

CO₂ im Klimasystem

F. Joos & Urs Lauerburg (Experimente)

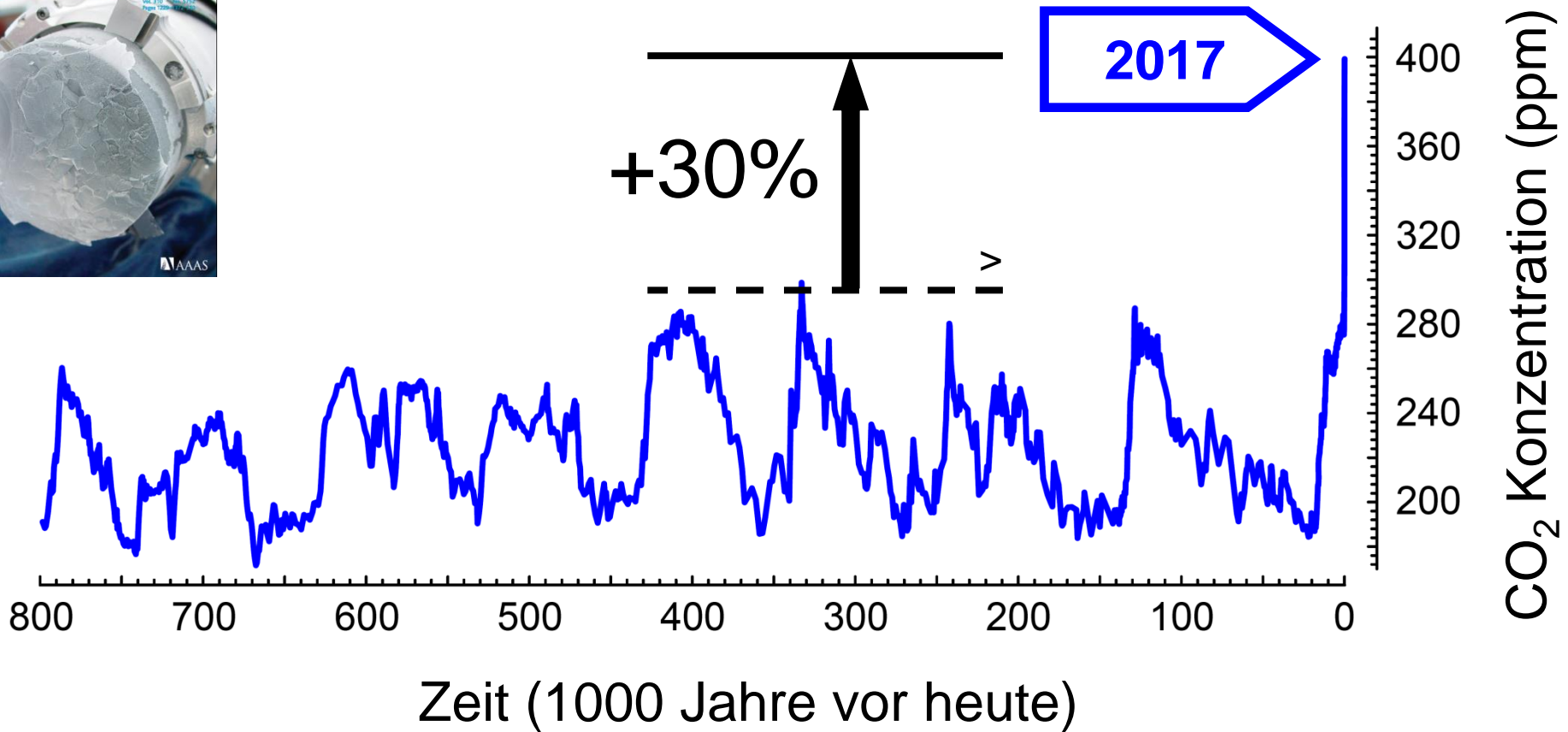
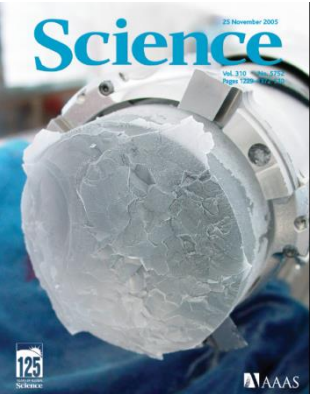
Klima- und Umweltphysik

Oeschger Zentrum für Klimaforschung

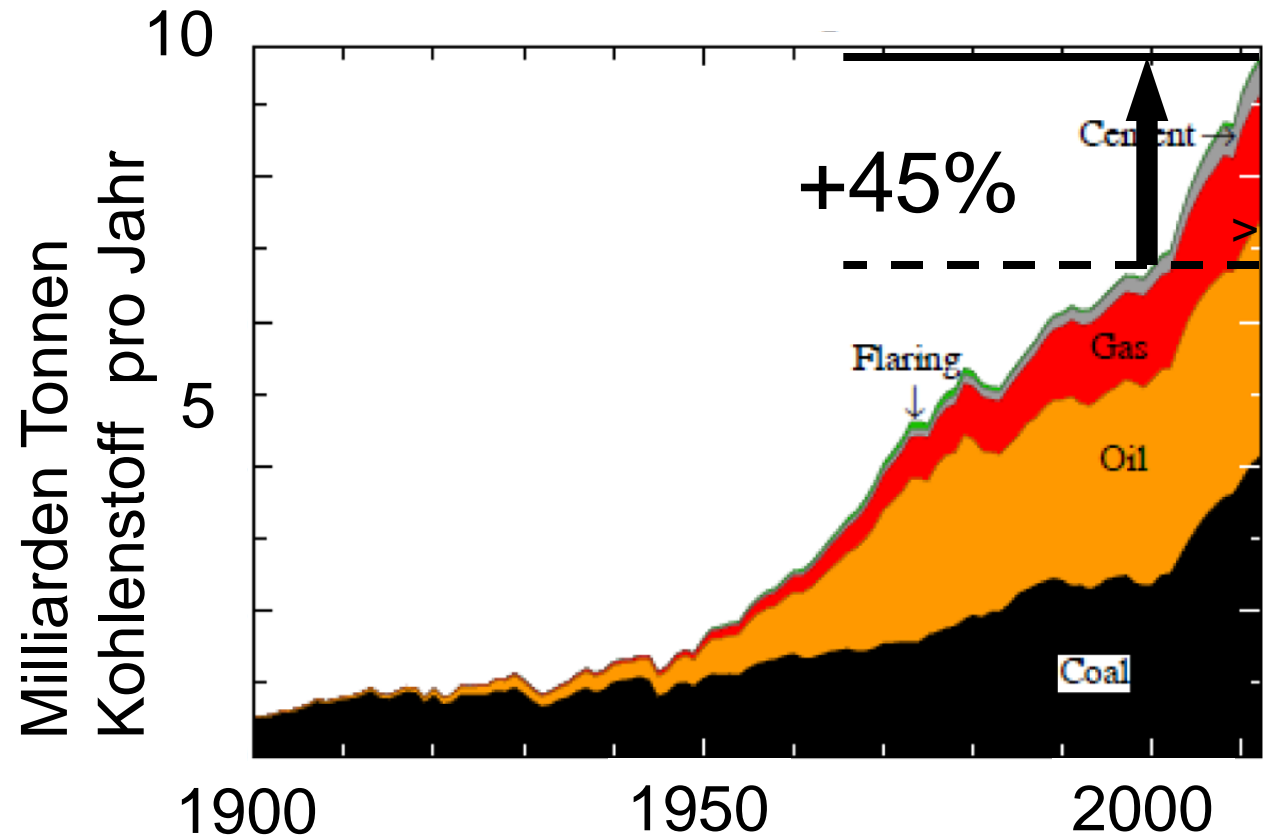
Universität Bern



Beispiellos: CO₂ der letzten 800'000 Jahre



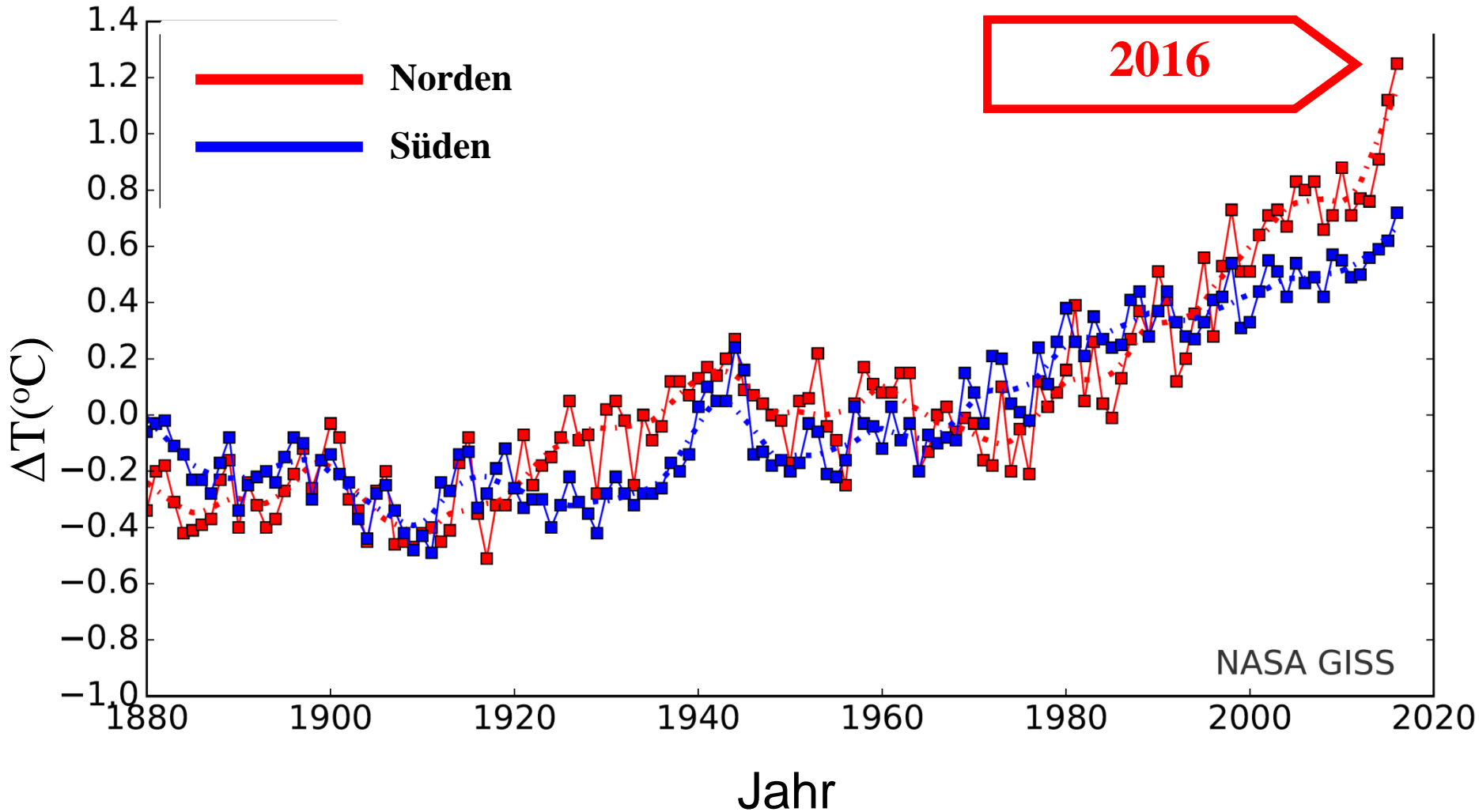
Beispiellos: Globale CO₂ Emissionen



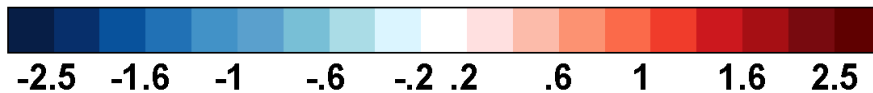
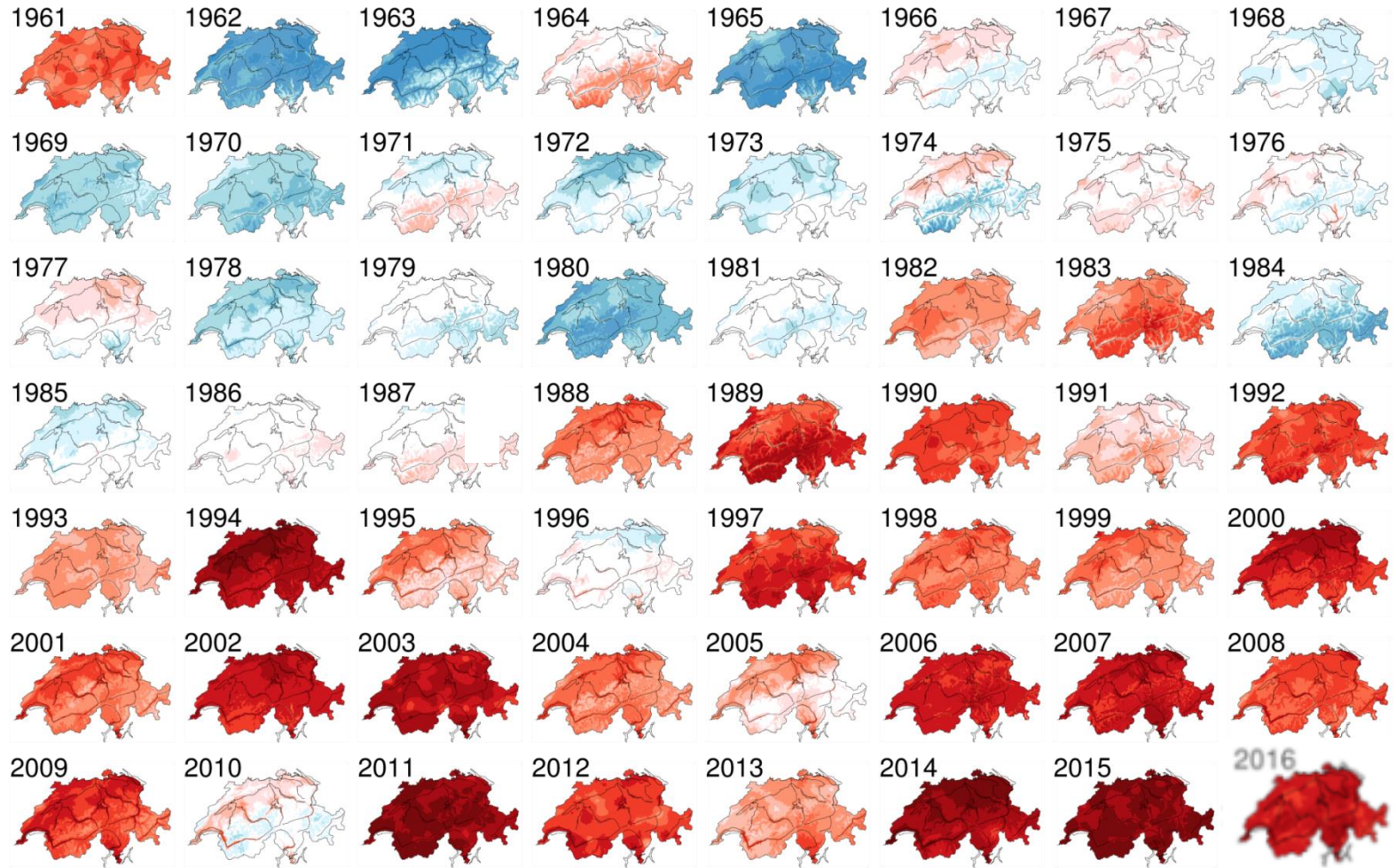
(CDIAC)

Die Erwärmung geht weiter

Temperaturänderung auf der Nord- und Südhalbkugel



Entwicklung der Jahrestemperatur: 1961-2016



Abweichung von Mittel 1961-1990 (°C)

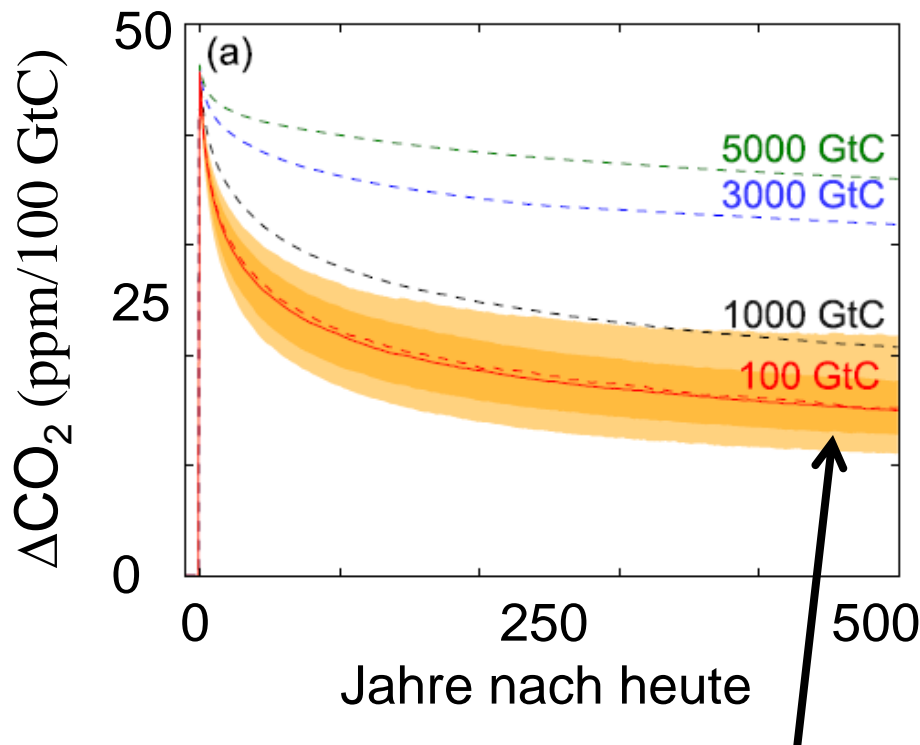
Irreversible Wirkung der CO₂ Emissionen

Wie verändern die Emissionen der letzten ~10 Jahre

- CO₂ in der Atmosphäre ?
- die globale mittlere Oberflächentemperatur ?

Die Auswirkungen der CO₂ Emissionen sind irreversibel auf menschlichen Zeitskalen

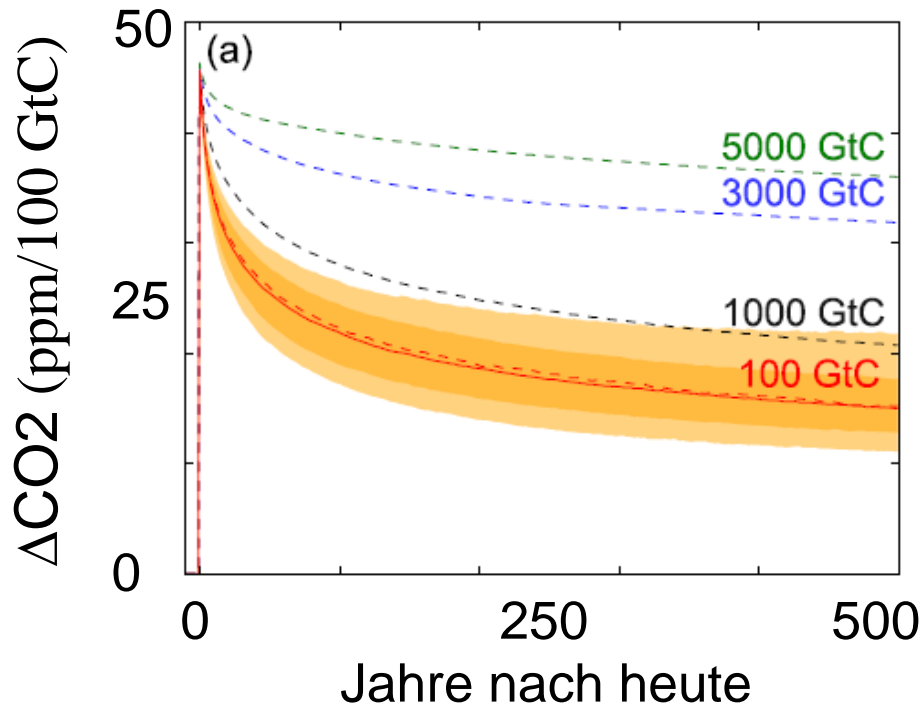
CO₂ Änderung



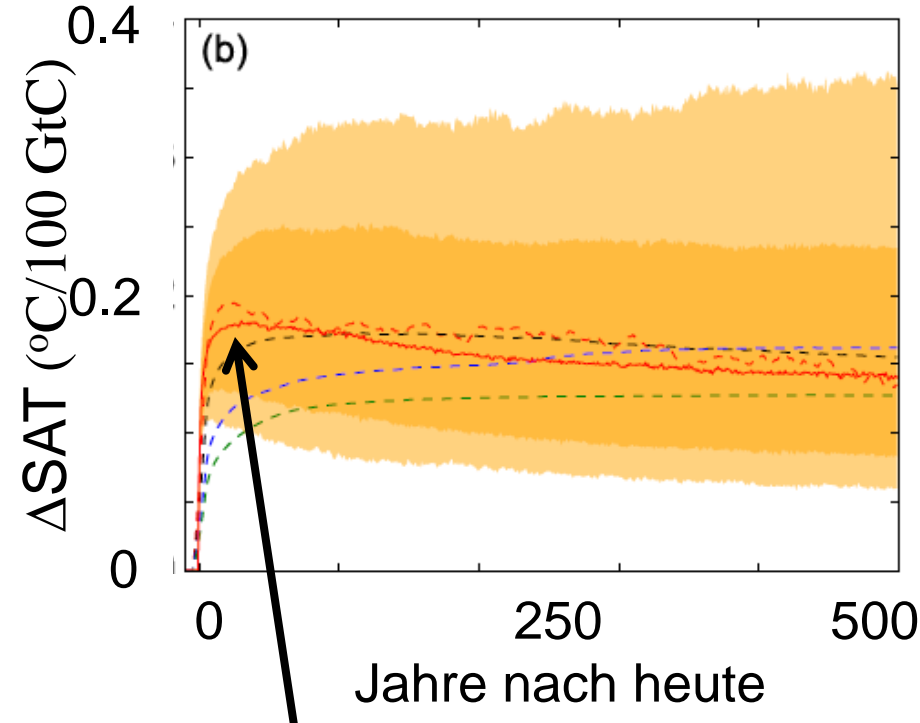
Ein grosser Teil der Emissionen bleibt Jahrtausende in der Atmosphäre

Die Auswirkungen der CO₂ Emissionen sind irreversibel auf menschlichen Zeitskalen

CO₂ Änderung



Temperaturänderung



Temperaturänderung

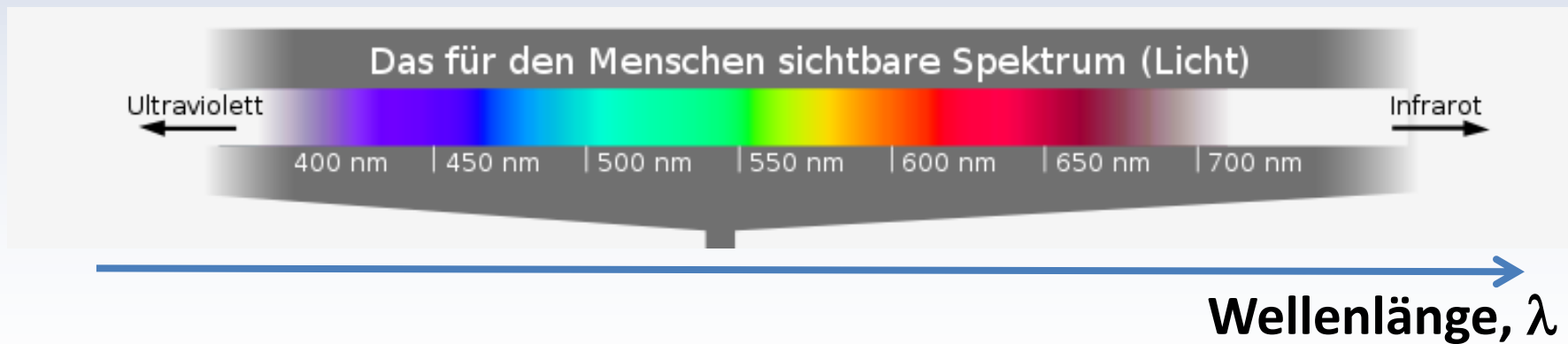
- innerhalb 10-20 Jahren realisiert
- permanent über Jahrhunderte

- Jede hundert Milliarden Tonnen-C an CO₂ Emissionen führen zu einer «permanenten» Erwärmung von rund 0.17°C (beste Schätzung)
- Stabilisierung der CO₂ Emissionen genügt nicht um Temperatur und Klima zu stabilisieren;
 - > Emissionen müssen gegen Null sinken

Wieso wirkt die erhöhte
CO₂ Konzentration auf
das Klima?

Wieso wirkt die erhöhte CO₂ Konzentration auf das Klima?

Elektromagnetische Strahlung



Wellenlänge der Abstrahlung eines Körpers hängt von Temperatur ab

$$\lambda_{\max} \sim \frac{1}{T}$$

«Heisser» Körper: kurzwellige Abstrahlung (sichtbares Licht)

«Kalter» Körper: langwellige Abstrahlung (infrarotes Licht)

Beide Abstrahlungen sind von der selben Art:
elektromagnetische Strahlung

Infrarot und sichtbare Strahlung

- Beide sind von der selben Art: elektromagnetische Strahlung
- Warme Körper: höhere Energieabstrahlung pro Fläche

Messung:

- sichtbar: detektiert durch Auge
- infrarot: Infrarotkamera

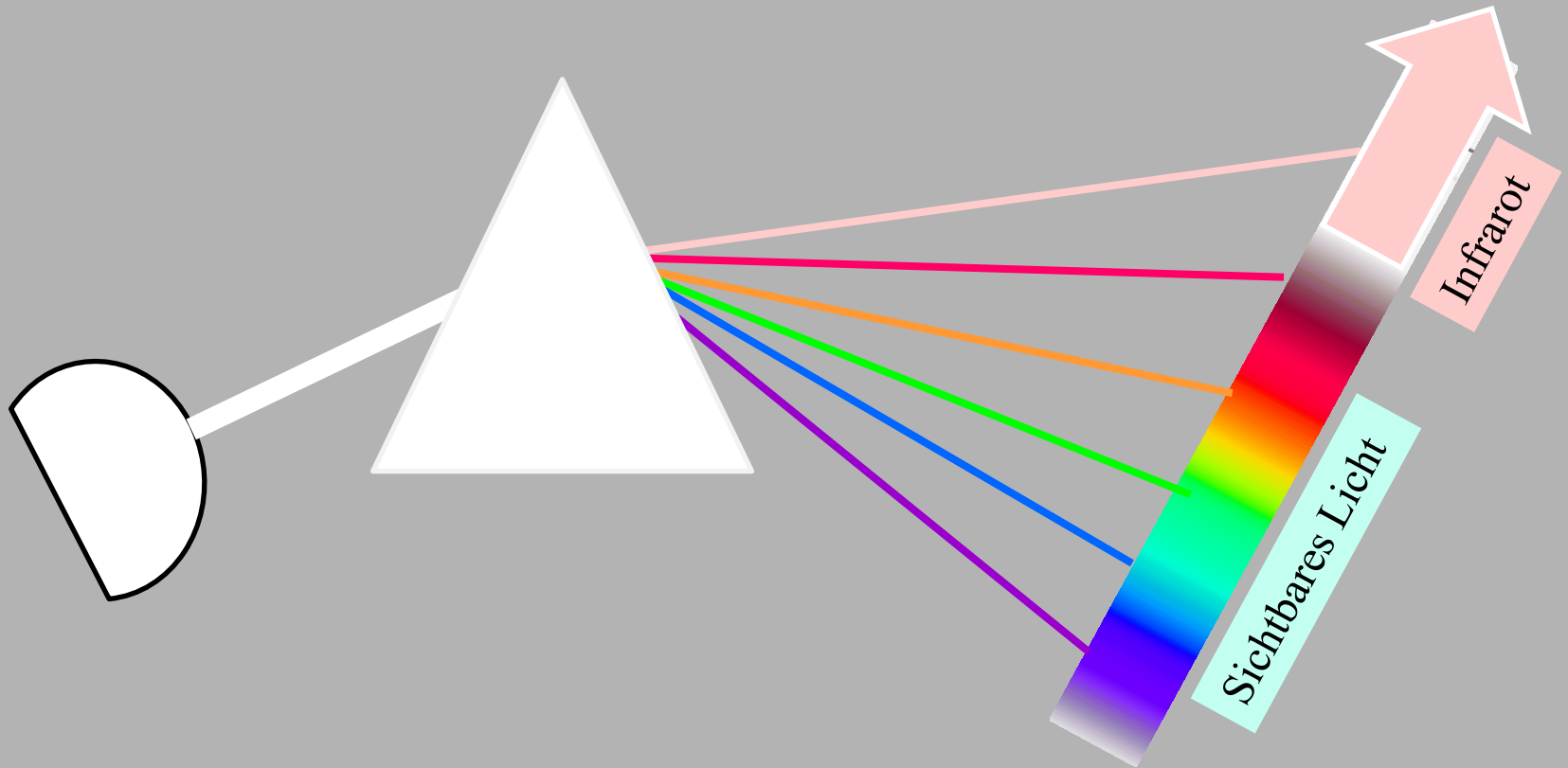
- sichtbar & infrarot: Bolometer

Experiment: Spektrum einer Lampe (3000 Kelvin)

Lampe

Prisma

Spektrum



Projektion
Resultate
Bolometer:



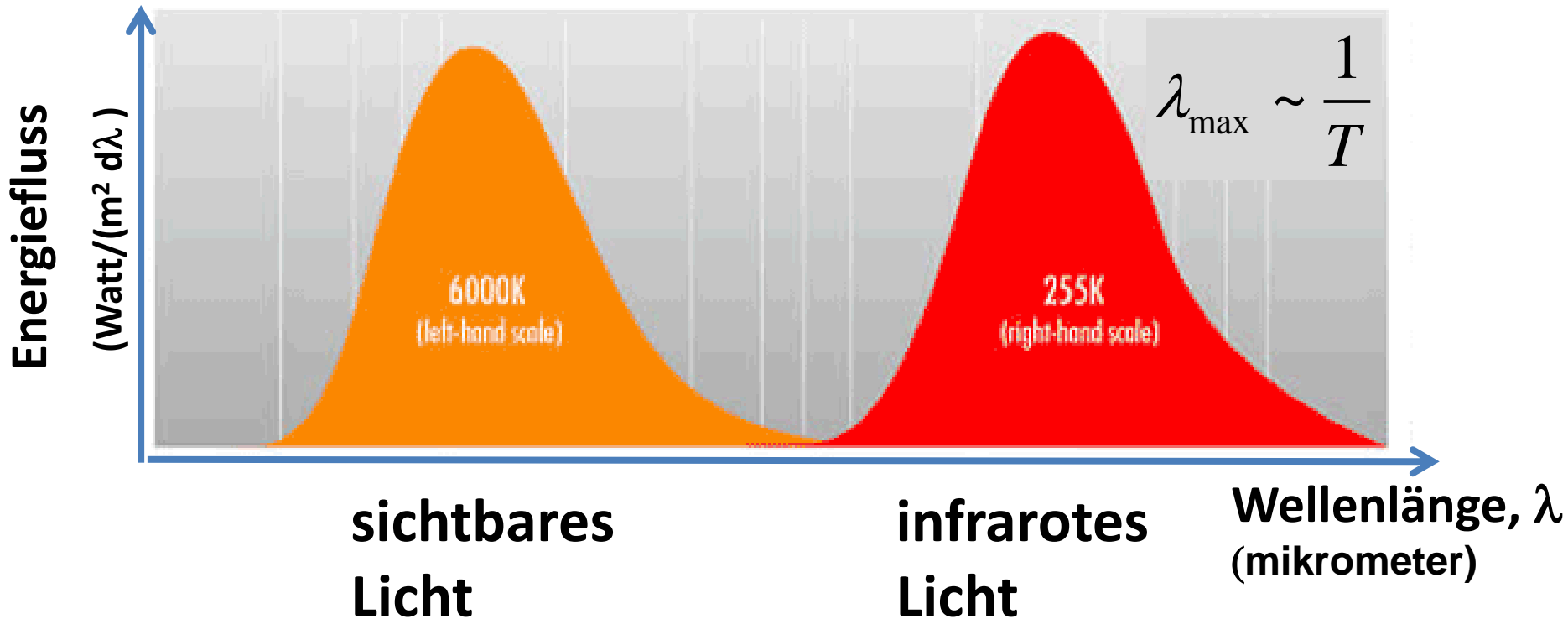
Laufschiene für Bolometer

Die Sonne strahlt im sichtbaren,
die Erde im infraroten Bereich

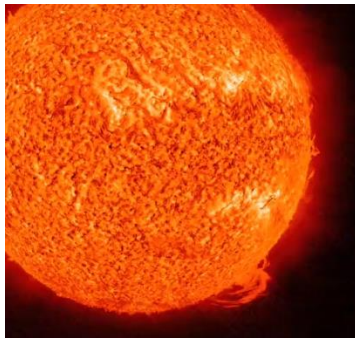
u^b

^b
UNIVERSITÄT
BERN

OESCHGER CENTRE
APPLIED RESEARCH



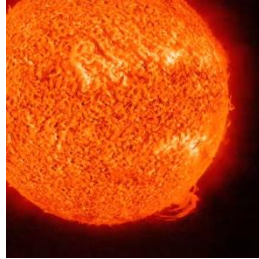
Sonne
6000 K



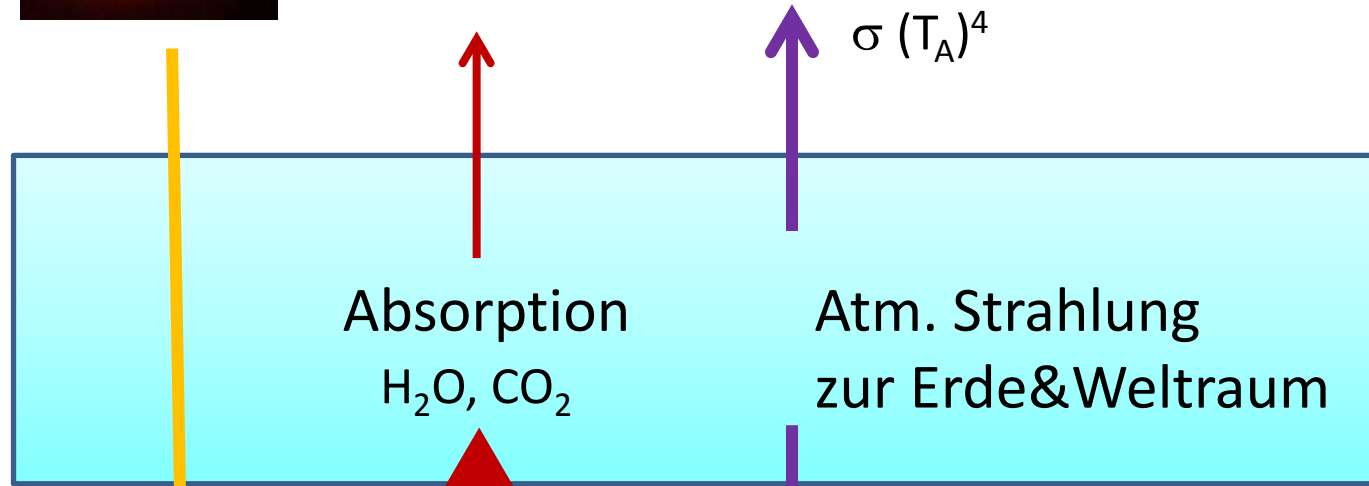
Erde
-18°C
=255 K

Einfachstes Model des Treibhauseffektes

Sonne
(6000 K)



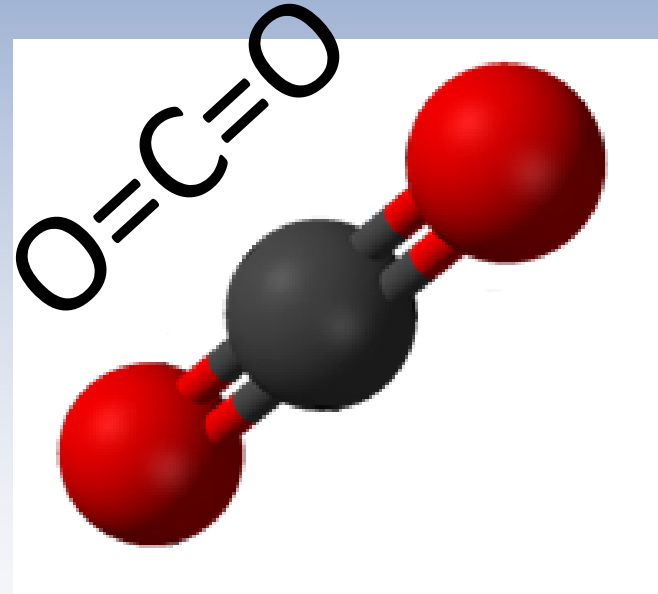
Atmosphäre
($T_A = -255$ K)



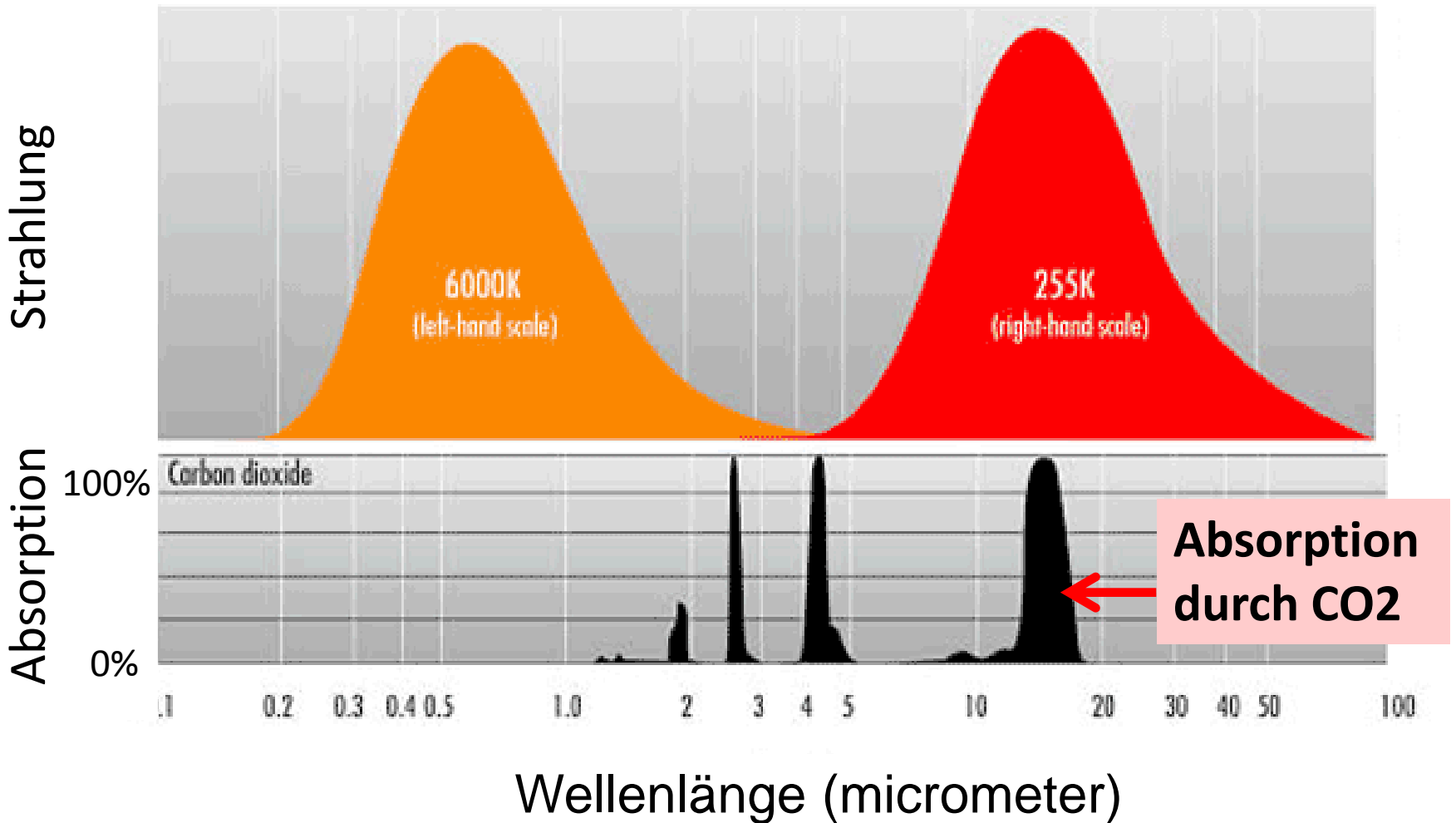
Erdoberfläche
($T_O = 290$ K)

Zusätzlicher Energiefluss aus
Atmosphäre
-> wärmer an Erdoberfläche

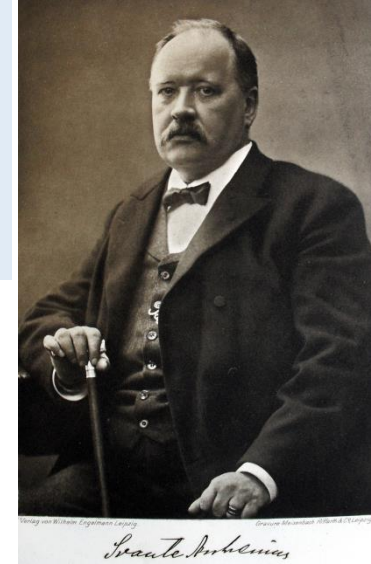
Quantenmechanik:
CO₂ absorbiert Infrarot,
nicht sichtbares Licht



CO₂ absorbiert Strahlung der Erde, aber lässt Sonnenlicht passieren



1896 Arrhenius: Verdoppelung von CO₂
 -> 6 Grad Erwärmung



$$T^4 = \frac{K}{1 + \nu(1 - \beta)}$$

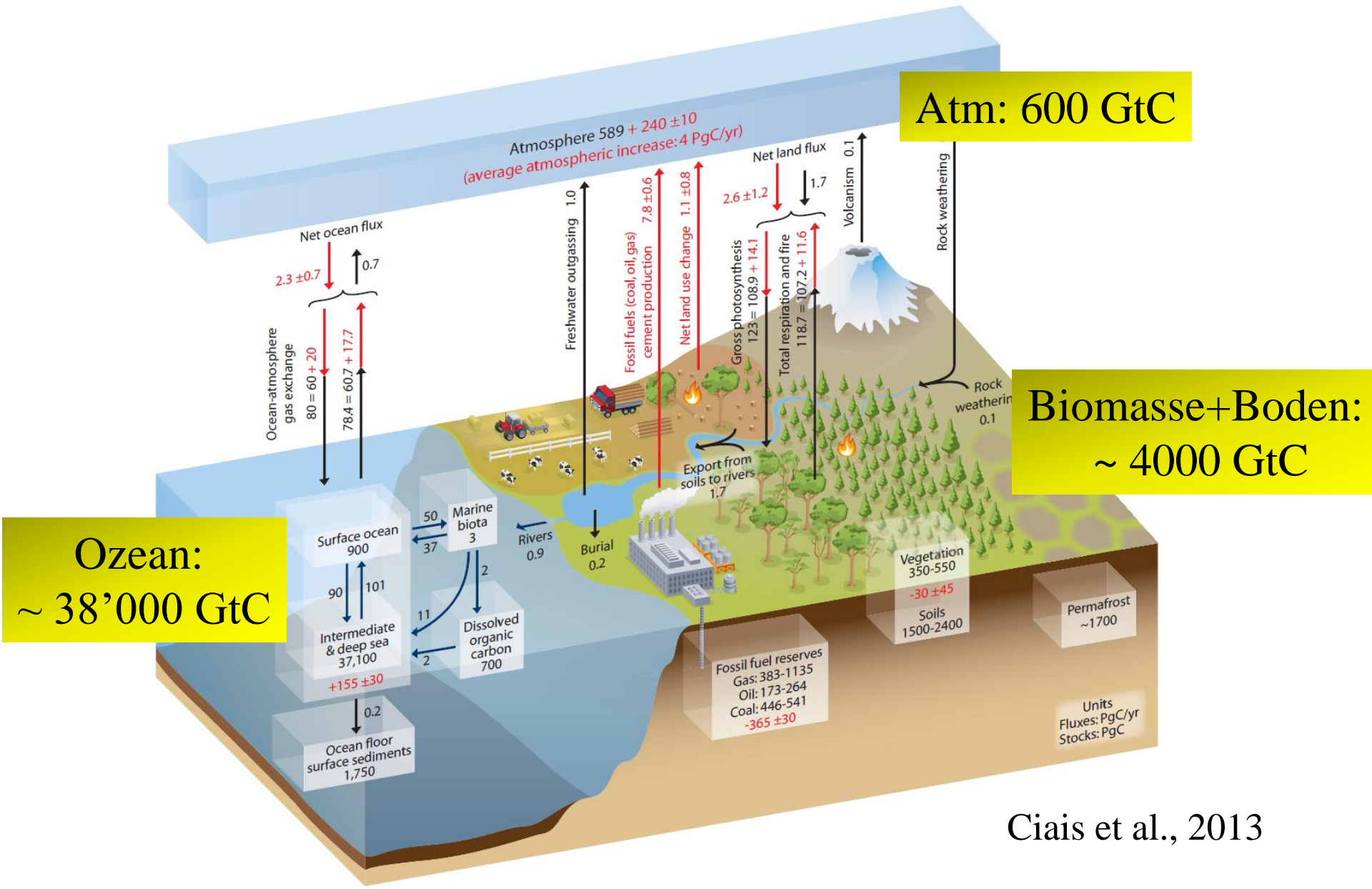
Carbonic Acid = 2·0.

	Dec.- Feb.	March- May.	June- Aug.	Sept.- Nov.	Mean of the year.
2	6·0	6·1	6·0	6·1	6·05
2	6·1	6·1	5·8	6·1	6·02
5	6·1	6·1	5·5	6·0	5·92

heute: Verdoppelung von CO₂
 -> 2-4.5 Grad Erwärmung

Wie verteilt sich
CO₂ im Klimasystem?

Der globale Kohlenstoffkreislauf: Reservoir



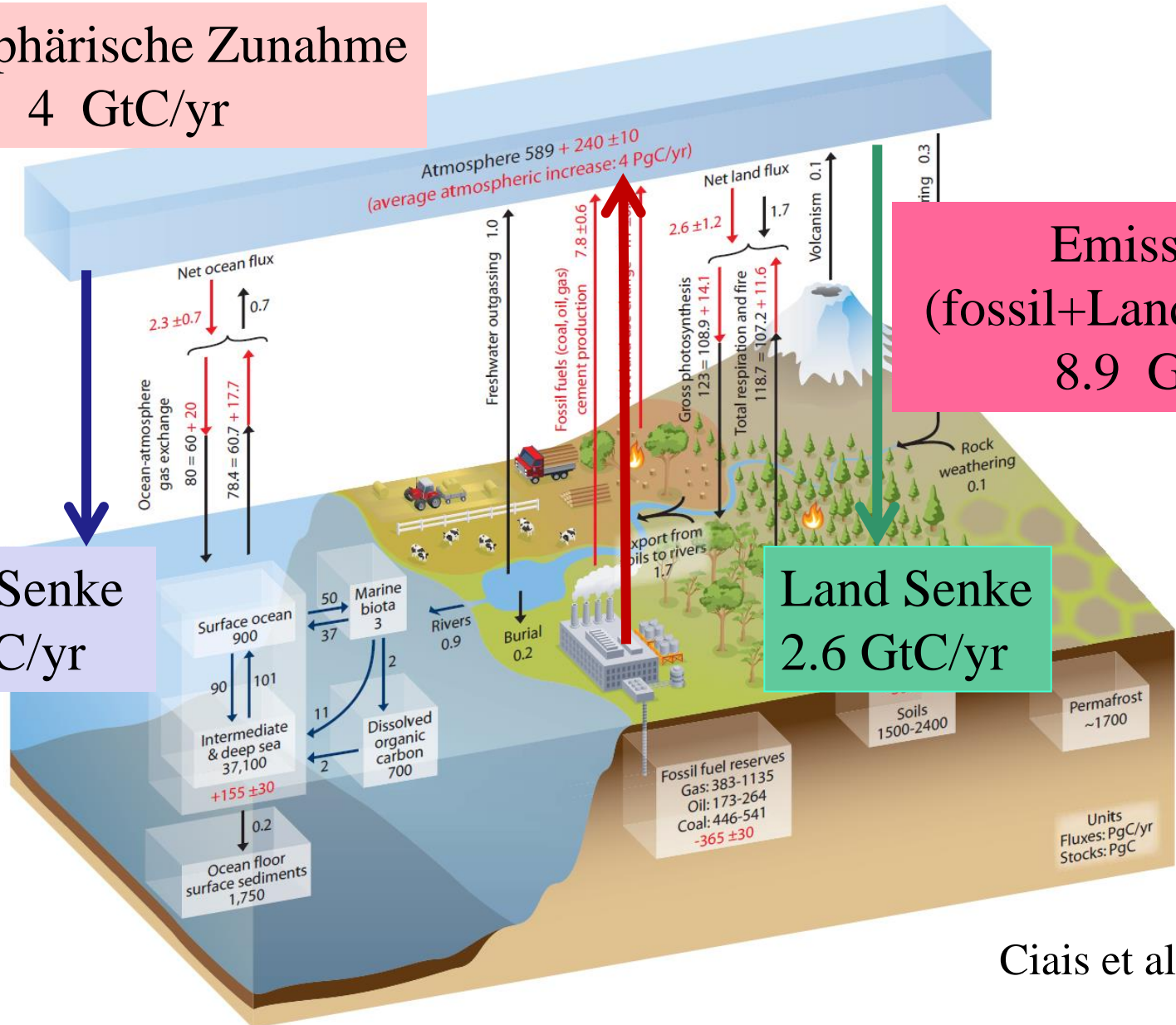
Der globale Kohlenstoffkreislauf: 2000-2009

Atmosphärische Zunahme
4 GtC/yr

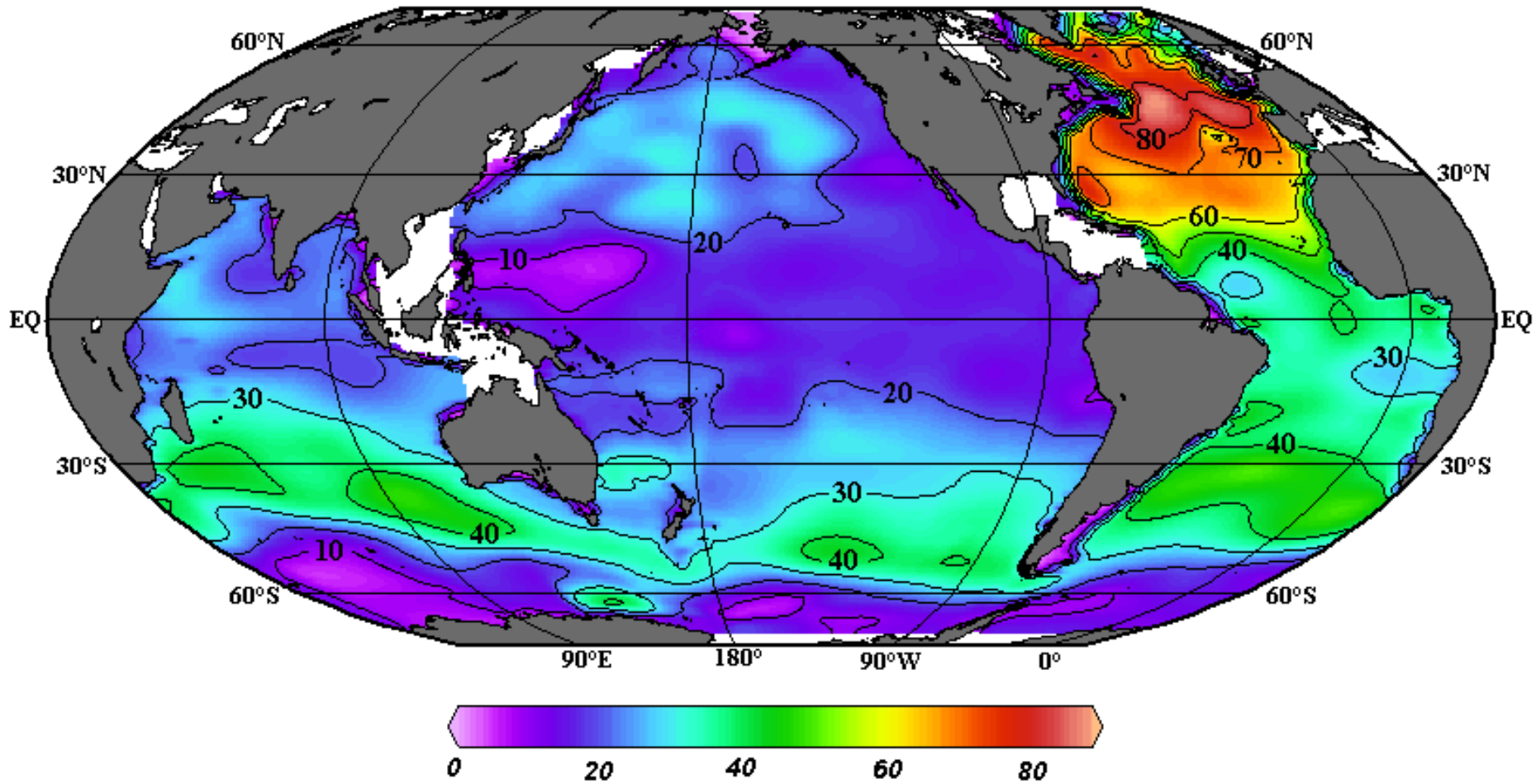
Ozean Senke
2.3 GtC/yr

Emissionen
(fossil+Land Nutzung):
8.9 GtC/yr

Land Senke
2.6 GtC/yr



Zunahme von Kohlenstoff im Ozean aus Beobachtungen



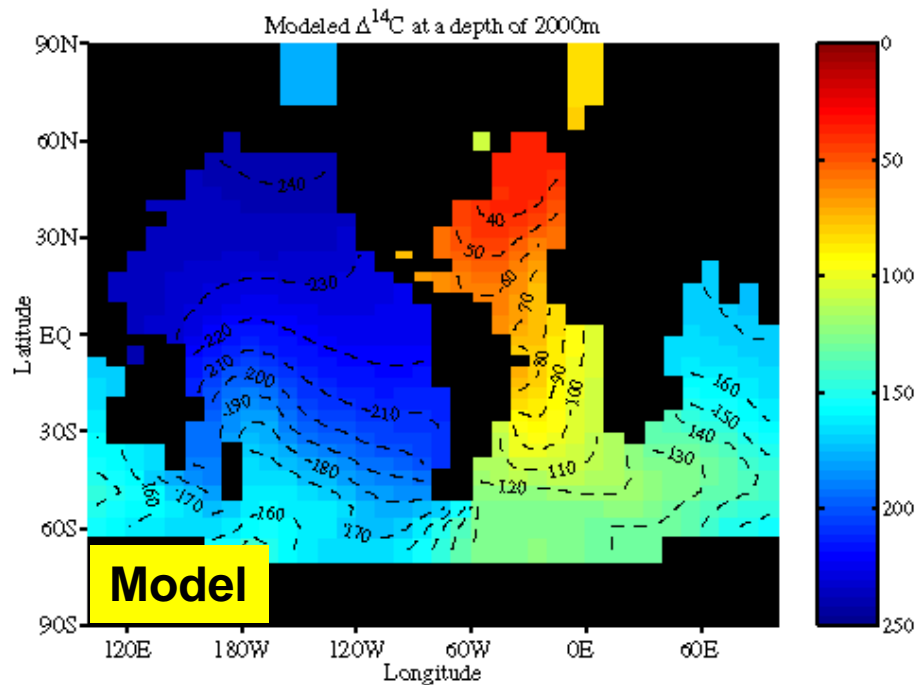
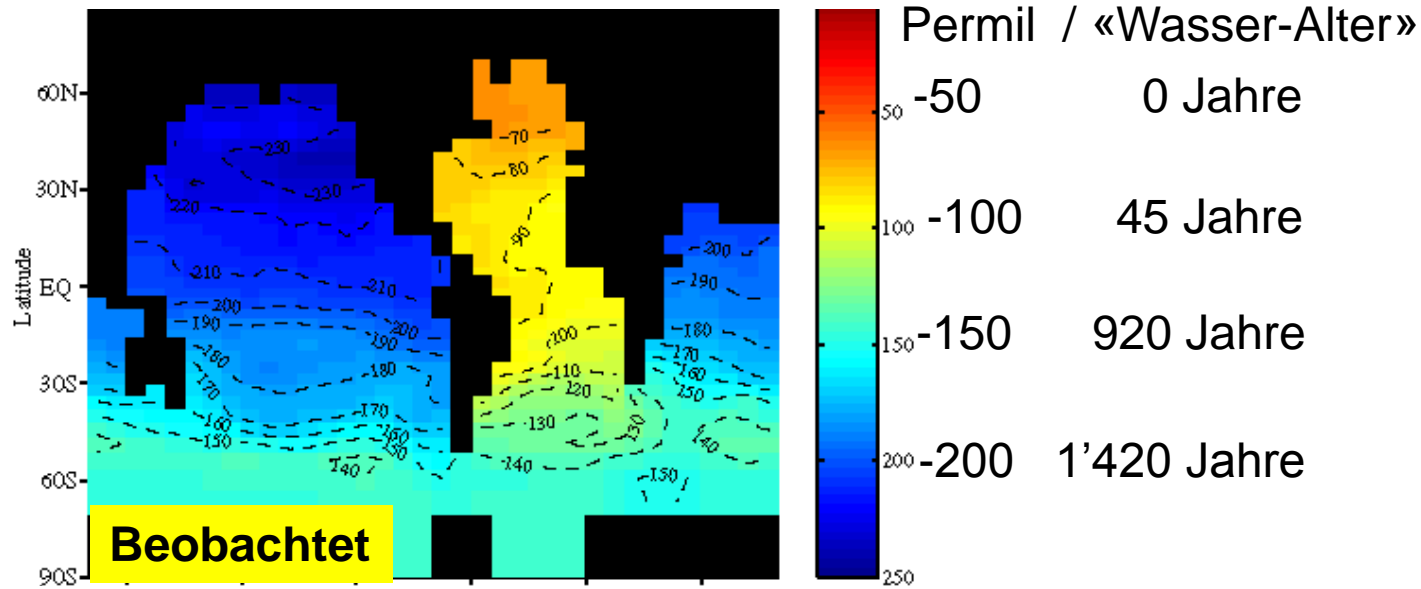
mol m^{-2}

Sabine et al., 2003

^{14}C (Radiokarbon):

Wie rasch wird CO_2
in die Tiefe des Ozeans
transportiert?

Verteilung von $\Delta^{14}\text{C}$ auf 2000 m



Müller, et al., J. Climate, 2005

Klimaziele:

Was können wir erreichen?

"Climate change is one of the greatest challenges of our time"

Copenhagen Accord (2009)

1992 Rio

Stabilisierung der Treibhausgase

1998 Kyoto

Reduktion der CO₂ Emissions um 5%

2010 Cancún

Begrenzung der Erwärmung auf 2°C

2015 Paris

Efforts für 1.5 °C

UN Framework Convention on Climate Change (Art. 2):

... **stabilization of greenhouse gas concentrations** in the atmosphere at a level that would prevent **dangerous anthropogenic interference** with the climate system.

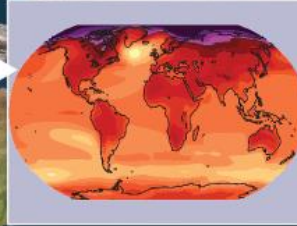
... should be achieved within a time frame sufficient to allow **ecosystems** to adapt naturally to climate change, to ensure that **food production** is not threatened and to enable **economic development** to proceed in a sustainable manner.

- ❖ UNFCCC: Eine Vielzahl von Zielen
- ❖ Wieviel CO₂ dürfen wir noch emittieren um die Ziele zu erreichen?

Art. 2 verlangt mehr als ein Klimaziel

KLIMAZIEL 1

Die globale Erwärmung auf (A) 2°C / (B) 3°C beschränken.



KLIMAZIEL 2

Die Bedrohung von Korallen durch die Ozeanversauerung minimieren. Der Verlust von Regionen mit günstigen Bedingungen für Korallenriffe ($\Omega_{\text{arag}} > 3$) soll nicht mehr als 75% / 90% betragen.



KLIMAZIEL 3

Die Ozeanversauerung im Südozean limitieren.

Nicht mehr als 10% / 25% der Ozeanoberfläche soll korrosiv für Kalkschalen von Meerestieren werden.



KLIMAZIEL 4

Den Verlust von Kohlenstoff auf Ackerflächen auf 10% / 20% begrenzen.



KLIMAZIEL 5

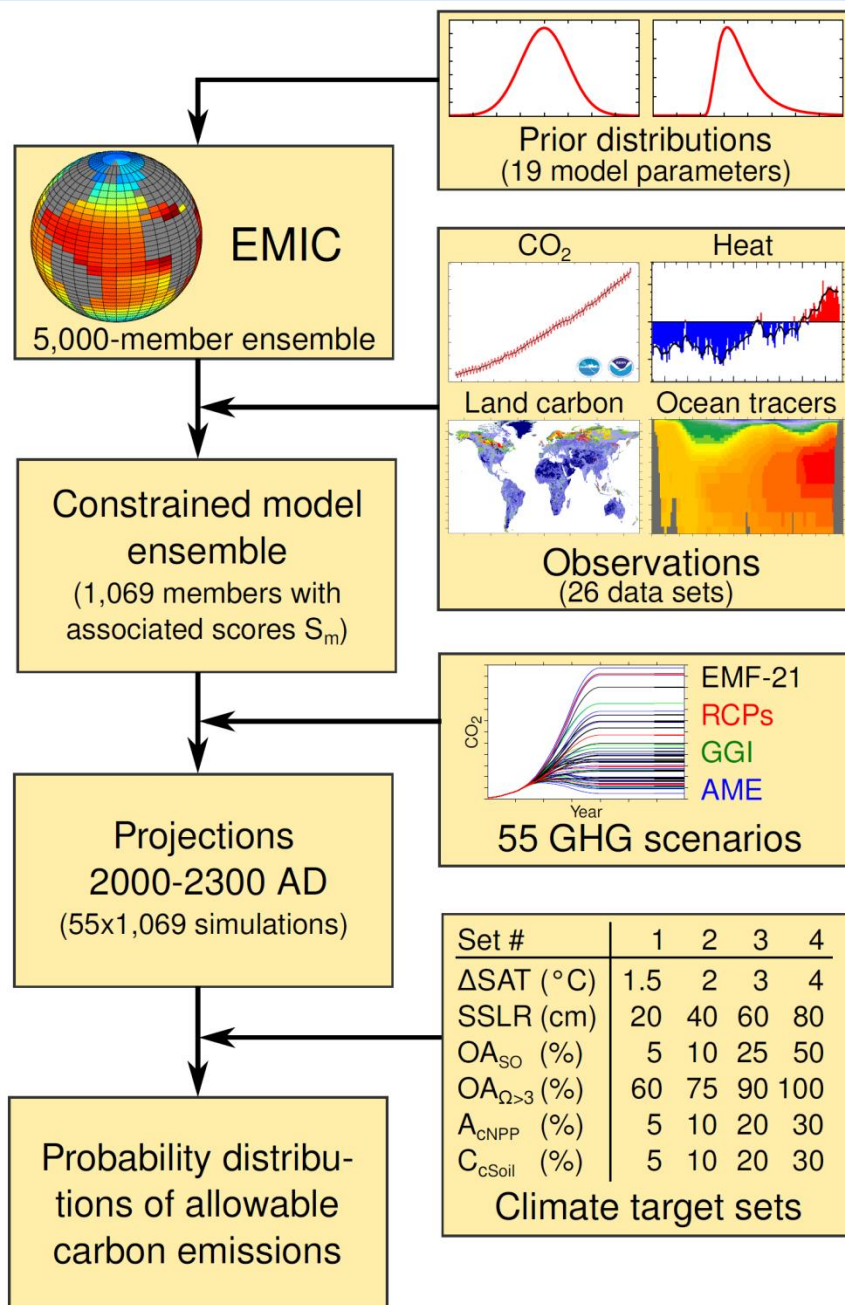
Die Produktion von Nahrungsmitteln gewährleisten. Maximal 10% / 20% der Ackerflächen sollen von Ertragsrückgängen betroffen sein.



KLIMAZIEL 6

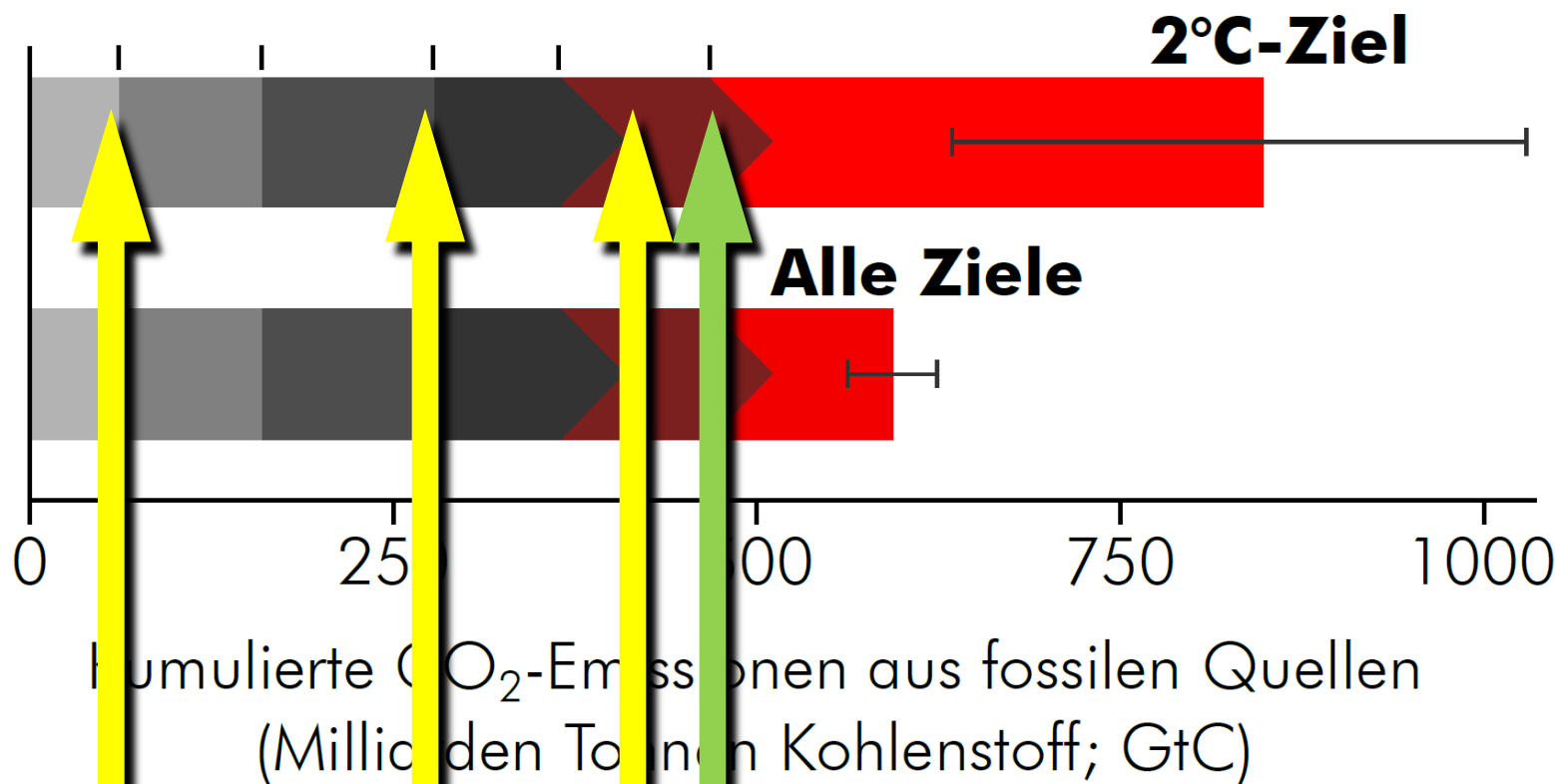
Den Anstieg des Meeresspiegels durch Wärmeausdehnung auf 40 cm / 60 cm begrenzen.





- Bayesischer Ansatz zur Modelkalibrierung
- Wahrscheinliche Antwort des Klimasystems
- Definition von Klimazielen vergleichbarer Strenge
-> zulässige Emissionen

Das Budget an zulässigen CO₂ Emissionen (66% Wahrscheinlichkeit das Ziele erreicht werden)



472 GtC um das 1.5°C Ziel mit 68% Wahrscheinlichkeit zu erreichen



u^b

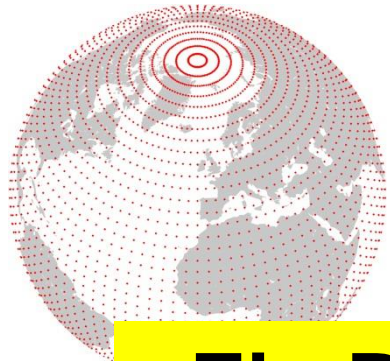
^b
UNIVERSITÄT
BERN

OESCHGER CENTRE
CLIMATE CHANGE RESEARCH

- ❖ Multiple Klimaziele verlangen noch **tiefere Einschnitte in den Emissionen**
- ❖ Hinausschieben von Massnahmen erfordert später **verstärkte Anstrengungen** um Ziele zu erreichen
- ❖ **Klimaziele bekommen unerreichbar** wenn die Emissionsreduktionen verzögert werden oder ungenügend bleiben.

Mit der Verarbeitung zu Mineralwasser
ist der CO₂-Ausstoß auf Null gesenkt!





**Ein Physikstudium an der Uni Bern ist
die ideale Grundlage für die
Klimaforschung und für vieles mehr**

Informationsbroschüren beim Ausgang

<http://www.climate.unibe.ch>