

SEILBAHNTAGUNG 2024

# Naturschnee und technische Beschneigung im Klimawandel

**GeoSphere Austria**

Andreas Gobiet

[andreas.gobiet@geosphere.at](mailto:andreas.gobiet@geosphere.at)

Graz, 17.4.2024





Foto: shorty, the.

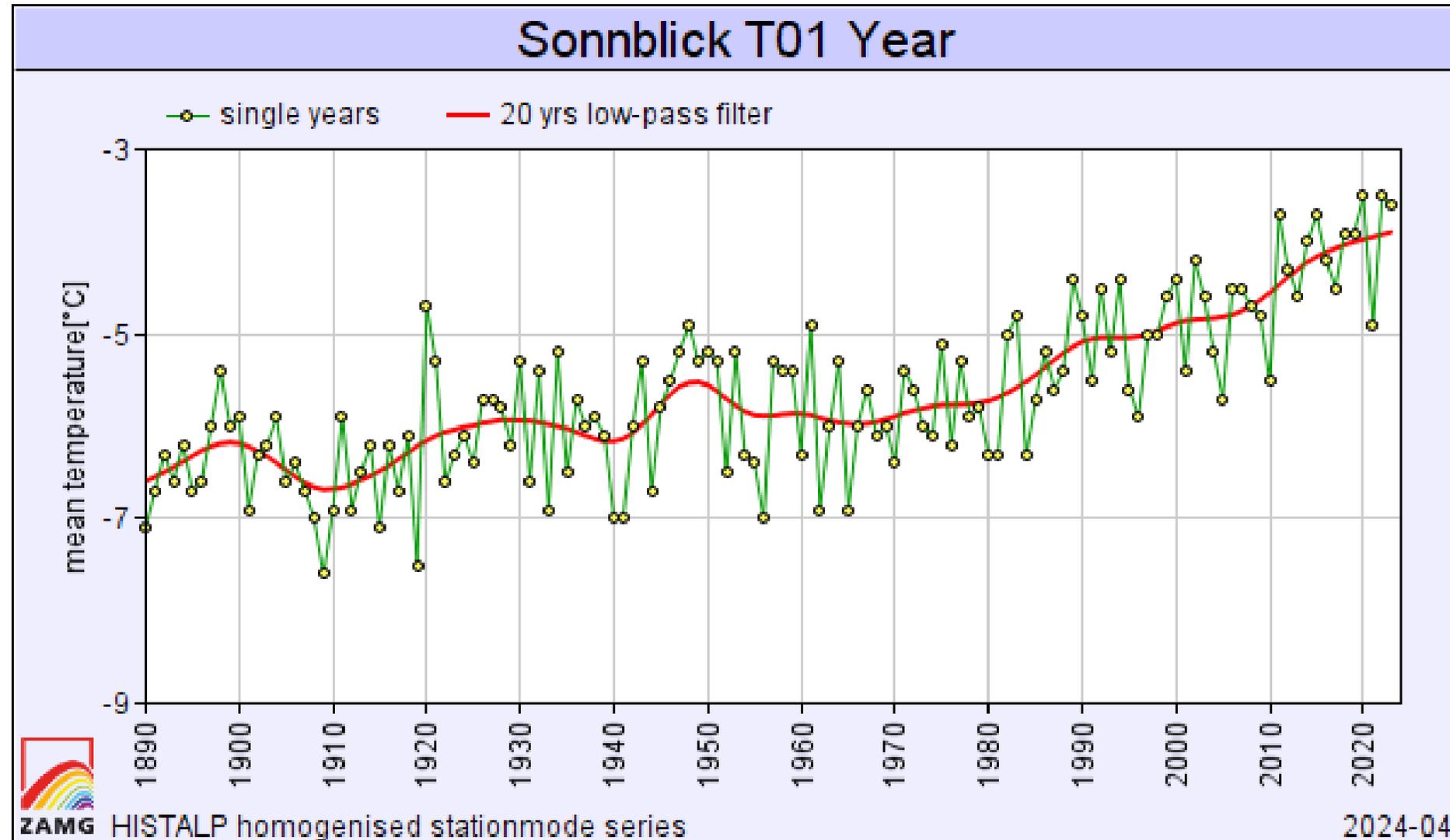


Foto: A. Gobiet

**Ist der Lebensraum dieser Spezies in Gefahr?**

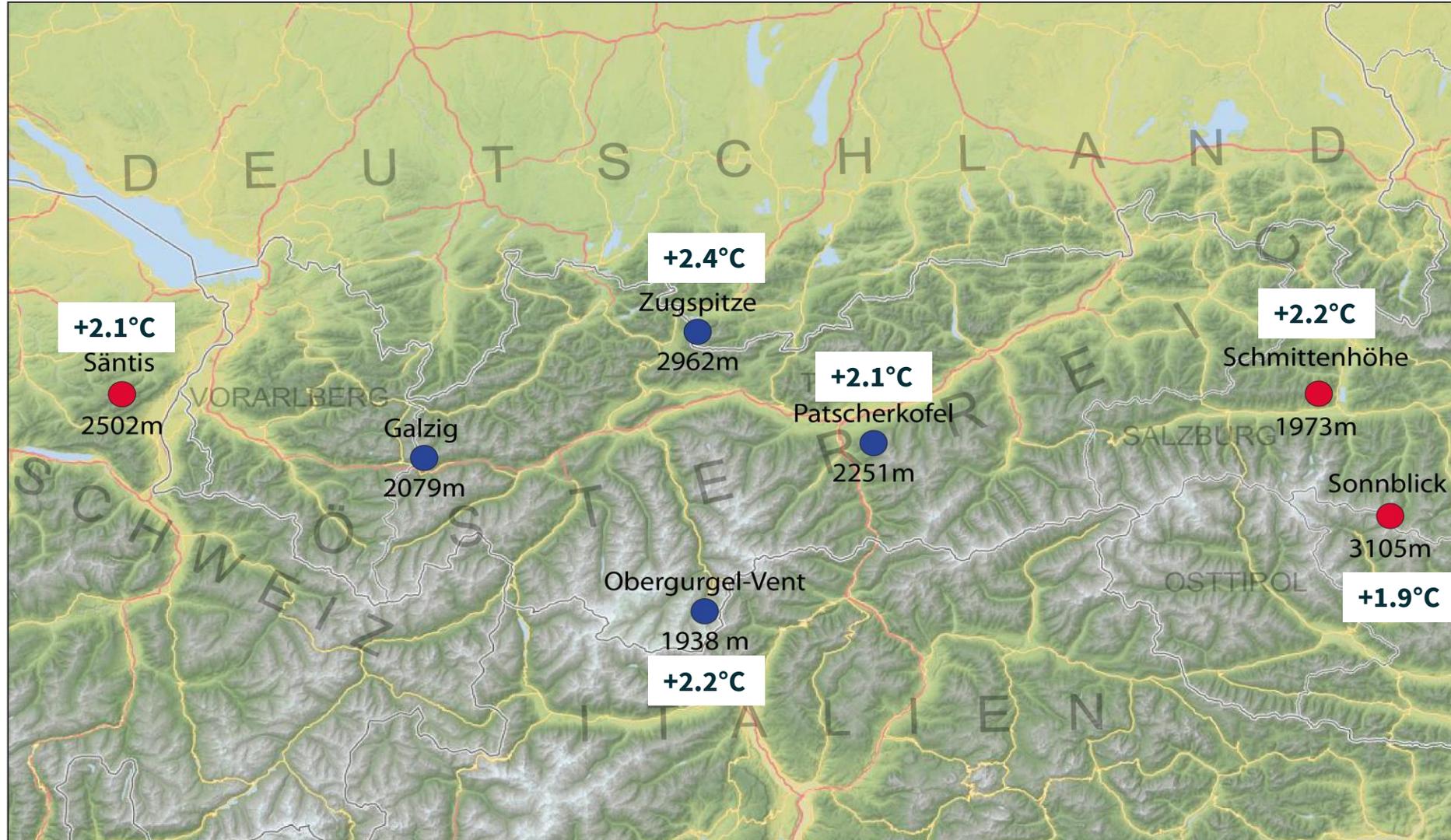
## Wintertemperaturen seit 1850

## GIPFELREGIONEN (Sonnblick)



## Wintertemperaturen seit 1960

### GIPFEL

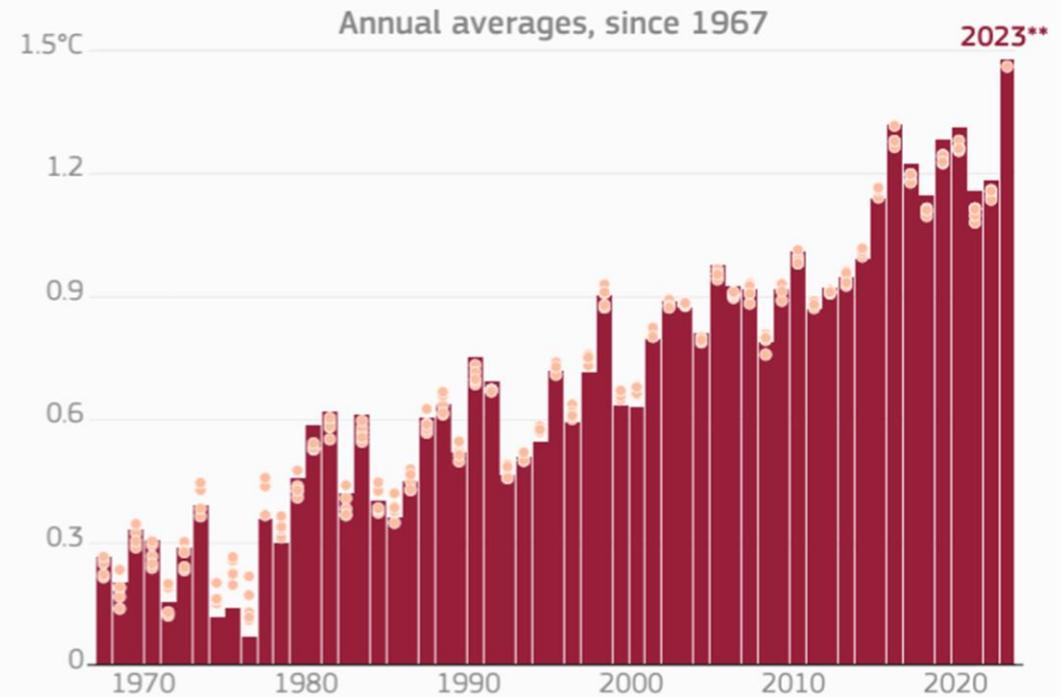
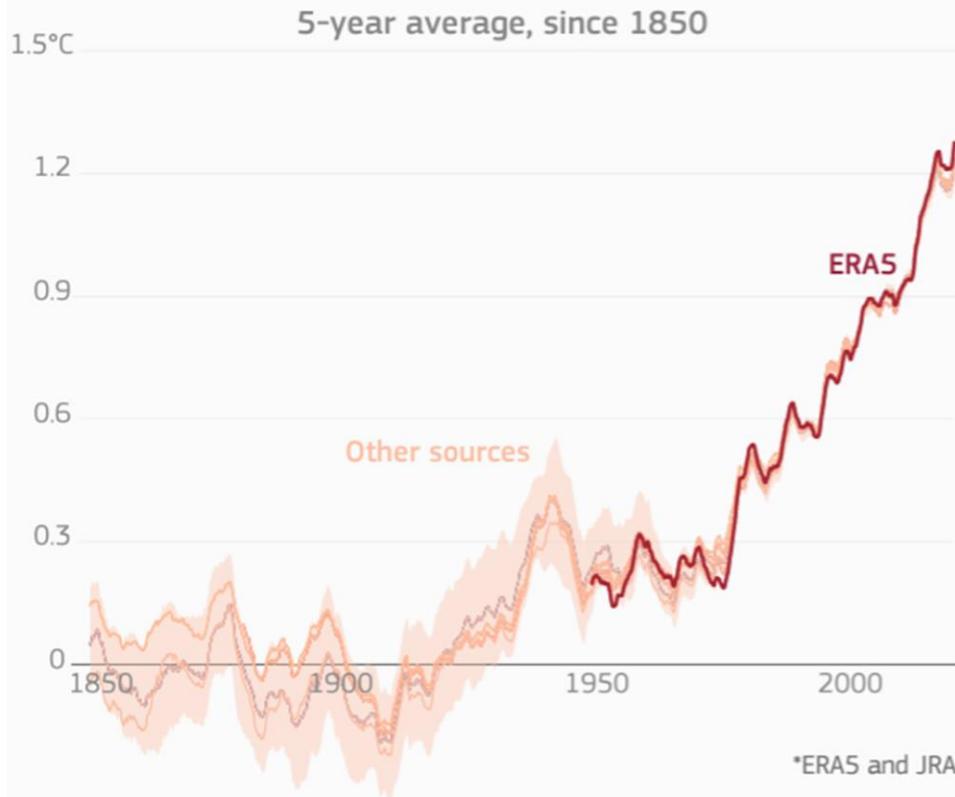


**Wie hängen diese Entwicklungen mit dem  
menschgemachten Klimawandel  
zusammen?**

**Welche Auswirkungen haben sie auf den  
Wintersport?**

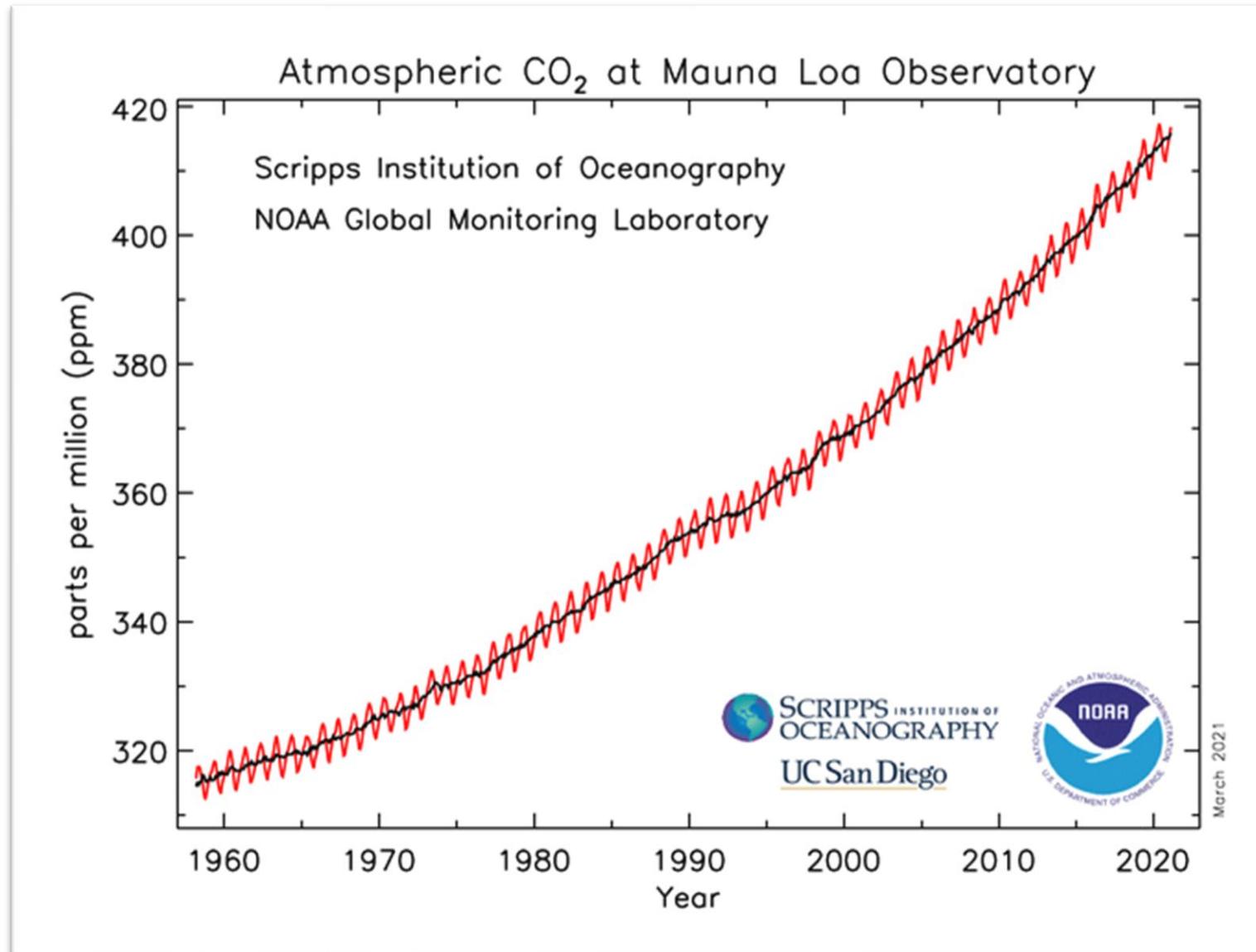
## GLOBAL SURFACE TEMPERATURE: INCREASE ABOVE PRE-INDUSTRIAL LEVEL (1850-1900)

■ ERA5 data ● Other sources\* (including JRA-3Q, GISTEMPv4, NOAA GlobalTempv5, Berkeley Earth, HadCRUT5)

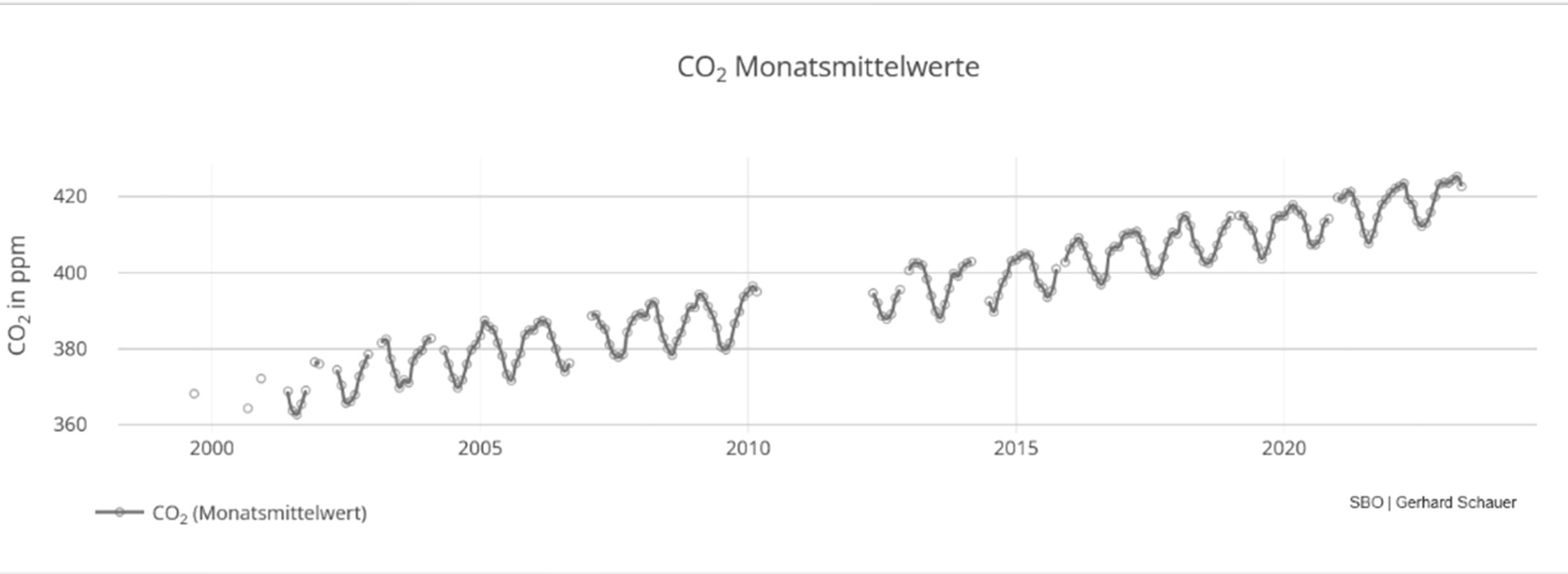


\*ERA5 and JRA-3Q data are only shown from 1948. Shaded area represents the uncertainty for HadCRUT5 data  
\*\*Estimate for 2023 based on ERA5 and JRA-3Q data only  
Credit: C3S/ECMWF

## CO<sub>2</sub> Konzentration – Messungen (Mauna Loa)

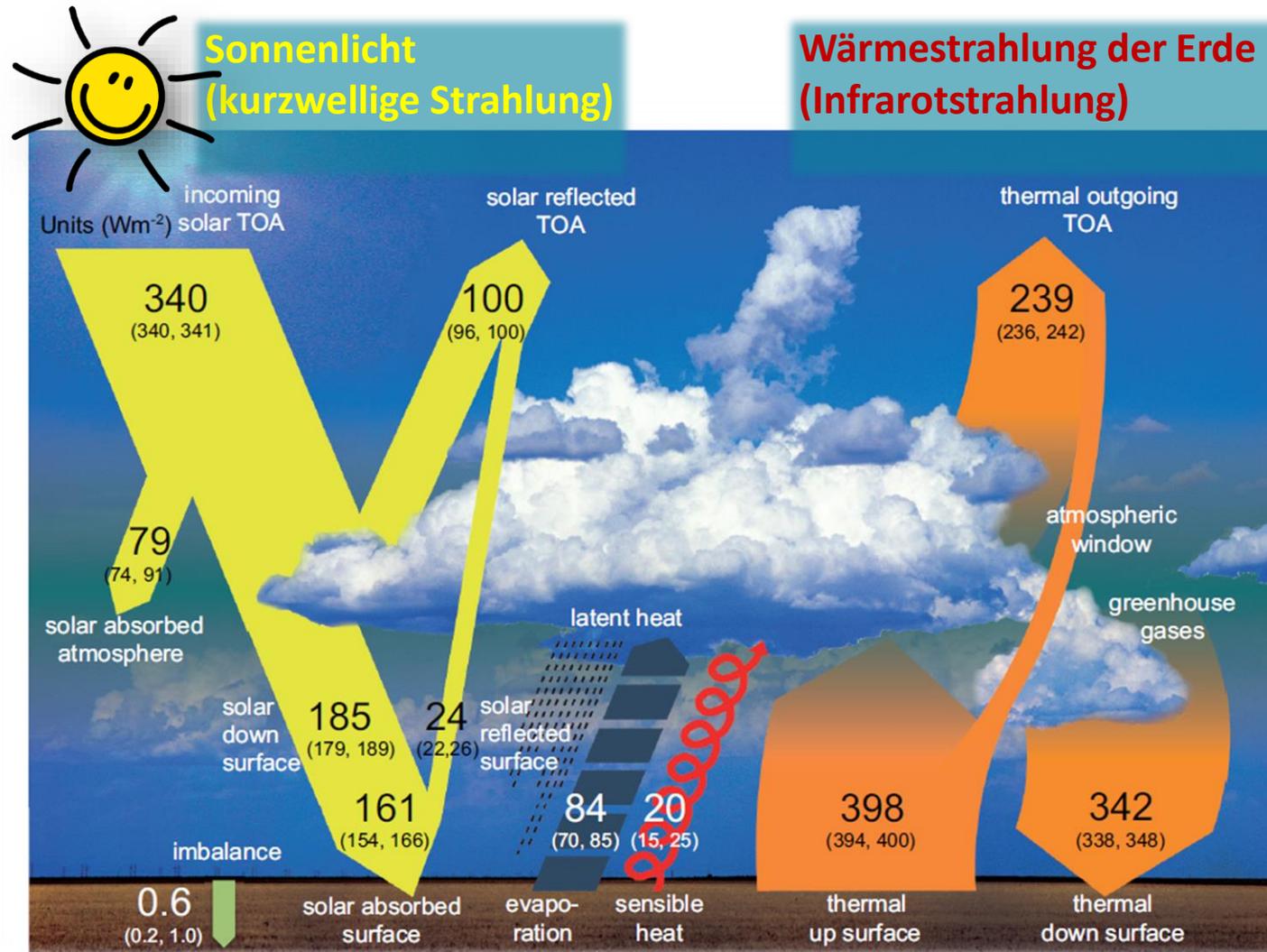


## CO<sub>2</sub> Konzentration – Messungen (Sonnblick)

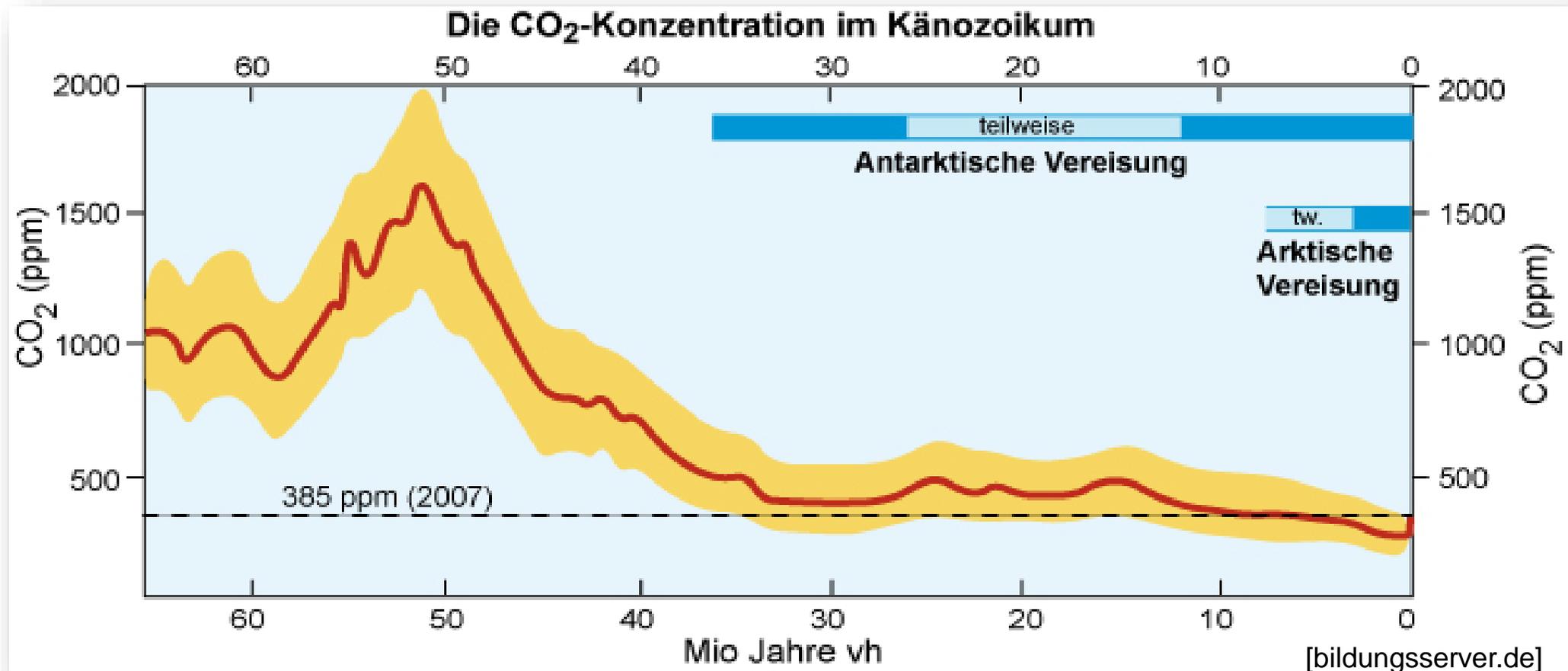


# Ein paar Grundlagen... Der Treibhauseffekt

## Was hat CO<sub>2</sub> mit der Temperatur zu tun?



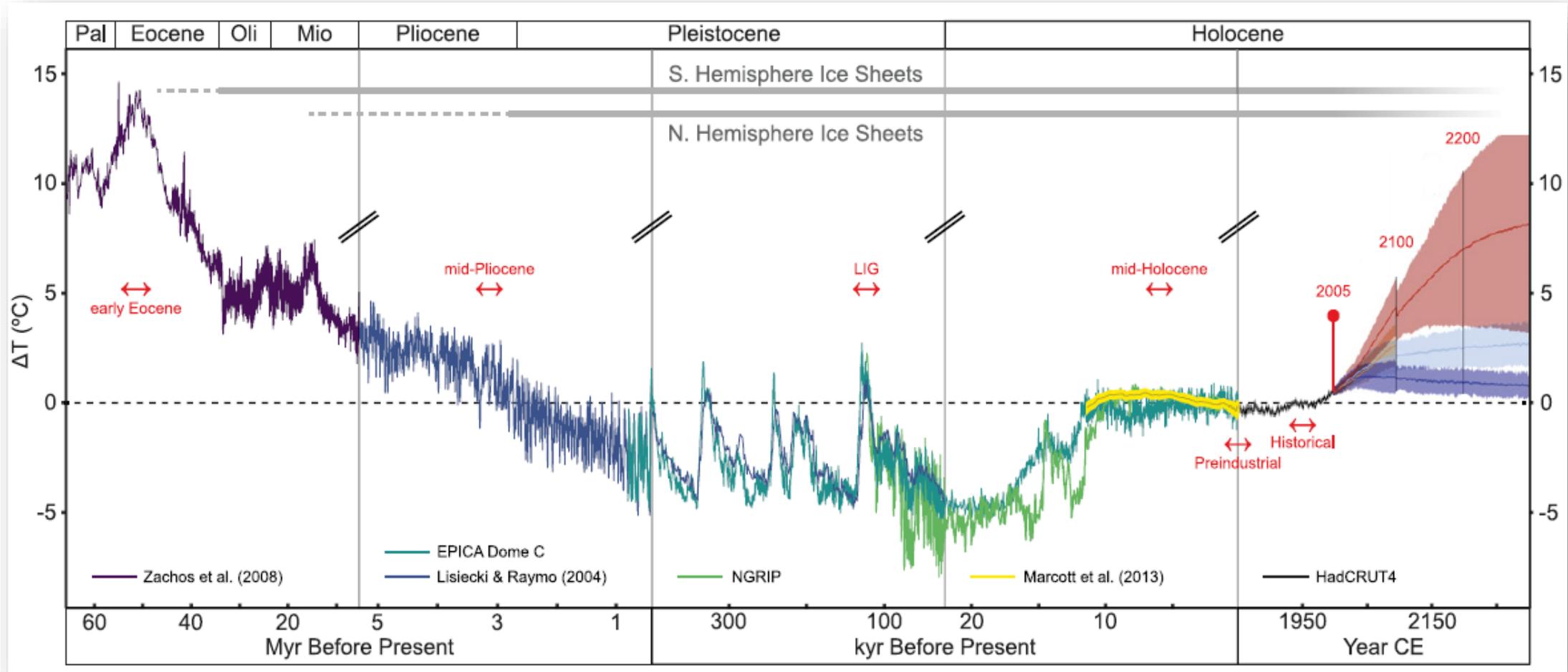
## CO<sub>2</sub> Konzentration in den vergangenen 60 Millionen Jahren



Hauptursache des CO<sub>2</sub> Rückgangs seit **50 mio. Jahren**: Chemische **Verwitterung von Gestein** (bindet CO<sub>2</sub>), beschleunigt durch Gebirgsauffaltung (z.B.: Himalaya).

# Ein paar Grundlagen... Temperatur in der Erdgeschichte

## Die vergangenen 65 Millionen Jahre [Burke et al., 2018]



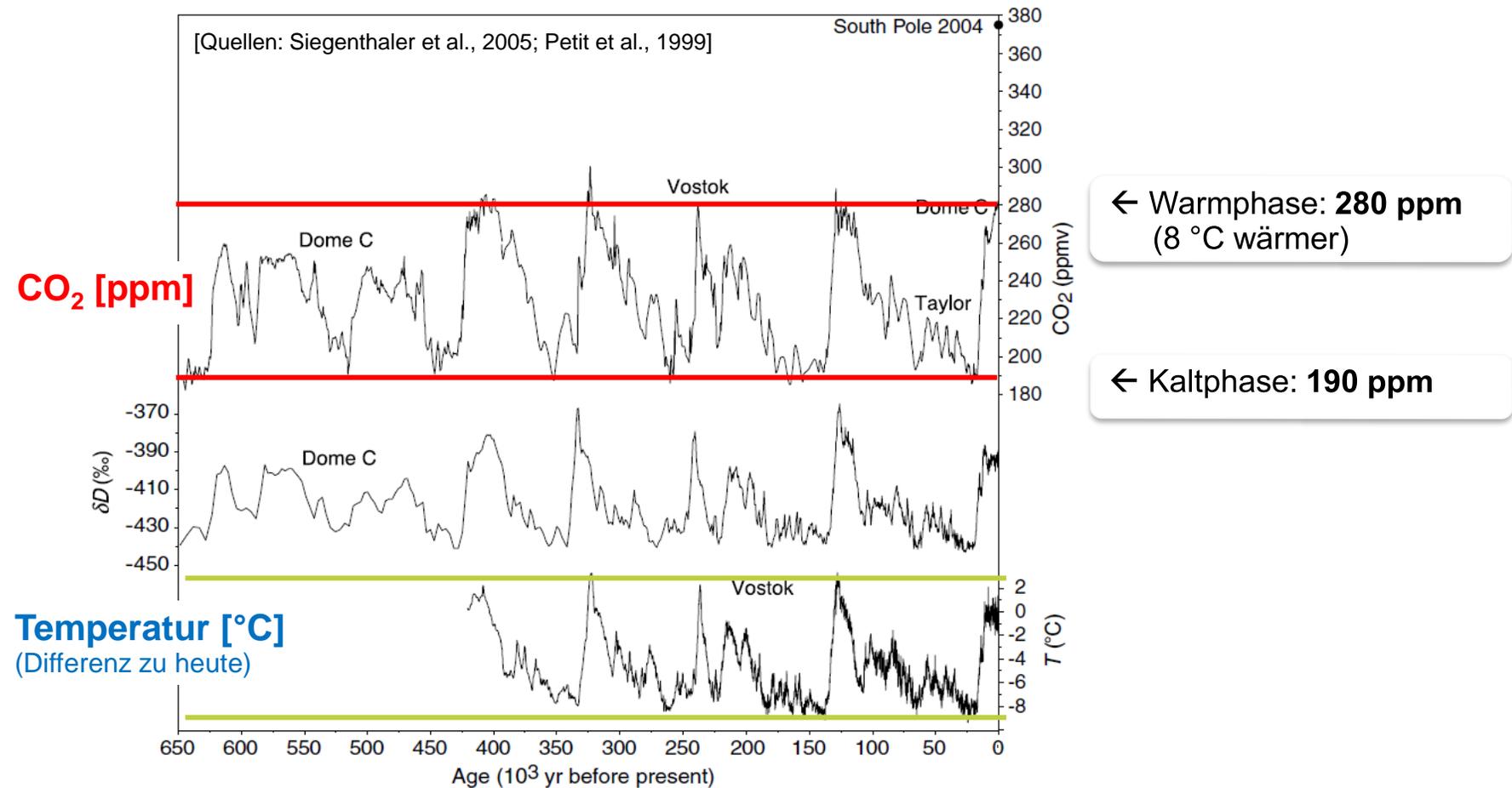
CO<sub>2</sub>: ~1000 ppm

360-400 ppm

190-270 ppm

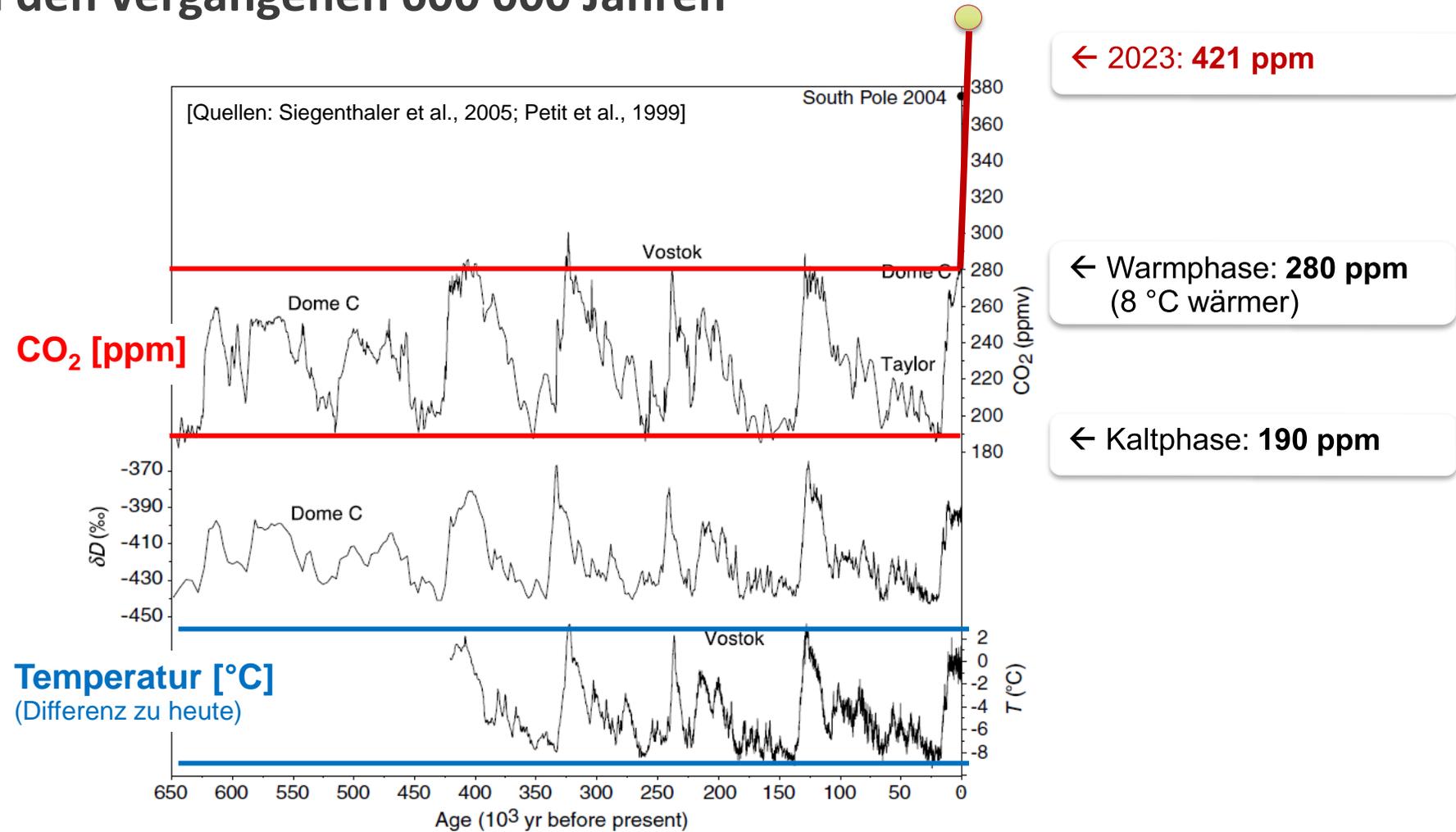
2021: 416 ppm

## CO<sub>2</sub> Konzentration in den vergangenen 600 000 Jahren



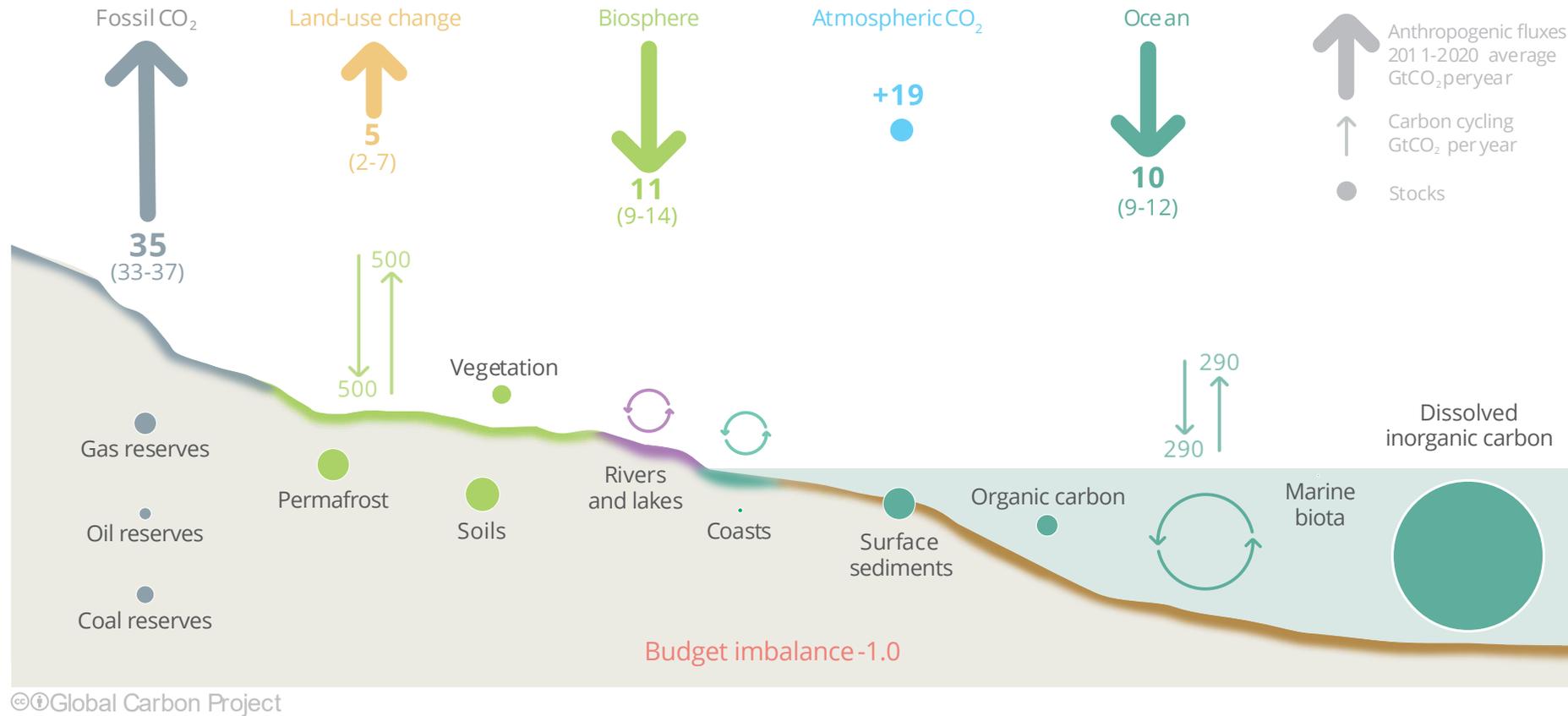
Hauptursache der CO<sub>2</sub> Änderungen seit ca. **650.000 Jahren**: Milankovic Zyklen (**Erdbahn-Schwankungen**), verstärkt durch Rückkoppelungen (CO<sub>2</sub> Löslichkeit im Ozean, Albedo).

## CO<sub>2</sub> Konzentration in den vergangenen 600 000 Jahren



Hauptursache der CO<sub>2</sub> Änderungen seit ca. **150 Jahren**:  
**Verbrennung von fossilen Energieträgern** durch den Menschen.

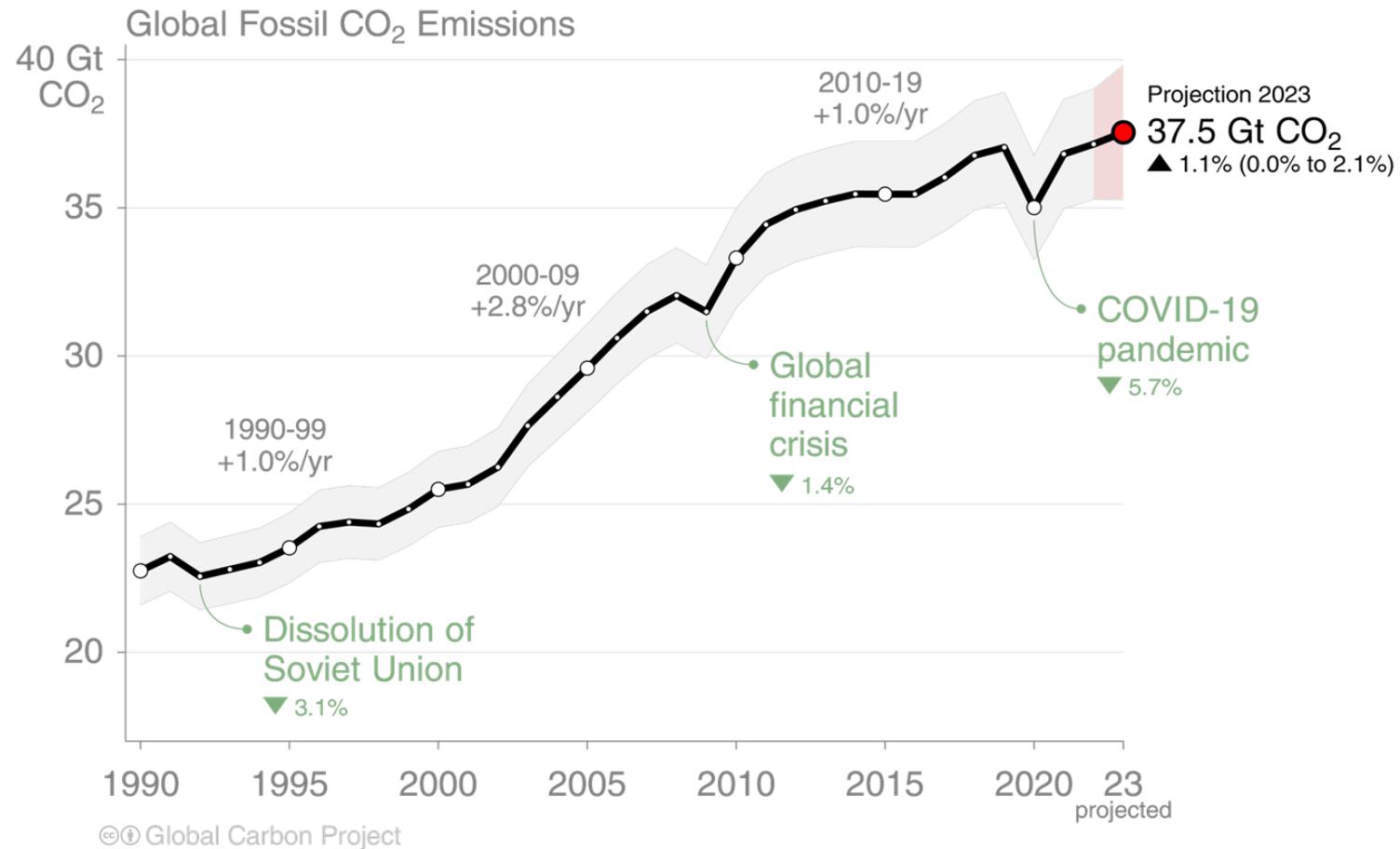
Perturbation of the global carbon cycle caused by anthropogenic activities, global annual average for the decade 2012–2021 (GtCO<sub>2</sub>/yr)



The budget imbalance is the difference between the estimated emissions and sinks.

Source: [NOAA-ESRL](#); [Friedlingstein et al 2022](#); [Canadell et al 2021 \(IPCC AR6 WG1 Chapter 5\)](#); [Global Carbon Project 2022](#)

Global fossil CO<sub>2</sub> emissions: 37.1 ± 2 GtCO<sub>2</sub> in 2022, 63% over 1990  
Projection for 2023: 37.5 ± 2 GtCO<sub>2</sub>, 1.1% [0.0% to +2.1%] higher than 2022

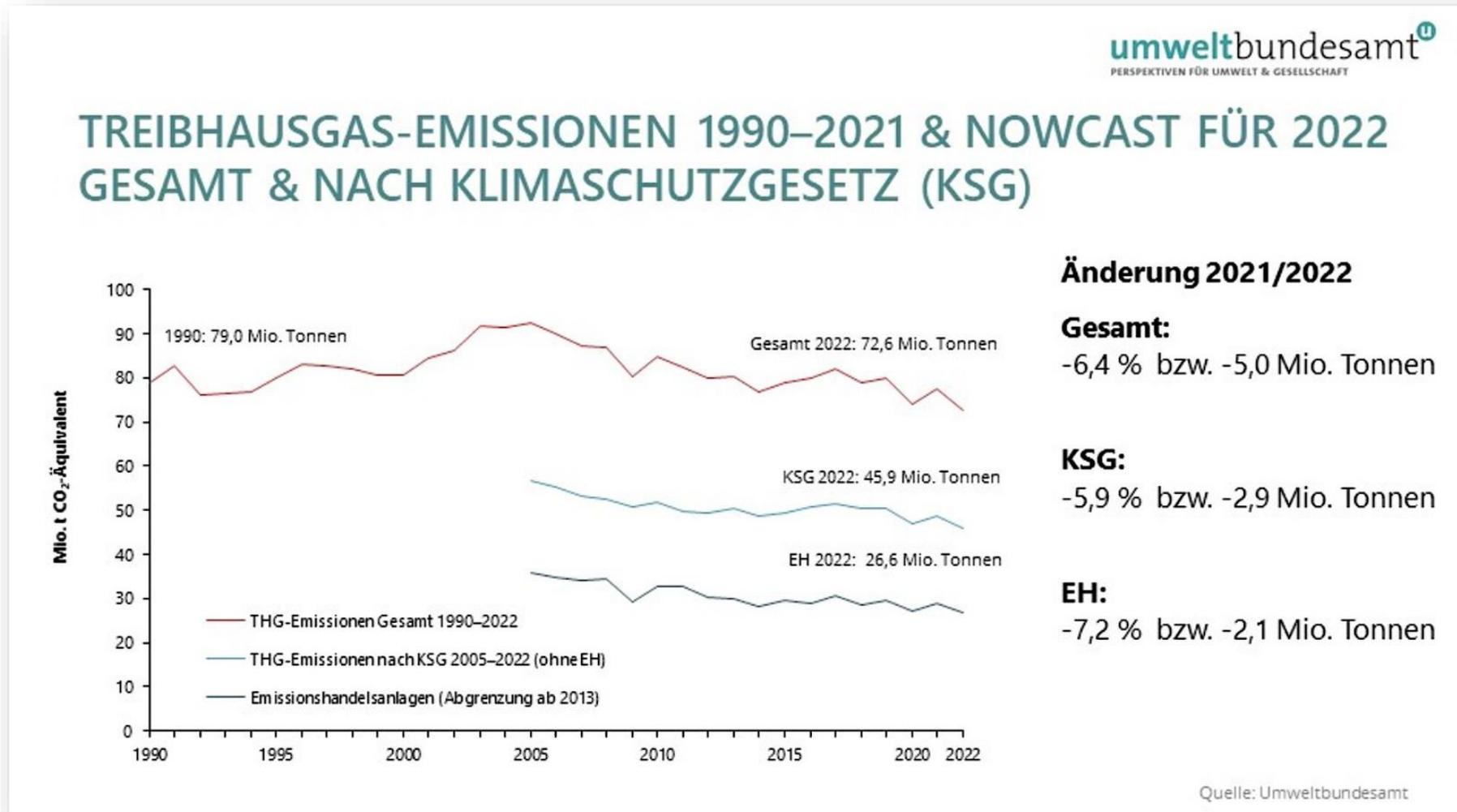


When including cement carbonation, the 2022 and 2023 estimates amount to 36.4 ± 2 GtCO<sub>2</sub> and 36.8 ± 2 GtCO<sub>2</sub> respectively

The 2023 projection is based on preliminary data and modelling.

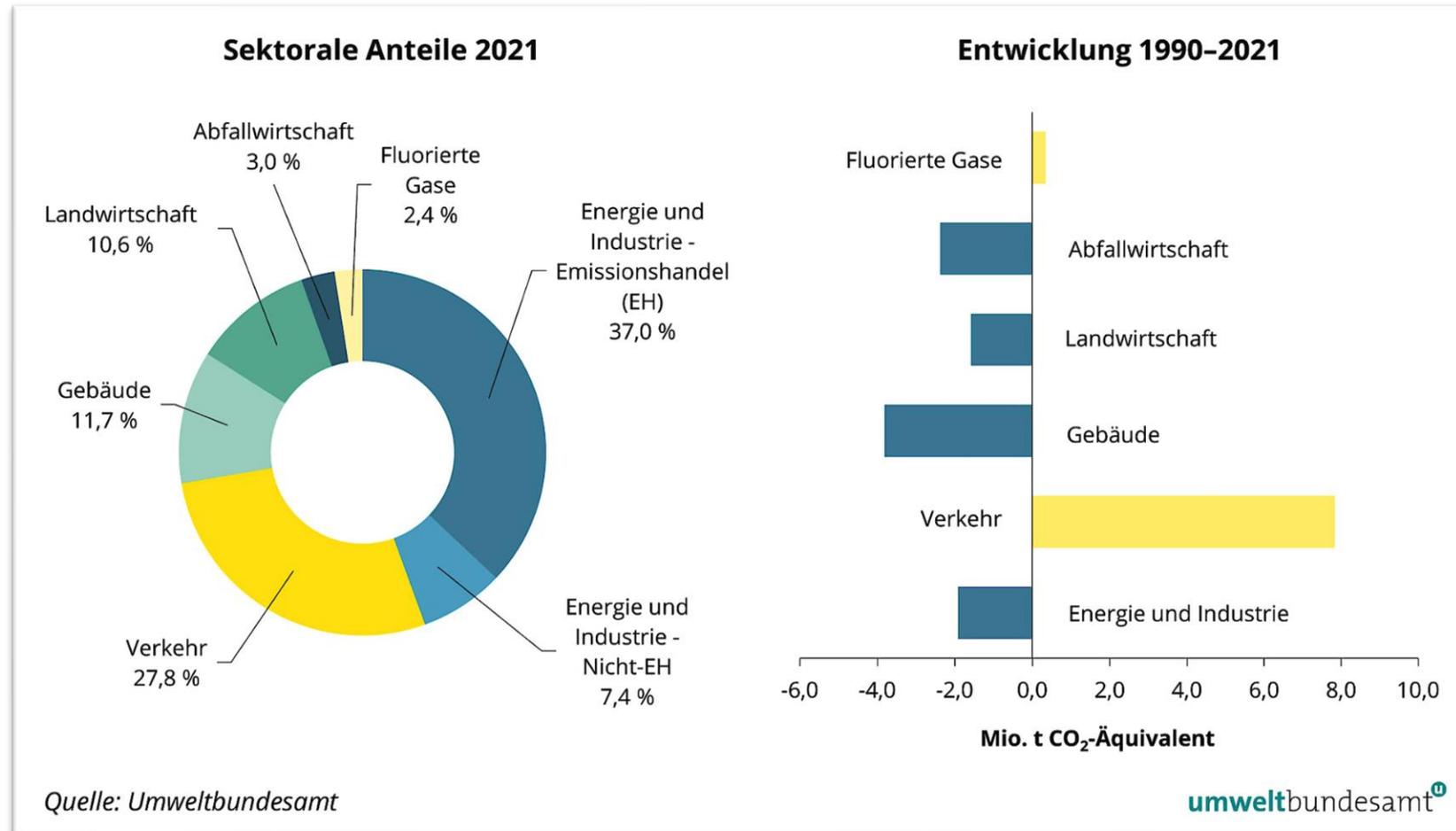
Source: [Friedlingstein et al 2023](#); [Global Carbon Project 2023](#)

## CO<sub>2</sub>-äquivalent Emissionen Österreich (UBA, 2023) (inkl. Methan, 7.8%)



<https://www.umweltbundesamt.at/news220123/thg-daten>

## CO<sub>2</sub>-äquivalent Emissionen Österreich (UBA, 2023) (inkl. Methan, 7.8%)



<https://www.umweltbundesamt.at/news220123/thg-daten>

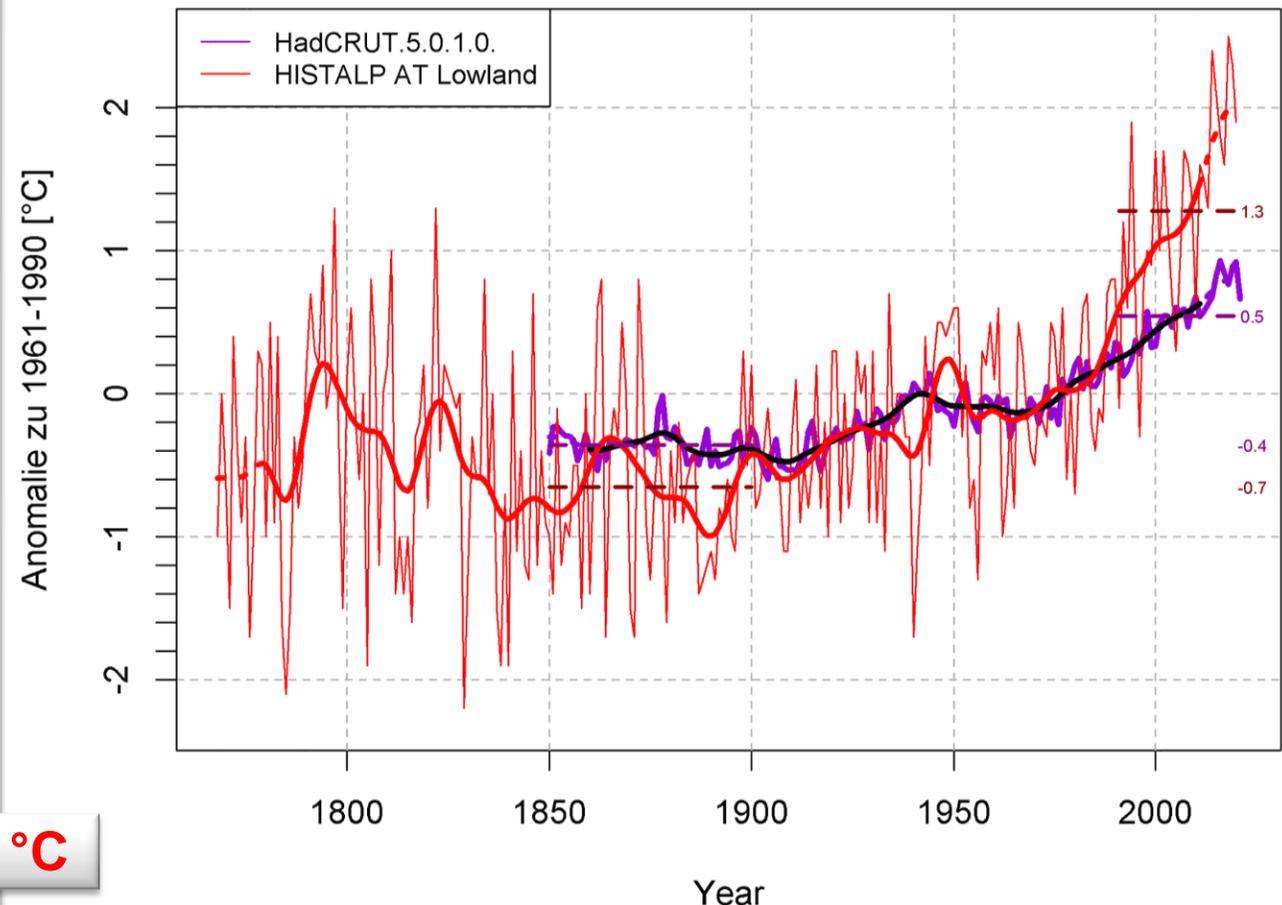
## Die letzten 150 Jahre

„Die Erwärmung im Österreichischen Tiefland im Vergleich zur vorindustriellen Periode (1850-1900) ist ca. doppelt so hoch wie global. Dies ist durch die geringere Erwärmung über dem Ozean, die Größe des betrachteten Gebietes und mit hoher Wahrscheinlichkeit auch durch gestiegene bodennahe solare Einstrahlung bedingt.“

[Chimani et al., 2021]

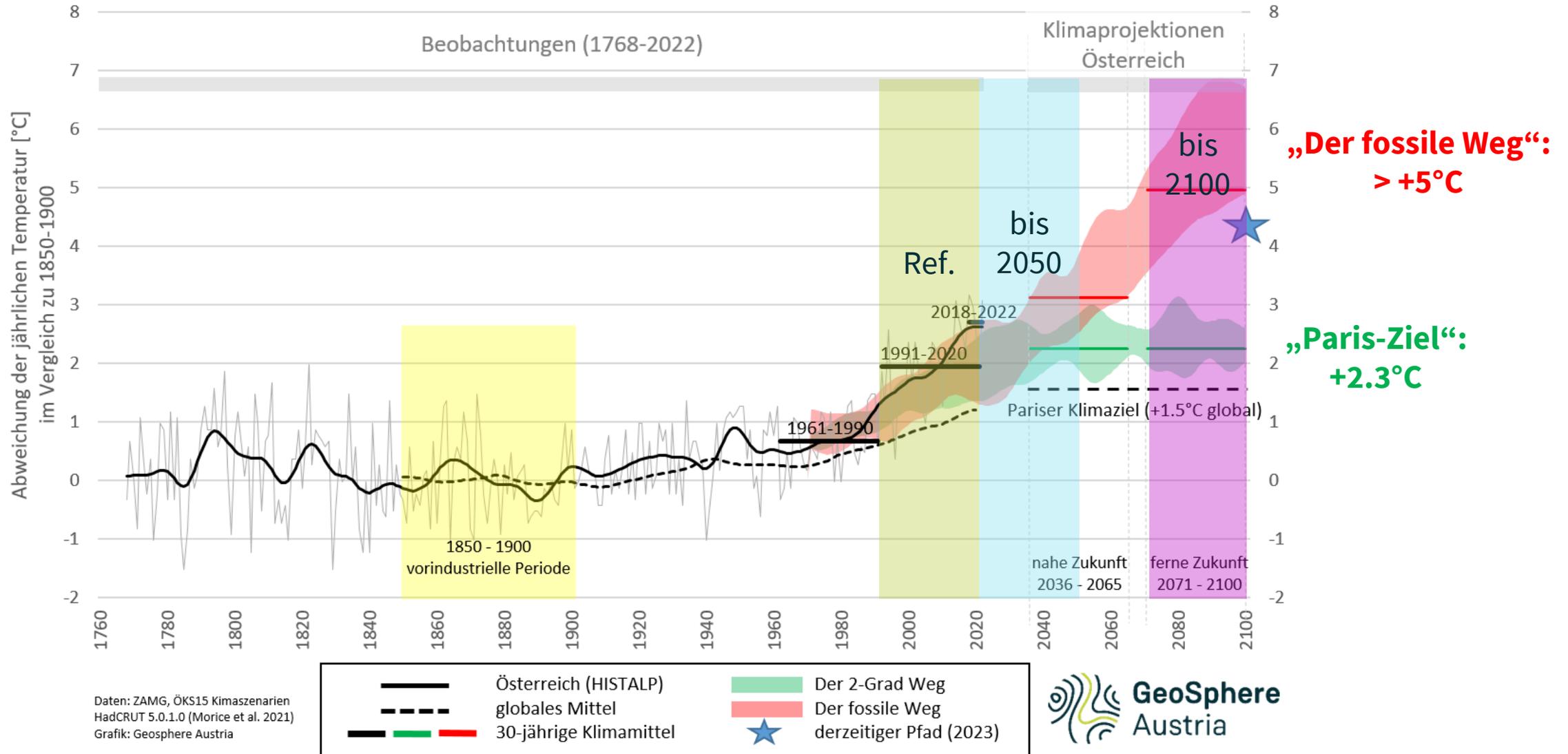
**Global: +1.1°C → Österreich: +2 °C**

### Anomalien der Jahresmitteltemperatur (21 Jahr Gauss-Filter)



Morice C.P., Kennedy J.J., Rayner N.A., Winn J.P., Hogan E., Killick R.E., Dunn R.J.H., Osborn P., Jones D., Dimpson I.R. (2021): An Updated Assessment of Near-Surface Temperature Change From 1850: The HadCRUT5 Data Set, J. Geophys. Res., 126, 3, doi:10.1029/2019JD032361

## Zeithorizonte und Szenarien

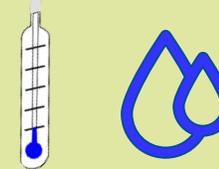


## Zeithorizonte und Szenarien

- Bis zur Referenzperiode (1991 – 2020) sind die Temperaturen bereits **um etwa 2°C gestiegen** (auch im Winter)
- Hier werden **zusätzliche Änderungen bis**
  - **2050 (Periode 2021 – 2050),**
  - **2065 (Periode 2036 -2065) und**
  - **2100 (Periode 2017 -2100).**
- Das Szenario „fossiler Weg“ (RCP8.5) ist ein „worst case“.
- Das Szenario „unvermeidlicher Klimawandel“ (RCP2.6) entspricht dem Paris-Ziel und kann als sehr optimistisches Szenario betrachtet werden.
- Das Szenario RCP4.5 repräsentiert einen Mittelweg
- Derzeit befinden wir uns auf einem Pfad, der zwischen RCP8.5 und RCP4.5 liegt

## Wie beeinflusst das Wetter den Schnee?

1. **Lufttemperatur** und **Feuchte** bestimmen Schneefallgrenze



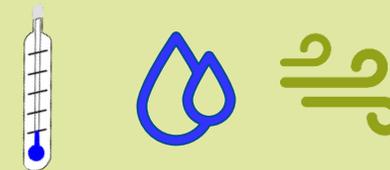
2. **Niederschlagsmenge** bestimmt die Neuschneemenge



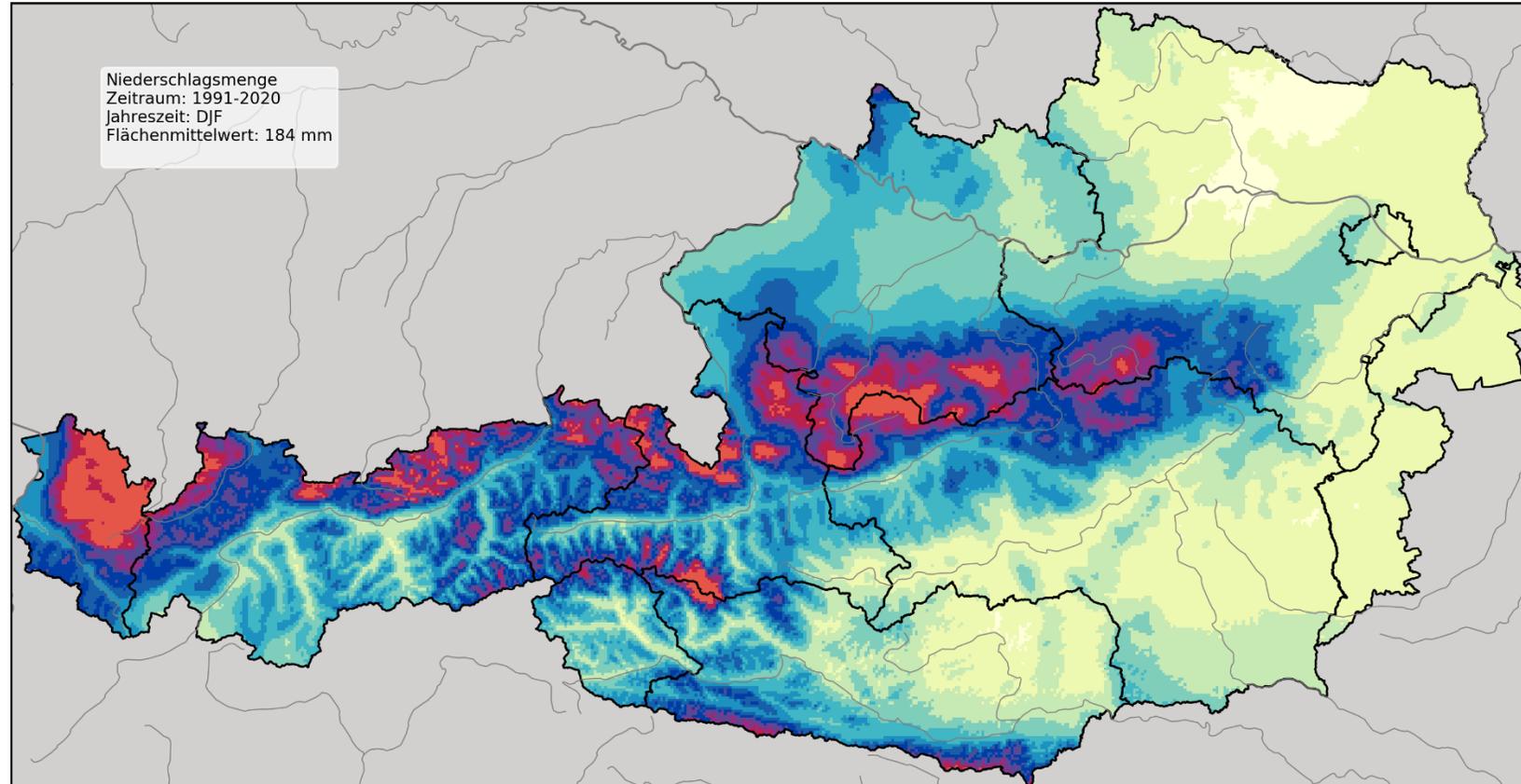
3. **Lufttemperatur**, **Strahlung** und **Wind** bestimmen Schmelzen der Schneedecke



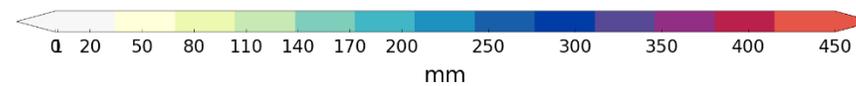
4. **Lufttemperatur**, **Feuchte** und **Wind** bestimmen, ob und wie effizient technischer Schnee hergestellt werden kann



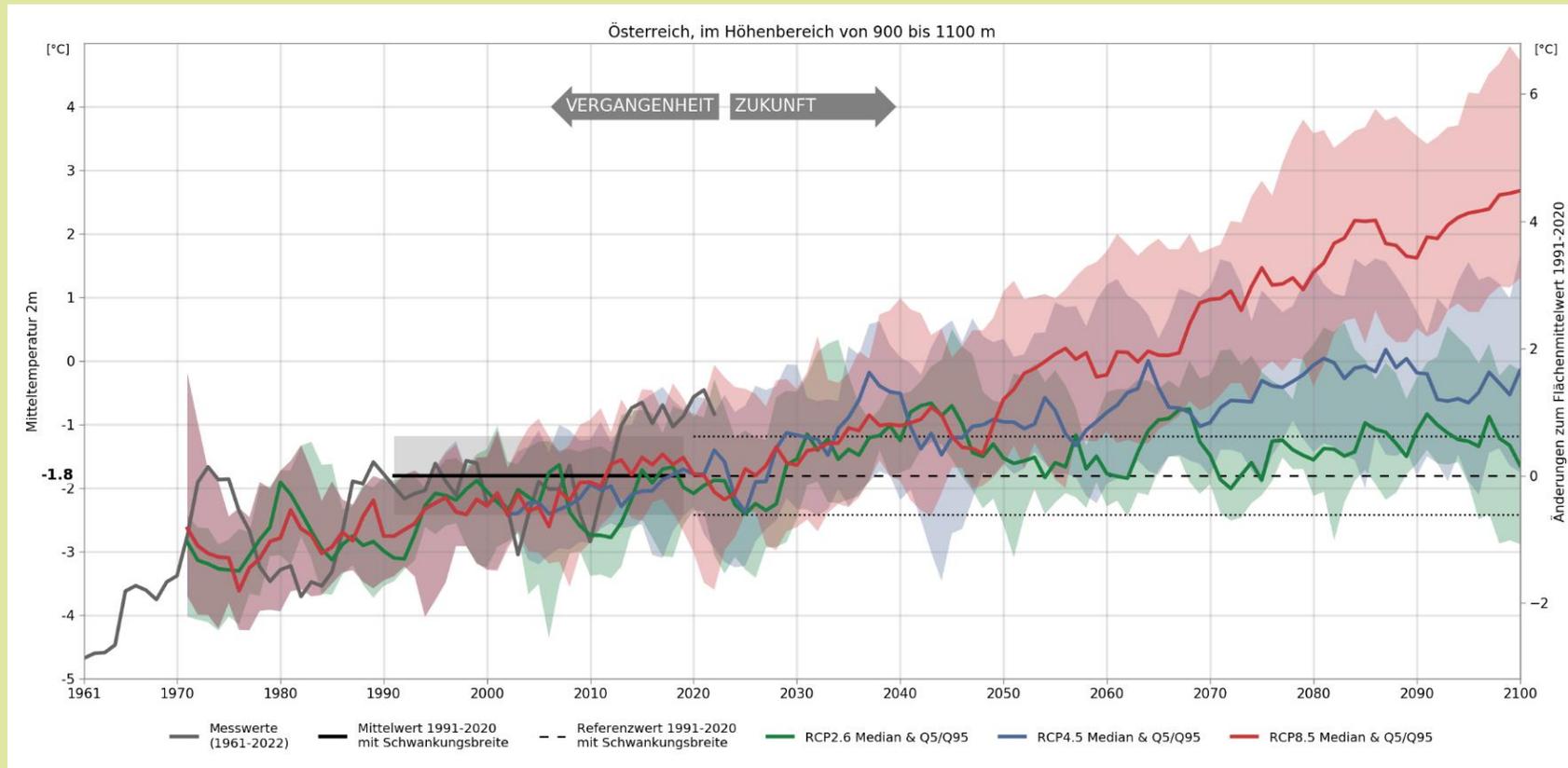
## Klimatologie - Winter



[Quelle: GeoSphere Austria, Spartacus]



## Wintertemperatur in 1000 m – Zukunft



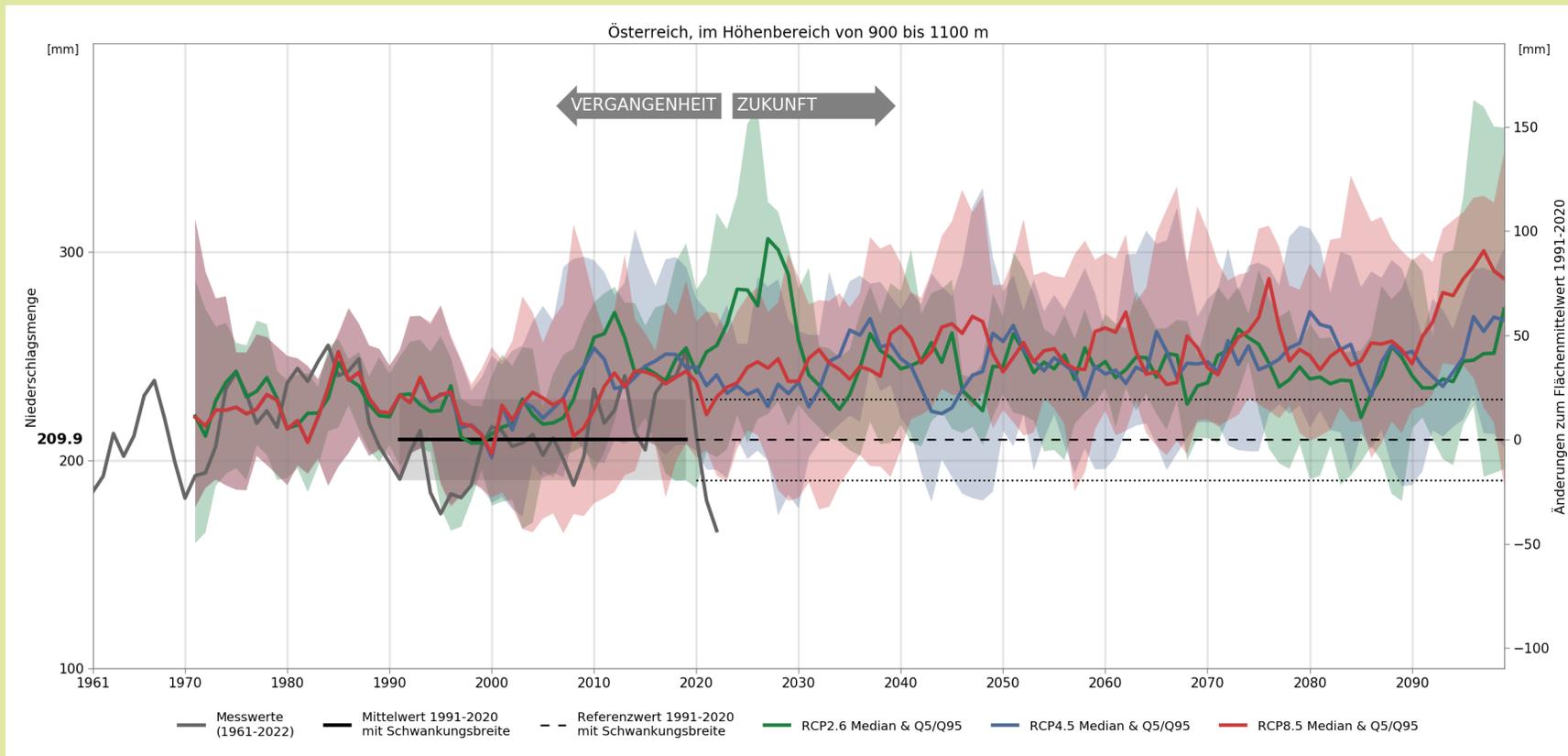
Vergangenheit: +2° C

Bis 2050: Zusätzlich ca. +0.7° C

Bis 2065: Zusätzlich ca. +0.7° C („unvermeidlich“) bis +1.5° C („fossiler Weg“)

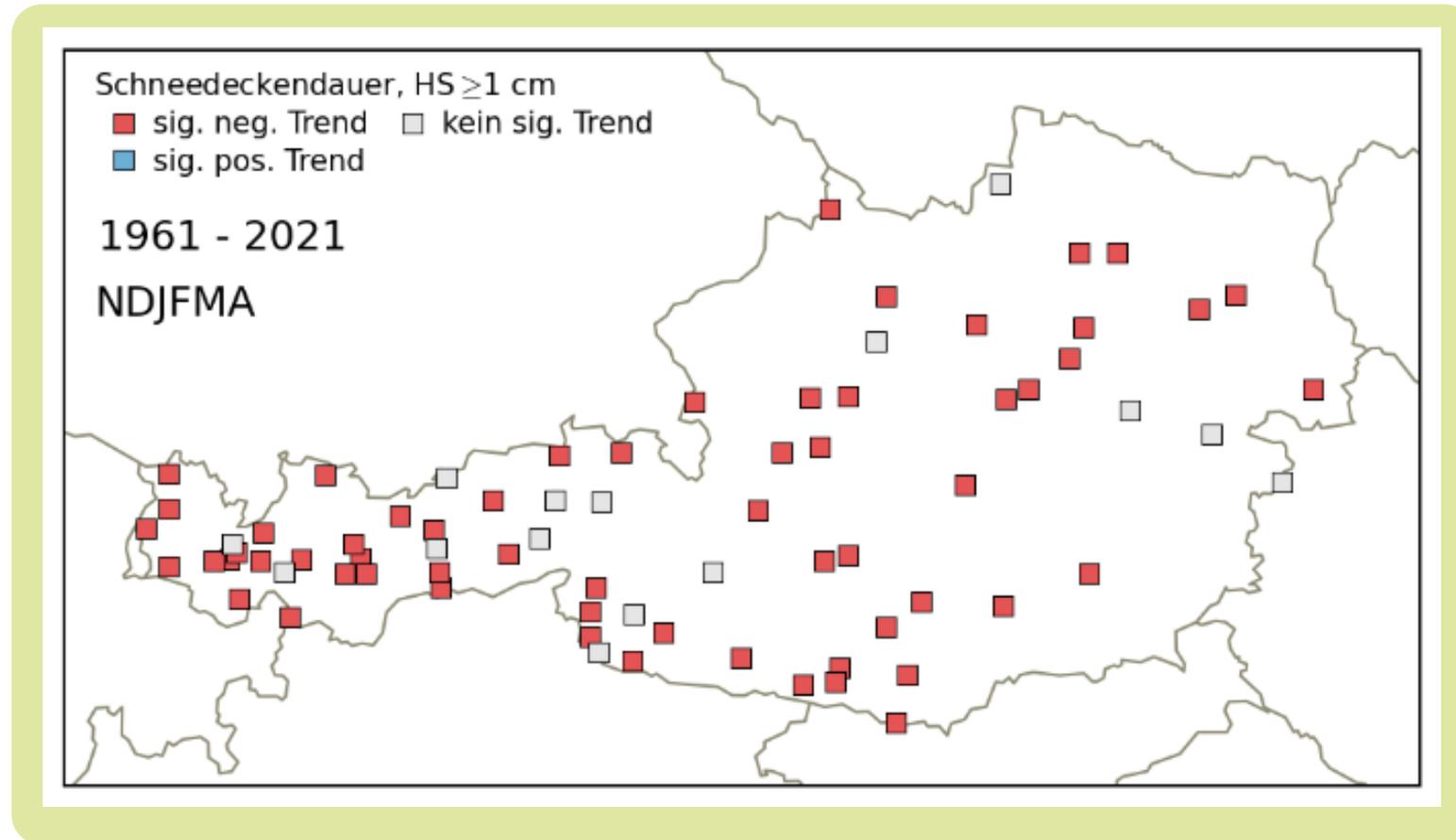
Bis 2100: Zusätzlich ca. +0.7° C („unvermeidlich“) bis +4° C („fossiler Weg“)

## Winterniederschlag – Zukunft

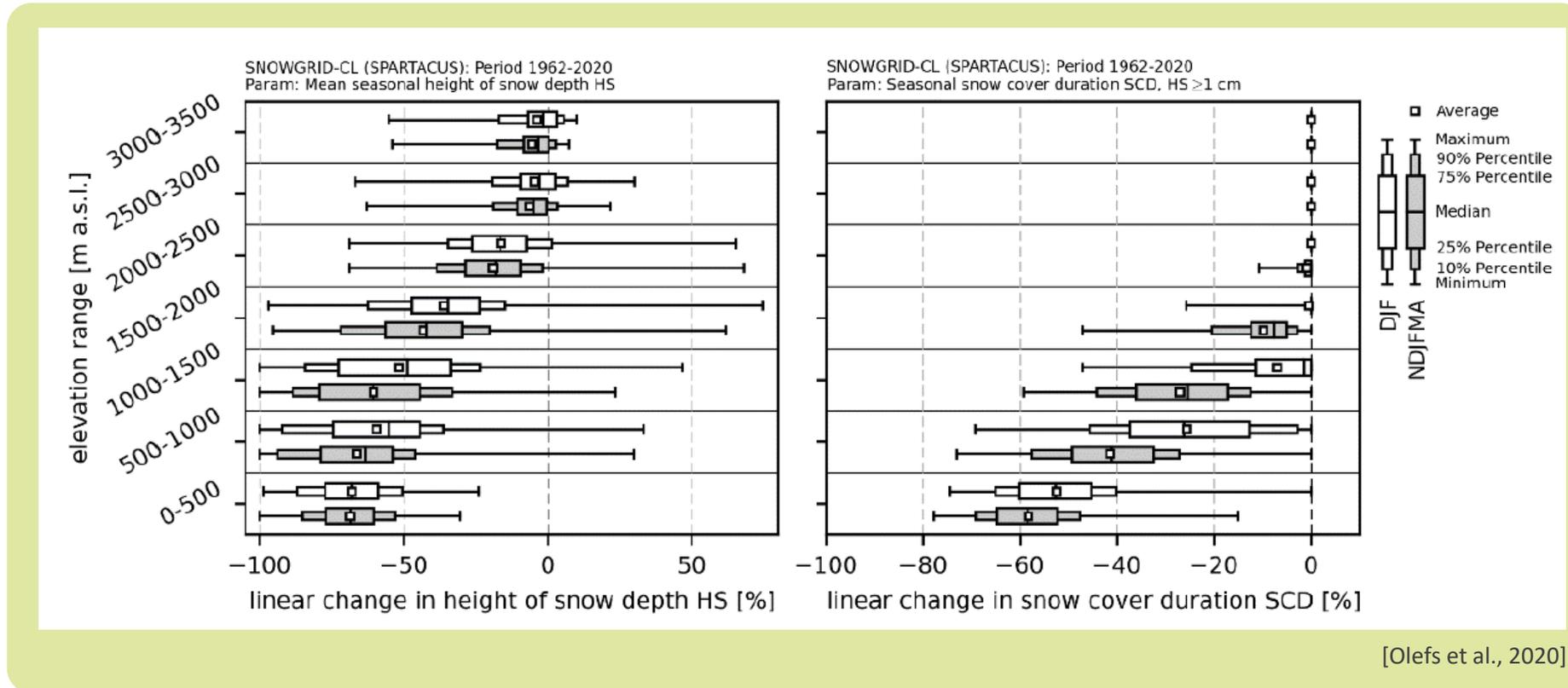


Vergangenheit: keine signifikante Änderung  
Bis 2050: Tendenziell mehr Niederschlag, unsicher  
Bis 2100: Tendenziell mehr Niederschlag, unsicher

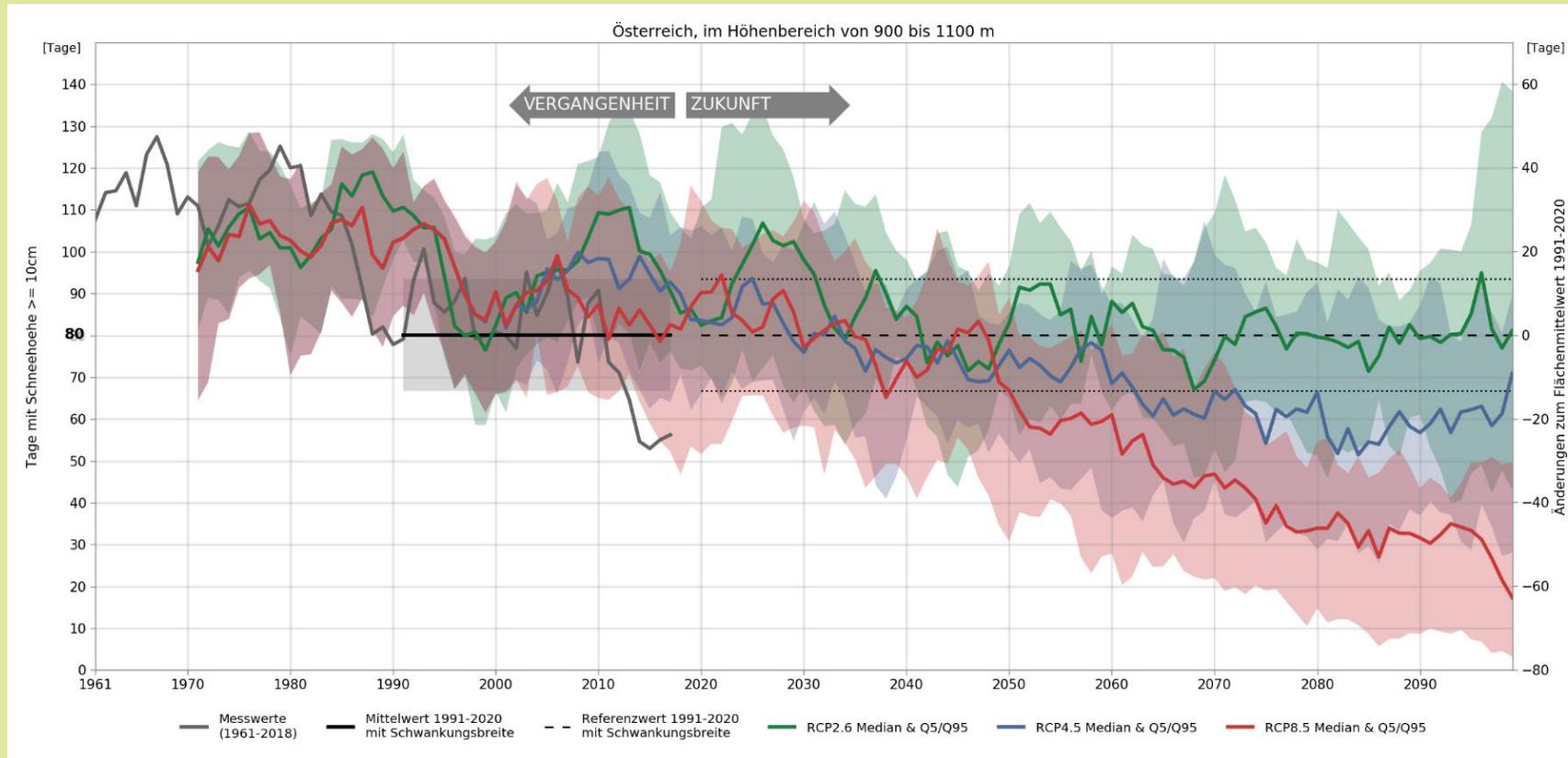
## Schneedeckendauer seit 1961: Trendanalyse (Stationen)



## Schneedeckendauer seit 1961: Trendanalyse (Modell)



## Natur-Schneedeckendauer in 1000 m – Zukunft

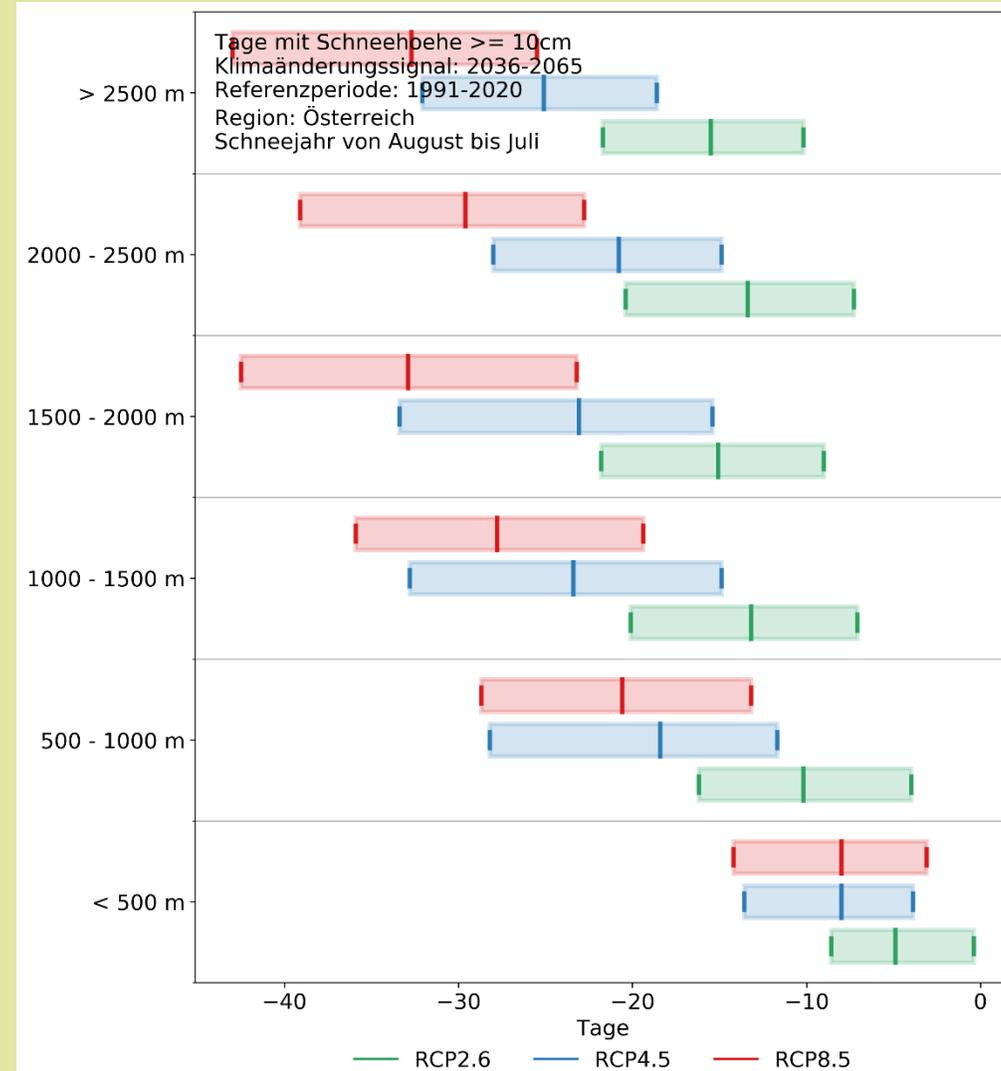


Vergangenheit: 30 – 40 Tage Abnahme  
Bis 2050: Etwa weitere 10 Tage Abnahme  
Bis 2065: Weitere 10 bis 25 Tage Abnahme  
Bis 2100: Weitere 10 bis 50 Tage Abnahme

## Anzahl der Tage mit Naturschnee (>10 cm)

Änderung bis 2065  
(Periode 2036 – 2065)

**Absolut [Tage]:**  
**Abnahme in allen**  
**höheren Lagen ähnlich.**  
 -10 Tage (Stabilisierungsszenario)  
 -25 Tage („worst case“)

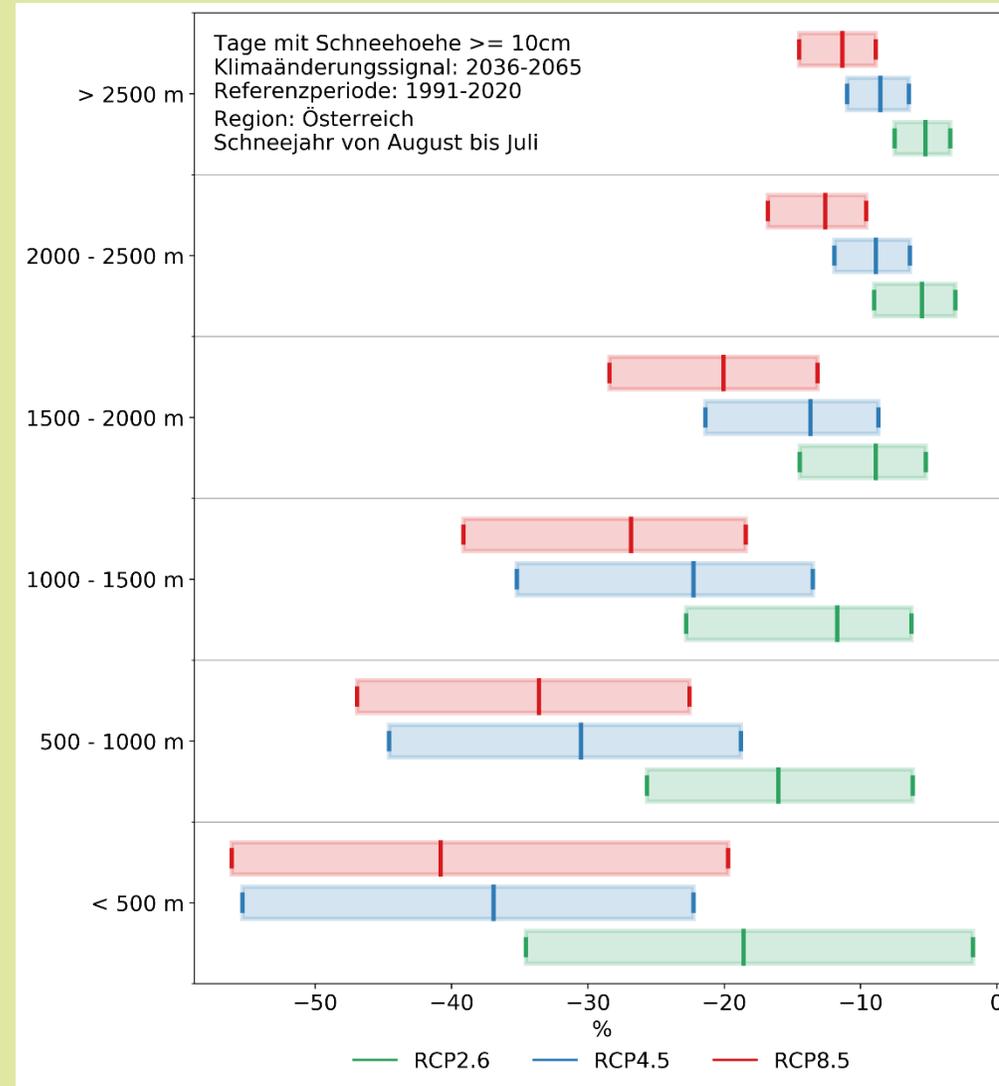


## Anzahl der Tage mit Naturschnee (>10 cm)

Änderung bis 2065  
(Periode 2036 – 2065)

**Relativ [%]:**  
**Starke Abnahme in tiefen Lagen, geringe Abnahme in hohen Lagen.**

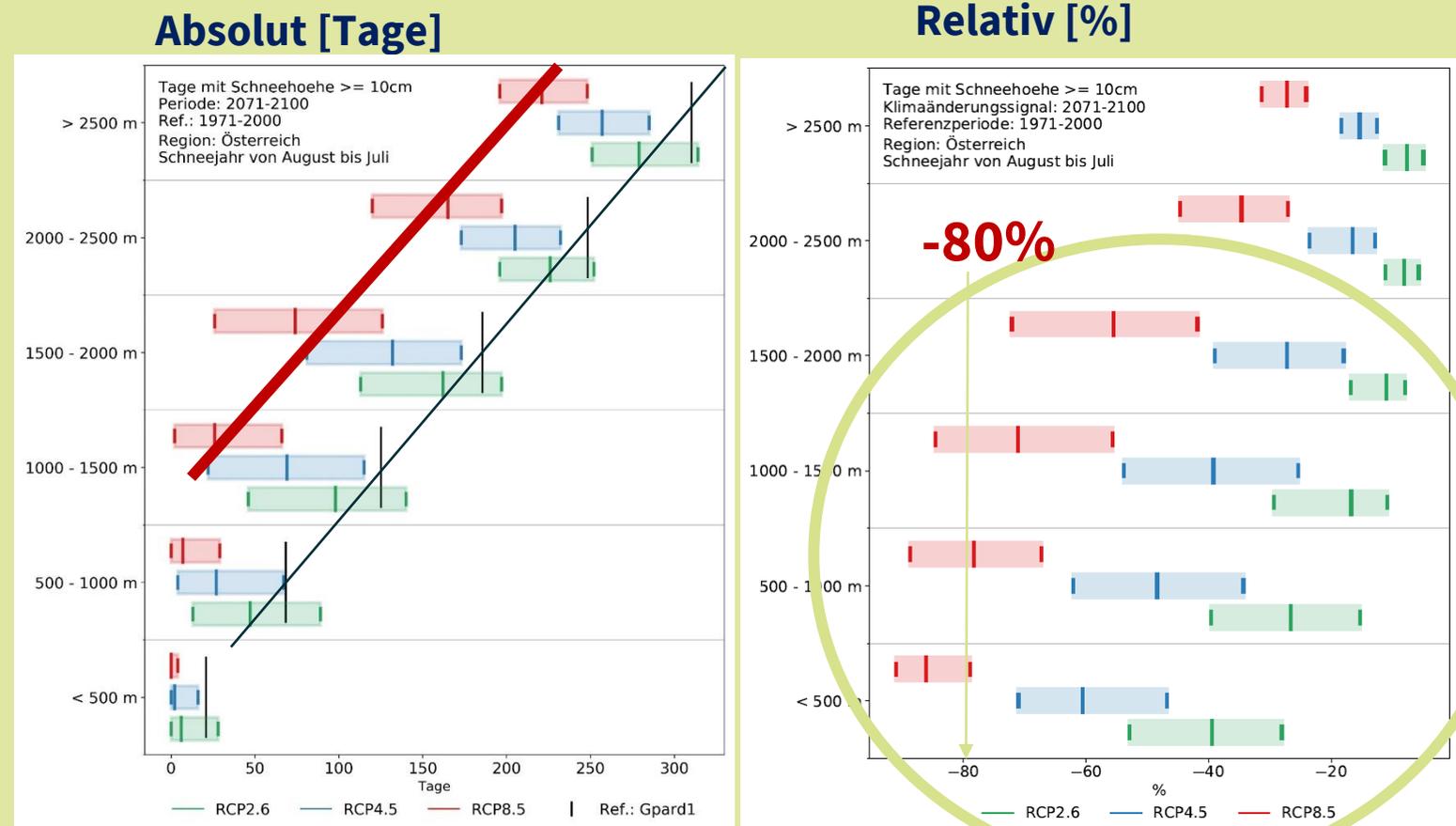
- Tief: -20% bis -40%
- Hoch: -5% bis -20%



## Anzahl der Tage mit Naturschnee (>10 cm)

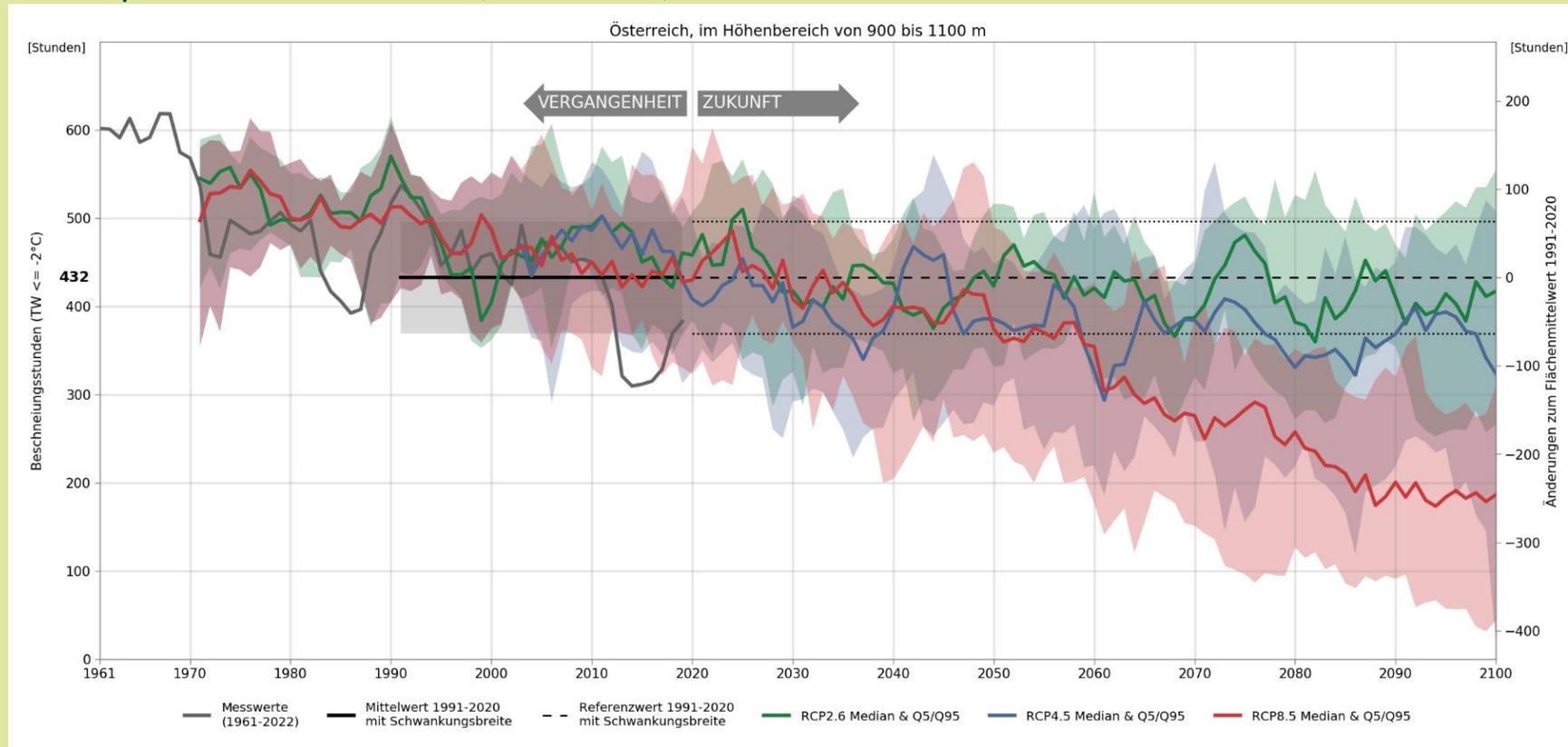
Änderung bis 2071-2100

Drastische  
Wirksamkeit von  
Klimaschutz  
(RCP2.6 vs  
RCP8.5)



## Potentielle Beschneizeiten Dezember – Zukunft

Beispiel: ~1000 m Seehöhe, Dezember,  $T_f < 2^\circ\text{C}$



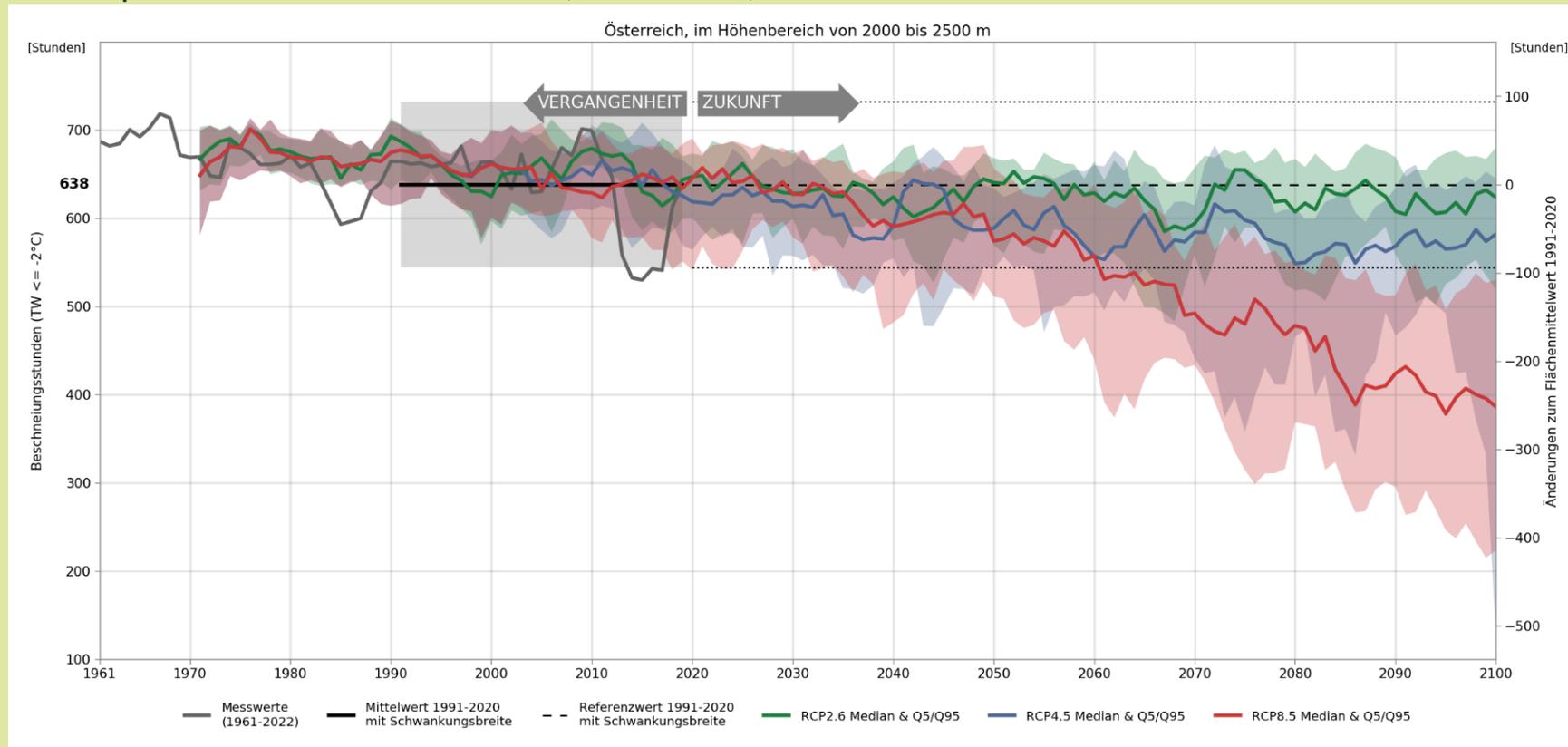
Vergangenheit: ca. -10%

Bis 2050: -10%

Bis 2065: -10% bis -20%, je nach Szenario

## Potentielle Beschneizeiten Dezember – Zukunft

Beispiel: 2000 - 2500 m Seehöhe, Dezember,  $T_f < 2^\circ\text{C}$



Bis 2050: kaum Abnahme

Bis 2100: -5% bis -40%, je nach Szenario

**Bis 2050 (Periode 2021 - 2050)** ist mit:

- Temperaturanstieg um etwa **0.7° C**,
- tendenziell mehr Winterniederschlag,
- Verkürzung der **Naturschnee** Saison um etwa **10 Tage**,
- Rückgang der pot. **Beschneizeiten** im Dez. um etwa **10% auf 1000m Seehöhe**

**Bis 2065 (Periode 2036 - 2065)** ist mit:

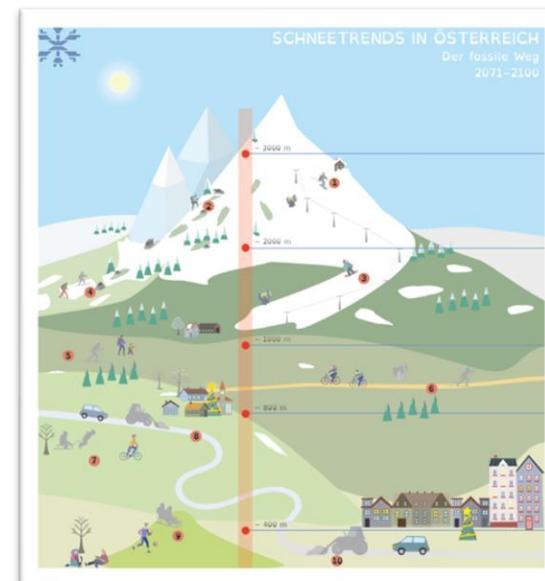
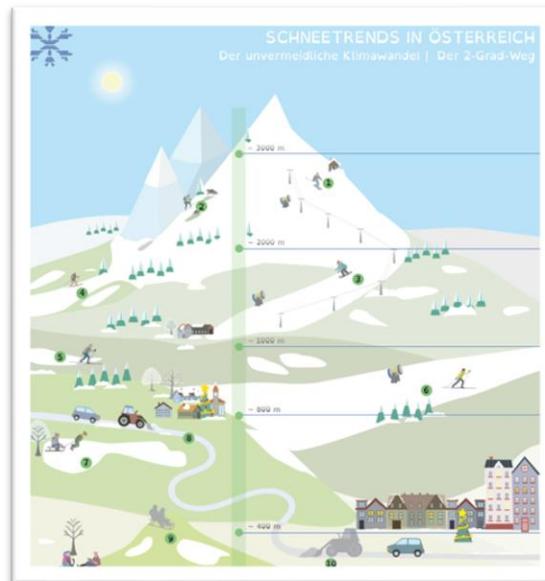
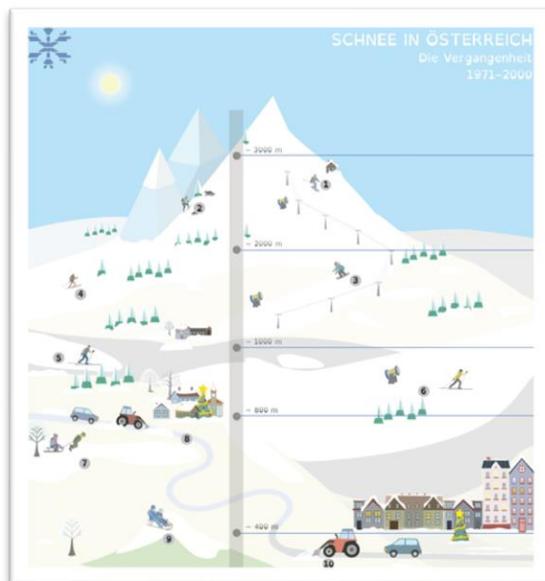
- Temperaturanstieg um **0.7°C (Stabilisierung) bis 1.5°C** („worst case“),
- tendenziell mehr Winterniederschlag,
- Verkürzung der **Naturschnee** Saison um etwa **10 bis 35 Tage**,
- Rückgang der pot. **Beschneizeiten** im Dez. um **10% bis 20% auf 1000 m Seehöhe**  
zu rechnen.

## **Mittelfristig (30 – 50 Jahre):**

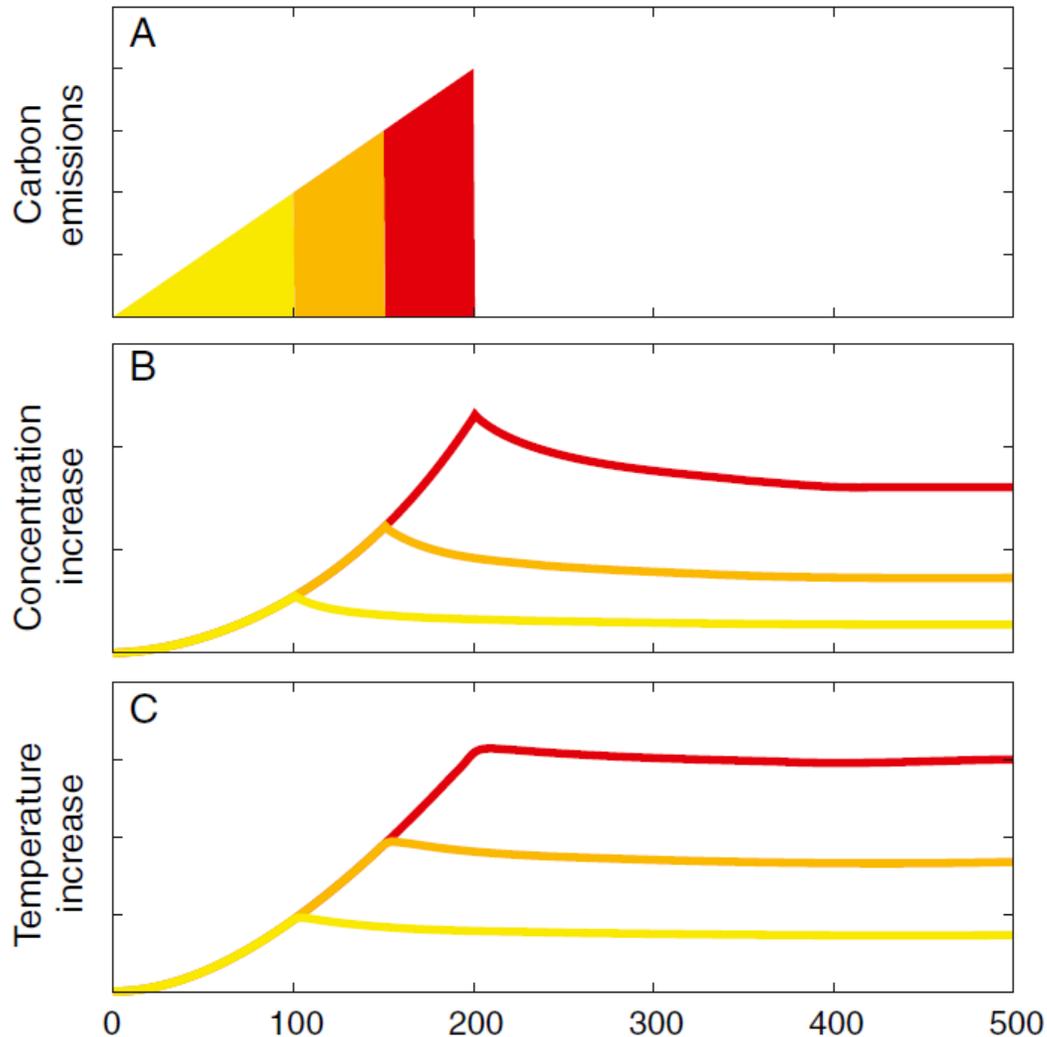
- Auswirkungen des Klimawandels auf den Wintersport spürbar, aber managebar. (Abhängigkeit von der Höhe).
- Bedeutung der techn. Beschneiung wird zunehmen.

## **Langfristig ( > 50 Jahre):**

- Entweder Stabilisierung (Klimaschutz)
- Oder (kein Klimaschutz) sehr deutliche Auswirkungen, die Wintersport in sehr vielen Gebieten Österreichs stark negativ beeinflussen werden.



**Danke für die Aufmerksamkeit!**



[Knutti and Rogelj, 2015]

## Verweildauern Atmosphäre:

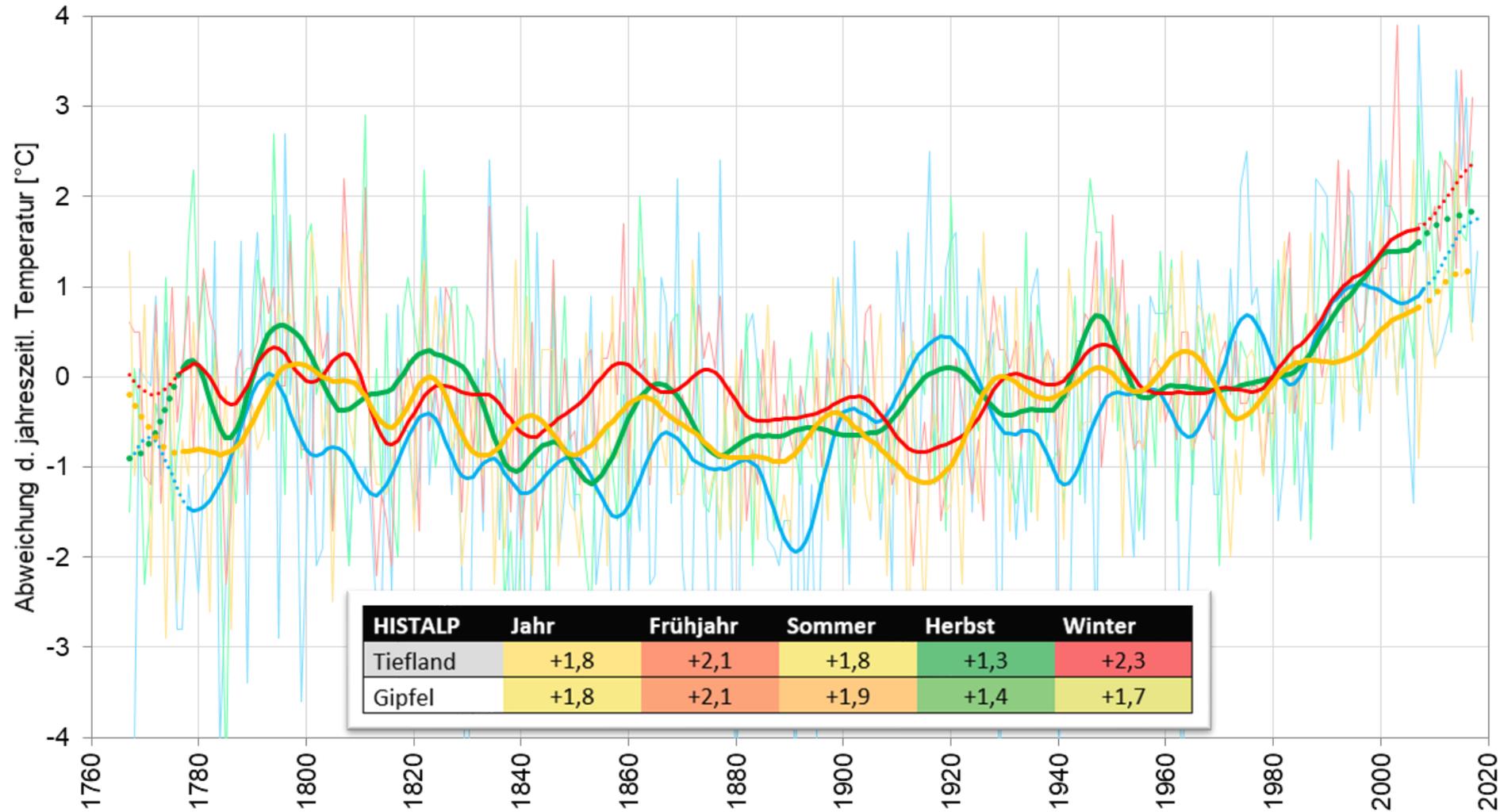
- Aerosolpartikel: Wochen
- Hexafluorethan (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>): Tausende von Jahren
- CO<sub>2</sub>: ca. 500 Jahre

## Sofortiger Stop aller CO<sub>2</sub> Emissionen:

- Temperatur bliebe für hunderte Jahre ~konstant.
- Anstieg des Meeresspiegels hält mehrere Jahrtausende an.

**Globale Erwärmung ist irreversibel (auf Zeitskala der Menschheit) aber weitere Erwärmung ist vor allem durch weitere zukünftige Emissionen bestimmt.**

## Saisonen (saisonale Anomalie, 1989-2018 vs. 1850-1900)



## Saisonen (saisonale Anomalie, 1989-2018 vs. 1850-1900)

