

Die Bedeutung des Kohlendioxids (CO₂) für das Klima

Dr. Christina Endler

SÜDDEUTSCHES KLIMABÜRO / KIT-ZENTRUM KLIMA UND UMWELT



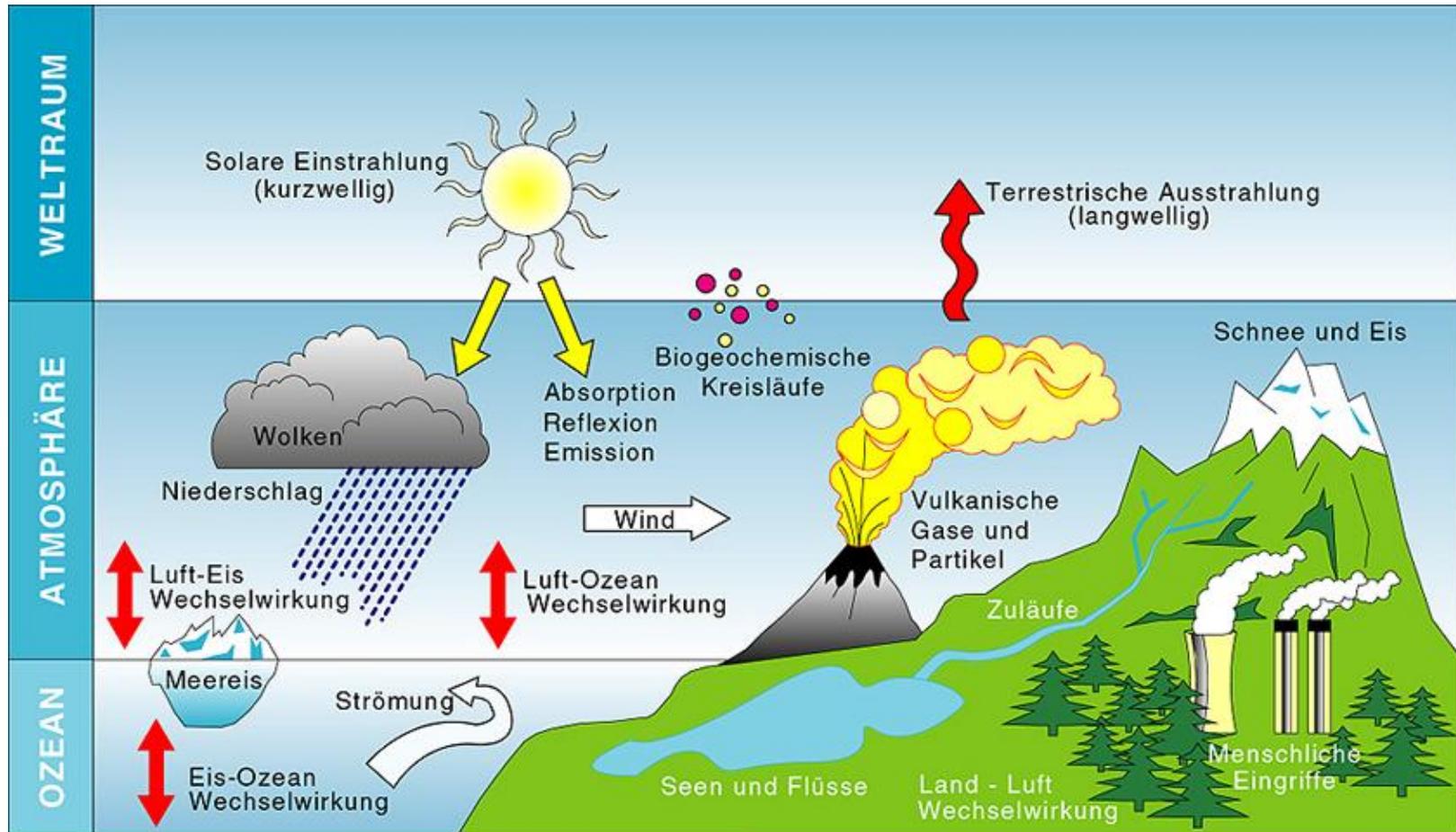
- Was macht das CO₂ in unserer Atmosphäre?
 - Wie hat sich die CO₂-Konzentration im Laufe der Jahrtausende entwickelt und warum?
 - Mit welchen Folgen/Risiken müssen wir rechnen?
 - Gibt es Möglichkeiten, diese Folgen/Risiken einzugrenzen?



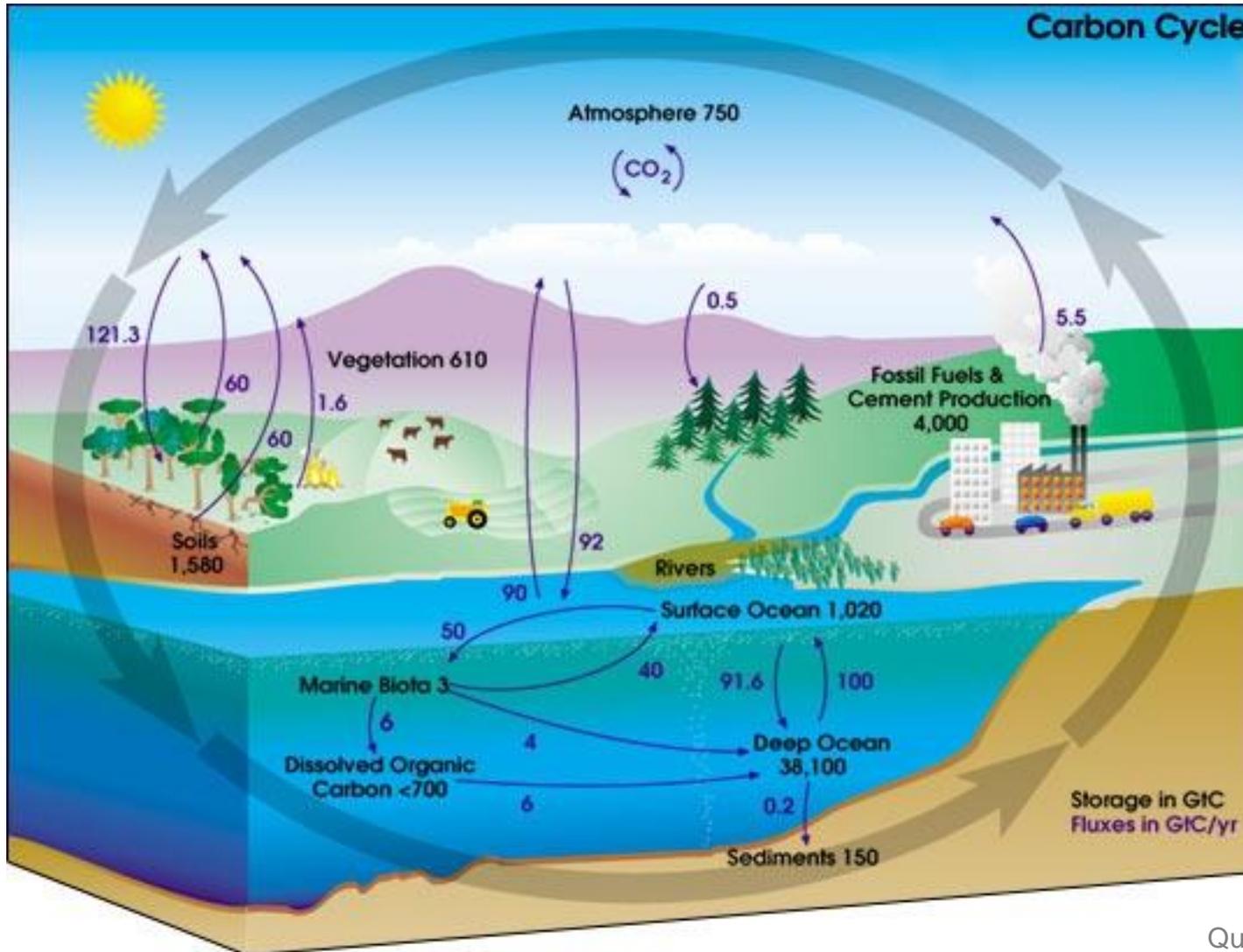
Foto: Bernhard Mühr

Was ist überhaupt Klima?

...ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Antriebsfaktoren



Kohlenstoffkreislauf



4 CO₂-
Hauptspeicher

Atmosphäre

Biosphäre

Ozean

Lithosphäre

Quelle: NASA Earth Observatory

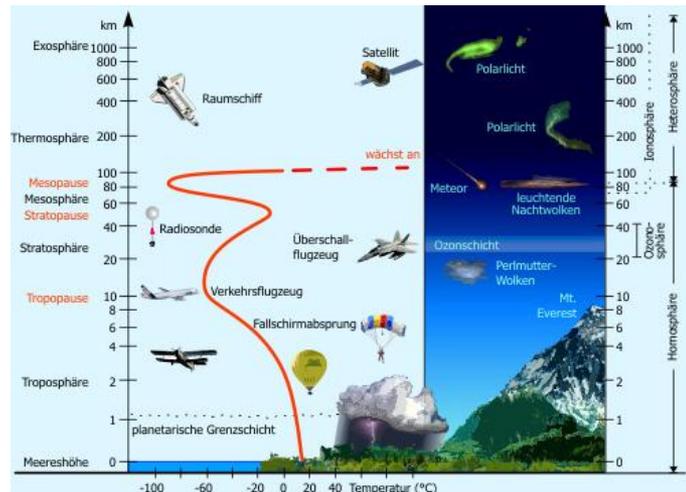
Was macht das CO₂ in unserer Atmosphäre?



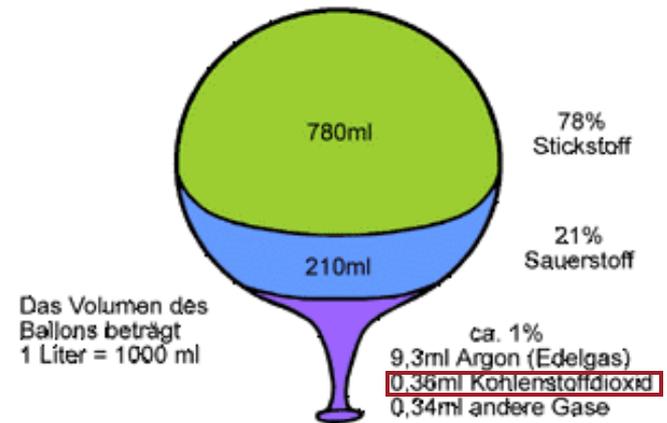
Foto: Bernhard Mühr

CO₂ in der Atmosphäre

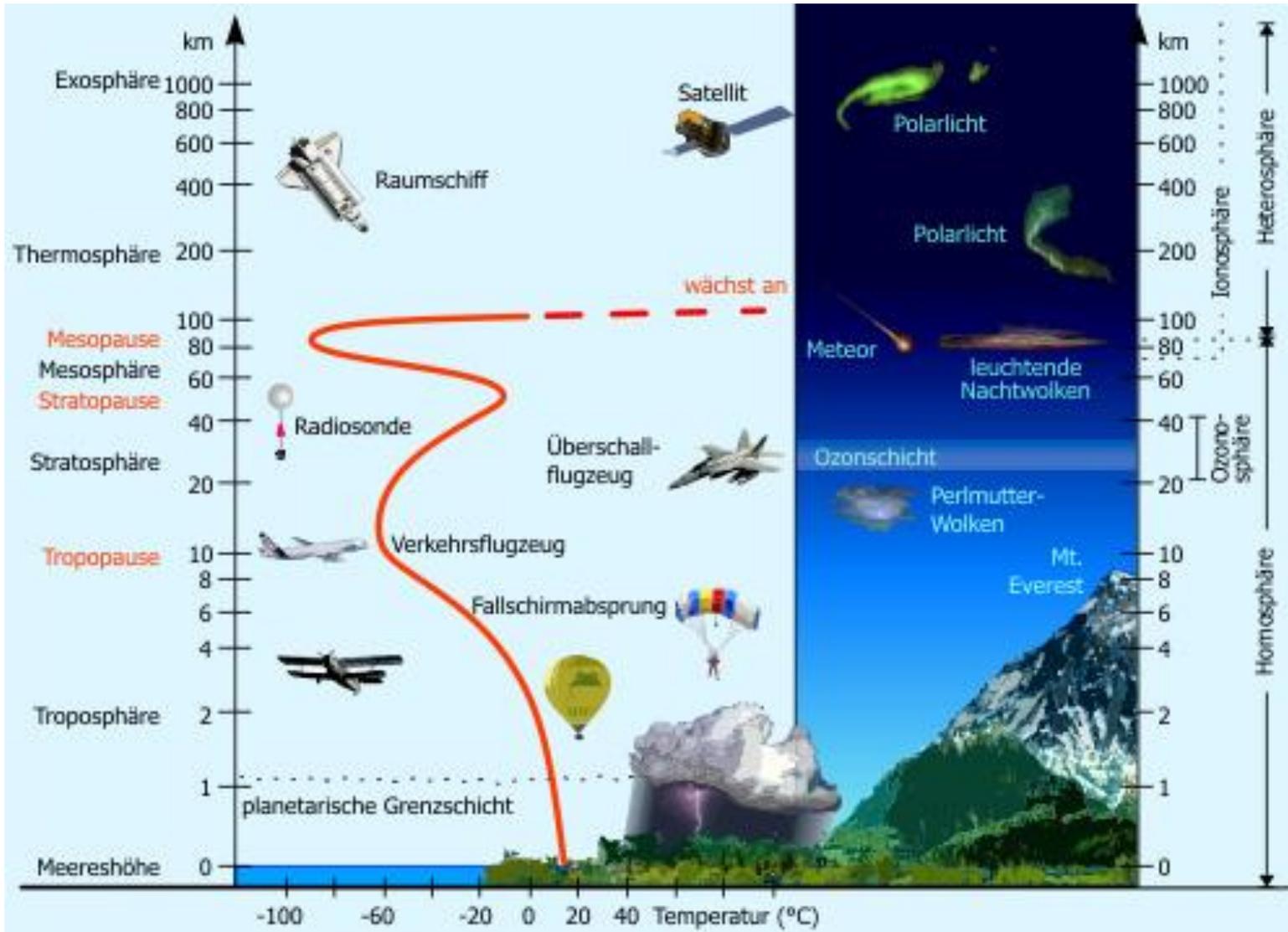
- Atmosphärisches Gas mit ~0,03 %-Anteil in der Luft
- Innerhalb der Atmosphäre gut durchmischt, mit einem derzeitigem Wert von 380 ppm
- Ein Treibhausgas
 - Natürlich
 - Anthropogen
- Einfluss auf Troposphäre und Stratosphäre



Zusammensetzung der Luft

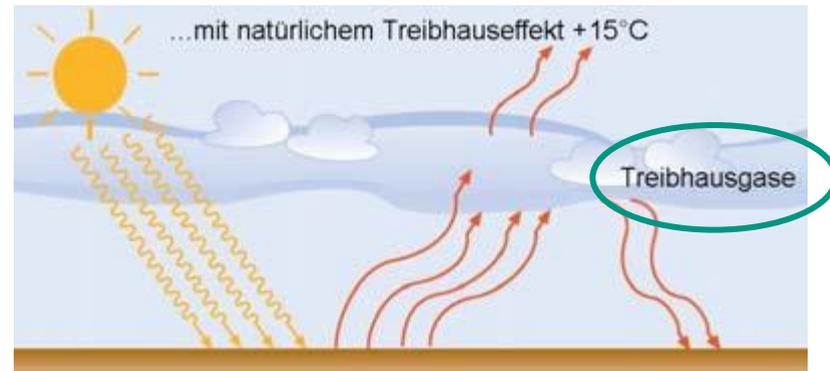


Aufbau der Atmosphäre

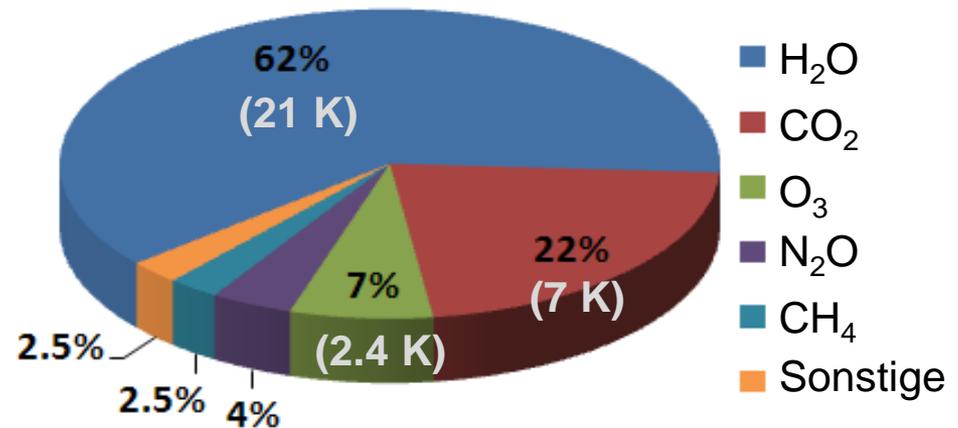


Der natürliche Treibhauseffekt

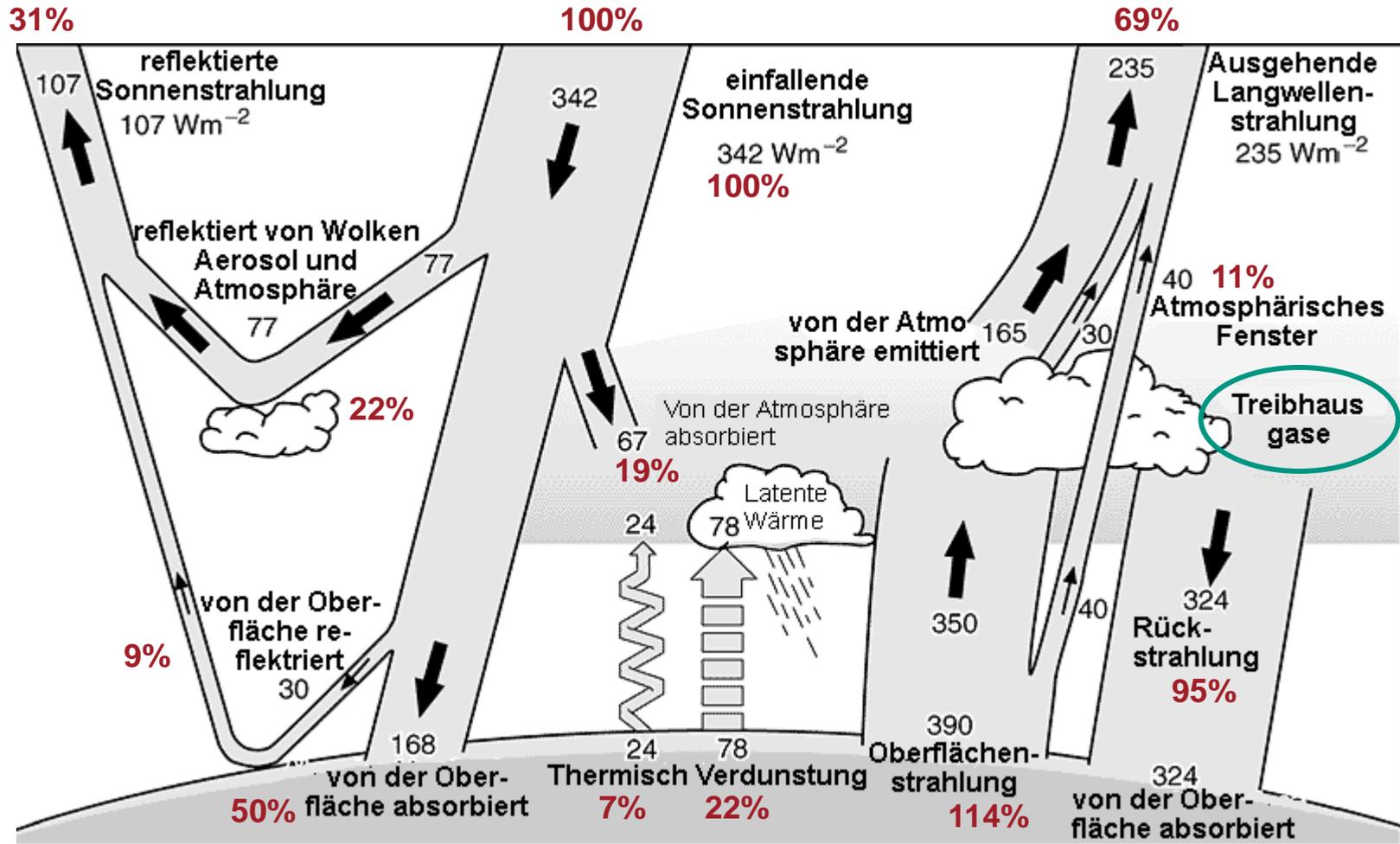
$$\Delta T = +33K$$



- Transmission solarer Strahlung
- Absorption terrestrischer Strahlung

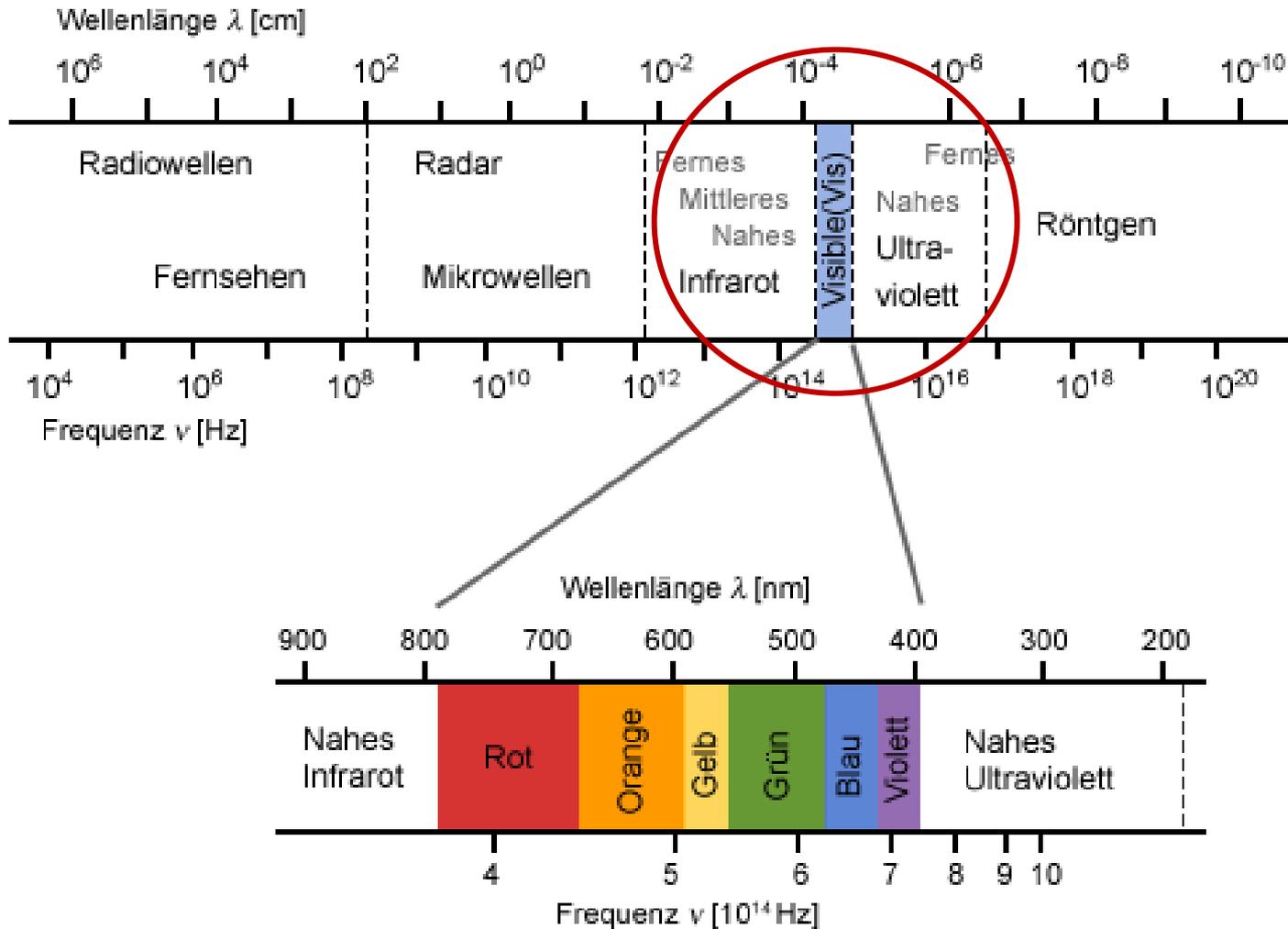


| Treibhausgas | Vorkommen 1750 | Vorkommen 2005 | Verweil- dauer (a) | Treibhauspotenzial |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|
| Kohlendioxid CO ₂ | 280 ppm | 379 ppm | 50-200 | 1 |
| Methan CH ₄ | 700 ppb | 1774 ppb | 12 | 25 |
| Lachgas N ₂ O | 270 ppb | 319 ppb | 114 | 298 |

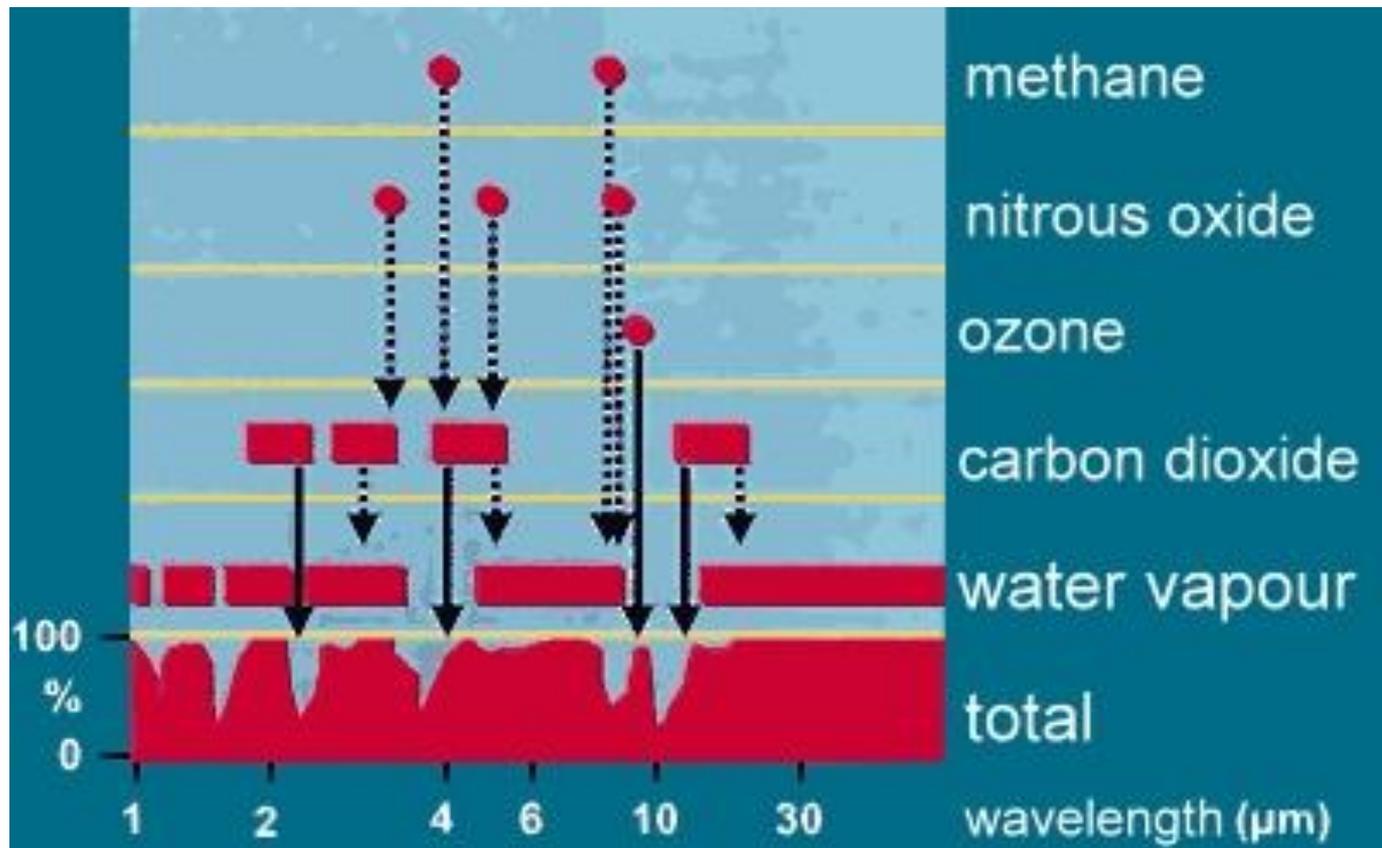
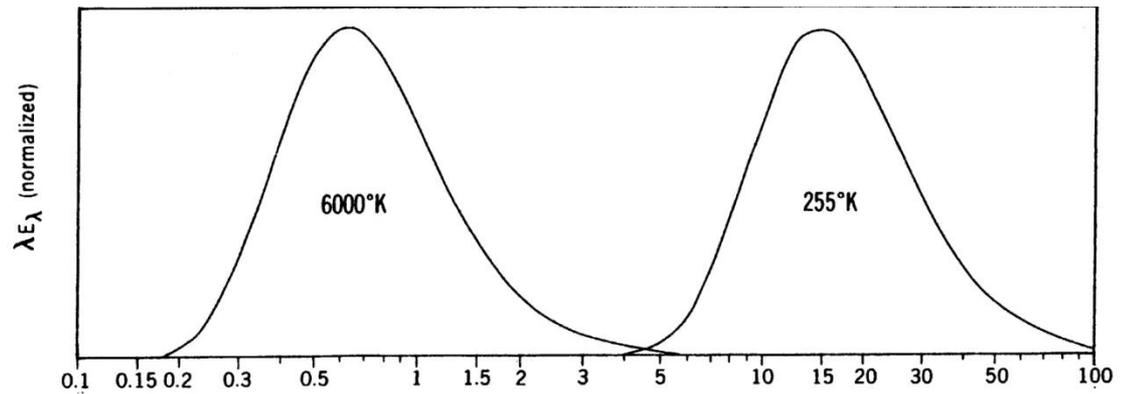


Treibhausgase sind wie ein Pullover, d.h. sie produzieren nicht mehr Energie, sondern halten diese fest

Elektromagnetisches Spektrum

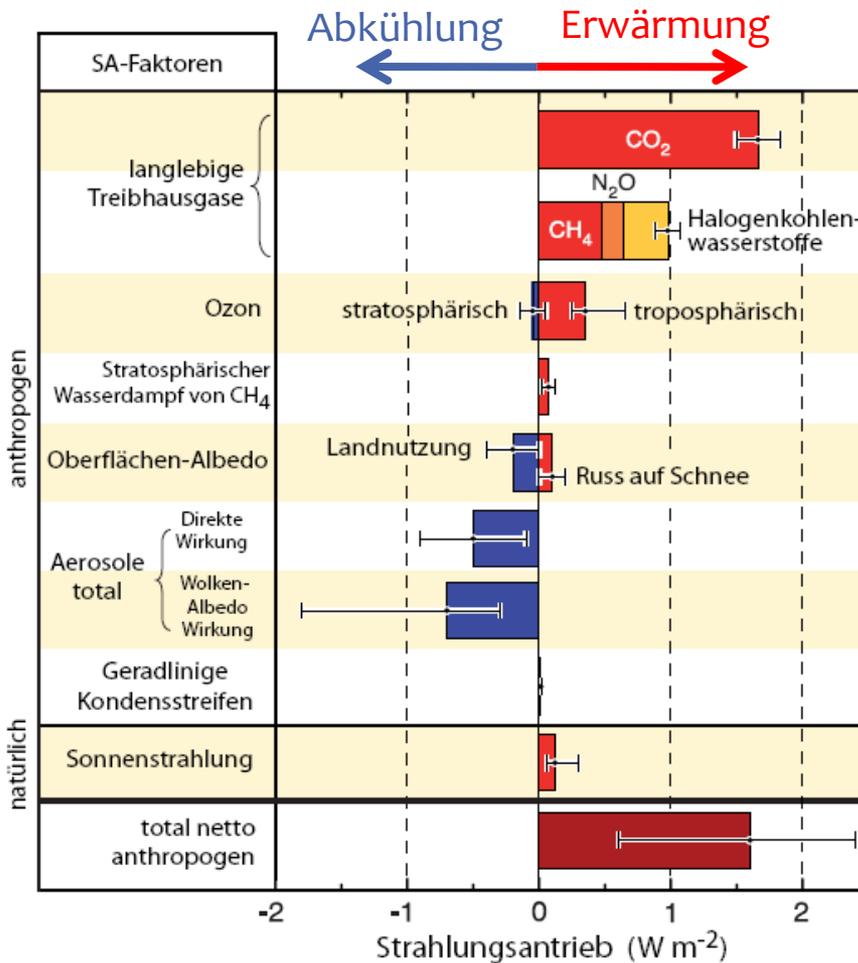


Absorptionsbanden



Quelle: Klimawebseite des Deutschen Museums
Peixoto und Oort (1992)

Strahlungsantriebe



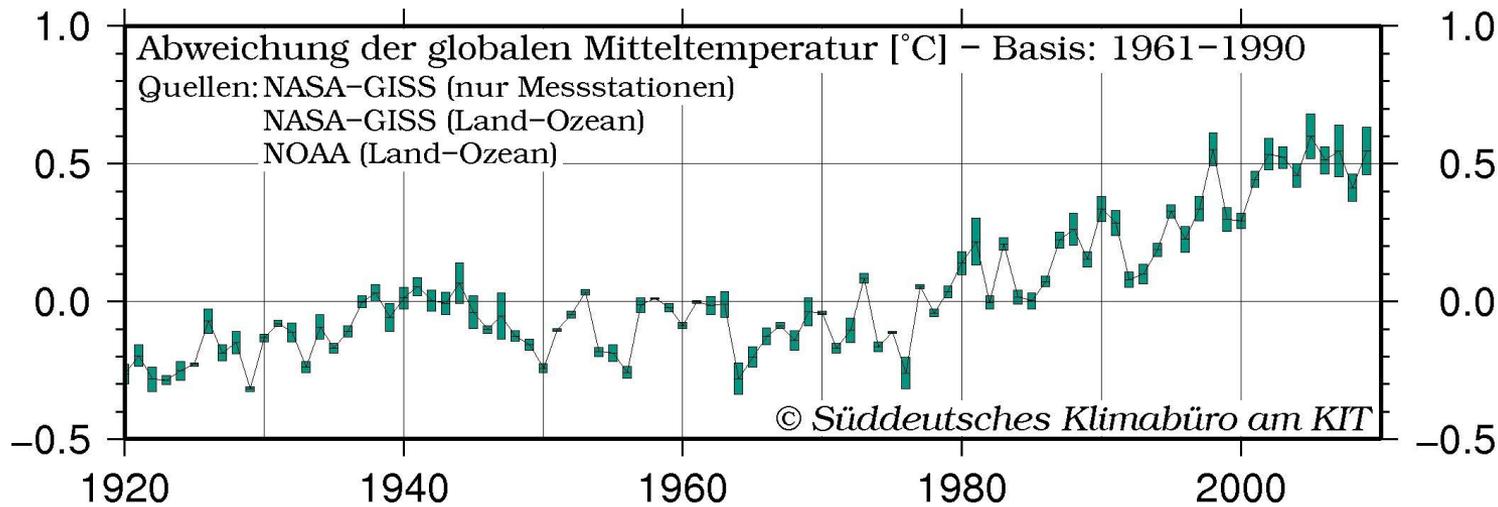
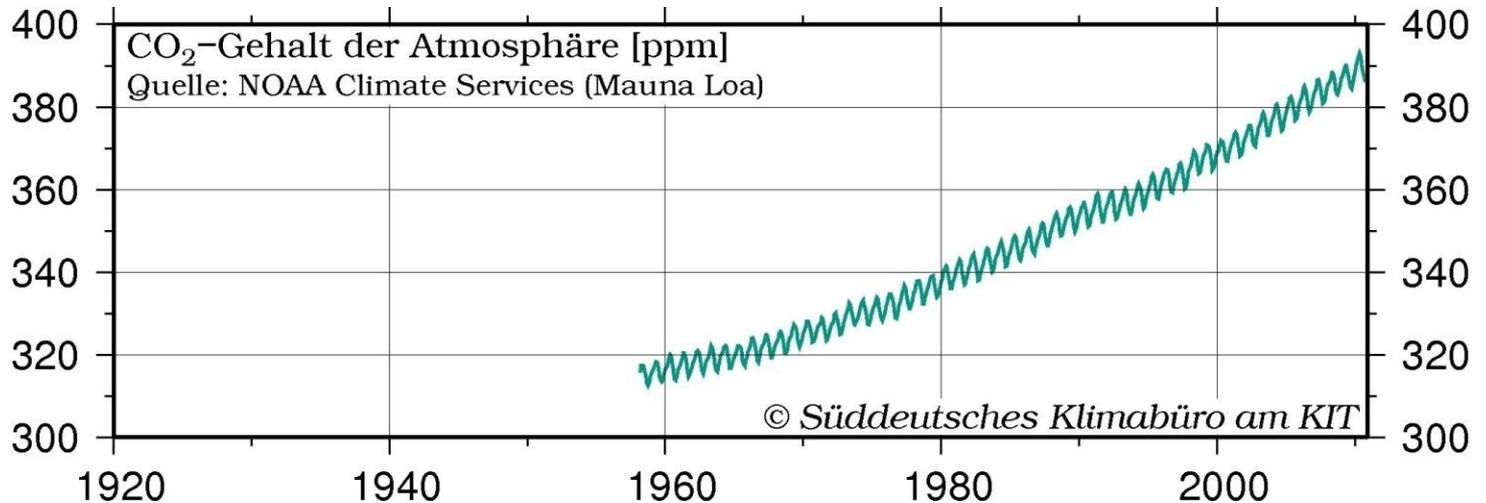
CO₂: +1,66 Wm⁻²
 CH₄: +0,48 Wm⁻²
 N₂O: +0,16 Wm⁻²
 Halogenkohlenwasserstoffe (auch FCKW): +0,34 Wm⁻²
 ...
 Aerosole: -0,5 Wm⁻²
 -0,7 Wm⁻²
 ...
 Sonne: +0,12 Wm⁻²
 Σ: +1,6 Wm⁻²



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

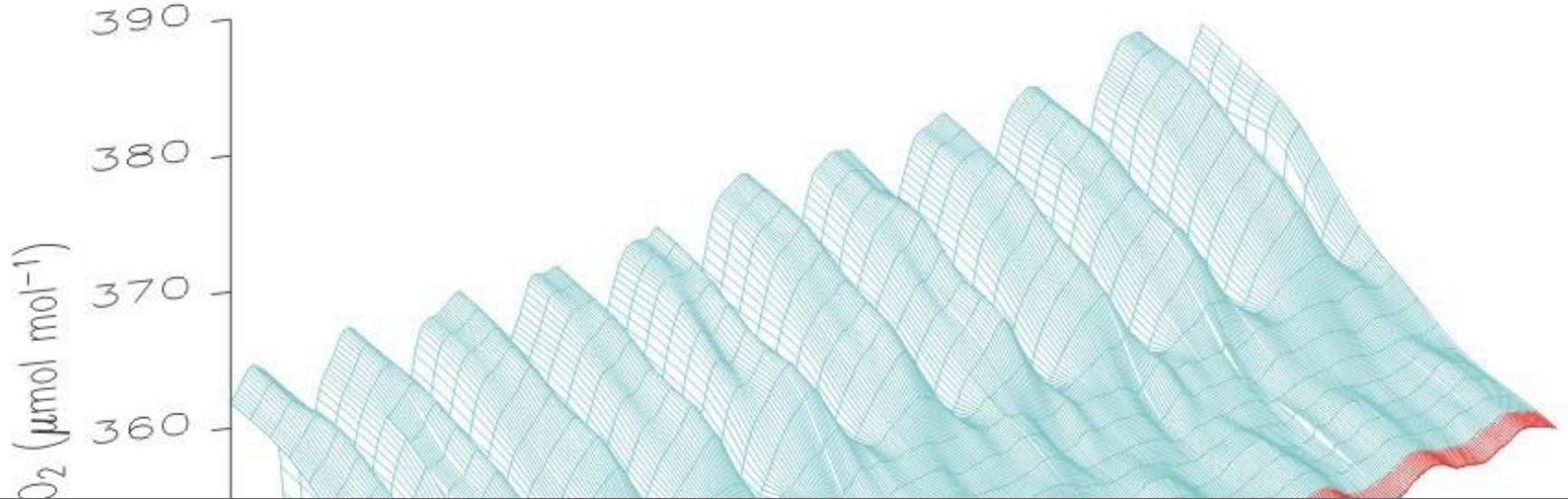
IPCC (2007)

Entwicklung des CO₂ (1958-2000)

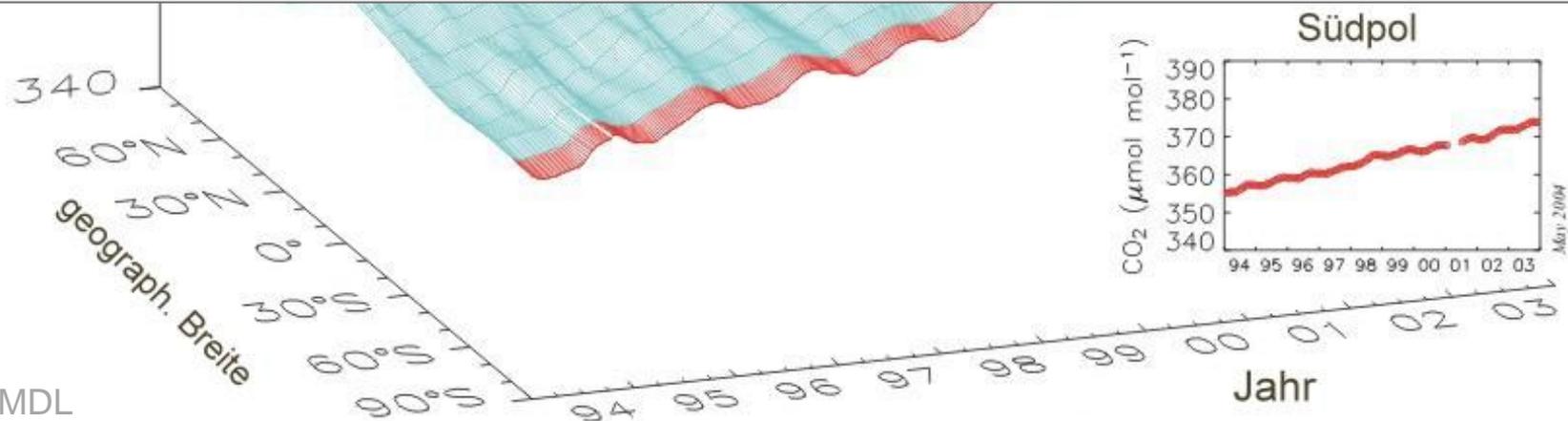


Globale Verteilung von Kohlendioxid

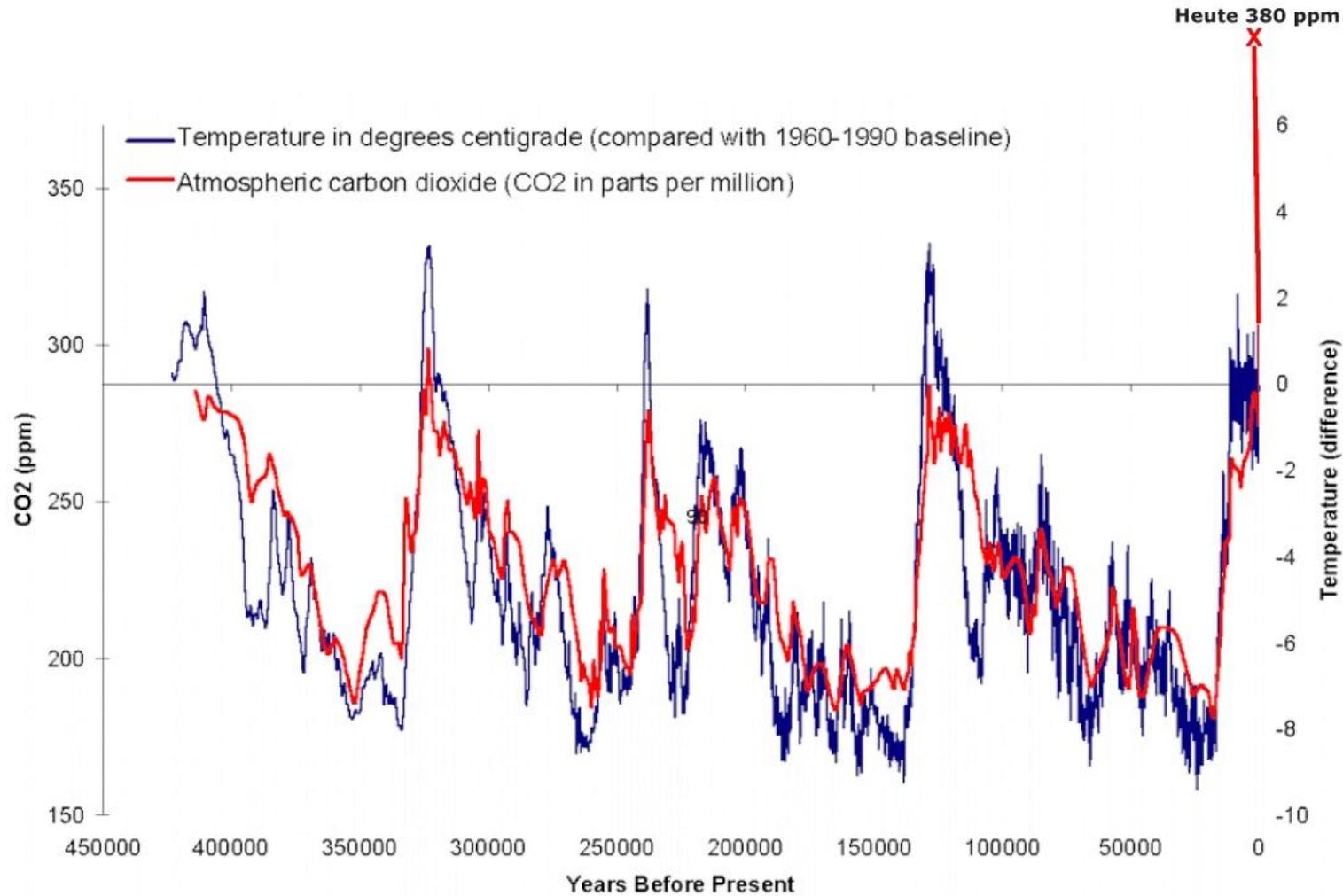
NOAA CMDL Carbon Cycle Greenhouse Gases



Höhere Werte: Ende der Heizperiode + Wachstumspause der Pflanzen im Winter
Niedrigere Werte: Ende der Wachstumsperiode (CO₂-Aufnahme der Pflanzen)



Entwicklung des CO₂ (letzte 420.000 Jahre)

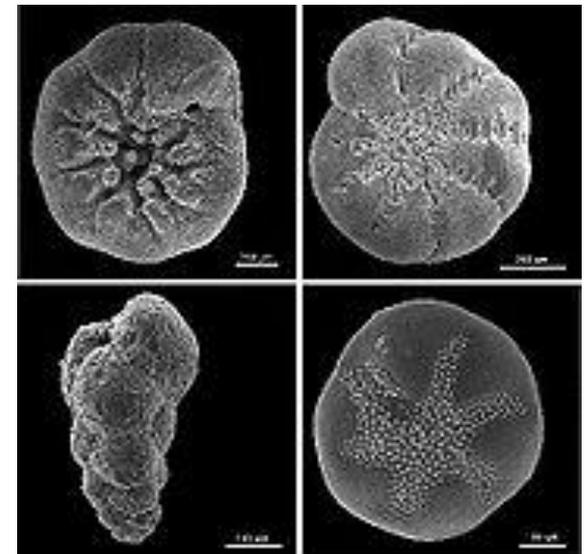


Quelle: World Data Center for Paleoclimatology, NOAA, Boulder

Klimaarchive

- Eisbohrkerne (z.B. Vostok) – Dokumentation des CO₂-Gehalts der Atmosphäre
- Rekonstruktion der CO₂-Konzentration der letzten 420.000 Jahre
- Temperaturrekonstruktionen aus dem Sauerstoff-Isotopenverhältnis (¹⁶O zu ¹⁸O)

- Rekonstruktion des CO₂ vor 420.000 Jahren mittels Kalkschalen von einzelligen Tieren (Foraminiferen, Borgehalt)



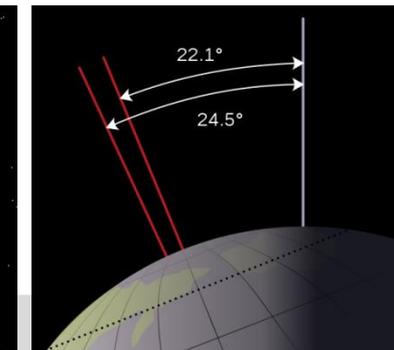
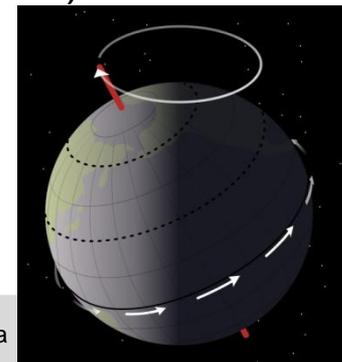
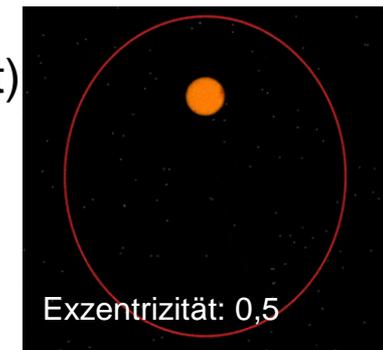
Welche Ursachen können eine Rolle spielen?



Foto: Bernhard Mühr

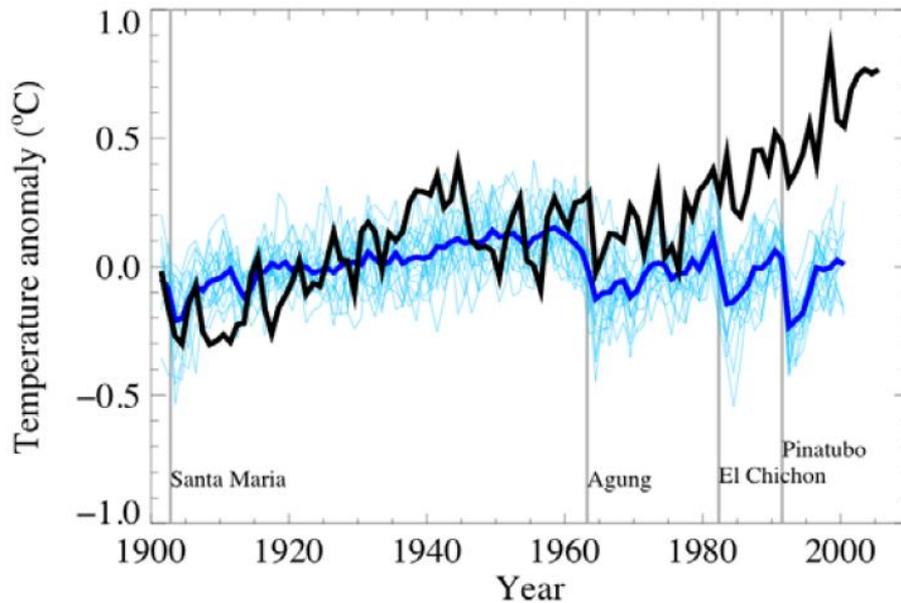
Klimaänderungen in der Vergangenheit

- Schwankungen der globalen Mitteltemperatur in letzten Jahrmillionen zwischen 9 und 16 °C
 - Änderung der Erdbahnparameter (Milanković-Zyklen)
 - Exzentrizität (100.000 Jahre)
 - Neigung der Erdachse (41.000 Jahre)
 - Präzession der Erdrotationsachse (~26.000 Jahre)
 - Änderung der Solarkonstanten
 - Änderung der Erdoberfläche (Landnutzung, Kontinentaldrift)
 - Änderung des Stoffhaushaltes der Atmosphäre (z.B. Treibhausgaskonzentration, Aerosole)
 - Vulkanismus
 - Natürliche Klimaschwankungen (ENSO, NAO)

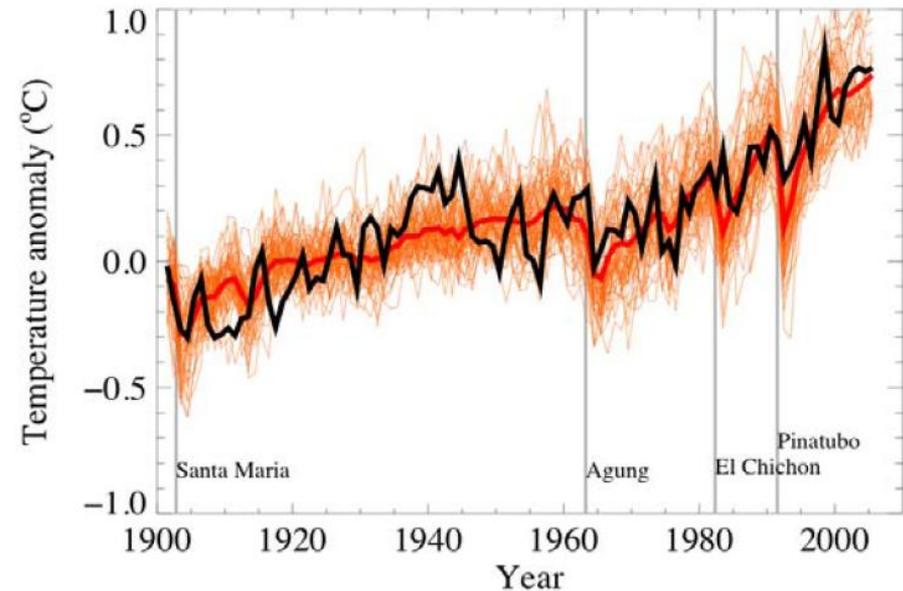


Der anthropogene Treibhauseffekt

Simulationen mit natürlichem Antrieb



Simulationen mit natürlichem und anthropogenem Antrieb



Quelle: IPCC(2007)

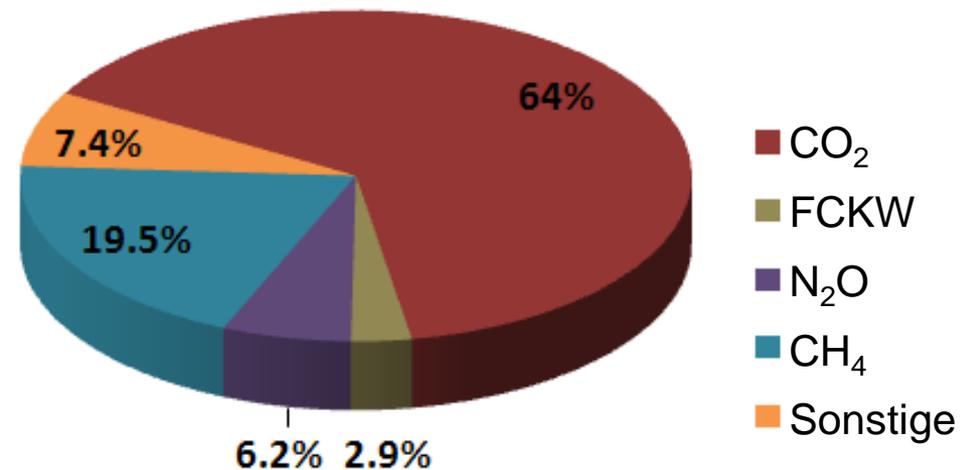
Der anthropogene Treibhauseffekt

- Stetig steigende Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre seit Beginn der Industrialisierung
 - Verbrennung fossiler Energien
 - Entwaldung (→ Einfluss auf CO₂-Anstieg in der Atmosphäre)
 - Düngung (N₂O)
 - Landwirtschaft (CH₄, z.B. Kühe, Reisanbau)

- Seit 1750 bis zur Gegenwart:
 - Zunahme des CO₂ um 35 %
 - Zunahme des CH₄ um 148 %
 - Zunahme des N₂O um 18 %

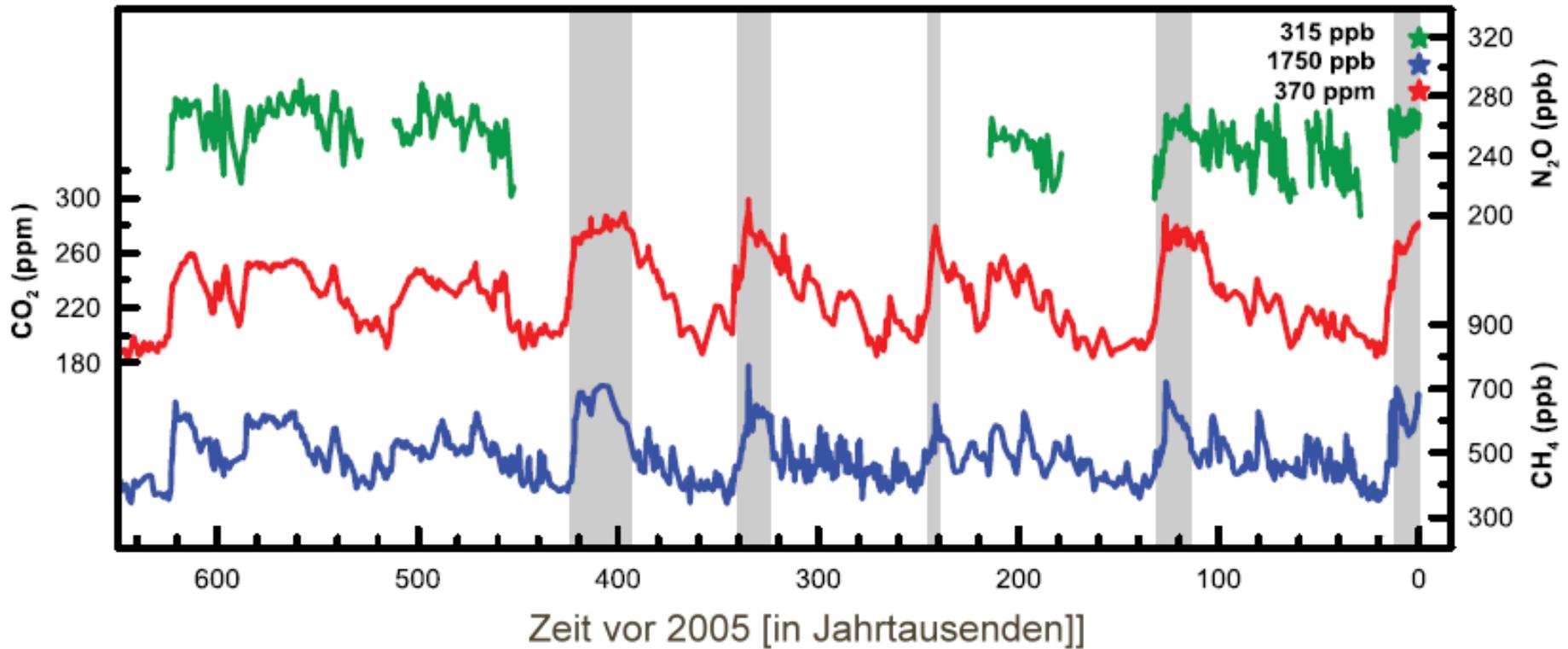


Veränderung in der Strahlungsbilanz
Verstärkung des Treibhauseffektes



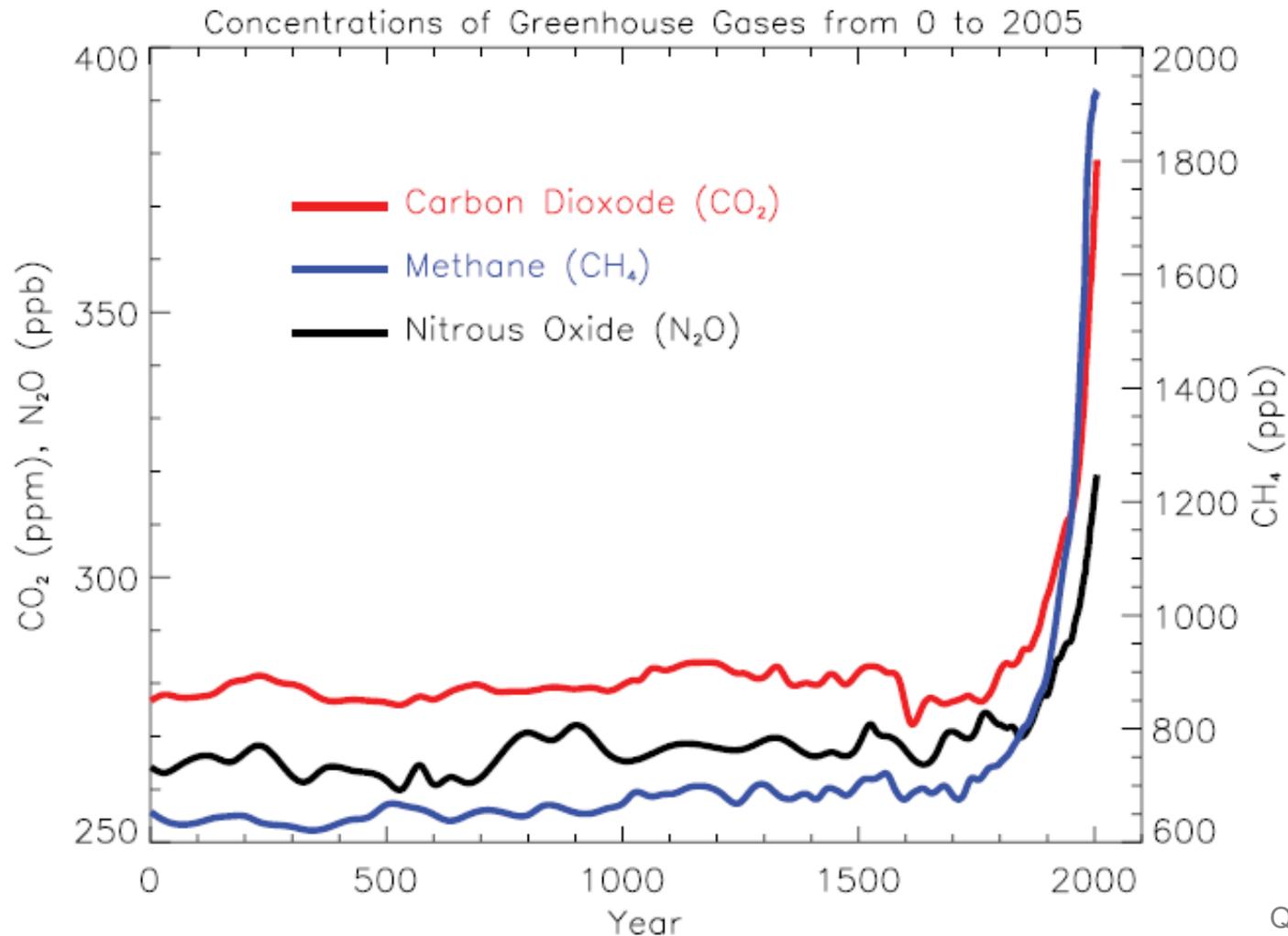
Quelle: BMU 2010
IPCC 2007

Entwicklung der Treibhausgase (letzte 650.000 Jahre)



Quelle: IPCC (2007)

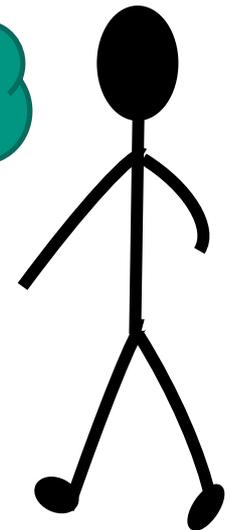
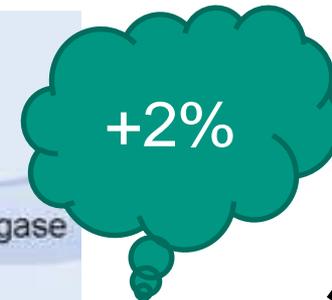
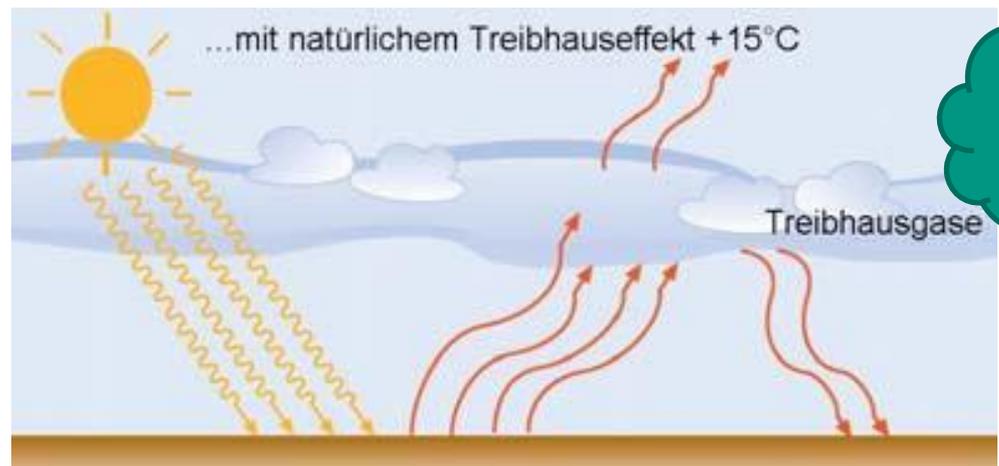
Entwicklung der Treibhausgase (letzte 650.000 Jahre)



Quelle: IPCC (2007)

Der anthropogene Treibhauseffekt

$$\Delta T = +33K$$



$$+0.7K$$

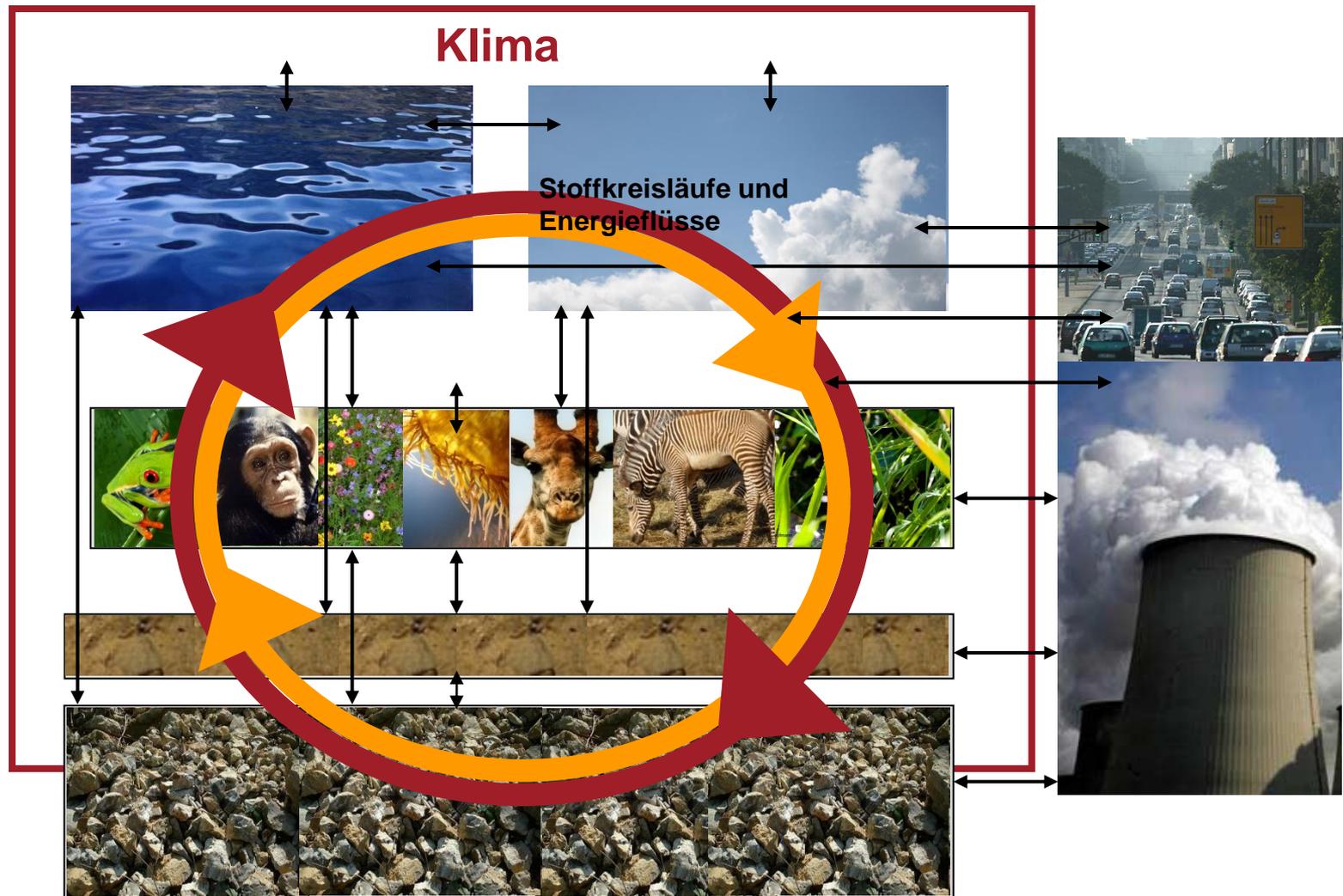
- Bei weiteren ungebremsten Entwicklung globaler Treibhausgase („business as usual“) mittlere Temperaturerhöhung bis zu 6 K bis 2100

Quelle: IPCC (2007)

Mit welchen Folgen/Risiken müssen wir rechnen?



Foto: Bernhard Mühr

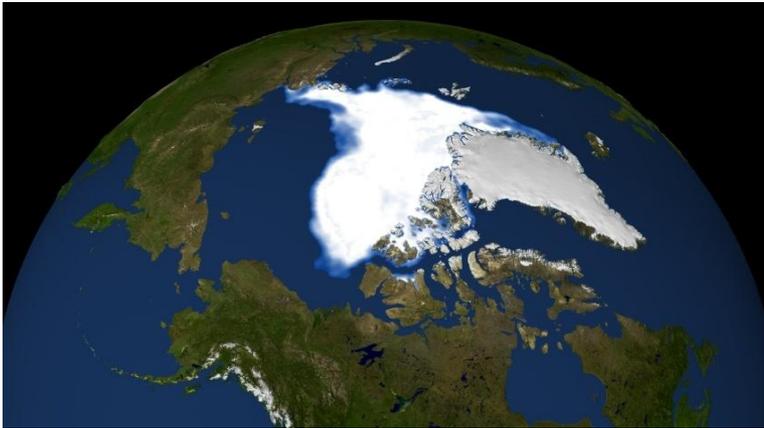


Arktisches Meereis

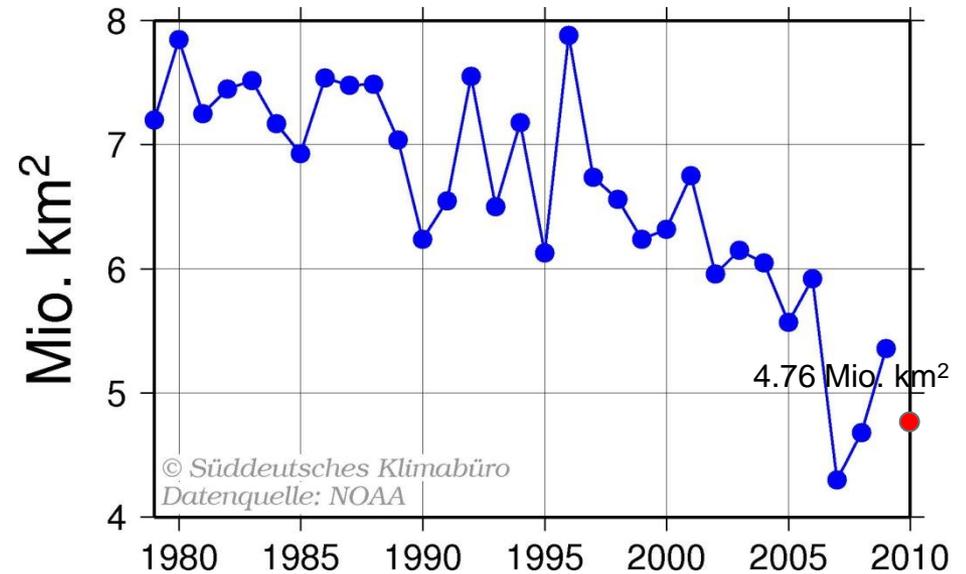
September 1979



September 2007



Meereisausdehnung in September



Eine Abnahme von **± 3 Mio. km²**

Das entspricht **3 Mal** der Landesfläche von **Deutschland und Frankreich** zusammen!

Ozeane

- Meeresspiegelanstieg
 - 17 cm im 20. Jahrhundert
 - Seit Beginn der Satellitenmessungen (1993) mit doppelter Rate (3,4 cm/Jahrzehnt) zunehmend
- Veränderung der Ozean-Zirkulation, insbesondere Nordatlantik
- Abnahme der CO₂-Aufnahmefähigkeit
 - Südpolarmeer absorbierte seit 1981 pro Jahrzehnt 5-30 % weniger CO₂
- Versauerung der Meere
 - Einfluss auf marine Ökosysteme
 - lösen beispielsweise Kalkschalen von Meeresbewohnern auf, besonders gefährdet: Kaltwasserkorallen



Gletscher



um 1900

Aletschgletscher (Schweiz)



2005



vor 1906

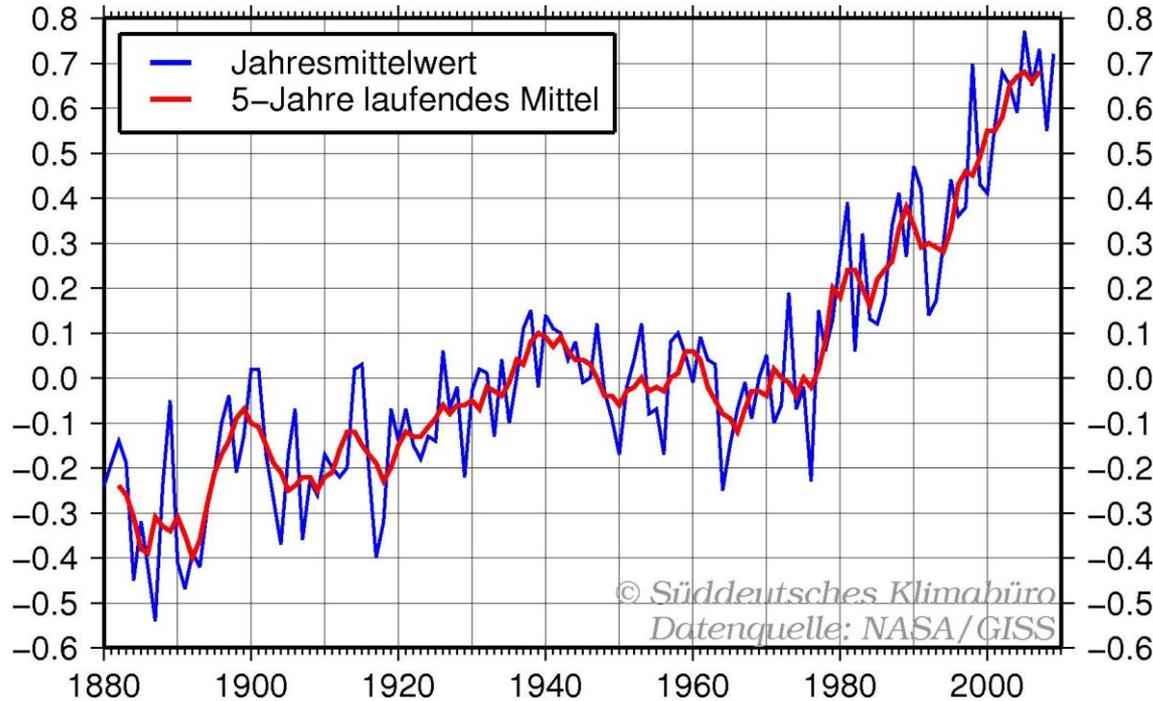
Rhonegletscher (Schweiz)



2003

Quelle: www.gletscherarchiv.de

Globaler Temperaturverlauf

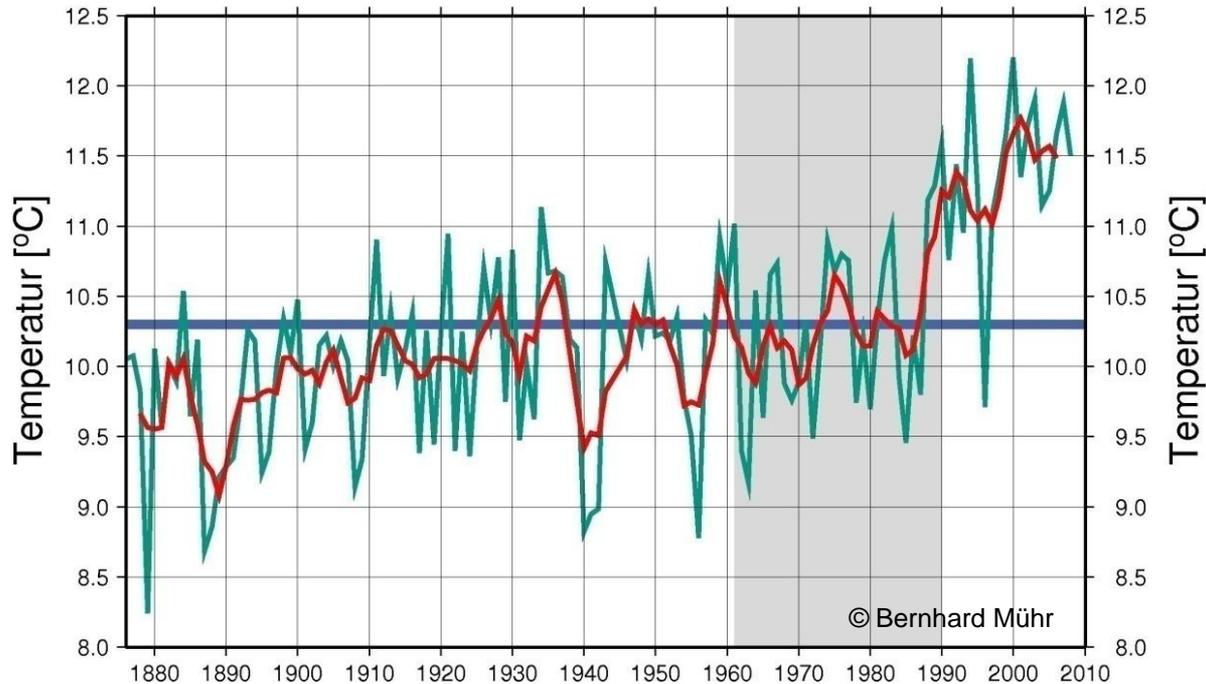


| | | |
|----|------|-------|
| 1 | 2005 | +0,77 |
| 2 | 2007 | +0,73 |
| 3 | 2009 | +0,72 |
| 4 | 1998 | +0,70 |
| 5 | 2002 | +0,68 |
| 6 | 2006 | +0,65 |
| 7 | 2003 | +0,65 |
| 8 | 2004 | +0,59 |
| 9 | 2001 | +0,56 |
| 10 | 2008 | +0,55 |

9 der 10 wärmsten Jahre seit 2000

Karlsruher Temperaturverlauf

Jahresmitteltemperatur in Karlsruhe



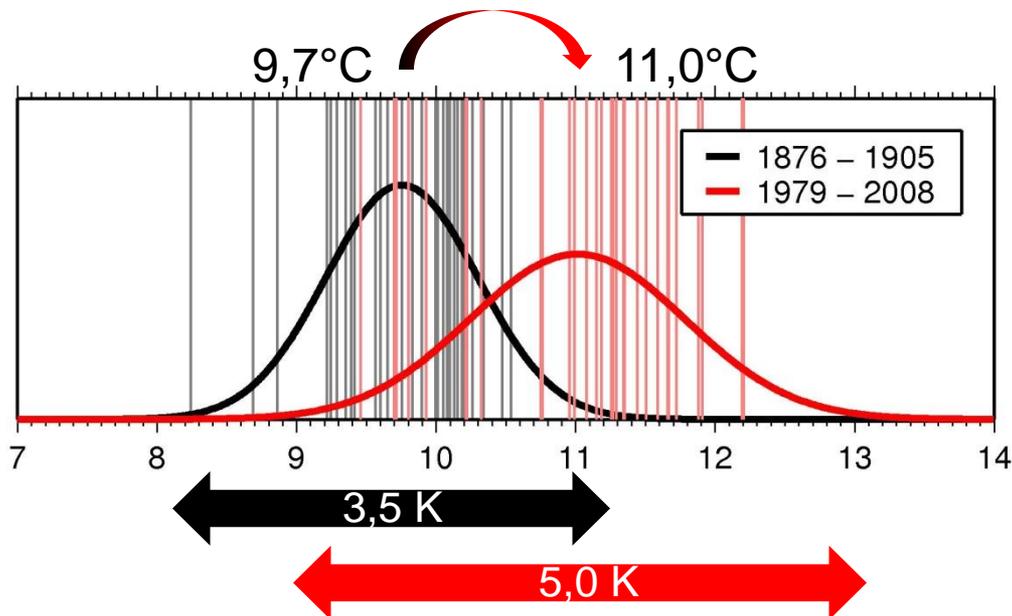
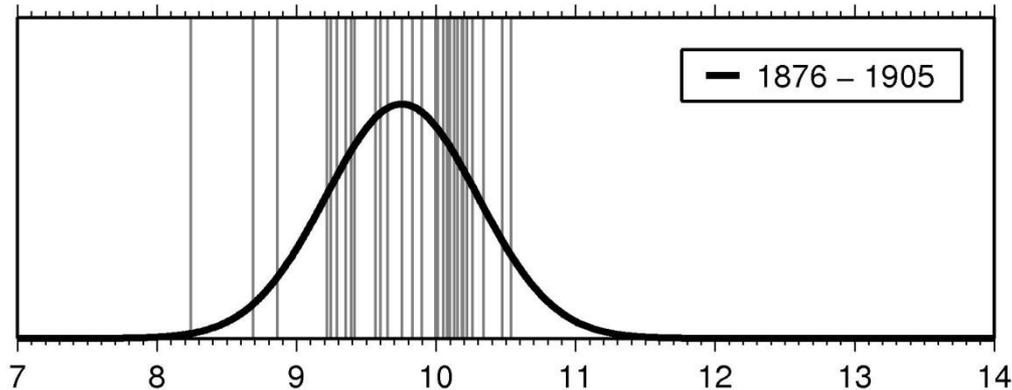
1961-1990: 10.3°C

| | | |
|----|------|-------|
| 1 | 2000 | +1,90 |
| 2 | 1994 | +1,89 |
| 3 | 2003 | +1,61 |
| 4 | 2007 | +1,58 |
| 5 | 2002 | +1,42 |
| 6 | 1999 | +1,36 |
| 7 | 2006 | +1,36 |
| 8 | 1990 | +1,29 |
| 9 | 2008 | +1,20 |
| 10 | 1992 | +1,14 |

6 der 10 wärmsten Jahre seit 2000

Karlsruher Temperaturverlauf

Häufigkeitsverteilung



Was auffällt:

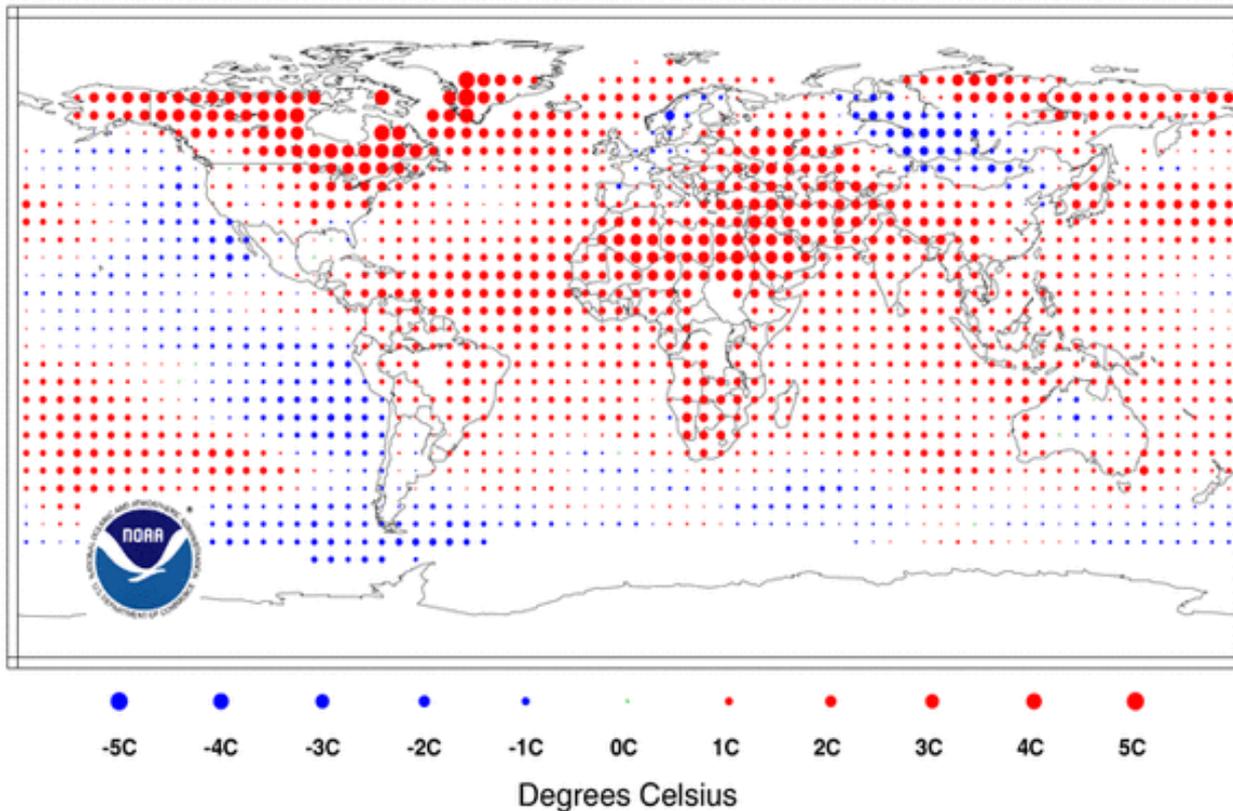
- Verschiebung der mittleren Temperatur ($9,7^{\circ}\text{C} \rightarrow 11,0^{\circ}\text{C}$)
- Größerer Schwankungsbereich zwischen Minimum- und Maximumtemperatur ($3,5 \text{ K} \rightarrow 5,0 \text{ K}$)

Abweichung der globalen Durchschnittstemperatur von 2010

Temperature Anomalies Jan-Nov 2010

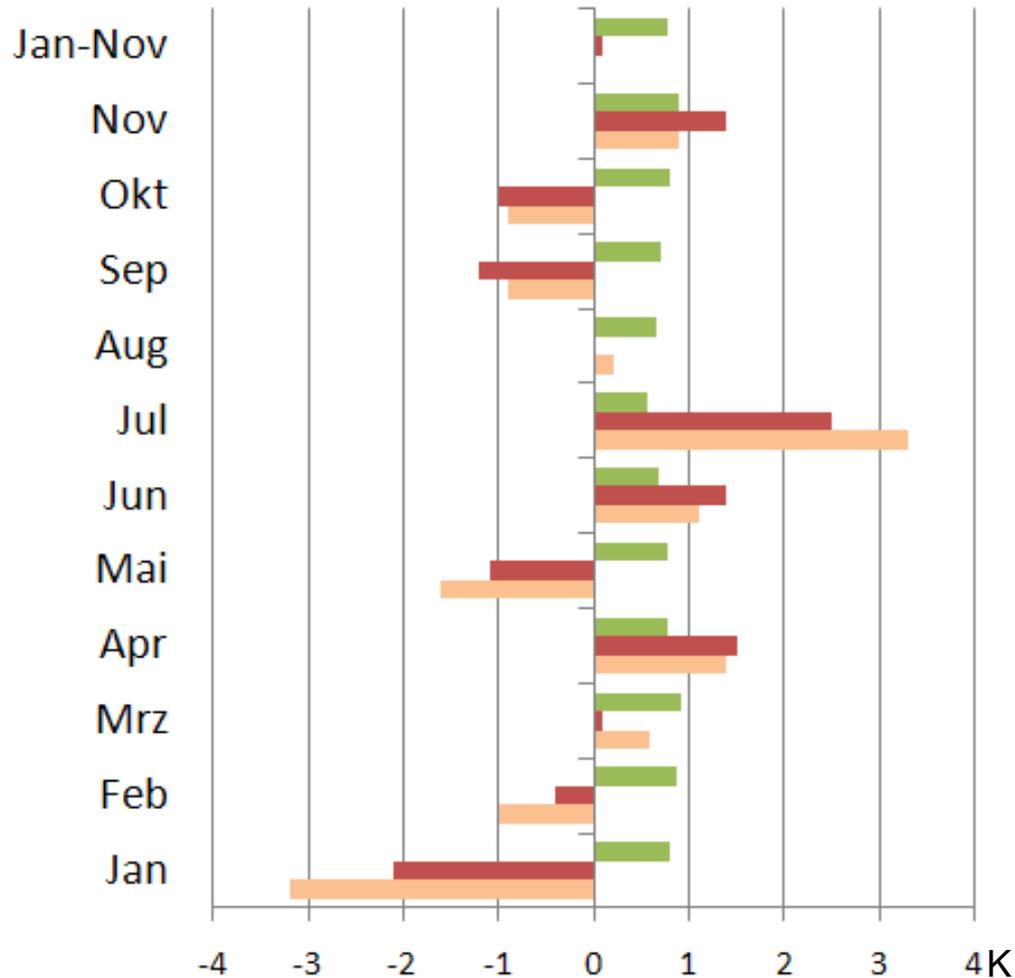
(with respect to a 1971-2000 base period)

National Climatic Data Center/NESDIS/NOAA



Global:
Mai 2009-April 2010
wärmste
12-Monatsperiode
seit Beginn der
Datenaufzeichnung
im Jahre 1880
(NASA)

Abweichung der Durchschnittstemperatur von 2010 (global und regional)



■ global
■ Baden-Württemberg
■ Deutschland

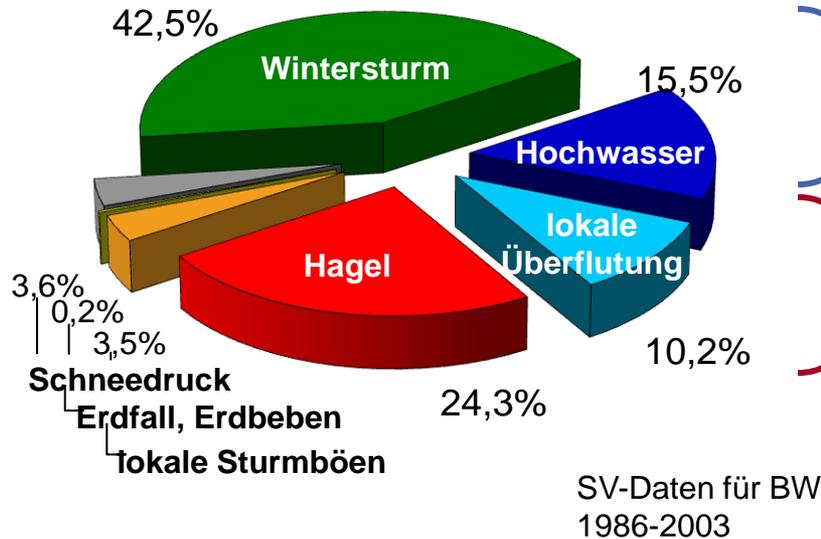
Bezugszeitraum: 1961-1990

Daten für Deutschland und Baden-Württemberg: DWD
Daten global: NASA

Wettergefahren

- Hitzewellen, Frost
- Hochwasser, Hagel, Dürre
- Winterstürme, Gewitterstürme

Zuordnung der Schadensanteile zu Wettersystemen:



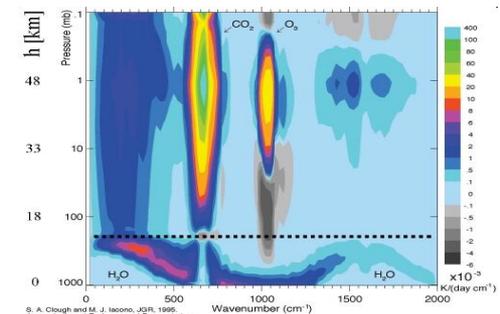
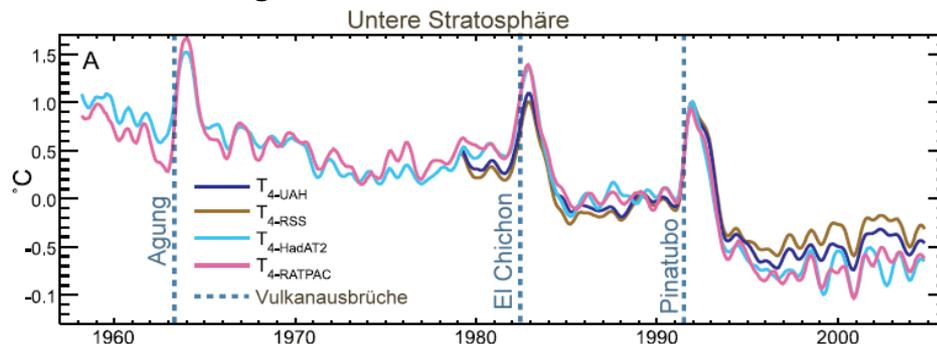
synoptisch-skalige
Wettersysteme
→ 62%
Schadensumme

lokal-skalige
Wettersysteme
→ 38%
Schadensumme



Abkühlung der Stratosphäre

- Abbau des stratosphärischen Ozons
 - Weniger Ozon → geringere Absorption von UV-Strahlung
 - Ozon wirkt in unterer Stratosphäre auch als Treibhausgas
- Anstieg des atmosphärischen CO₂
 - Starke Absorption auf 15 µm-Bande
 - Hauptteil der von Erde ausgehenden Infrarotstrahlung nahe der Erdoberfläche absorbiert
 - geringer Teil in oberer Troposphäre und unterer Stratosphäre
 - Emission aufgefangener Wärmestrahlung Richtung Weltraum durch CO₂
 - Höher in Stratosphäre als „Absorptionsenergie“
 - Netto-Energieverlust



Quelle: IPCC (2007)
 Clough and Iacono (1995)

Einfluss auf die Photosynthese



„Steigerung“ des
Pflanzenwachstums

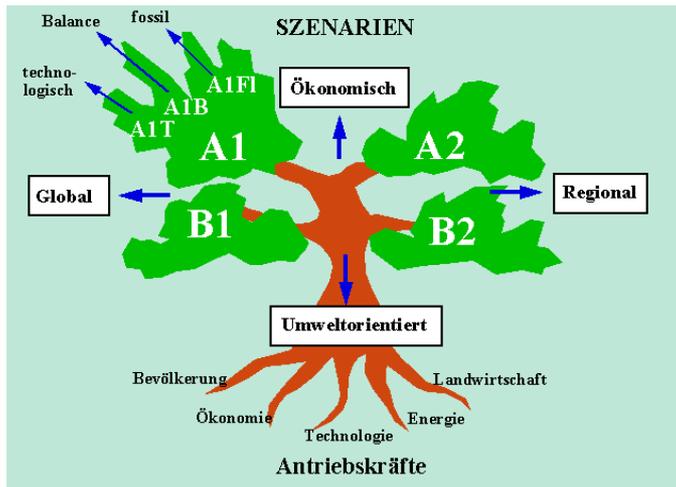
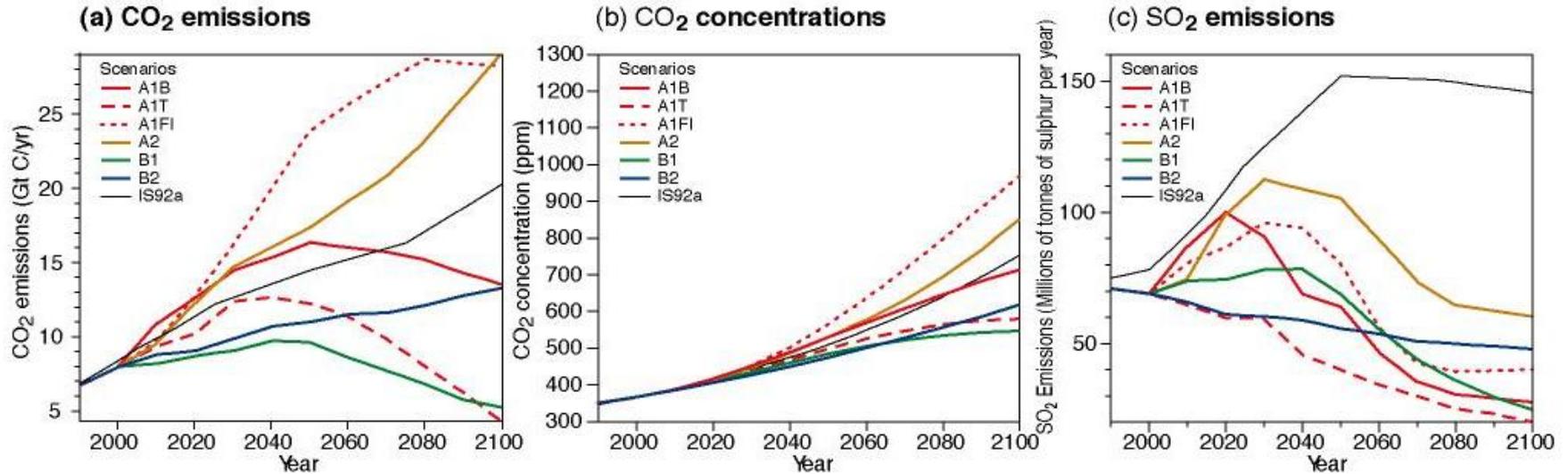
Verlängerung der
Photosynthesezeiten

Anbaumöglichkeiten
in trockeneren
Gebieten



Stress

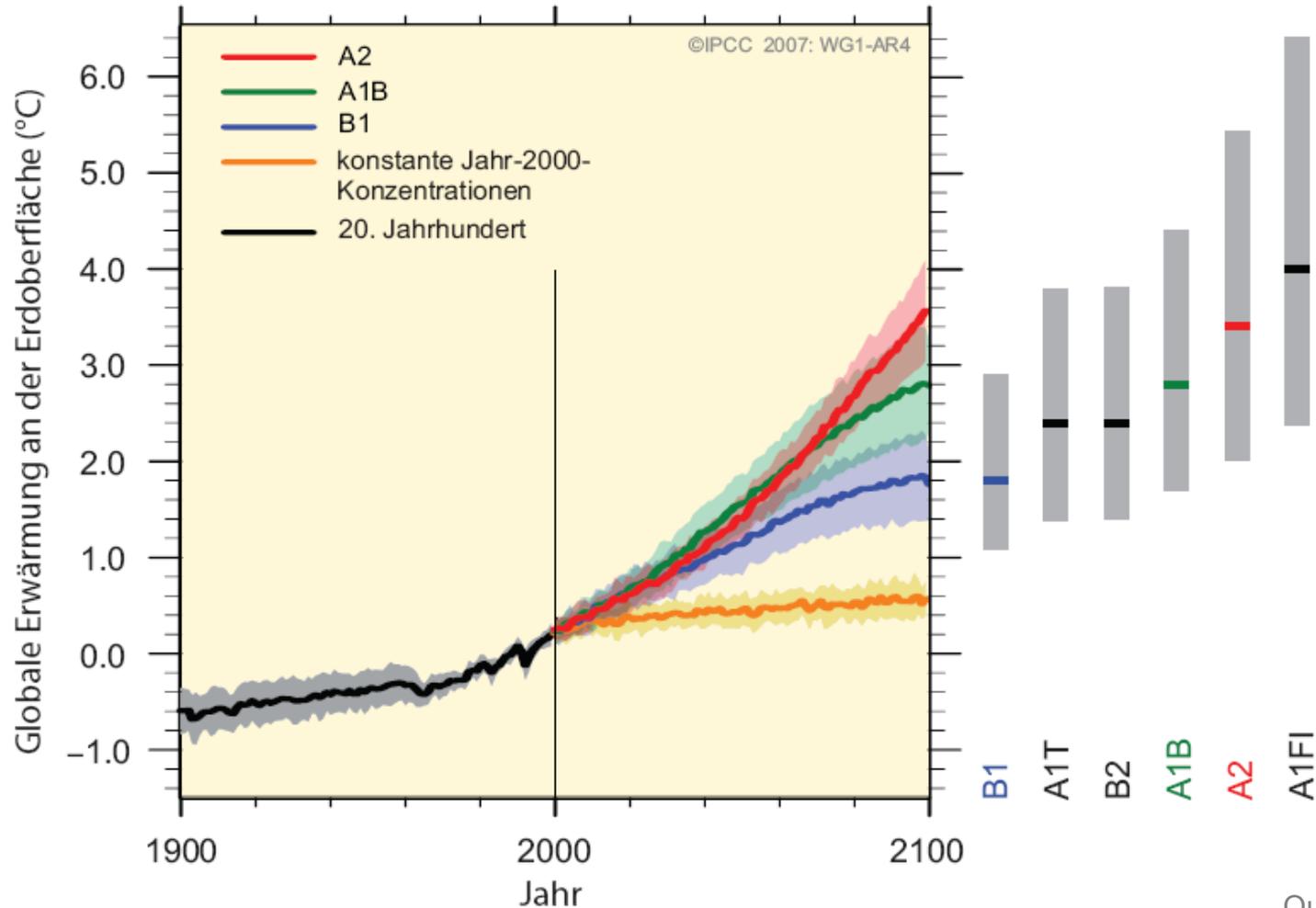
Entwicklung des CO₂ (in der Zukunft)



Quelle: IPCC (2007)

Globale Erwärmung – verschiedene Szenarien

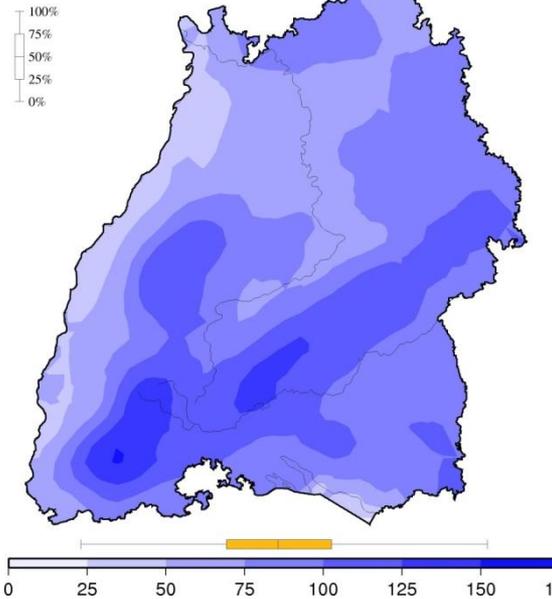
MULTIMODELL-MITTEL UND GESCHÄTZTE BANDBREITEN FÜR DIE ERWÄRMUNG AN DER ERDOBERFLÄCHE



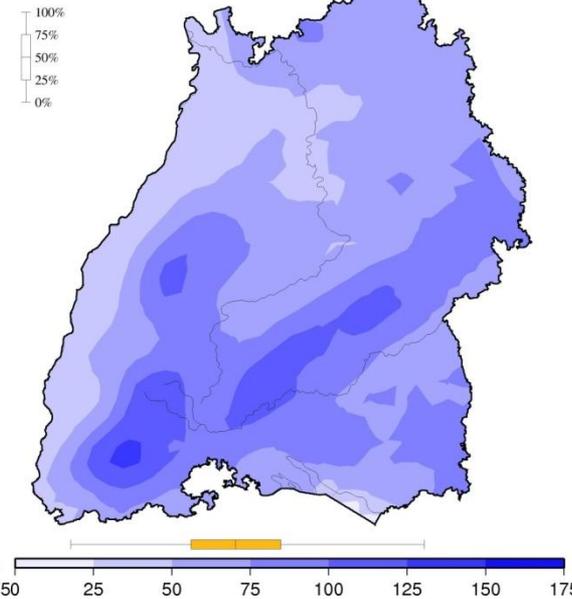
Quelle: IPCC (2007)

Änderung der Frosttage

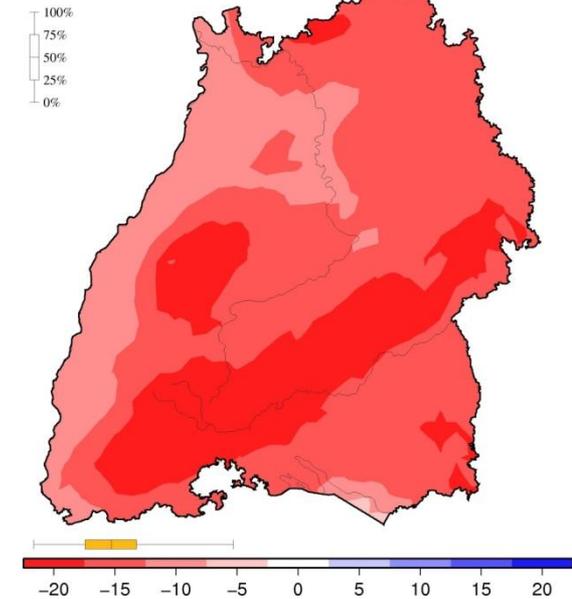
Zahl der Frosttage
Mittel: 1971–2000
(Datengrundlage: COSMO-CLM)



Zahl der Frosttage
Mittel: 2011–2040
(Datengrundlage: COSMO-CLM)



Zahl der Frosttage
Differenz 1971–2000 zu 2011–2040
(Datengrundlage: COSMO-CLM)



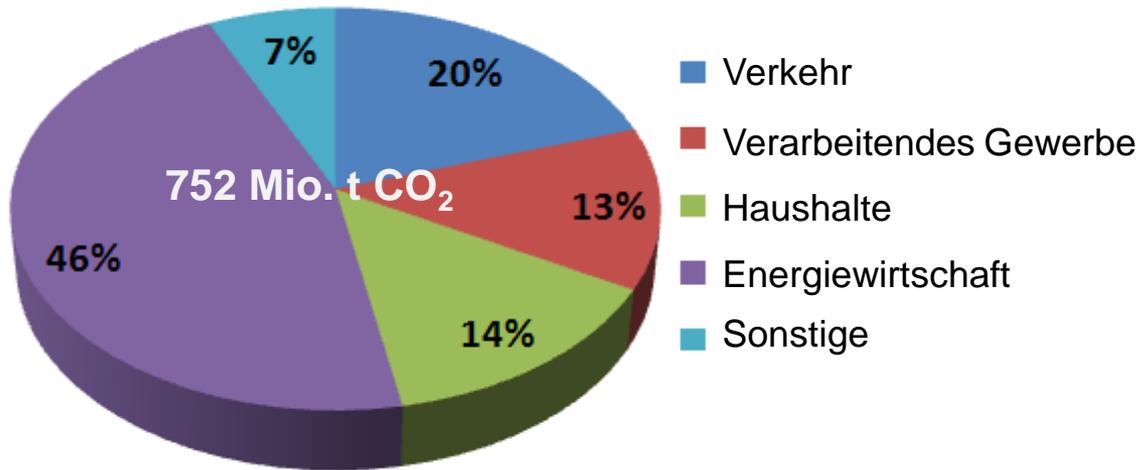
Quelle: IMK-TRO/KIT (2010) in Klimawandel in Baden-Württemberg

Welche Möglichkeiten des Handelns gibt es?



Foto: Bernhard Mühr

CO₂-Emissionen, 2008



Quelle: BMWI-Energiedaten

...Handlungsoptionen

- Energieeinsparungen
 - Haushalt (Stromverbrauch, Raumheizung)
 - Verkehr
 - Bauwesen (Niedrigenergiehäuser etc.)
- Förderung von Erneuerbaren Energien
- Anpassungsmaßnahmen
- Geo- /Climate-engineering
 - Beeinflussung des Strahlungshaushaltes (Solar Radiation Management, SRM)
 - Entfernen von CO₂ aus der Atmosphäre (Carbon Dioxide Removal)
 - CO₂-Speicherung (Carbon Capture und Storage, CCS)
 - Aufforstung/nachhaltige Holznutzung
 - Eisendüngung der Ozeane
- ...

Zusammenfassung

- CO₂-Anteil am
 - Natürlichen Treibhauseffekt: ~ 20 %
 - Anthropogenen Treibhauseffekt: ~ 60 %
- } Verändert
Strahlungshaushalt
der Erde
- Erwärmung der Troposphäre und Abkühlung der Stratosphäre
 - Klimageschichte zeigt:
 - Auf Veränderungen in der Strahlungsbilanz hat die Erde stets empfindlich reagiert
 - Weitreichende Folgen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

SÜDDEUTSCHES KLIMABÜRO / KIT-ZENTRUM KLIMA UND UMWELT

Kontakt:

christina.endler@kit.edu

klimabuero@kit.edu

0721/603-42831

