

St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft

Der Globale Kohlenstoffkreislauf

6 November 2024

Fortunat Joos

Klima- und Umweltphysik und Oeschger Zentrum für Klimaforschung

Universität Bern

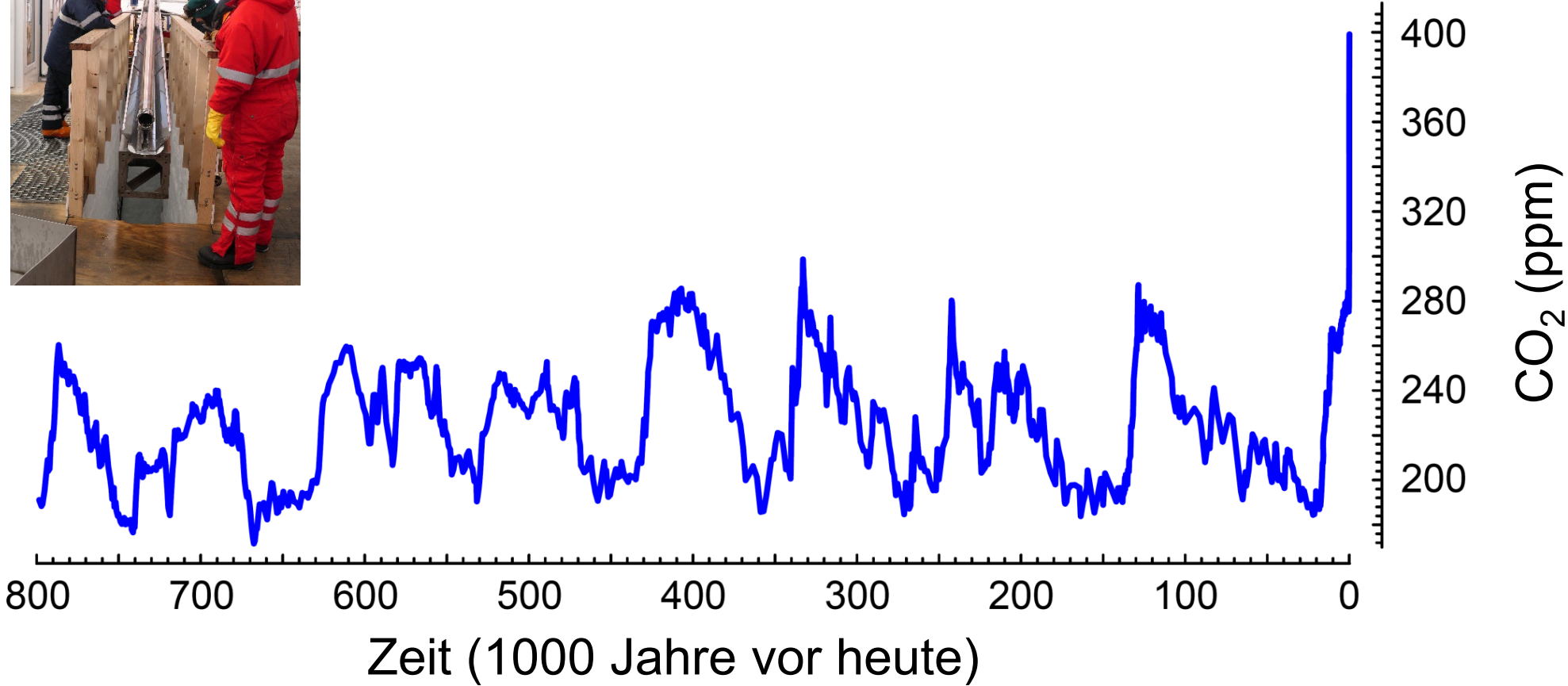
fortunat.joos@unibe.ch

Das Anthropozän: Beispiellos

Beispiellos: CO₂ der letzten 800'000 Jahre

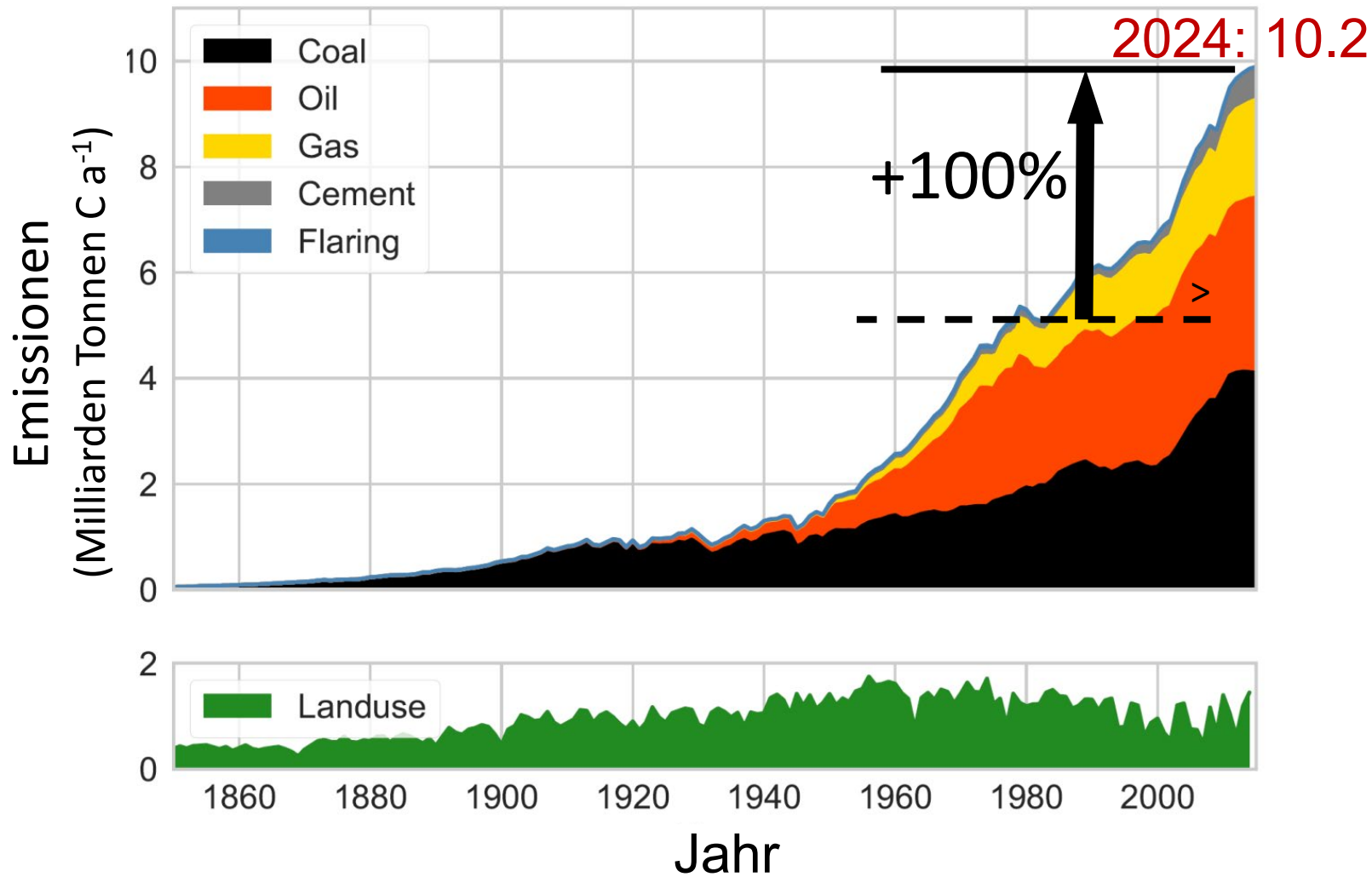


2024 **422 ppm**



(Lüthi et al., 2008, NOAA)

Beispiellos: Globale CO₂ Emissionen



(Boden et al., CDIAC; Lienert and Joos, 2018; CICERO, 2024)



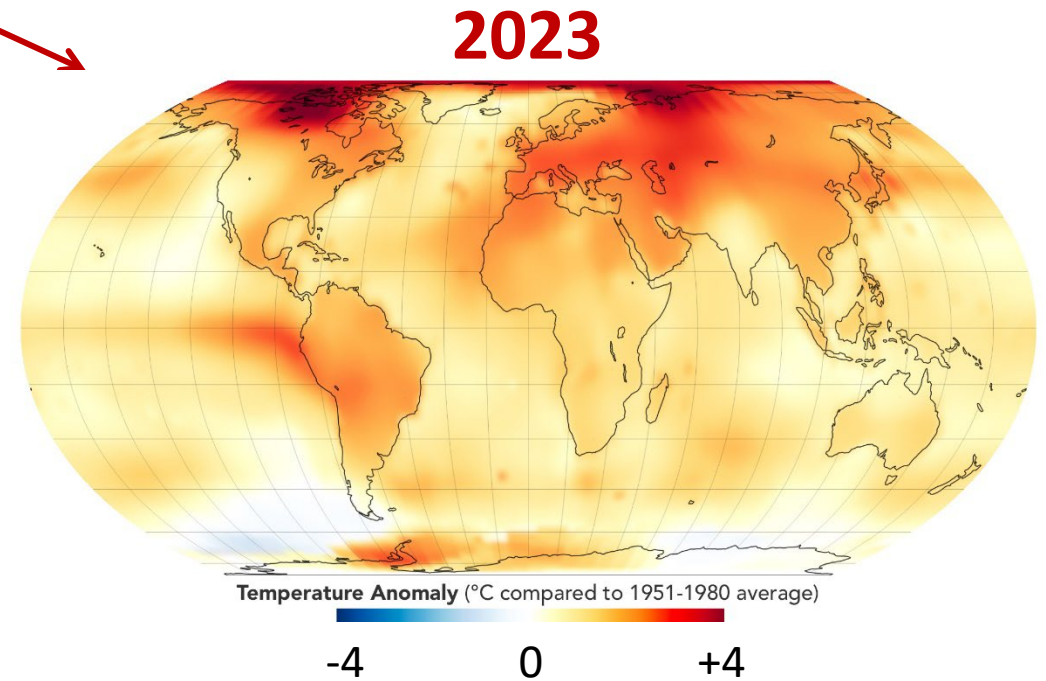
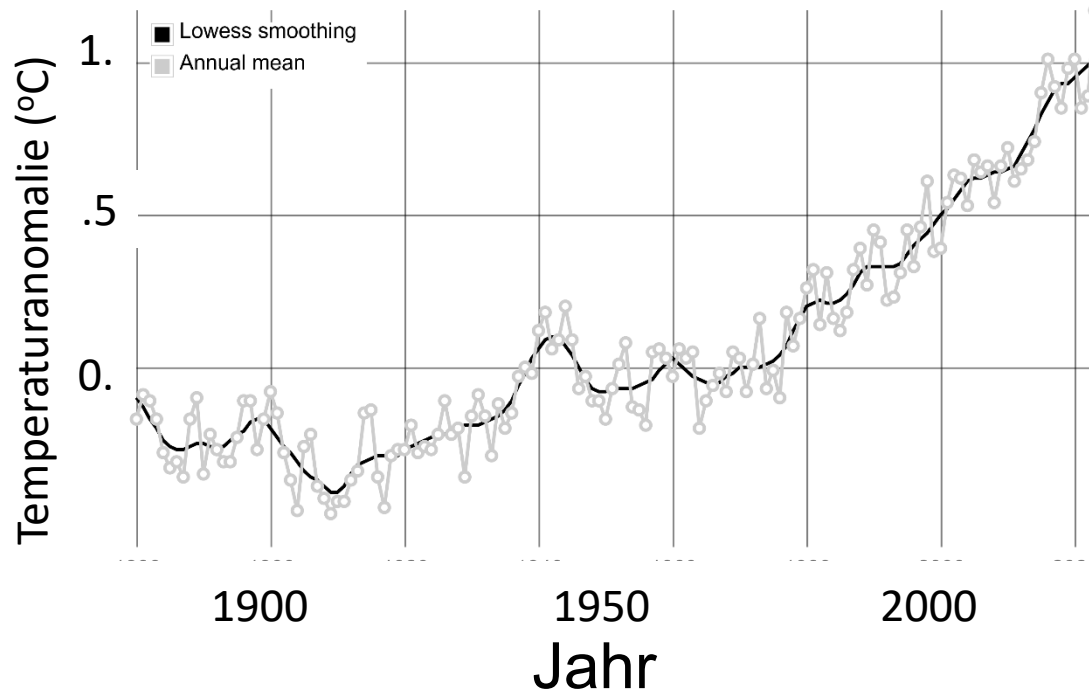
Land Nutzung:
~ 10% der
heutigen CO₂
Emissionen

Die Erhitzung geht weiter



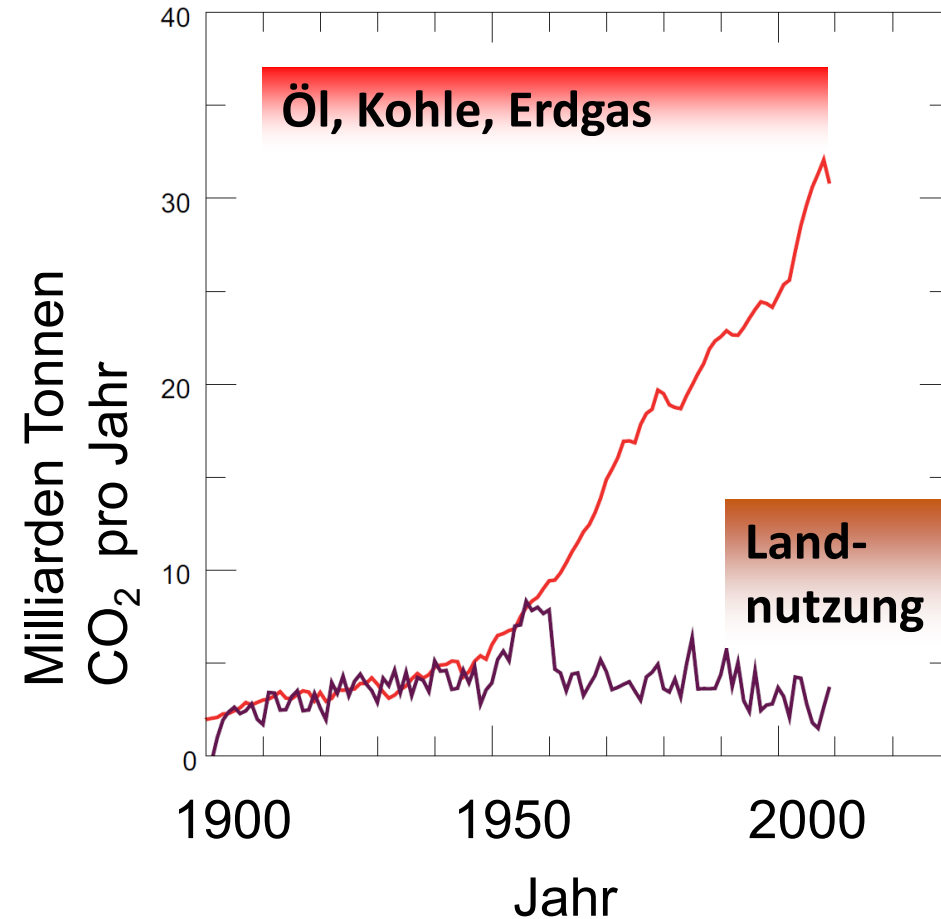
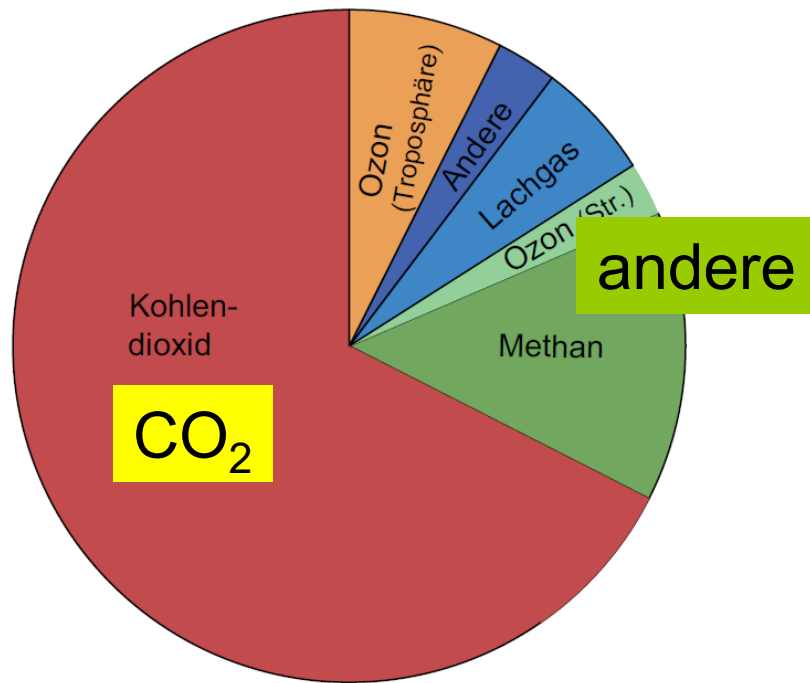
Valencia, Okt. 2024 (Quelle: Newsflix)

Temperaturanomalien (relativ zu 1951-1980)



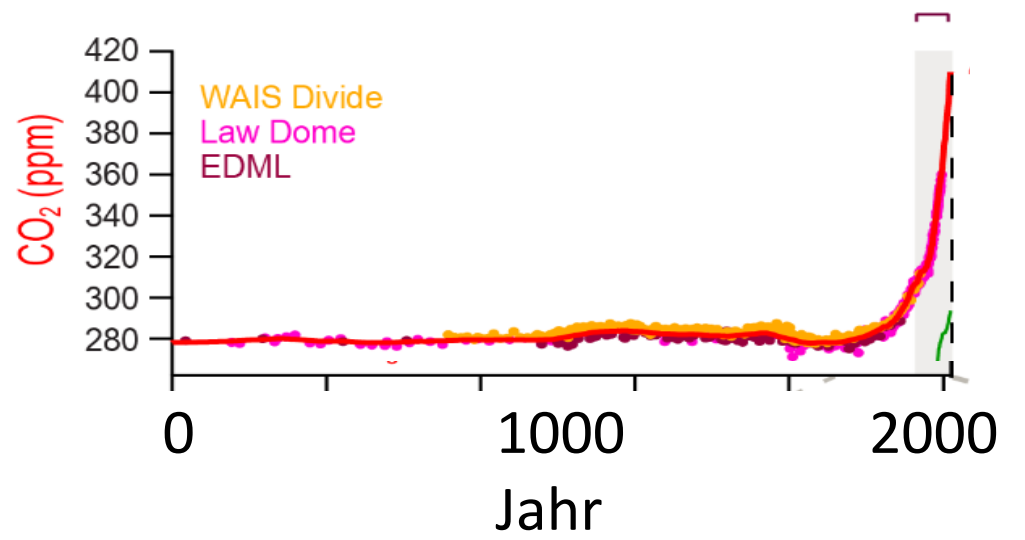
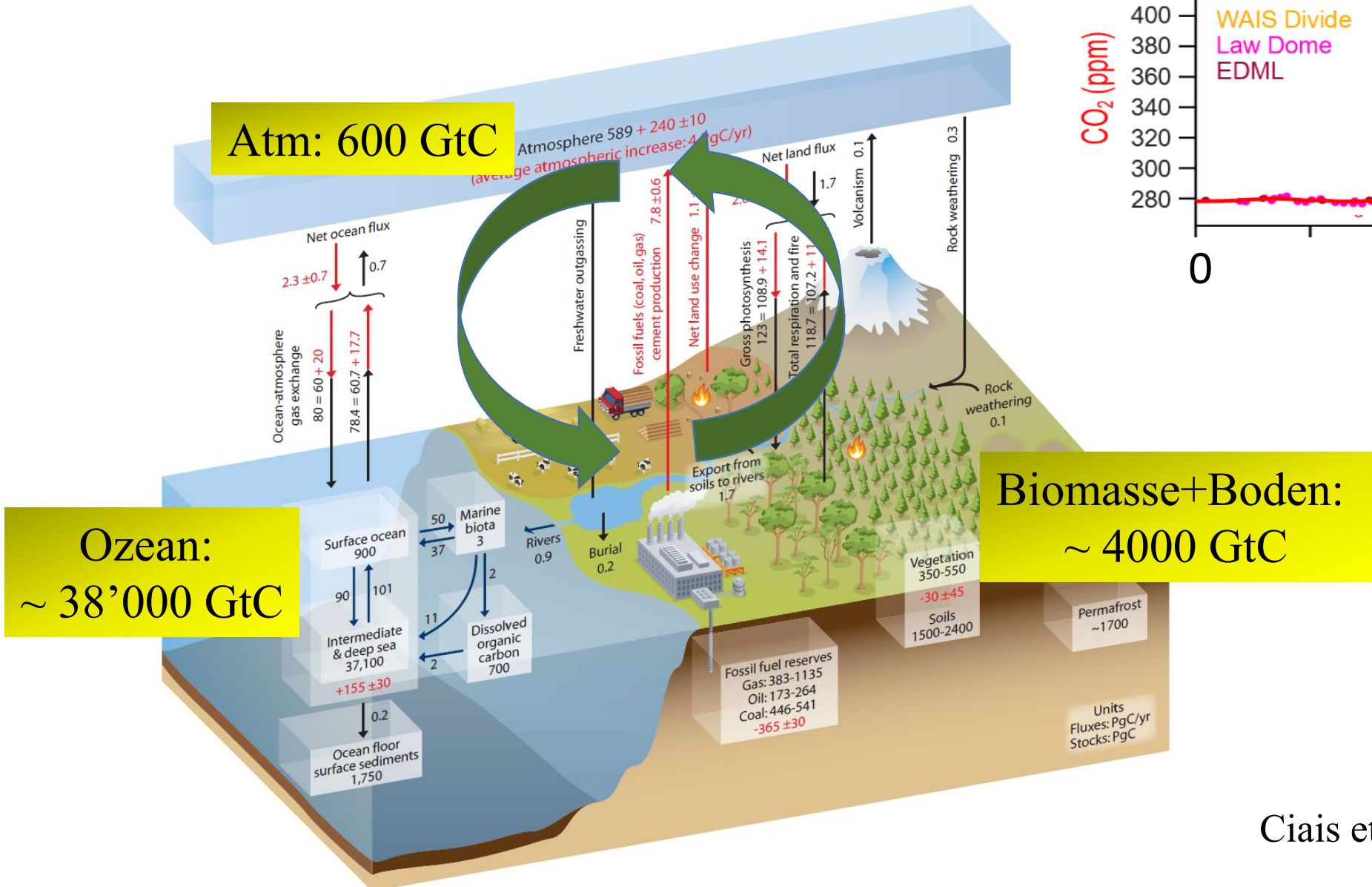
CO₂ aus fossilen Quellen dominiert die Erwärmung

Beitrag zur Temperaturänderung (2100)

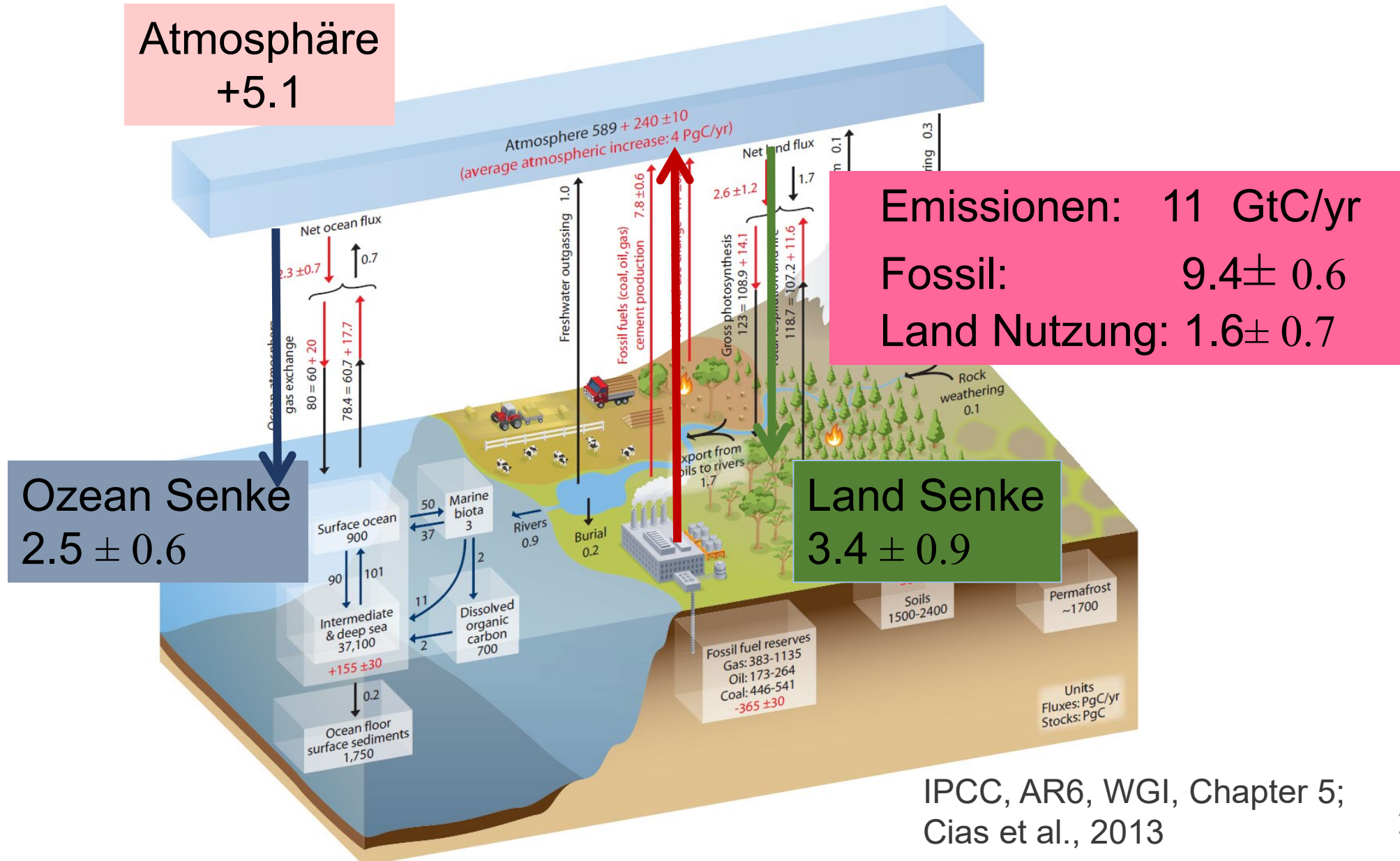


Wohin geht das CO₂?

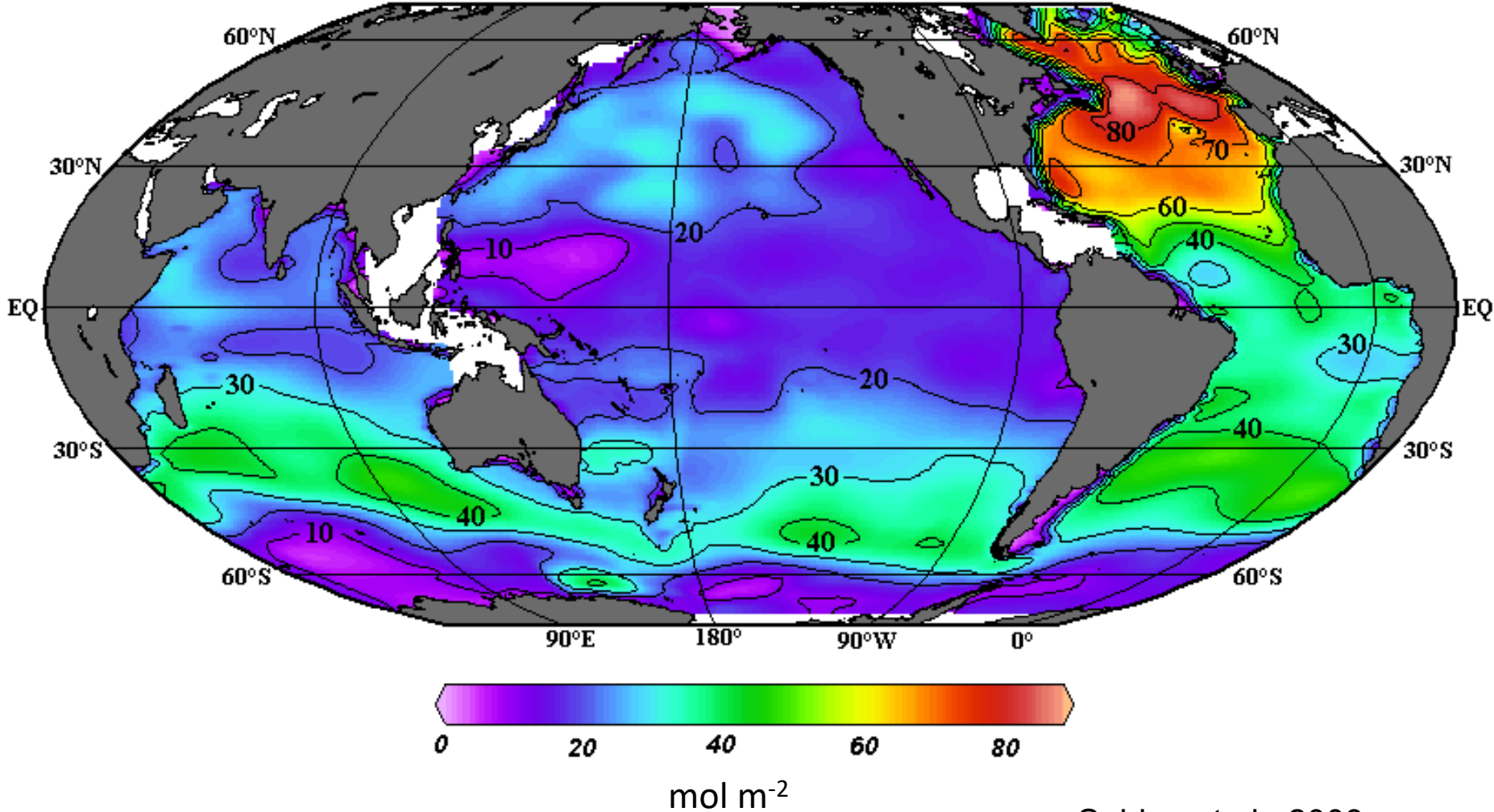
Der globale Kohlenstoffkreislauf im vorindustriellen Gleichgewicht



Die Verteilung des anthropogenen Kohlenstoffs (2010-2019; GtC yr⁻¹ bzw Milliarden Tonnen C pro Jahr)



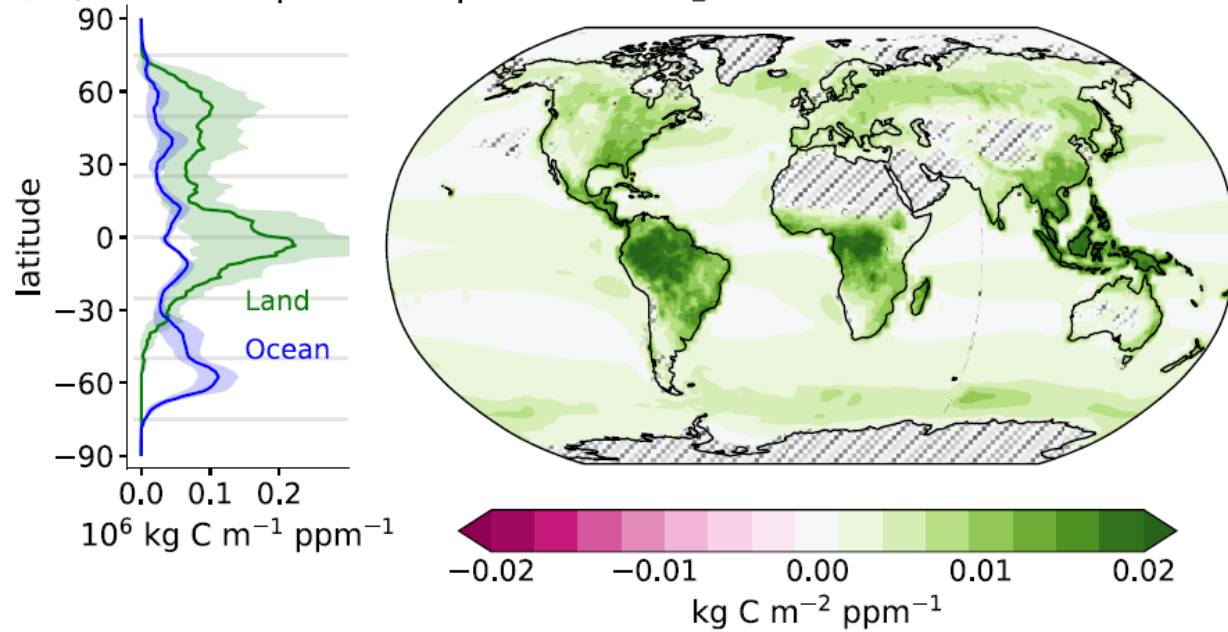
Zunahme an Kohlenstoff aus Beobachtungen



Sabine et al., 2003

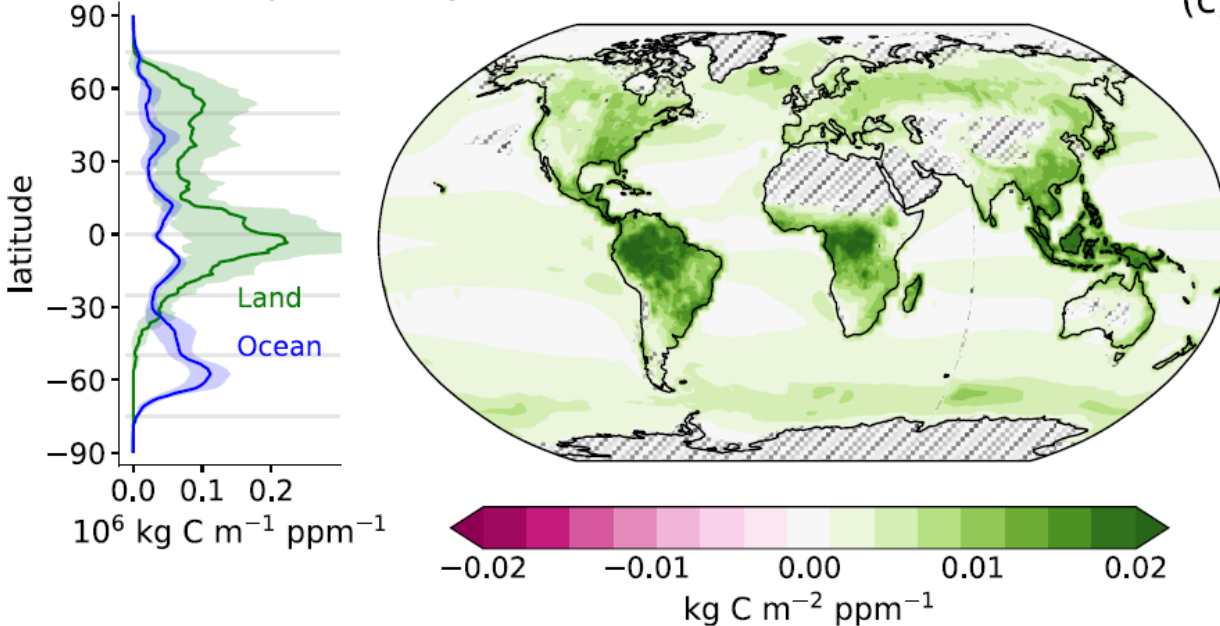
Sensitivität der Senken auf steigendes CO₂

(a, b) Carbon uptake response to CO₂

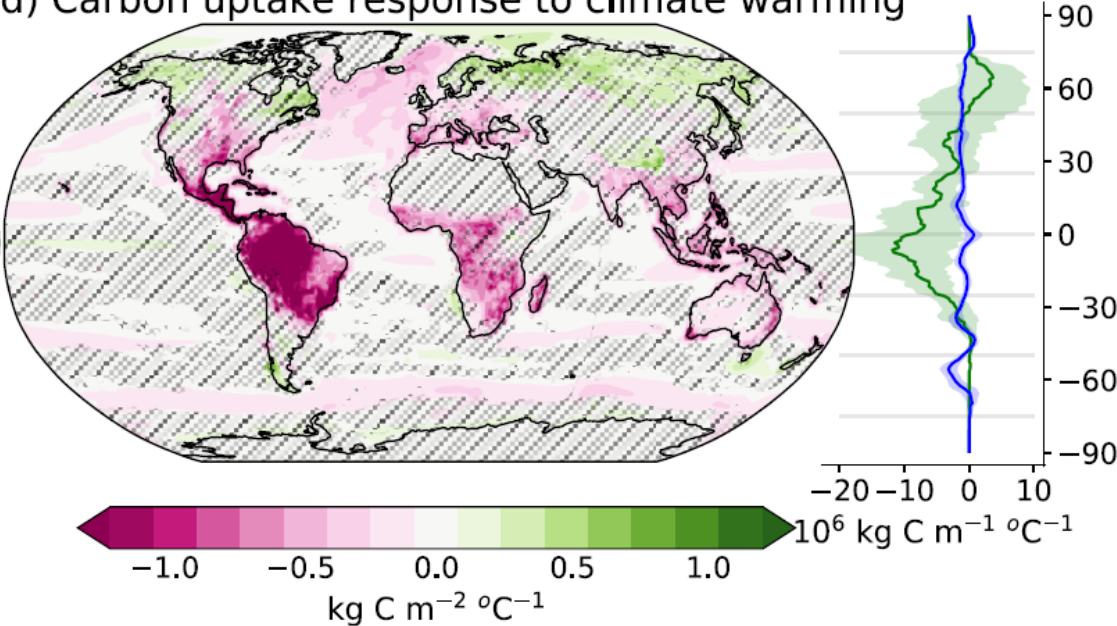


Sensitivität der Senken auf steigendes CO₂ und die Erwärmung

(a, b) Carbon uptake response to CO₂



(c,d) Carbon uptake response to climate warming



IPCC, AR6, WGI, Box TS.5

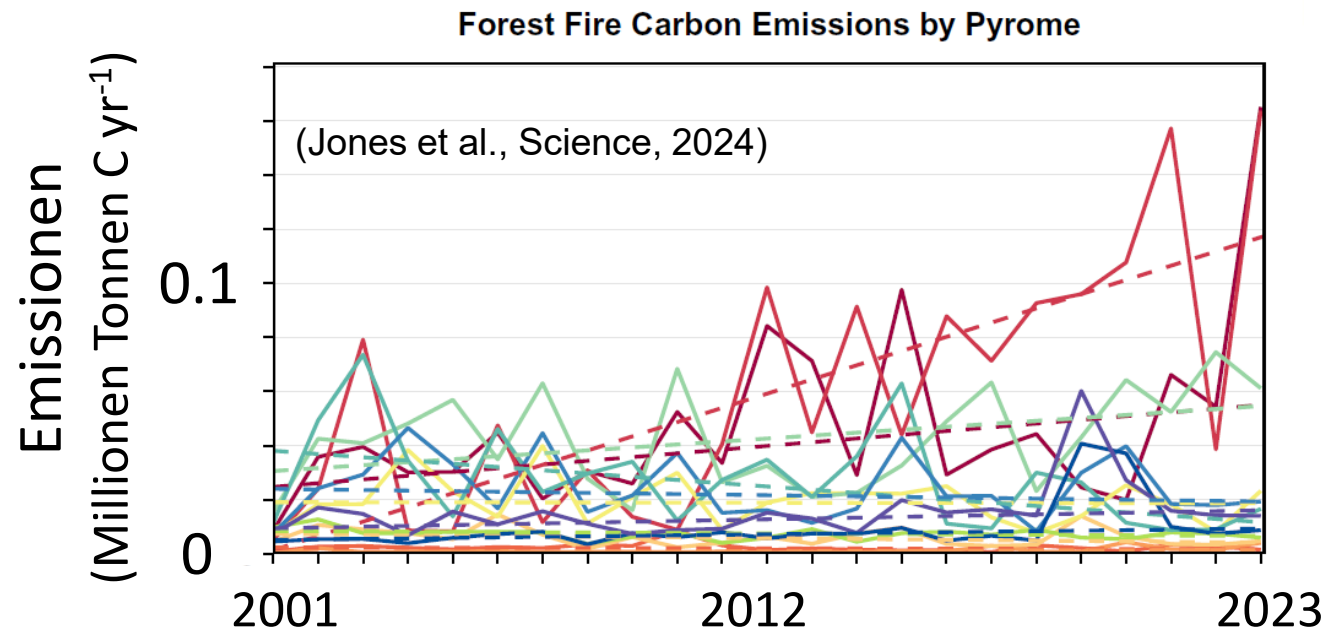
Globale CO₂ Emissionen von Waldbränden: +60% seit 2001



Photo: Stefan Doerr

Feuer sind Teil des natürlichen CO₂ Kreislaufes und tragen ~3% zum CO₂ Rückfluss vom Land an die Atmosphäre bei.

Entsprechen ~ 20% der fossilen Emissionen



Die Klimaerwärmung begünstigt Waldbrände und führt zu mehr CO₂ Emissionen.



Earth seen from
Galileo Space craft
(source JPL, NASA)

*How inappropriate to call this planet
Earth when it is clearly Ocean.*

- Arthur C. Clarke



Earth seen from
Galileo Space craft
(source JPL, NASA)

Dienste des Ozeans:

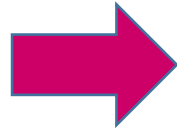
- CO₂ Aufnahme
- Wärmeaufnahme
- Nahrung
- ..

Risiken aus Kohle/Öl/Gas:

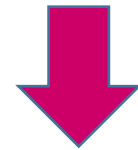
- Deoxygenation
- Acidification
- Erhitzung
- Meeresspiegelanstieg
- Extreme Ereignisse
- ..

Aufnahme von anthropogenem CO₂

CO₂ Emissionen



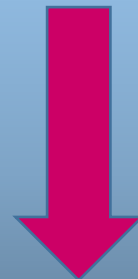
Atmosphärische CO₂ Zunahme



Air-to-sea flux

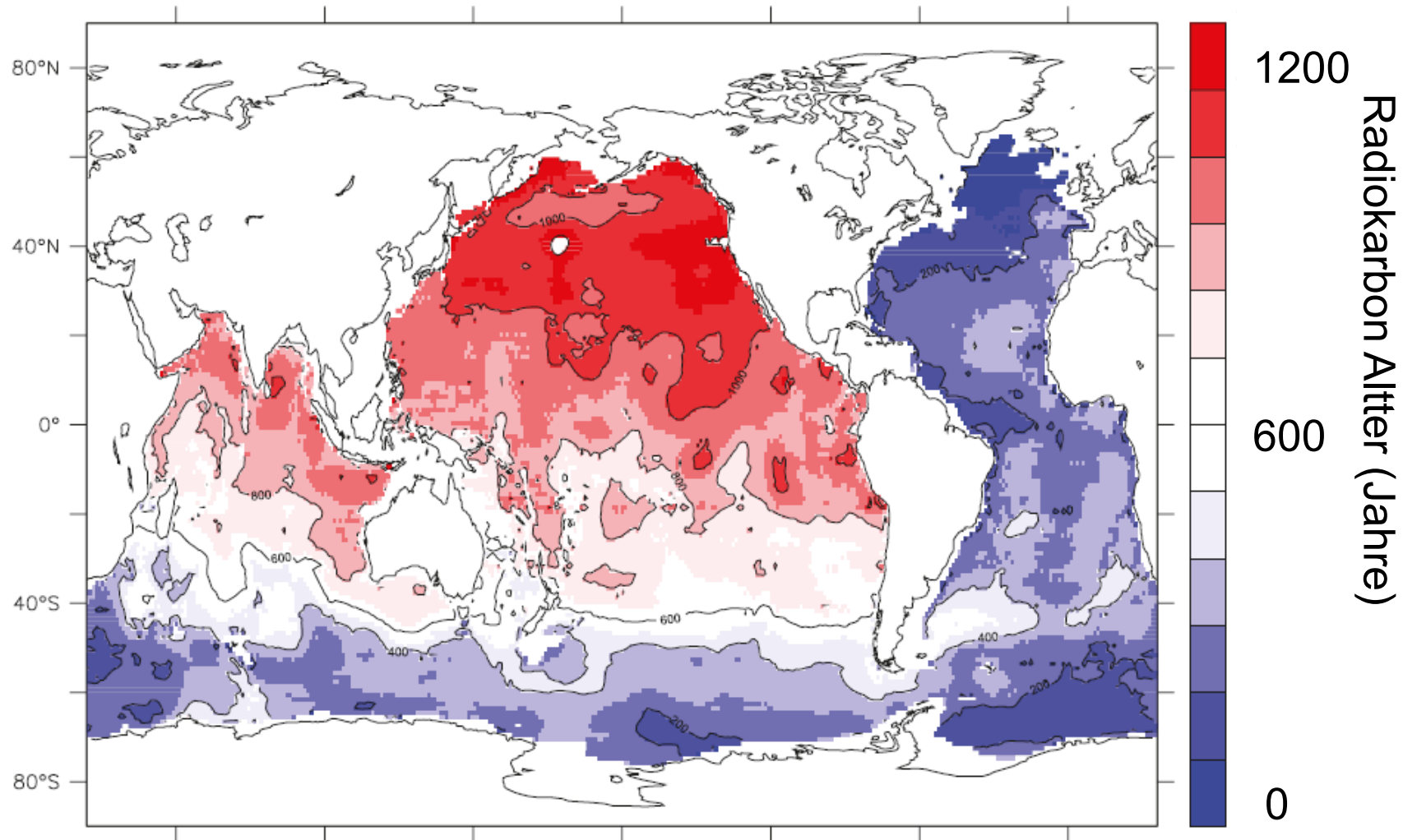


Climate feedbacks:
climate-driven changes
in solubility, sea ice,
circulation, biology



Transport
von zusätzlichem C
in die Tiefe

Transport in die Tiefe dauert Jahrhunderte Radiokarbon Alter unterhalb von 1500 m



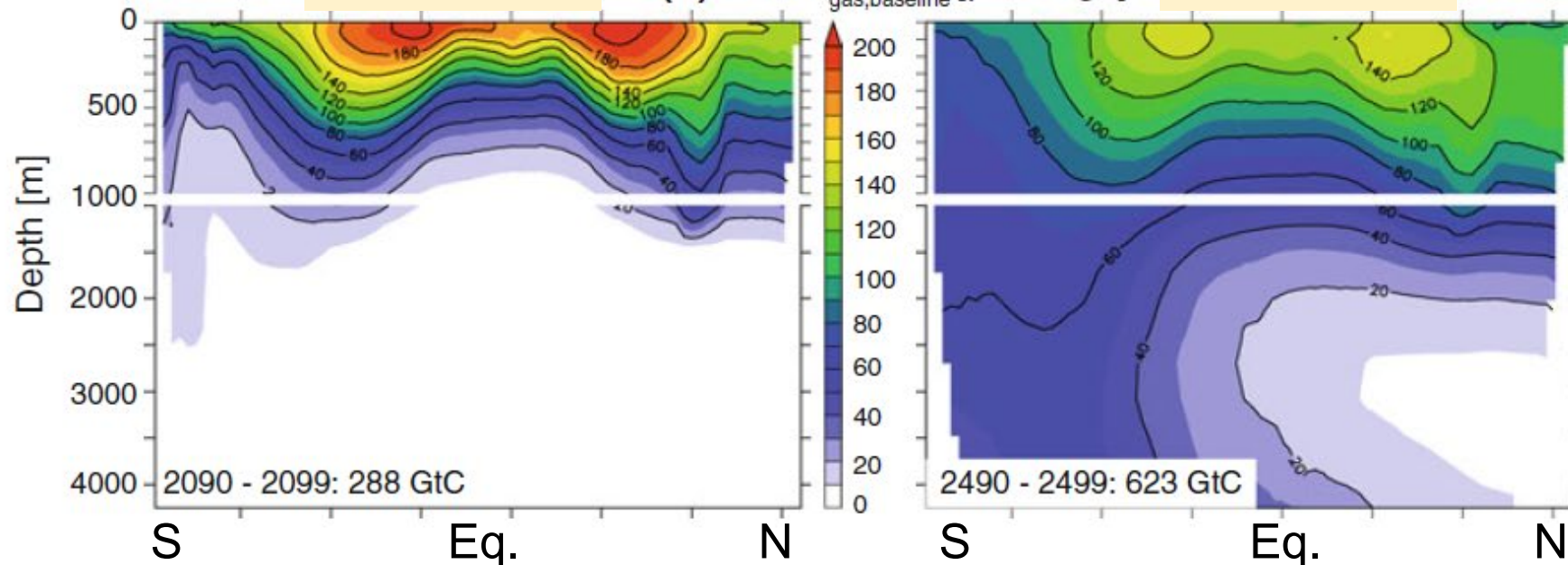
Die CO₂ Störung wird nur langsam vom Ozean aufgenommen und bleibt über Jahrtausende

Anthropogener Kohlenstoff

2100 AD

(a) $\Delta sDIC_{\text{gas,baseline}}$ [$\mu\text{mol kg}^{-1}$]

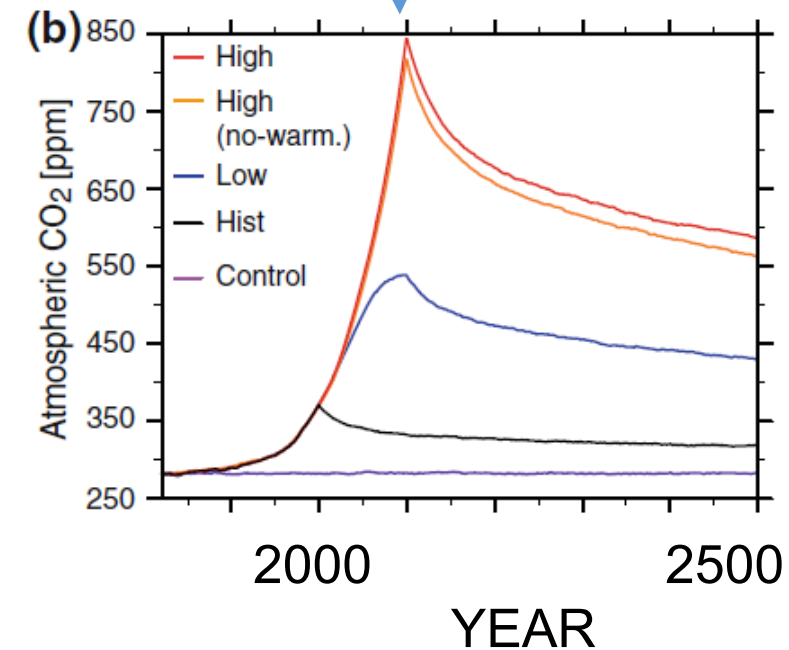
2500 AD



Pazifik, ΔDIC [$\mu\text{mol kg}^{-1}$]

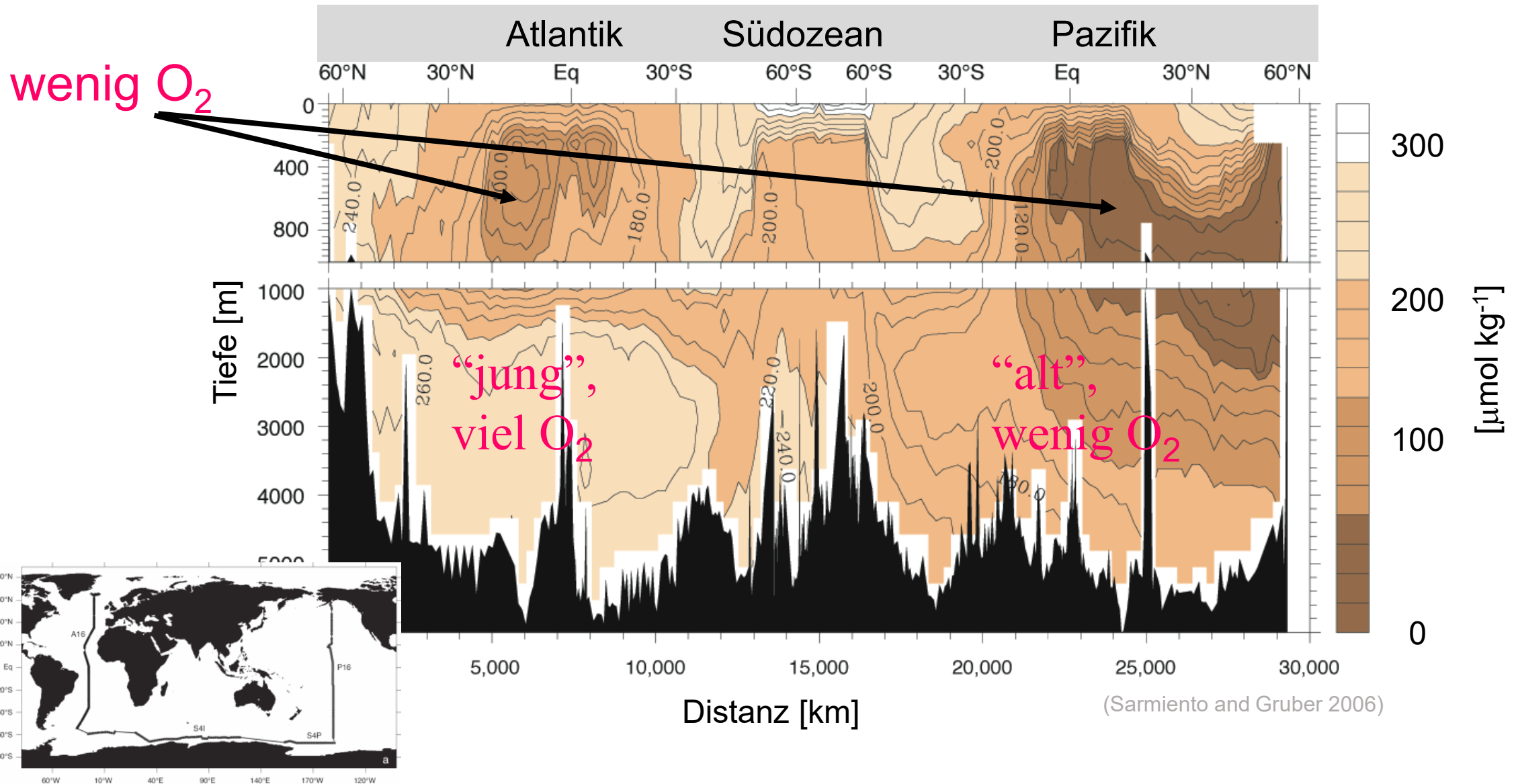
Atm. CO₂

Stopp der Emissionen



Ocean deoxygenation: Der Sauerstoff im Ozean nimmt ab

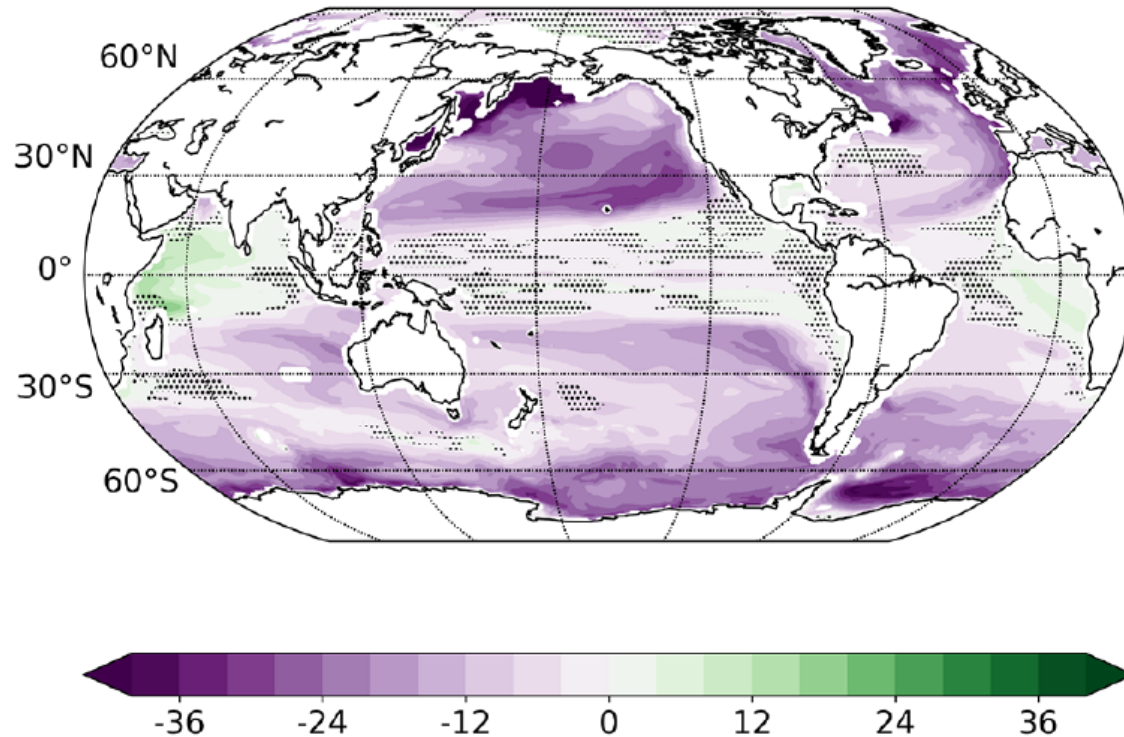
Beobachtete Sauerstoffverteilung: O₂ wird in der Tiefe durch die Zersetzung von organischem Material vermindert



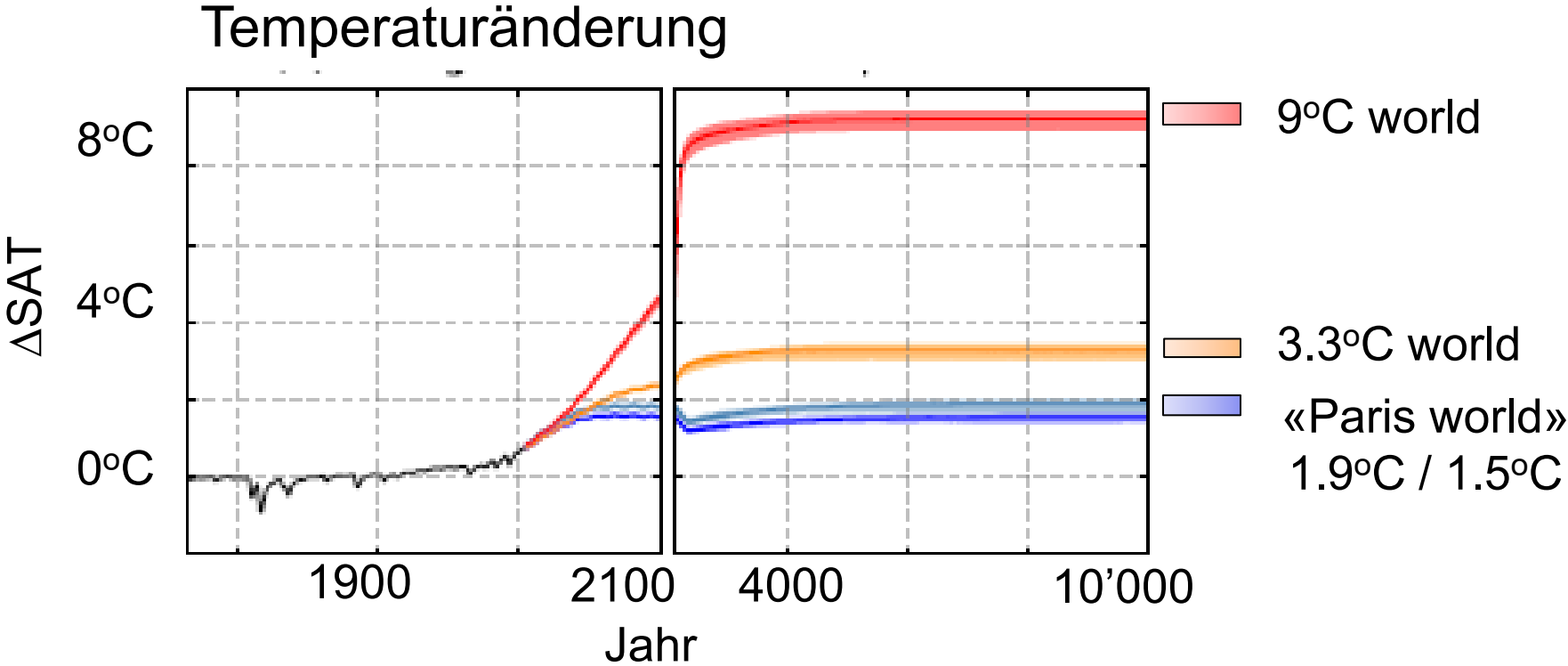
ΔO_2 in der Thermokline (200-600 m)

Earth System Model simulations from 1860 to 2100

(b) Multi-model median of ΔO_2 [mmol m^{-3}]

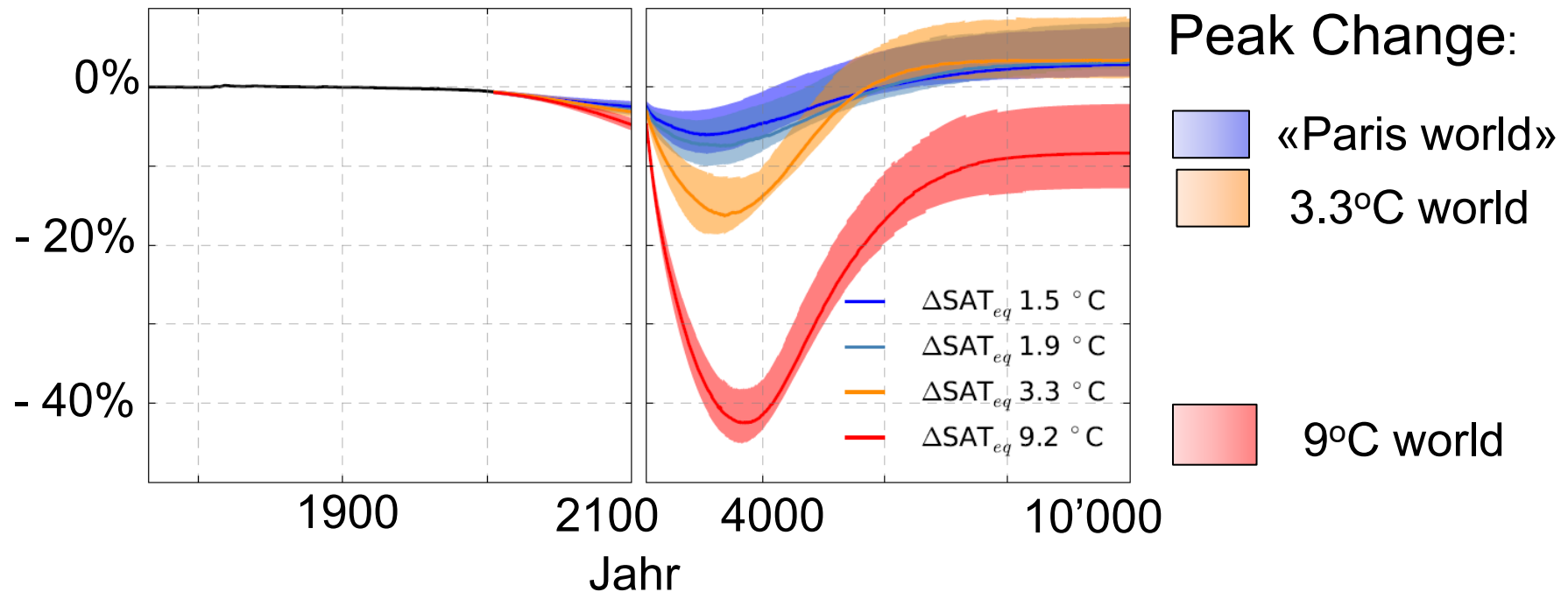


Lang-andauernde Veränderungen Simulationen über die nächsten 10'000 Jahre



- Sauerstoffinventar nimmt bis zu 40% ab
- Maximum der Deoxygenation ist 1'000 Jahre nach der Stabilisierung der Treibhausgase
- Die Situation verschlimmert sich noch lange nachdem die Erwärmung gestoppt wurde

Änderung des O₂ Inventars des Ozeans

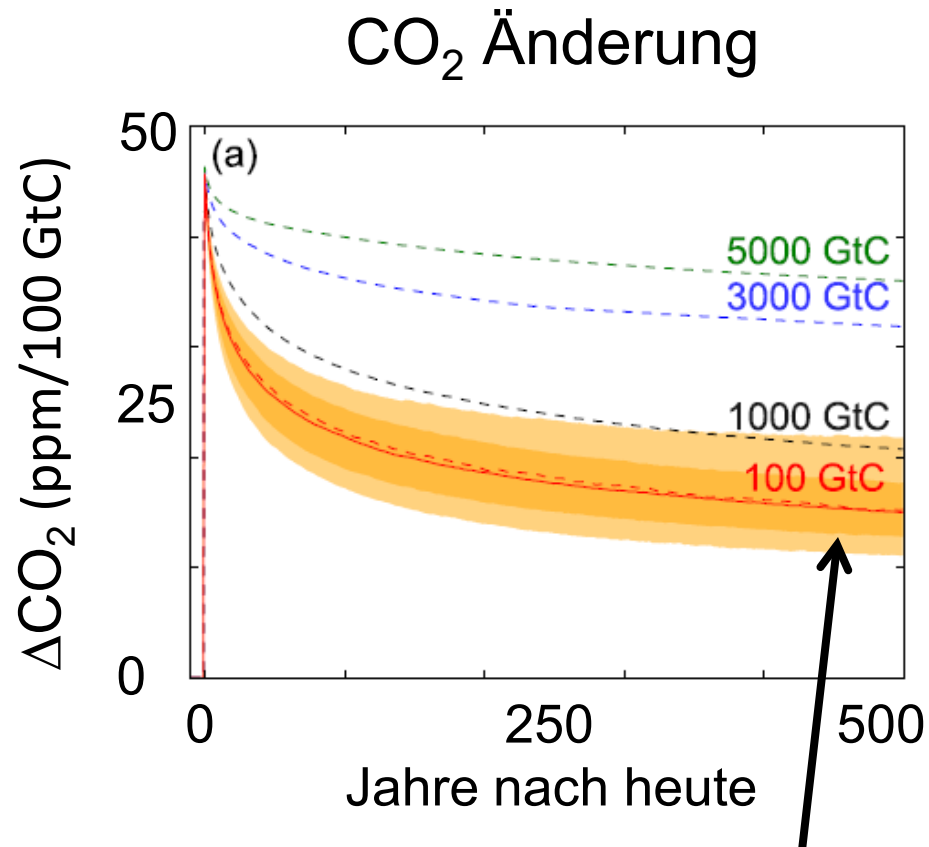


Irreversible Wirkung der CO₂ Emissionen

Wie verändern die Emissionen der letzten 10 Jahre

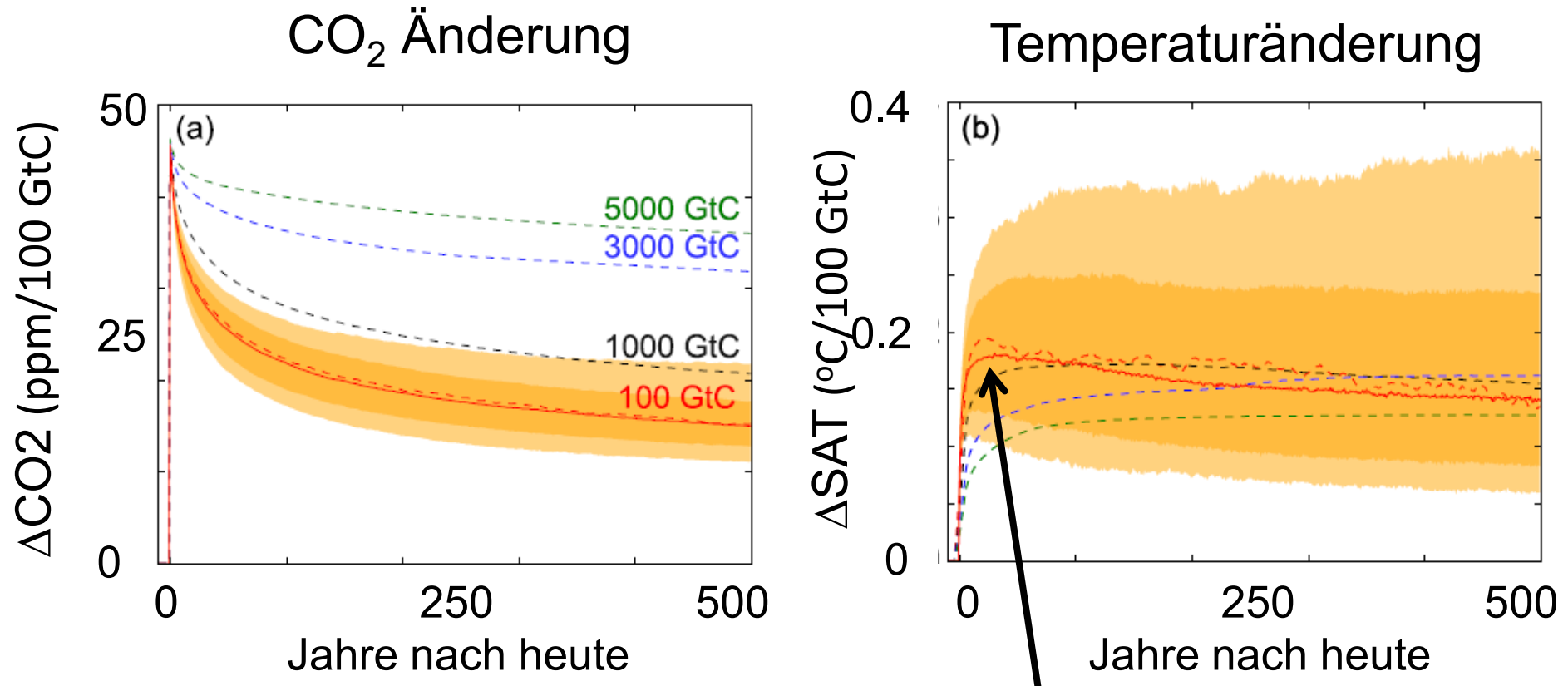
- CO₂ in der Atmosphäre ?
- die globale mittlere Oberflächentemperatur ?

Die Auswirkungen der CO₂ Emissionen sind irreversibel auf menschlichen Zeitskalen




Ein grosser Teil der Emissionen bleibt Jahrtausende in der Atmosphäre

Die Auswirkungen der CO₂ Emissionen sind irreversibel auf menschlichen Zeitskalen



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

International efforts to address climate change

"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

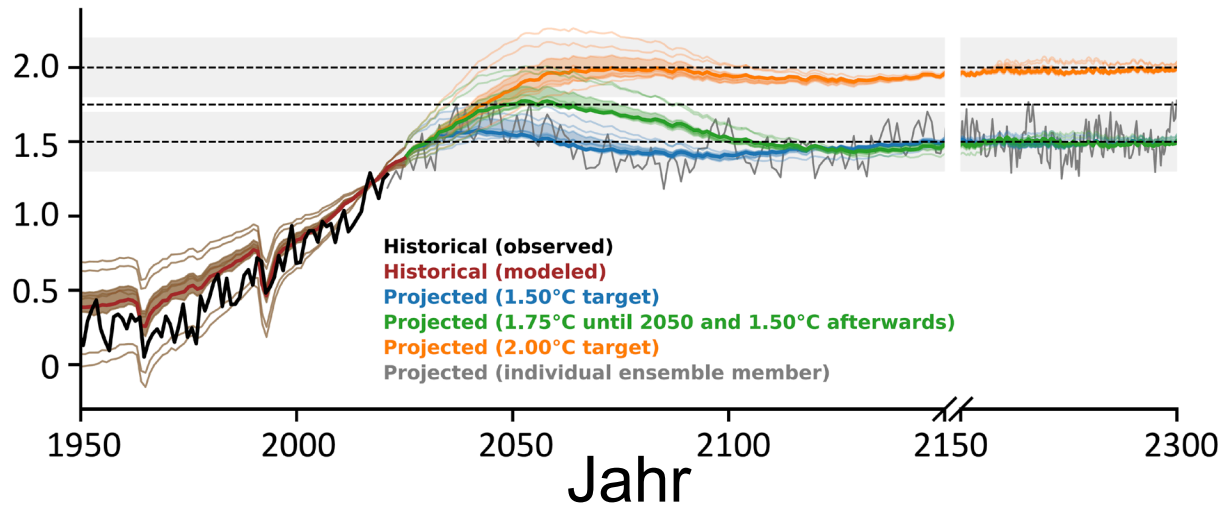
2015 Paris

Efforts für 1.5 °C

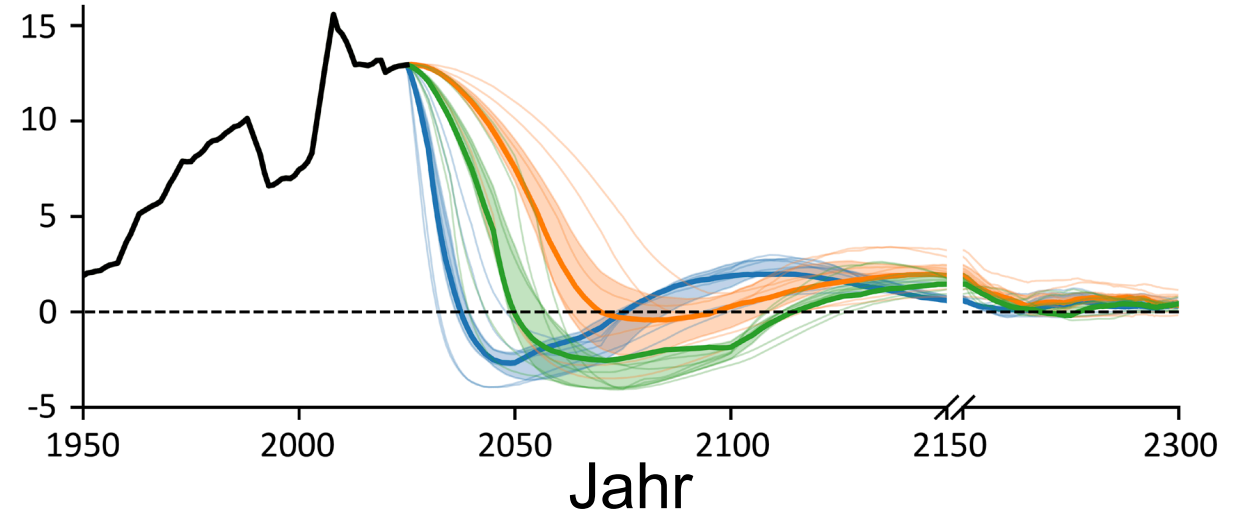
Wie rasch müssen die Emissionen sinken um die Ziele von Paris zu erreichen?

Wie rasch müssen die Emissionen sinken?

Erwärmung auf 1.5 und 2°C



CO₂-äquivalent Emissionen (Milliarden Tonnen C a⁻¹)



- Für das 1.5°C Ziel müssten die Emissionen global innerhalb 10-20 Jahre (2033-2048) auf Null fallen und danach müsste bis zu 3 Milliarden Tonnen C aus der Atmosphäre entfernt werden.
- Für das 2°C Ziel müssen die Emissionen in der 2. Hälfte des Jahrhunderts global auf Null sein.

Wir verändern durch die Verbrennung
von Kohle, Erdöl und Erdgas
das Erdsystem irreversibel
in vielfältiger Weise

