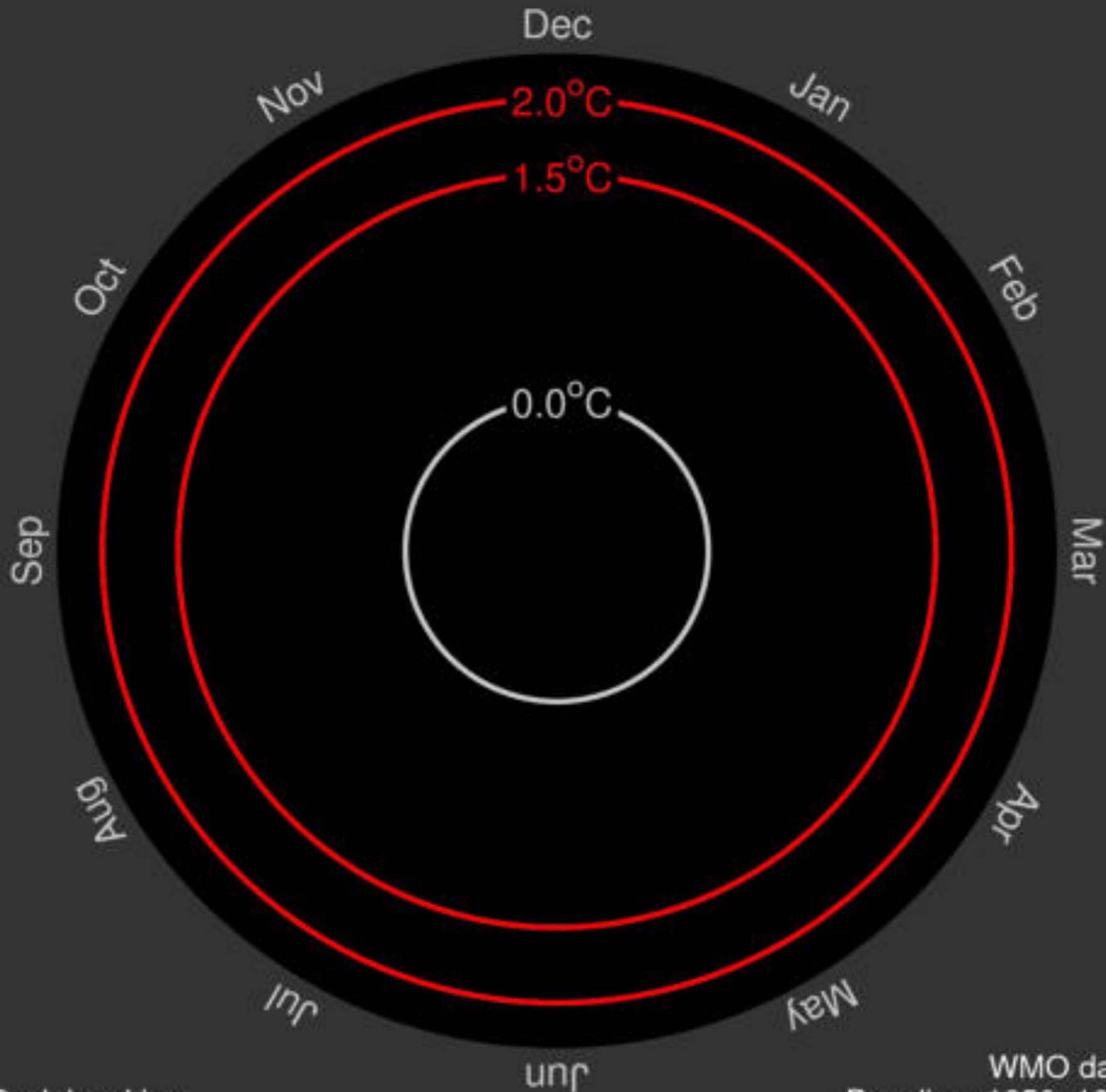


# **Klimawandel vor der Haustür, Teil I:**

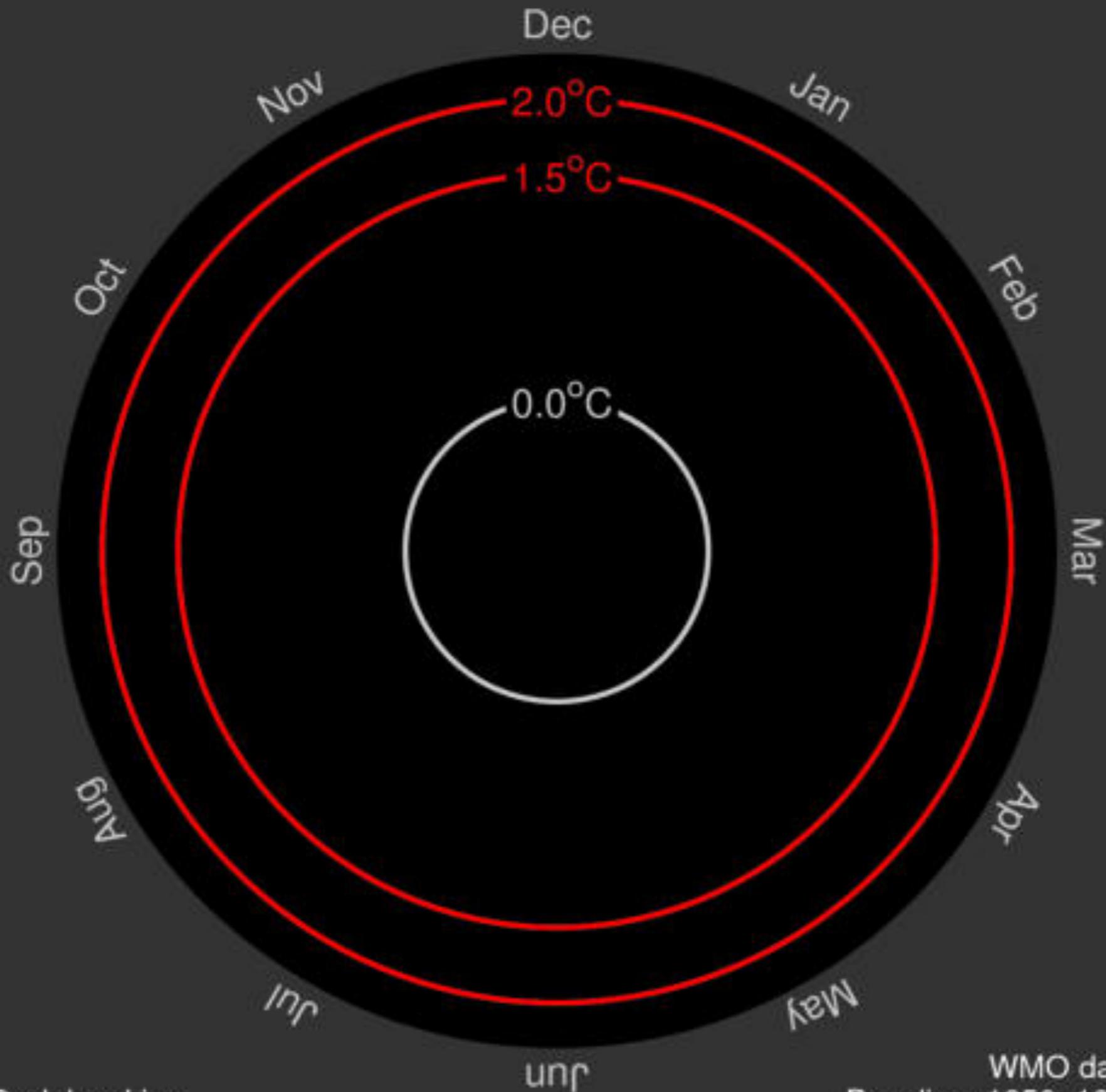
## **Ursachen des Klimawandels und seine Folgen in Oberberg und darüber hinaus**

Jonathan F. Donges

# Globale Erwärmung (1850 - 2018)



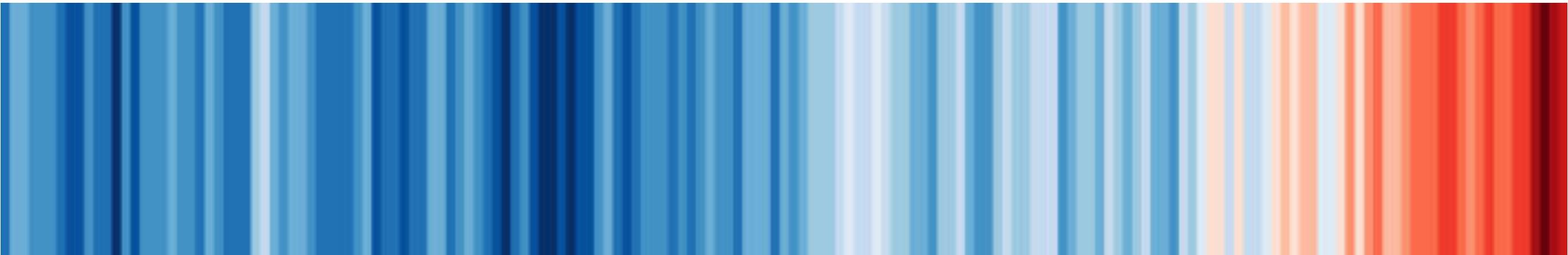
# Globale Erwärmung (1850 - 2018)



# Struktur des Vortrags

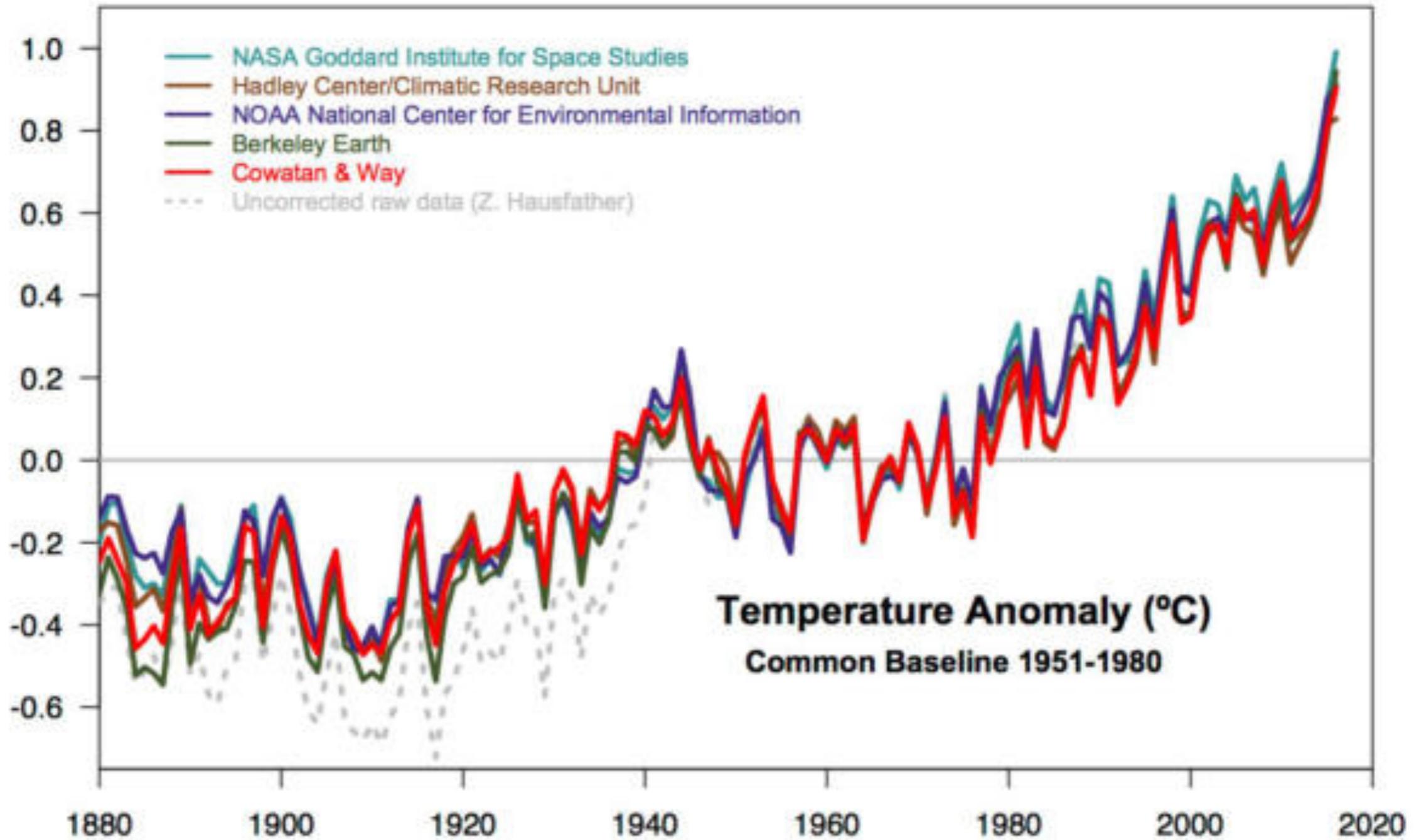
1. Klimawandel weltweit und seine Ursachen
2. Klimawandel in Deutschland, NRW und Oberberg und seine Folgen
  - A. Sektorale Klimafolgen
  - B. Extremereignisse
  - C. Klimakipppunkte

# 1. Klimawandel weltweit und seine Ursachen



# Die Erde erwärmt sich.

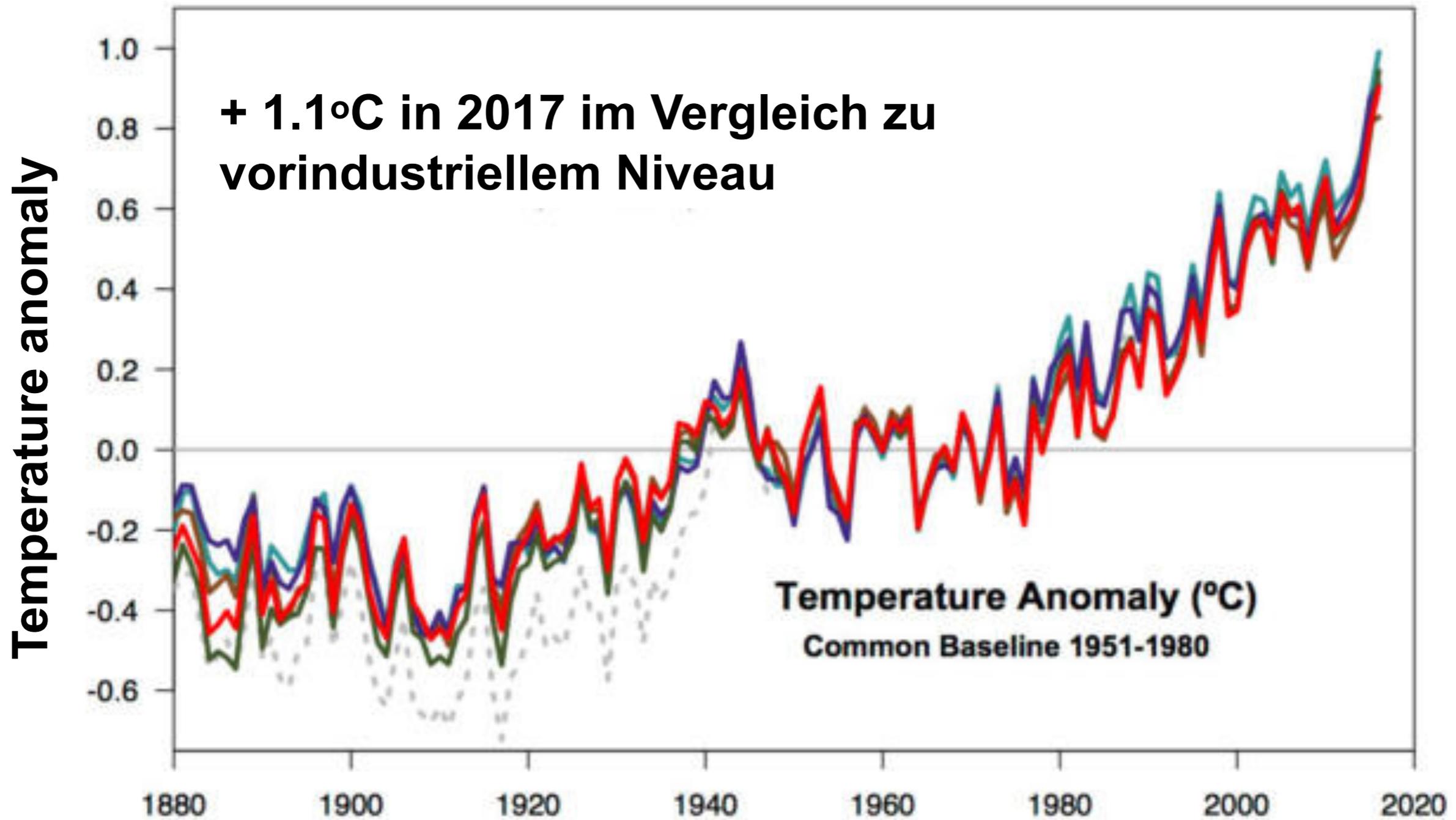
Temperature anomaly



World Meteorological Organization



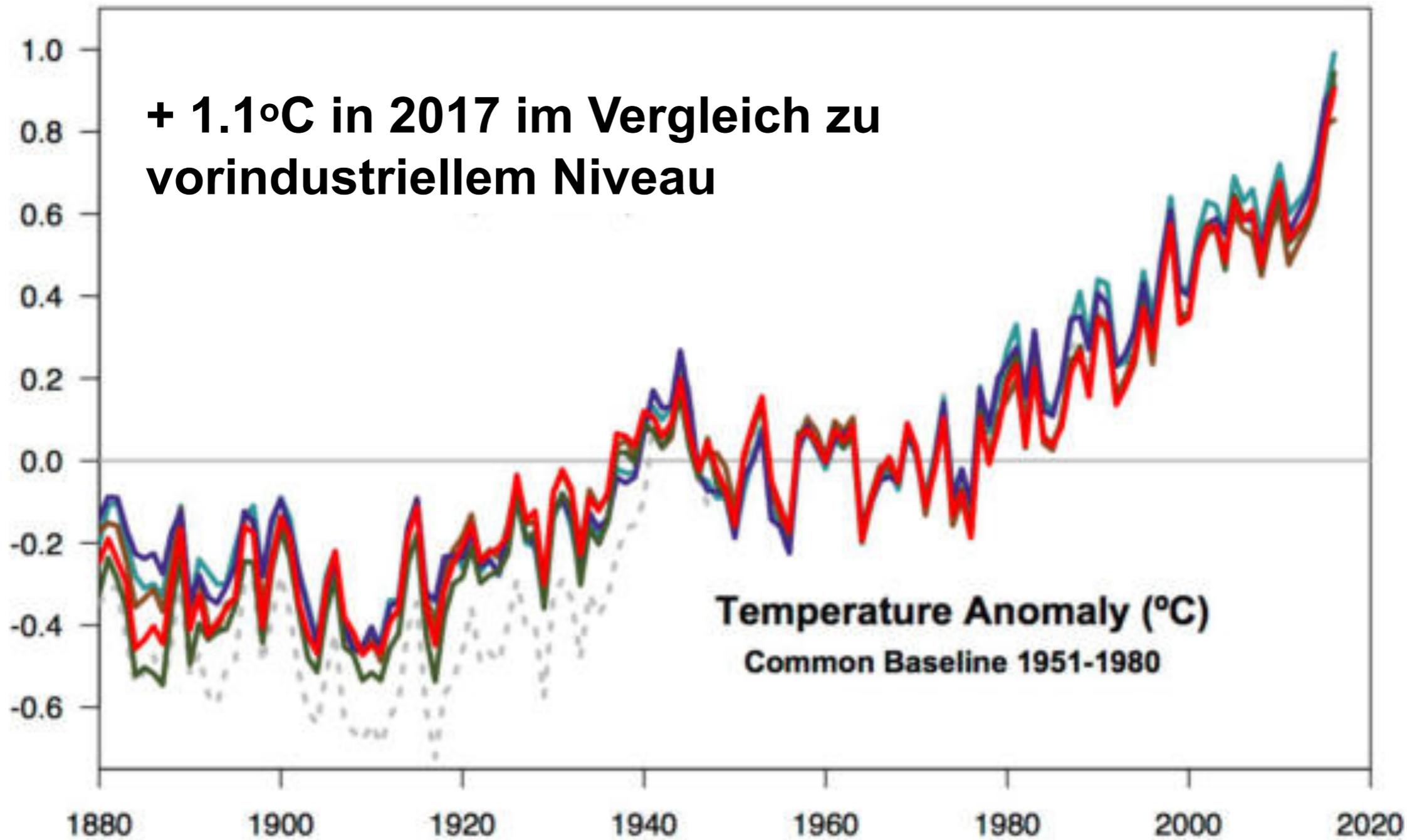
# Die Erde erwärmt sich.



# Die Erde erwärmt sich.

Rekord-  
jahre

Temperature anomaly



2016

2017

2015

2018

2014

2010

2013

2005

2009

1998

2003

2002

2006

2007

2012

2004

2001

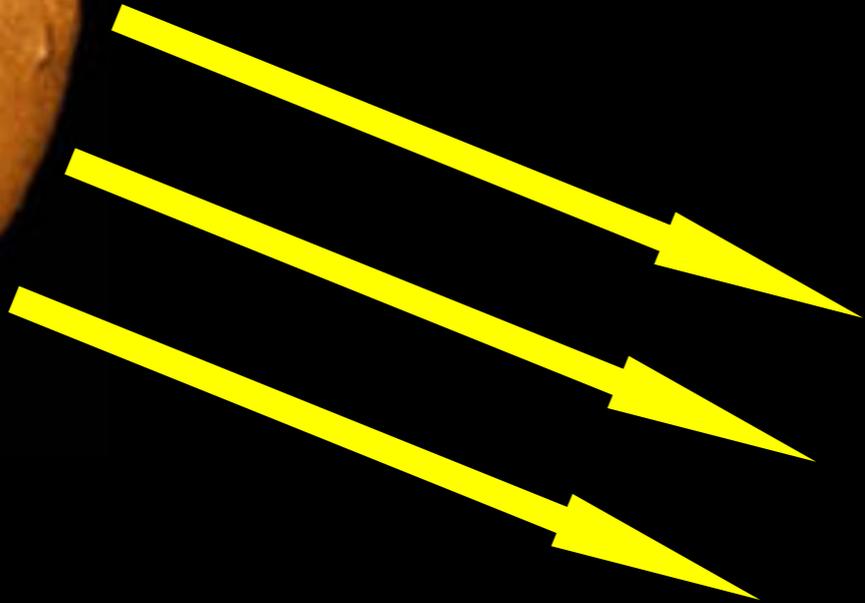
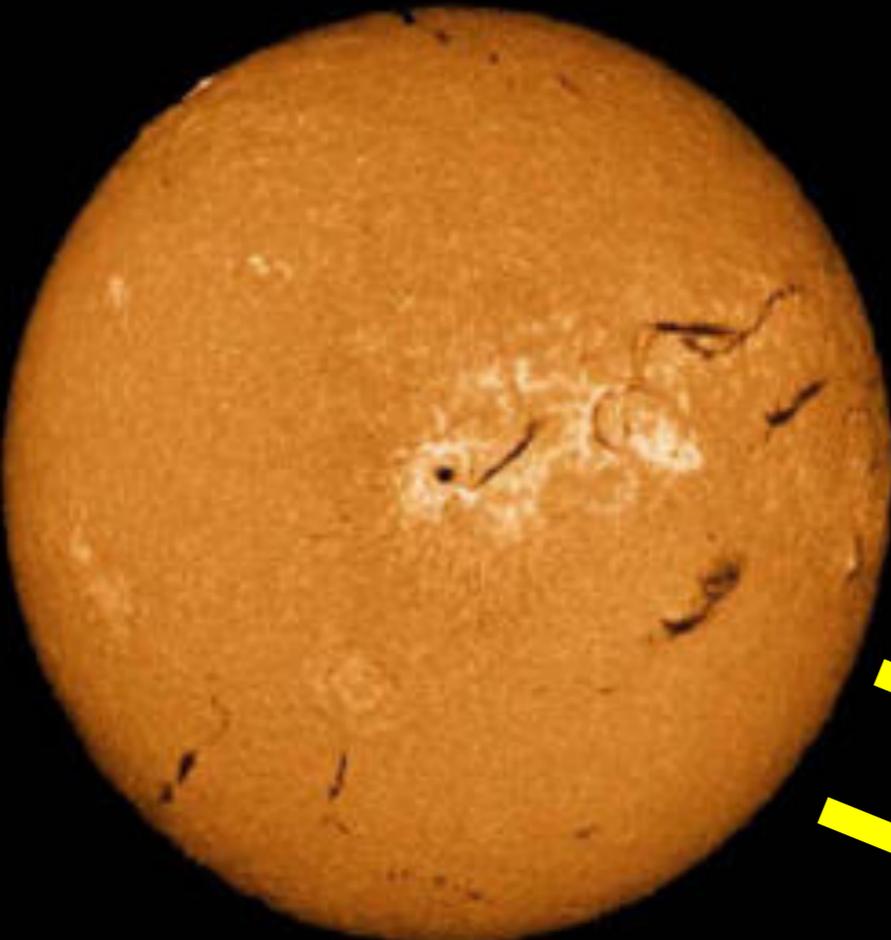
World Meteorological Organization



Klima ist Ergebnis einer Energiebilanz

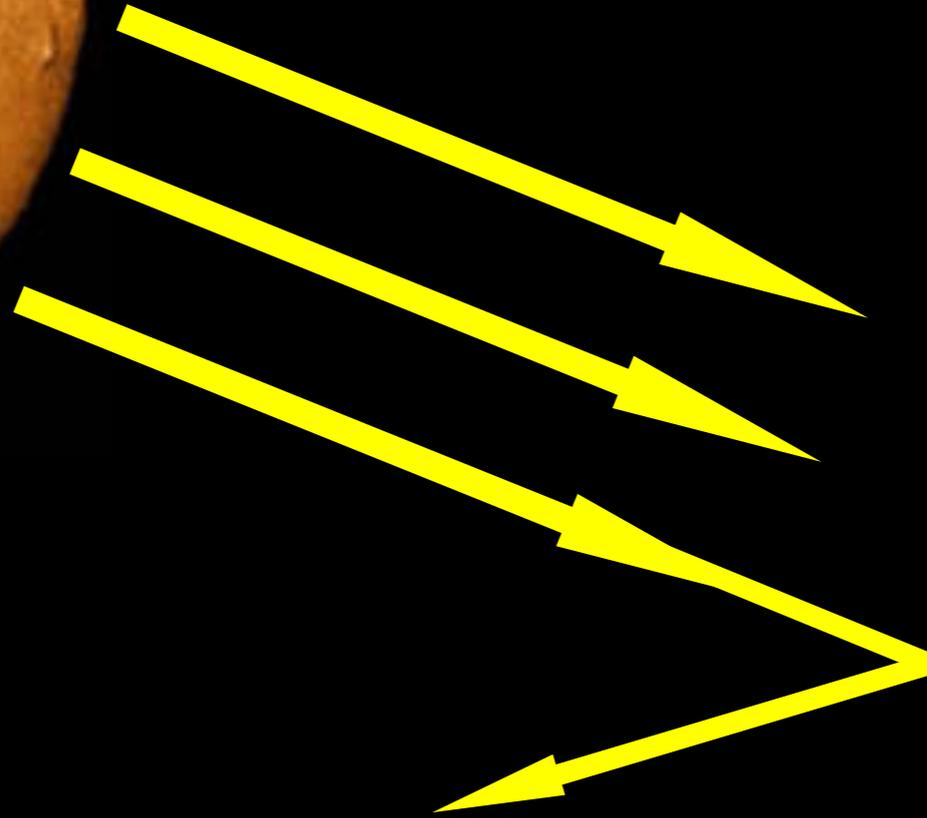
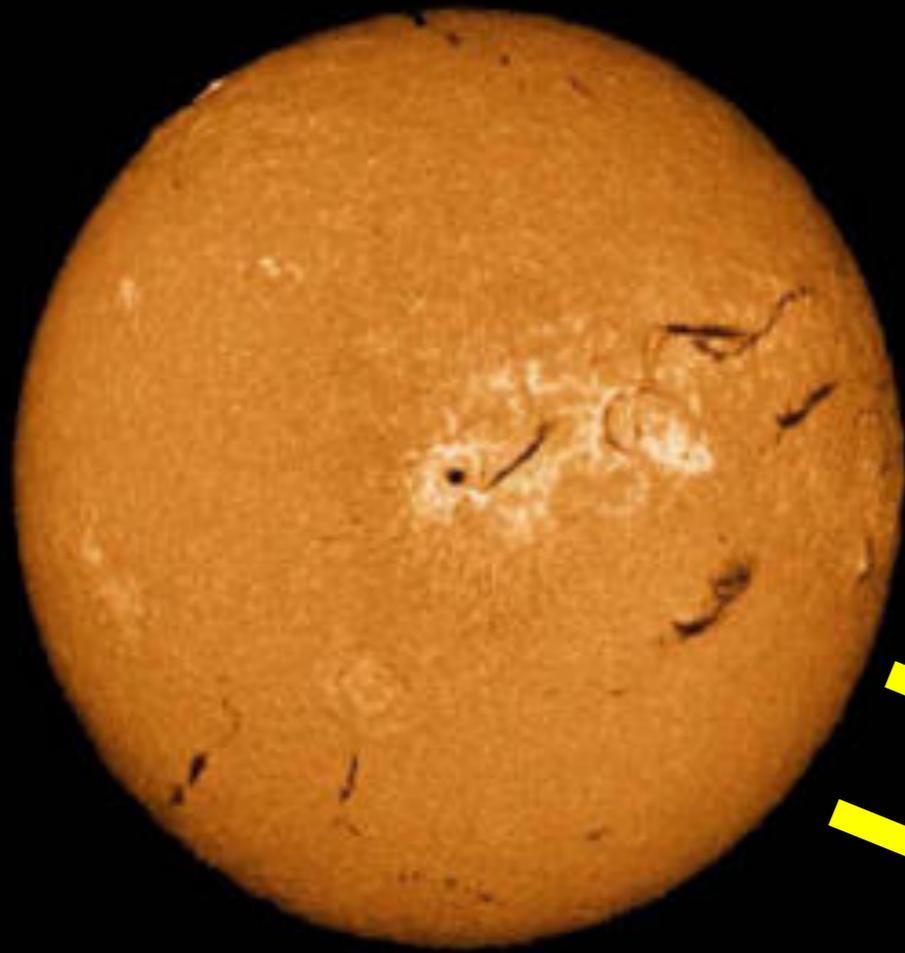


# Klima ist Ergebnis einer Energiebilanz



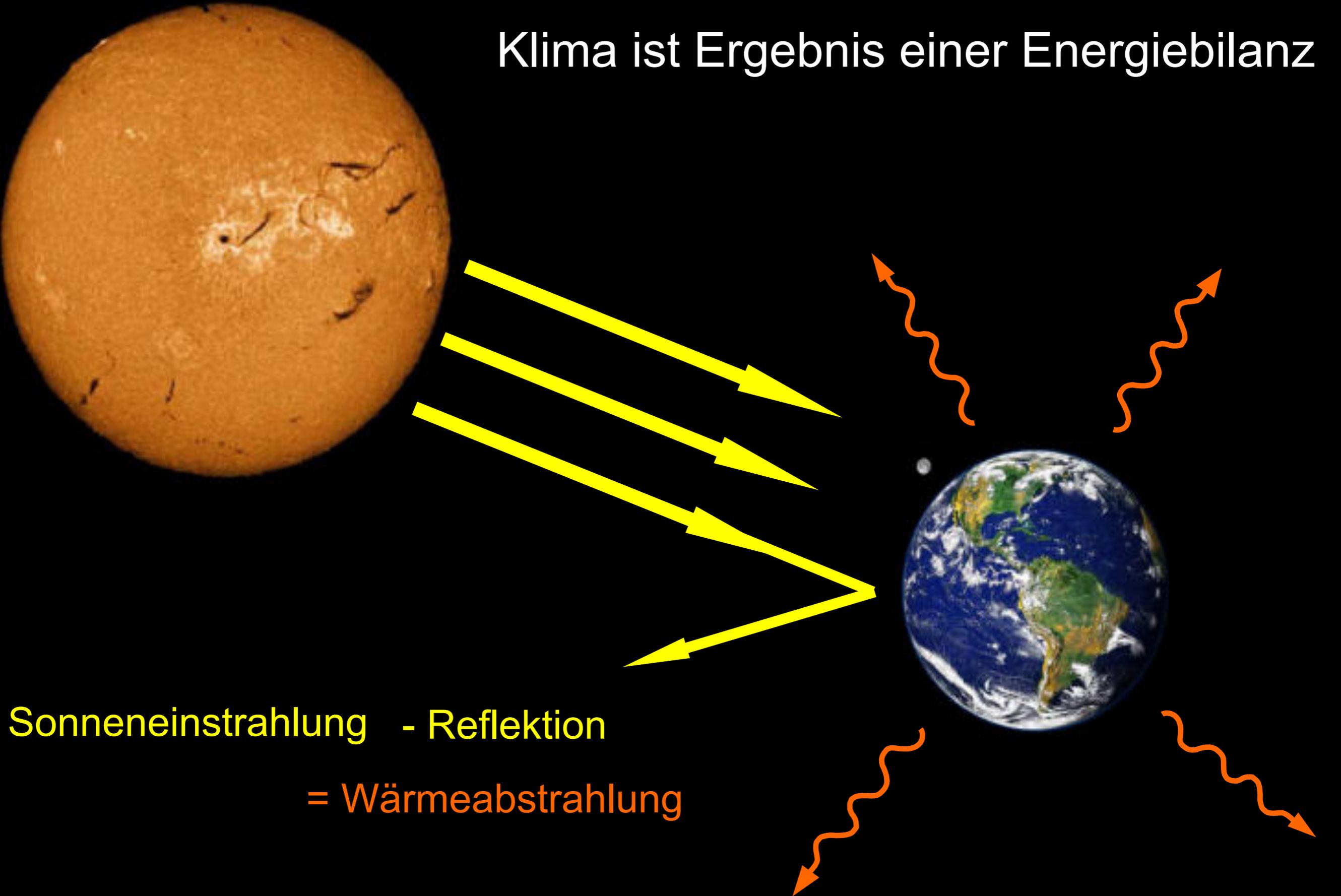
Sonneneinstrahlung

Klima ist Ergebnis einer Energiebilanz



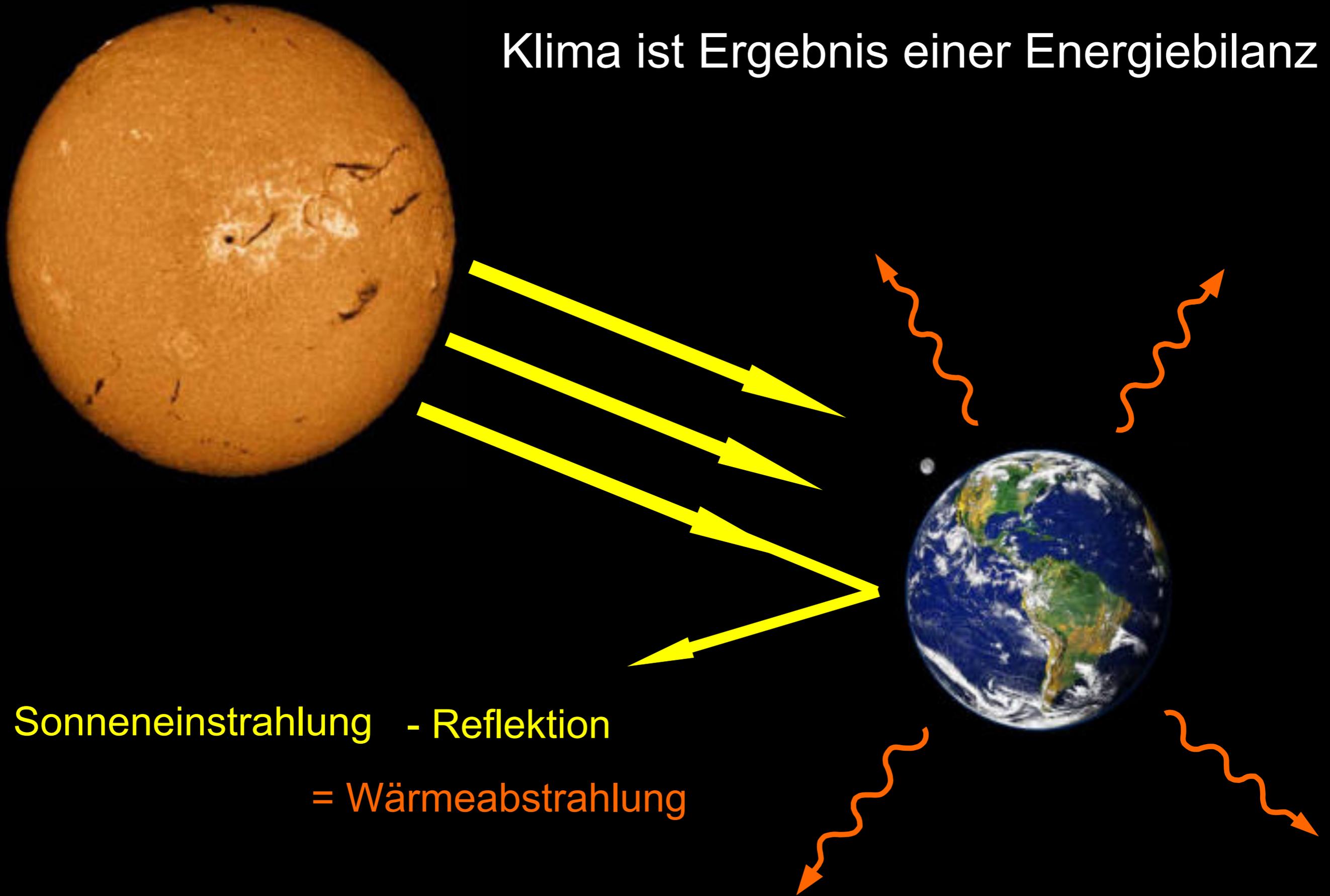
Sonneneinstrahlung - Reflektion

# Klima ist Ergebnis einer Energiebilanz



Sonneneinstrahlung - Reflektion  
= Wärmeabstrahlung

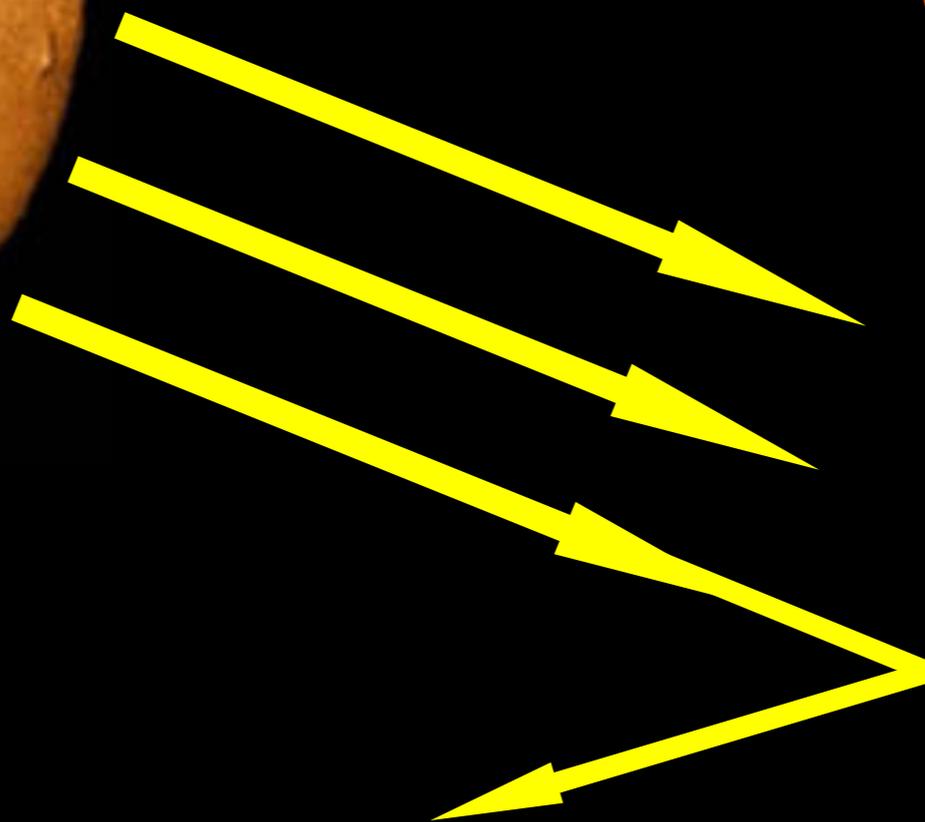
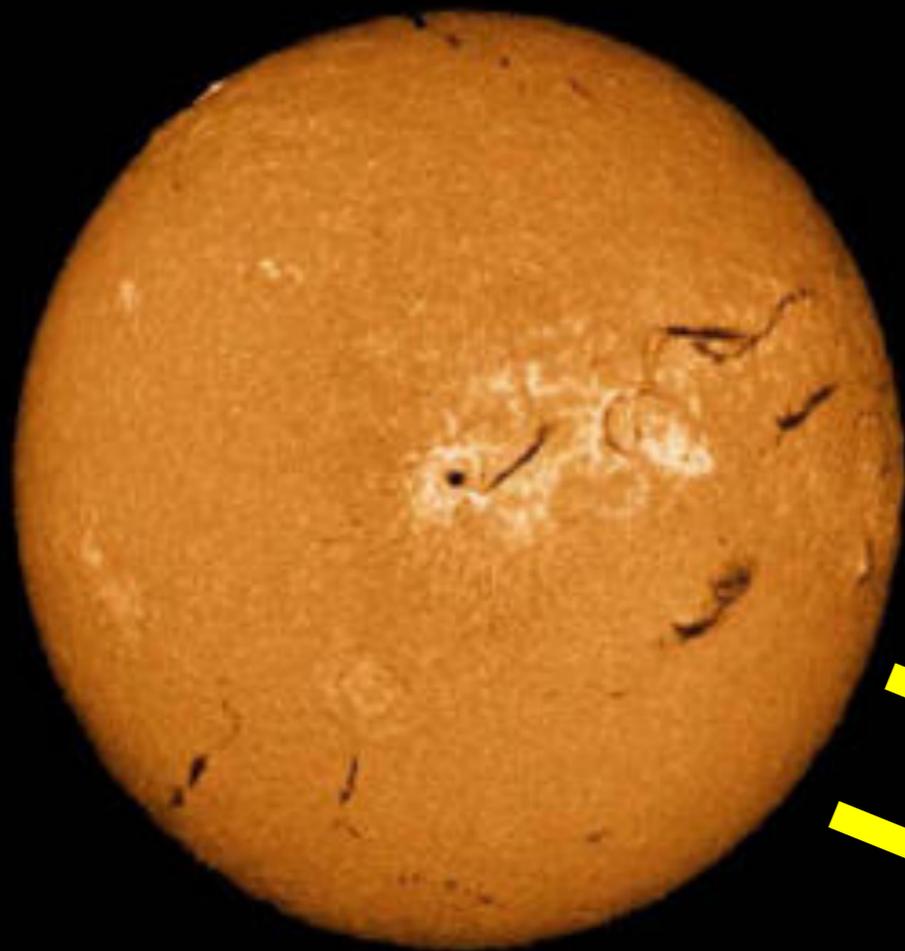
# Klima ist Ergebnis einer Energiebilanz



Sonneneinstrahlung - Reflektion  
= Wärmeabstrahlung

Stefan-Boltzmann-Gesetz:  $I = \sigma \cdot A \cdot T^4$

# Klima ist Ergebnis einer Energiebilanz

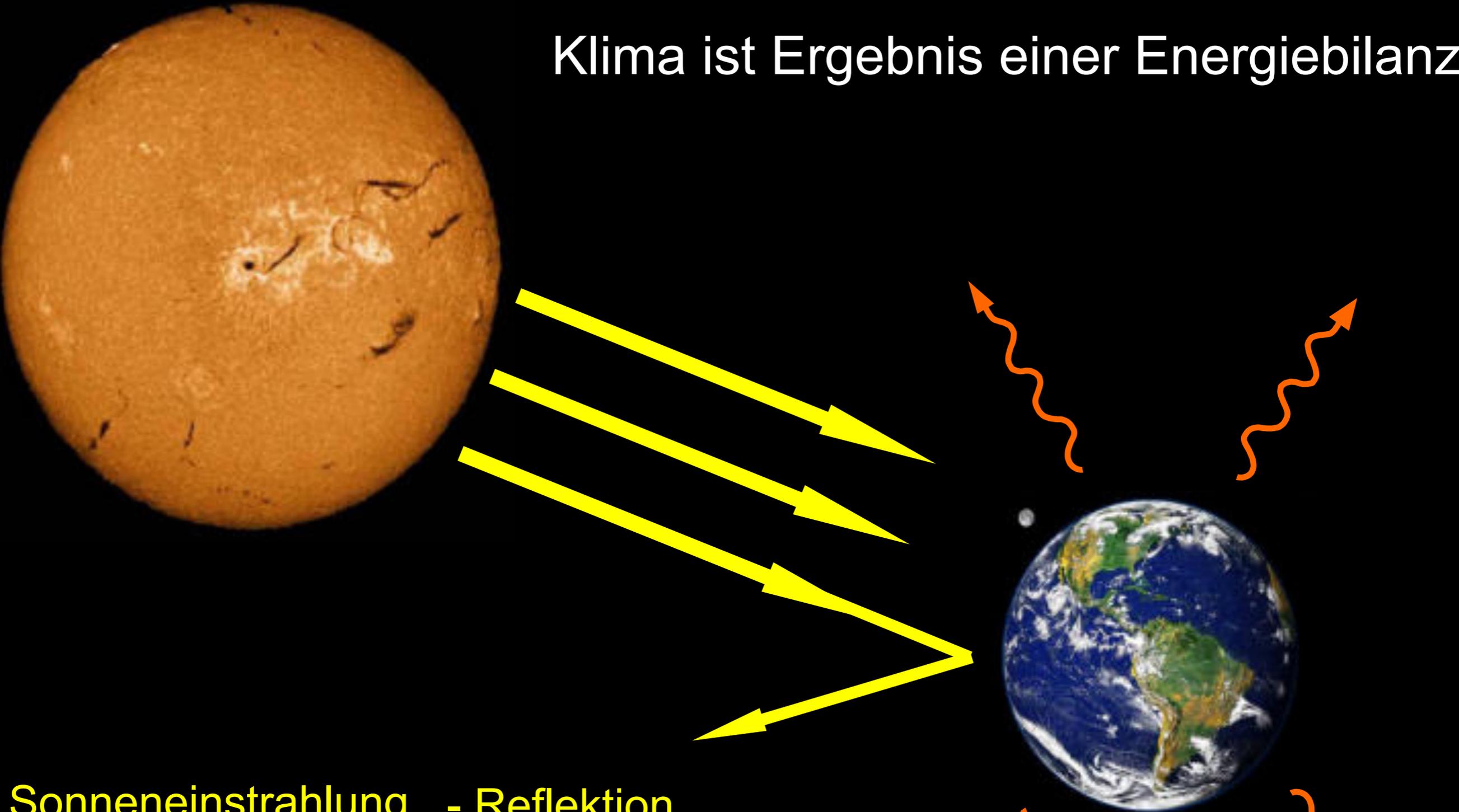


Sonneneinstrahlung - Reflektion  
= Wärmeabstrahlung

Stefan-Boltzmann-Gesetz:  $I = \sigma \cdot A \cdot T^4$

$T_{\text{Erde}} \approx -18^\circ\text{C}$

# Klima ist Ergebnis einer Energiebilanz



Sonneneinstrahlung - Reflektion  
= Wärmeabstrahlung

Stefan-Boltzmann-Gesetz:  $I = \sigma \cdot A \cdot T^4$

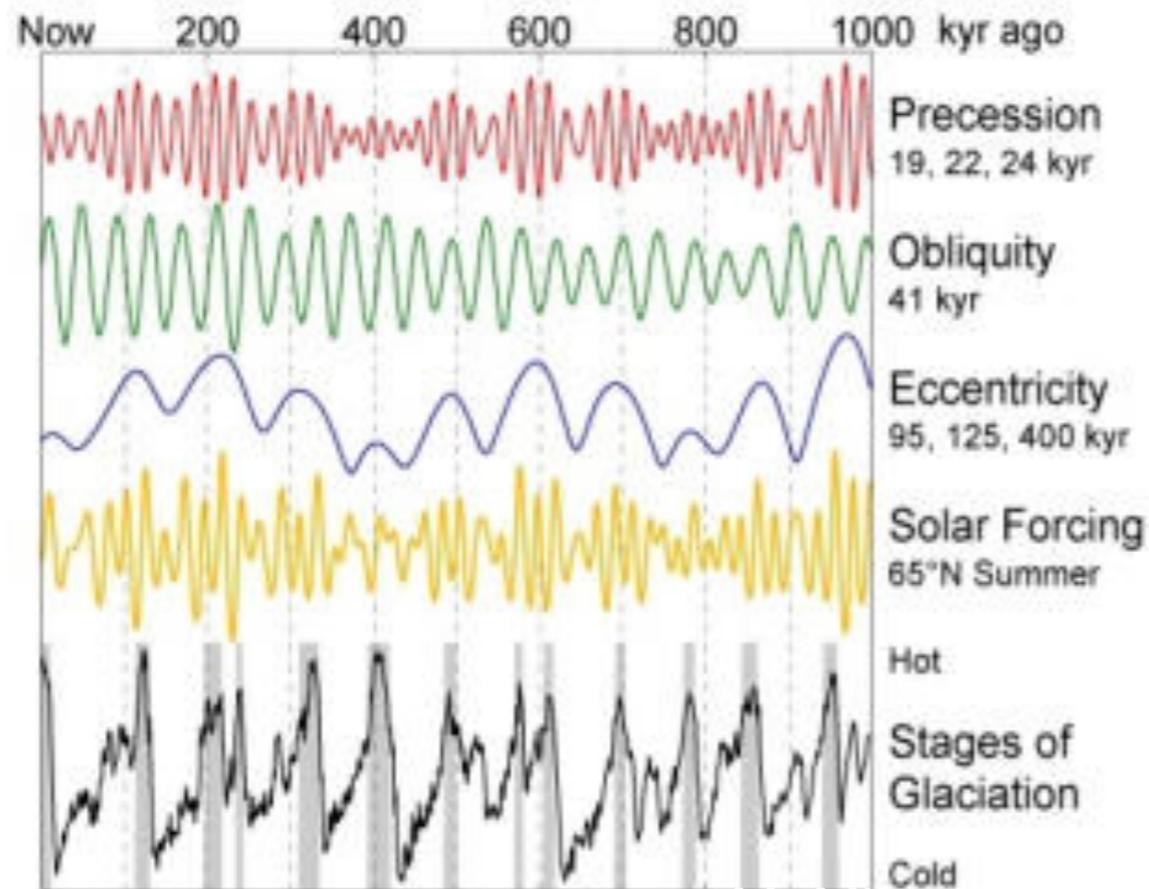
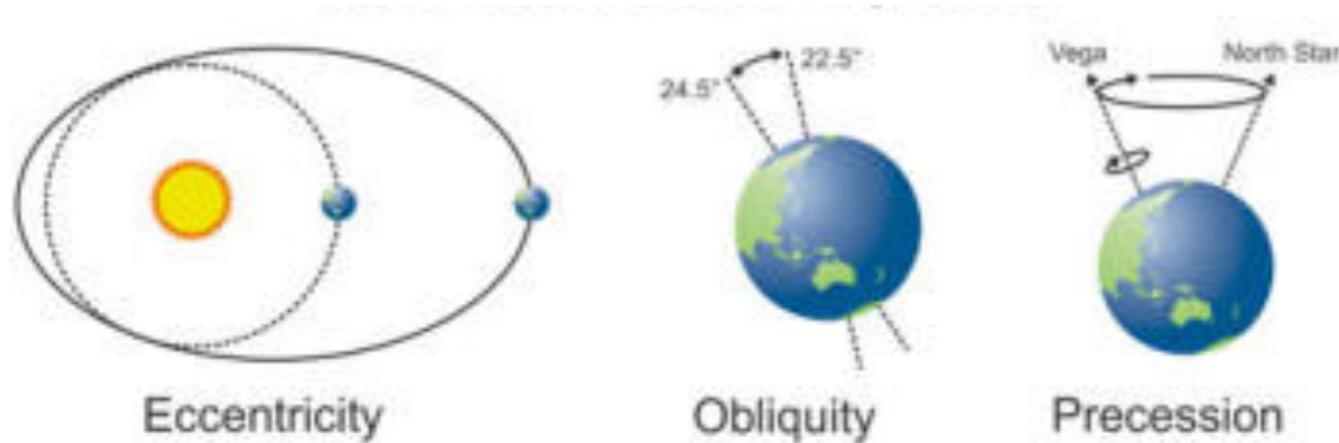
$T_{\text{Erde}} \approx -18^\circ\text{C}$   
 ~~$\approx -18^\circ\text{C}$~~   
 $\approx +15^\circ\text{C}$

# Warum sich das Klima ändert – Längerfristige Faktoren:



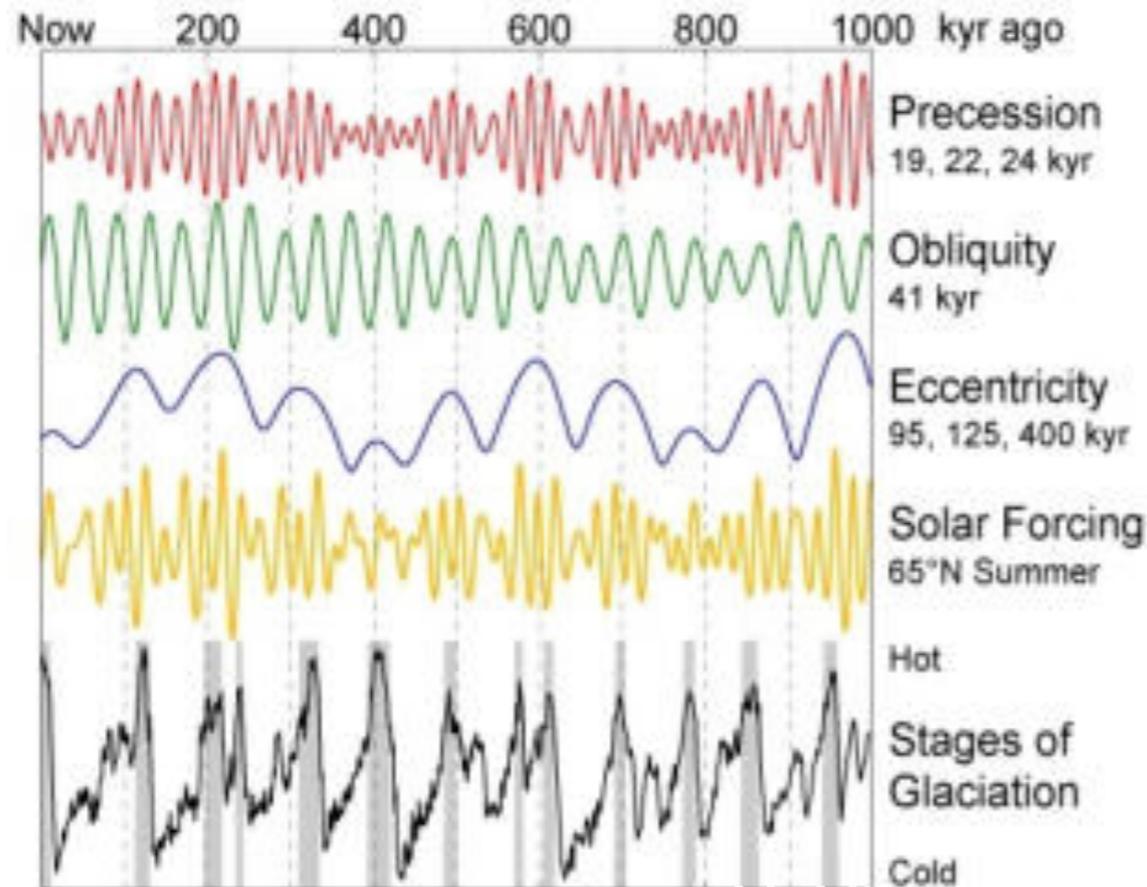
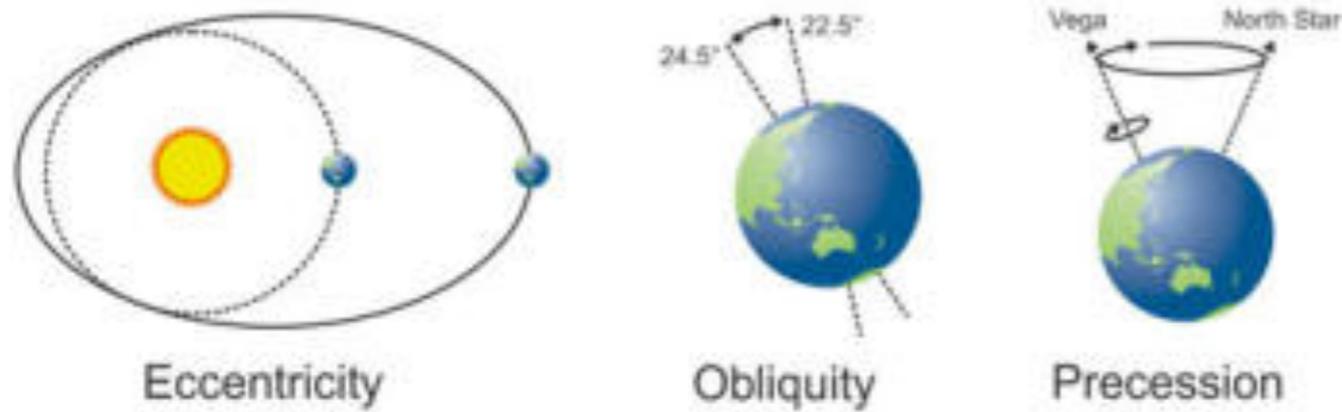
# Warum sich das Klima ändert – Längerfristige Faktoren:

## Milankovic Zyklen **1941**



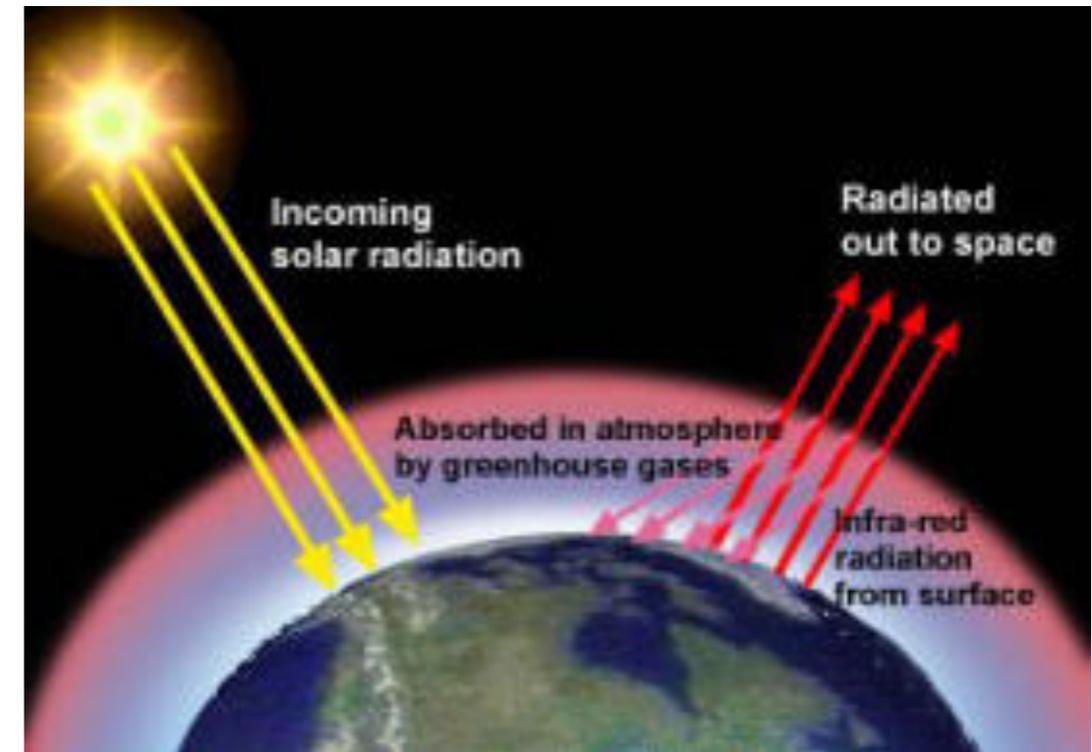
# Warum sich das Klima ändert – Längerfristige Faktoren:

## Milankovic Zyklen **1941**



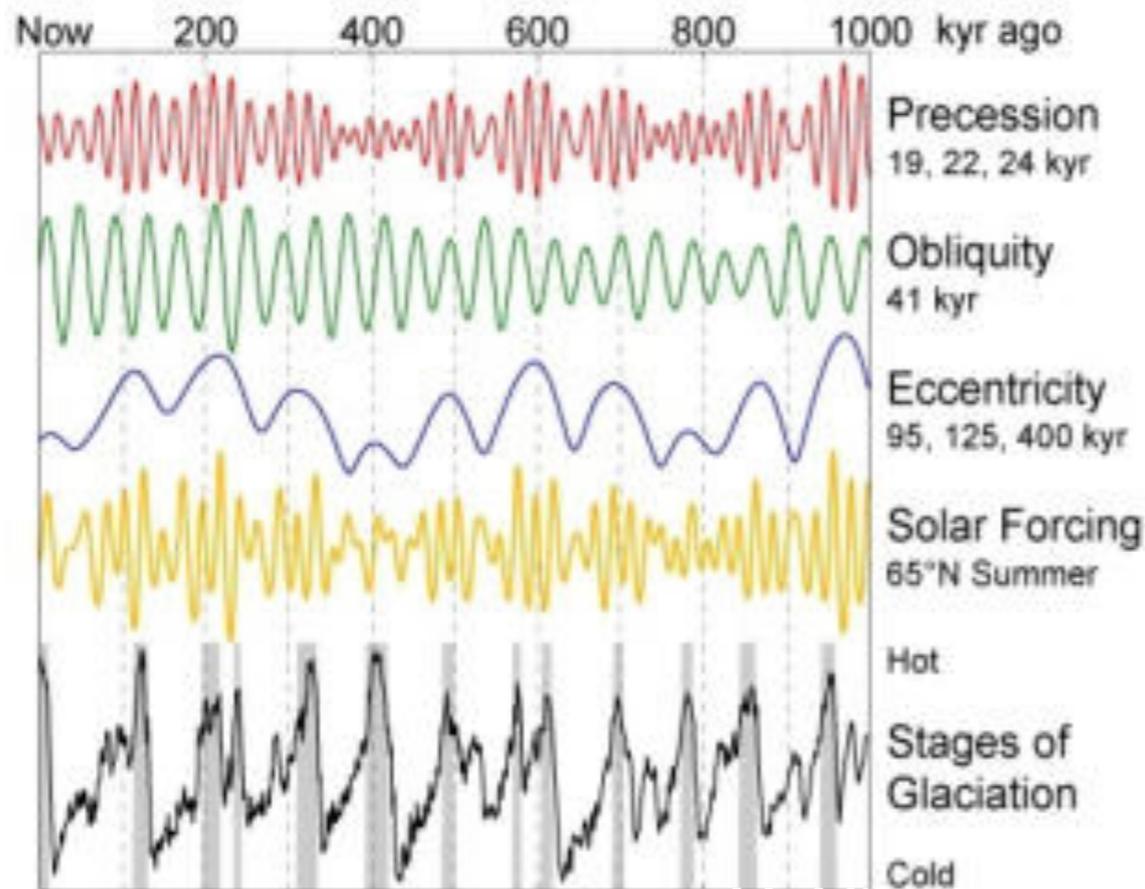
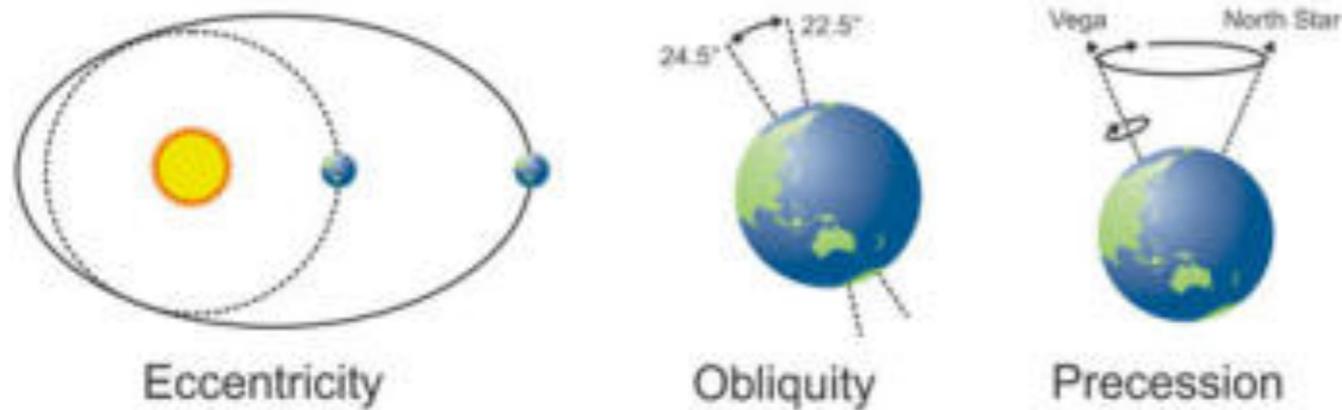
Source: Global Warming Art

## Treibhauseffekt **1896**



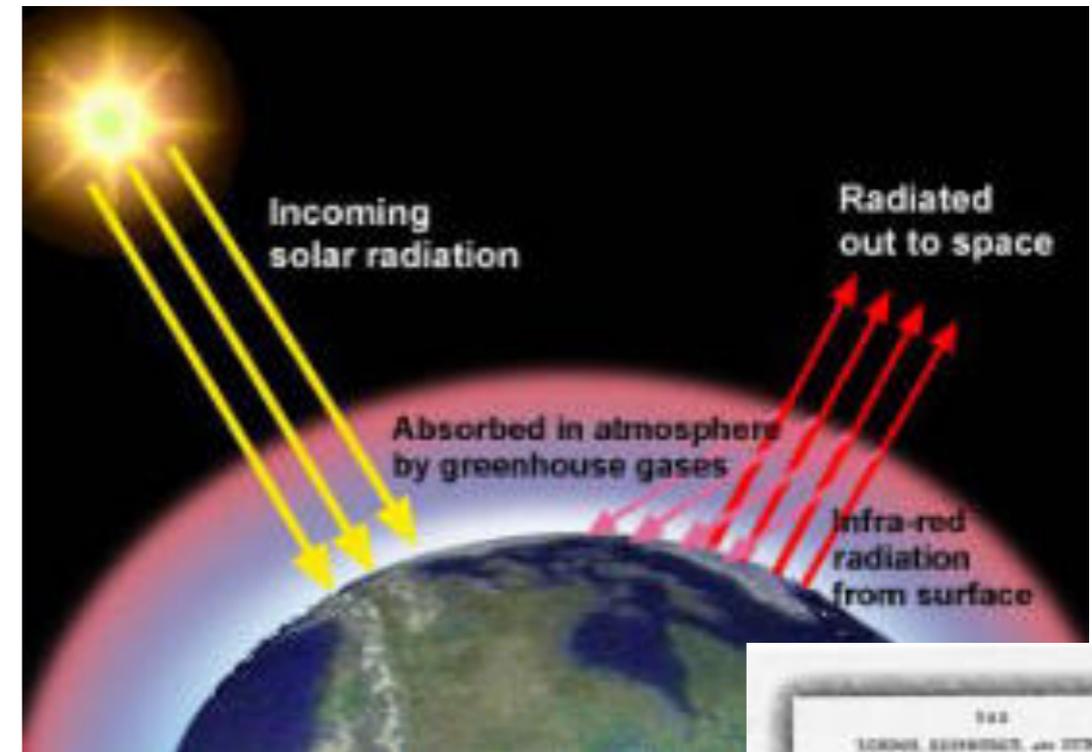
# Warum sich das Klima ändert – Längerfristige Faktoren:

## Milankovic Zyklen 1941



Source: Global Warming Art

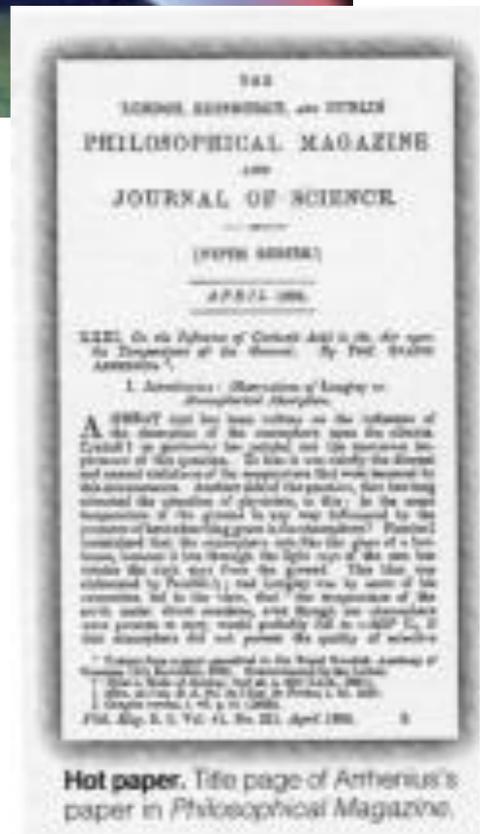
## Treibhauseffekt 1896



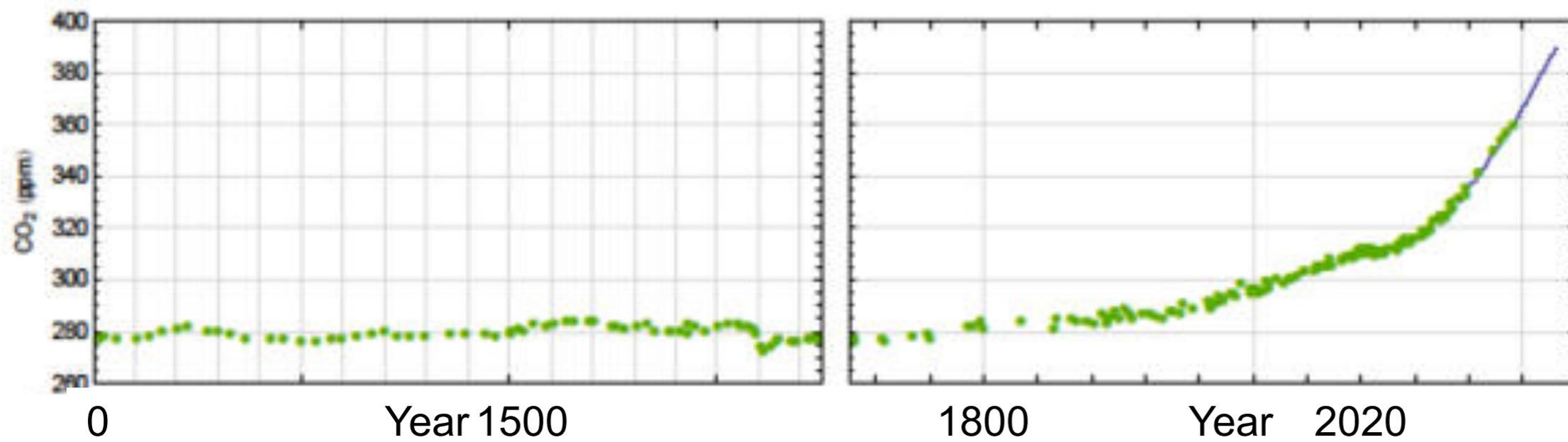
**Klimasensitivität**  
= Effekt von CO<sub>2</sub>-  
Verdoppelung

**3 ± 1 °C**

*Arrhenius 1896*

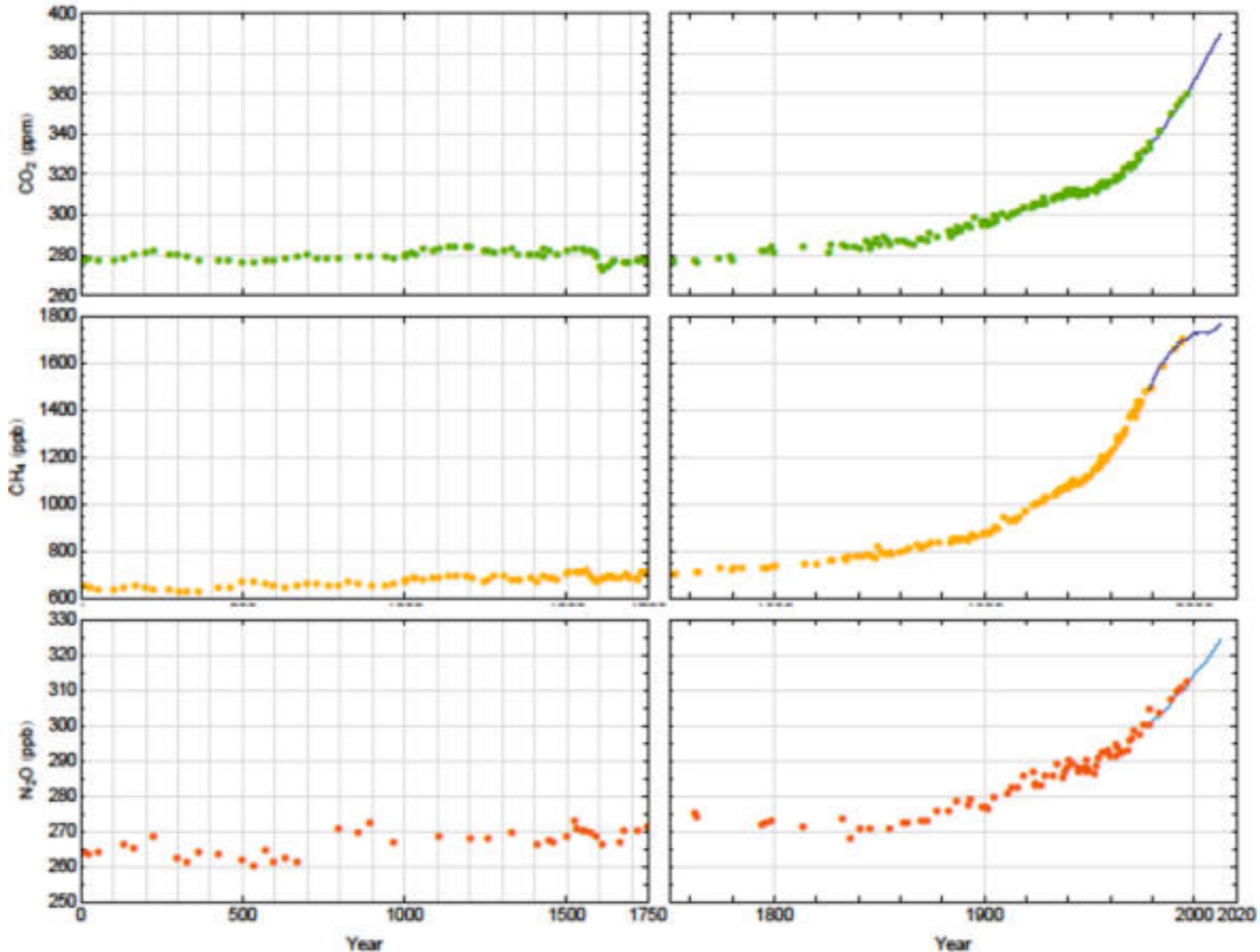


# CO<sub>2</sub> Konzentration steigt rapide an



# CO<sub>2</sub> Konzentration steigt rapide an

... zusammen mit anderen Treibhausgasen



**CO<sub>2</sub> -Trend ist anthropogen**

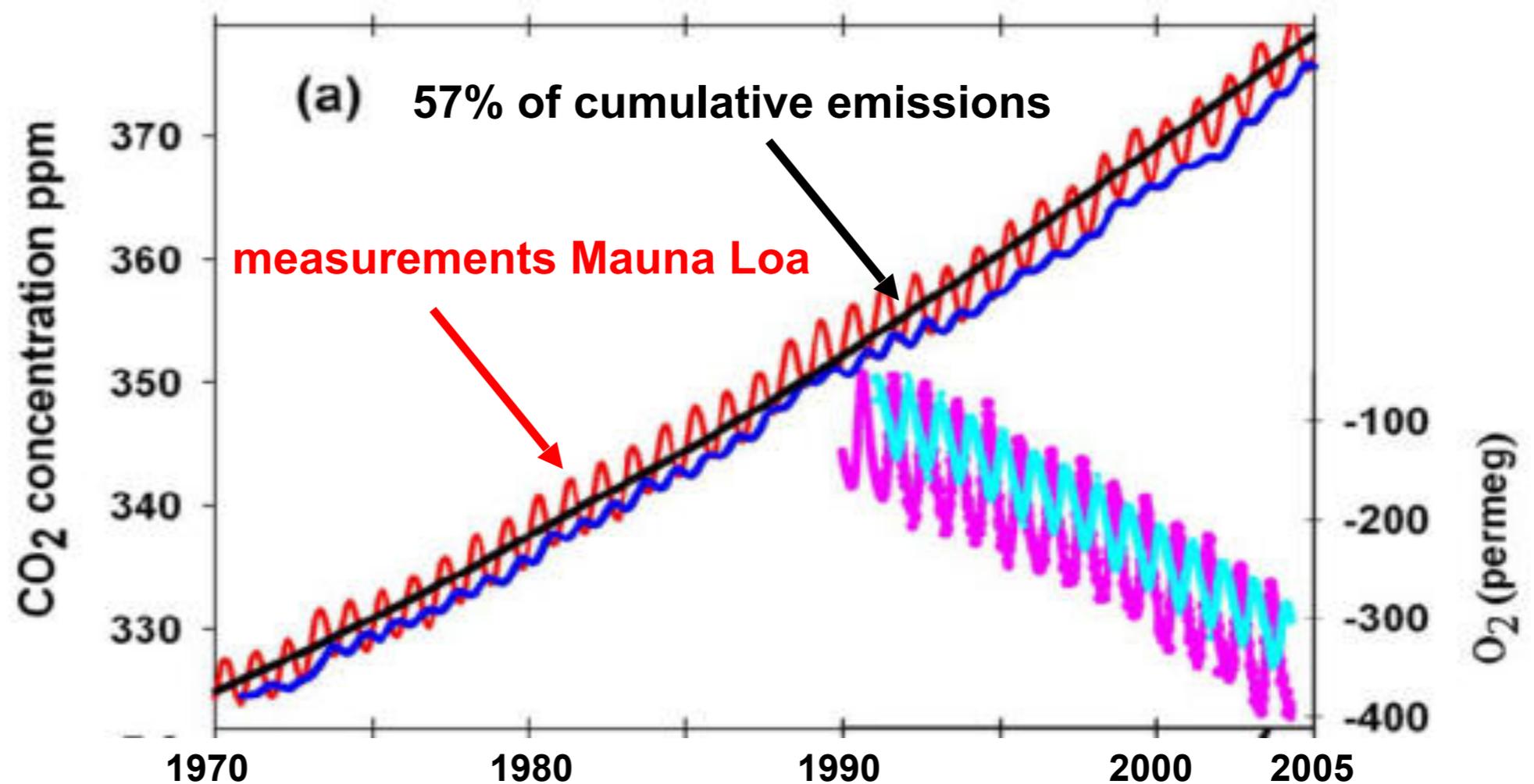
# CO<sub>2</sub> -Trend ist anthropogen

- Wir wissen, wie viel CO<sub>2</sub> emittiert wurde – der CO<sub>2</sub> - Anstieg in der Atmosphäre entspricht nur 57% der globalen Emissionen.

Es gibt eine natürliche CO<sub>2</sub> Senke.

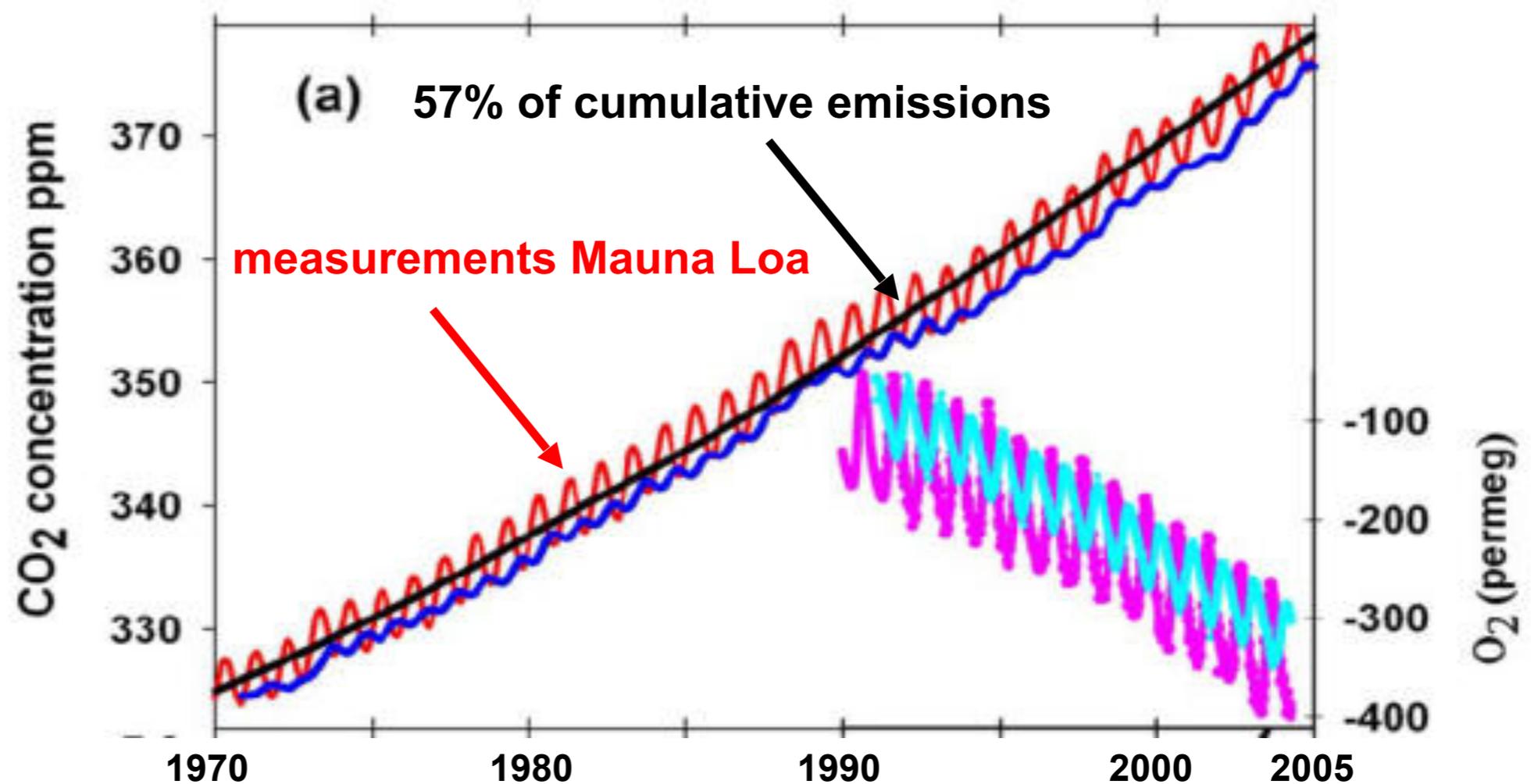
# CO<sub>2</sub> -Trend ist anthropogen

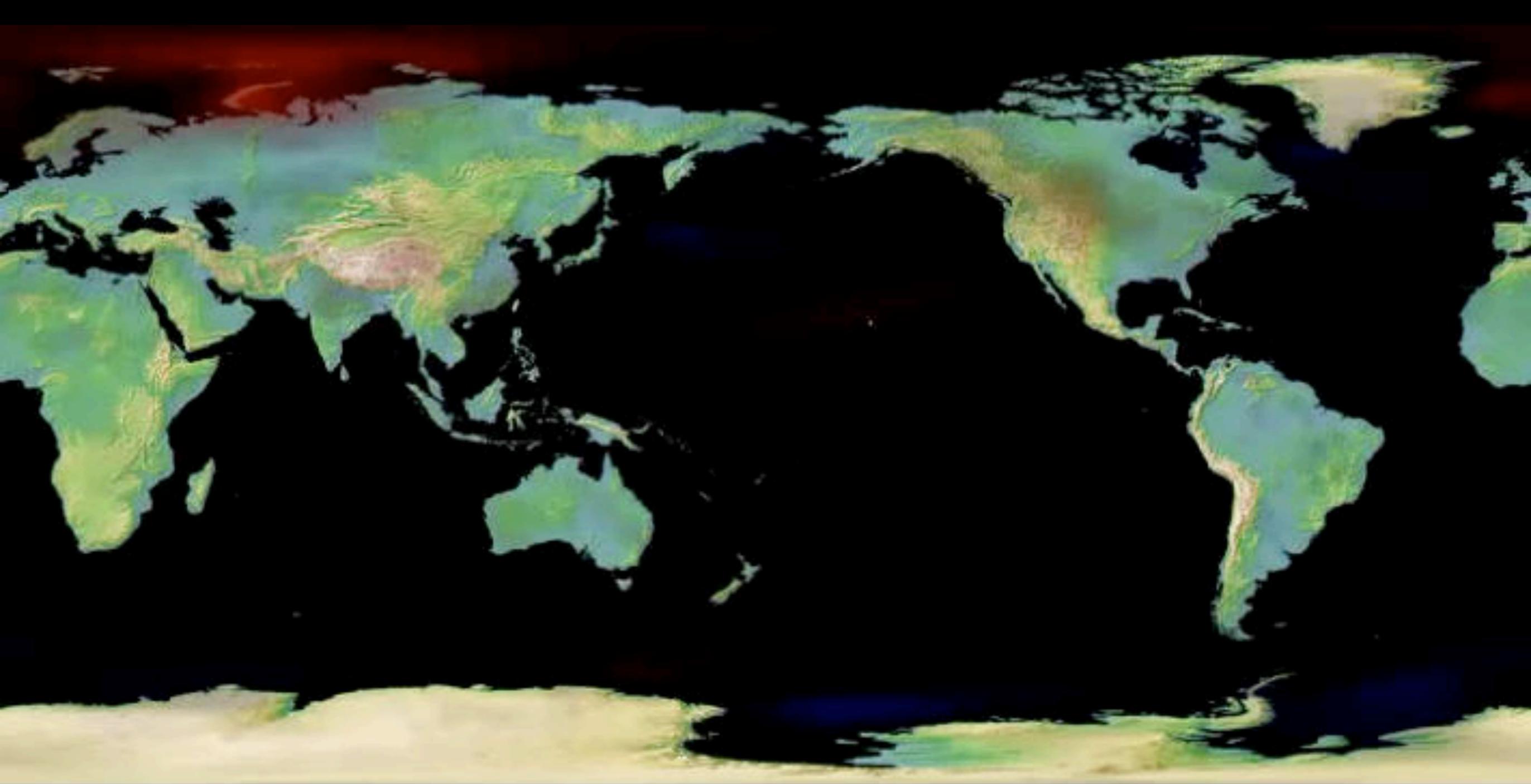
- Wir wissen, wie viel CO<sub>2</sub> emittiert wurde – der CO<sub>2</sub> -Anstieg in der Atmosphäre entspricht nur 57% der globalen Emissionen.  
**Es gibt eine natürliche CO<sub>2</sub> Senke.**
- Die Sauerstoff-Konzentration nimmt gleichzeitig ab (Keeling & Shertz, 1992).



# CO<sub>2</sub> -Trend ist anthropogen

- Wir wissen, wie viel CO<sub>2</sub> emittiert wurde – der CO<sub>2</sub> -Anstieg in der Atmosphäre entspricht nur 57% der globalen Emissionen.  
**Es gibt eine natürliche CO<sub>2</sub> Senke.**
- Die Sauerstoff-Konzentration nimmt gleichzeitig ab (Keeling & Shertz, 1992).
- Die isotopische Zusammensetzung des CO<sub>2</sub> zeigt, dass es fossilen Ursprungs ist. (Suess-Effekt, 1955)



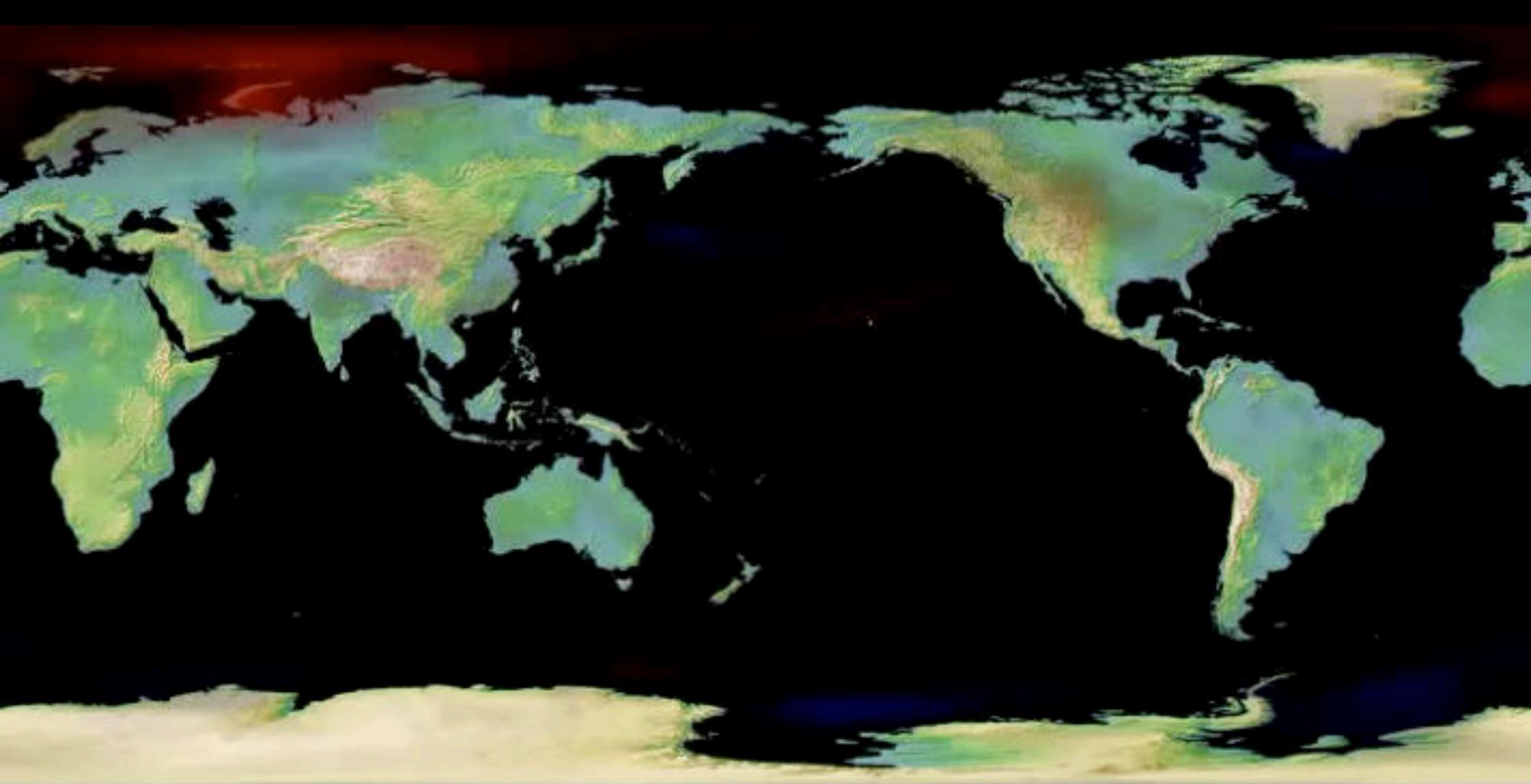


**1950**



**2m temperature change (A1B / MIROC-hi)**

CCSR/NIES/FRCGC  
MEXT RR2002

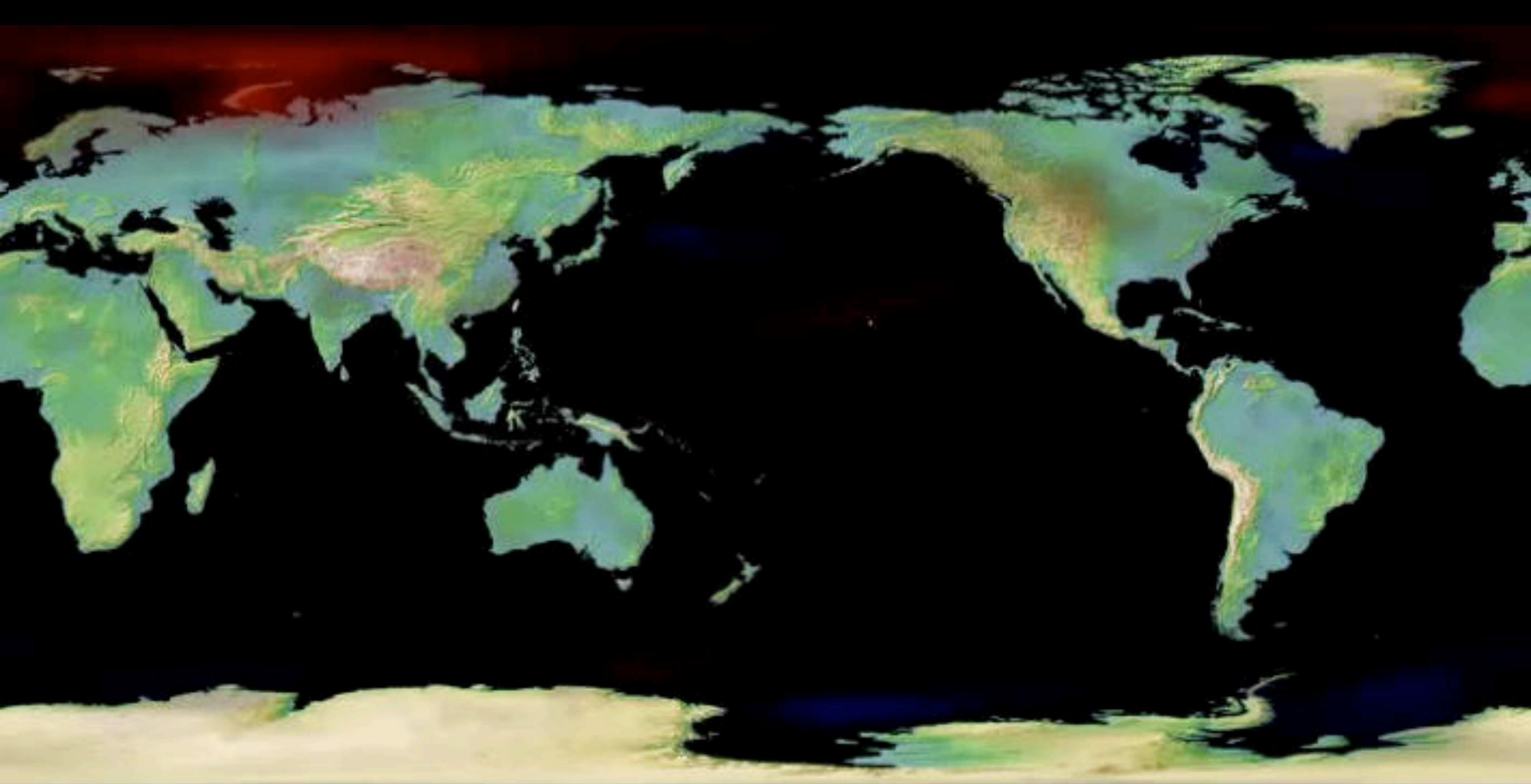


**1950**



**2m temperature change (A1B / MIROC-hi)**

CCSR/NIES/FRCGC  
MEXT RR2002



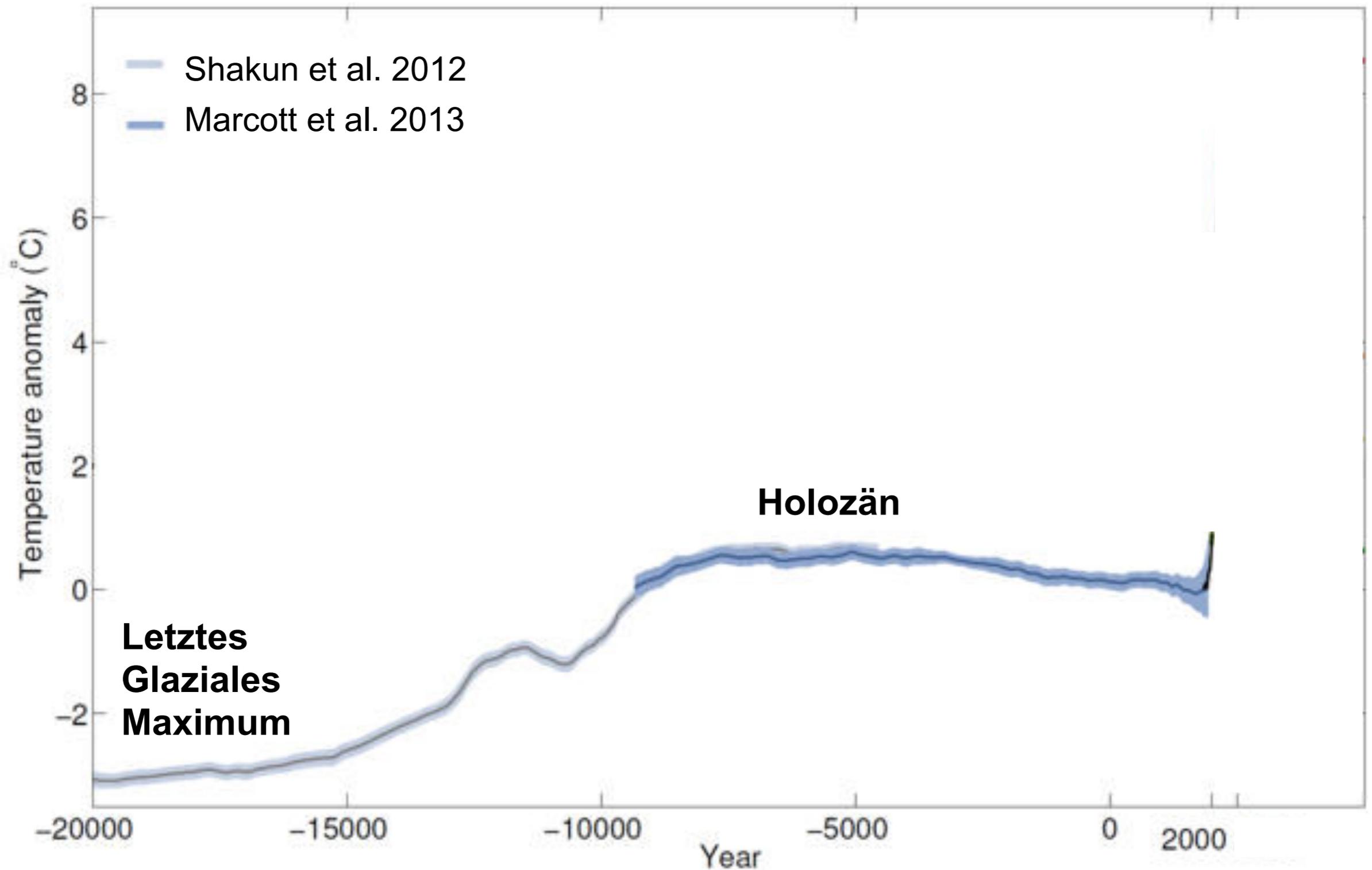
**1950**



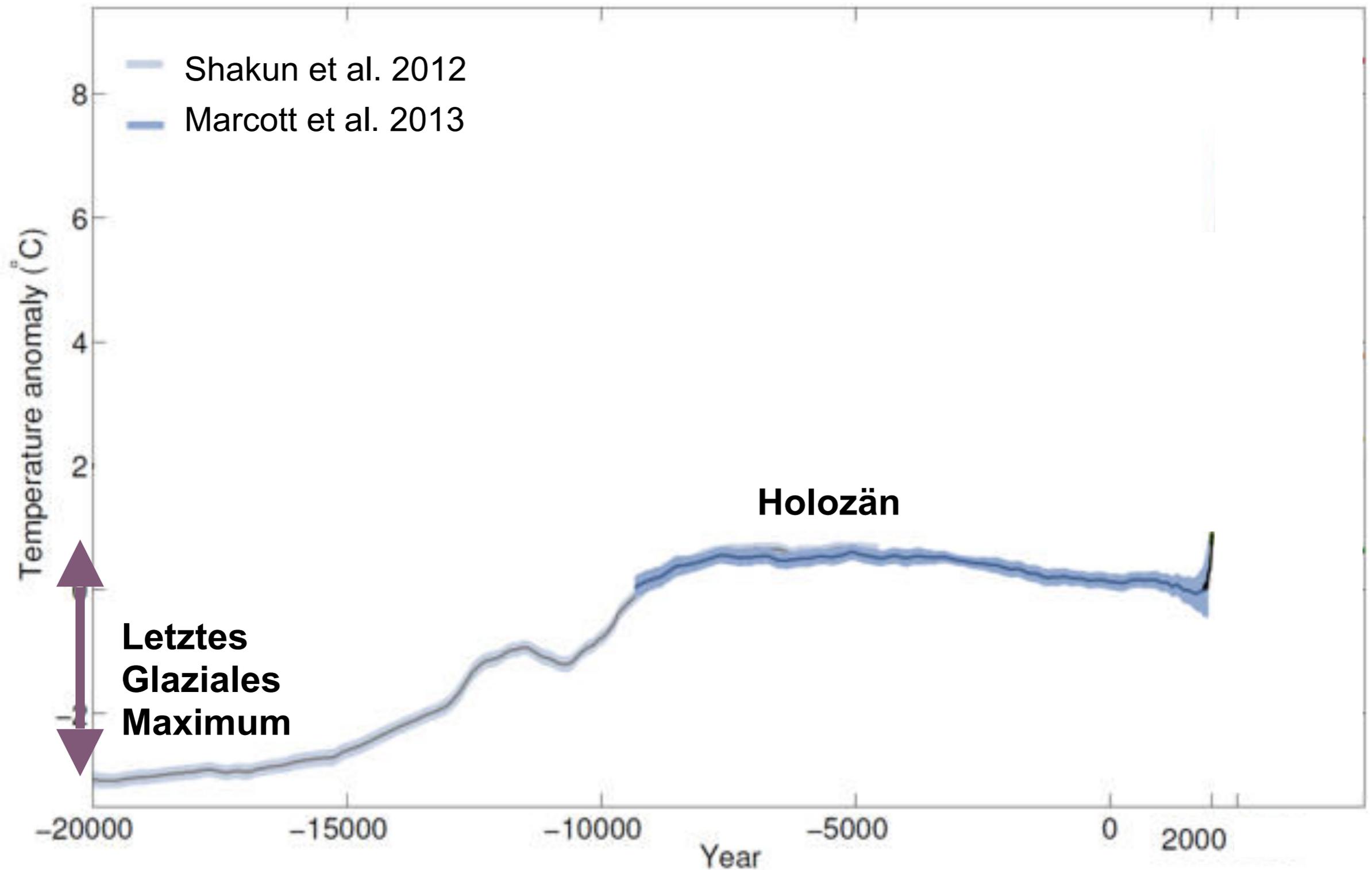
**2m temperature change (A1B / MIROC-hi)**

CCSR/NIES/FRCGC  
MEXT RR2002

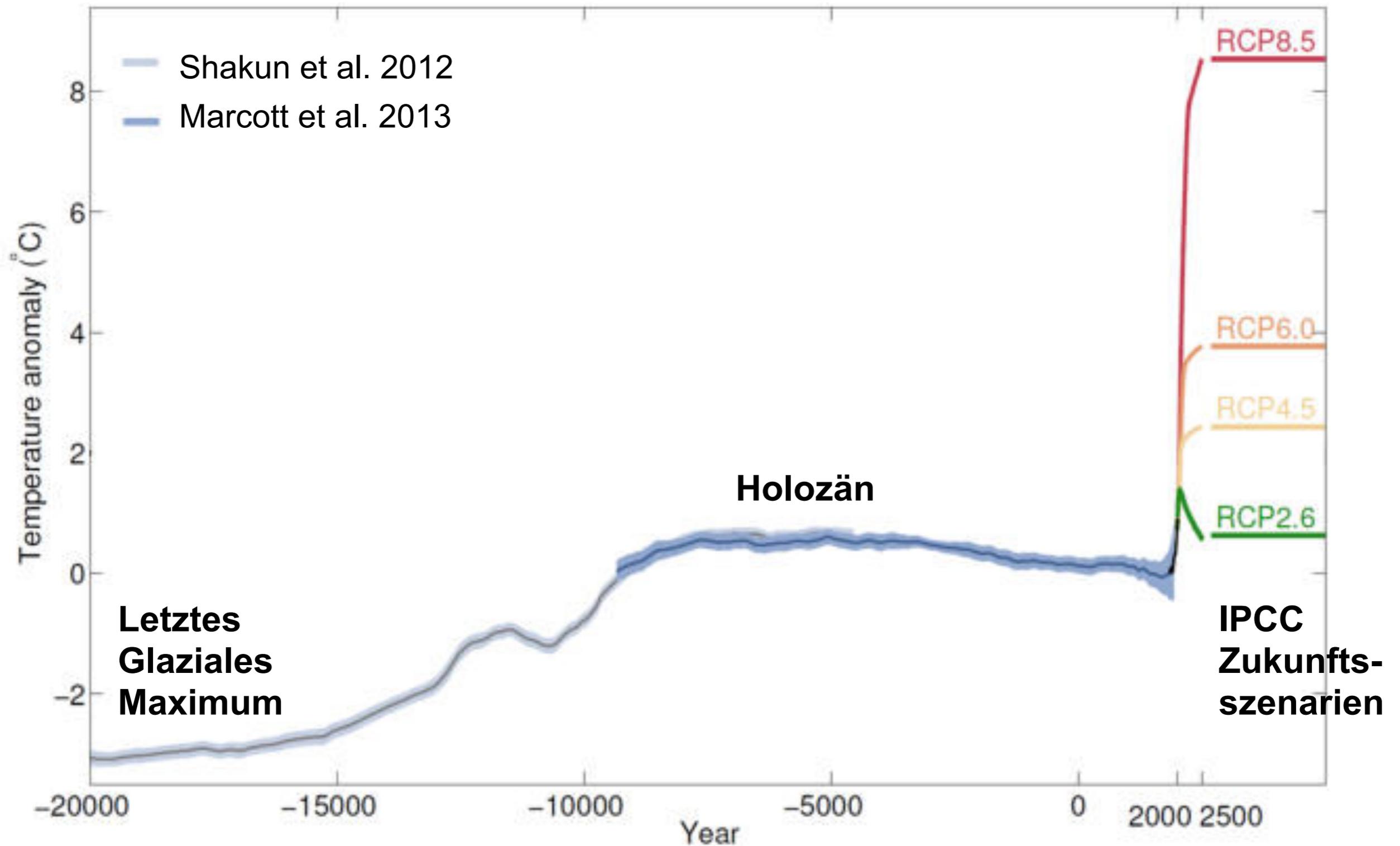
# Der Mensch ist eine geologische Kraft



# Der Mensch ist eine geologische Kraft



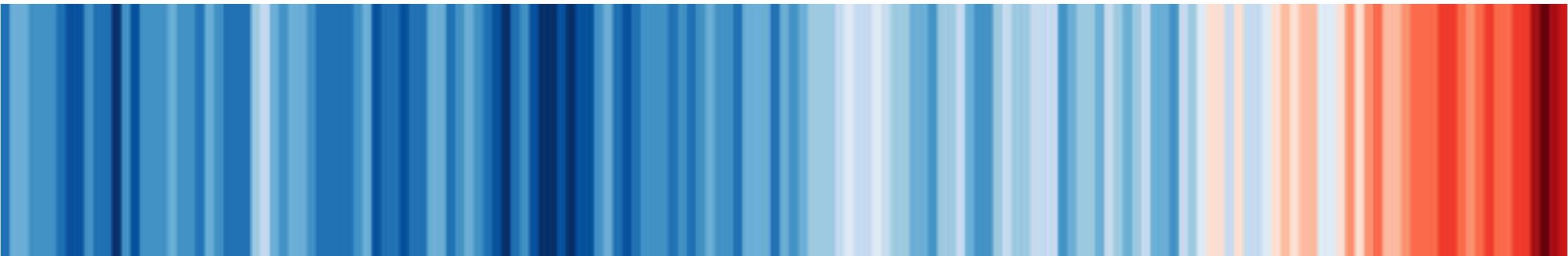
# Der Mensch ist eine geologische Kraft





# Das Anthropozän

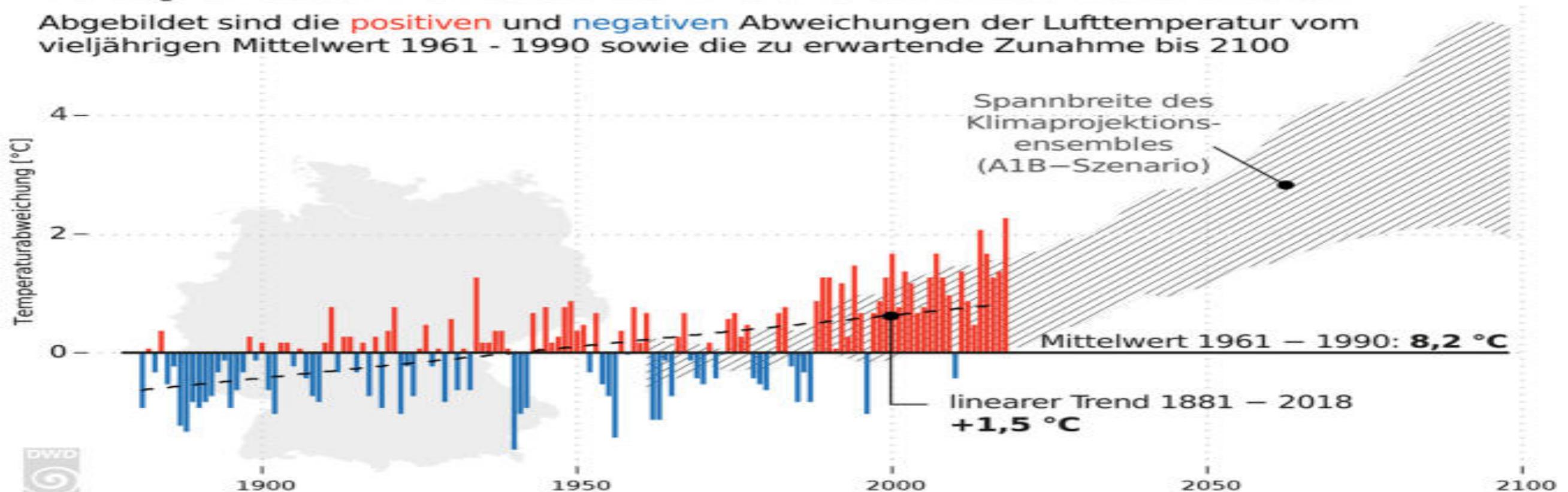
## 2. Klimawandel in Deutschland, NRW und Oberberg und seine Folgen



# Klimaerwärmung in Deutschland

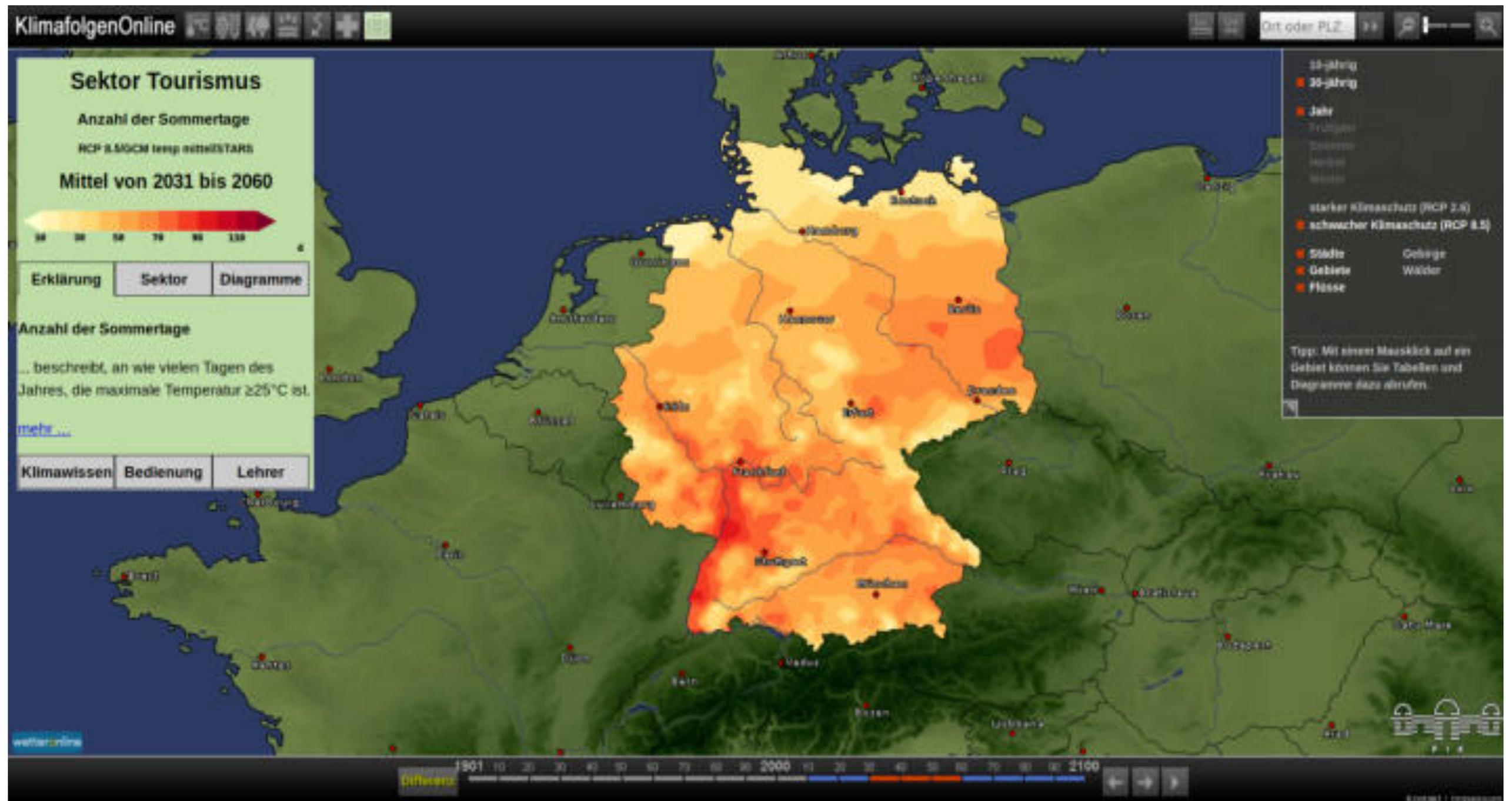
## Temperaturverlauf in Deutschland seit 1881

Abgebildet sind die **positiven** und **negativen** Abweichungen der Lufttemperatur vom vieljährigen Mittelwert 1961 - 1990 sowie die zu erwartende Zunahme bis 2100



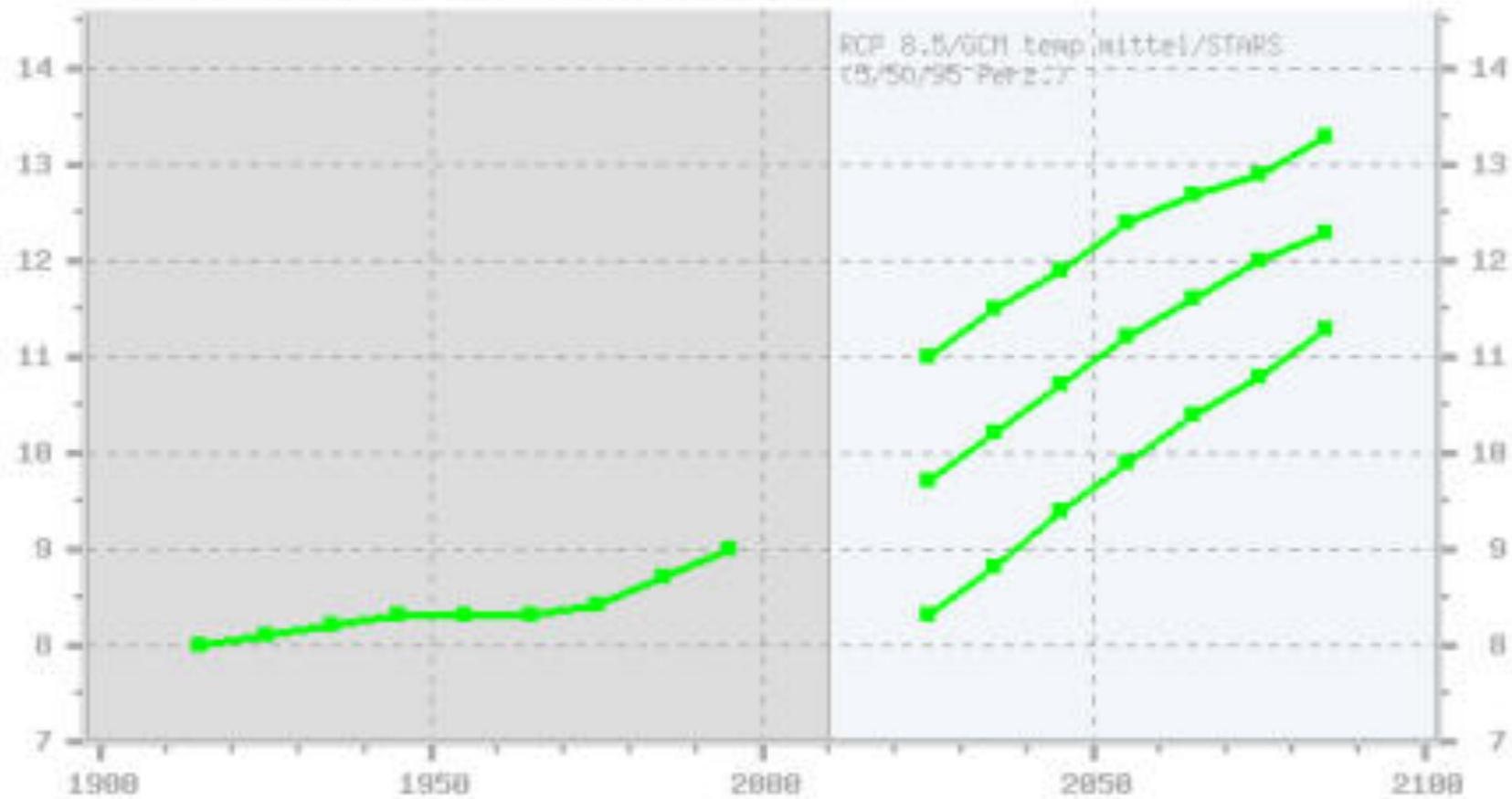
2018 [www.dwd.de/klima](http://www.dwd.de/klima) | Quelle: DWD

# Informationsportal: KlimafolgenOnline



# Klimaerwärmung in Oberberg

Oberbergischer Kreis  
Mittlere Tagestemperatur [°C] in Jahresmittel

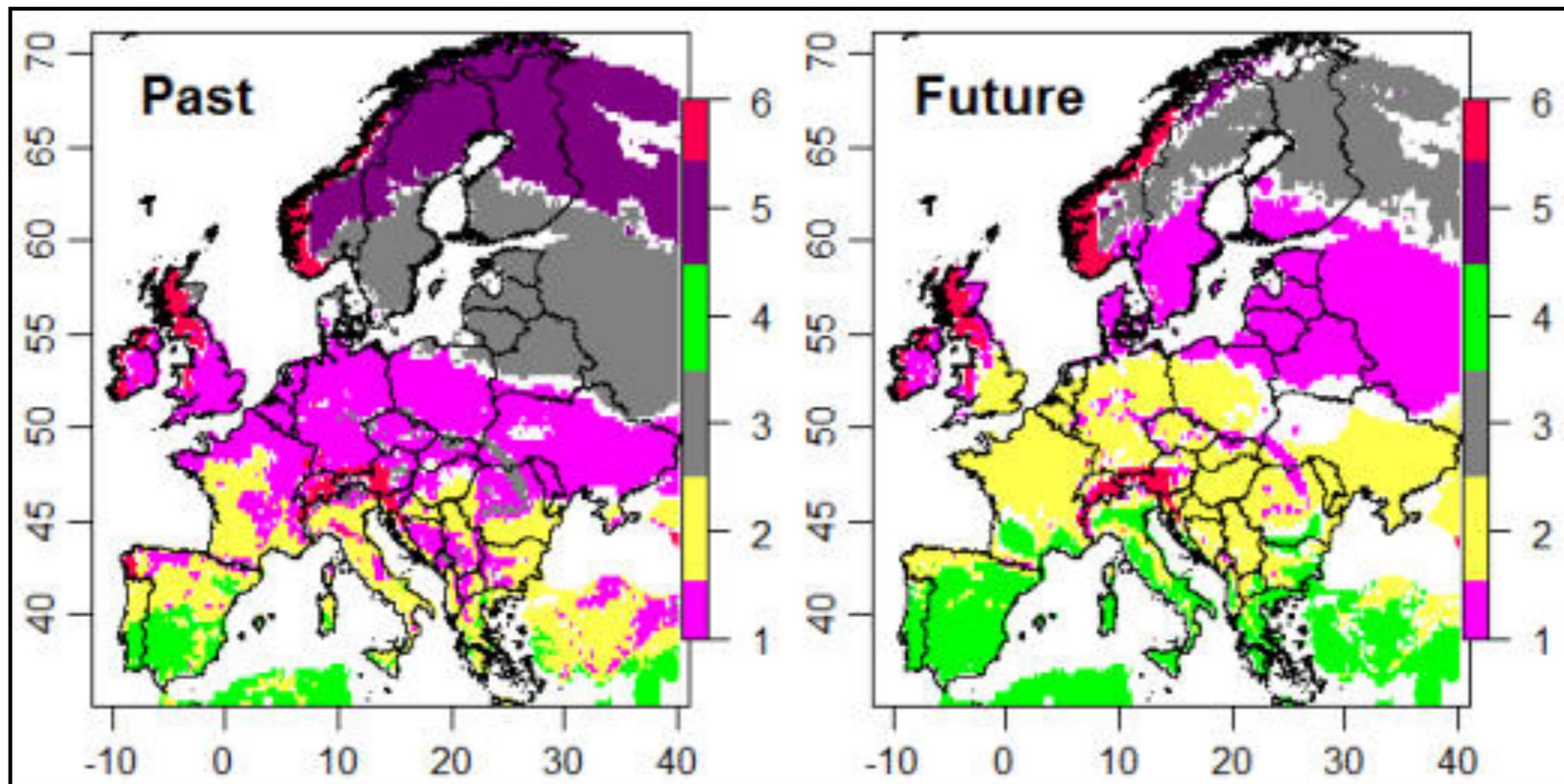


[www.klimafolgenonline.com](http://www.klimafolgenonline.com)



[wikipedia.de](https://de.wikipedia.org)

# Verschiebung von Klimazonen: Klimaanaloge



# Erwärmung und Erhitzung in Deutschland

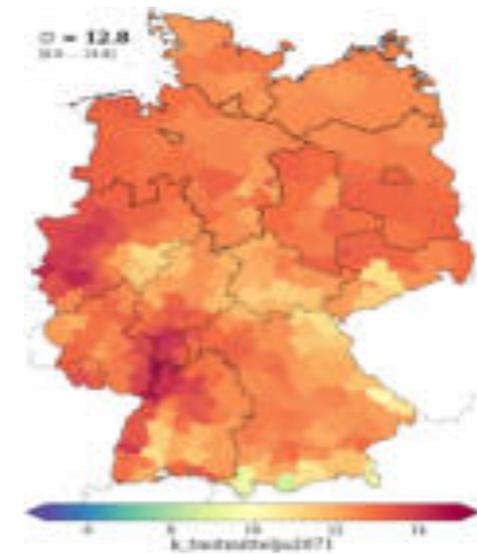
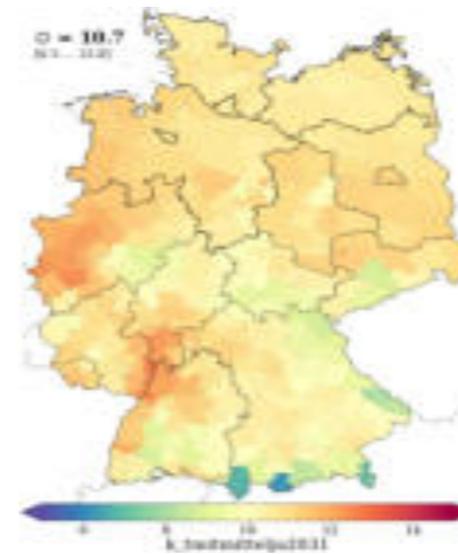
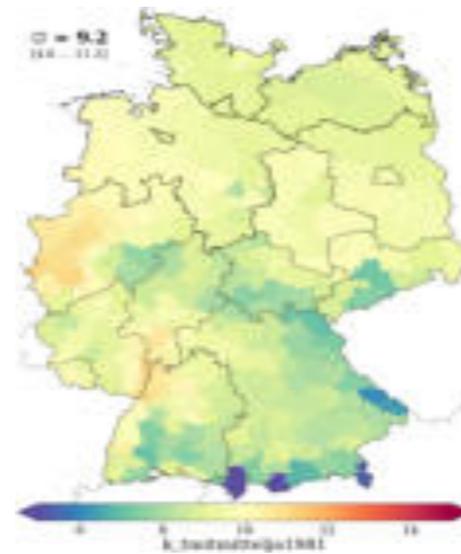
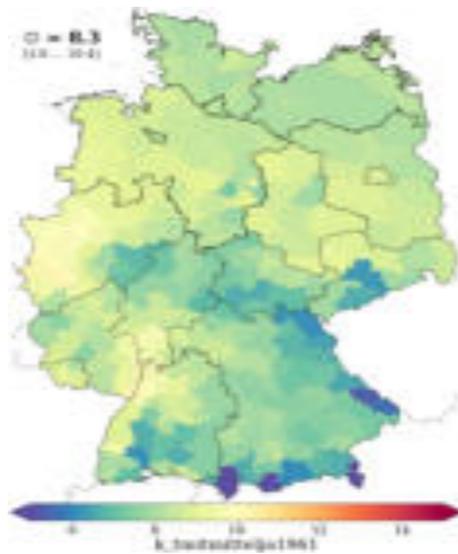
Jahresmitteltemperatur

1961-1990

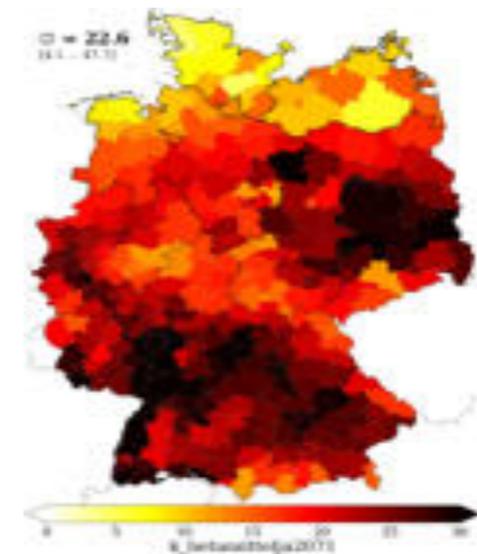
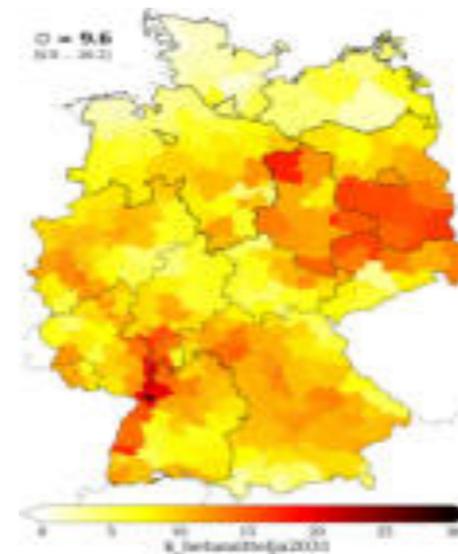
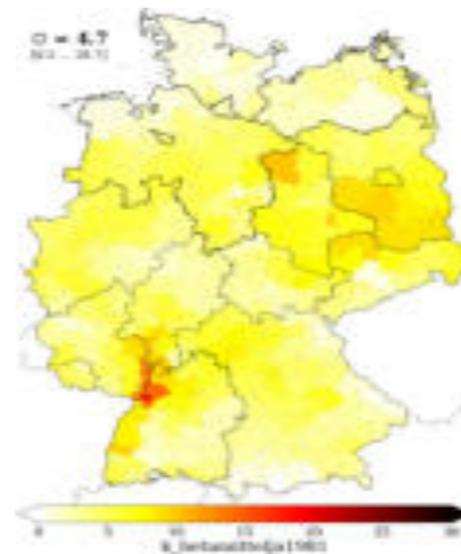
1981-2010

2031-2060

2071-2100



Hitzetage



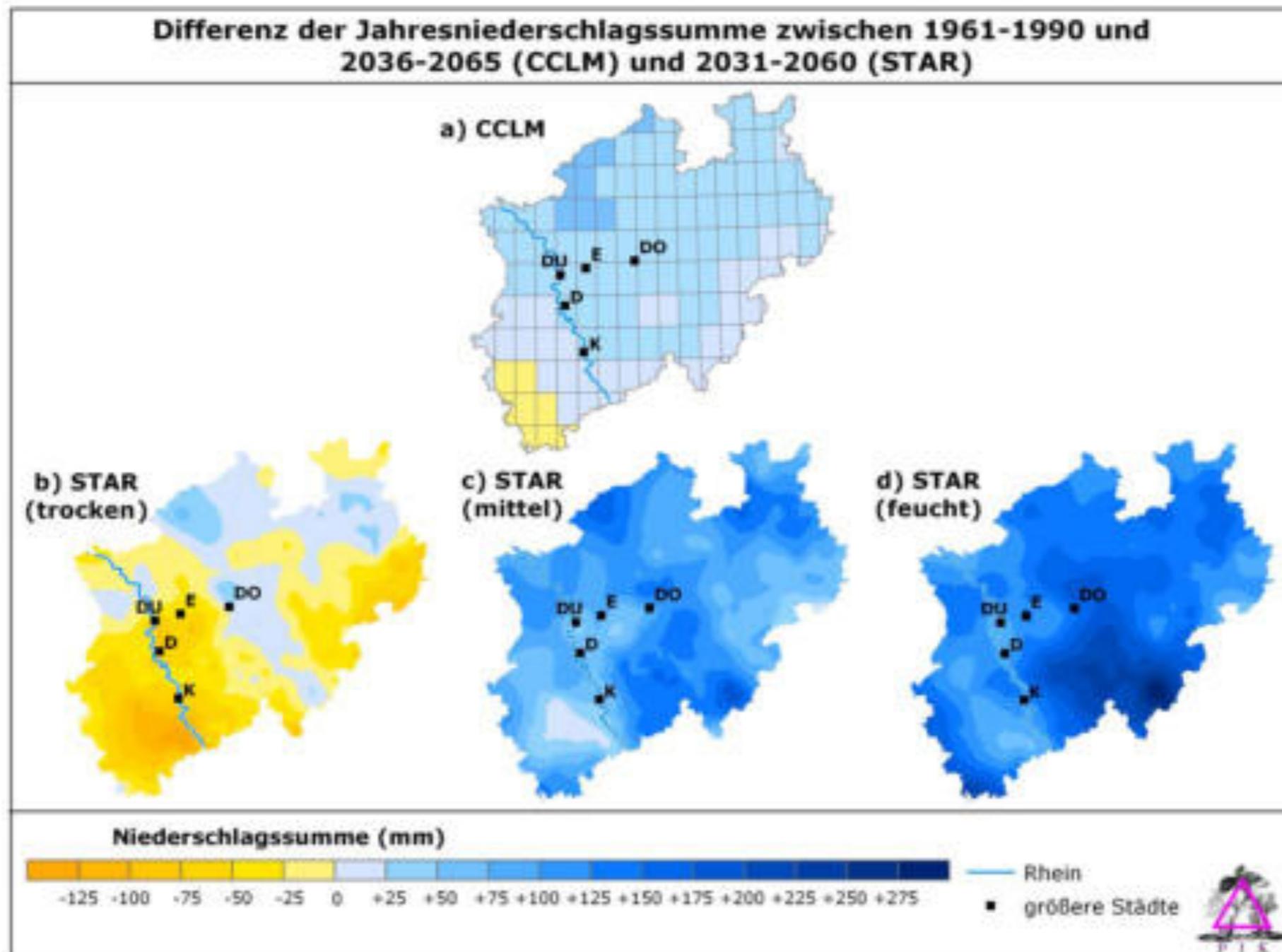
8.3°C / 2.6 d

+0.9°C / +2.1 d

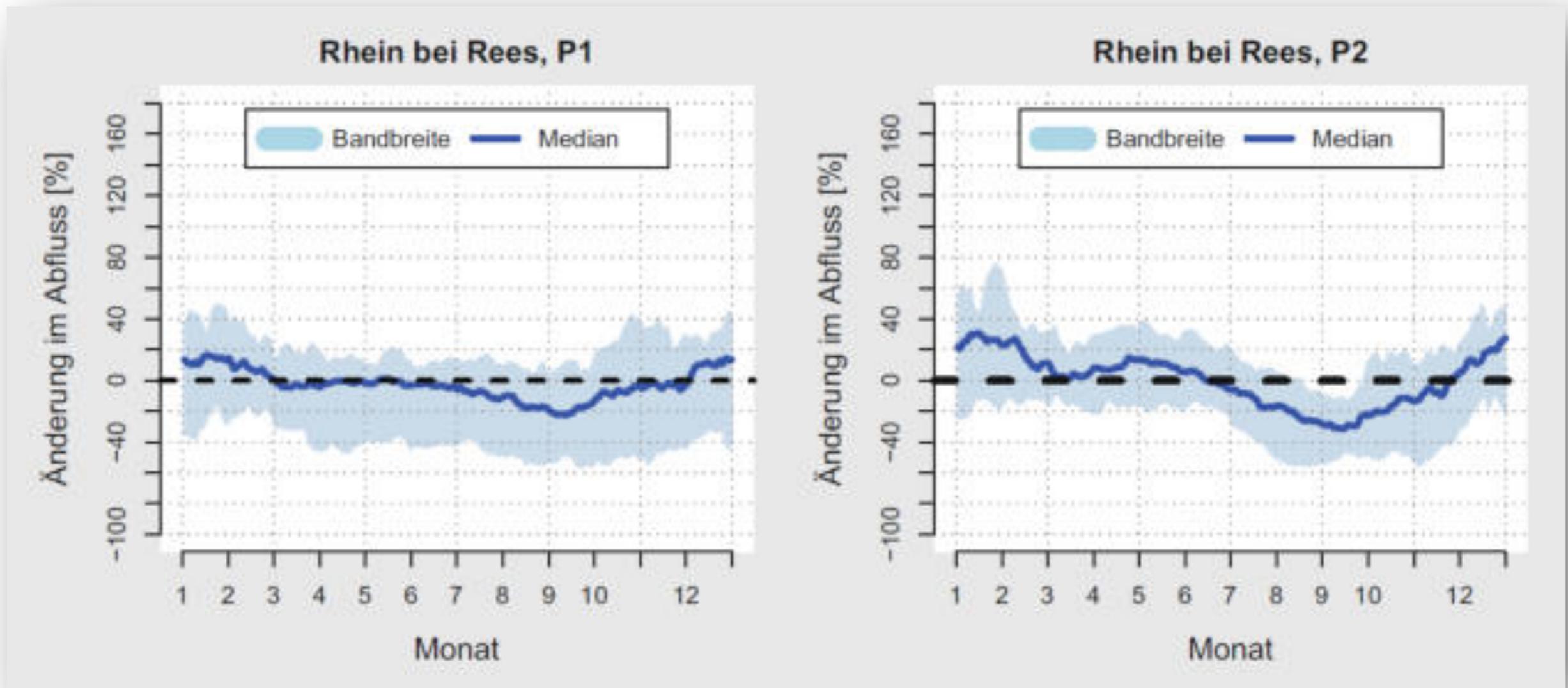
+2.4°C / +7.0 d

+4.5°C / +20.0 d

# Mehr Niederschläge und Verstärkung des Wasserkreislaufs



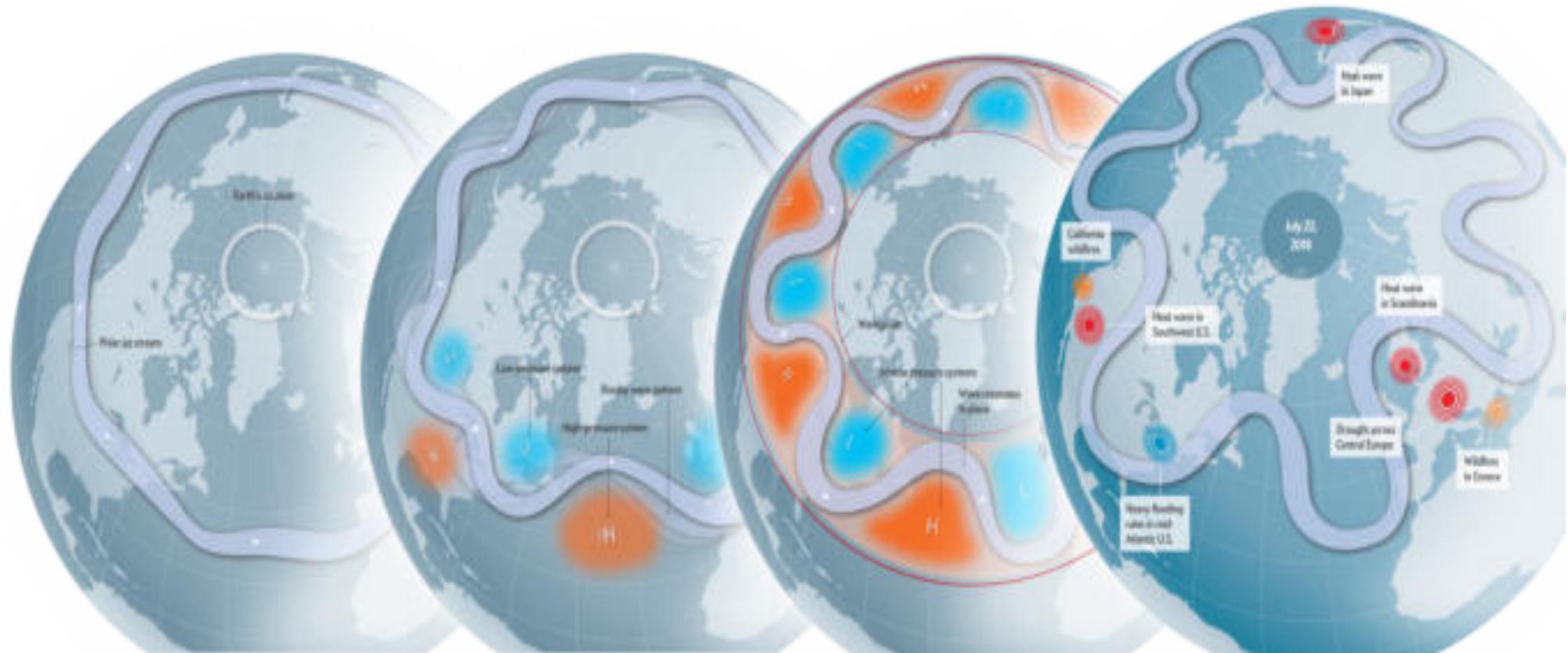
# Änderung der Wassermengen im Rhein bis Mitte des 21. Jrh.



Änderung des Abflusses unter Emissionsszenario SRES A1B für den Rhein bei Rees als Differenz zwischen der Referenzperiode 1981–2010 und der Simulationsperiode 2031–2060 (links) bzw. der Simulationsperiode 2061–2090 (rechts). (Verändert nach Hattermann et al. 2015)



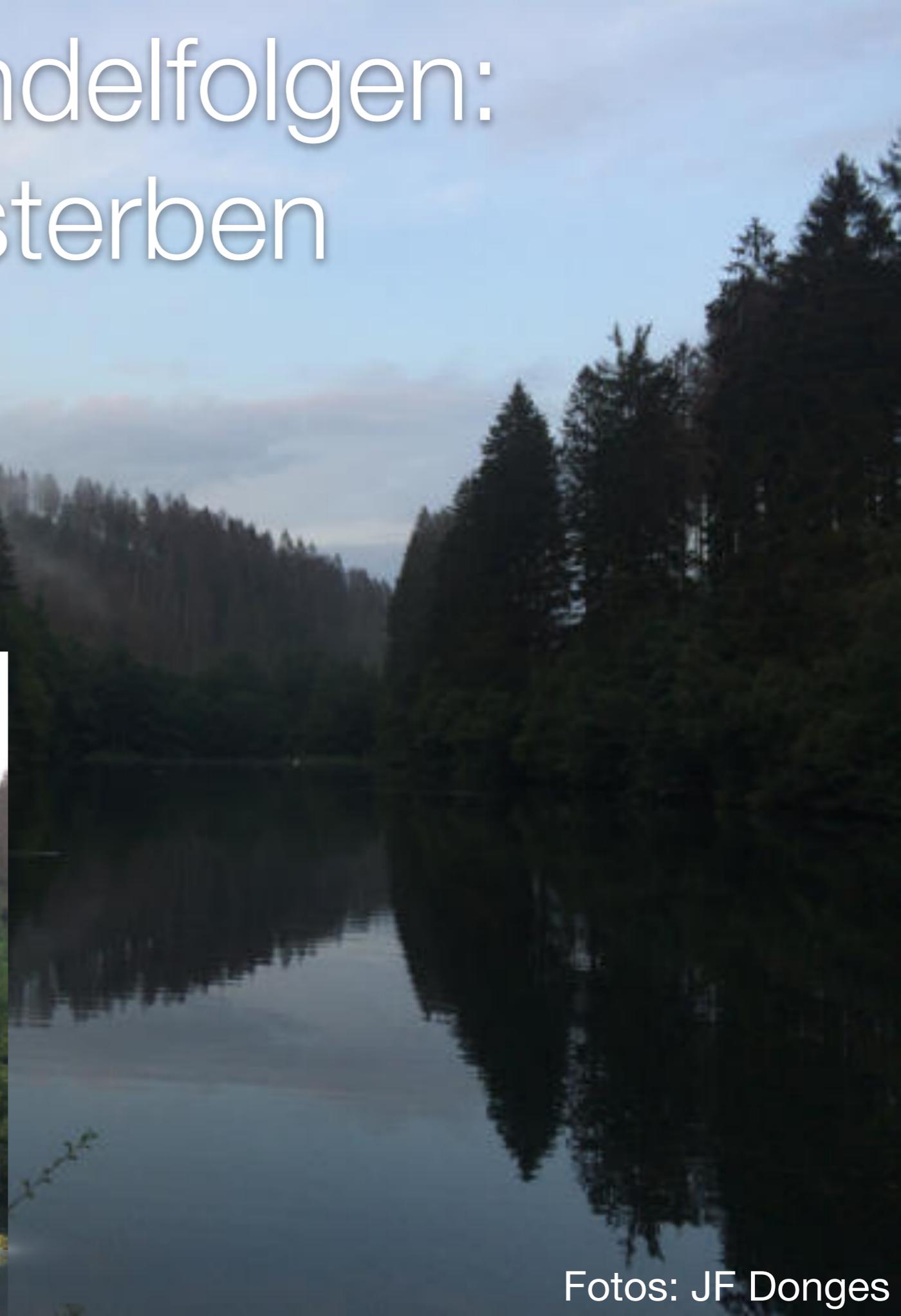
# Zunehmende und zeitgleiche Extremereignisse



**Riesenwellen im Jetstream können unter Klimawandel häufiger stehenbleiben. Aus den ersten sonnigen Tagen kann sich dann eine Hitzewelle aufbauen oder aus dem ersehnten Regen eine Hochwassersituation entstehen. Und das an mehreren Orten gleichzeitig!**

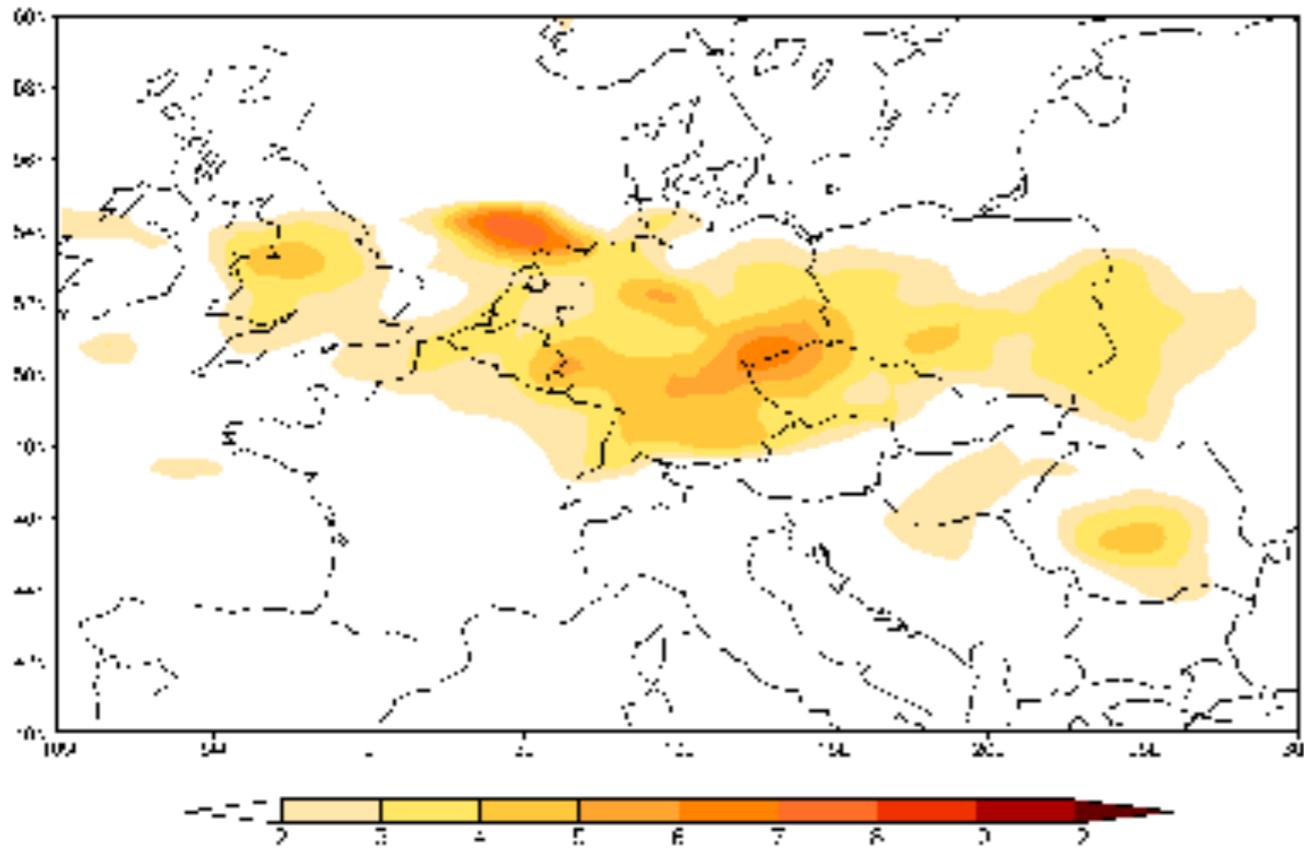
# Klimawandelfolgen: Waldsterben

Eindrücke von der Aggertalsperre,  
Rengser Vorstaubecken



# Klimawandelfolgen: extremere Stürme

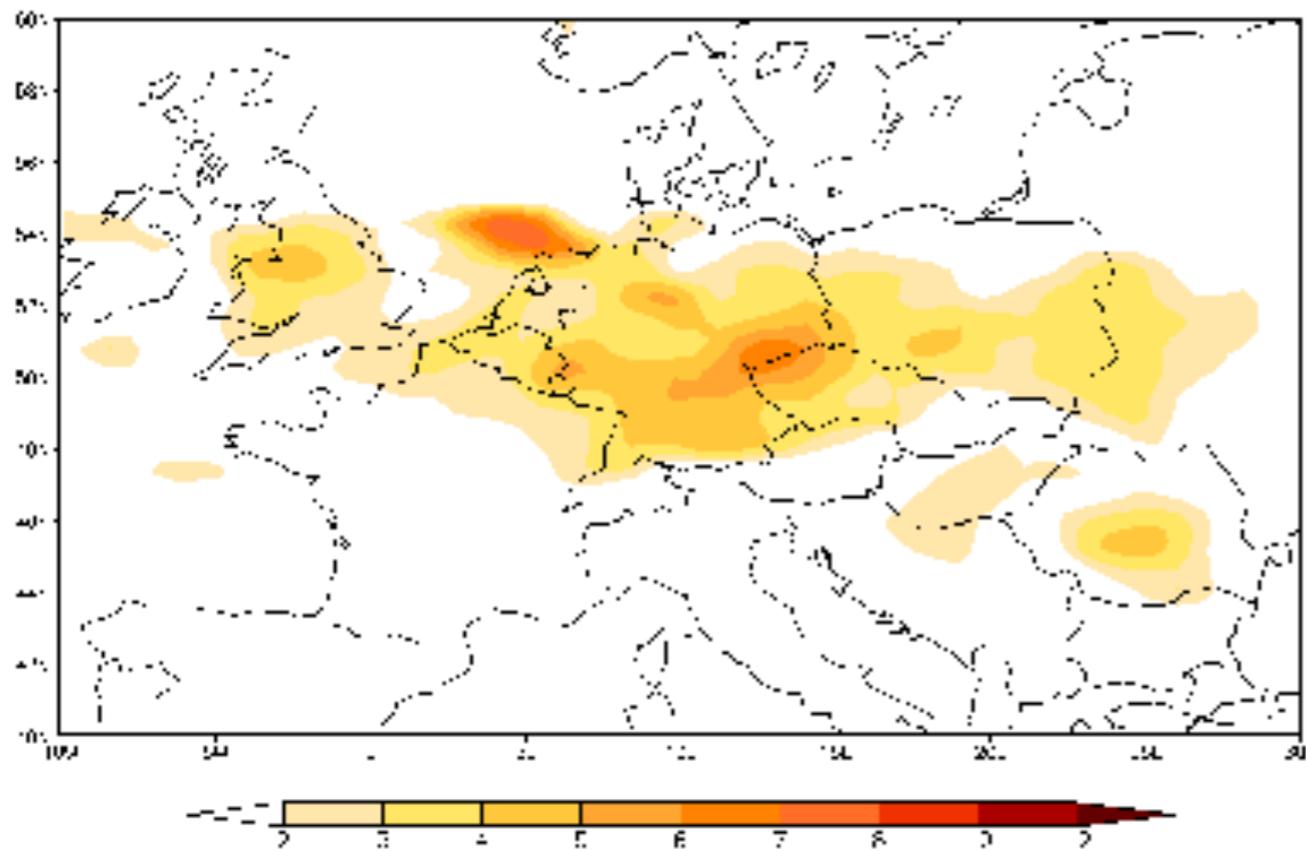
The strongest storm observed:  
Kyrill (2007)



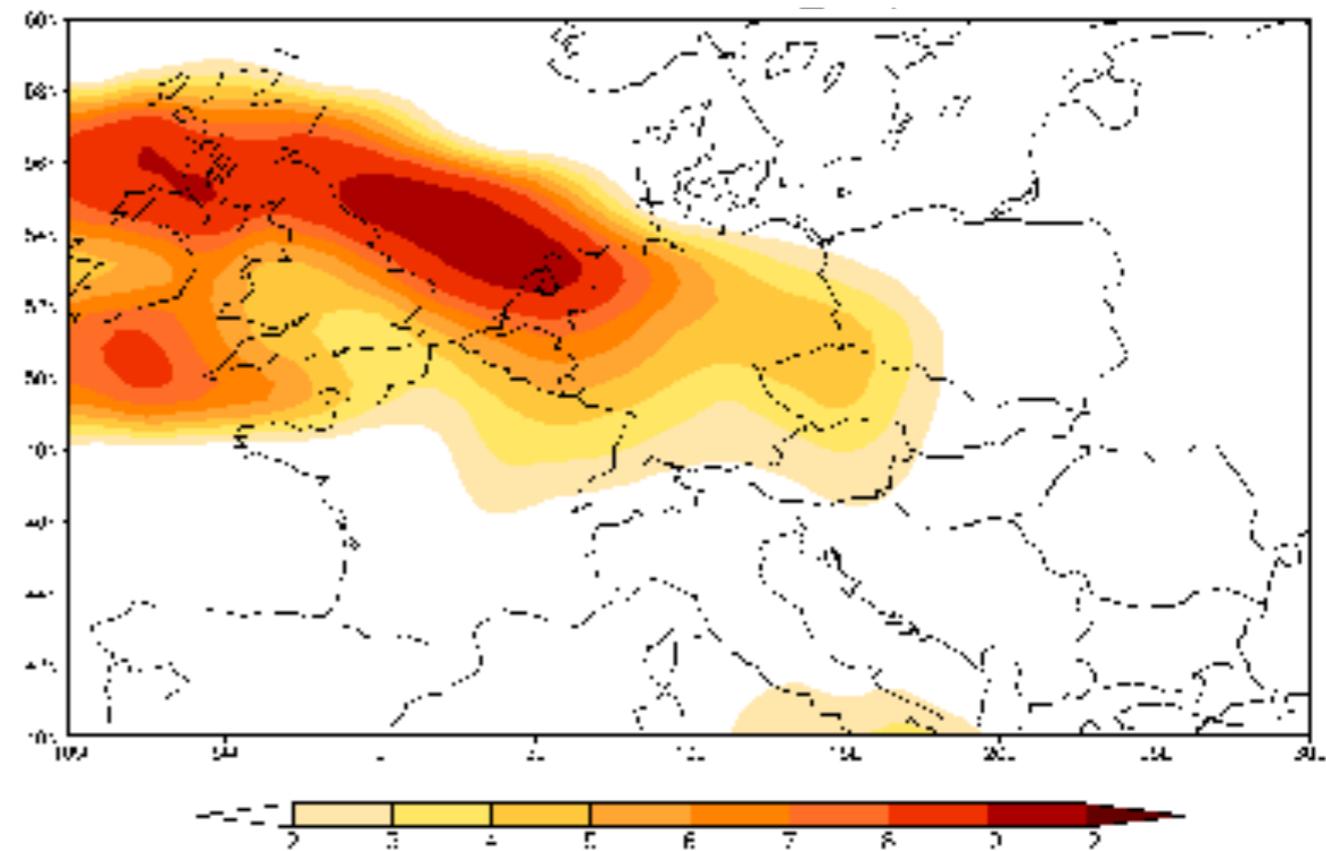
Storm intensity (wind speed)

# Klimawandelfolgen: extremere Stürme

The strongest storm observed:  
Kyrill (2007)

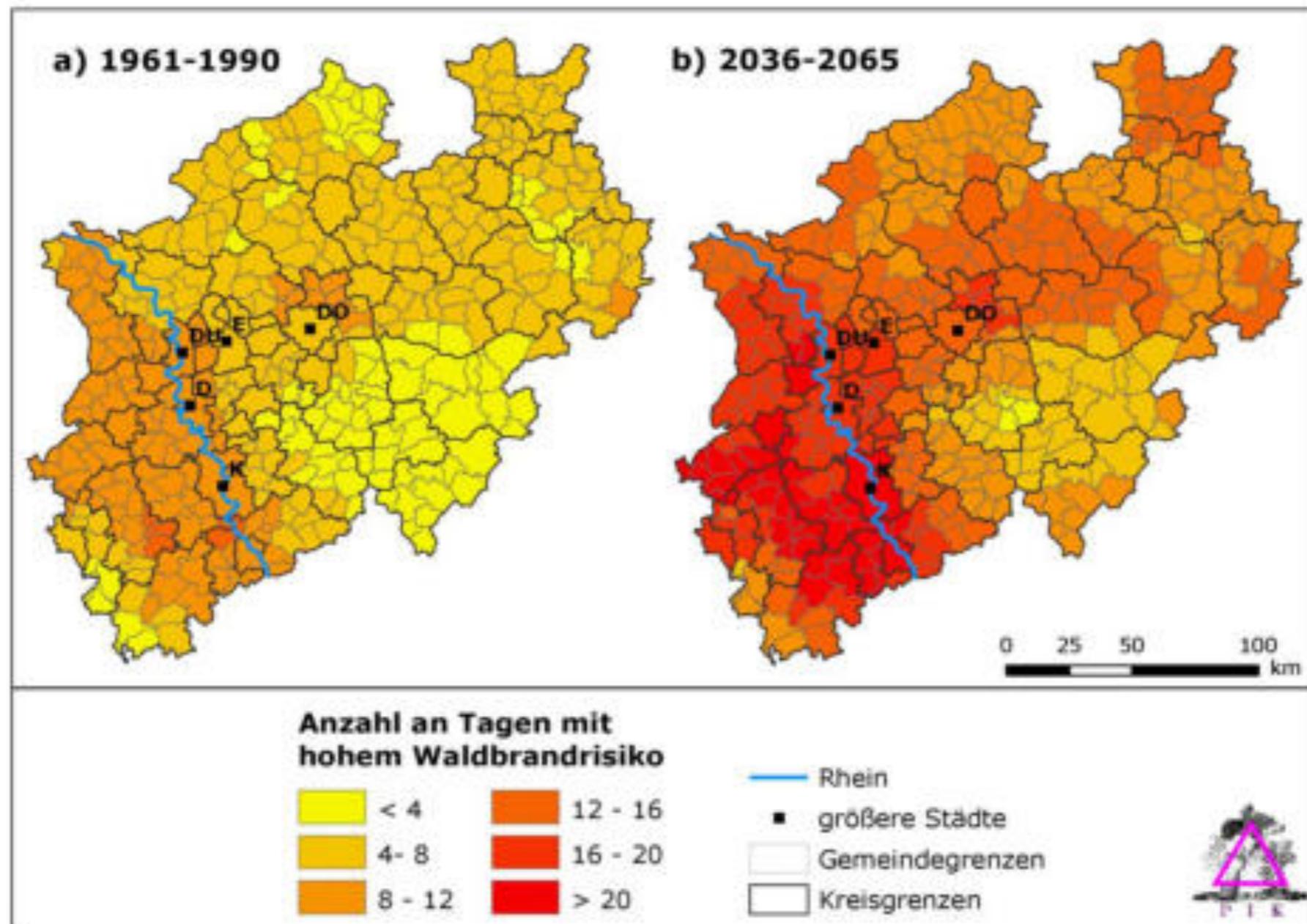


Possible storm in future:  
EH5\_1: 2079-01

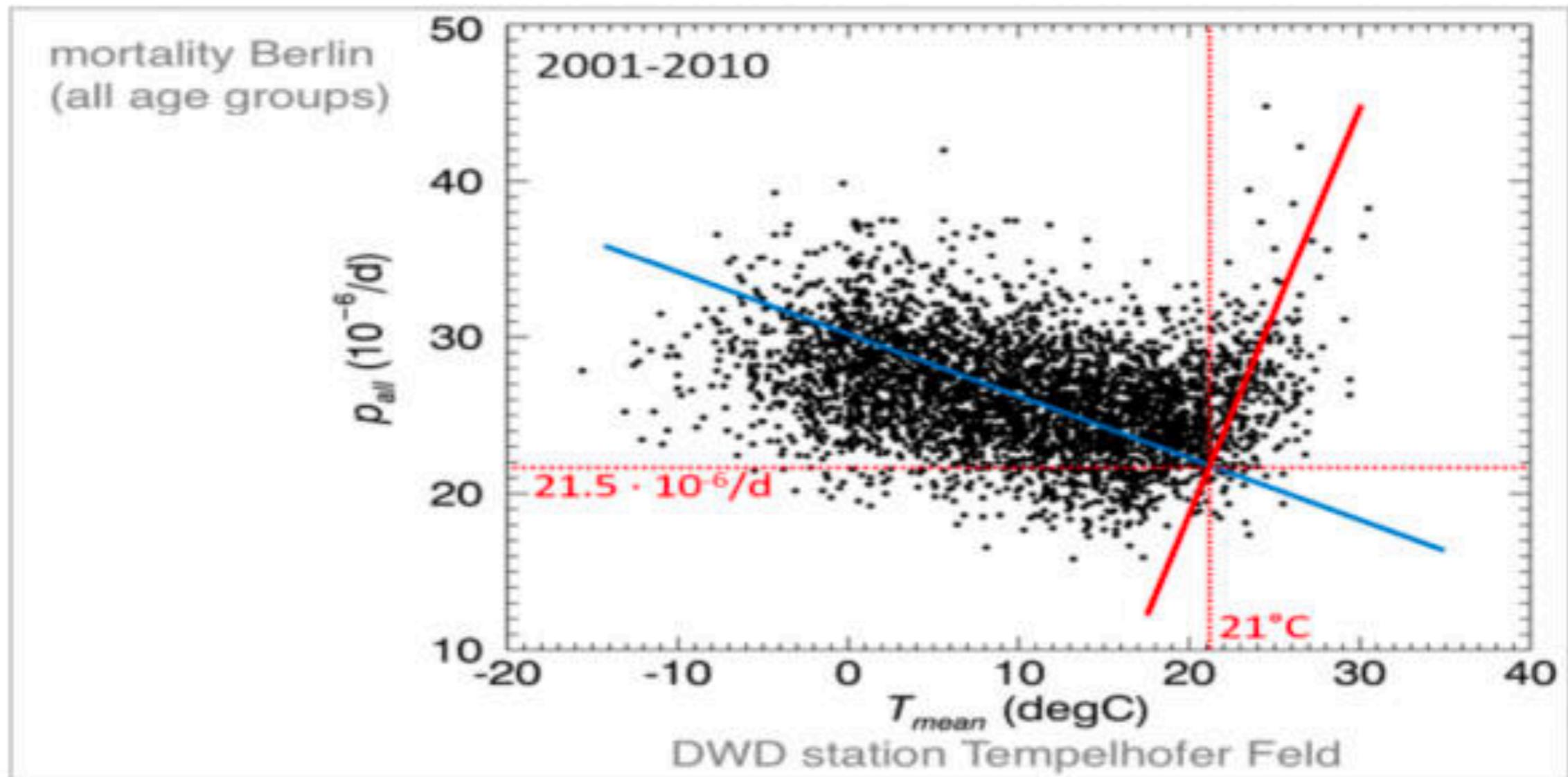


Storm intensity (wind speed)

# Klimawandelfolgen: steigendes Waldbrandrisiko

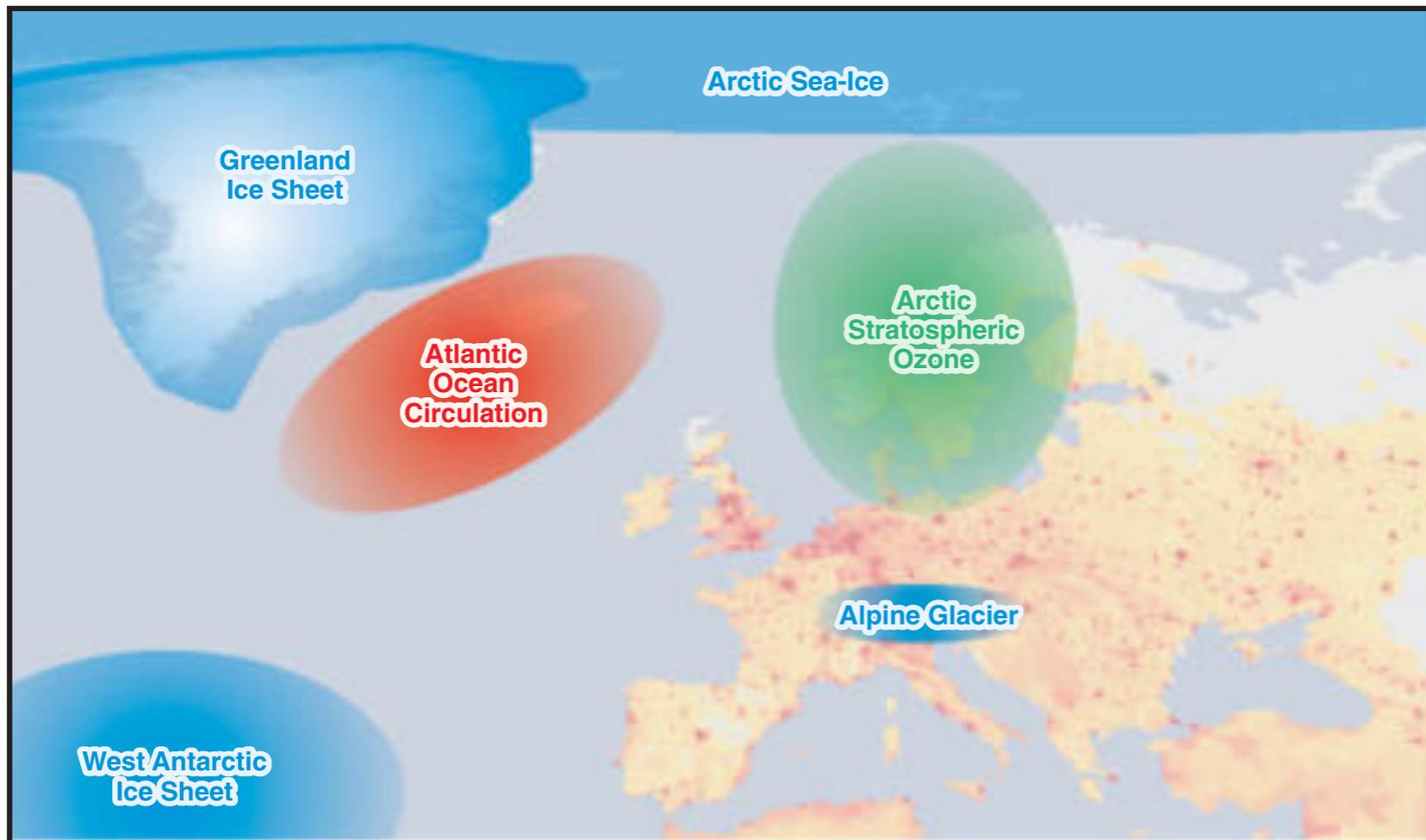


# Klimawandelfolgen für Gesundheit: Hitzetote

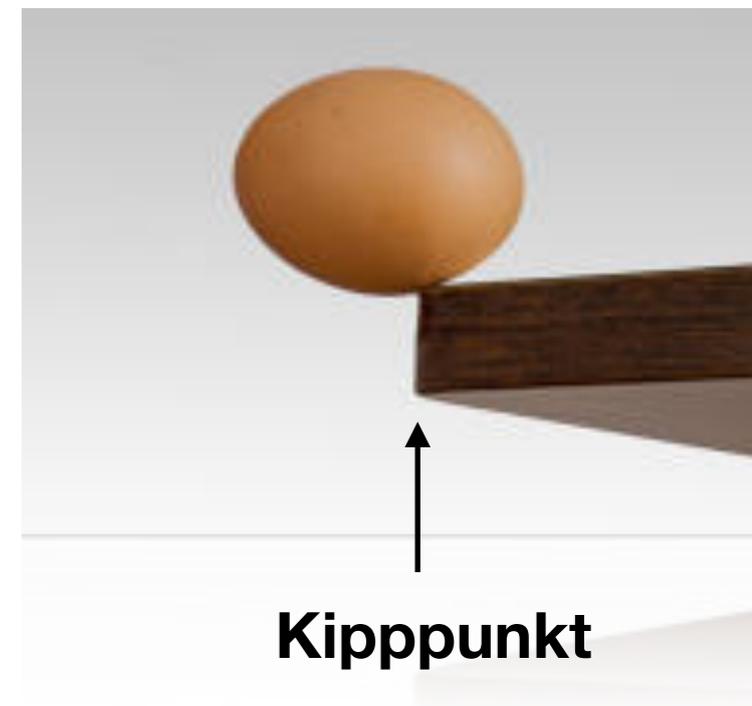
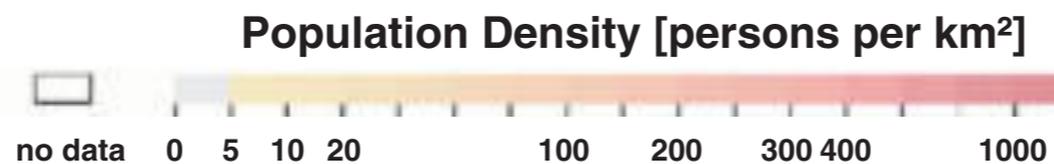


Mortalität in Berlin in Abhängigkeit von der Tagesmitteltemperatur: **Je milder desto weniger** & **je heißer desto mehr Tote**.

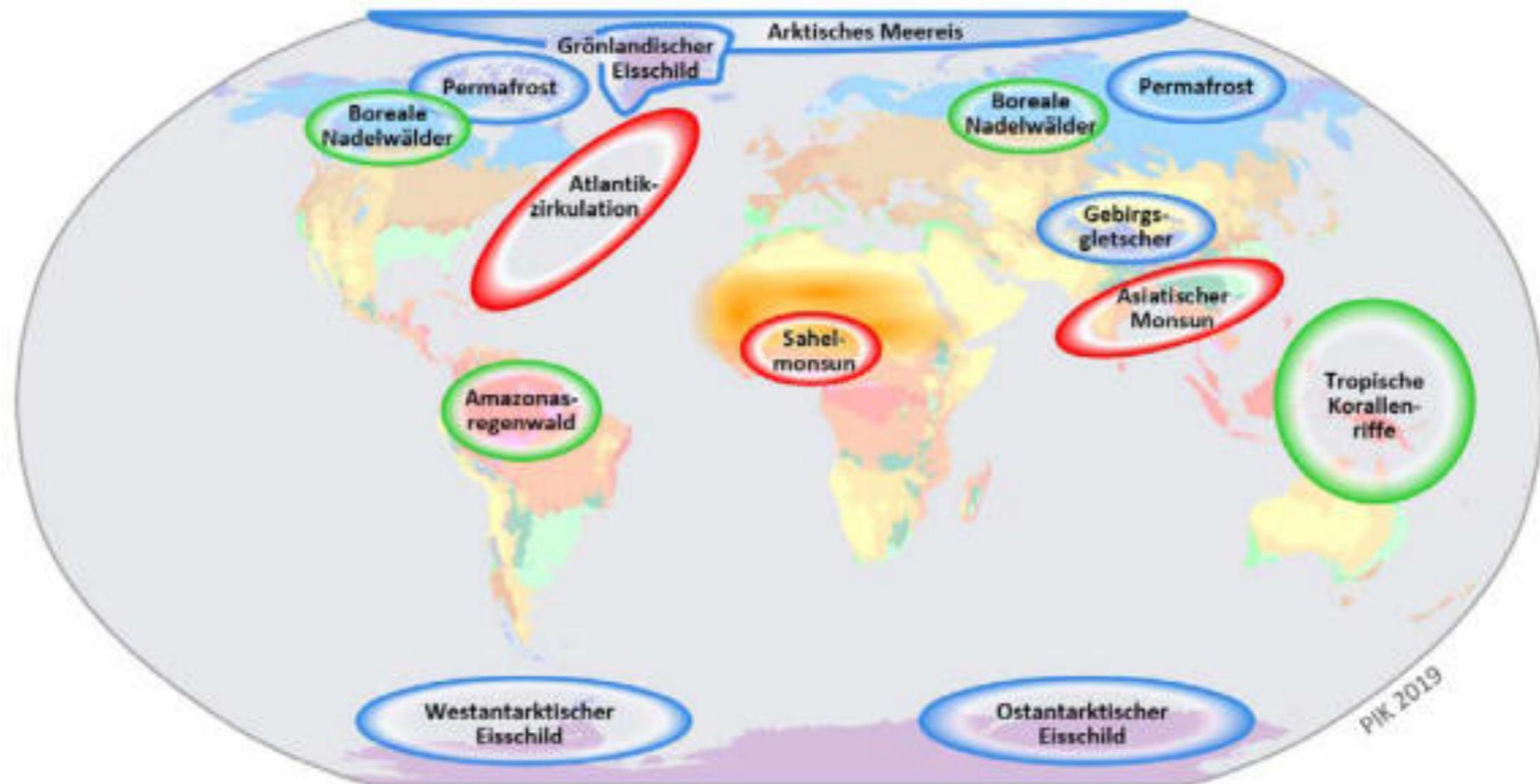
# Kipppunkte im Klimasystem mit direktem Einfluss auf Deutschland und Europa



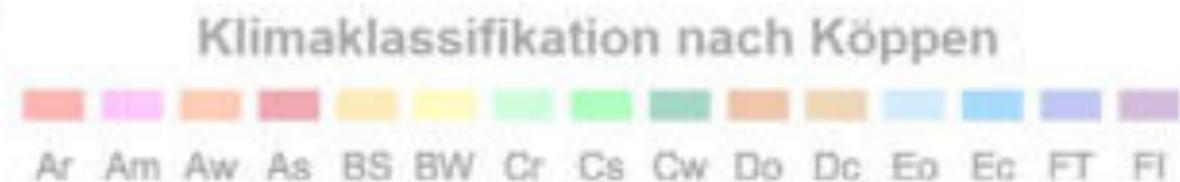
- Melting
- Circulation Change
- Chemical Change



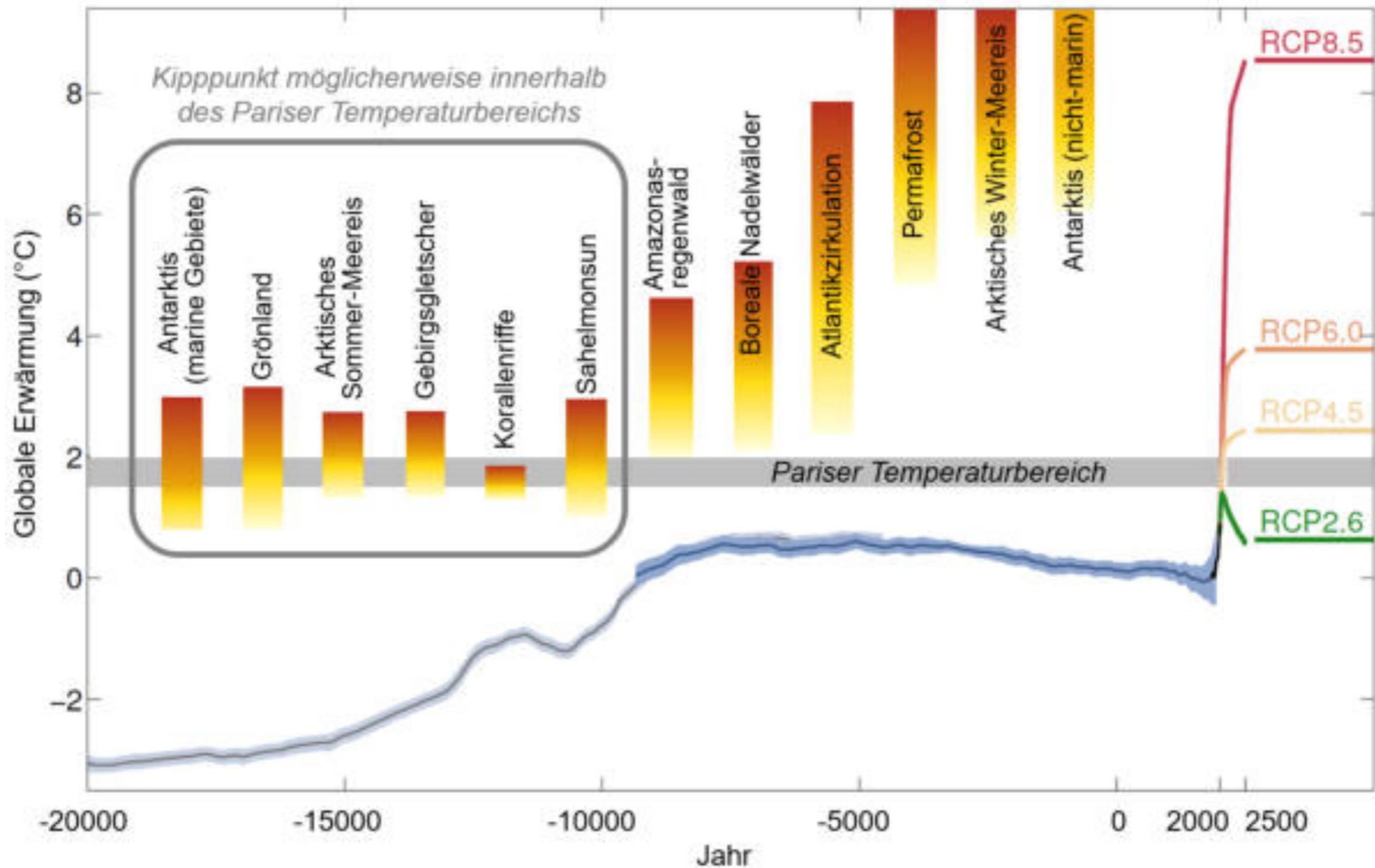
# Kipppunkte im Klimasystem ...



- Eis- und Permafrostsysteme**
- Strömungssysteme**
- Ökosysteme**



# Kipppunkte im Klimasystem ...



# Stabilisierung des Erdsystems oder "Heißzeit"?

