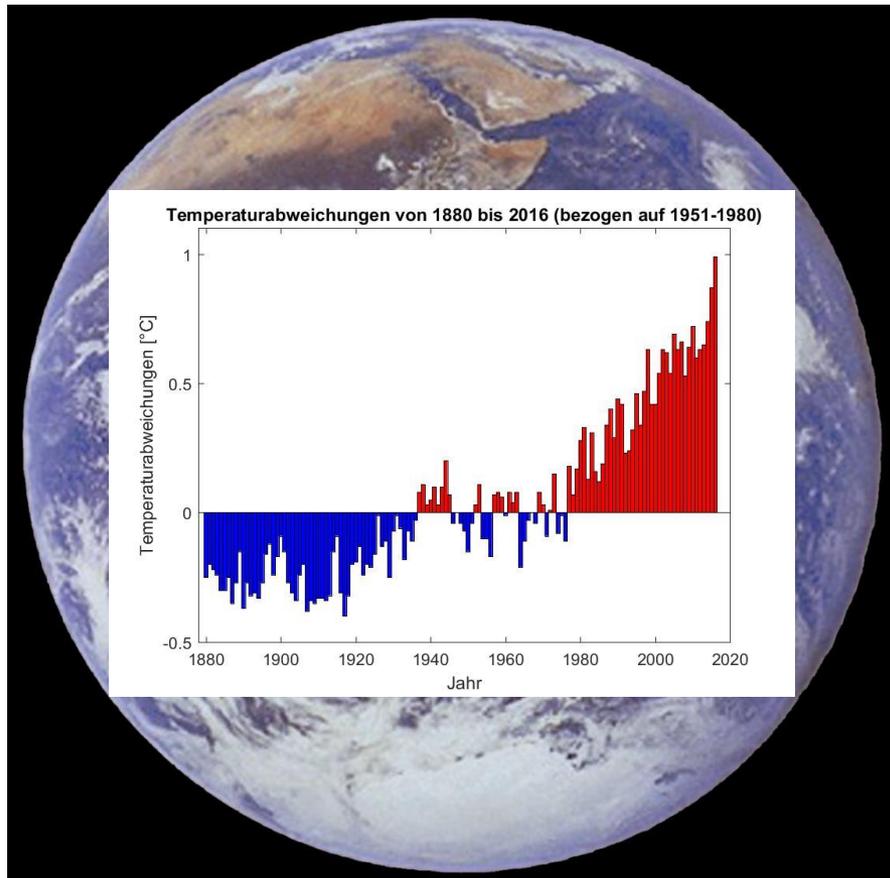


Klimawandel - Was kommt auf uns zu?



Peter Lemke

**Alfred-Wegener-Institut
Helmholtz-Zentrum für
Polar- und Meeresforschung
Bremerhaven**

**Institut für Umweltphysik
Universität Bremen**

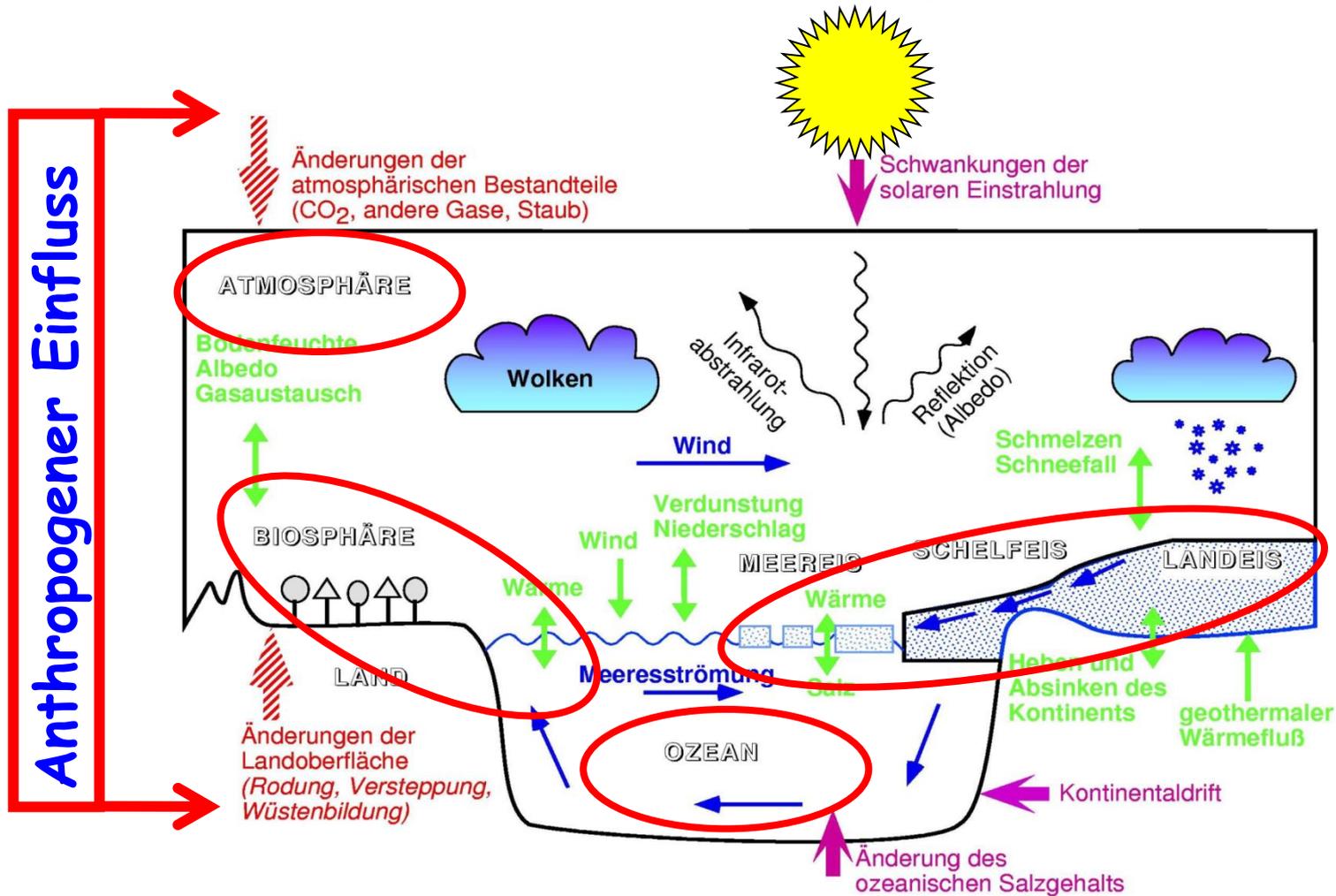
Inhalt

1. Was ist das Problem?
2. Was wird beobachtet?
3. Was bringt die Zukunft?
4. Und was tun wir?

Inhalt

1. Was ist das Problem?
2. Was wird beobachtet?
3. Was bringt die Zukunft?
4. Und was tun wir?

Das Klimasystem



**Wechselwirkung zwischen Klimakomponenten:
Austausch von Wärme, Impuls, Masse**

Klimaänderungen

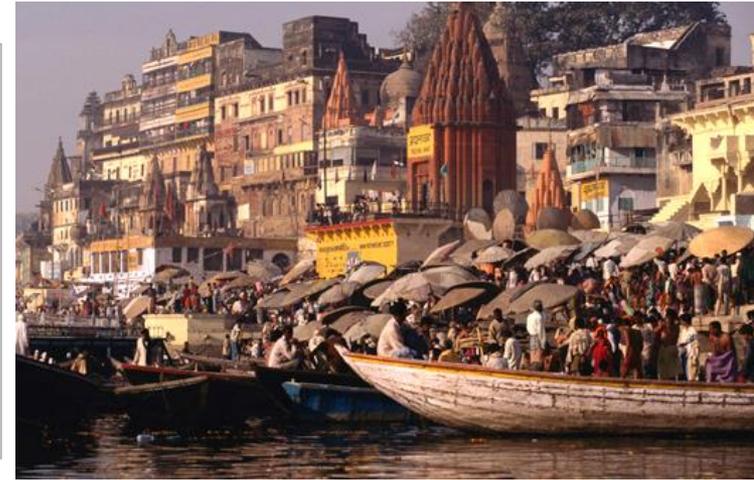
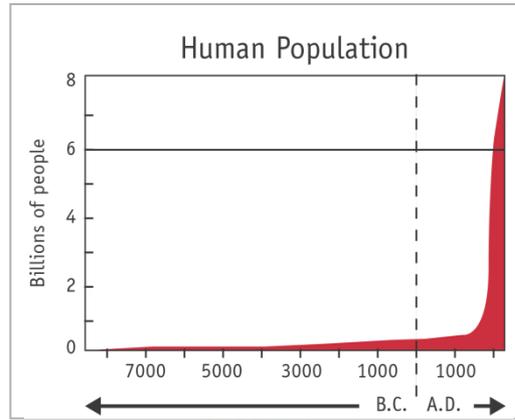
Natürliche Ursachen:

- ❖ Externe: Sonne (zurzeit sehr konstant)
Änderungen der Umlaufbahn
(lange Zeitskalen, >20.000 Jahre)
Vulkanausbrüche (kurze Zeitskala)
- ❖ Interne: Rückkopplungen im Klimasystem,
Nichtlinearitäten

Anthropogene (menschliche) Ursachen:

- ❖ Änderungen der Landoberfläche
- ❖ CO₂-Emissionen

Weltbevölkerung: 6,756,528,577



The Challenge: Sustainable Management of an Ever-Changing Planet



Ernährung

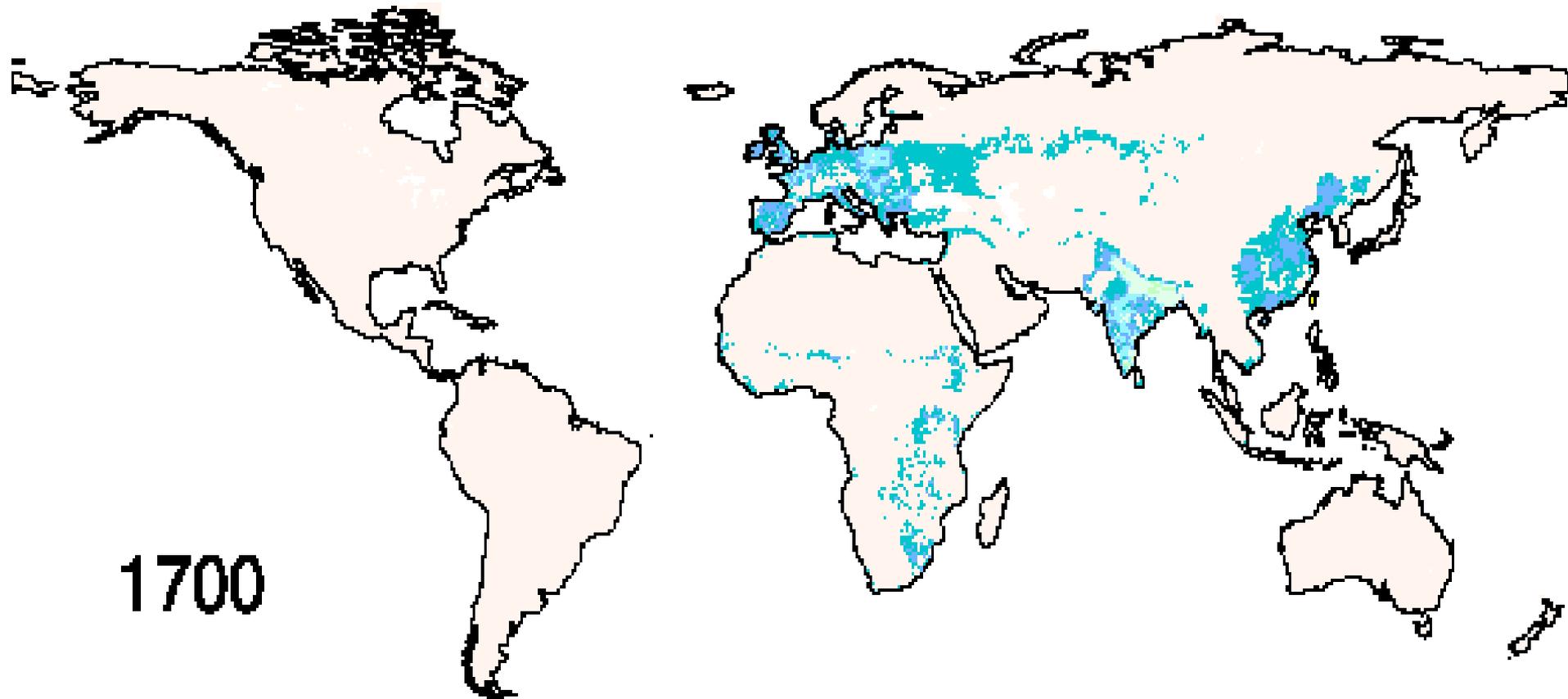


The Challenge: Food Security

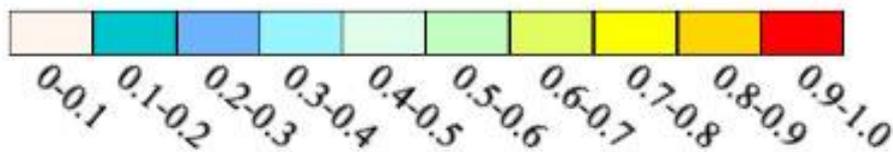
Global Crop Cover Change 1700 to 1992



Center for
Sustainability and
the Global Environment
Institute for Environmental Studies
University of Wisconsin-Madison

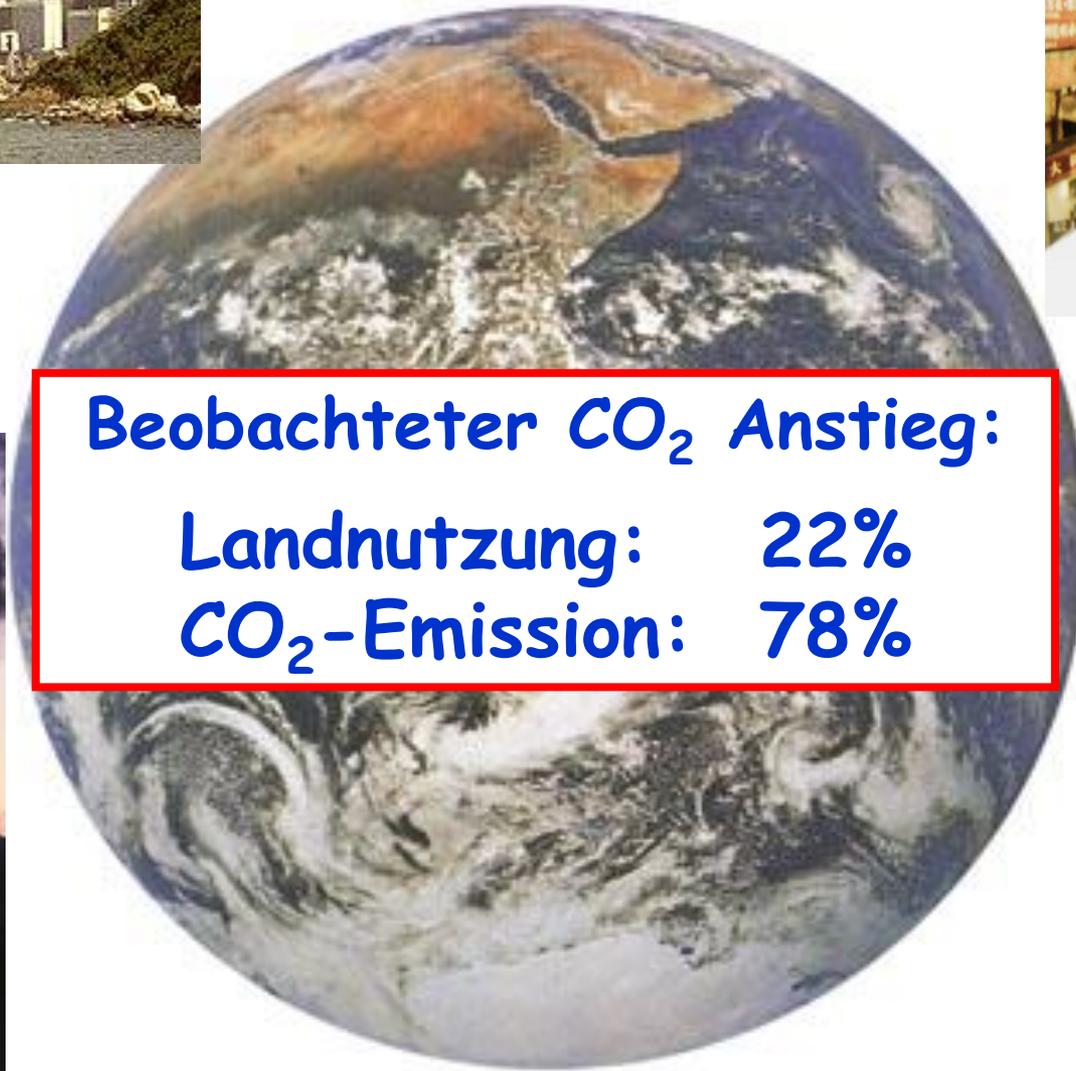


1700



Fraction of Grid Cell in Croplands





Beobachteter CO_2 Anstieg:

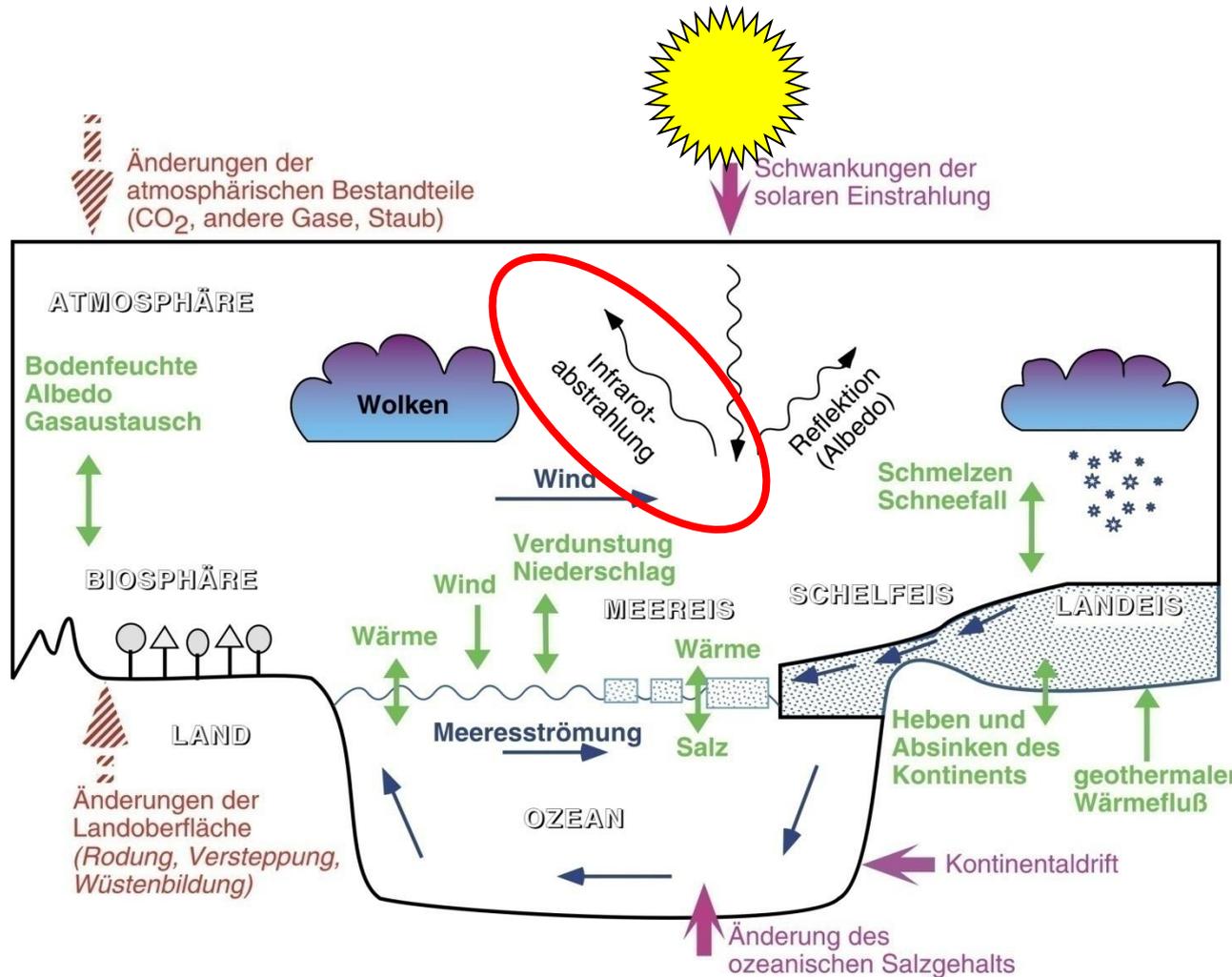
Landnutzung: 22%

CO_2 -Emission: 78%



Was bedeutet das für die Energiebilanz der Erde?

Klimasystem



Planetare Gleichgewicht:
Strahlungs-
Temperatur

255 K = -18°C

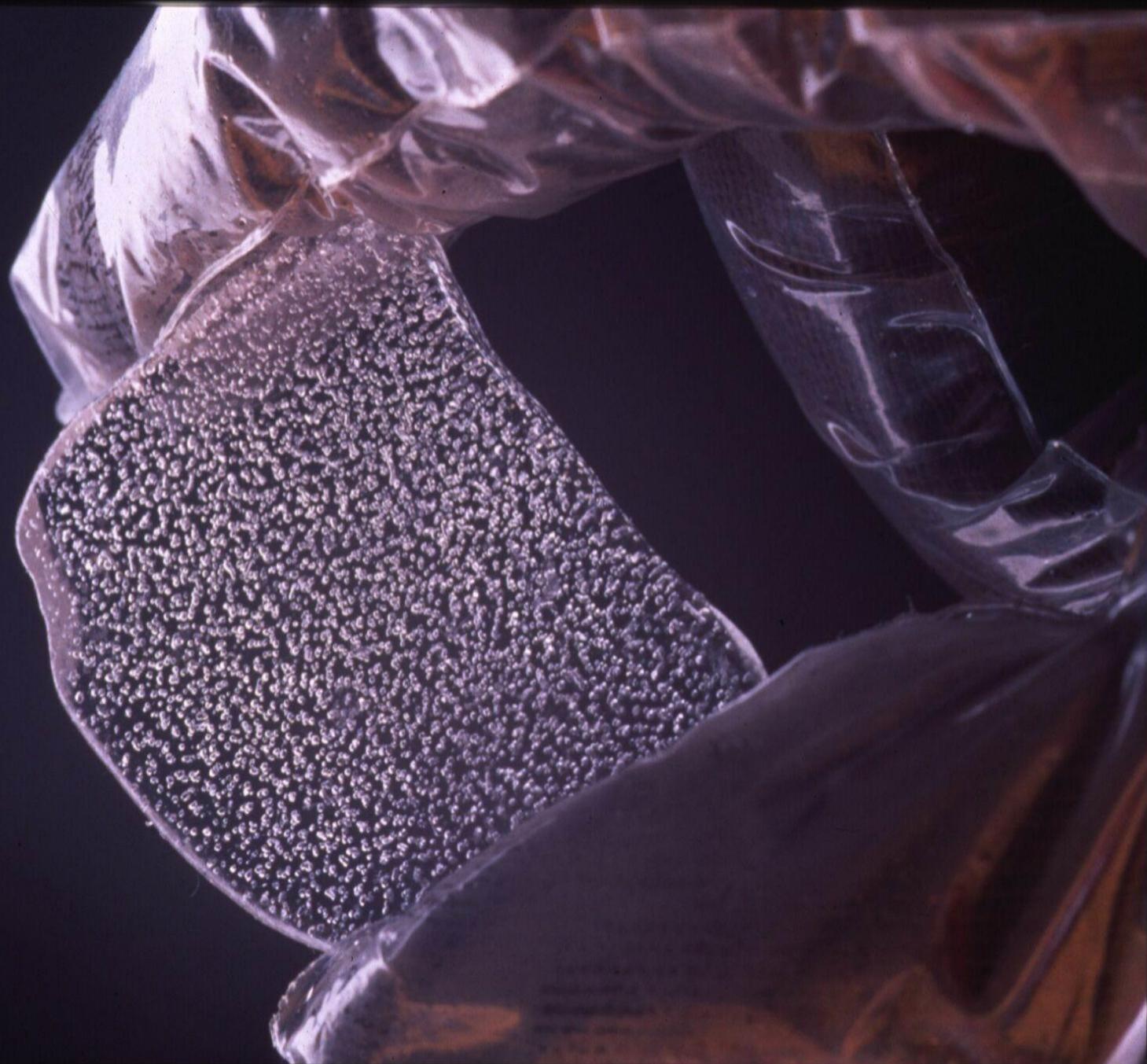
Natürliche
Treibhausgase

Oberflächentemp.

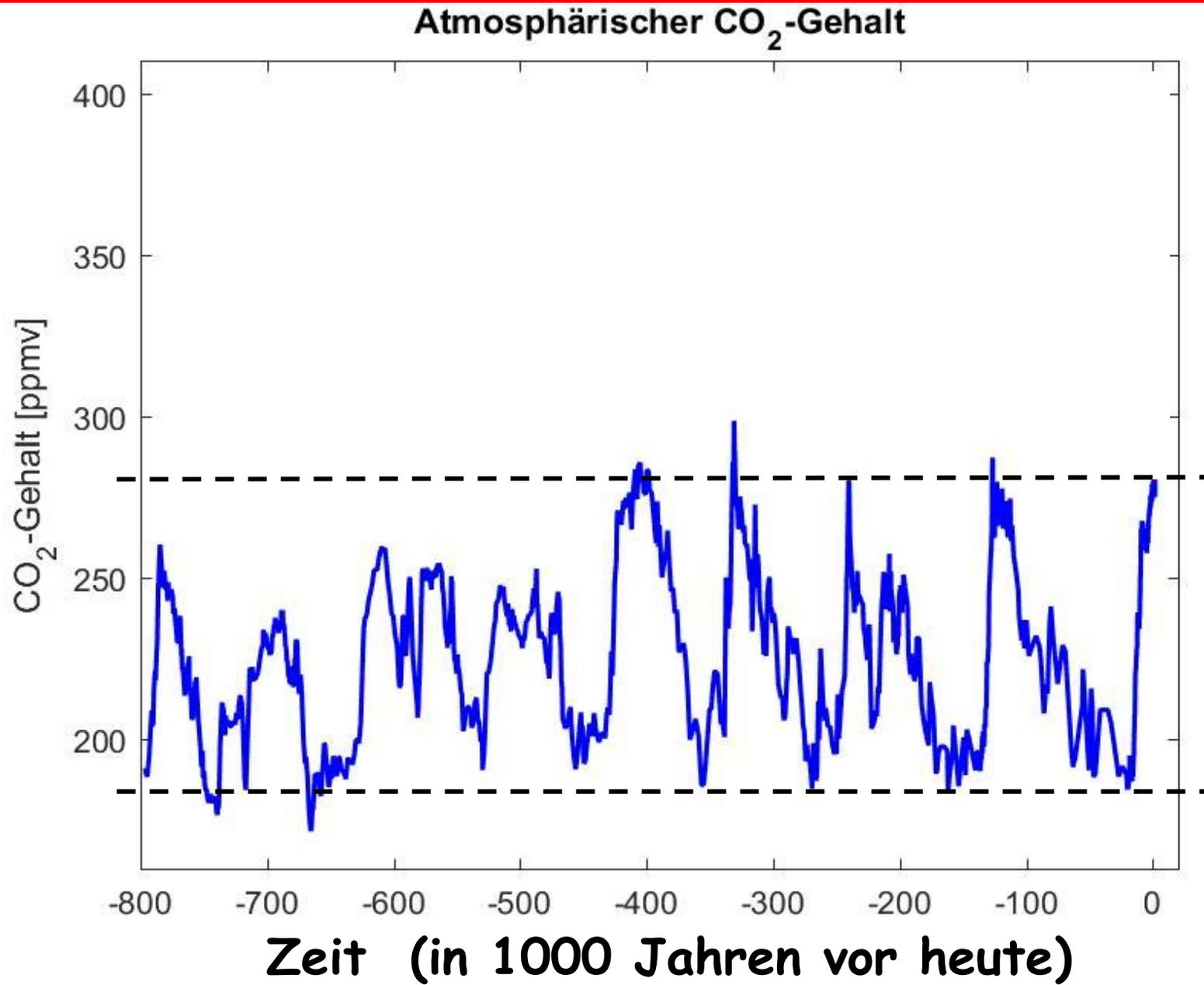
288 K = +15°C

Inhalt

1. Was ist das Problem?
2. Was wird beobachtet?
3. Was bringt die Zukunft?
4. Und was tun wir?

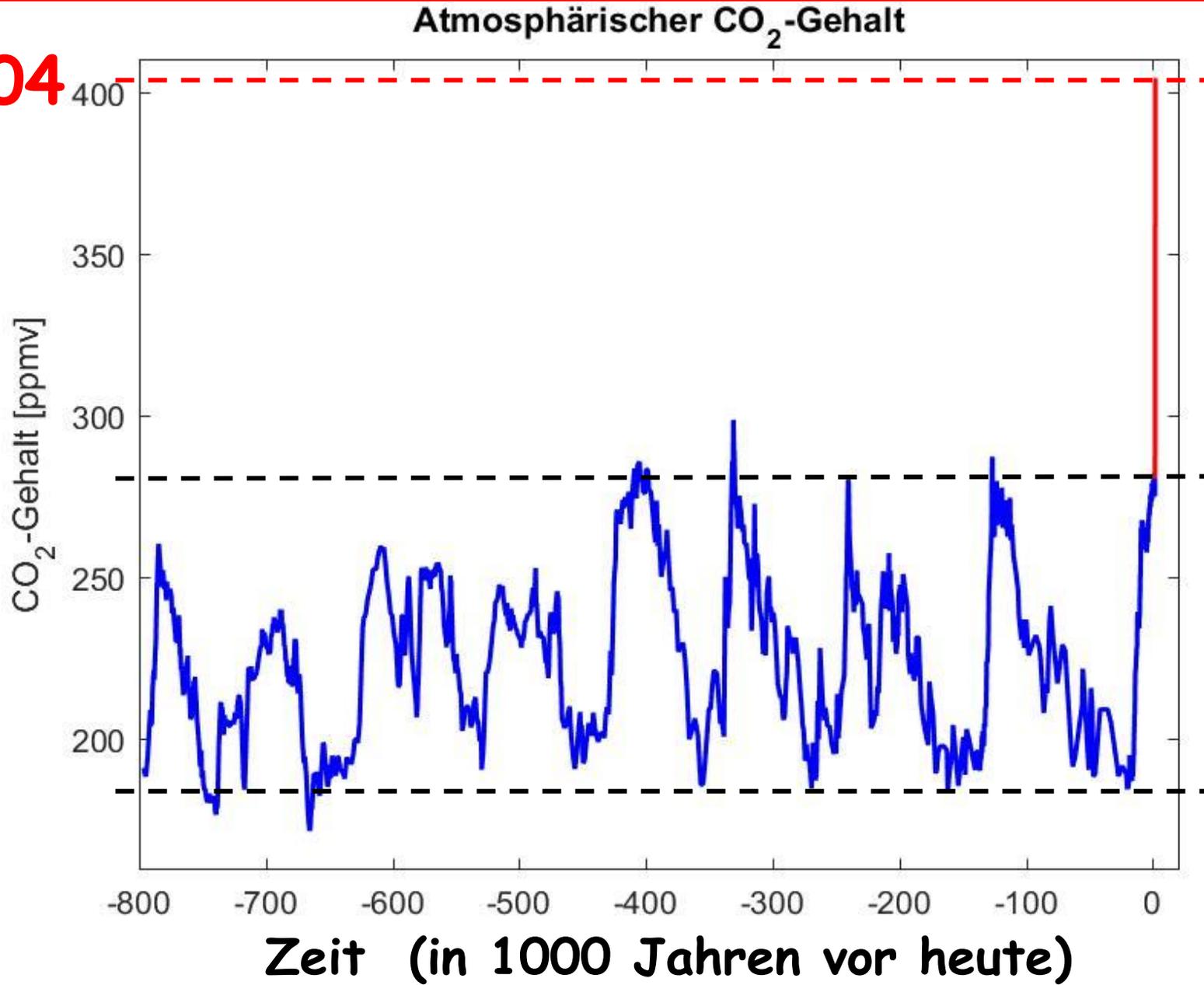


Atmosphärische Gaskonzentrationen aus Eiskernen

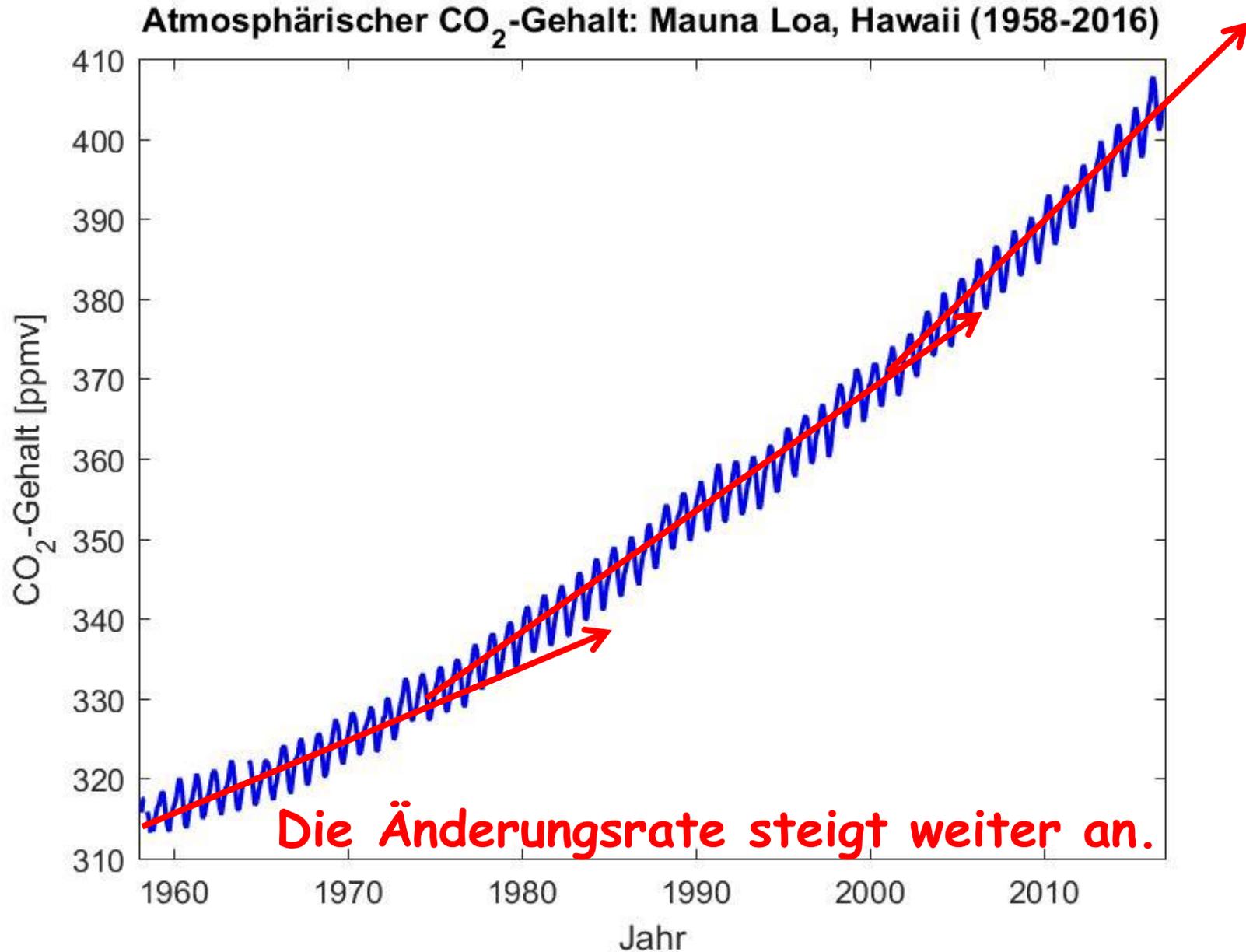


Atmosphärische Gaskonzentrationen aus Eiskernen

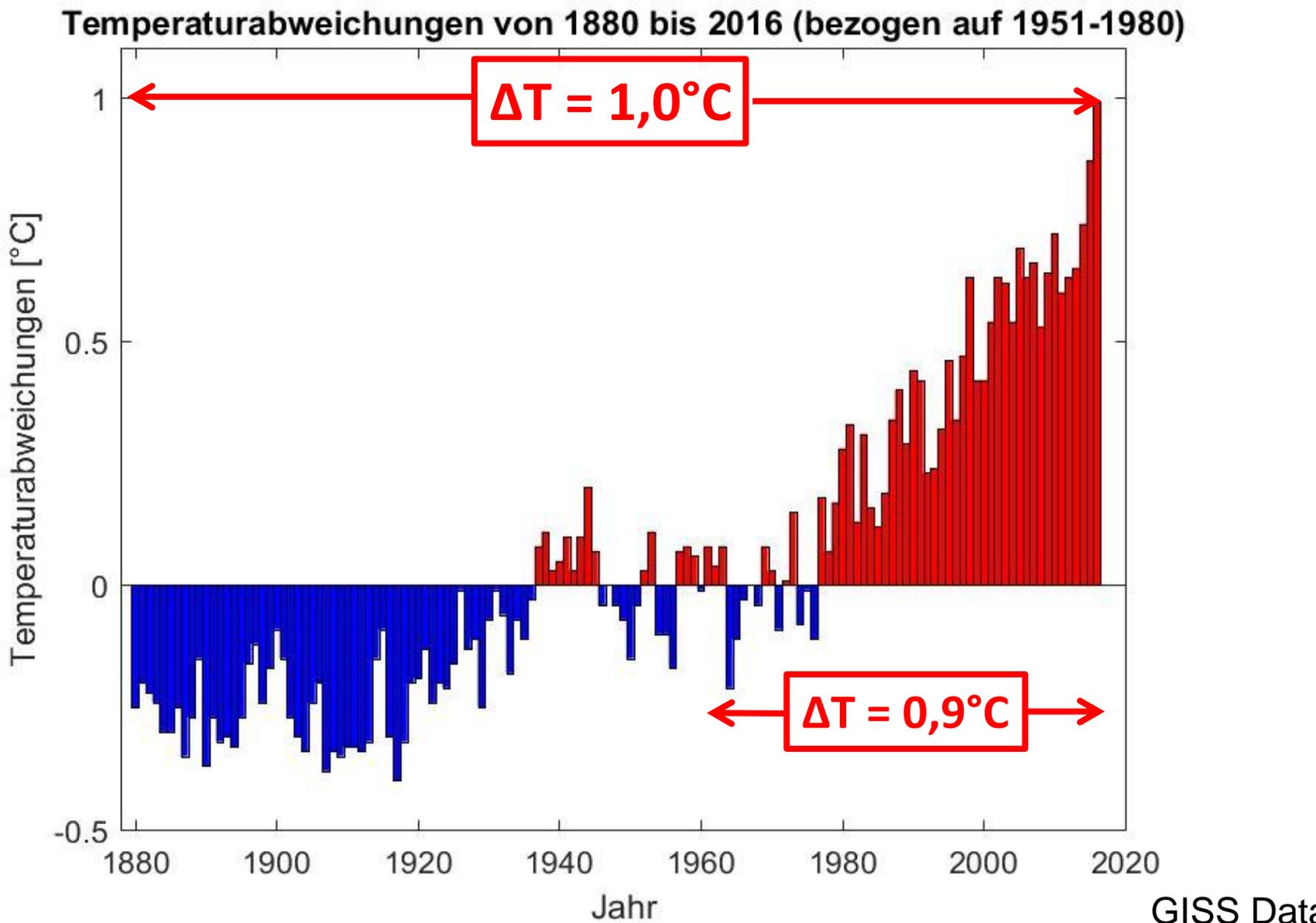
404



Atmosphärischer CO₂-Gehalt: Mauna Loa (1958-2016)



Global gemittelte Temperaturen steigen deutlich an



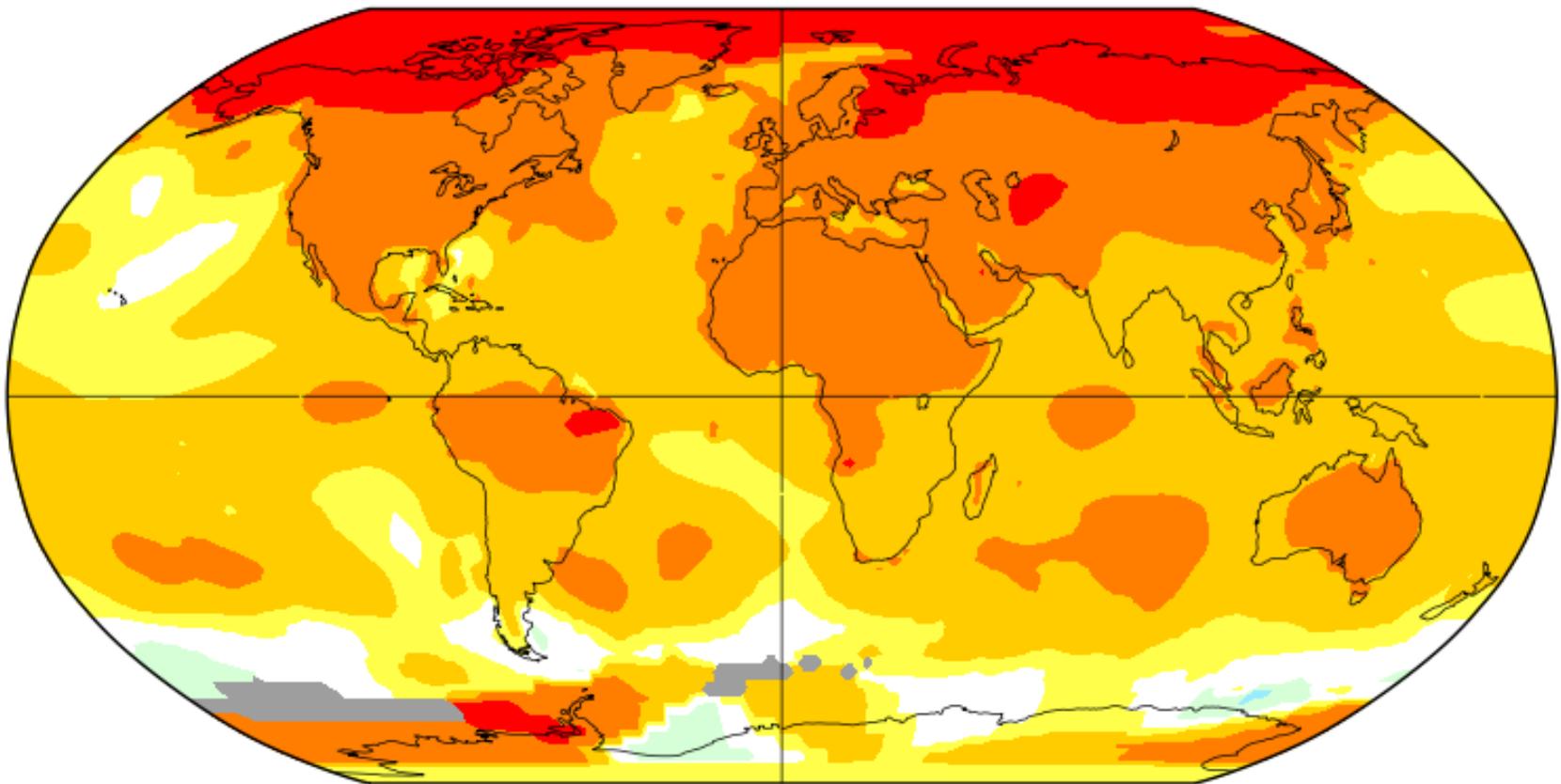
Temperatur-Trend seit 1960

Trends in Annual Surface Air Temperature GISS 1960-2016

Annual J-D

L-OTI(°C) Change 1960-2016

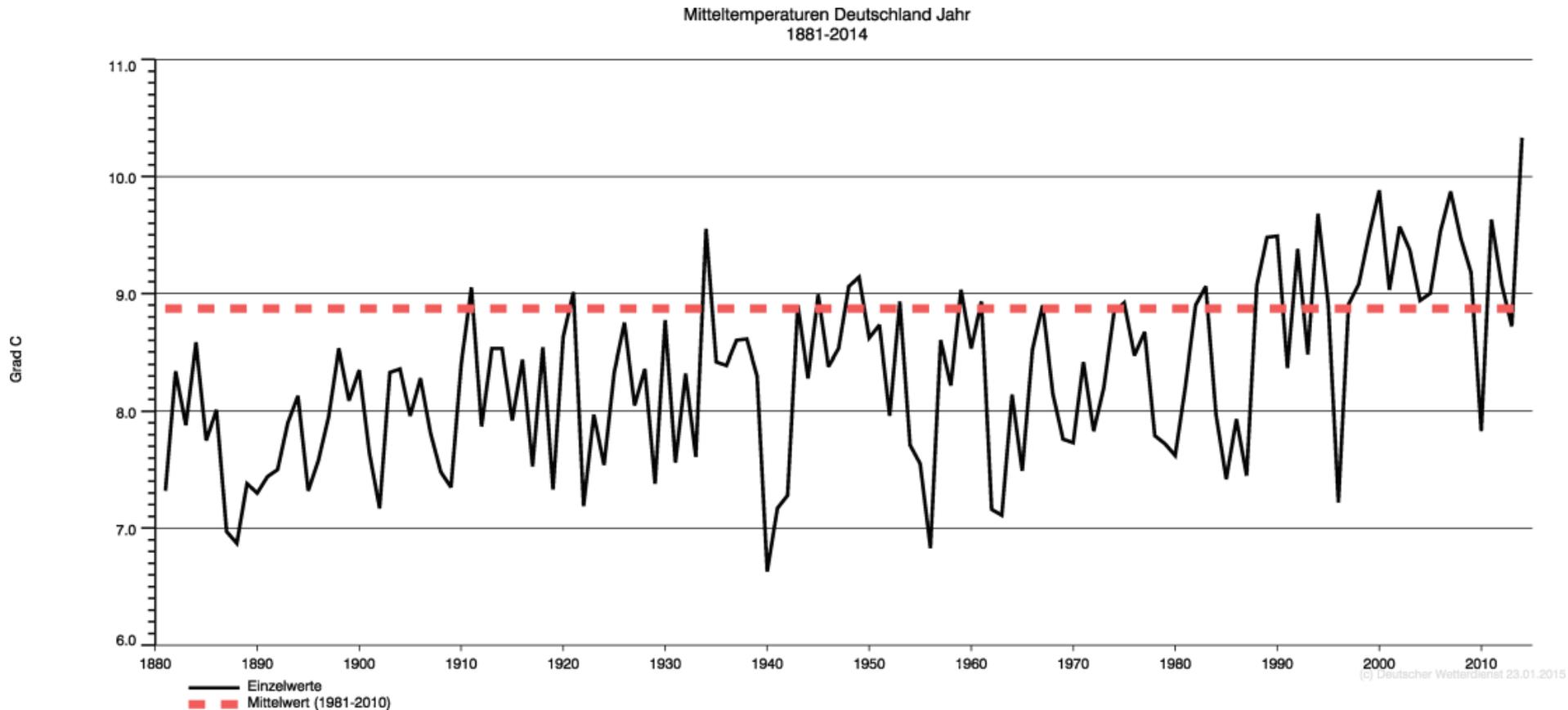
0.92



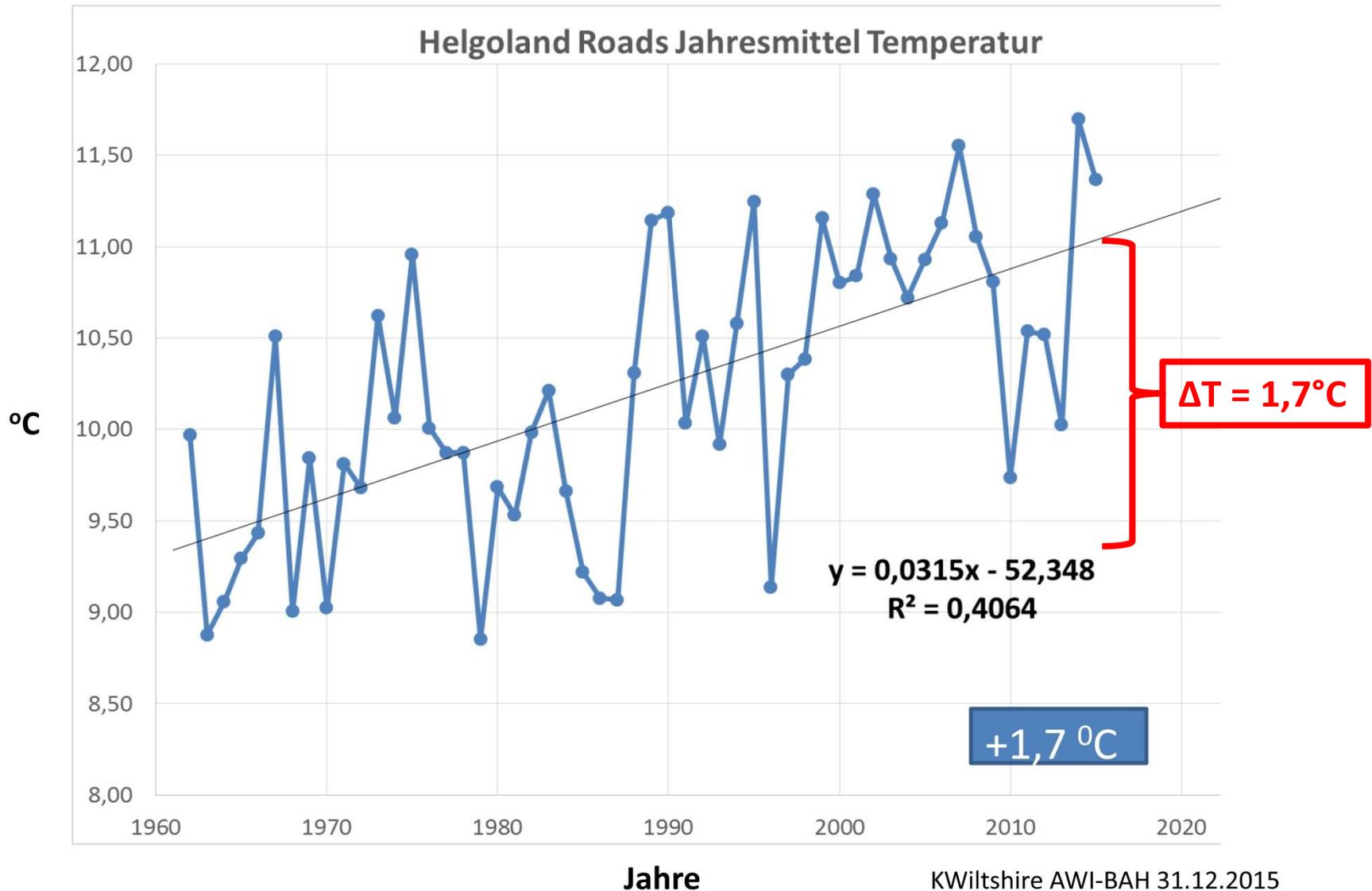
Temperatur-Trend für Deutschland (DWD)

100-Jahre-Trend: $0.12^{\circ}\text{C}/\text{Dekade}$ (global: $0.08^{\circ}\text{C}/\text{Dekade}$)

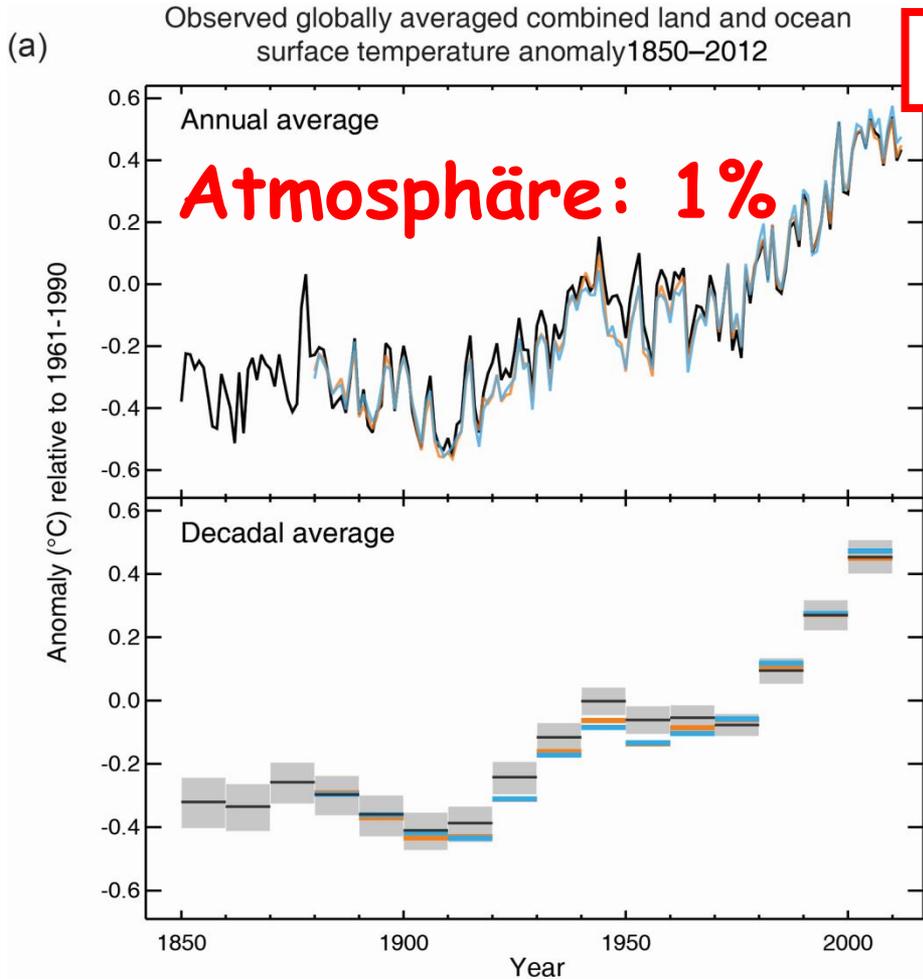
50-Jahre-Trend: $0.30^{\circ}\text{C}/\text{Dekade}$



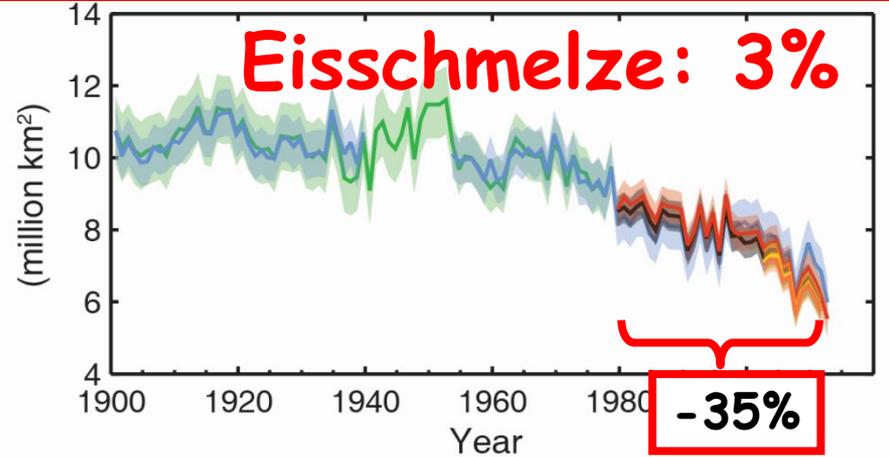
Helgoland Reede Temperatur steigt stärker an



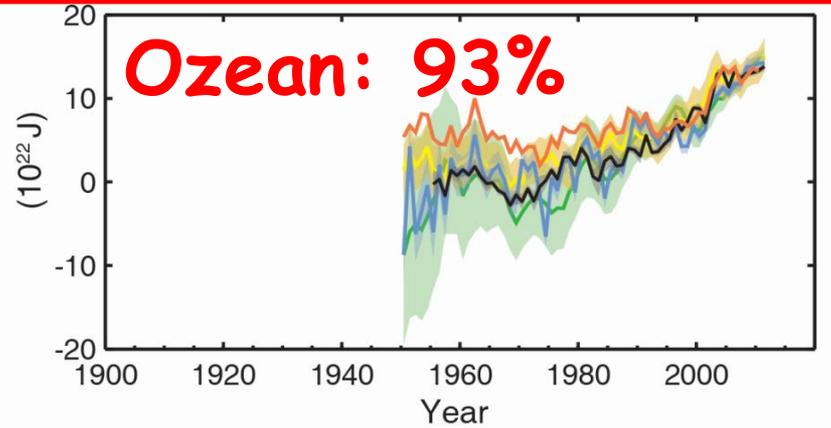
Globale Erwärmung ist eindeutig



Arktisches Meereis im Sommer

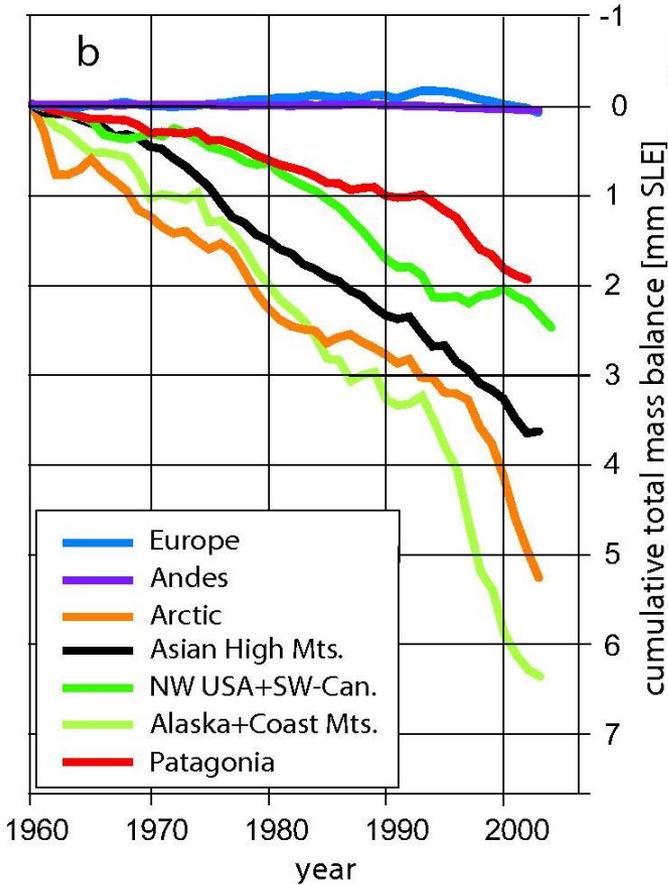


Oberer Ozean: Wärmehalt



Lufttemperatur am Boden

Beitrag von Gletschern zum Meeresspiegelanstieg seit 1961



1911



2001



Morteratsch Gletscher

Massenverlust von Gletschern und Eiskappen:

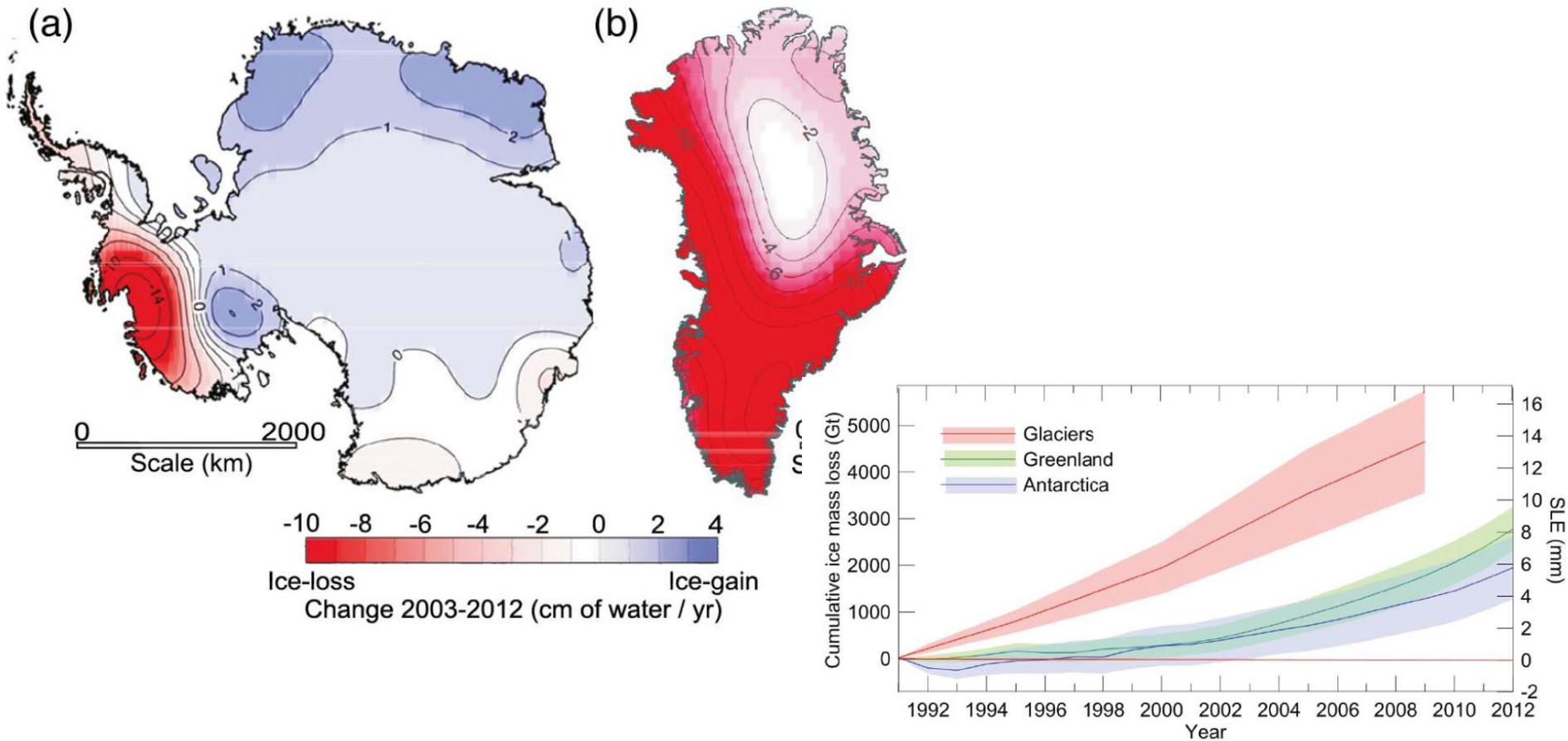
❖ $0.37 \pm 0.16 \text{ mm yr}^{-1}$, 1961-1990

❖ $0.77 \pm 0.22 \text{ mm yr}^{-1}$, 1991-2004

Neu (2013): 0.8 mm yr^{-1}

Verstärkter Gletscherrückgang seit Beginn der 1990er

Massenbilanz der Eisschilde



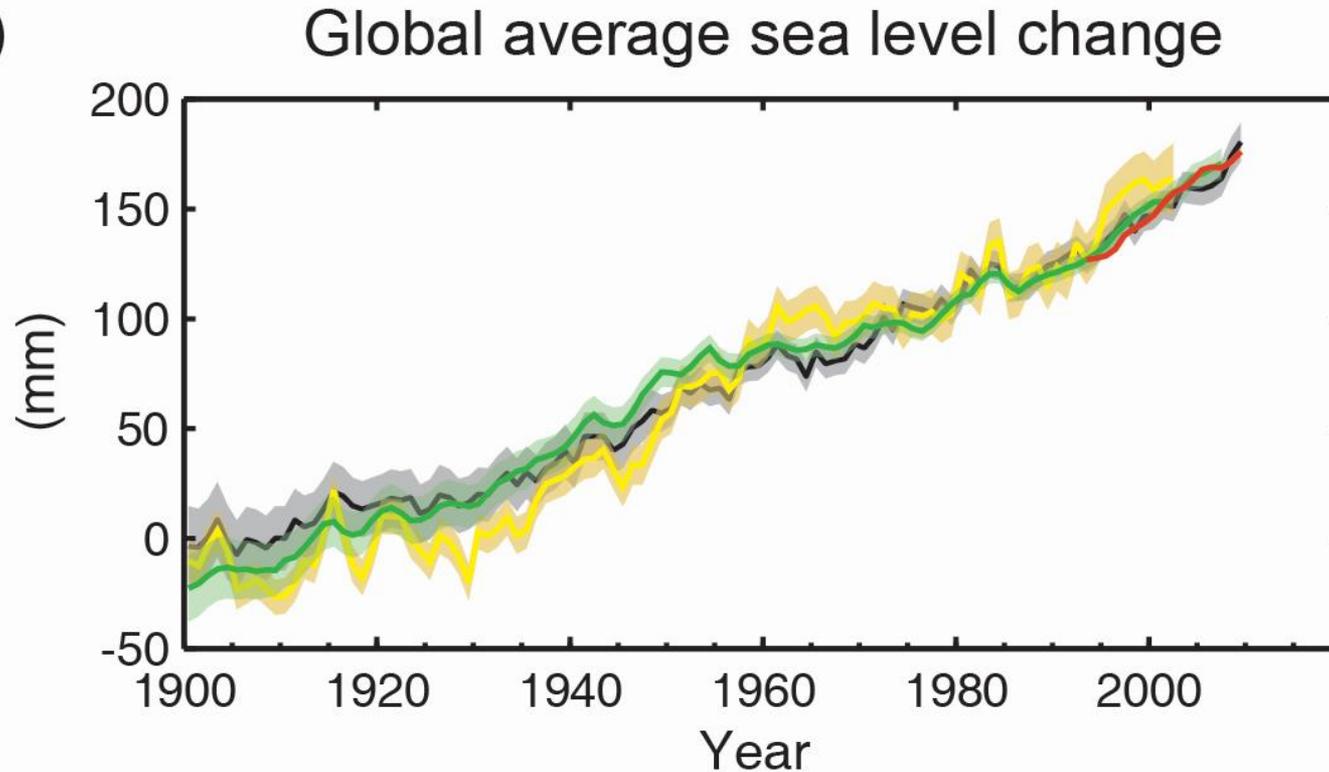
Eismassenverluste 2003-2012

Grönland 0.6 mm/a

Antarktis 0.4 mm/a

Meeresspiegelanstieg

(d)



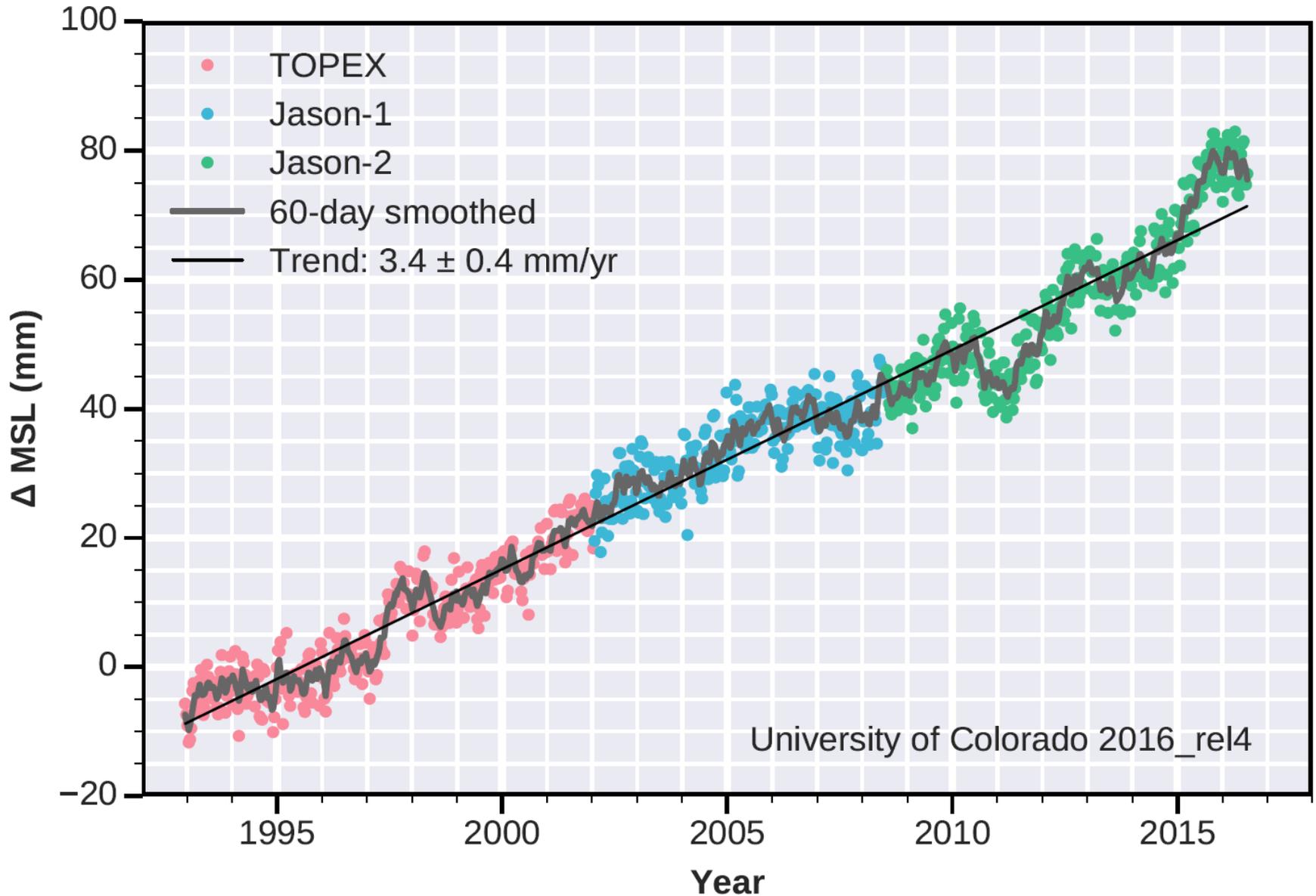
Zeitraum 1901 - 2010

Meeresspiegelanstieg: 0.19 m

Mittlerer Anstieg: 1.7 mm/year

Gegenwärtiger Anstieg: 3.2 mm/year

Globaler Meeresspiegelanstieg



Meeresspiegelanstieg in der Nordsee ist größer

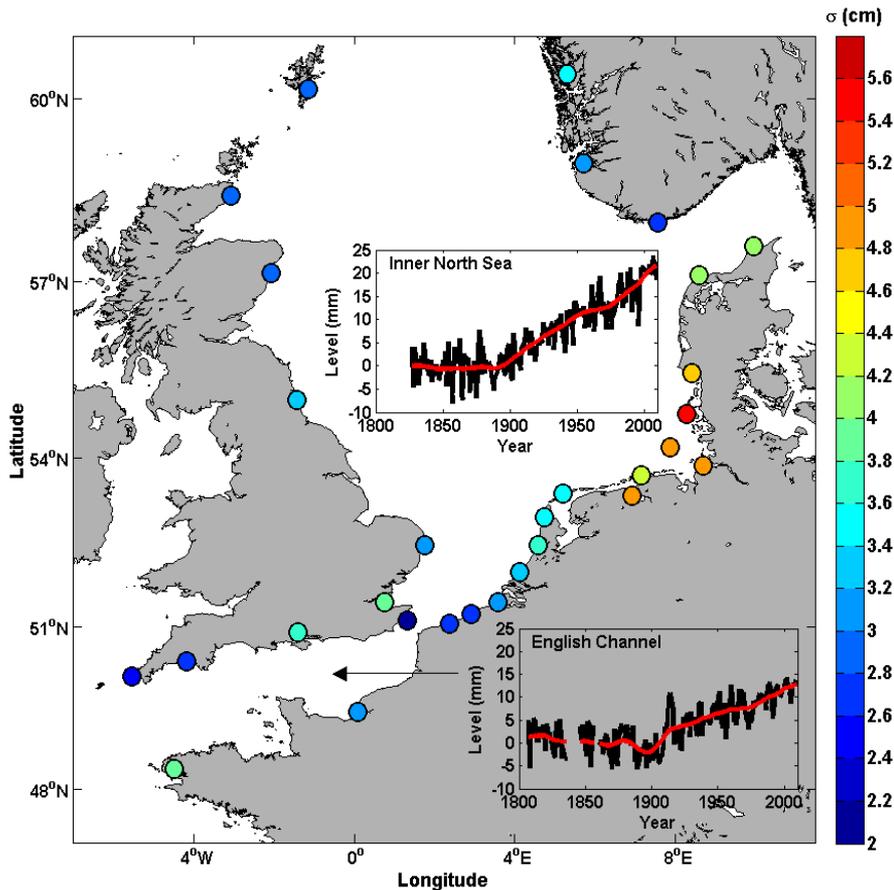


Figure 1: Standard deviation from de-trended annual MSL time series from 30 tide gauge sites around the North Sea; (b) Sea level index for the Inner North Sea and results from applying SSA smoothing; (c) Sea level index for the English Channel and results from applying SSA smoothing.

(Wahl et al.2013)

Mittlerer Meeresspiegel

- In den letzten 100-120 Jahren ist der Meeresspiegel in der Nordsee im Mittel um **1.6 mm/Jahr** angestiegen.
- Vergleichbar mit globalem Meeresspiegelanstieg
- In den letzten Jahrzehnten (1993-2009) höhere Anstiegsraten in der Nordsee (etwa **3.7 mm/Jahr**) auch im Vergleich zum globalen Mittel (3.20 mm/Jahr)
- Aktuell hohe Anstiegsraten sind jedoch vergleichbar mit hohen Anstiegsraten in der Vergangenheit

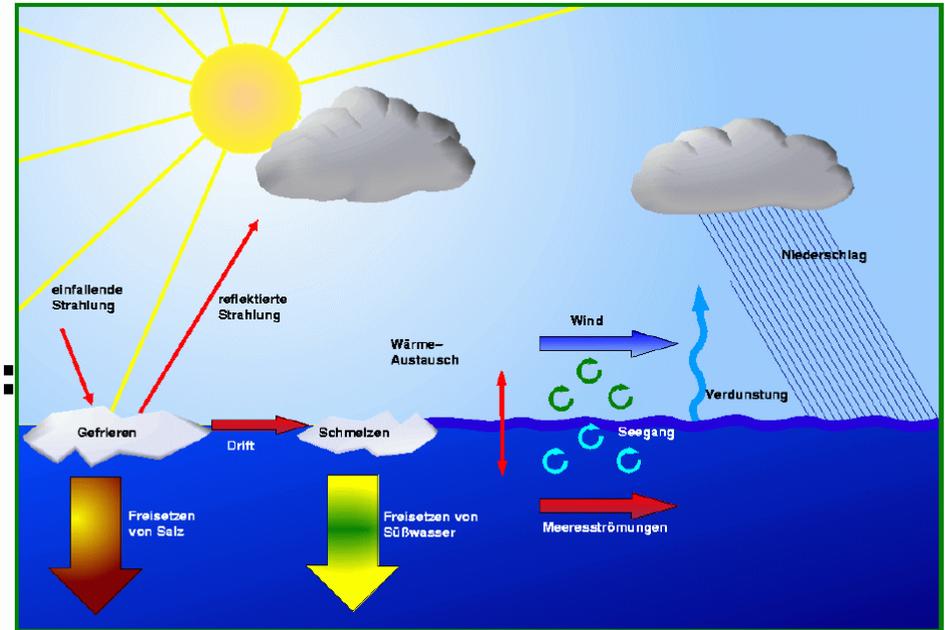
Inhalt

1. Was ist das Problem?
2. Was wird beobachtet?
3. Was bringt die Zukunft?
4. Und was tun wir?

Modelle für Atmosphäre und Ozean

Zustandsvariablen:

Temperatur	T
Salzgehalt, Feuchte	S, q
Druck	p
Strömung, Wind	u, v, w



1. Massenerhaltung (Wasser, Luft):

$$\frac{1}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} = -\nabla \cdot \mathbf{u}$$

2. Massenerhaltung für Salz/Wasserdampf

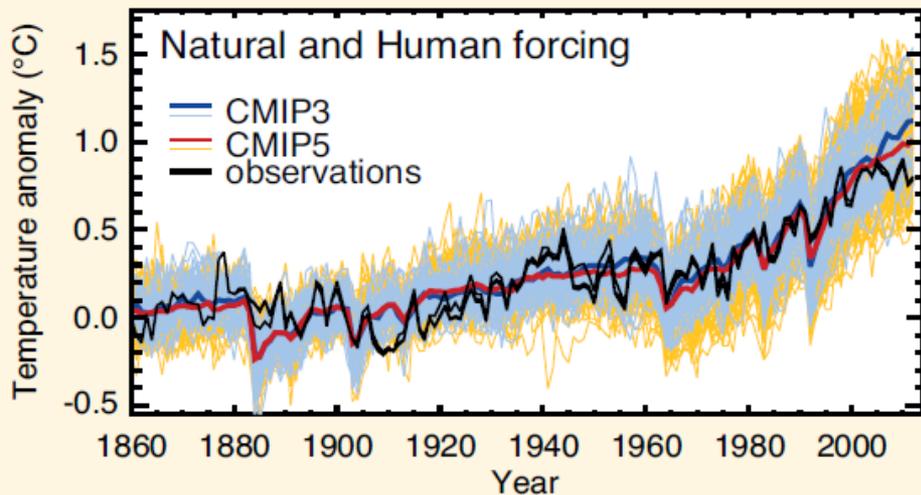
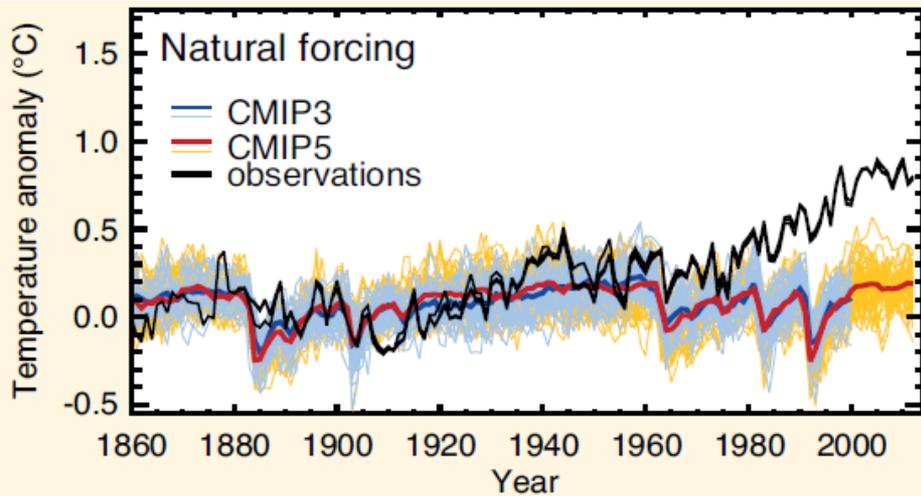
3. Energieerhaltung

4. Impulserhaltung (3):

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{u} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \mathbf{g} + \mathbf{F}$$

Attribution

no greenhouse gas emissions



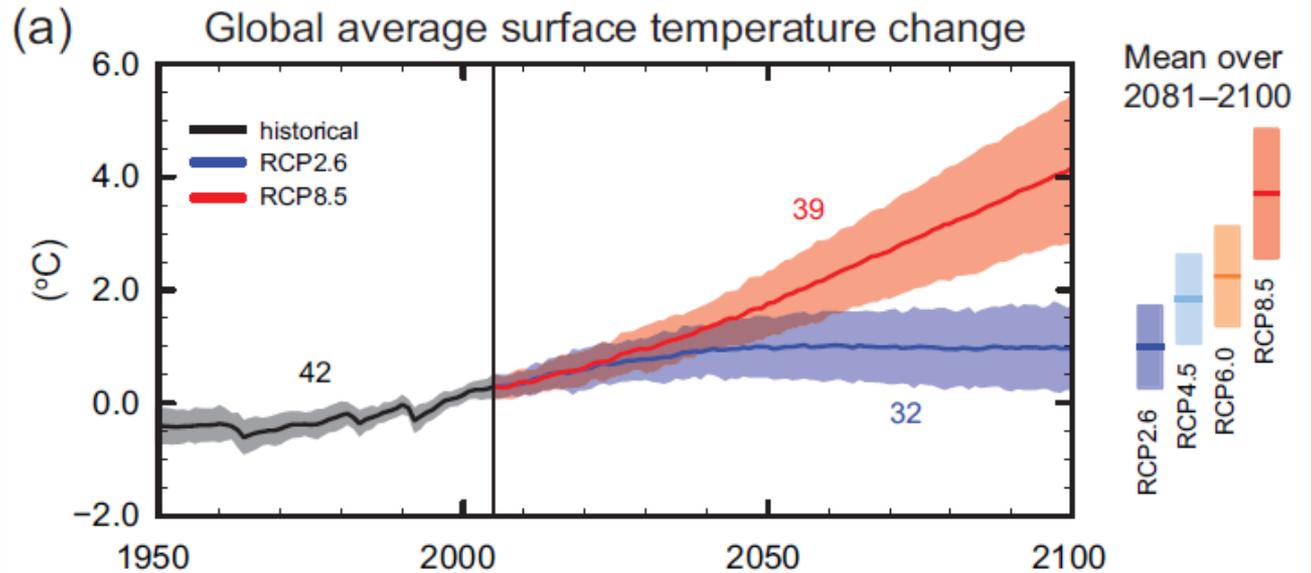
greenhouse gas emissions

❖ Observed warming **extremely unlikely** natural variability alone

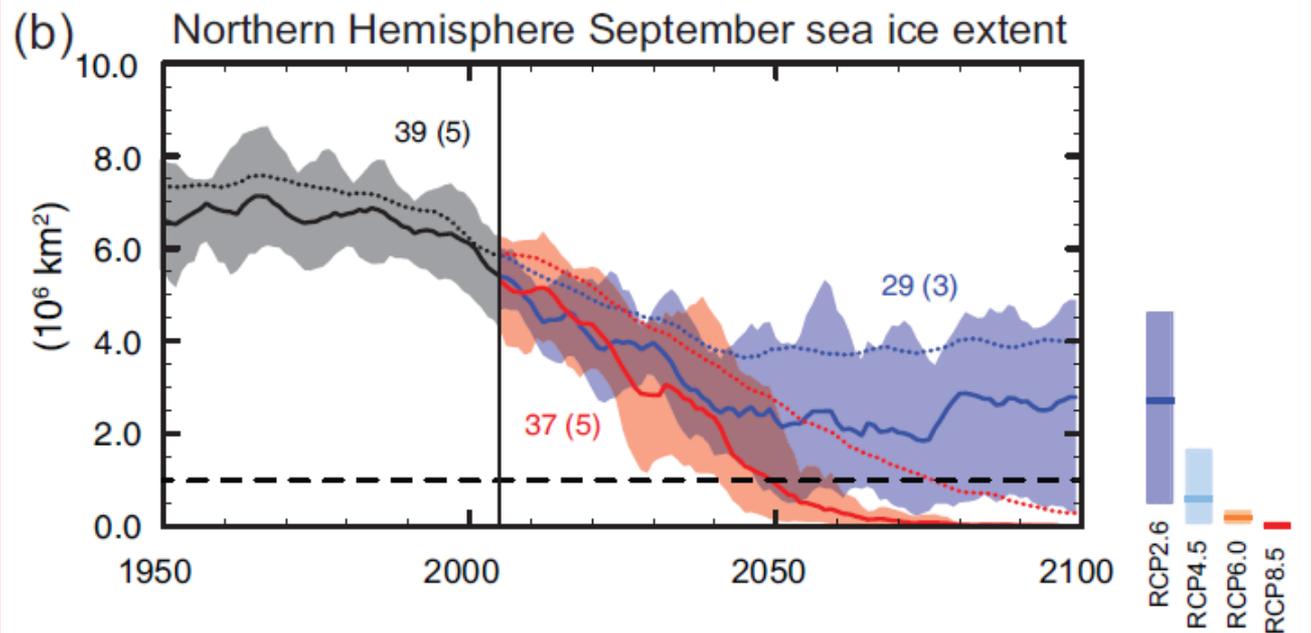
❖ GHG's **very likely** caused most of the observed warming since mid-century

Klimaprojektionen

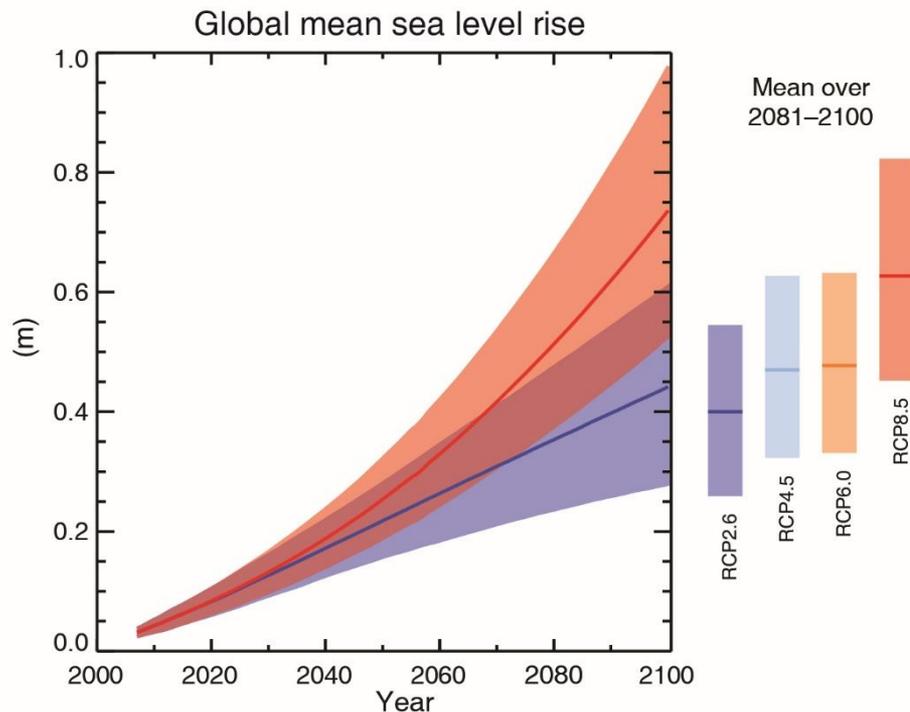
Globale
Temperatur



Arktisches
Meereis
im Sommer



Szenarien für die Entwicklung des Meeresspiegels



IPCC, AR5, 2013

Projektionen (2081-2100) sind höher als in AR4 (0.2-0.6)

RCP 2.6: **0.4m** (0.26-0.55) (rel. zu 1986-2005)

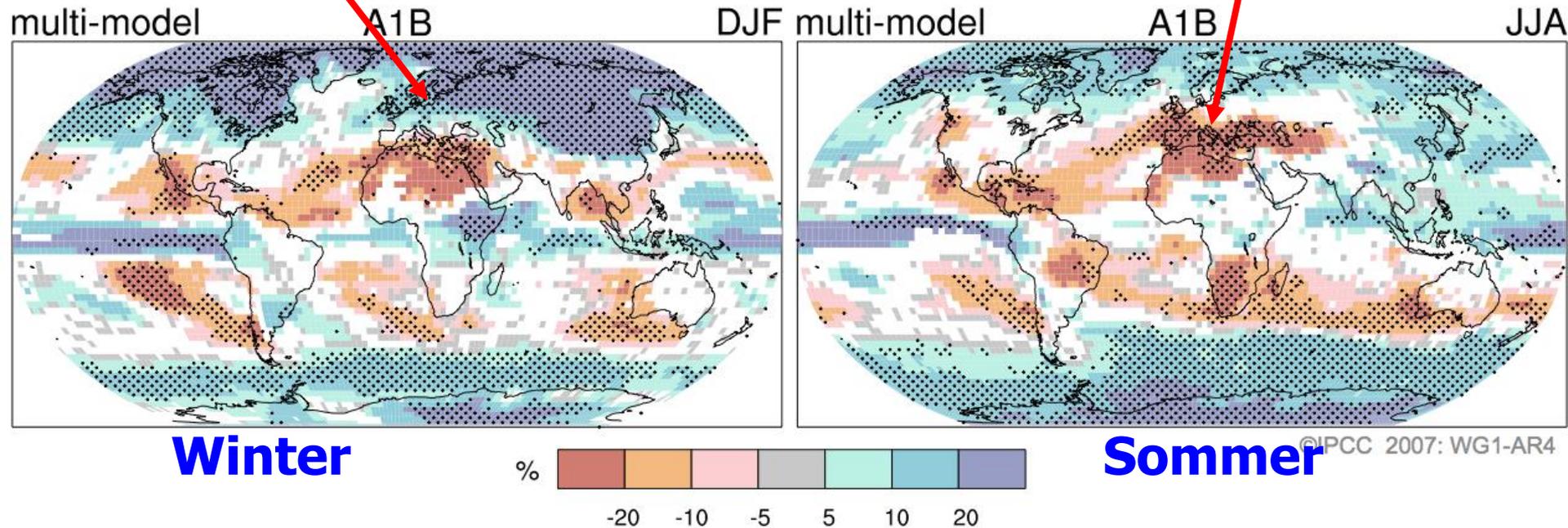
RCP 8.5: **0.6m** (0.45-0.82)

Projizierte Änderung der Niederschlagsverteilung

nasser Winter

trockener Sommer

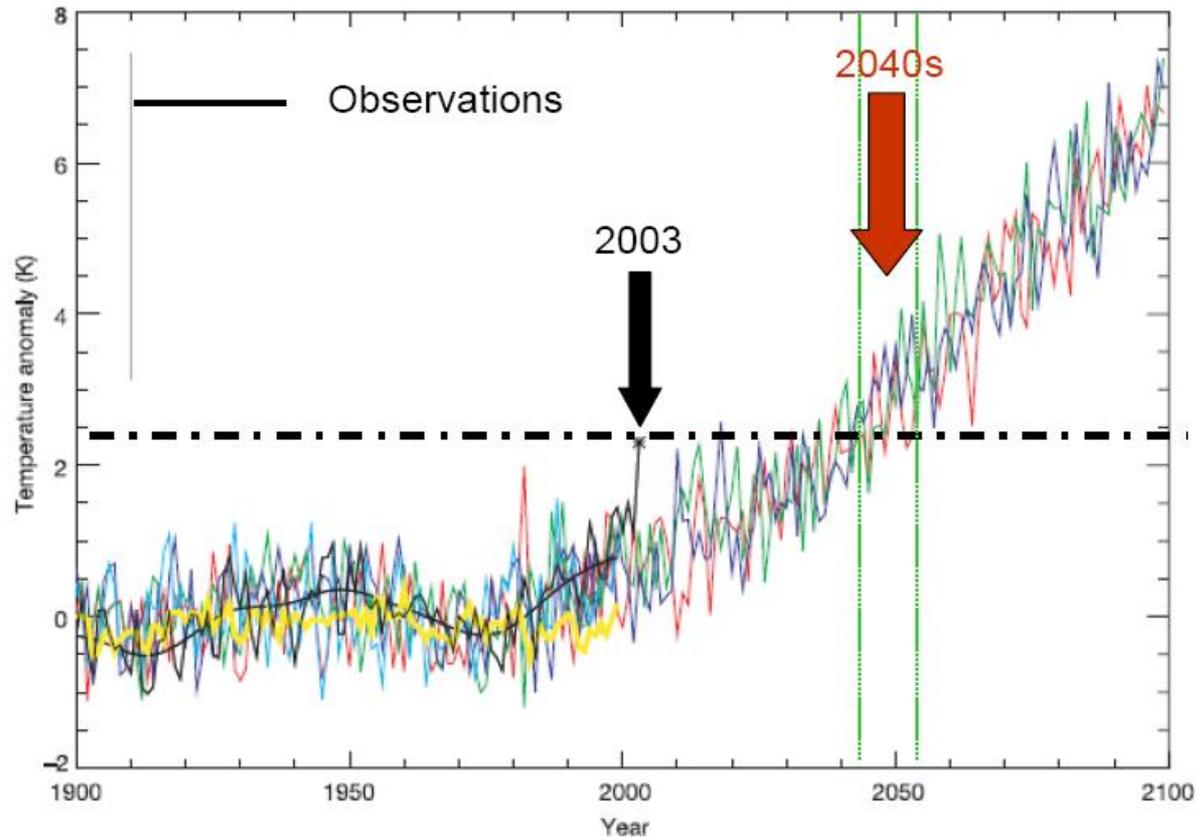
Projected Patterns of Precipitation Changes



Heißer Sommer 2003 - normal in 2050, kühl in 2070?

Extremely Hot Summer 2003 in Europe:
Normal in 2050, cool in 2070?

letters to nature



Source:
Stott et al.,
2004

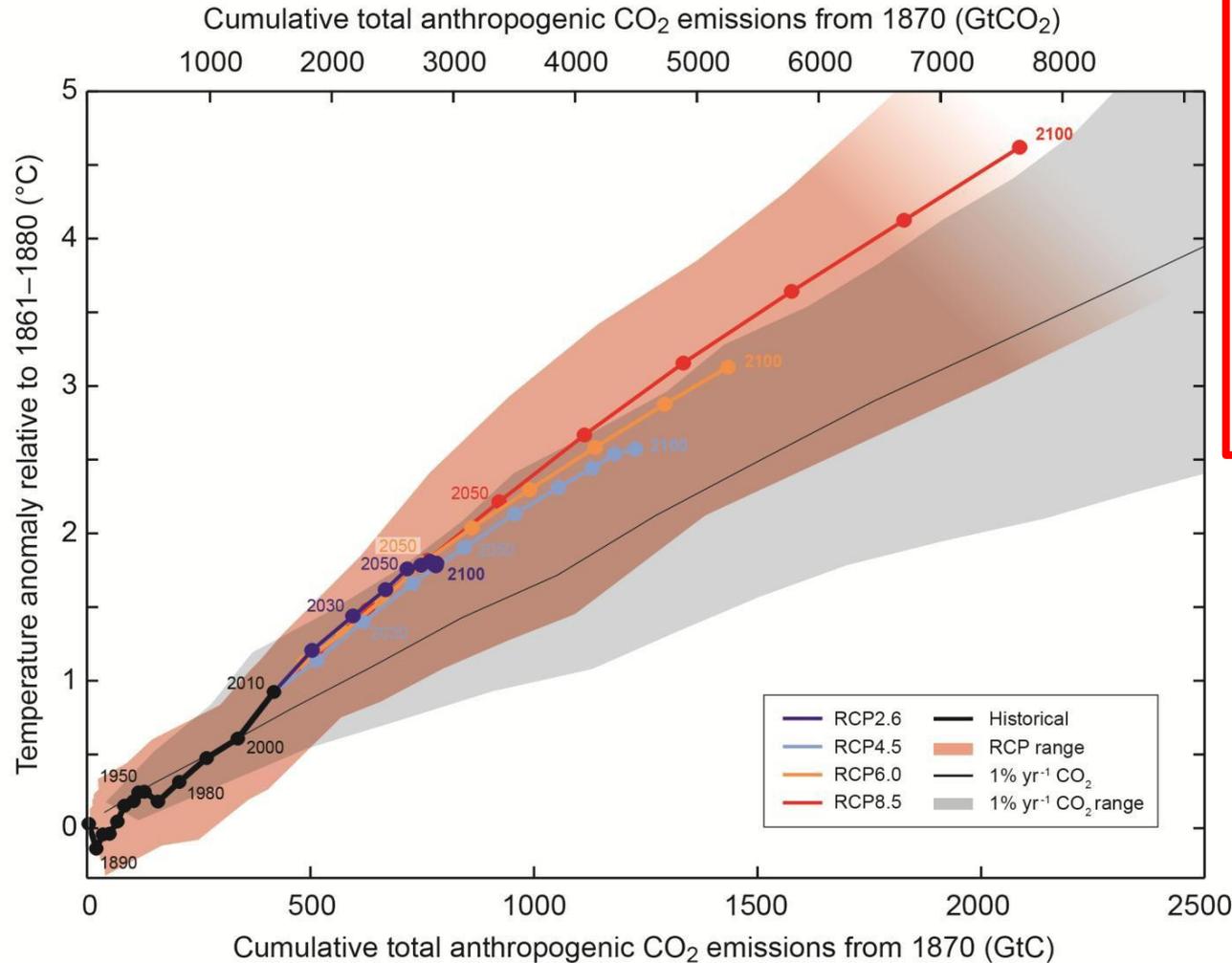
Figure 1 June–August temperature anomalies (relative to 1961–90 mean, in K) over the region shown in inset. Shown are observed temperatures (black line, with low-pass-filtered temperatures as heavy black line), modelled temperatures from four HadCM3 simulations including both anthropogenic and natural forcings to 2000 (red, green, blue and turquoise lines), and estimated HadCM3 response to purely natural forcings

(yellow line). The observed 2003 temperature is shown as a star. Also shown (red, green and blue lines) are three simulations (initialized in 1989) including changes in greenhouse gas and sulphur emissions according to the SRES A2 scenario to 2100²². The inset shows observed summer 2003 temperature anomalies, in K.

Inhalt

1. Was ist das Problem?
2. Was wird beobachtet?
3. Was bringt die Zukunft?
4. Und was tun wir?

Gesamtmenge CO₂ bestimmt die Erwärmung



Verbleibendes Budget

1.5°C Erwärmung:
200 Gt CO₂

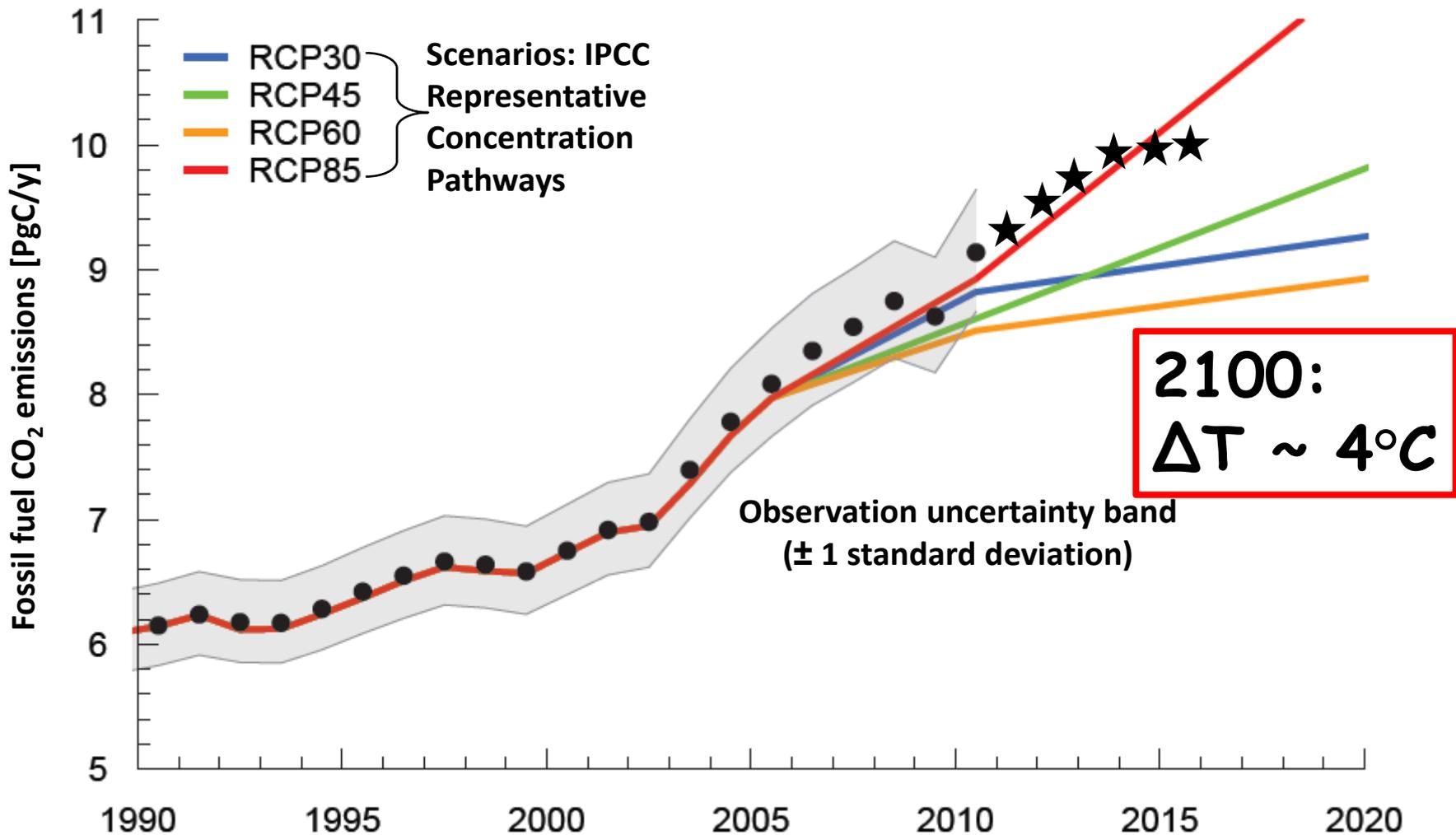
2.0°C Erwärmung:
800 Gt CO₂

Gegenwärtige
jährliche Emission

~ 40 Gt CO₂

CO₂ Emissionen (Milliarden Tonnen Kohlenstoff/Jahr)

... liegen in der Nähe des schlimmsten Szenarios des IPCC



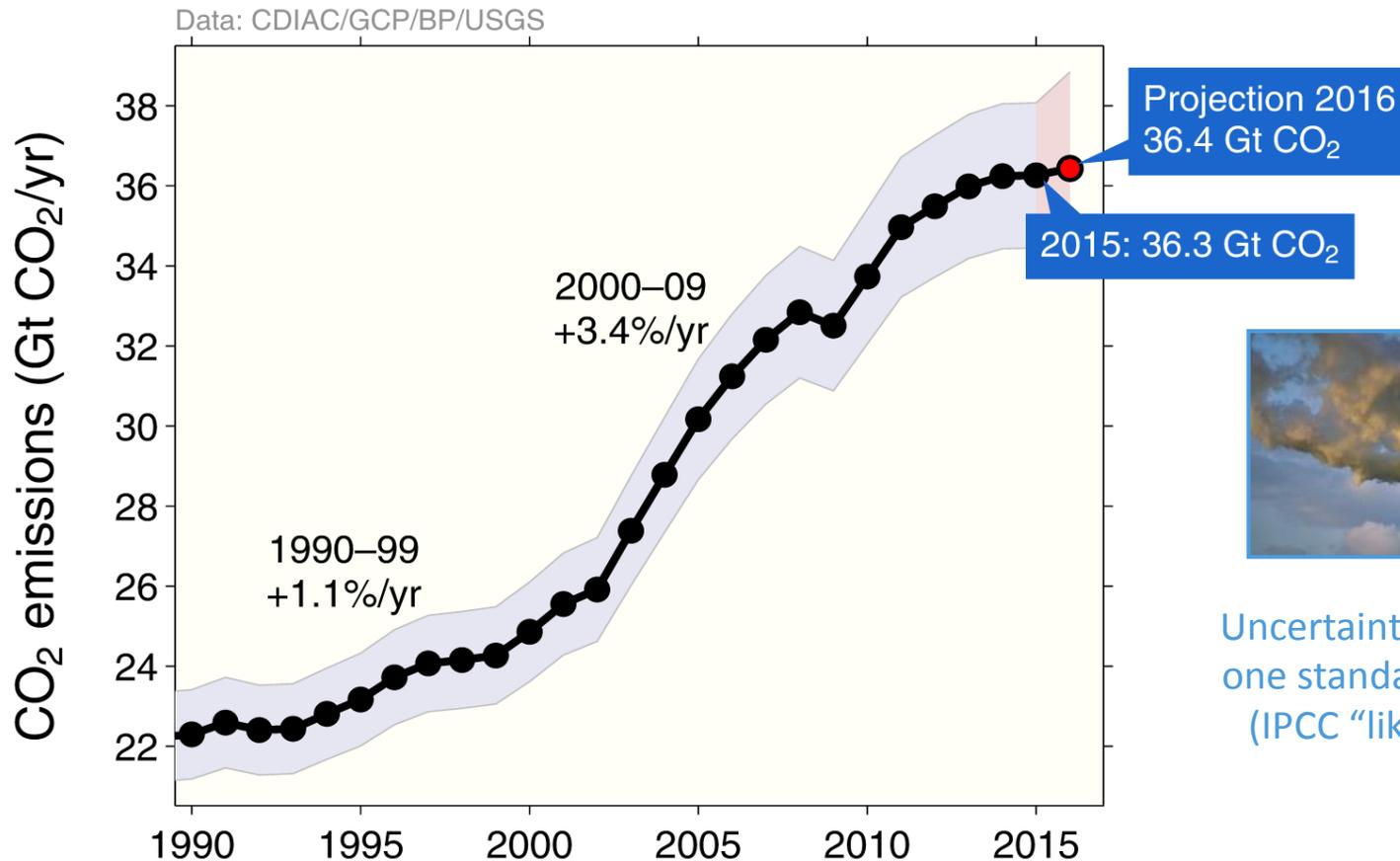
Data: CDIAC (preliminary for 2009, 2010)
Figure: Raupach et al (in prep, Dec 2011)

Citation for data: Peters, G.P., Marland, G., Le Quéré, C., Boden, T., Canadell, J.C. and Michael R. Raupach (2011). Rapid growth in CO₂ emissions after the 2008-2009 Global Financial Crisis. Nature Climate Change 1 (doi:10.1038/nclimate1332)

Emissions from fossil fuel use and industry

Global emissions from fossil fuel and industry: 36.3 ± 1.8 GtCO₂ in 2015, 63% over 1990

- Projection for 2016: 36.4 ± 2.3 GtCO₂, 0.2% higher than 2015



Uncertainty is $\pm 5\%$ for one standard deviation (IPCC “likely” range)

Unsere Herausforderung:



Wissenschaft:
Problem erkannt,
Lösungswege
ermittelt.

Problemlösung:
erfordert politische,
sozio-ökonomische,
und persönliche
Umsetzung.

**die nachhaltige Nutzung eines
sich stetig wandelnden Planeten**

Herausforderungen

Anpassung:

- ❖ Meeresspiegelanstieg - Deiche erhöhen
- ❖ Schutz gegen Überschwemmungen
- ❖ Katastrophenschutz (Extremwetter)
- ❖ Hitzewellen

Vermeidung

- ❖ Energieeinsparungen
- ❖ Alternative Energietechnologien

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Wir sollten nicht vergessen...

... dass die Zukunft zur Gegenwart wird und die Gegenwart zur Vergangenheit und dass sich die Vergangenheit in ewige Reue verwandelt, wenn man nicht früh genug plant.
Tennessee Williams (Amanda zu Tom in: Die Glasmänner):