

*Chiemseekonferenz, 21.10.2022*

# Menschengemachter Klimawandel Grundlagen & Perspektiven

Thomas Birner

*Professor für Theoretische Meteorologie*

*Fakultät für Physik, LMU München & DLR Institut für Physik der Atmosphäre*

# Die 3 E's der globalen Erwärmung

- **E**infach zu verstehen
- **E**rnst zu nehmen
- **E**ingrenzbar

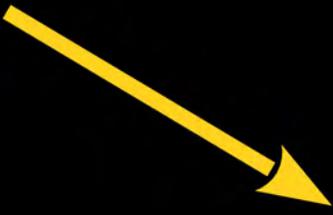
# Die 3 E's der globalen Erwärmung

- **E**infach zu verstehen

# Die “blaue Perle”



Energie Input  
(342 W/m<sup>2</sup>)



Energie Input  
(342 W/m<sup>2</sup>)



Netto Input = 240 W/m<sup>2</sup>



Reflexion  
(ca. 30%)

# Globale Energiebilanz: netto Energie Input = Output

Energie Input  
(342 W/m<sup>2</sup>)



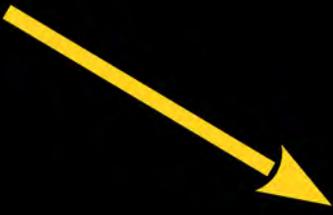
Netto Input = 240 W/m<sup>2</sup>



Reflexion  
(ca. 30%)

# Globale Energiebilanz: netto Energie Input = Output

Energie Input  
(342 W/m<sup>2</sup>)



Energie Output  
(240 W/m<sup>2</sup>)



Netto Input = 240 W/m<sup>2</sup>



Reflexion  
(ca. 30%)

# Globale Energiebilanz: netto Energie Input = Output

Energie Input  
(342 W/m<sup>2</sup>)



Energie Output  
(240 W/m<sup>2</sup>)



Netto Input = 240 W/m<sup>2</sup>



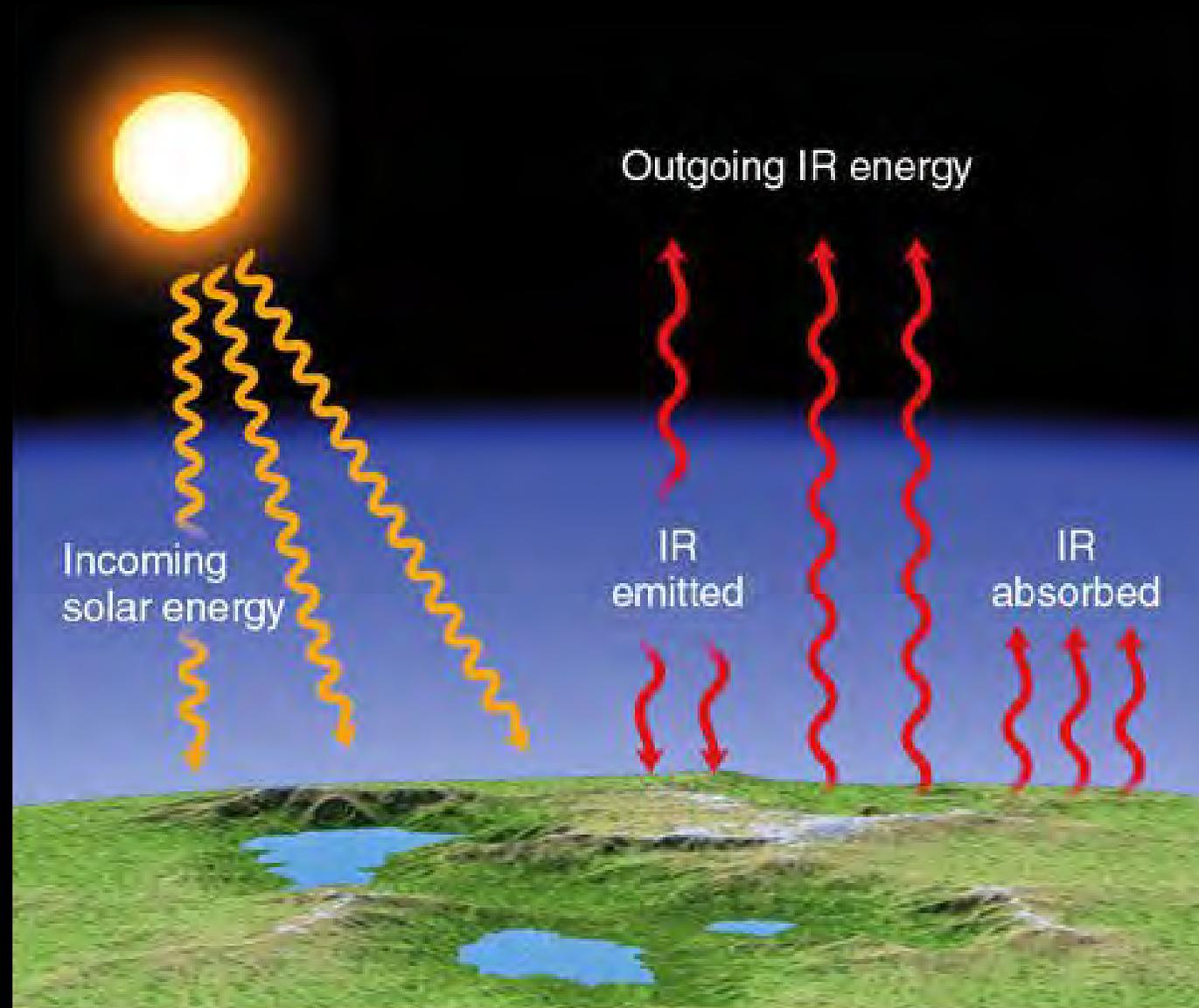
Reflexion  
(ca. 30%)

$$240 \text{ W/m}^2 = \sigma T^4$$
$$\rightarrow T = -18^\circ\text{C}$$

*Stefan-Boltzmann Gesetz*

# Atmosphärischer Treibhauseffekt

- Strahlung von der Sonne erwärmt Erdoberfläche
- Erdoberfläche verliert Wärme durch thermische Abstrahlung
- Treibhausgase (Wasserdampf,  $\text{CO}_2$ , ...) absorbieren Teil der thermischen Abstrahlung und emittieren in alle Richtungen
  - zusätzliche Strahlung zur Erdoberfläche, verringerter Wärmeverlust, erhöhte Erdoberflächentemperatur



# Verstärkter Treibhauseffekt und Klimawandel

:: globale Erwärmung ::



*Svante Arrhenius*

- Arrhenius 1896, 1906: Verdopplung des CO<sub>2</sub> Gehalts verstärkt atmosphärischen Treibhauseffekt  
→ globale Erwärmung von ca. 4°C

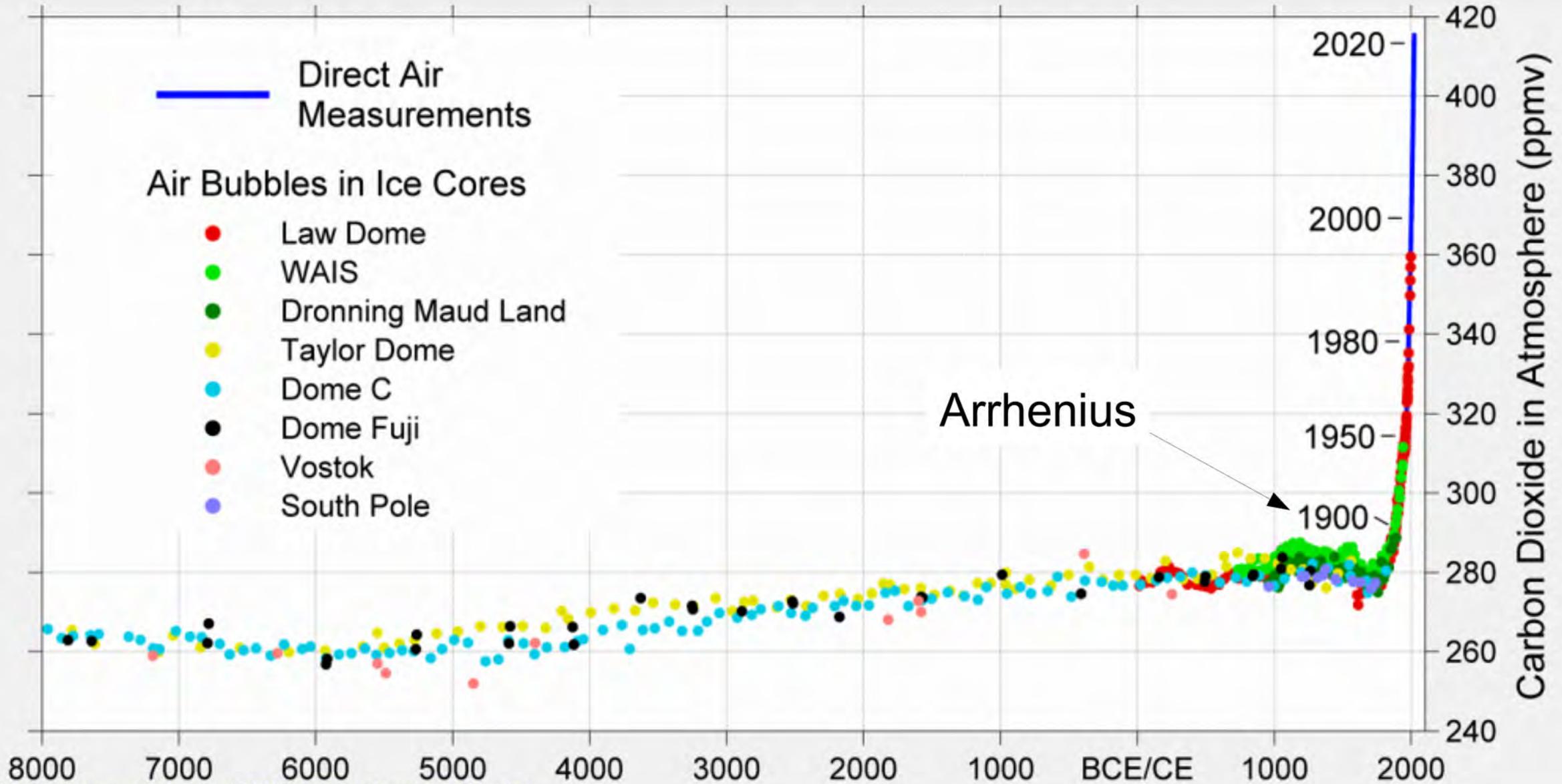
TABLE VII.—*Variation of Temperature caused by a given Variation of Carbonic Acid.*

Latitude.	Carbonic Acid=0.67.					Carbonic Acid=1.5.					Carbonic Acid=2.0.					Carbonic Acid=2.5.					Carbonic Acid=3.0.				
	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.
70	-2.9	-3.0	-3.4	-3.1	-3.1	3.3	3.4	3.8	3.6	3.52	6.0	6.1	6.0	6.1	6.05	7.9	8.0	7.9	8.0	7.95	9.1	9.3	9.4	9.4	9.3
60	-3.0	-3.2	-3.4	-3.3	-3.22	3.4	3.7	3.6	3.8	3.62	6.1	6.1	5.8	6.1	6.02	8.0	8.0	7.6	7.9	7.87	9.3	9.5	8.9	9.5	9.3
50	-3.2	-3.3	-3.3	-3.4	-3.3	3.7	3.8	3.4	3.7	3.65	6.1	6.1	5.5	6.0	5.92	8.0	7.9	7.0	7.9	7.7	9.5	9.4	8.6	9.2	9.17
40	-3.4	-3.4	-3.2	-3.3	-3.32	3.7	3.6	3.3	3.5	3.52	6.0	5.8	5.4	5.6	5.7	7.9	7.6	6.9	7.3	7.42	9.3	9.0	8.2	8.8	8.82
30	-3.3	-3.2	-3.1	-3.1	-3.17	3.5	3.3	3.2	3.5	3.47	5.6	5.4	5.0	5.2	5.3	7.2	7.0	6.6	6.7	6.87	8.7	8.3	7.5	7.9	8.1
20	-3.1	-3.1	-3.0	-3.1	-3.07	3.5	3.2	3.1	3.2	3.25	5.2	5.0	4.9	5.0	5.02	6.7	6.6	6.3	6.6	6.52	7.9	7.5	7.2	7.5	7.52
10	-3.1	-3.0	-3.0	-3.0	-3.02	3.2	3.2	3.1	3.1	3.15	5.0	5.0	4.9	4.9	4.95	6.6	6.4	6.3	6.4	6.42	7.4	7.3	7.2	7.3	7.3
0	-3.0	-3.0	-3.1	-3.0	-3.02	3.1	3.1	3.2	3.2	3.15	4.9	4.9	5.0	5.0	4.95	6.4	6.4	6.6	6.6	6.5	7.3	7.3	7.4	7.4	7.35
-10	-3.1	-3.1	-3.2	-3.1	-3.12	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	5.0	5.0	5.2	5.1	5.07	6.6	6.6	6.7	6.7	6.65	7.4	7.5	8.0	7.6	7.62
-20	-3.1	-3.2	-3.3	-3.2	-3.2	3.2	3.2	3.4	3.3	3.27	5.2	5.3	5.5	5.4	5.35	6.7	6.8	7.0	7.0	6.87	7.9	8.1	8.6	8.3	8.22
-30	-3.3	-3.3	-3.4	-3.4	-3.35	3.4	3.5	3.7	3.5	3.52	5.5	5.6	5.8	5.6	5.62	7.0	7.2	7.7	7.4	7.32	8.6	8.7	9.1	8.8	8.8
-40	-3.4	-3.4	-3.3	-3.4	-3.37	3.6	3.7	3.8	3.7	3.7	5.8	6.0	6.0	6.0	5.95	7.7	7.9	7.9	7.9	7.85	9.1	9.2	9.4	9.3	9.25
-50	-3.2	-3.3	—	—	—	3.8	3.7	—	—	—	6.0	6.1	—	—	—	7.9	8.0	—	—	—	9.4	9.5	—	—	—
-60																									

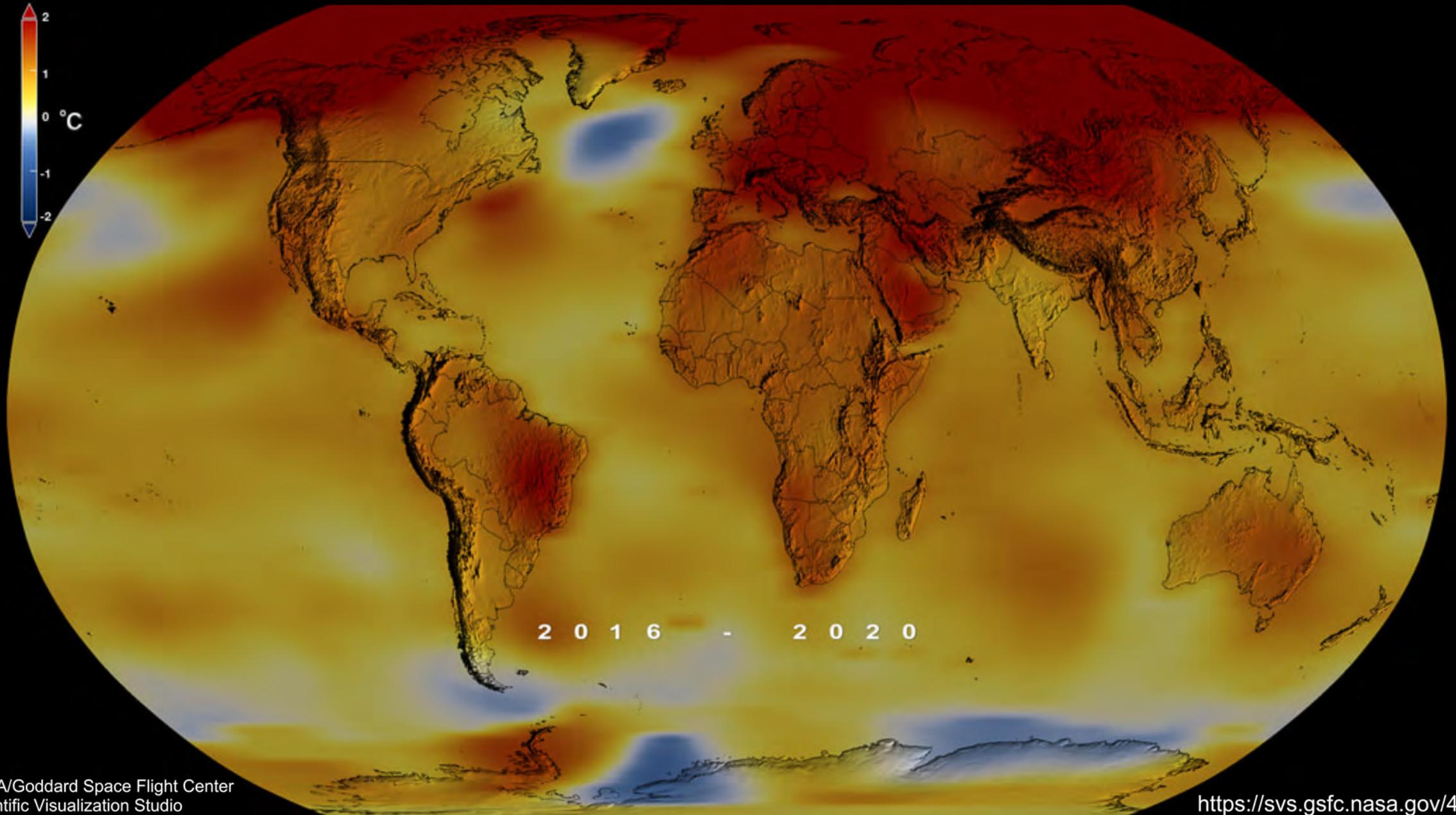
2 x CO<sub>2</sub>

*Diese Werte beinhalten Wasserdampf- und Eis-Albedo Rückkopplung (iterativ bzw. empirisch bestimmt)!*

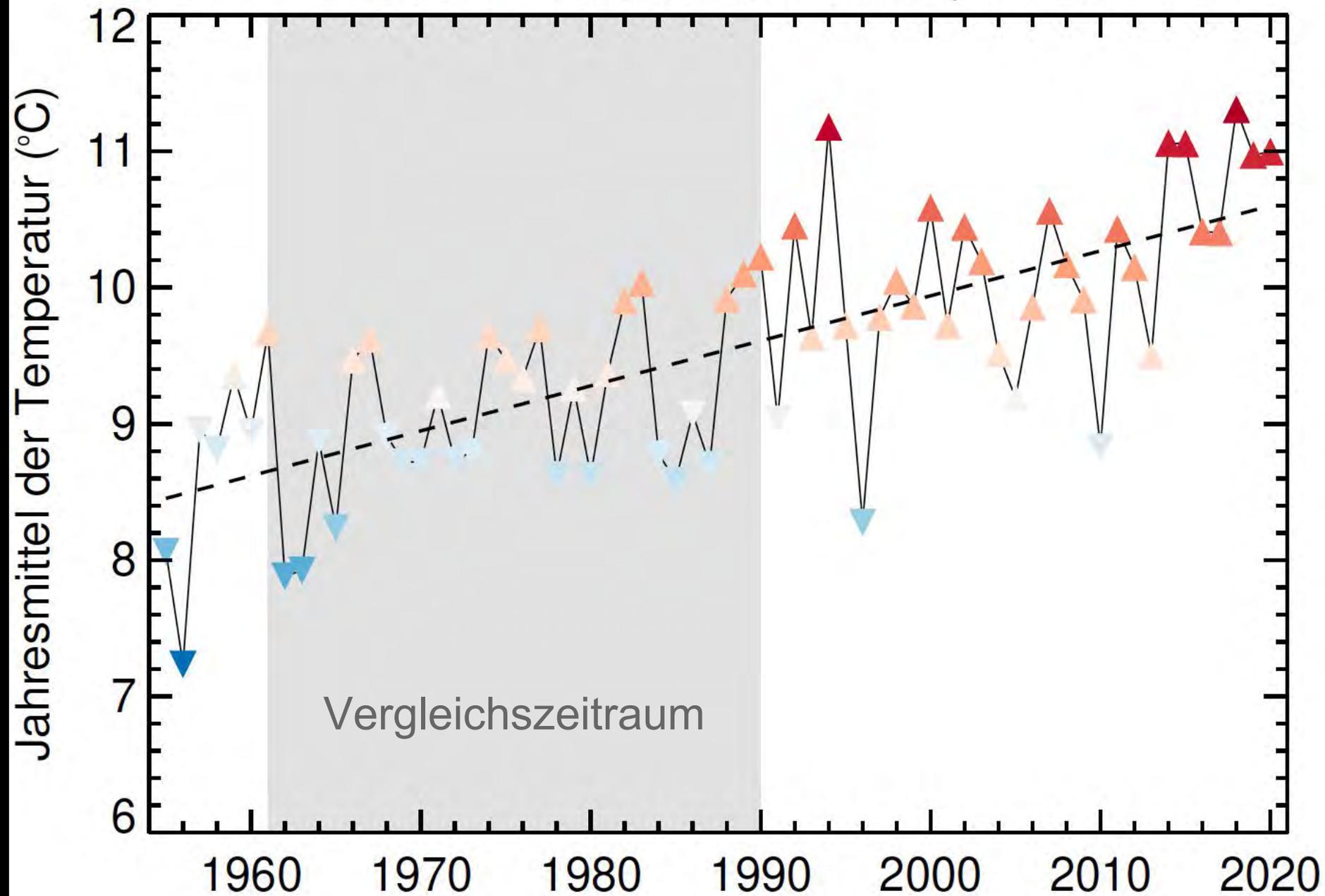
# CO<sub>2</sub> Konzentration der letzten 10.000 Jahre



# Bodentemperatur (2016-2020) relativ zum Mittel über 1950-1980

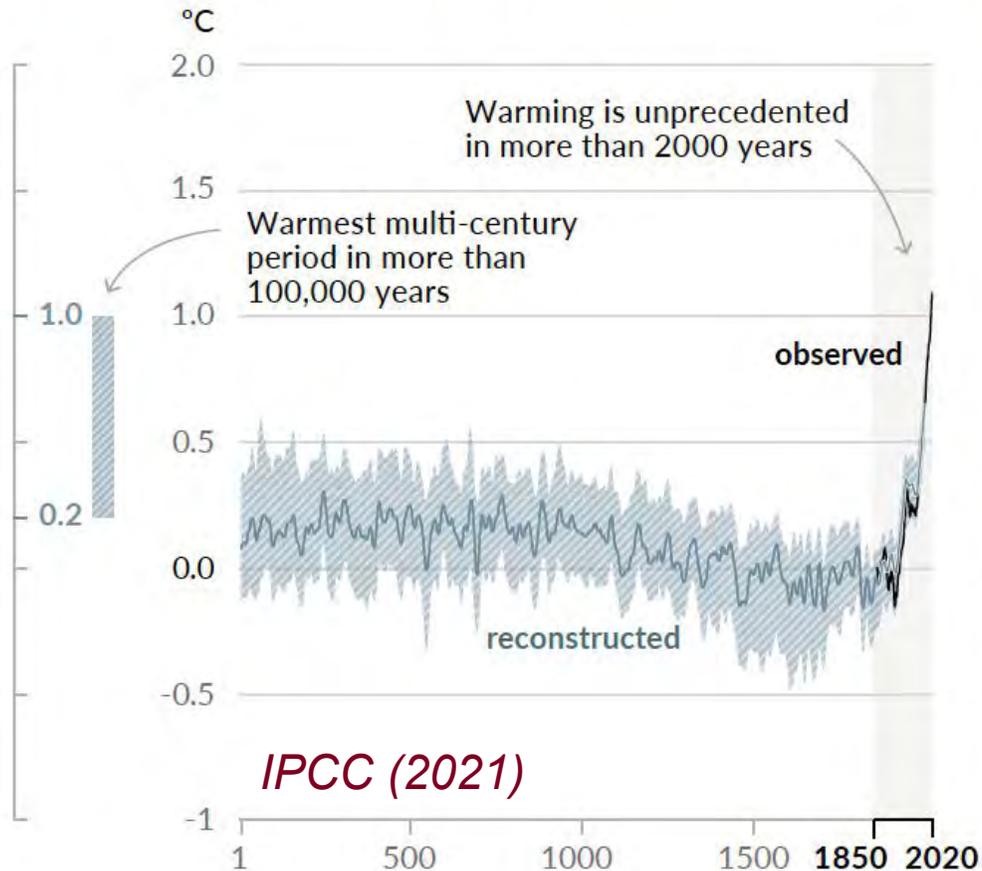


# Station: Muenchen Stadt, DWD



## Änderung der global gemittelten Bodentemperatur relativ zu 1850-1900

a) Change in global surface temperature (decadal average) as **reconstructed** (1-2000) and **observed** (1850-2020)

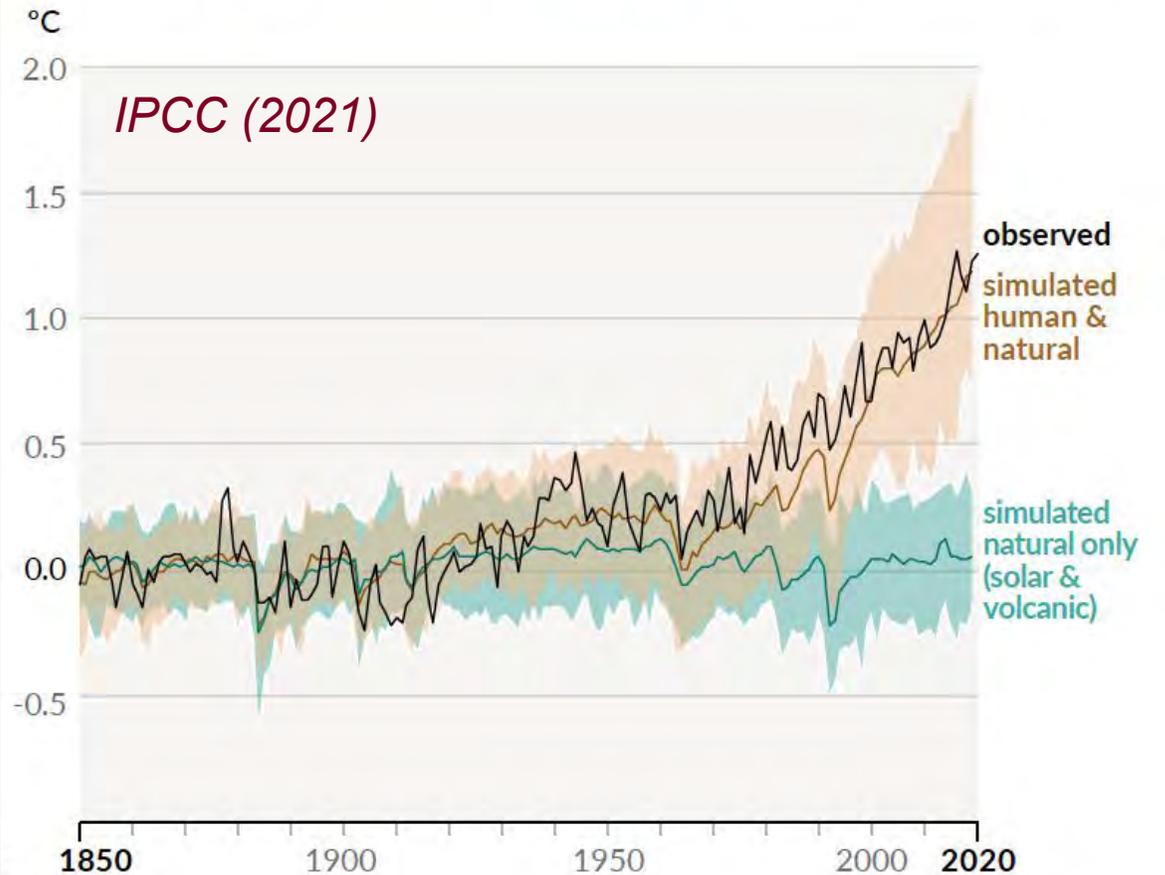


Erwärmung des Klimas erfolgt in einem Tempo, das zumindest in den letzten 2000 Jahren beispiellos ist

**Globale Erwärmung der letzten ca. 100 Jahre ist menschengemacht**

## Änderung der global gemittelten Bodentemperatur relativ zu 1850-1900

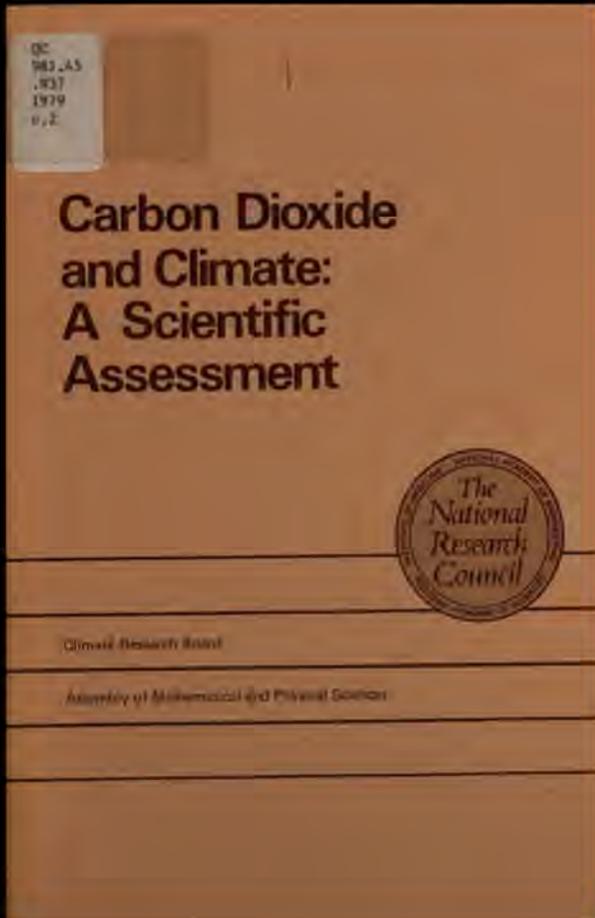
b) Change in global surface temperature (annual average) as **observed** and simulated using **human & natural** and **only natural** factors (both 1850-2020)



## “Charney Report” (1979)

Aus dem Vorwort von Verner Suomi (Chair of Climate Research Board):

“So beruhigend die Schlussfolgerungen dieser kurzen, aber intensiven Untersuchung für Wissenschaftler sein mögen, so beunruhigend sind sie für Entscheidungsträger. Sollte Kohlendioxid weiterhin ansteigen, so gibt es laut der Ergebnisse dieses Ausschusses keinen Grund zu zweifeln, dass Veränderungen des Klimas stattfinden werden, und keinen Grund anzunehmen, dass diese vernachlässigbar sein werden... Eine Abwartehaltung könnte bedeuten, abzuwarten bis es zu spät ist.”

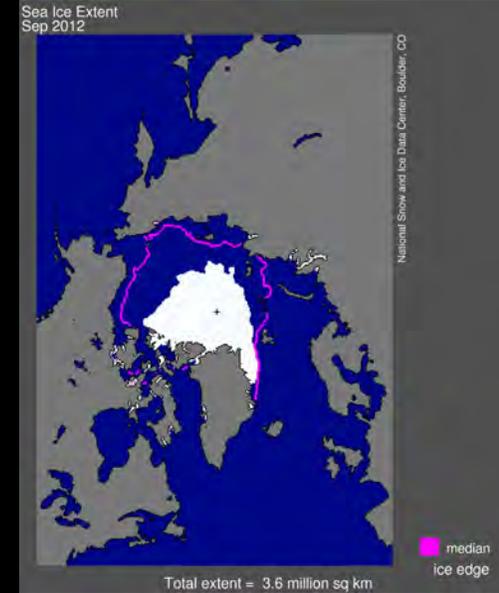


*Thomas Schelling (Economics Noble Prize for Game Theory): “We believe that we can learn faster than the problem can develop.”*

# Die 3 E's der globalen Erwärmung

- **E**infach zu verstehen
  - grundlegende Physik (bereits im 19. Jhd. beschrieben)
- **E**rnst zu nehmen
- **E**ingrenzbar

- Erwärmung führt außerdem z.B. zu:
  - Schmelzen von Gletschern und Meereis
    - Eis-Albedo Rückkopplung
  - Anstieg des Meeresspiegels



- Erwärmung führt außerdem z.B. zu:
  - Schmelzen von Gletschern und Meereis  
→ Eis-Albedo Rückkopplung
  - Anstieg des Meeresspiegels
  - häufigere und intensivere Hitzewellen und Dürreperioden



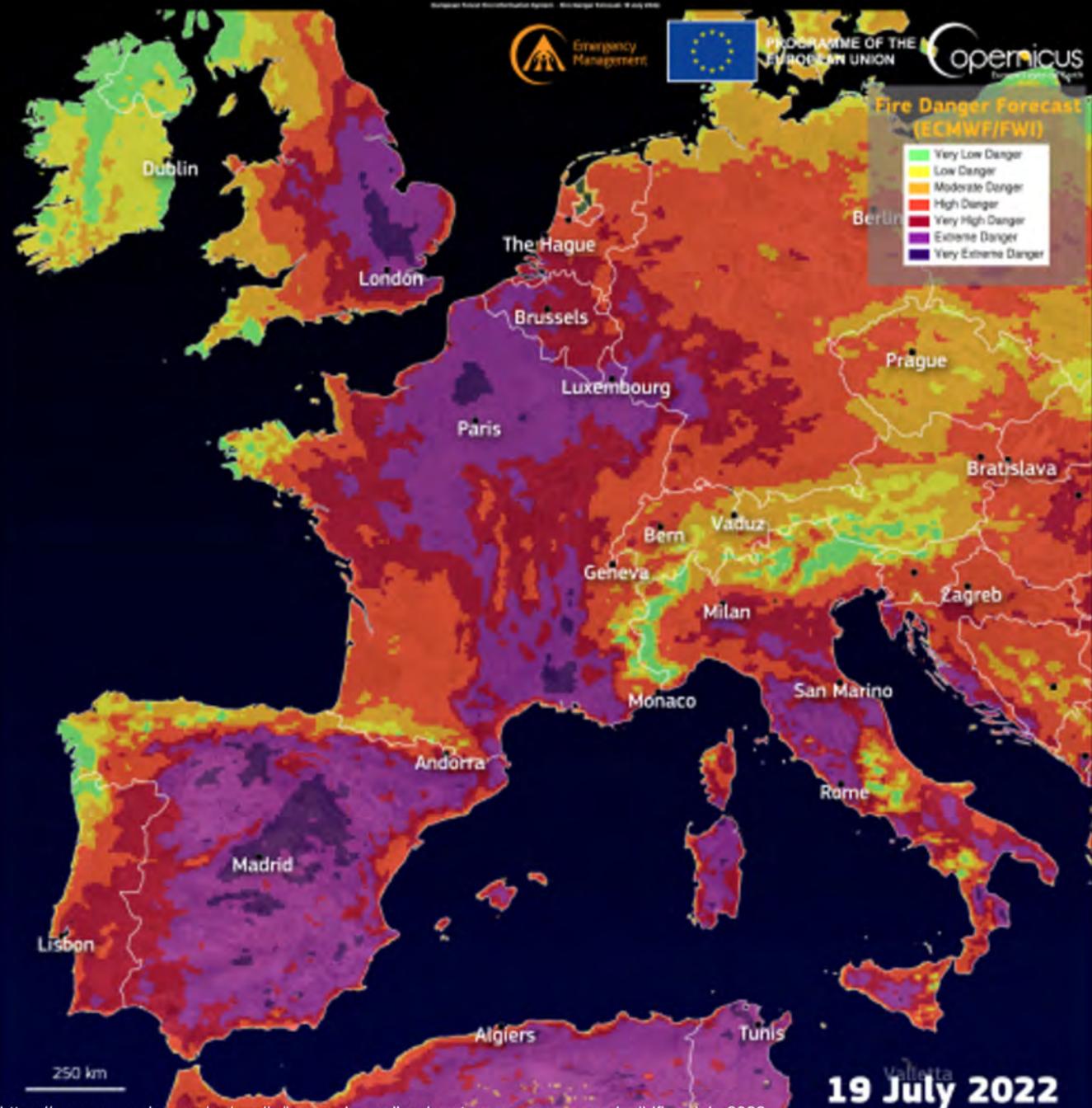


PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION



### Fire Danger Forecast (ECMWF/FWI)

- Very Low Danger
- Low Danger
- Moderate Danger
- High Danger
- Very High Danger
- Extreme Danger
- Very Extreme Danger



19 July 2022

- Erwärmung führt außerdem z.B. zu:
  - Schmelzen von Gletschern und Meereis
    - Eis-Albedo Rückkopplung
  - Anstieg des Meeresspiegels
  - häufigere und intensivere Hitzewellen und Dürreperioden
  - erhöhtem Wasserdampfgehalt der Luft
    - Wasserdampfrückkopplung
    - verstärkter Wasserkreislauf, Zunahme von Extremniederschlagsereignissen

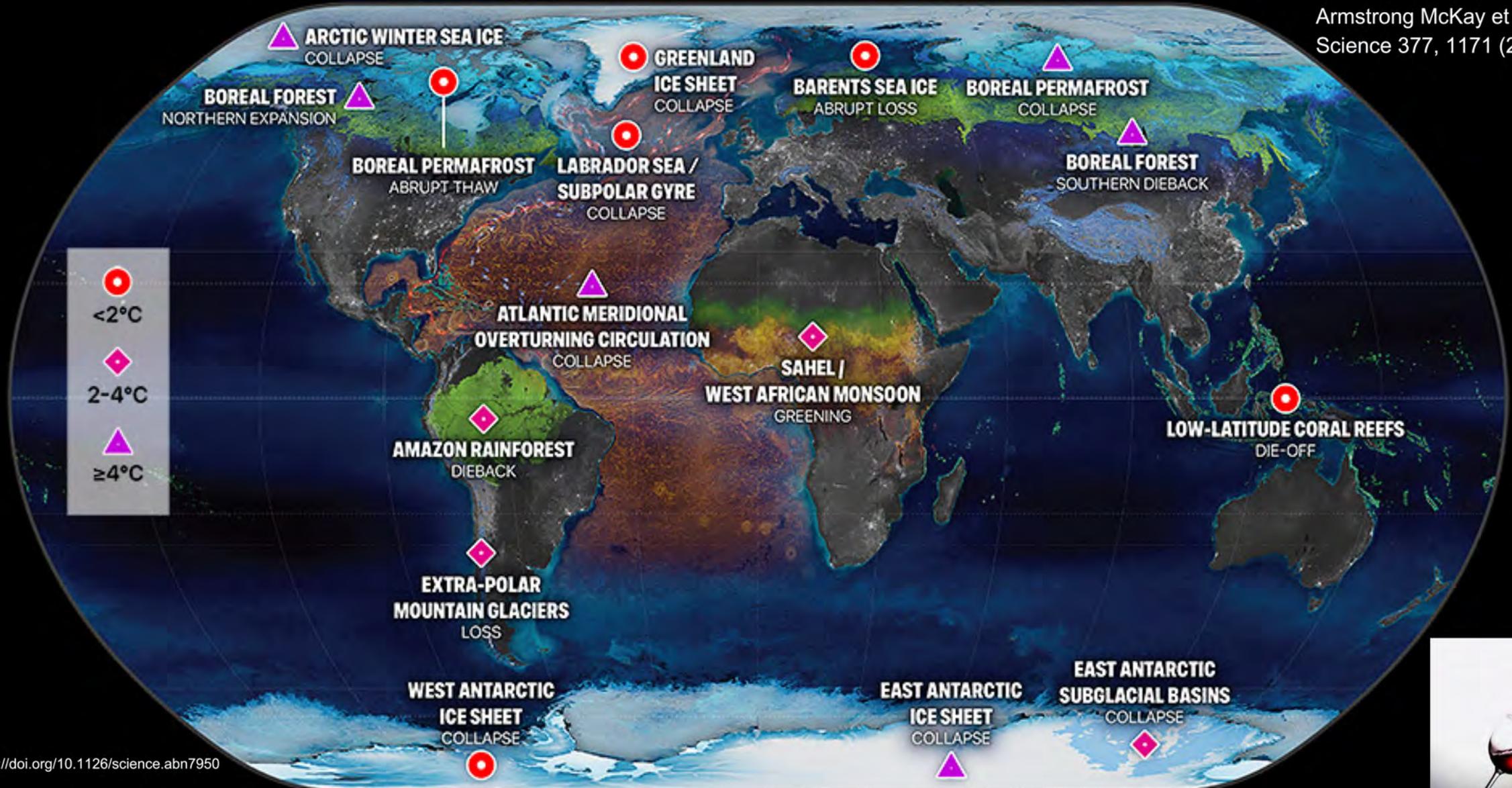




- Erwärmung führt außerdem z.B. zu:
  - Schmelzen von Gletschern und Meereis
    - Eis-Albedo Rückkopplung
  - Anstieg des Meeresspiegels
  - häufigere und intensivere Hitzewellen und Dürreperioden
  - erhöhtem Wasserdampfgehalt der Luft
    - Wasserdampfrückkopplung
    - verstärkter Wasserkreislauf, Zunahme von Extremniederschlagsereignissen
  - sukzessiver Überschreitung von Kipppunkten

# Kippelemente im Erdsystem

Armstrong McKay et al.,  
Science 377, 1171 (2022)

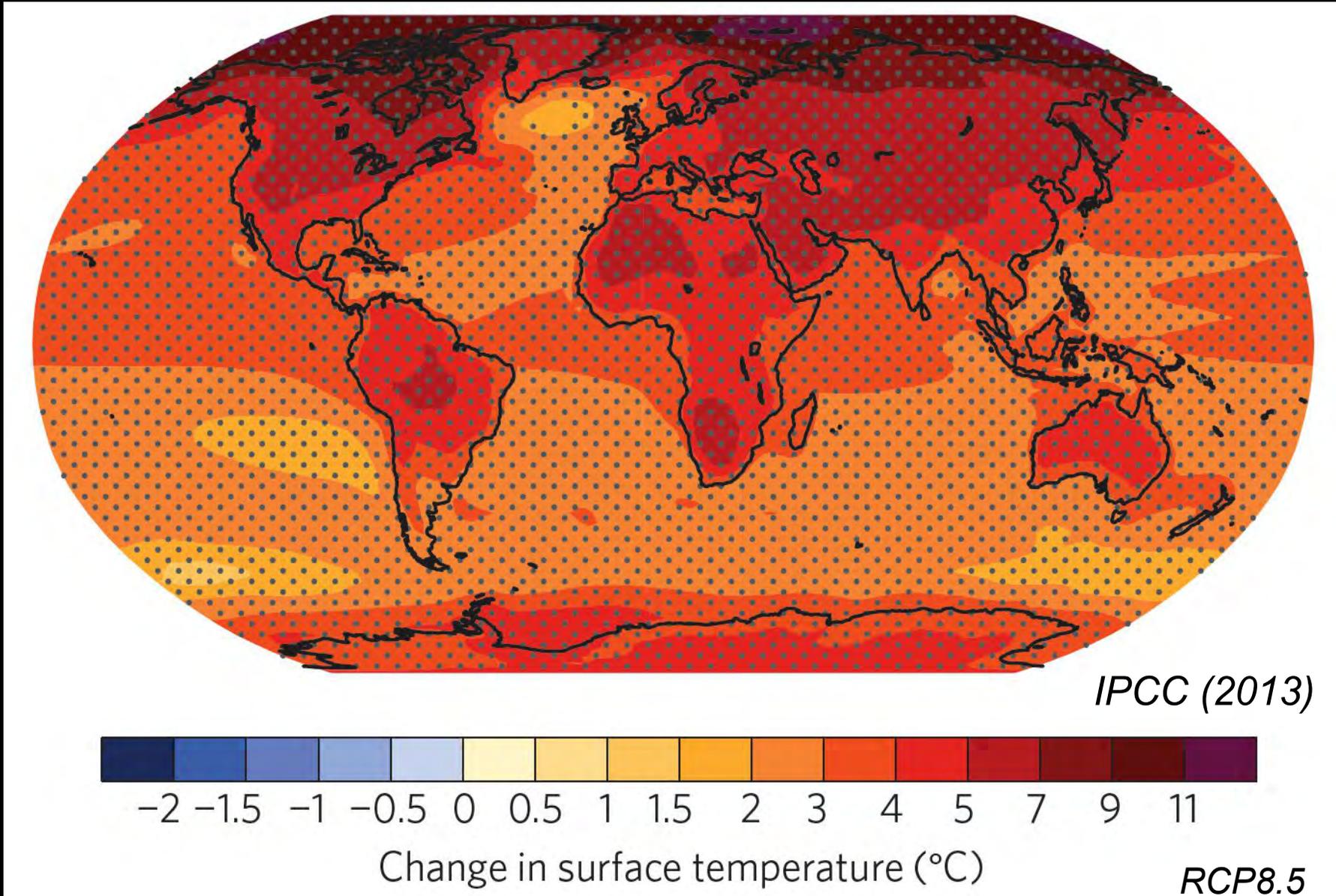


<https://doi.org/10.1126/science.abn7950>

Schon bei geringer weiterer Erwärmung könnten viele Kippelemente im Klimasystem ihren kritischen Schwellenwert erreichen und umkippen. © Globaia for the Earth Commission/ PIK, SRC und Exeter University; <https://www.scinexx.de/news/geowissen/klima-kippelemente-instabiler-als-gedacht/>



# Projizierte Erwärmung für 2100 (“Weiter-wie-bisher-Szenario”)



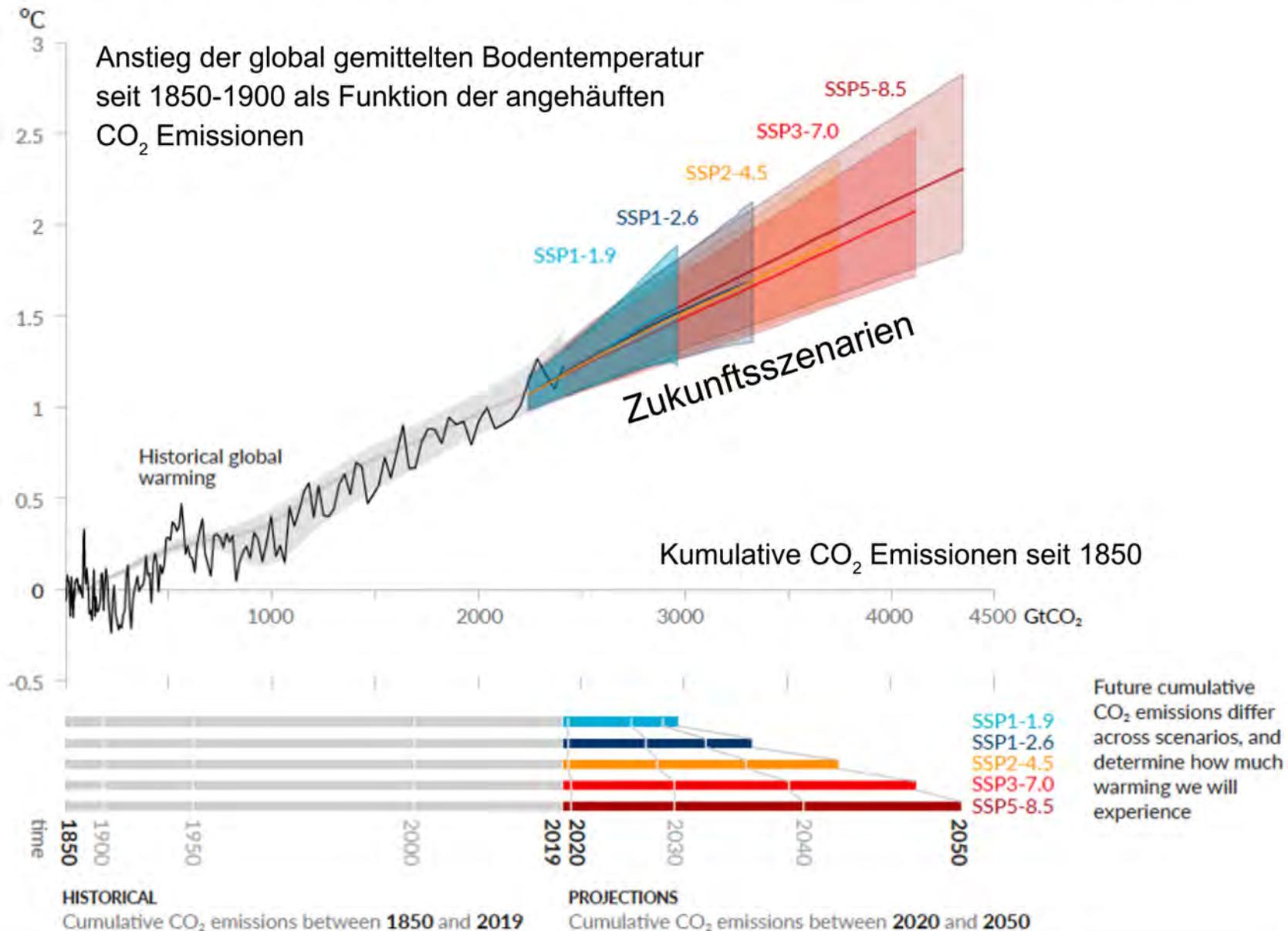
# Sozio-ökonomische Auswirkungen des Klimawandels

- Landwirtschaft, Verfügbarkeit von (Trink)Wasser
- Waldbrände durch Dürreperioden
- Überschwemmungen durch Sturmfluten oder Starkniederschlagsereignisse
- Migration (“Klimaflüchtlinge”), Kriege, Hungersnöte
- Ausbreitung von Krankheiten (z.B. Vektor-Krankheiten)
- Kollabierende Ökosysteme
- Psychische Störungen: Umweltangst, Solastalgie, Kollapsologie

# Die 3 E's der globalen Erwärmung

- **E**infach zu verstehen
  - grundlegende Physik (bereits im 19. Jhd. beschrieben)
- **E**rnst zu nehmen
  - z.B. häufigere Wetterextreme, Klimaflüchtlinge
- **E**ingrenzbar

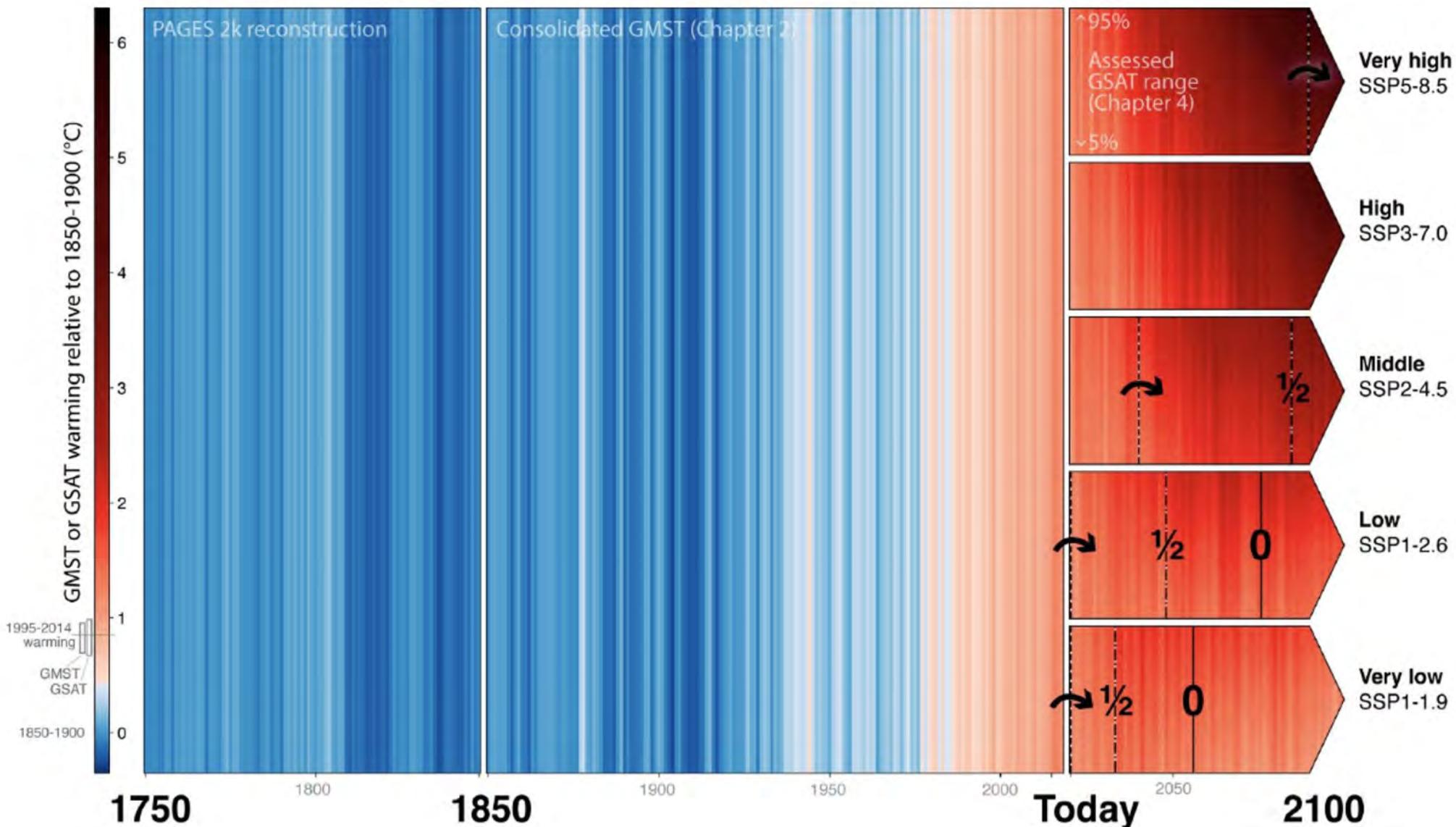
# Jede zusätzliche Tonne CO<sub>2</sub> führt zu mehr Erwärmung:



# Historical global-mean surface temperatures

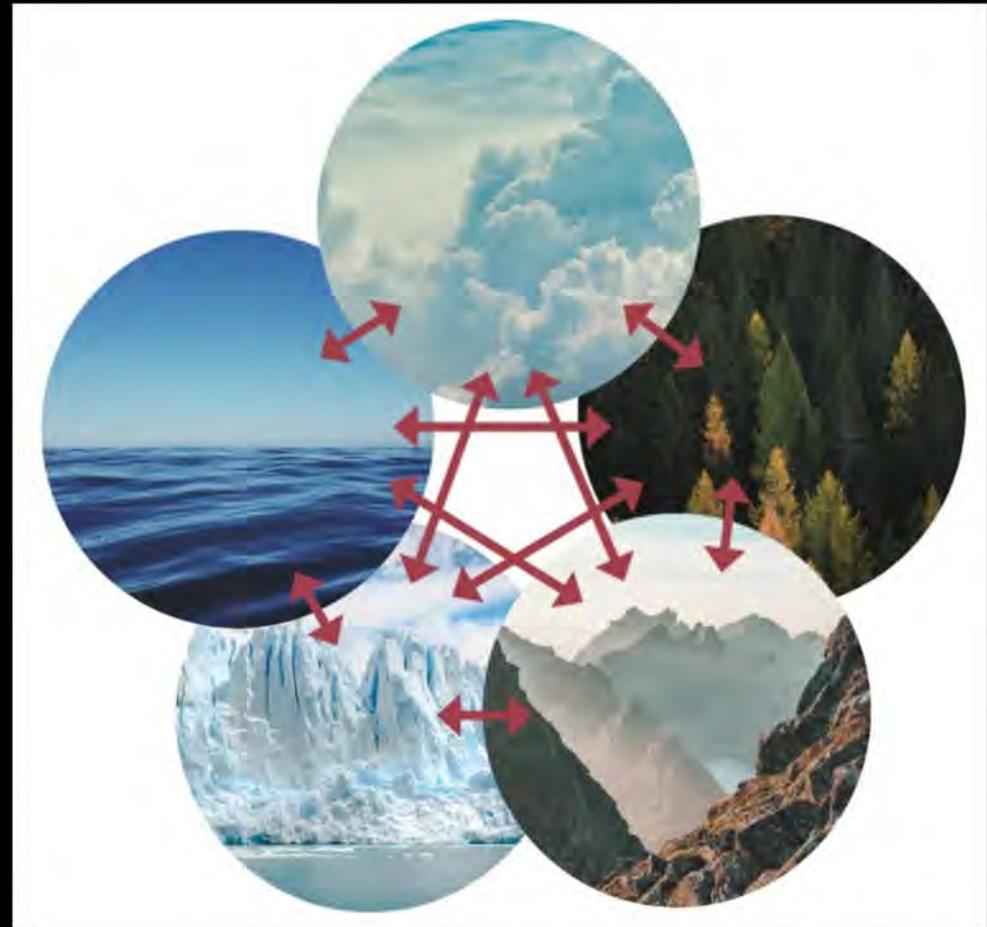
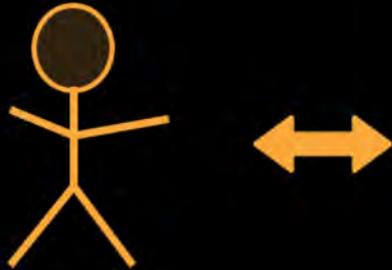
# Possible Futures

CO<sub>2</sub> Emissions:  
↪ Peaking  
½ Halving  
0 Net-zero



# Das hochkomplexe Klimasystem:

- ➔ Rückkopplungen & Kipppunkte
- ➔ Sozio-ökonomische Kipppunkte zu einer nachhaltigen Zukunft, u.a. angestoßen und umgesetzt durch Kommunalpolitik?



[https://en.wikipedia.org/wiki/Climate\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_system)

**Ohnmacht?**

**Ohn' Macht, kein Handeln!**

# Die 3 E's der globalen Erwärmung

- **E**infach zu verstehen
  - grundlegende Physik (bereits im 19. Jhd. beschrieben)
- **E**rnst zu nehmen
  - z.B. häufigere Wetterextreme, Klimaflüchtlinge
- **E**ingrenzbar
  - Umstieg auf Erneuerbare Energien, Energiesparen, ...