strahlungsenergie vom absorbierendem Körper aufgenommen.
  - Das betrifft stoffabhängig nur bestimmte Wellenlängenbereiche,
  - Es werden bestimmte Spektralbereiche geschwächt oder fast völlig entfernt (Absorptionsbanden).
  - Diese Absorptionsbanden werden verursacht z.B. durch Ozon (als UV-Filter), Kohlendioxid und Wasserdampf (IR-Strahlung).

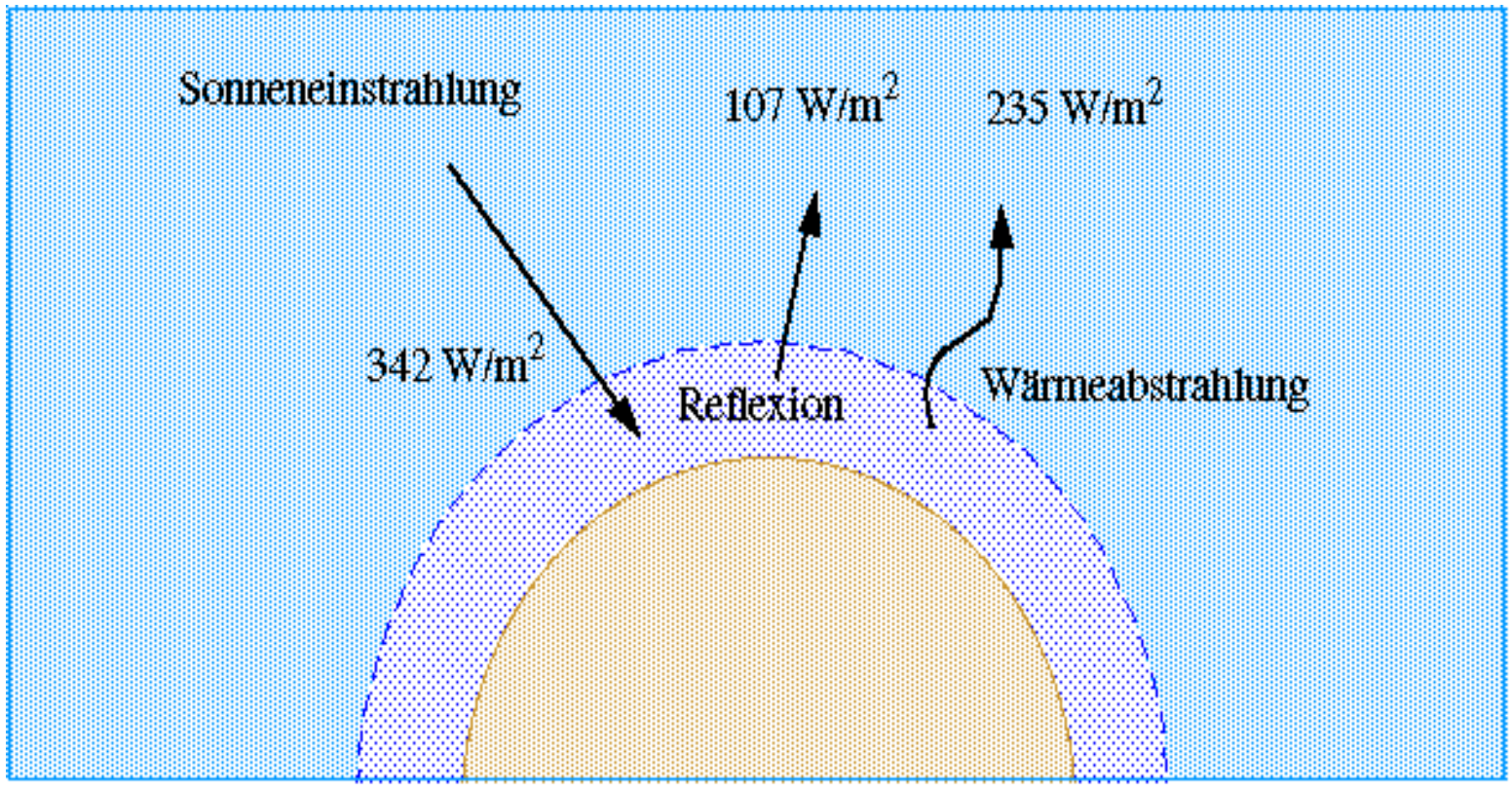
- Rückstrahlung ist abhängig von der Albedo der Körper.
  - So hat Schnee die hohe Albedo mit 75-95% Reflexion
  - Schwarzerde nur 5-15% Reflexion
- Globalstrahlung (langwellige Ausstrahlung der Erdoberfläche).
- Wolken und andere Luftbeimengungen geben einen komplizierten Beitrag
  - durch Gegenstrahlung zum Erdboden hin
  - durch Ausstrahlung zur Atmospärenobergrenze.



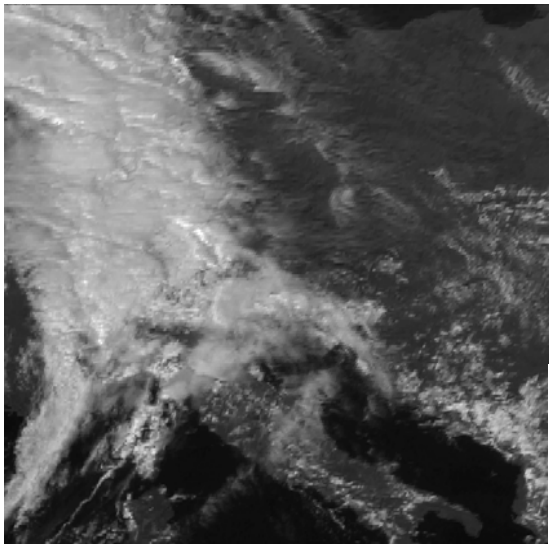
Generelle Strahlungsbilanz der Atmosphäre, Werte in Watt/m²

Das System Erde-Atmosphäre

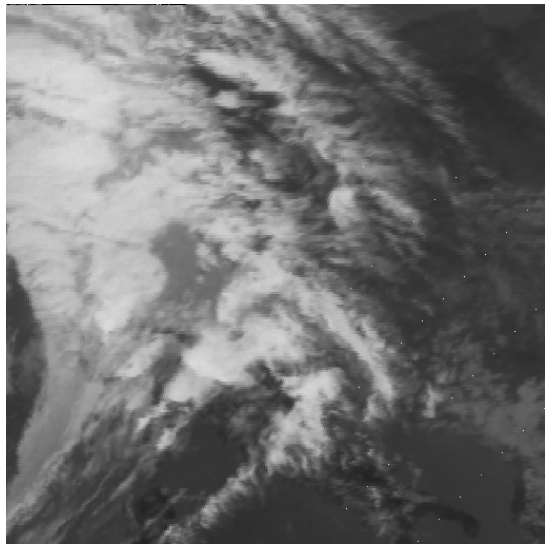
- nimmt kurzwelligere Strahlung auf
- strahlt langwelligere Energie ab (geringere Temperatur)
- die Bilanz an der Atmosphärenoberfläche ist nur annähernd ausgeglichen



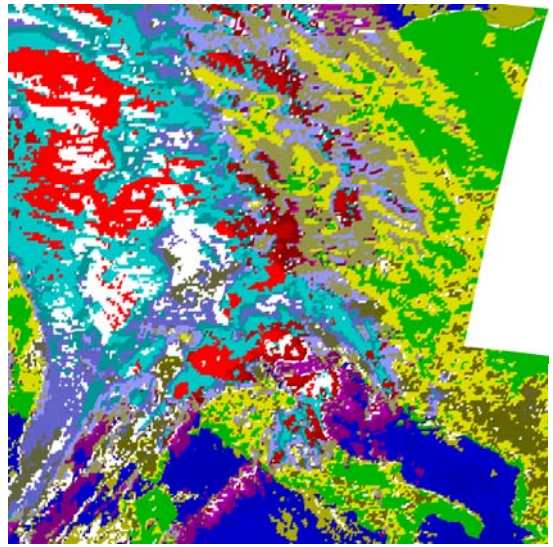
Meteosat, 28. August 1997, 13:30 UTC



Visible (0.5 – 0.9 µm)



Infrarot (10.5 – 12.5 µm)



Meer/Land/ Tiefe / Mittelhohe / Hohe / Cb

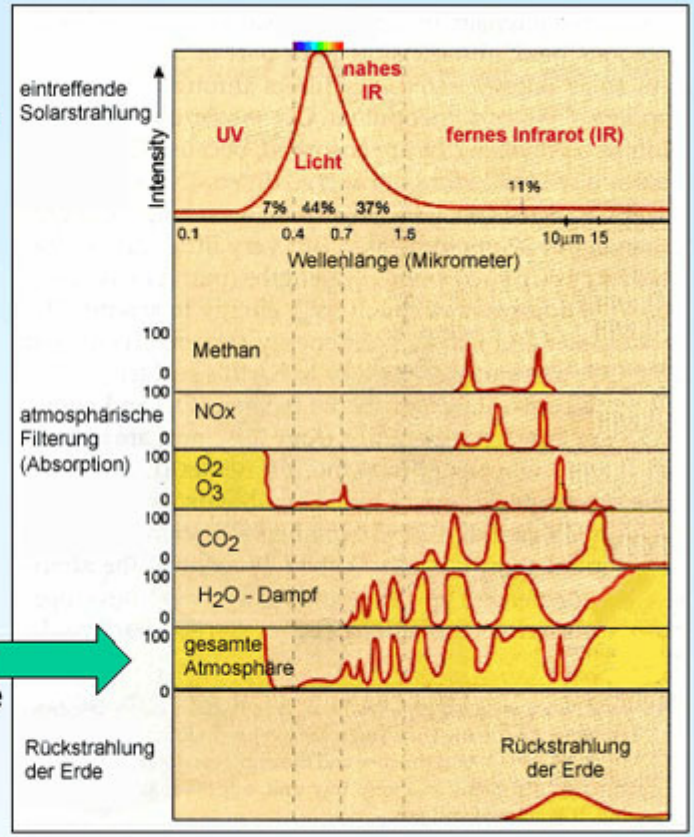
Wolkenklassifikation

- Der Visible-Kanal (links) bildet die Albedo ab, der Infrarotkanal (Mitte) die Temperatur an der Wolkenobergrenze.

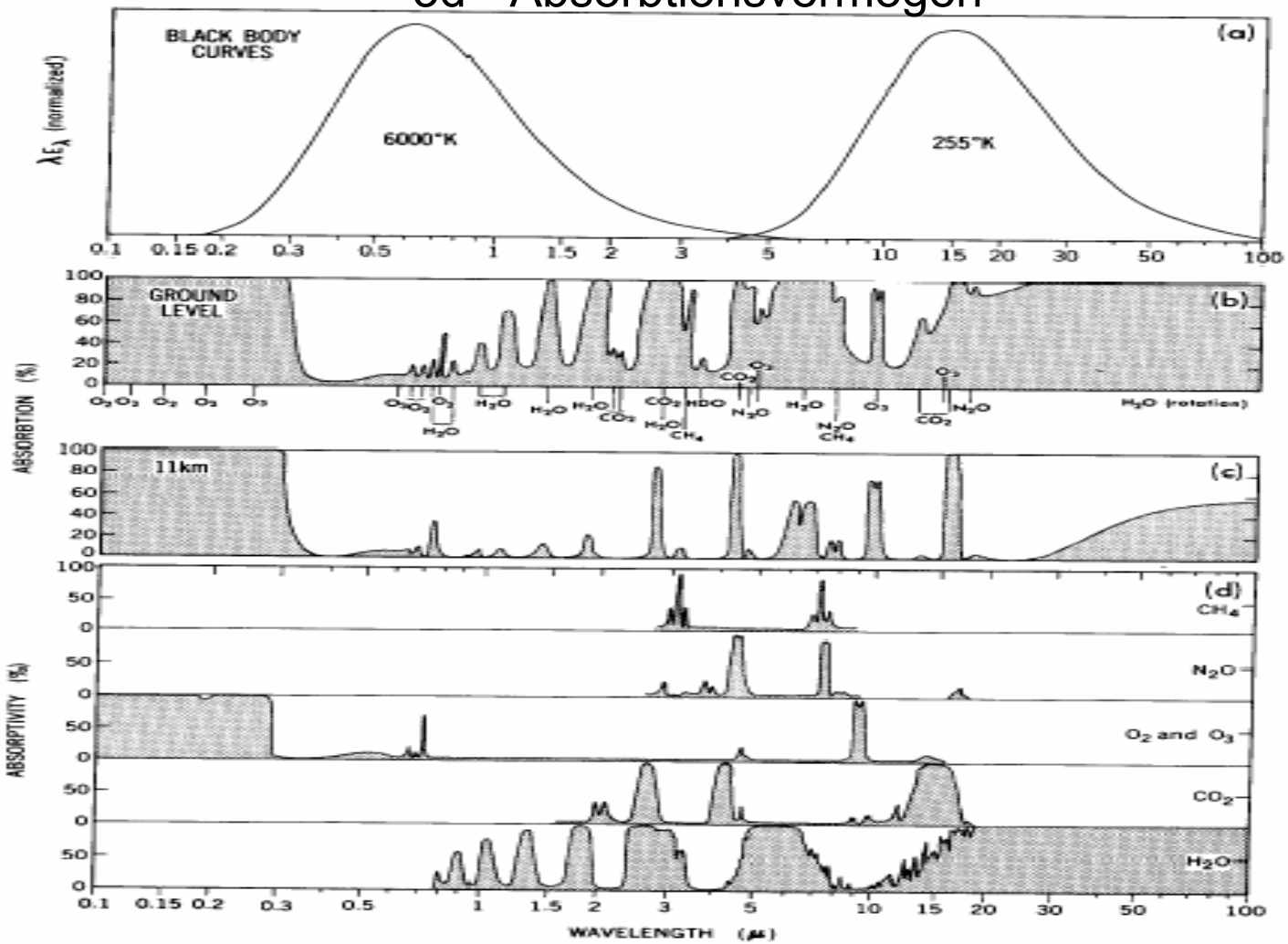
- Mit einer Wolkenklassifikation (rechts) lassen sich die Aussagen beider Kanäle miteinander verbinden.

Die Atmosphäre als Filter

- verschiedene Gase der Atmosphäre filtern die Strahlung (Absorption) vor allem Wasserdampf (ca. 88% H_2O, CO_2, NOx, CH_4, O_2 und O_3)
- durch ein absorptions-freies Fenster wird Wärme ins All zurückgestrahlt



3d - Absorbtionsvermögen

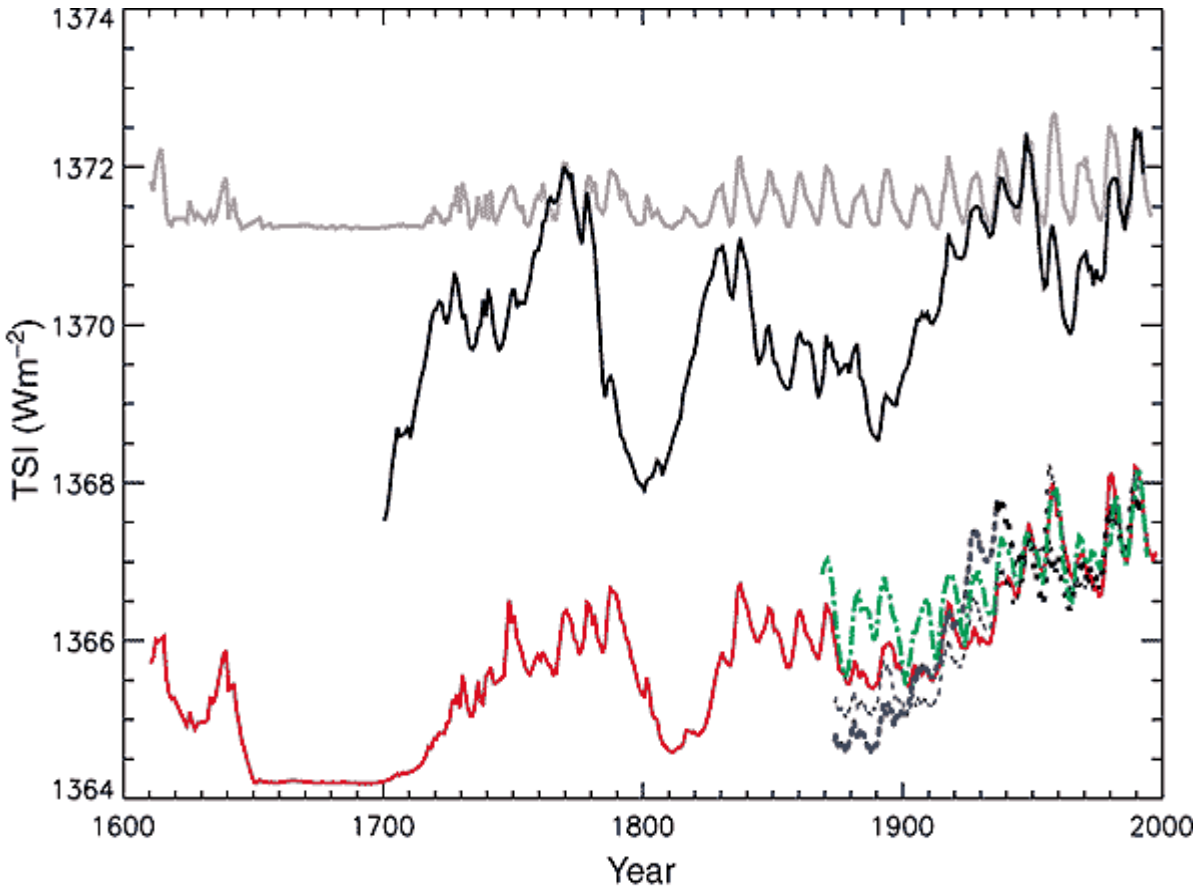


Frage

Wie wirken sich die anthropogenen Veränderungen der Luftzusammensetzung aus

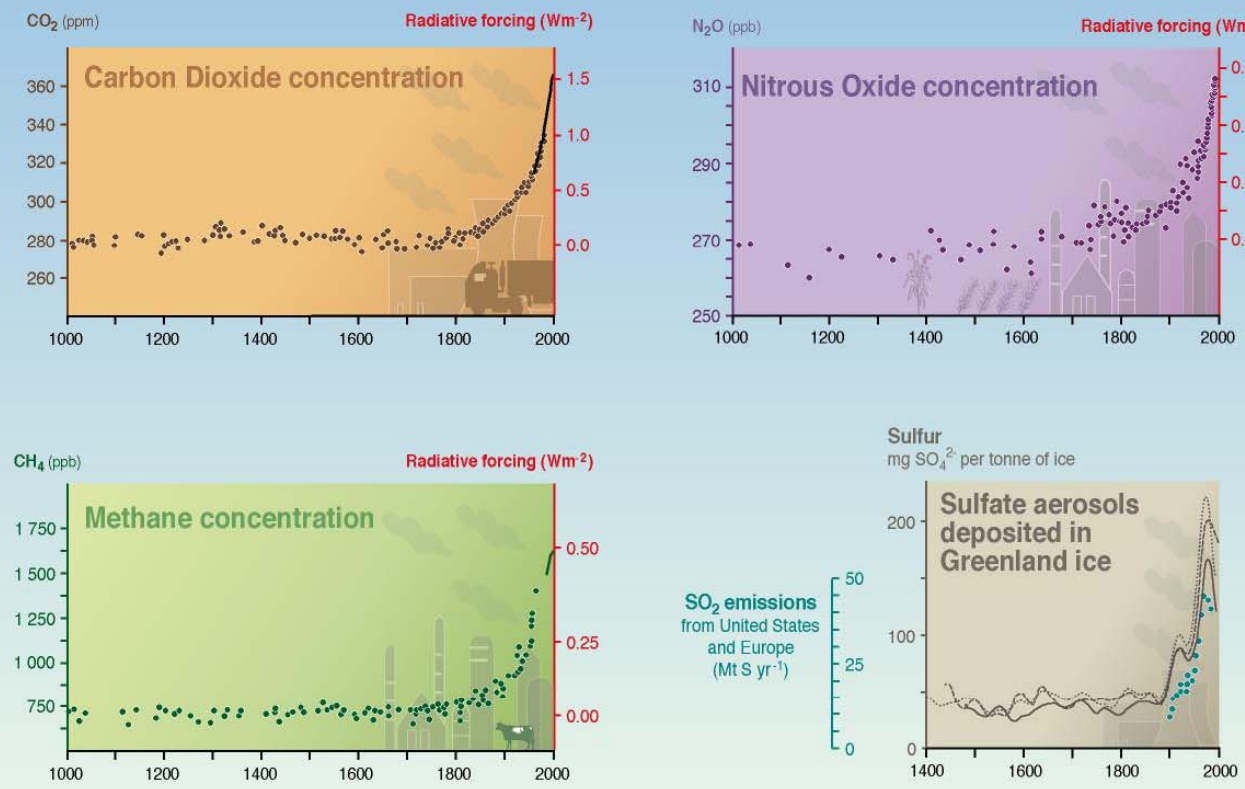
- Auf die Strahlungsbilanz
- Auf das globale und lokale Klima
- Dafür wird die Rekonstruktion vergangener Klimate unter Einbeziehung von Klimamodellen verwendet
  (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)

Variabilität der Solarstrahlung

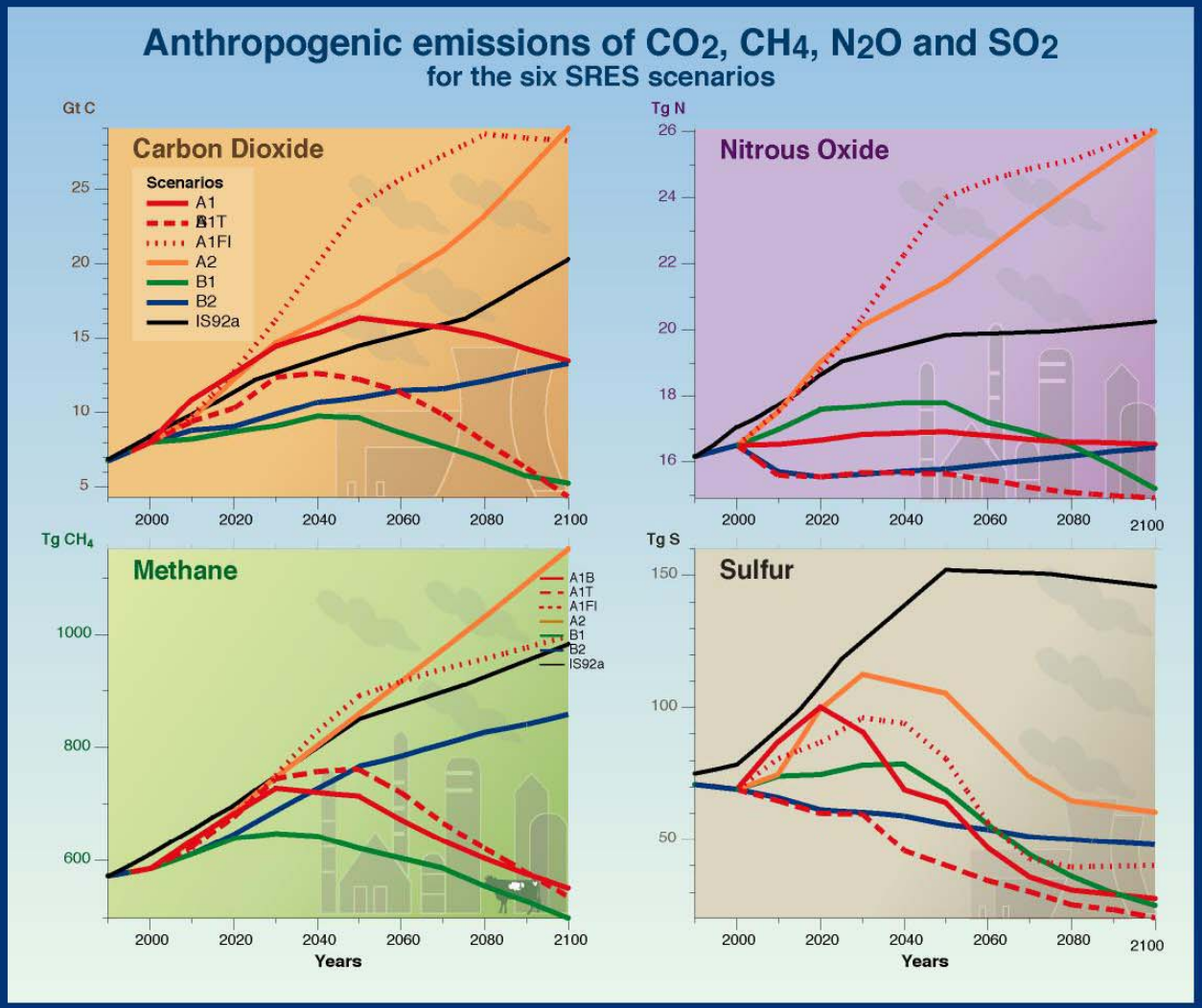


Rekonstruktion der totalen Sonneneinstrahlung nach verschiedenen Abschätzungen (rot, schwarz, grün und blau)
Sonnenfleckenzahl (graue Kurve)

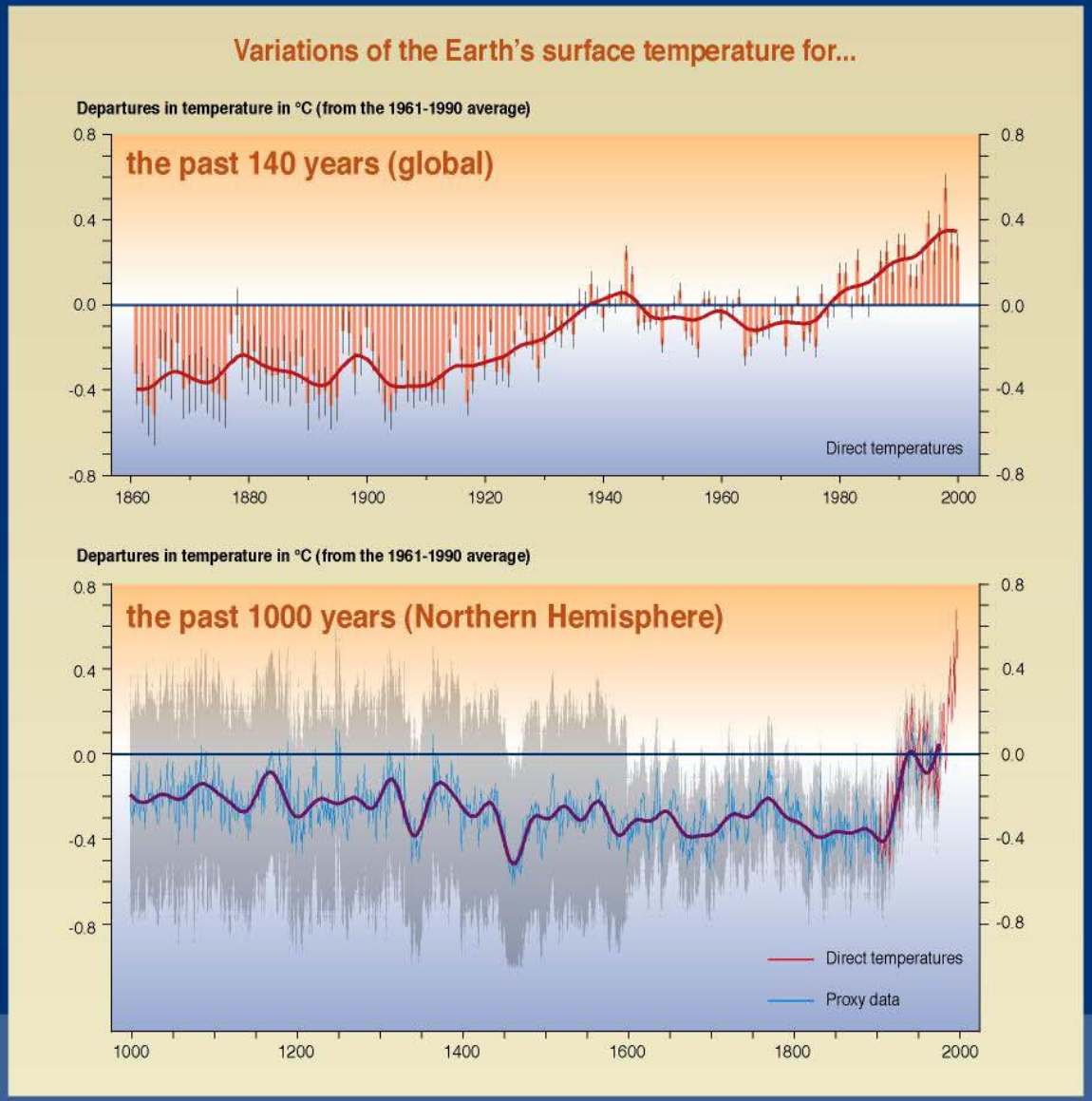
Indicators of the human influence on the atmosphere during the Industrial era



SYR - FIGURE 2-1
WG1 FIGURE SPM-2

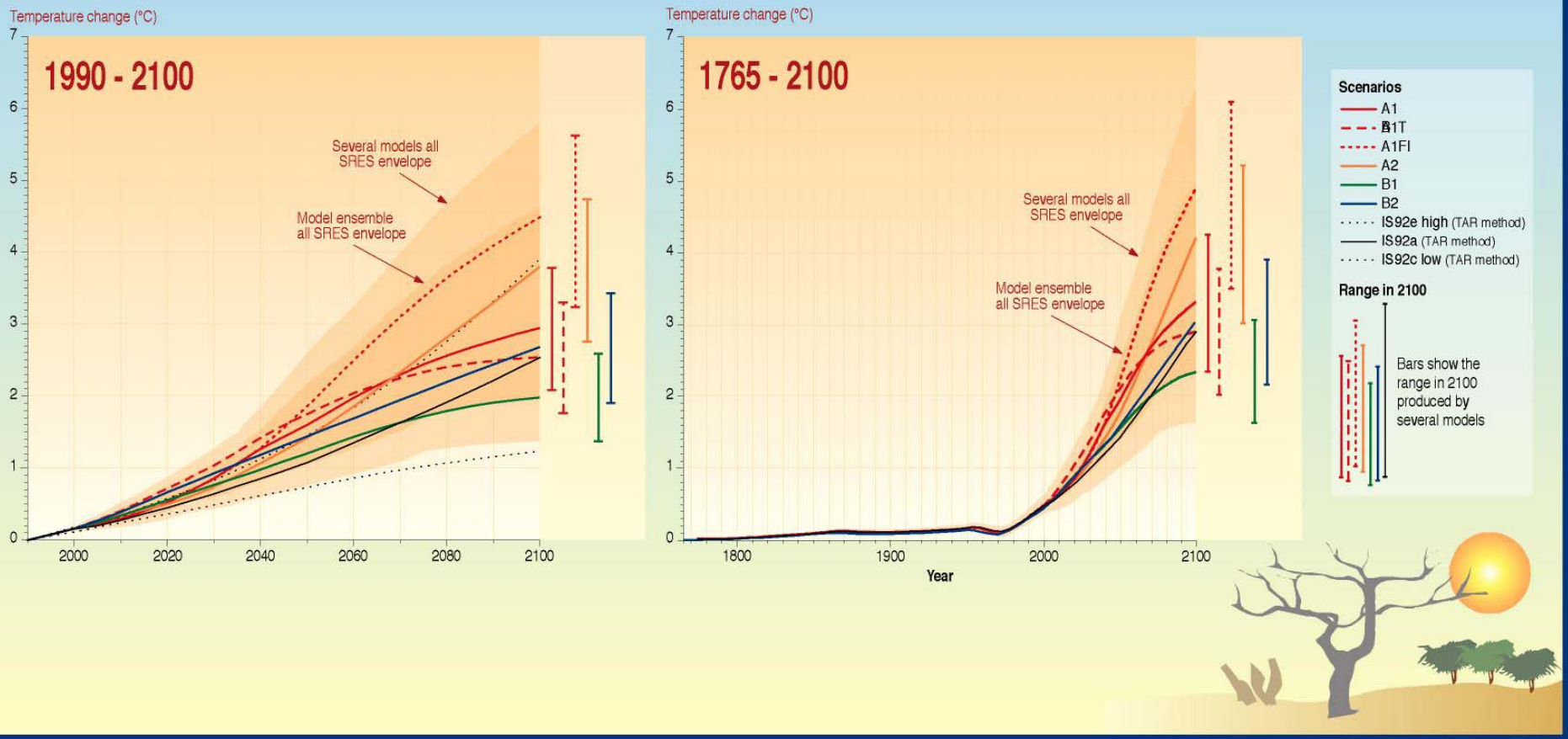


WG1 TS FIGURE 17

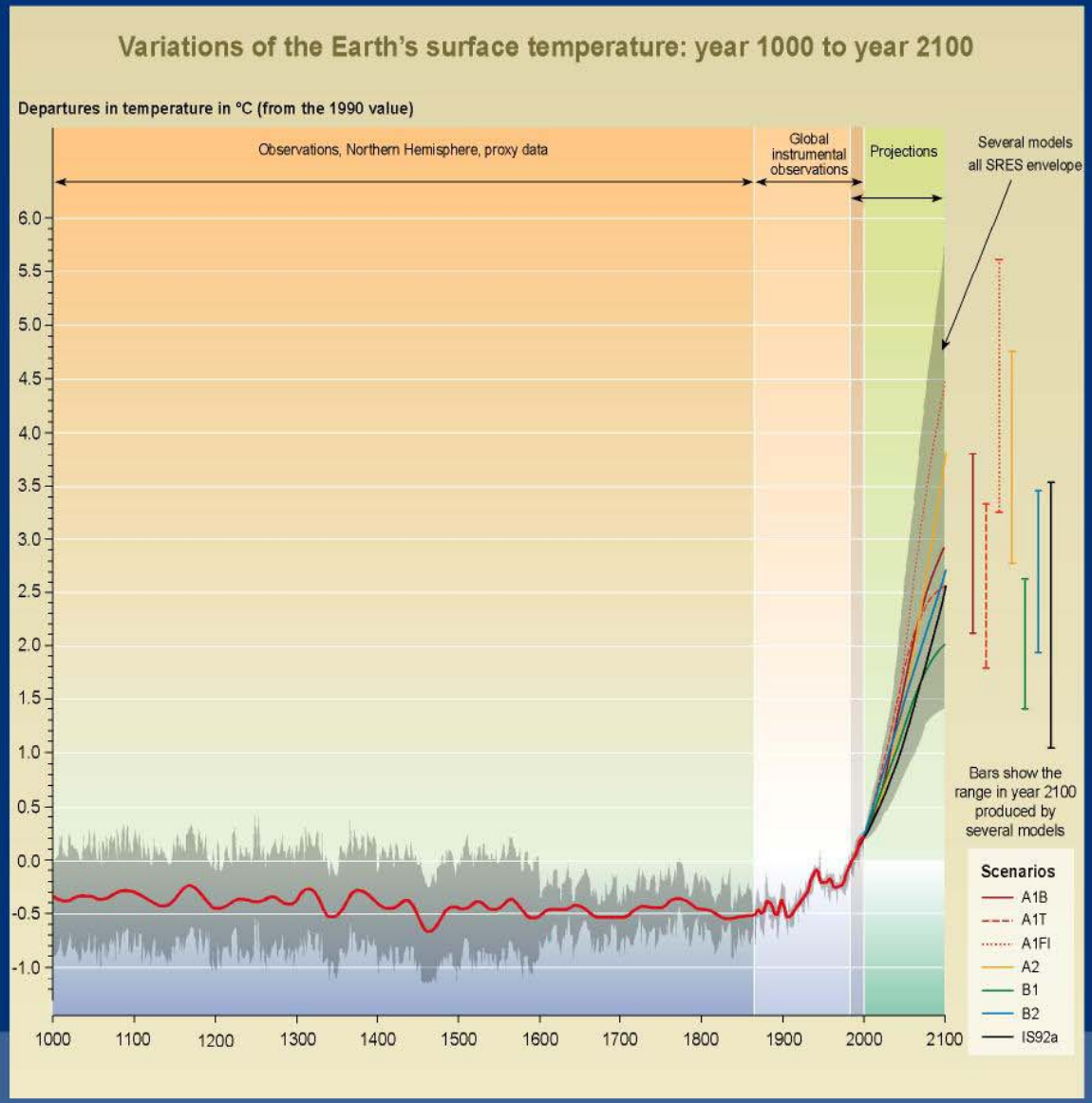


SYR - FIGURE 2-3

Temperature change (1760 - 2100)



WG1 TS FIGURE 22

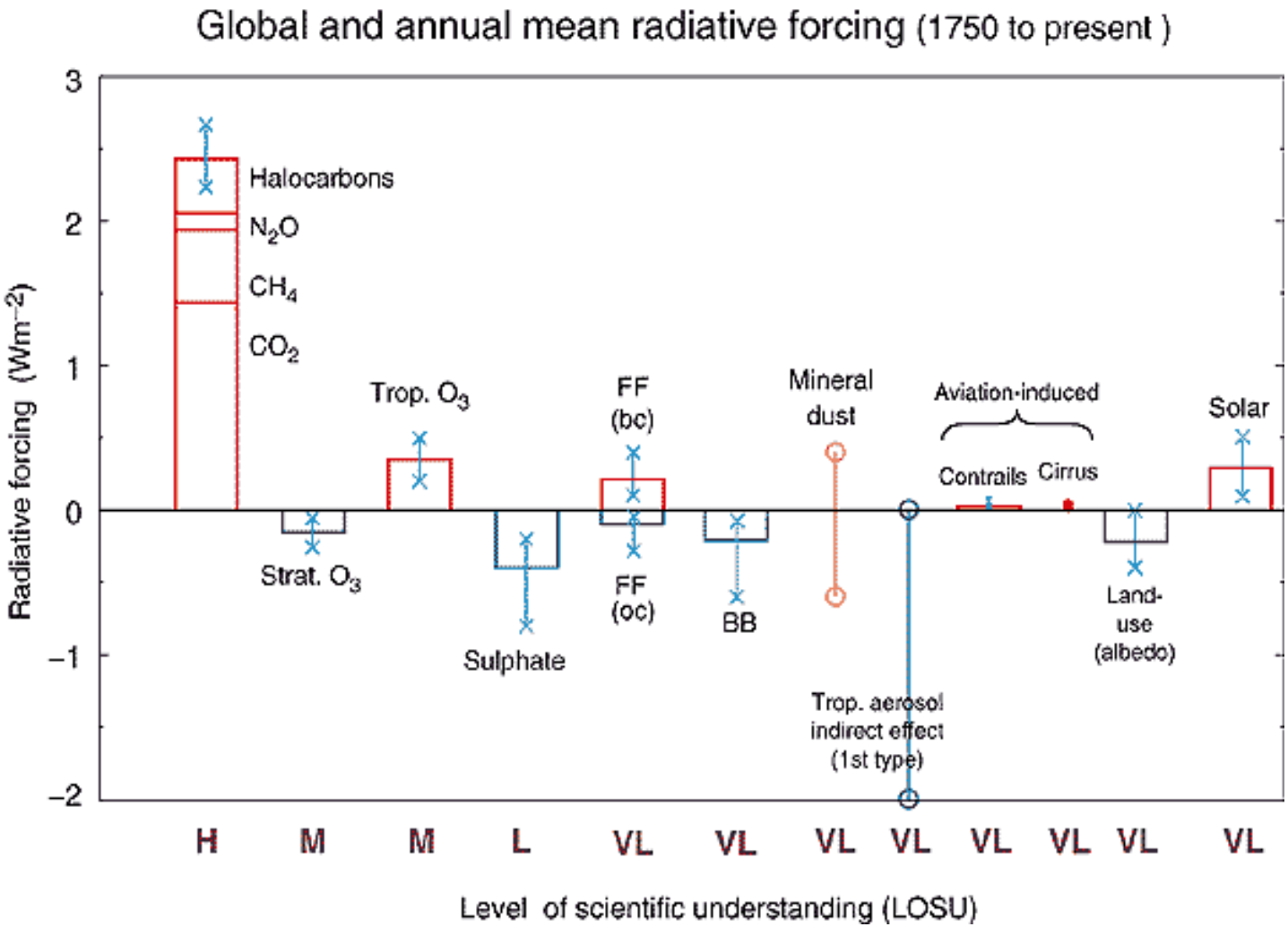


SYR - FIGURE 9-1b

Strahlungs-Forcing

- Anhand von Beobachtungen und Modellrechnungen wird die Variabilität des Klimas untersucht (IPCC).
- Der Begriff des Forcing wird im Vergleich zwischen verschiedenen Referenzzuständen verwendet.
- Einwirkung der Strahlungsprozesse in der Atmosphäre im Vergleich zum Oberrand.
- Vergleich des Zustands zu verschiedenen Zeiten (vorindustriell oder eiszeitlich – gegenwärtigen Klima)

- Hier speziell Bemerkungen zum Strahlungsforcing


Global and annual mean radiative forcing (1750 to present)
Radiative forcing (Wm^{-2})
3
2
1
0
−1
−2
Halocarbons
N_2O
CH_4
CO_2
Trop. O_3
Strat. O_3
Sulphate
FF (bc)
FF (oc)
BB
Mineral dust
Trop. aerosol indirect effect (1st type)
Aviation-induced
Contrails
Cirrus
Land-use (albedo)
Solar
H
M
M
L
VL
VL
VL
VL
VL
VL
VL
VL
Level of scientific understanding (LOSU)

Modellgestützte ausführliche Abschätzungen existiert in Bezug zum Strahlungs- Forcing für den Zeitraum 1750 -2000 durch

- Treibhaus-Gase (CO_2 ,CH_4 ,N_2O, CFC-11 and CFC-12
- Abbau des stratosphärischen Ozons
- Zunahme des troposphärischen Ozons

- direkte Auswirkung von z.B. Sulfat Aerosolen (Streuung und Absorbtion)
- direkte Auswirkung von elementaren und organischen Kohlenstoff aus Biomassenverbrennung und Verbrennung fossiler Brennstoffe,

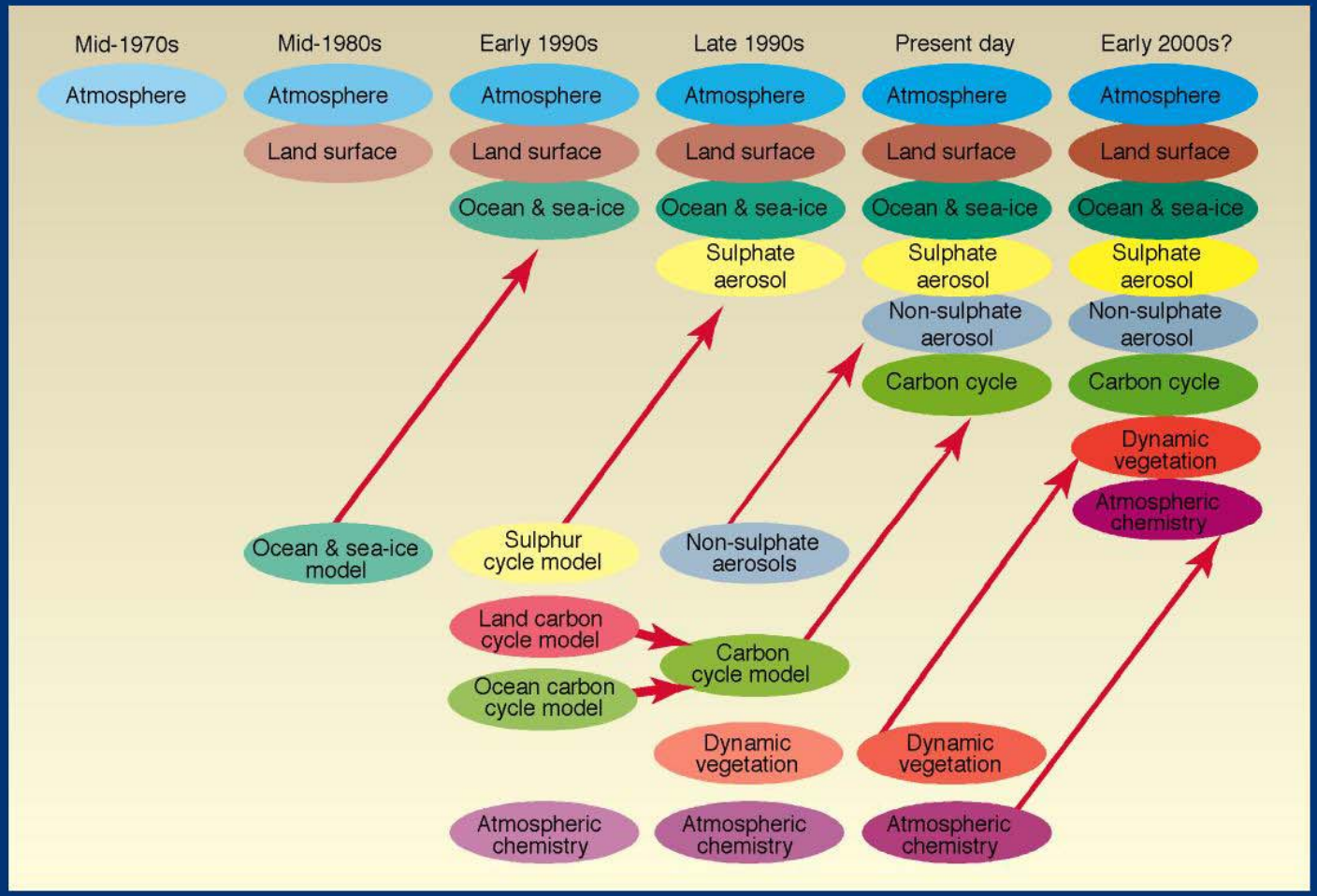
- direkte Auswirkung von anthropogenen Staubemissionen

- indirekte Effekte durch z.B. Sulfat-Aerosole (Wolkenbildung, Niederschlag)

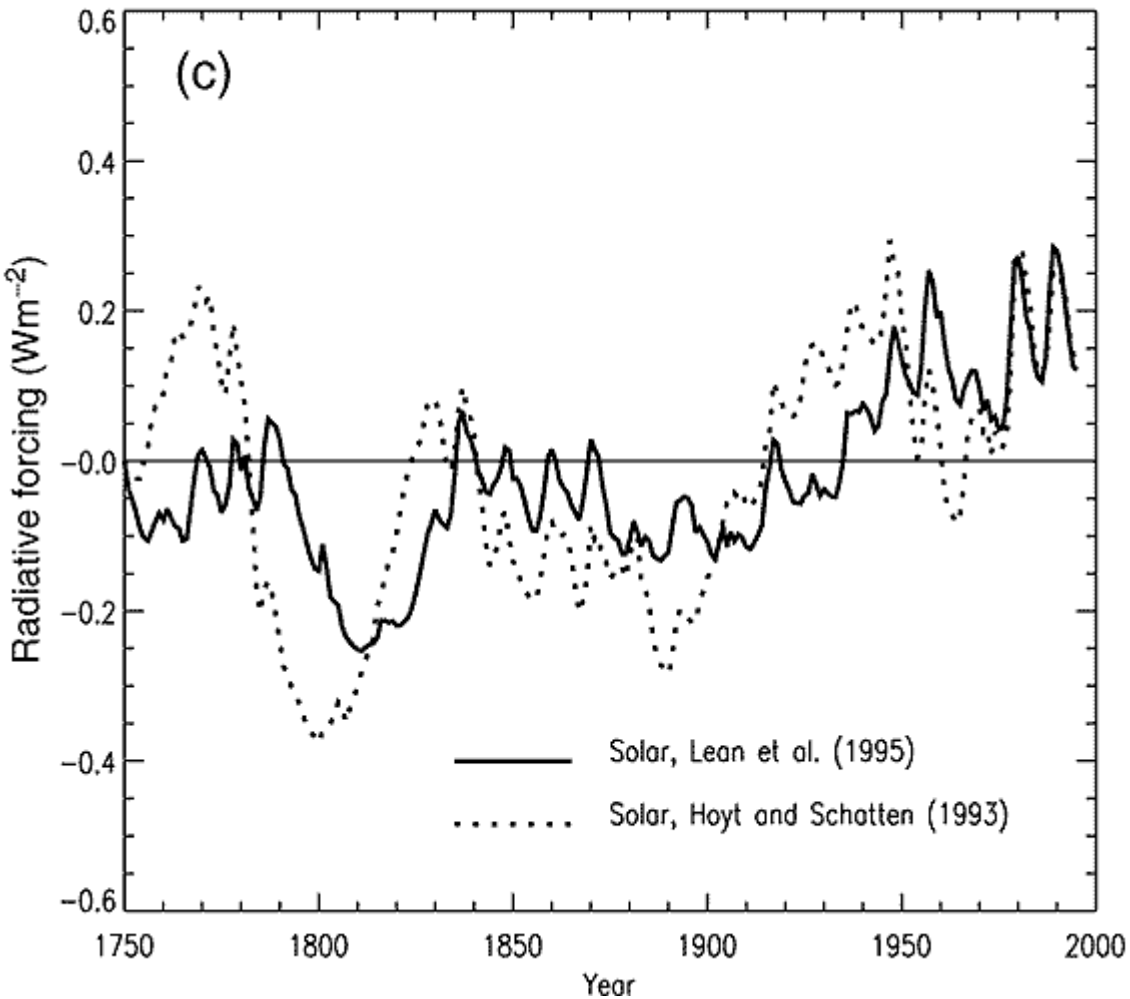
- Änderung der Oberfächen-Albedo

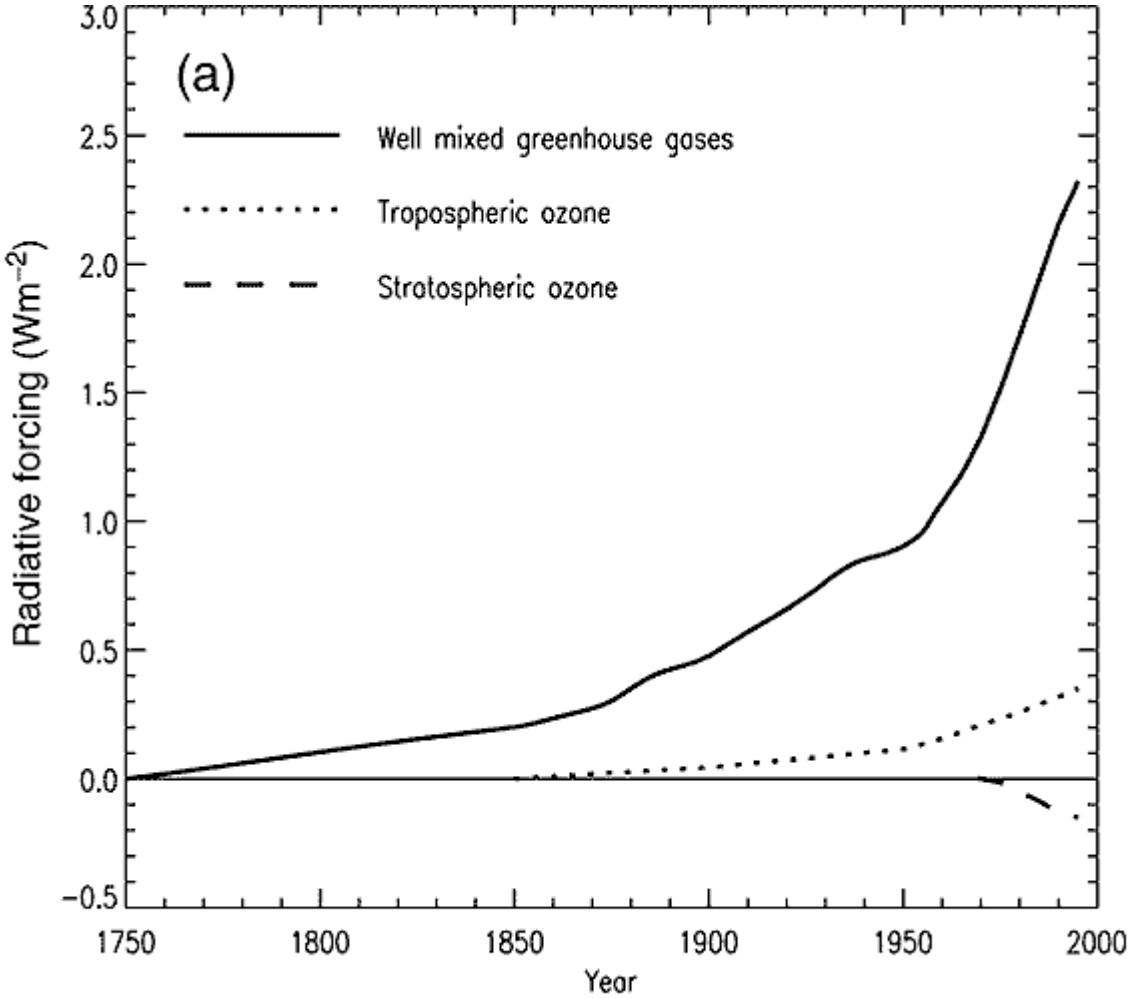
- Solare Variabilität

The development of climate models, past, present and future

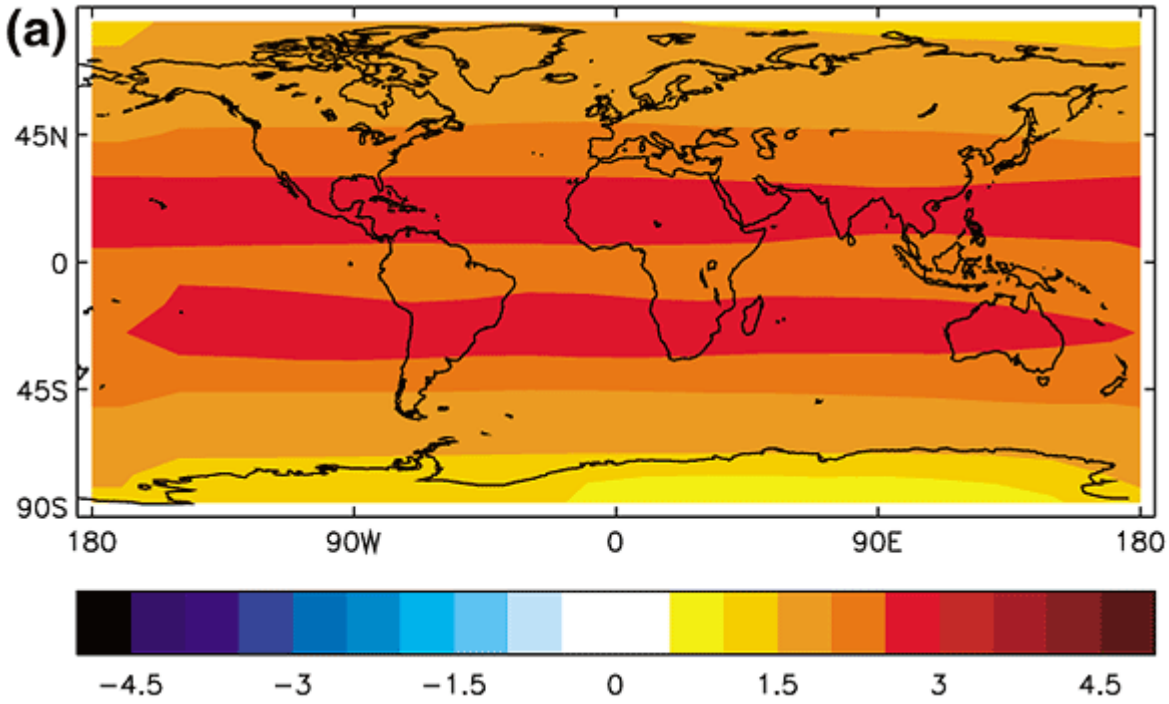


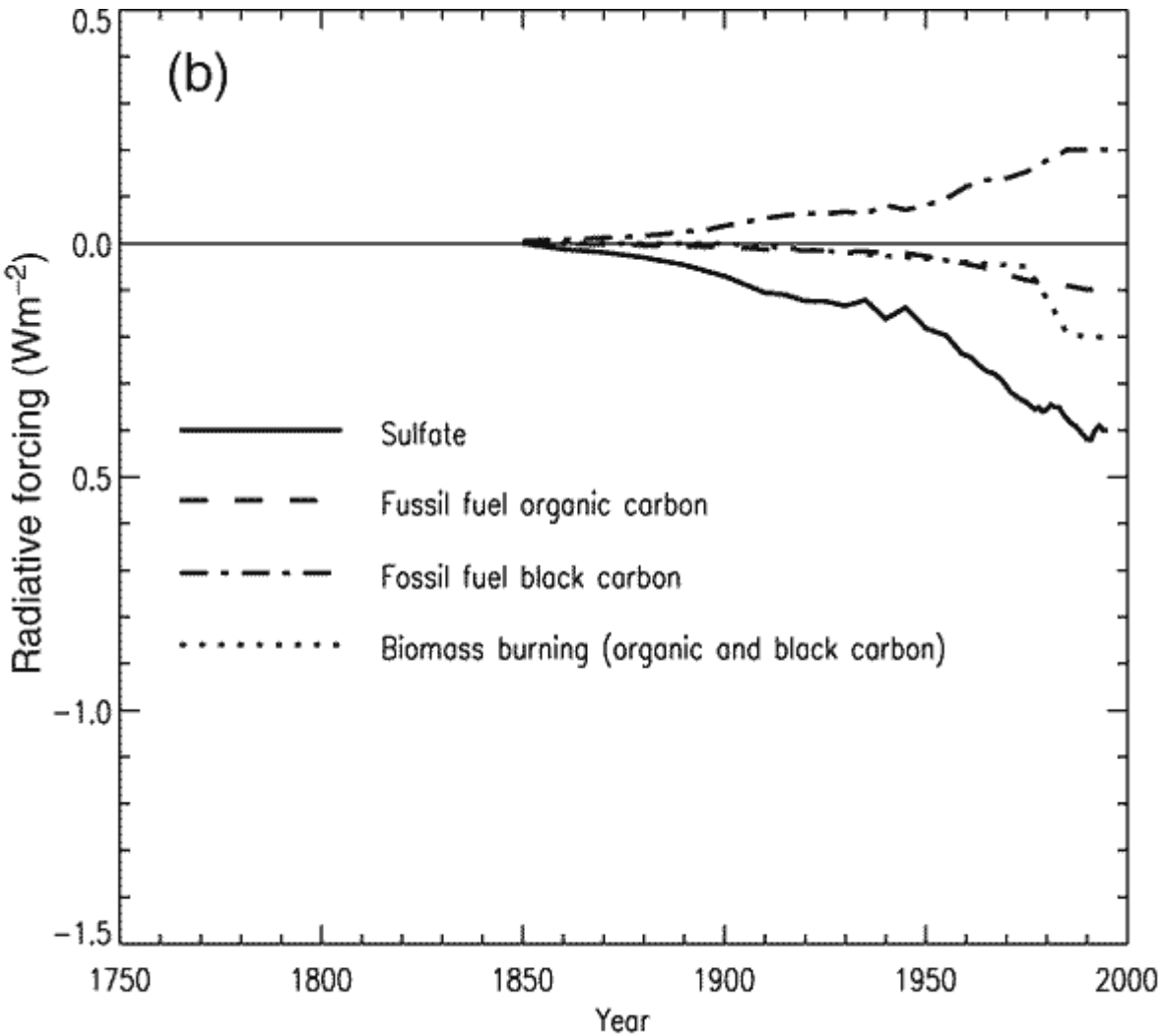
WG1 - TS BOX 3
FIGURE 1

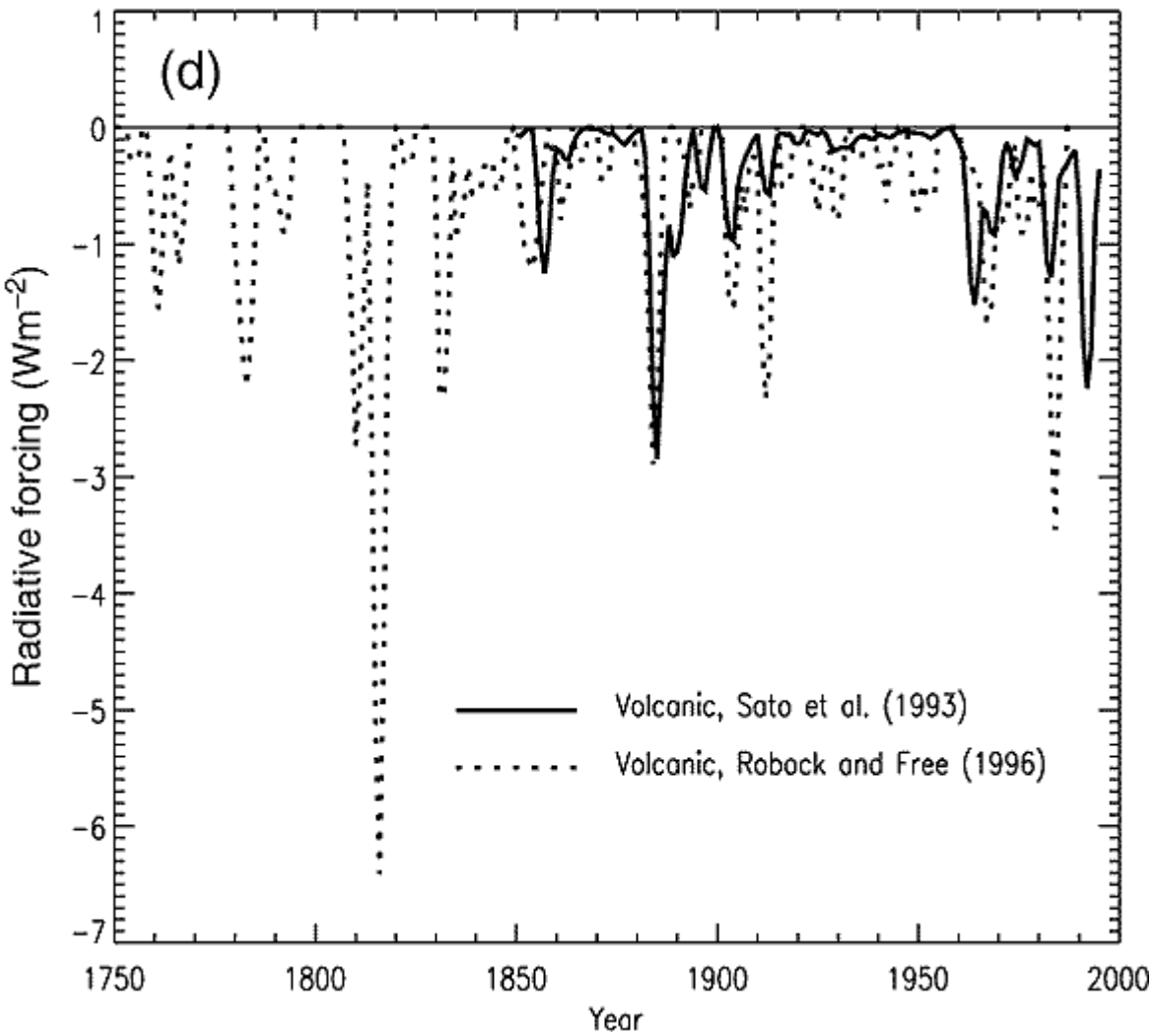

(c)
Radiative forcing (Wm^{-2})
0.6
0.4
0.2
−0.0
−0.2
−0.4
−0.6
1750
1800
1850
1900
1950
2000
Year
Solar, Lean et al. (1995)
Solar, Hoyt and Schatten (1993)

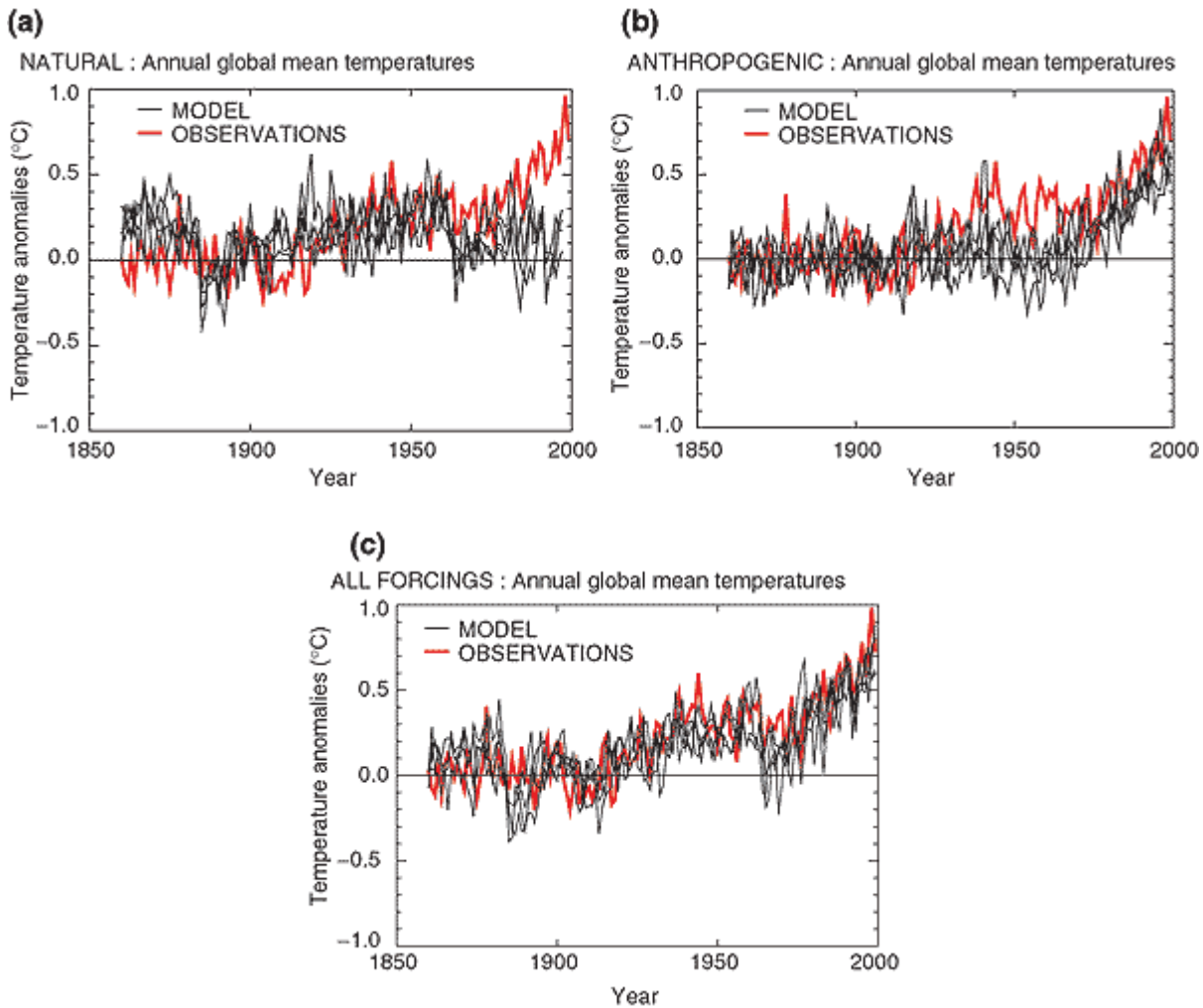

(a)
Well mixed greenhouse gases
Tropospheric ozone
Stratospheric ozone
Radiative forcing (Wm^{-2})
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
−0.5
1750
1800
1850
1900
1950
2000
Year

Forcing durch Treibhaus-Gase (Watt/m²)

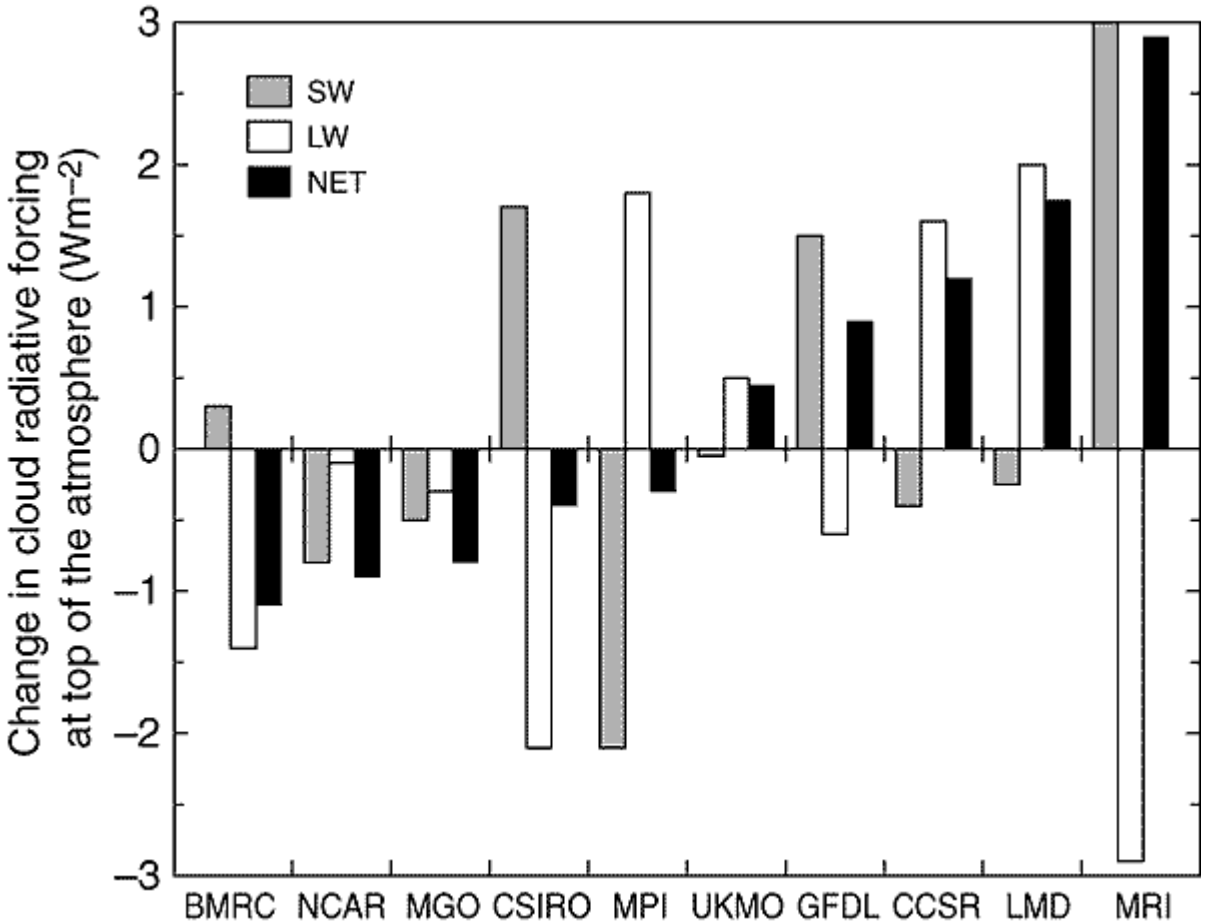



(b)
Radiative forcing (Wm^{-2})
0.5
0.0
0.5
−1.0
−1.5
1750
1800
1850
1900
1950
2000
Year
Sulfate
Fussil fuel organic carbon
Fossil fuel black carbon
Biomass burning (organic and black carbon)

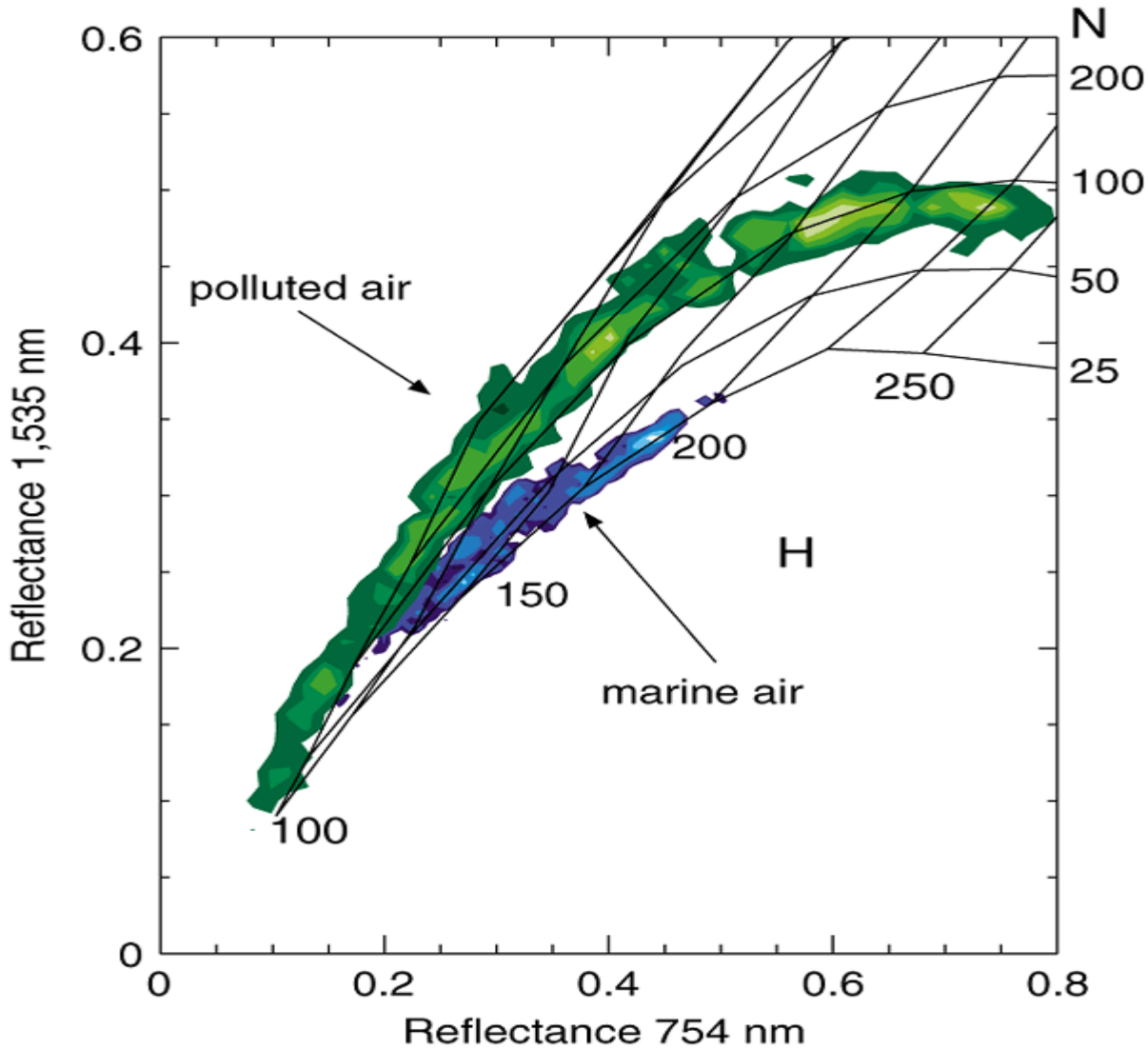

(d)
Radiative forcing (Wm^{-2})
1
0
−1
−2
−3
−4
−5
−6
−7
1750
1800
1850
1900
1950
2000
Year
Volcanic, Sato et al. (1993)
Volcanic, Robock and Free (1996)


(a)
NATURAL : Annual global mean temperatures
MODEL
OBSERVATIONS
Temperature anomalies (°C)
1.0
0.5
0.0
−0.5
−1.0
1850
1900
1950
2000
Year
(b)
ANTHROPOGENIC : Annual global mean temperatures
MODEL
OBSERVATIONS
Temperature anomalies (°C)
1.0
0.5
0.0
−0.5
−1.0
1850
1900
1950
2000
Year
(c)
ALL FORCINGS : Annual global mean temperatures
MODEL
OBSERVATIONS
Temperature anomalies (°C)
1.0
0.5
0.0
−0.5
−1.0
1850
1900
1950
2000
Year

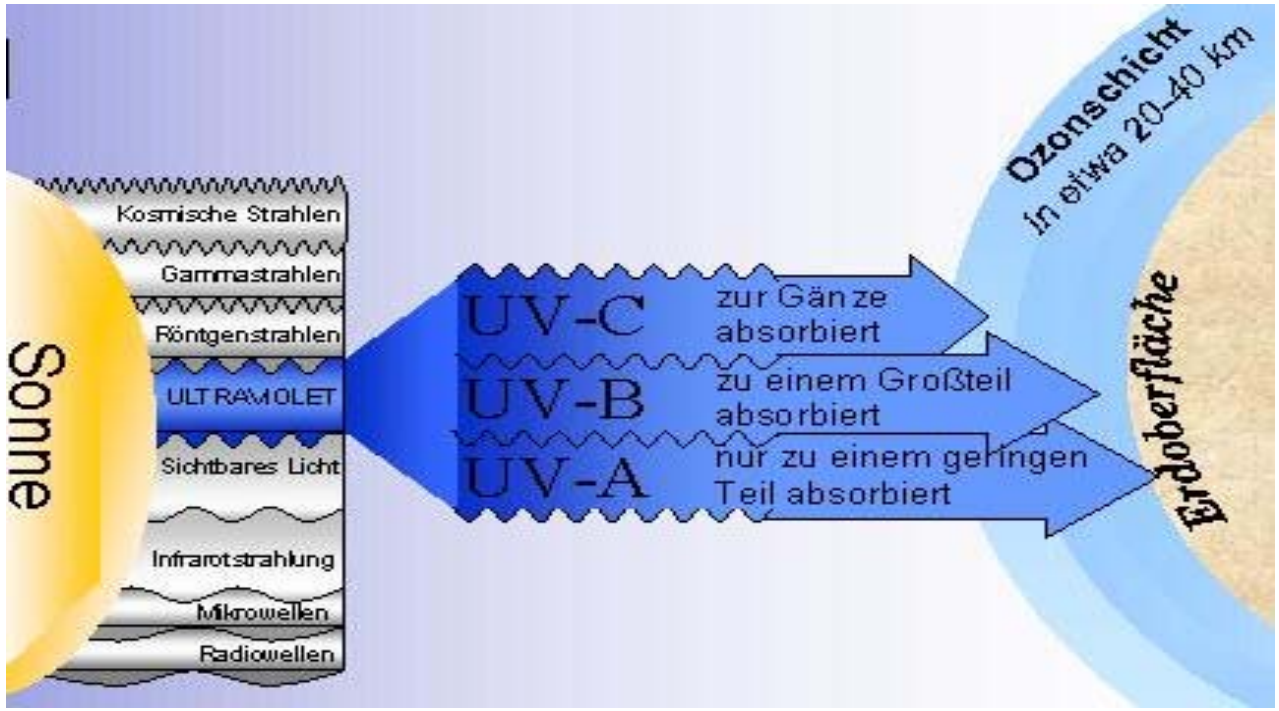
Modellabhängige Variation des Strahlungs-Forcing an der Atmosphärenobergrenze



Veränderung der Reflektion an Wolken durch Luftschadstoffe



Bemerkung zu UV-Strahlung



Die Kurzwellige Strahlung wird durch Spurenstoffe, wie z.B. Ozon, stark beeinflusst.

Trotz starker Reduzierung werden in Bodennähe relevante Prozesse im Ozon/Stickstoff-Kreislauf bewirkt.

Abschließende Bemerkungen

- Eine thermische anthropogene Energiezunahme ist generell beobachtbar,
- Die Auswirkung der Veränderungen der lokalen oder globalen Strahlungsbilanz auf die zukünftige Klimaentwicklung (Temperatur und Niederschlagsentwicklung) ist durch die komplexe Wirkung von Spurenstoffen schwierig.

- z.B. im sog. Schwarzen Dreieck sind die Kohlenstoff und Schwefelemissionen zwar stark zurückgegangen, aber durch die Kompensation des Forcing durch Ruß- und Sulfat-Aerosole ist keine wesentliche Veränderung der bodennahen Strahlungsbilanz zu beobachten.
- Ebenso zeigt die UV-Strahlung an Boden in Europa unterschiedliche Veränderungen, da die Abnahme des stratosphärischen Ozons durch die Zunahme anthropogener Emissionen kompensiert wird.
- Die Weiterentwicklung der Prozessmodellierung ist wesentlich.