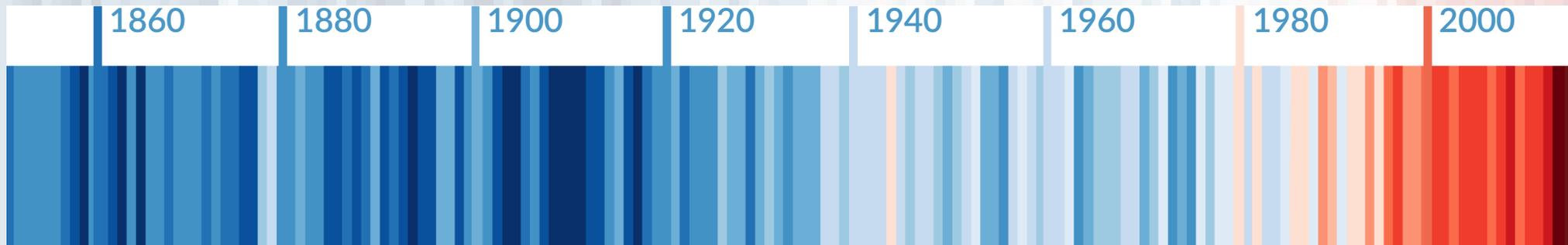


# Die Klimakrise

## Ihre Ursachen und Wirkungen

PD Dr. Volker Ossenkopf-Okada

Scientists for Future – Regionalgruppe Köln-Bonn

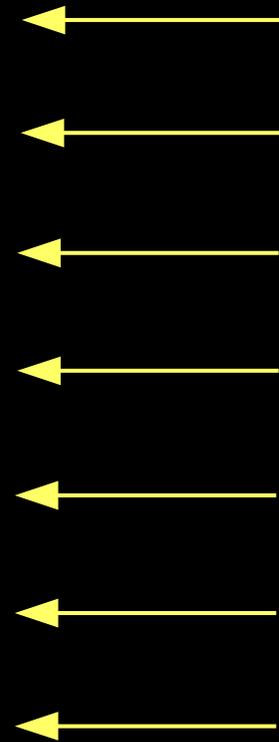
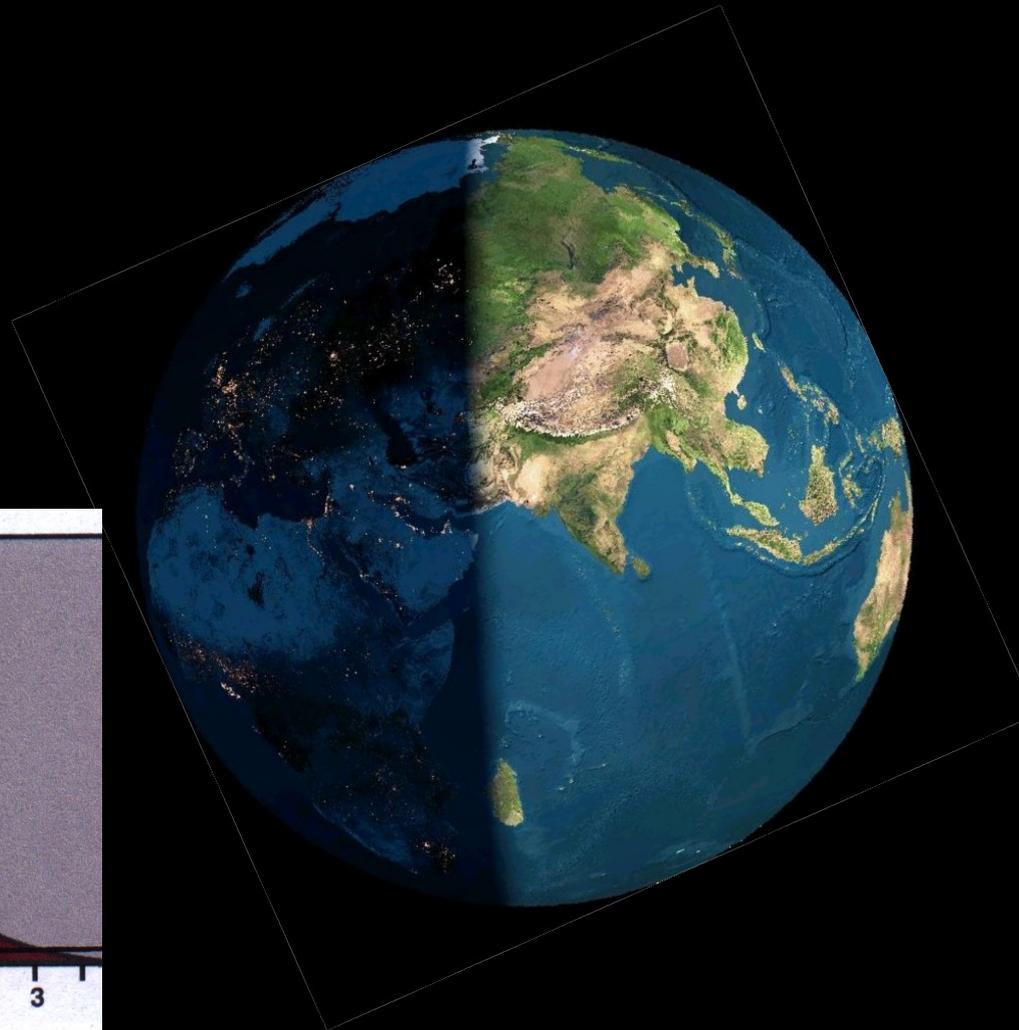
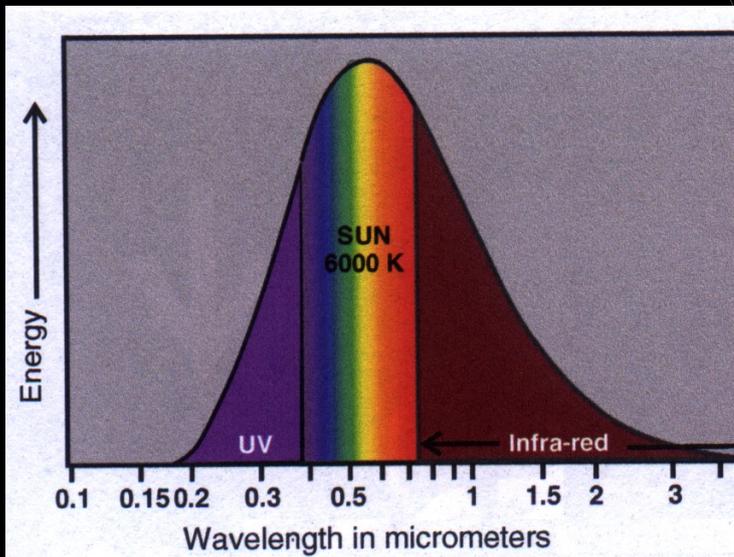


2015, 2016, 2017, 2018 und 2019 waren weltweit die fünf wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen

Lizenz: CC BY-SA 4.0

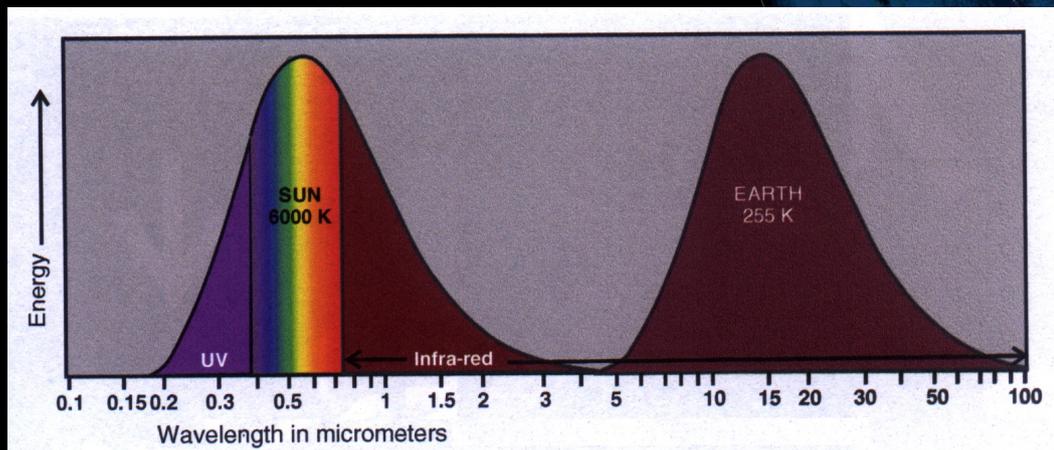
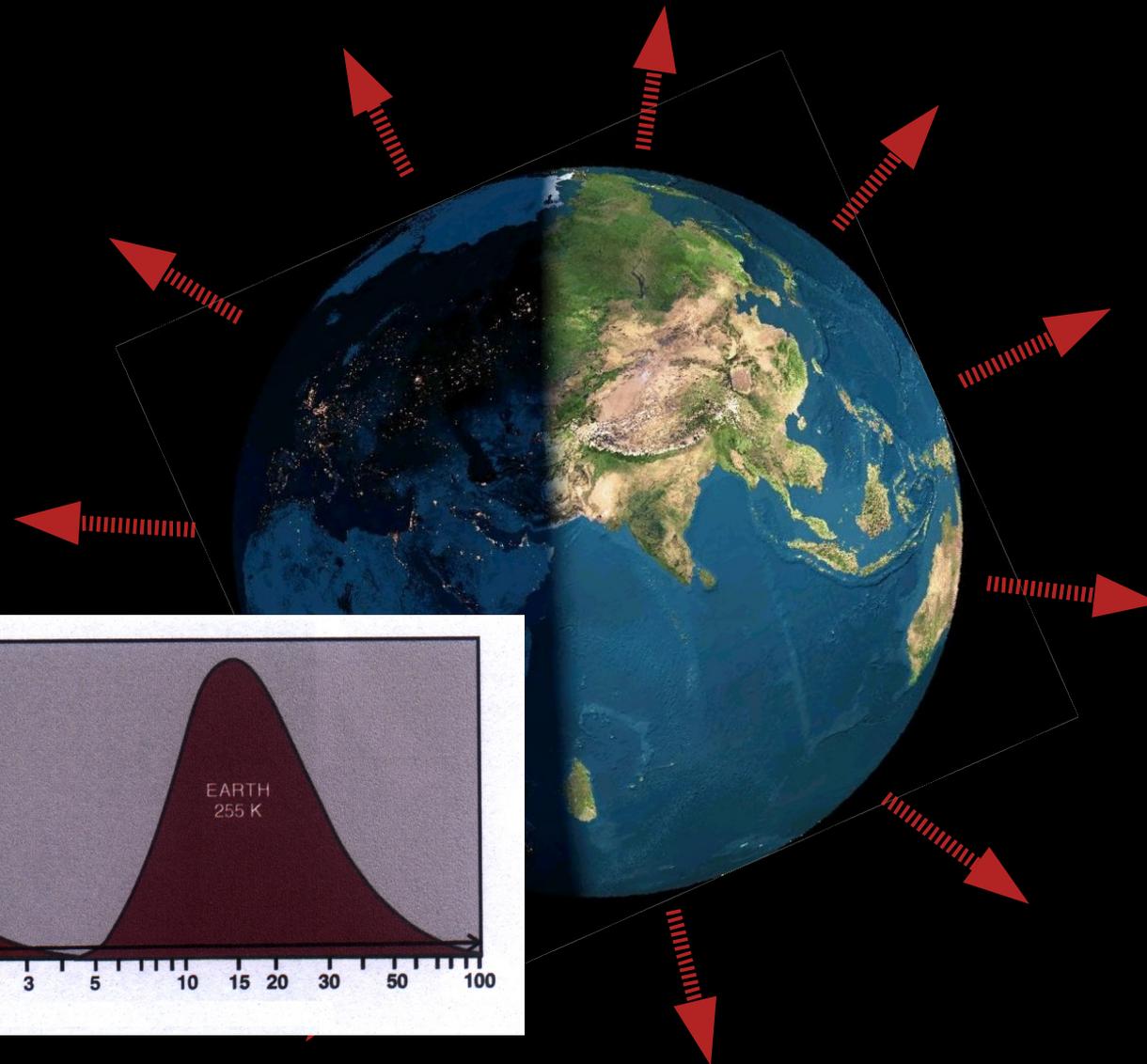
# Die Energiebilanz der Erde

Input: Strahlung von der Sonne



# Die Energiebilanz der Erde

Output: Abstrahlung ins All



# Zahlen

- Input:

- Strahlung von der Sonne = Solarkonstante · Erdquerschnitt/Erdoberfläche  
=  $342 \text{ W/m}^2$
- Aufgenommen wird (ohne Reflexion an Wolken und Oberfläche)  
=  $235 \text{ W/m}^2$
- Abwärme aus dem Erdinneren (Kern + radioaktiver Zerfall)  
=  $0.09 \text{ W/m}^2 = 0.02\%$

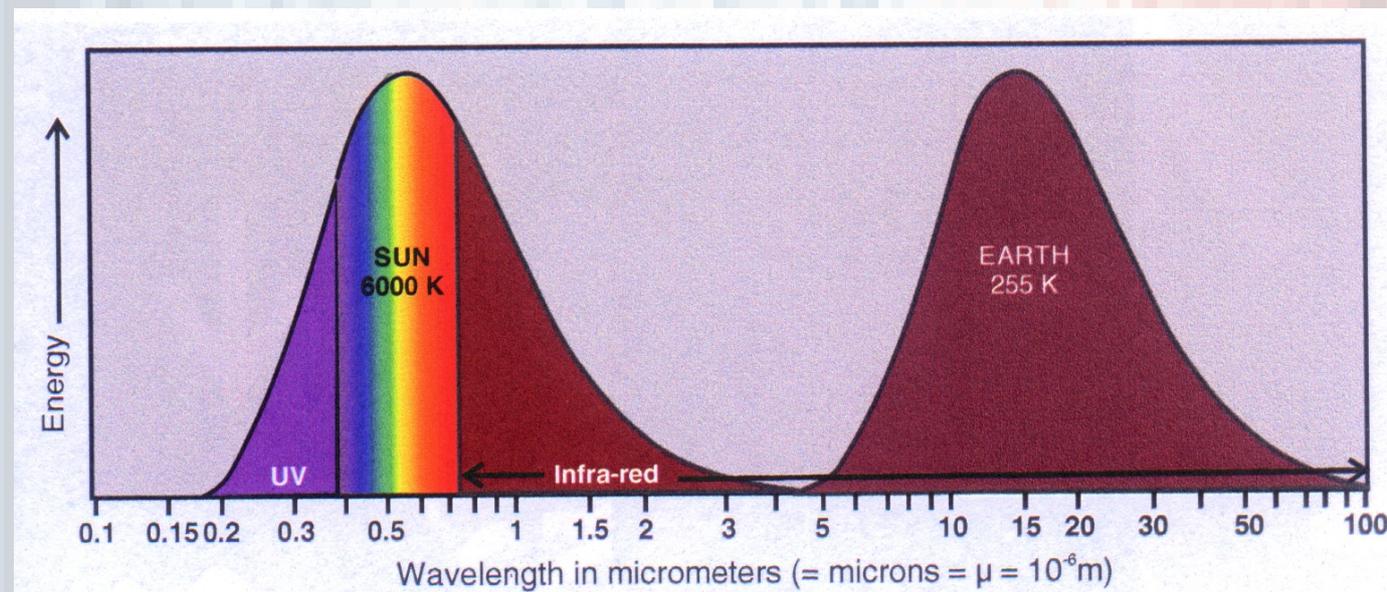
- Output

- “Thermische”  
**Infrarot-Strahlung**  
bestimmt durch  
Temperatur  $T_{OF}$

- Output = Input

- Auflösen nach  $T_{OF}$ :

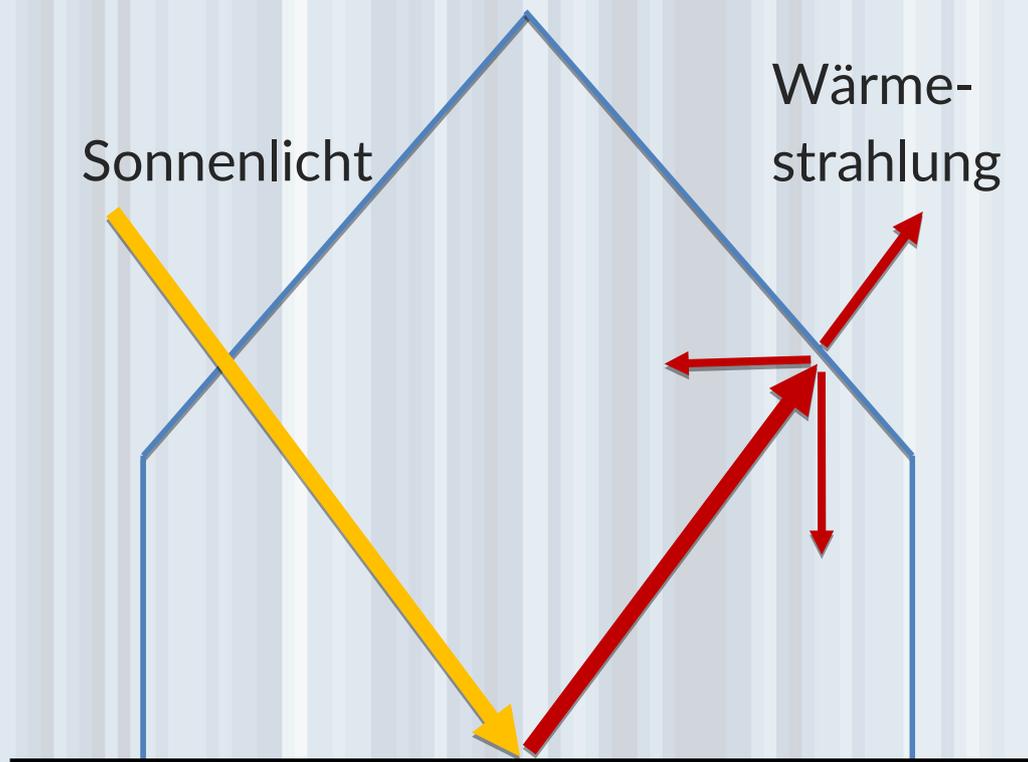
→  $T_{OF} = -18^\circ\text{C}$



# Lösung

## Treibhauseffekt

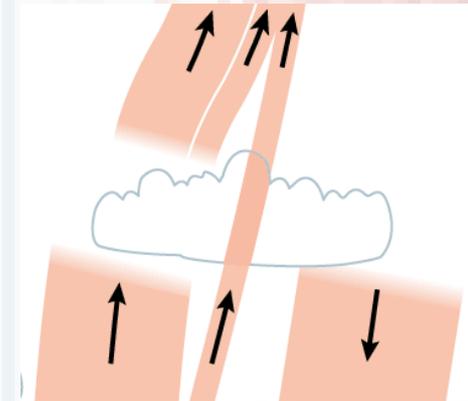
- Energieabstrahlung verringern



Resultat:

Temperatur  $T_{OF}$  steigt  $\rightarrow T_{OF} = 15^{\circ}\text{C}$

- Meiste Infrarotstrahlung wird sogar vielfach absorbiert und wieder emittiert

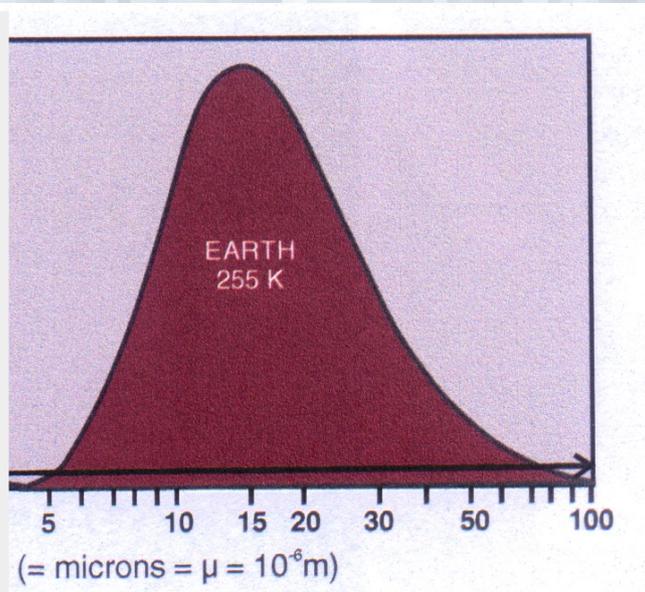


- Je dicker die Schicht, durch die die Strahlung muss, umso weniger Wärme kann raus

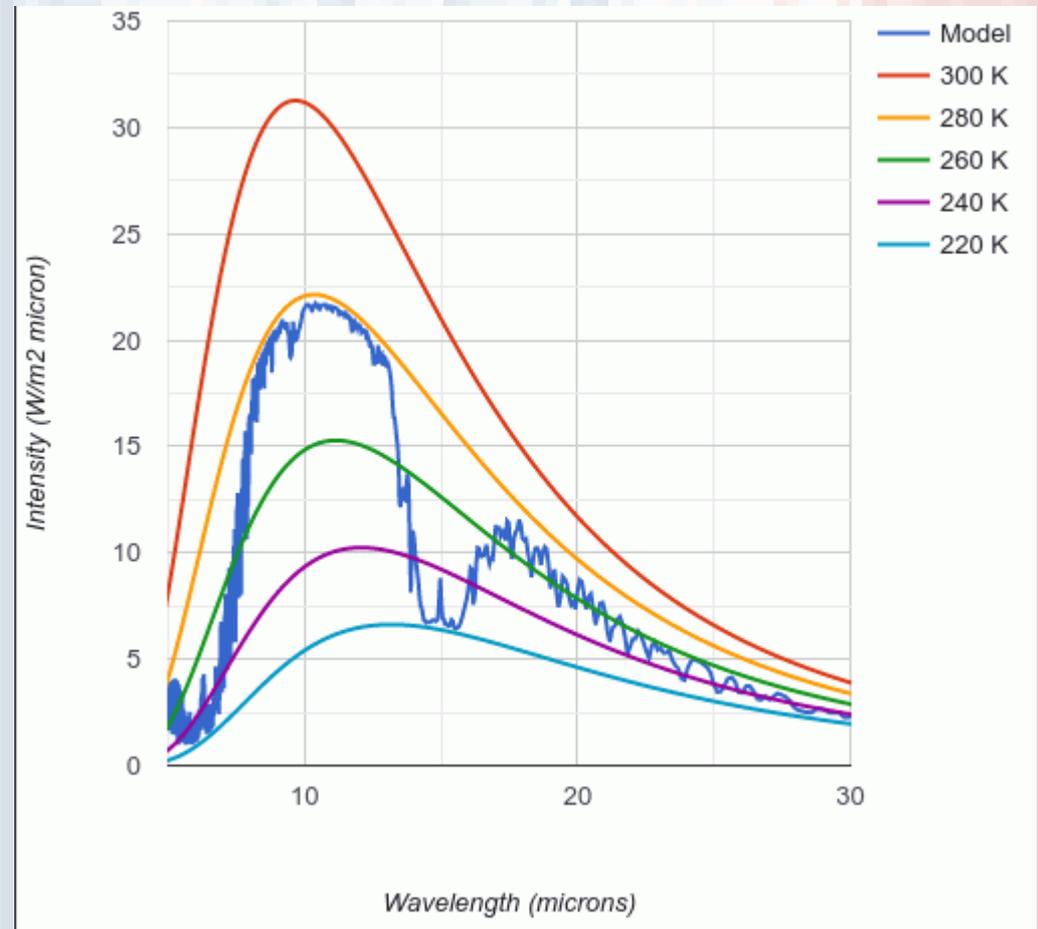


# Der Treibhauseffekt

Abstrahlung ist nur bei bestimmten Wellenlängen verringert:



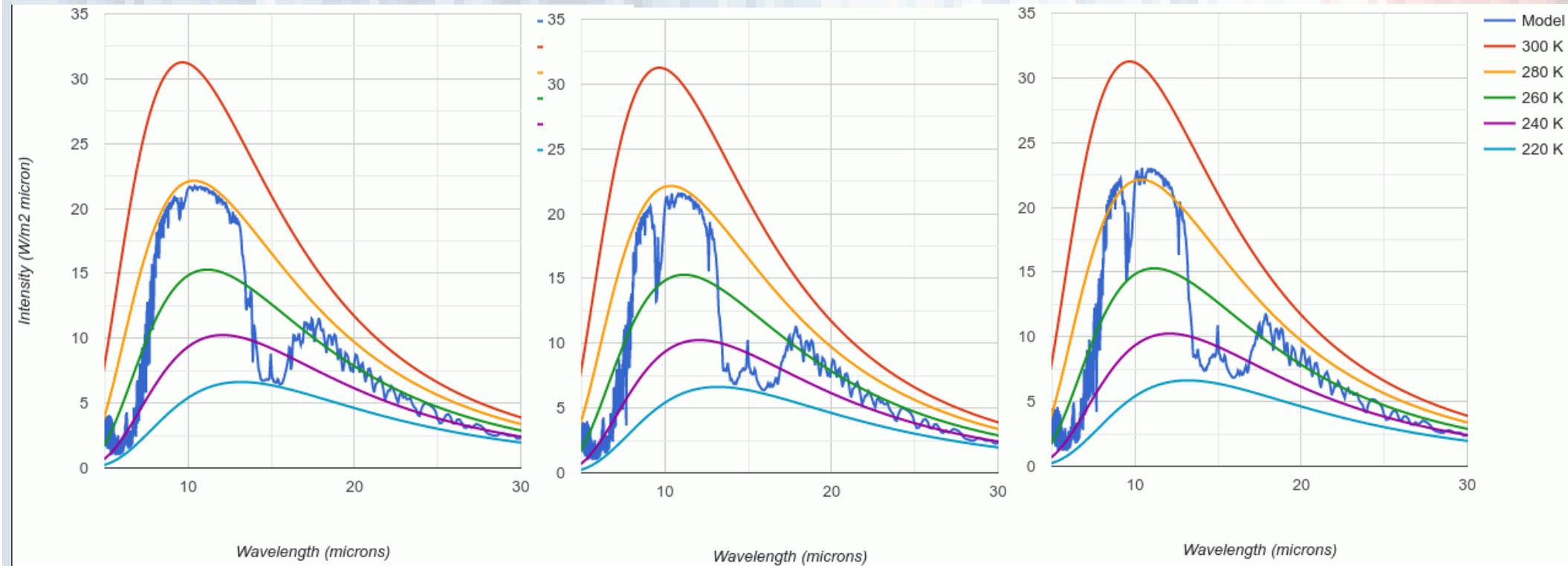
Von Oberflächenstrahlung kommen nur ein Teil der Wellenlängen ungestört im Weltall an



MODTRAN-Simulation des Spektrums mit vorindustriellem Niveau der Treibhausgase

# Der Treibhauseffekt

Mit der steigender Konzentration der Treibhausgase werden die “Fenster” für die Infrarotstrahlung kleiner:

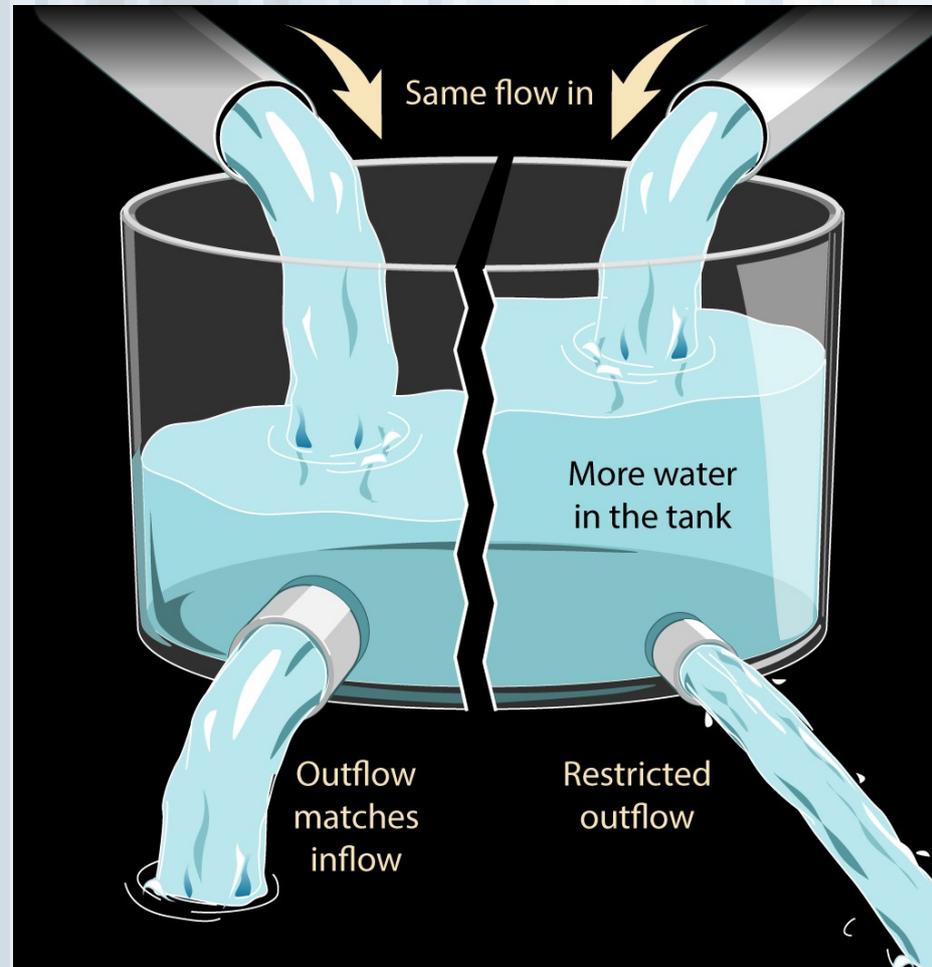


MODTRAN-Simulationen: vorindustrielles Niveau der Treibhausgase, erhöhte Konzentration von Treibhausgasen, erhöhte Konzentration und Temperatur

→ Um alle Sonnenenergie wieder abstrahlen zu können, muss die Oberflächentemperatur  $T_{OF}$  dann heißer werden

# Analogie

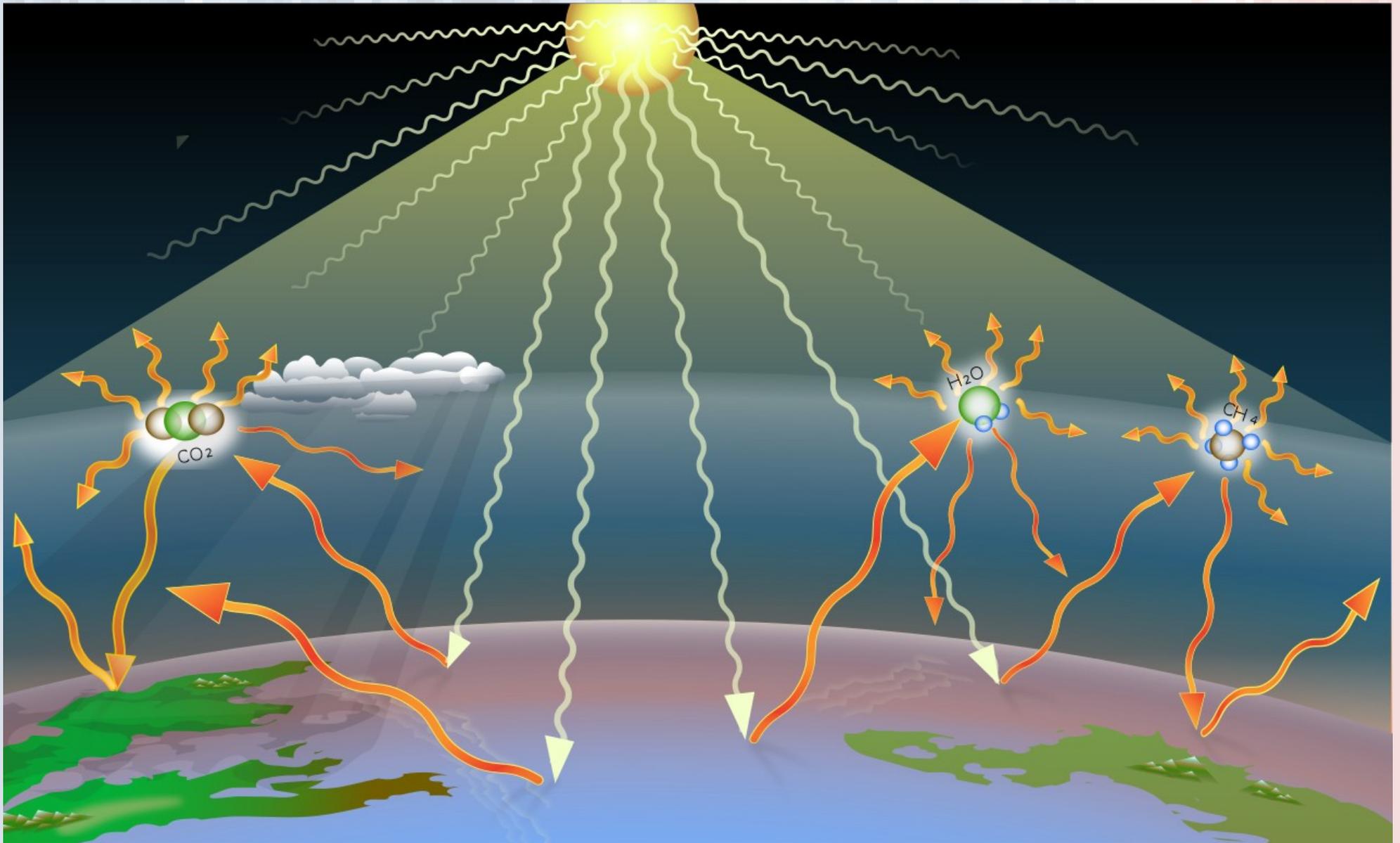
## Treibhauseffekt durch geringere Abstrahlung



Wasserhöhe im Tank entspricht höherer Temperatur (Skeptical Science: CC BY 3.0)

# Treibhausgase

- Verschiedene Gase tragen zum Treibhauseffekt bei



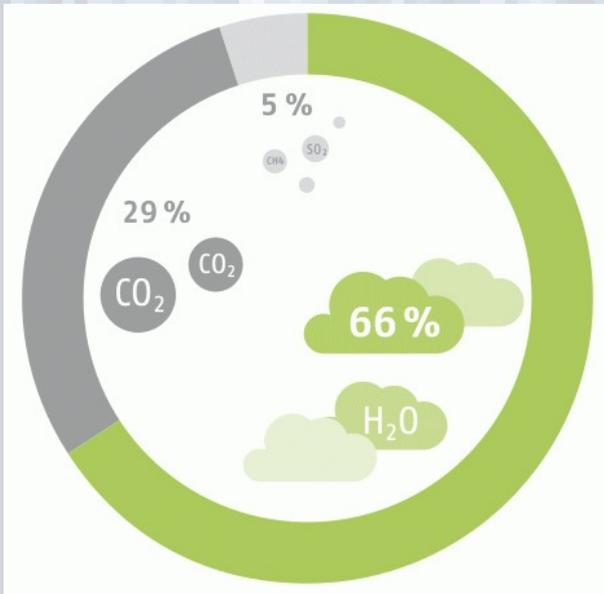
# Quiz

Welches Treibhausgas hat derzeit global den größten Effekt?

- CO<sub>2</sub>
- Methan
- Lachgas
- Wasserdampf
- Sauerstoff
- FCKWs

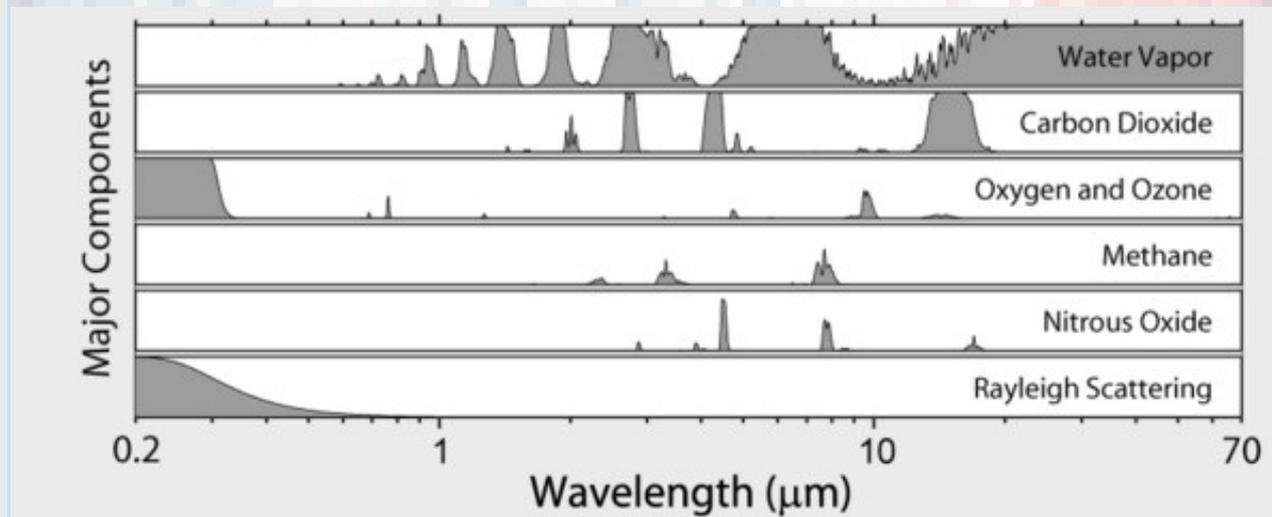
# Treibhausgase

- Die Absorption verschiedener Gase summiert sich auf

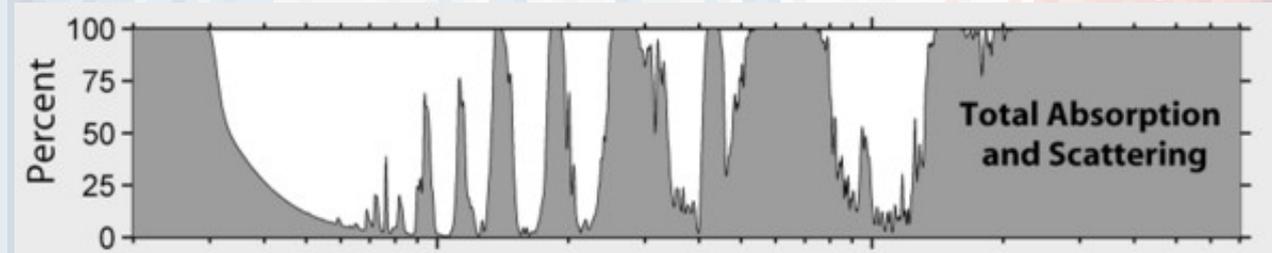


- Wasserdampf =
  - Wichtigster Regulator unseres Klimas
  - “Thermostat” der Erde

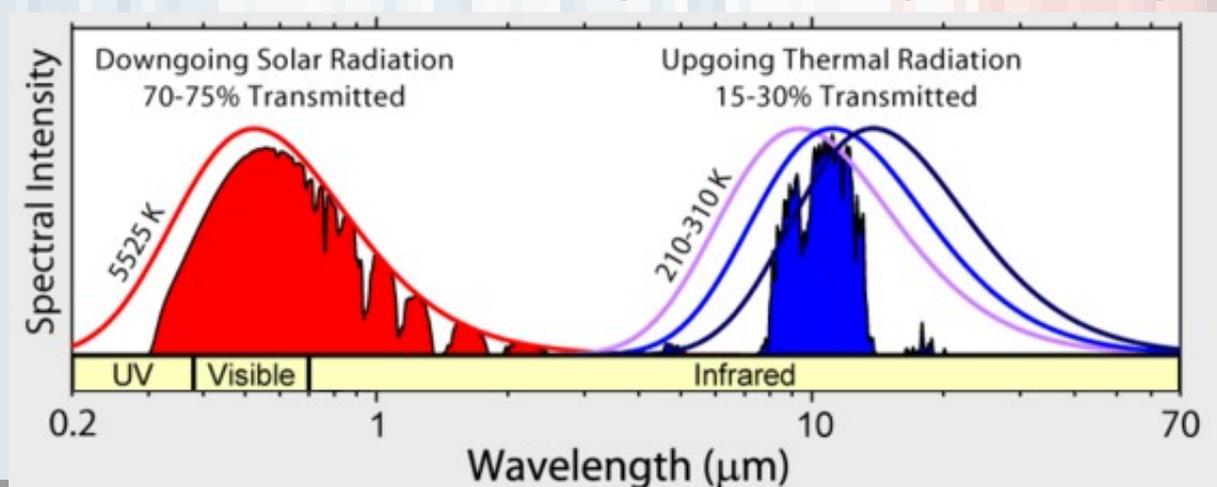
Durchlässigkeit einzelner Gase



Gesamtatmosphäre



Resultierende Spektren für Input und Output



# Menschengemacht: CO<sub>2</sub>



Foto: Oliver Berg

# CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre

## Global CO<sub>2</sub> atmospheric concentration

Global mean annual concentration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) measured in parts per million (ppm).

Our World  
in Data



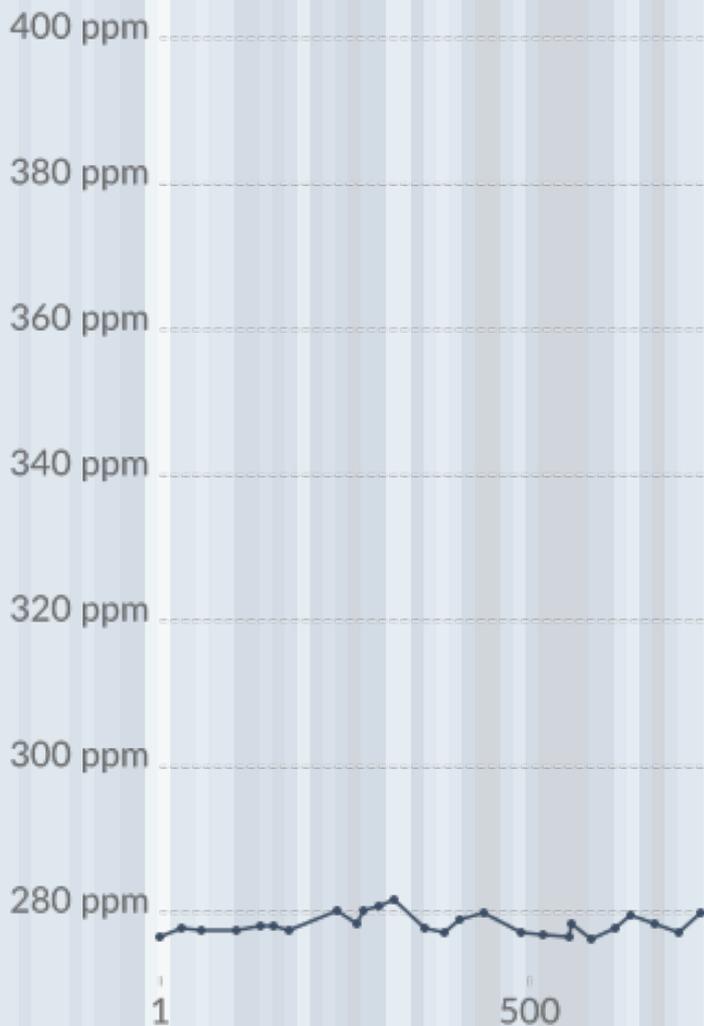
Source: NOAA/ESRL (2018)

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

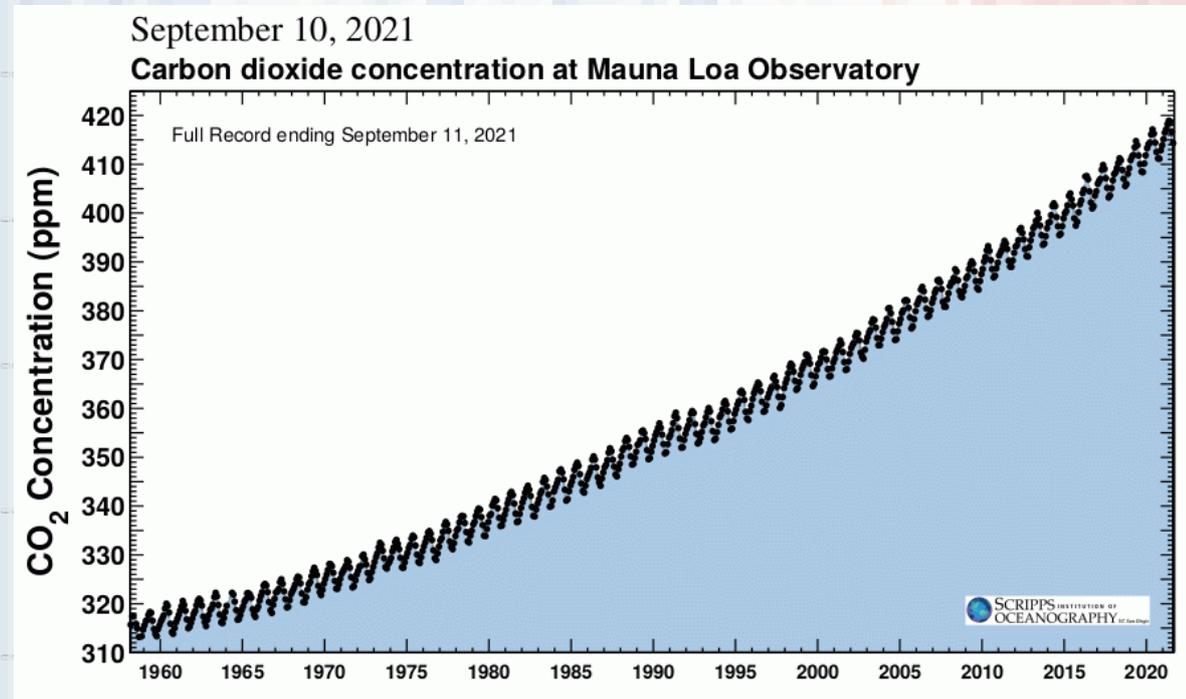
# CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre

## Global CO<sub>2</sub> atmospheric concentration

Global mean annual concentration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) measured in parts per million (ppm).



Source: NOAA/ESRL (2018)



OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

# Einfluss auf $T_{OF}$

**EXXON** RESEARCH AND ENGINEERING COMPANY  
 P.O. BOX 101, FLORHAM PARK, NEW JERSEY 07932

M. B. GLASER  
 Manager  
 Environmental Affairs Programs

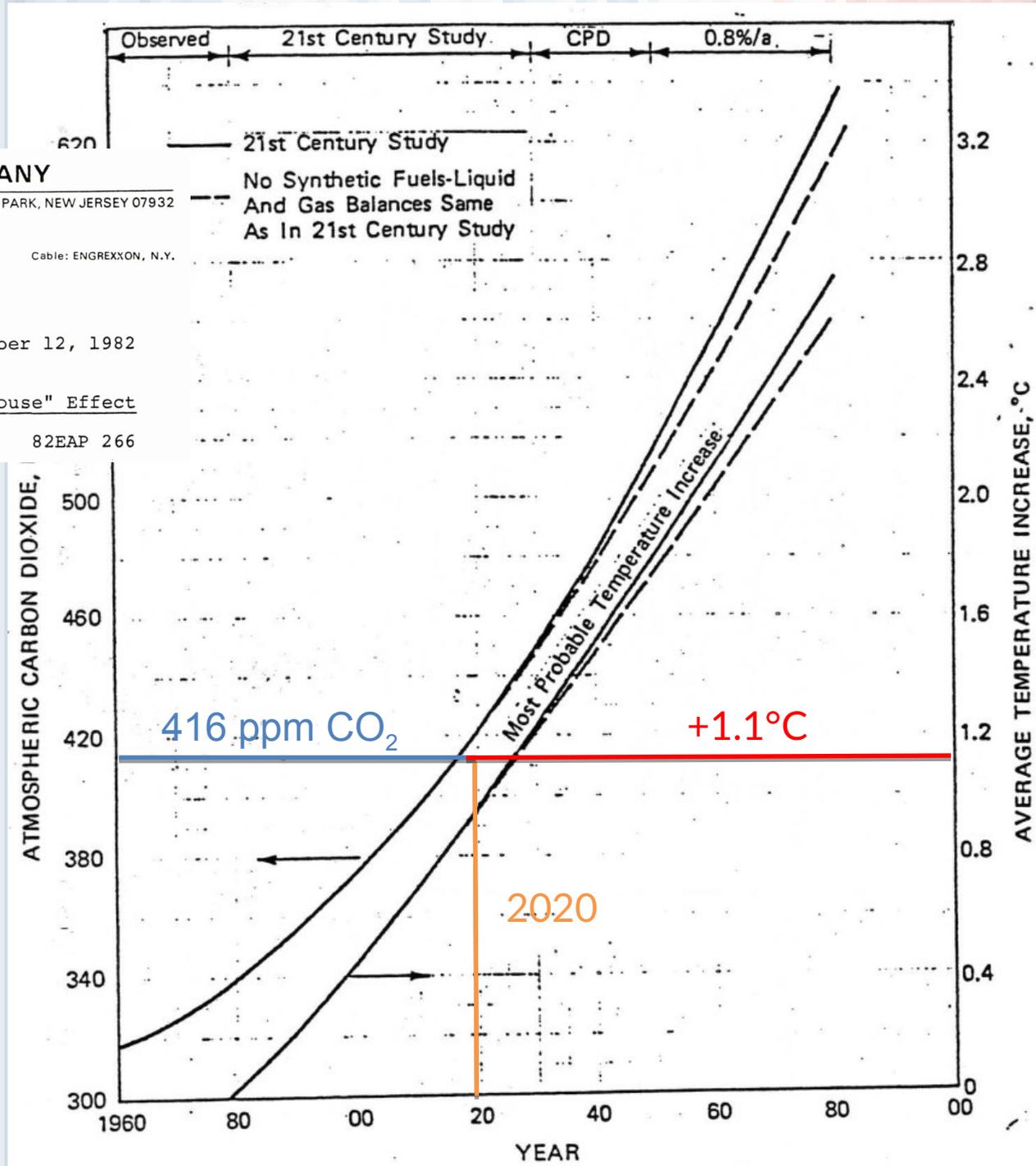
Cable: ENGREXXON, N.Y.

November 12, 1982

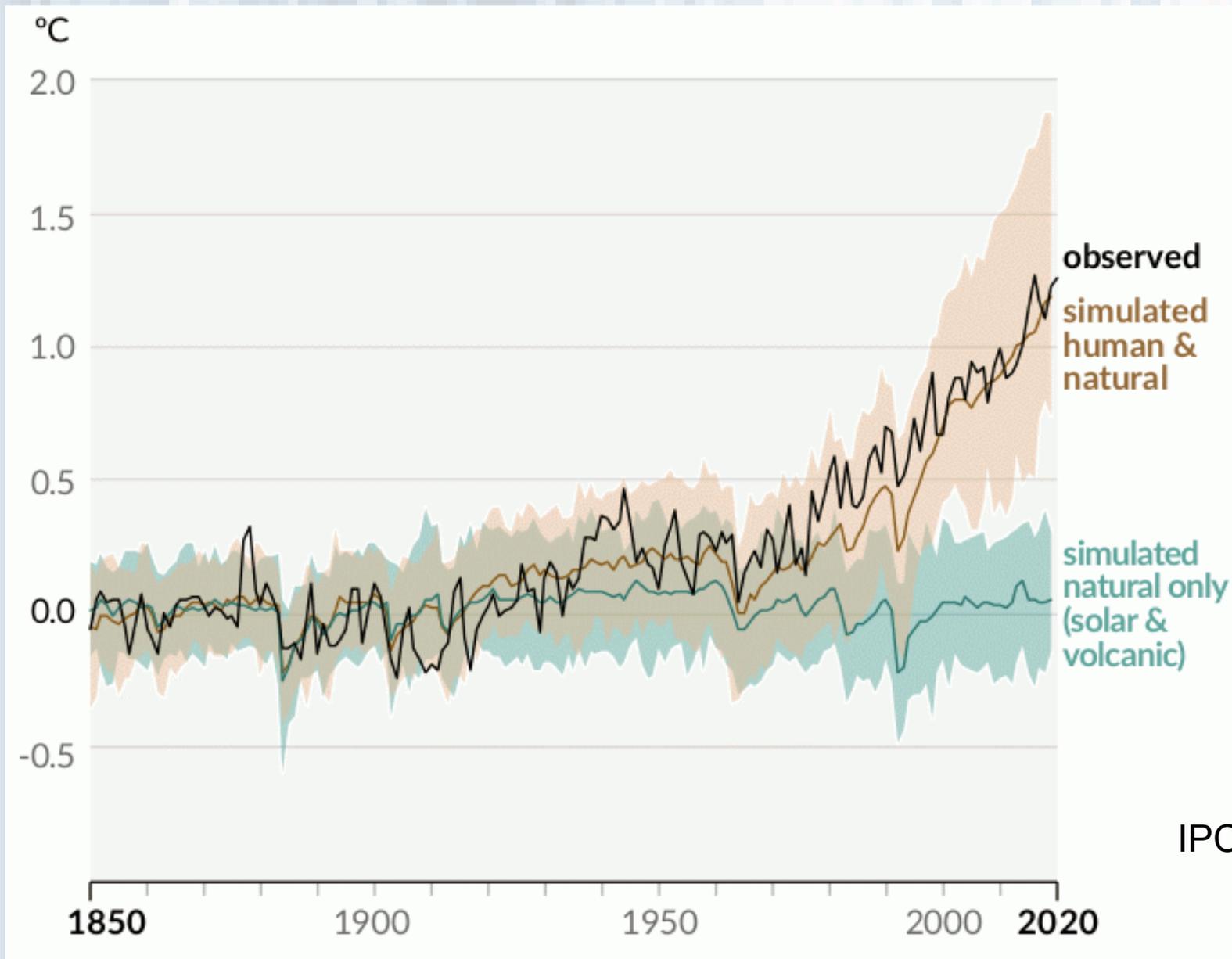
CO<sub>2</sub> "Greenhouse" Effect

82EAP 266

- 1982: Abschätzung der Temperaturentwicklung durch EXXON bei weiterhin erdölbasiertem Wirtschaften



# Detaillierte Entwicklung

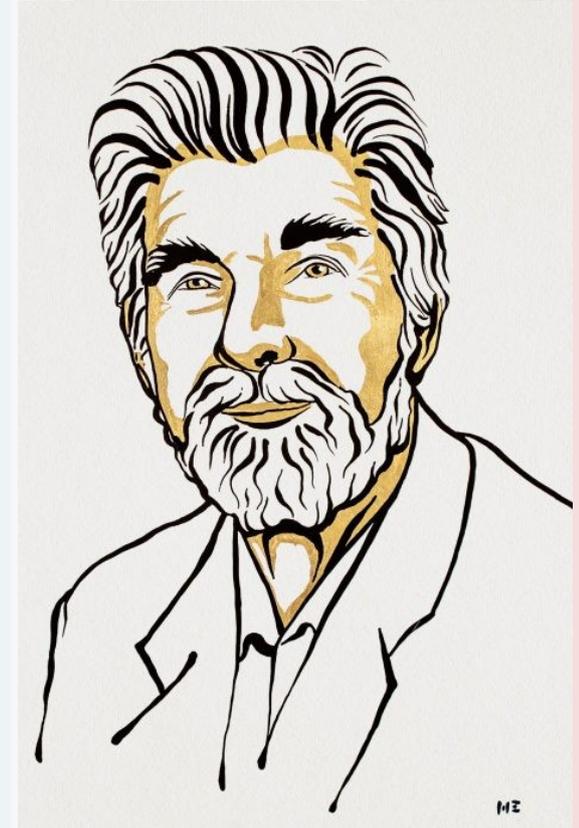


# Brandaktuell

- Nobelpreis für Physik 2021:  
(zusammen mit Giorgio Parisi)



Syukuro Manabe



Klaus Hasselmann

- Arbeiten aus 1960-70er-Jahren: **Auch für ein komplexes chaotisches System, wie die Erdatmosphäre, kann man die Gesamtentwicklung zuverlässig vorhersagen und die Unsicherheiten klar quantifizieren.**

# Quiz

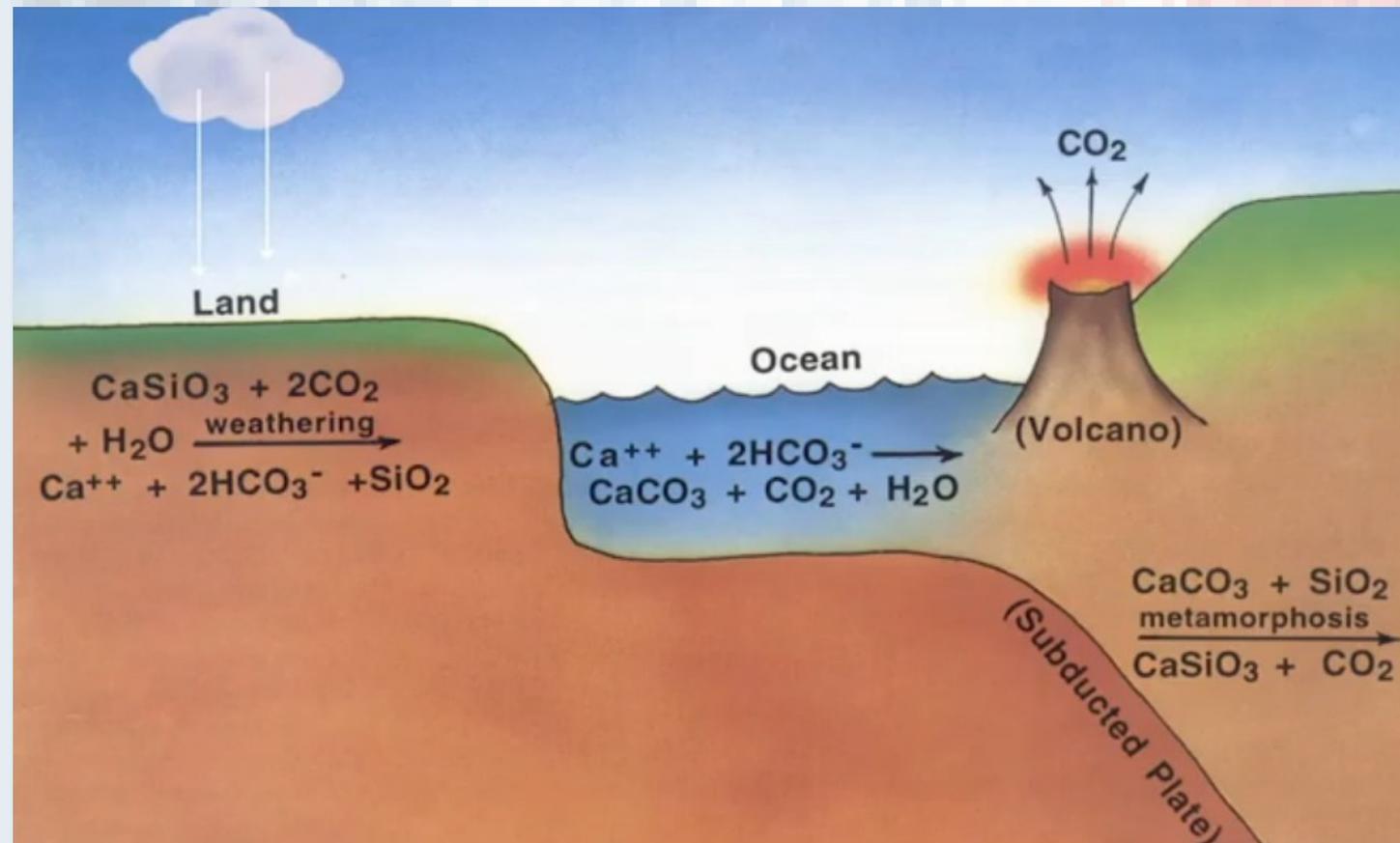
Wenn wir heute aufhören, CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre zu entlassen, wann wird all das CO<sub>2</sub> wieder gebunden sein?

- 0.5 Jahre
- 5 Jahre
- 50 Jahre
- 500 Jahre
- 5000 Jahre
- 50000 Jahre
- 500000 Jahre

# Der Silikat-Karbonat-Zyklus

Zusammen mit Wasser werden Silikate in Carbonate abgewandelt.

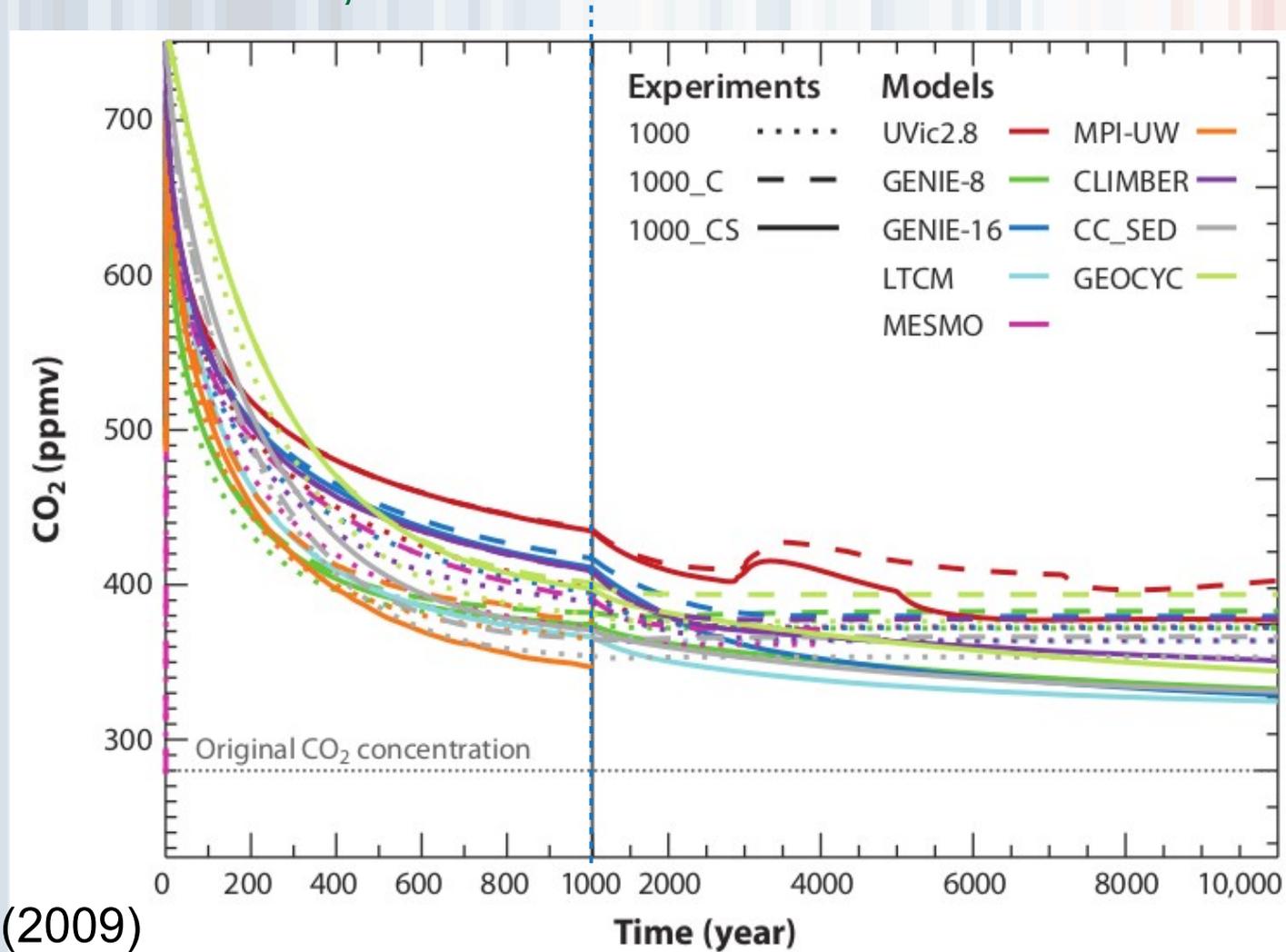
- Das  $\text{CO}_2$  wird in Gestein gebunden. Die Verwitterung läuft schneller, wenn es wärmer wird.
- Zurück in die Luft durch Vulkane
- Gesamter Zyklus: ca. 500000 Jahre



Grinspoon (2020)

# Der Silikat-Karbonat-Zyklus

Hälfte in 500 Jahren abgebaut durch Bindung in Ozeanen, Oberflächen, Muscheltieren, ...



Archer et al. (2009)

# Nebeneffekt

- Versauerung und Erwärmung der Ozeane
  - Korallensterben (Korallenbleiche):

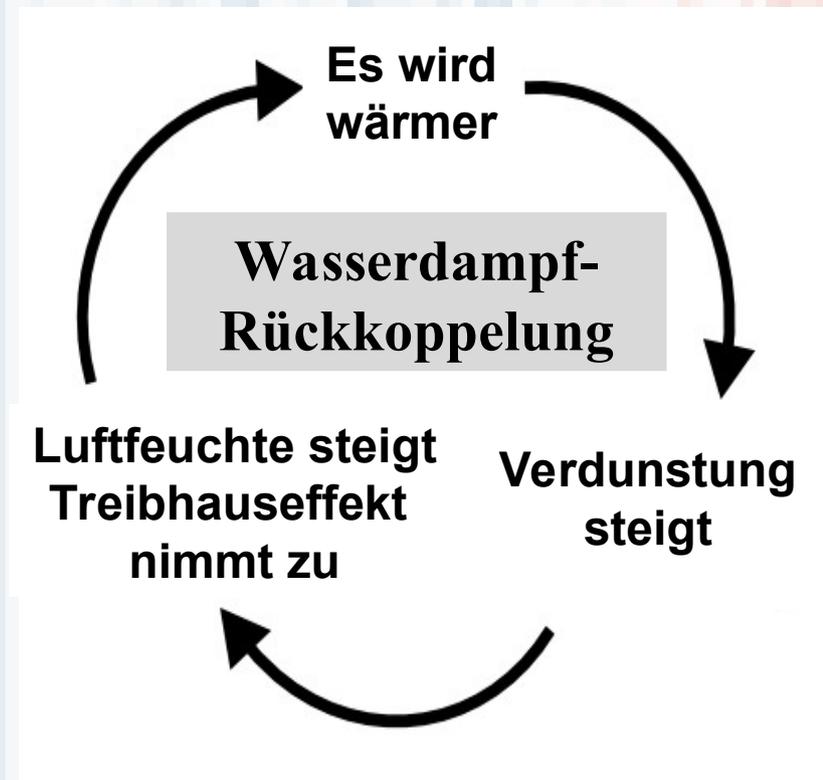
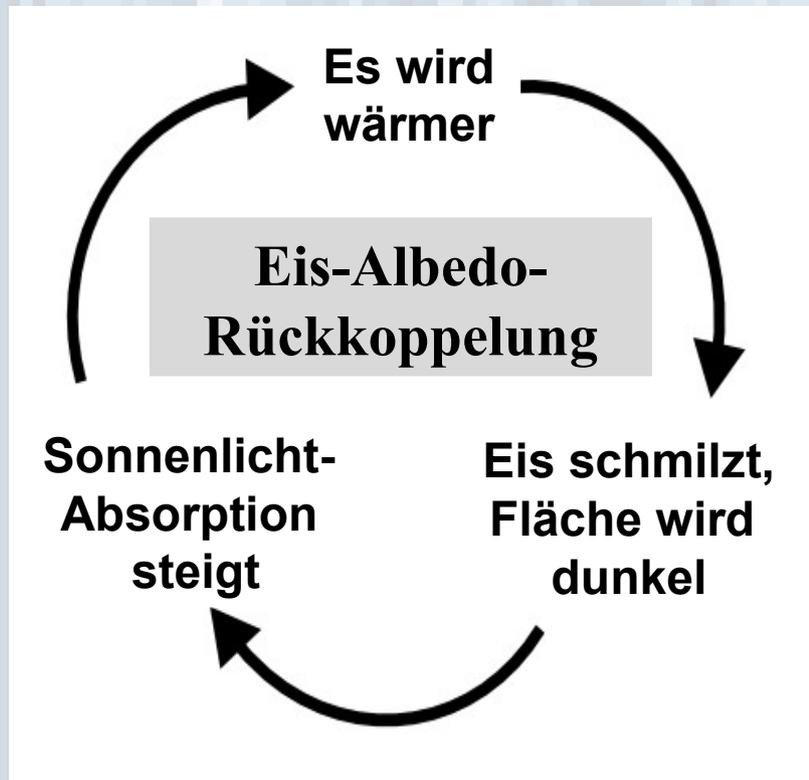


Bilder:

Holobionics 2016, CC BY-SA 4.0, Lodestone Reef, Elapied at French Wikipedia, CC-BY-SA FR

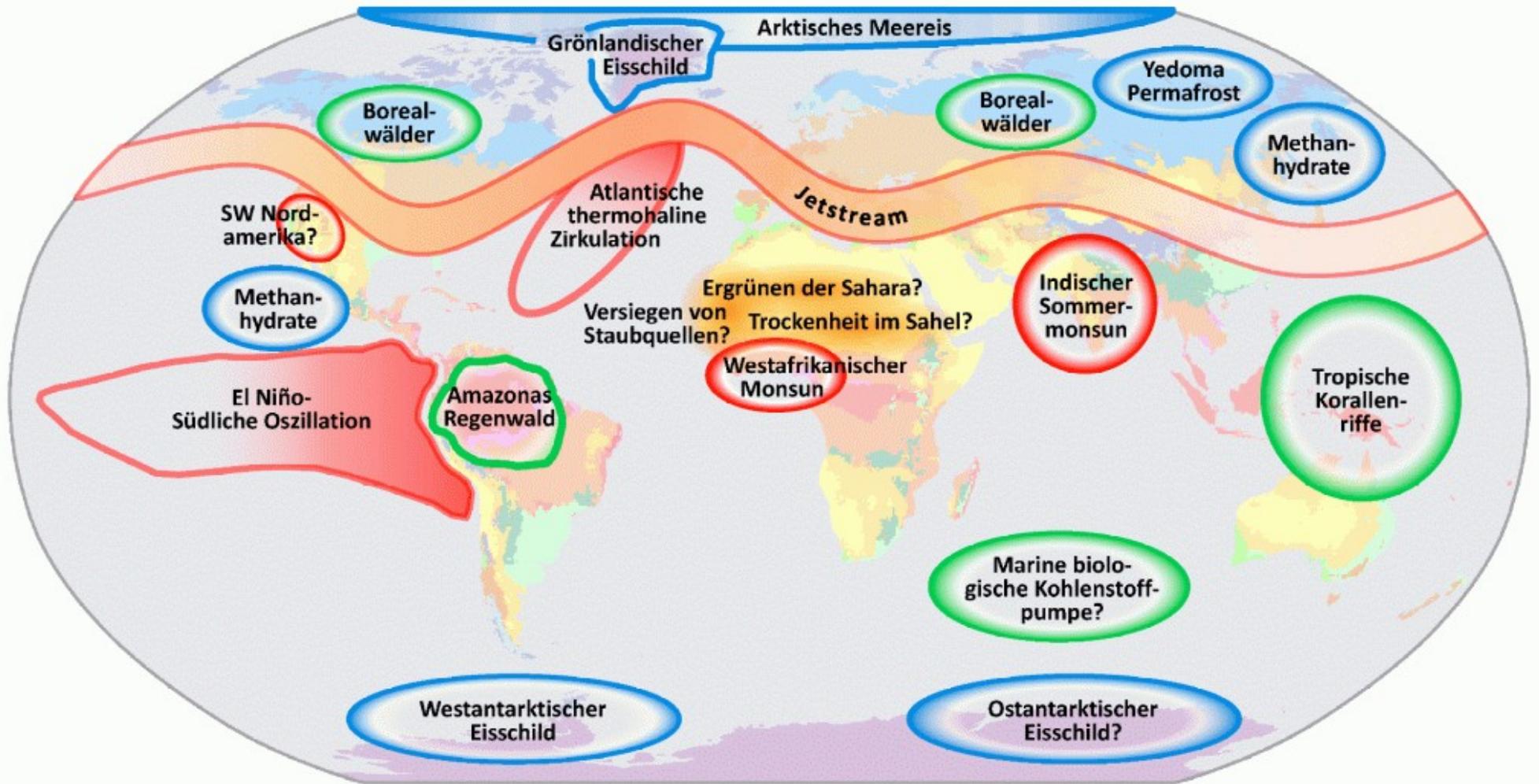
# Primäre Wirkung

- Wechselwirkung mit dem Wasserhaushalt



- Viele Prozesse selbstverstärkend
  - klimatische Kipppunkte werden wahrscheinlicher
  - Hauptunsicherheit in Klimamodellen

# Bekannte Kippelemente im Klima



- Eiskörper
- Strömungssysteme
- Ökosysteme



Große Ophoff (2020)

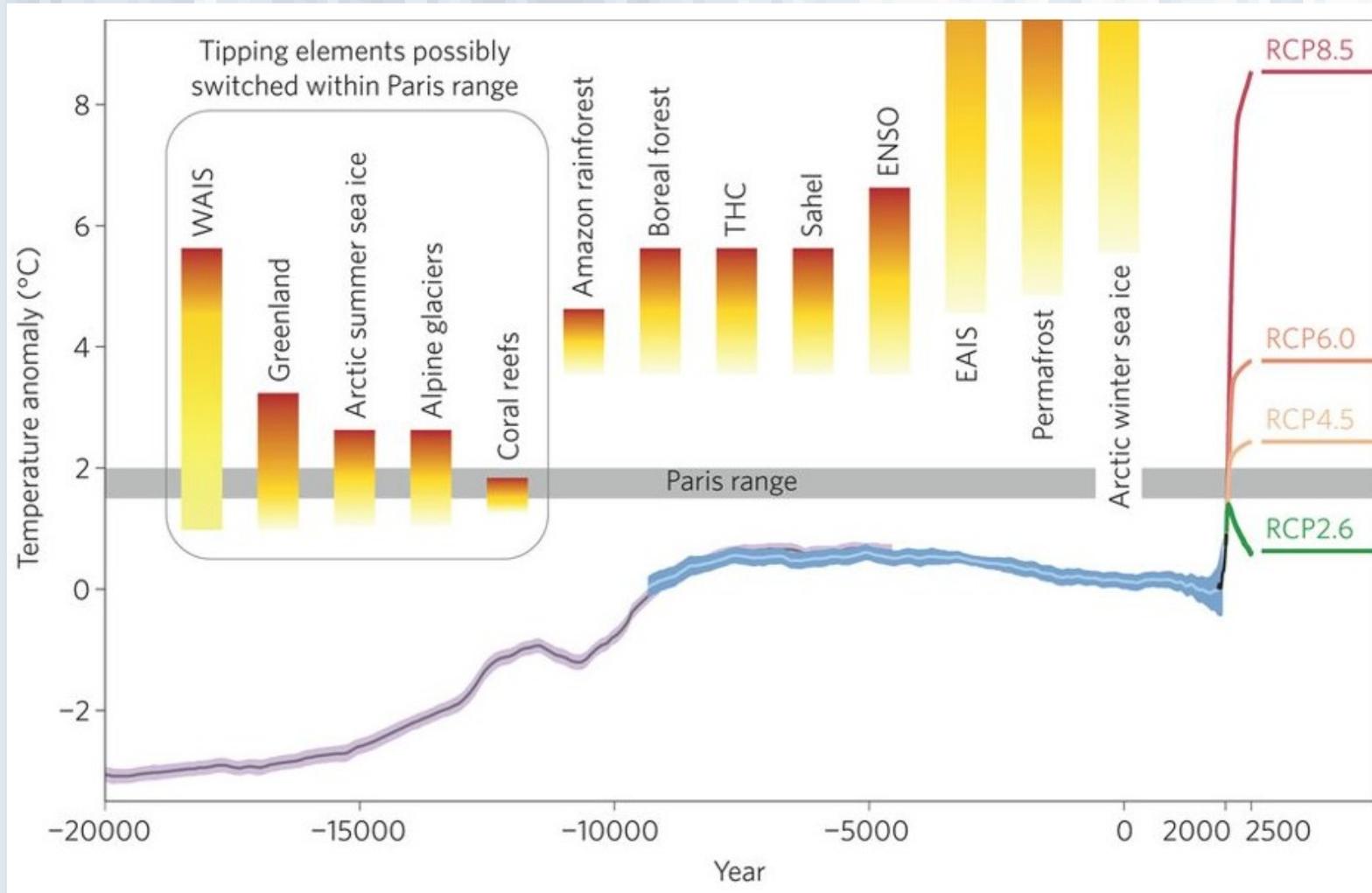
# Quiz

Bei welchem Temperaturanstieg wird der größte Teil des arktischen Öko-Systems zerstört werden?

- 1.5Grad
- 2 Grad
- 3 Grad

# Bekannte Kippelemente im Klima

Temperaturentwicklung der letzten 22000 Jahre mit bekannten Kippelementen:



Schellnhuber et al. (2016)

Nur Begrenzung auf  $< 1.5^\circ$  verhindert meiste Kippunkte

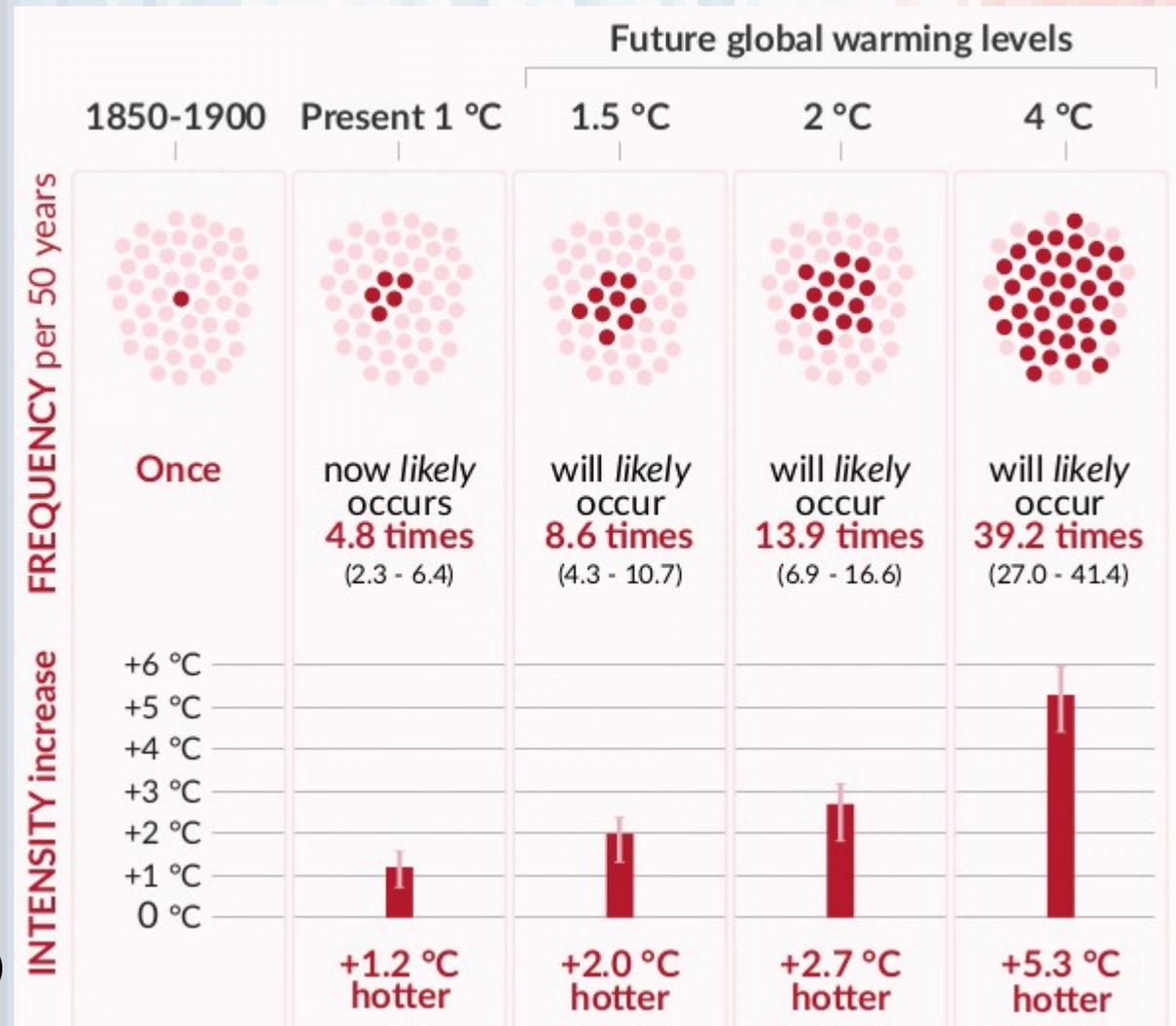
Farbe = Wahrscheinlichkeit des “Kippens”,

WAIS/EAIS=West/East Antarctic Ice Sheet,  
THC=ThermoHaline Circulation,  
ENSO=El Niño Southern Oscillation

# Auswirkungen -Extremhitze

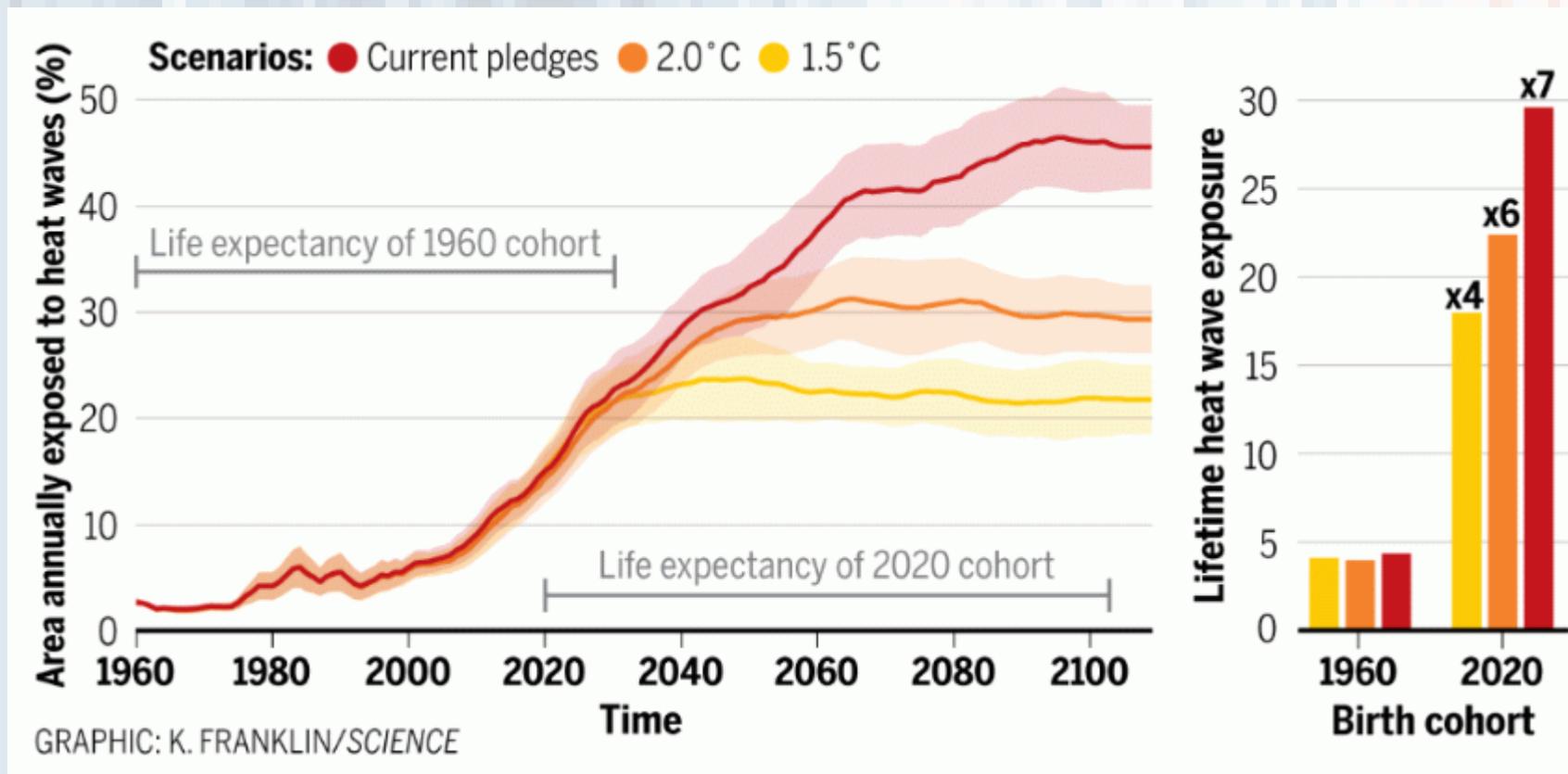
- Bisheriger globaler Temperaturanstieg um 1.1° hat Deutschland im Sommer schon um 1.8° erwärmt (IPCC Land use report 2019)
- Hitzesommer, der früher alle 50 Jahre auftrat wird normal

IPCC AR6 (2021)



# Extremhitze

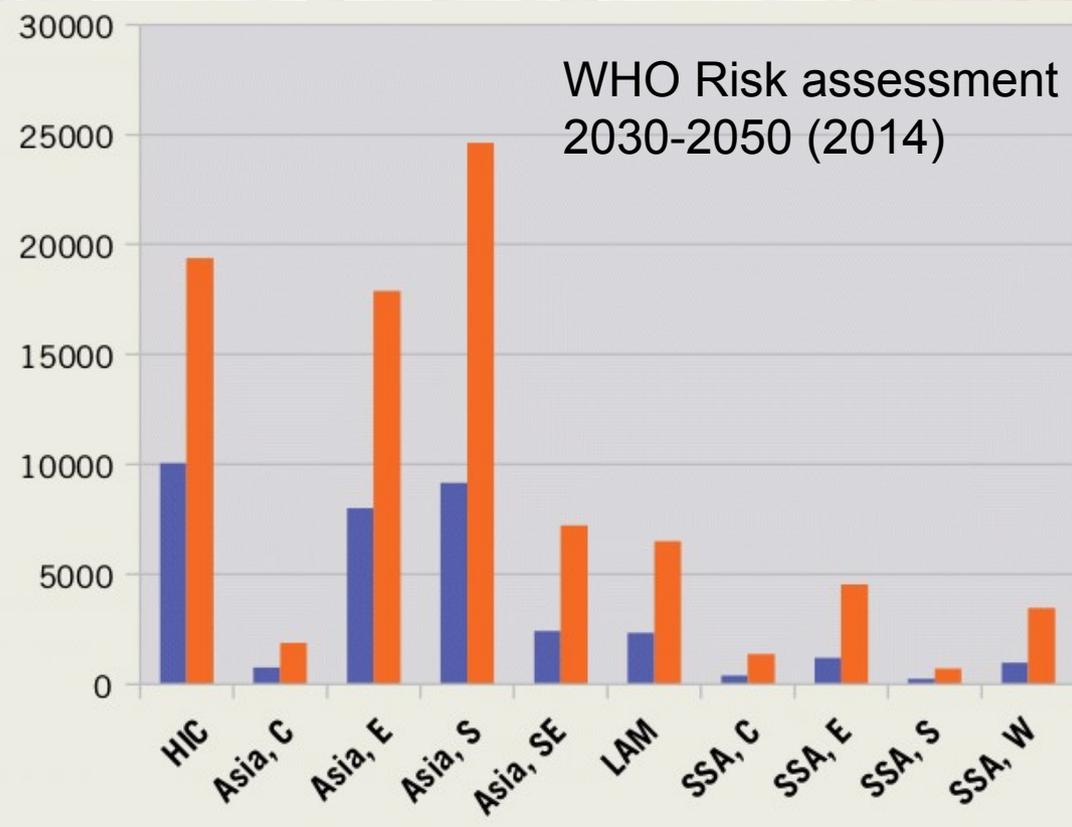
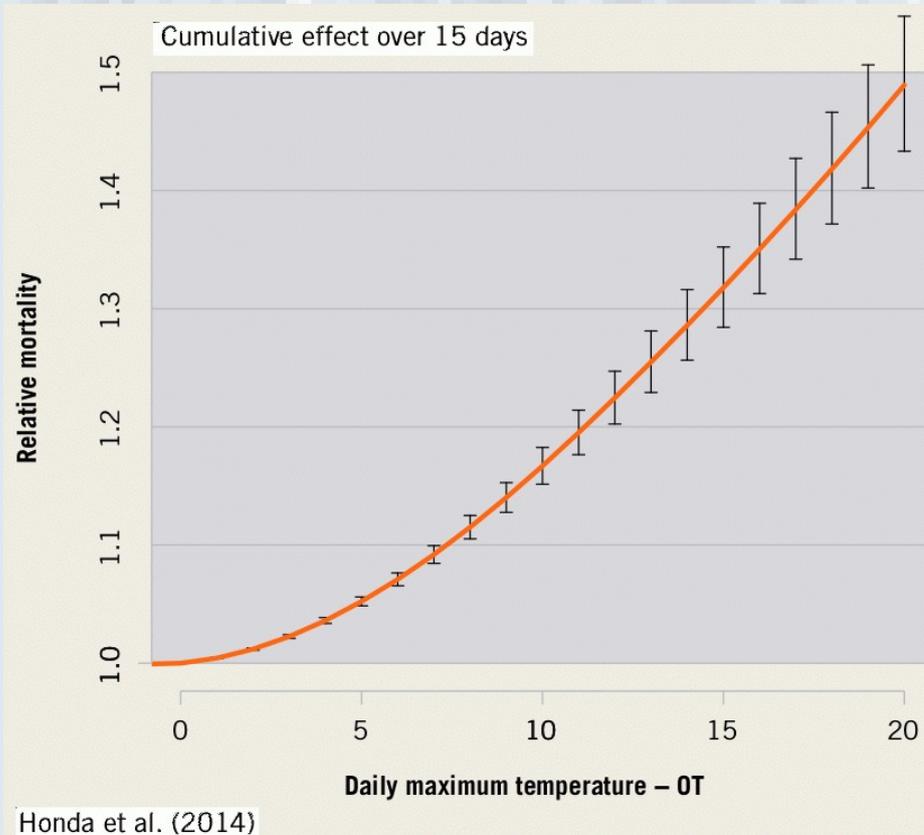
Heutige geborene Generationen werden 4 bis 7mal mehr Hitze-  
wellen erleben als die Generation, die für die Klimakatastrophe  
verantwortlich ist



Thiery et al. (2021)

# Ergebnis

- **Hitzetote:**
  - In entwickelten Ländern hauptsächlich ältere Menschen
  - Deutschland 2018: 1246 zusätzliche Tote (Germanwatch 2020)

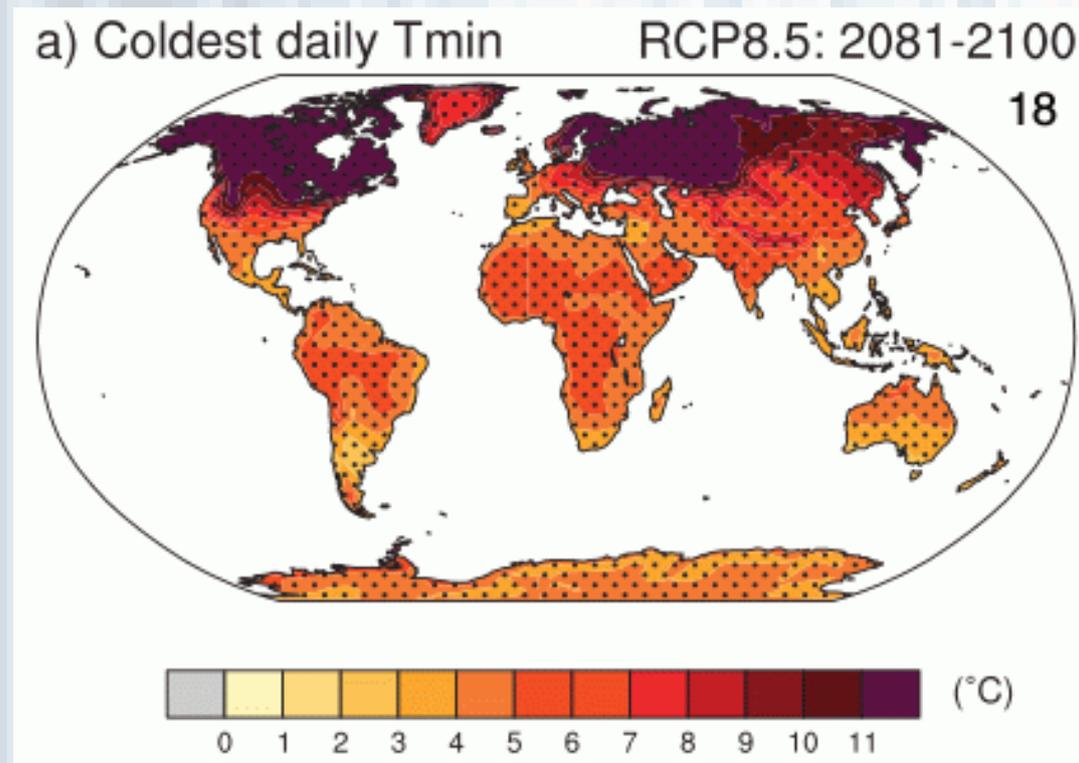


Einfluss steigender Temperatur auf die Mortalitätsrate über 65-Jähriger

Zusätzliche Hitzetote 2030 (blau) und 2050 (orange) unter den über 65-Jährigen

# Und im Winter?

- **Extremtemperaturen im Winter:**
  - Eine leichte Erwärmung macht viel mildere Winter

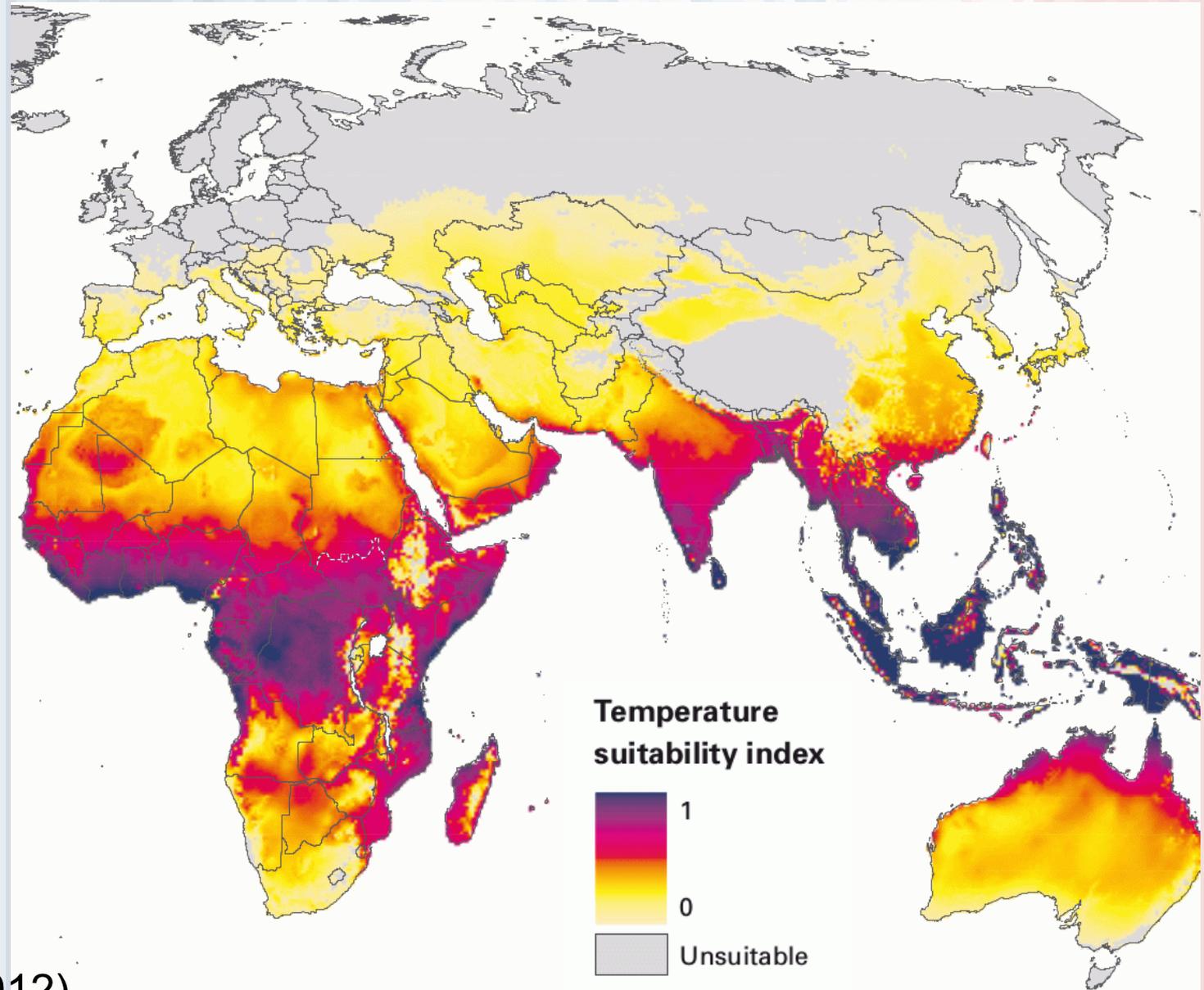


4°-Szenario des  
IPCC AR5 (2013)

- Ausbreitung von Schädlingen und Krankheiten

# Ausbreitungswege für Krankheiten

- Beispiel: Malaria

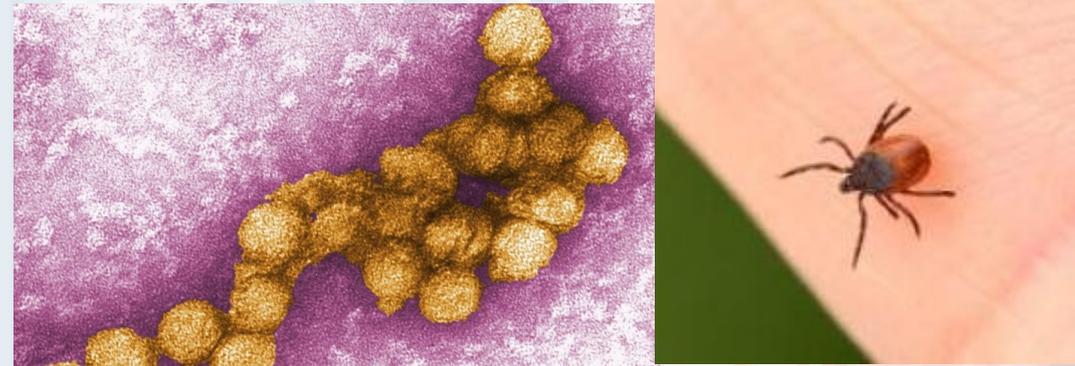


WHO Health Atlas (2012)

# Ausbreitungswege für Krankheiten

- Deutschland:

- West-Nil-Fieber (seit 2019)
- Mehr Zeckenkrankheiten 2020:

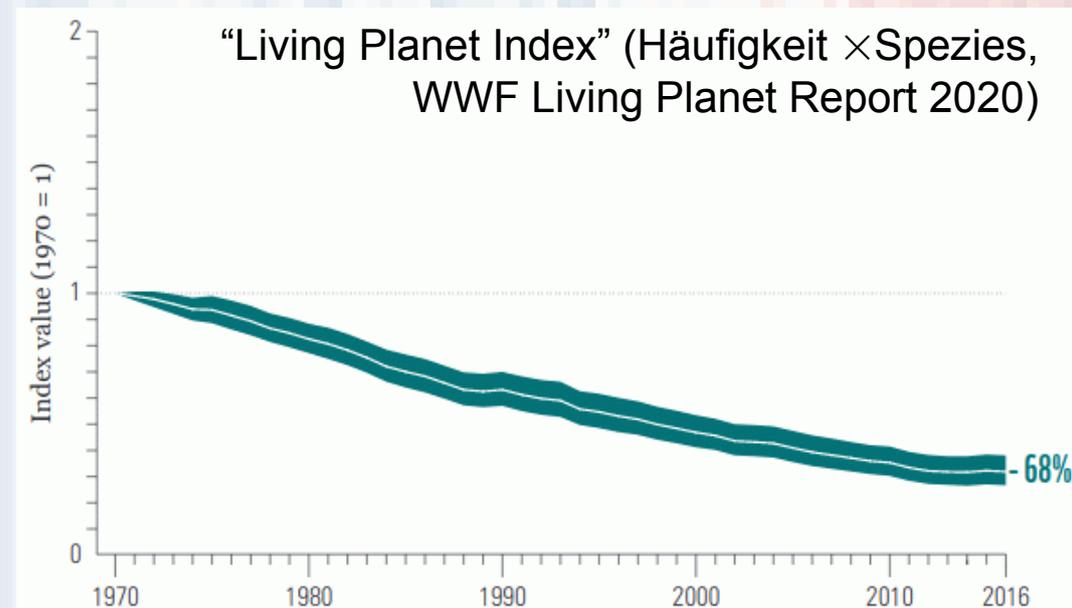


Borreliose, FSME, bald Zecken-Fleckfieber, subtrop. Zeckenstichfieber

- Global: Malaria, Durchfallerkrankungen, Dengue-Fieber

- Gleichzeitig geschwächte Abwehr durch **Reduktion der Biodiversität**

Biodiversität wäre essenziell für Bandbreite der Behandlungsmöglichkeiten



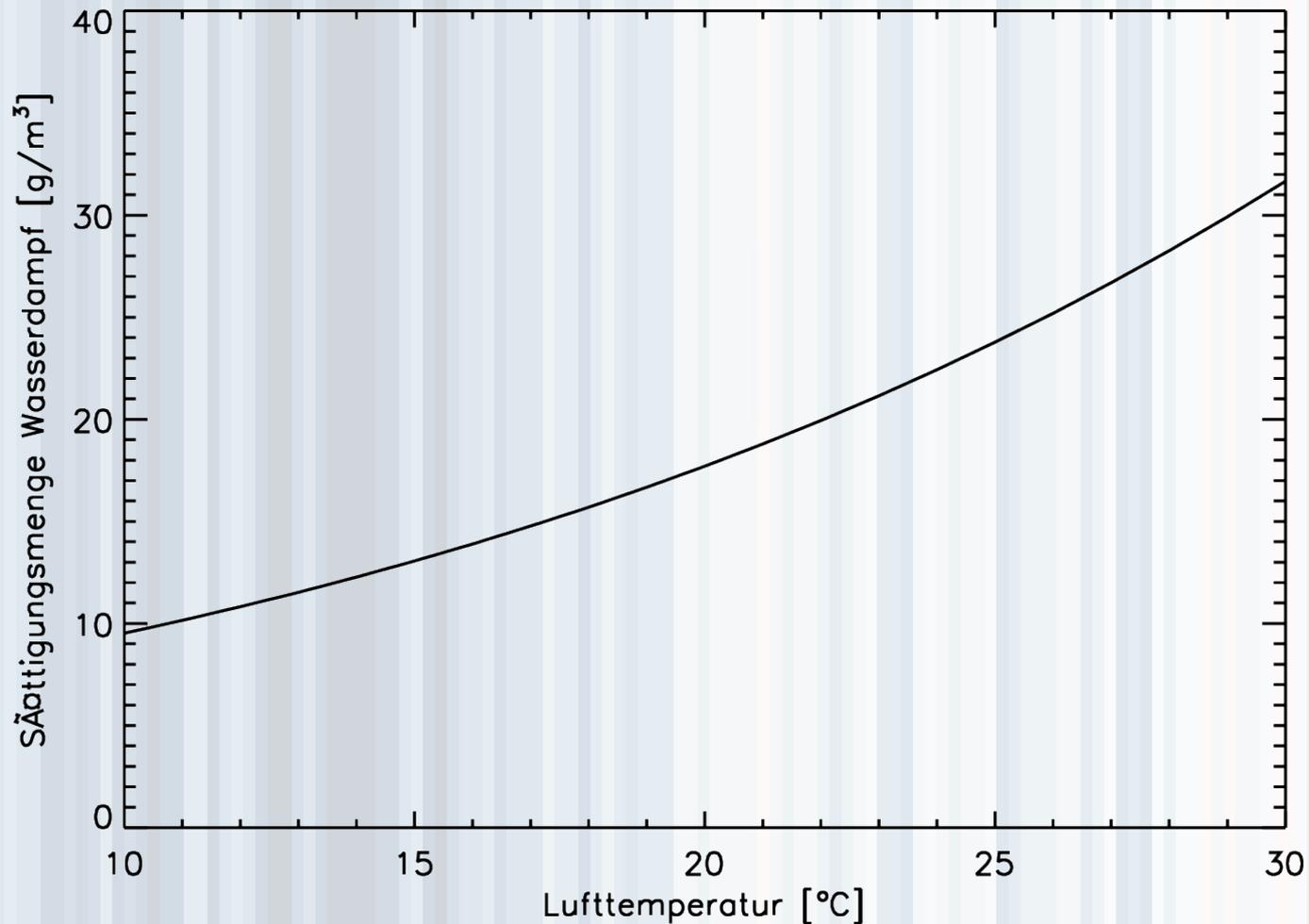
# Quiz

Wenn es wärmer wird wird es dann auch trockener?

- trockener
- Feuchte bleibt gleich
- nasser

# Wärmere Luft

- **Haupteffekt:** Clausius-Clapeyron-Gesetz

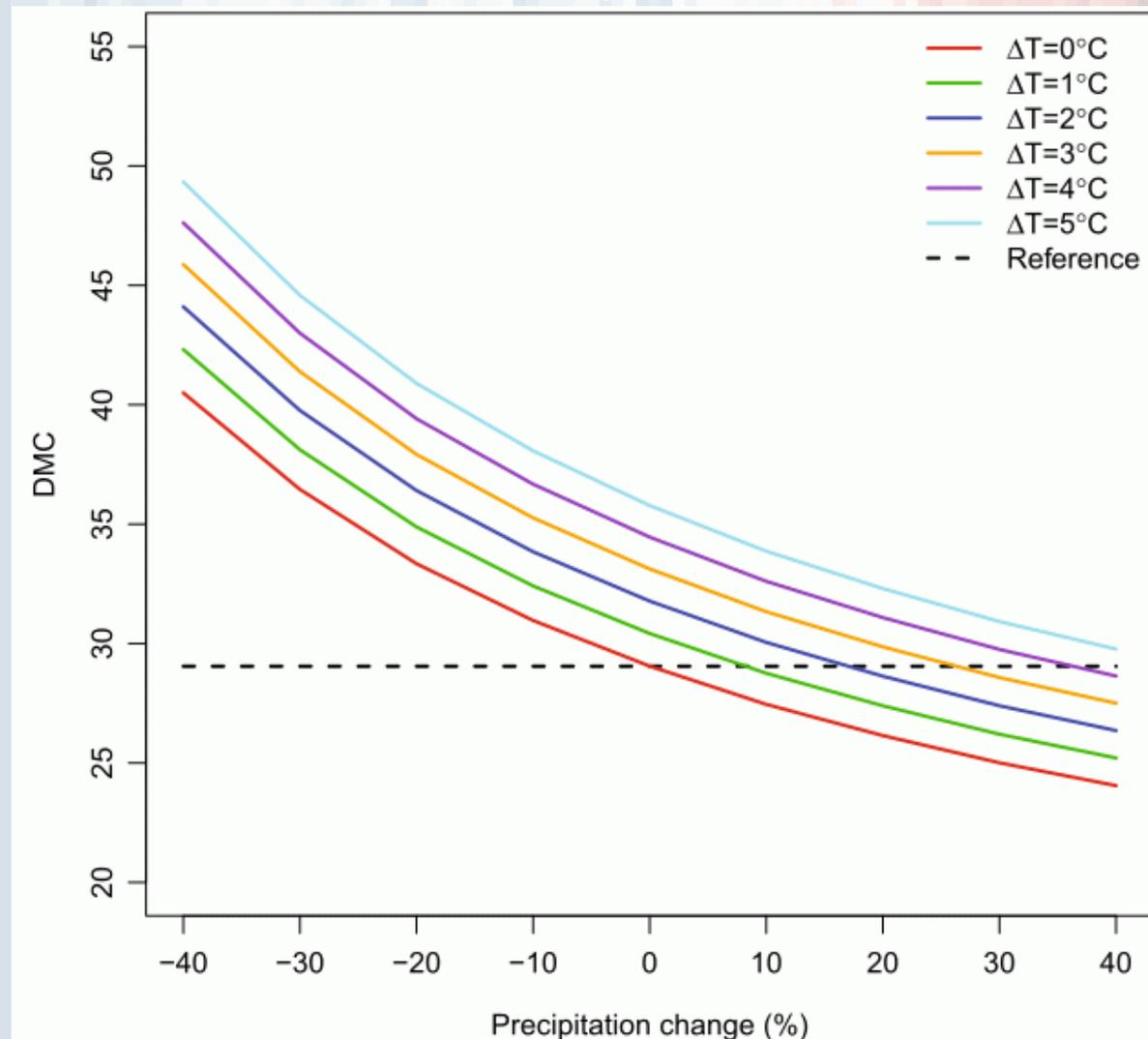


– pro 1° mehr nimmt die Luft 6.2% mehr Wasserdampf auf

- leicht höhere Zahl wenn man die Ausdehnung der Luft vernachlässigt

# Wärmere Luft

- **Haupteffekt:** Clausius-Clapeyron-Gesetz
  - pro 1° mehr nimmt die Luft 6.2% mehr Wasserdampf auf
- Austrocknung der Böden
- Müsste durch ca. 8% höhere Niederschläge kompensiert werden

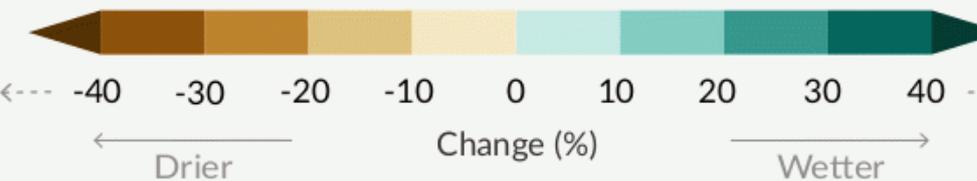
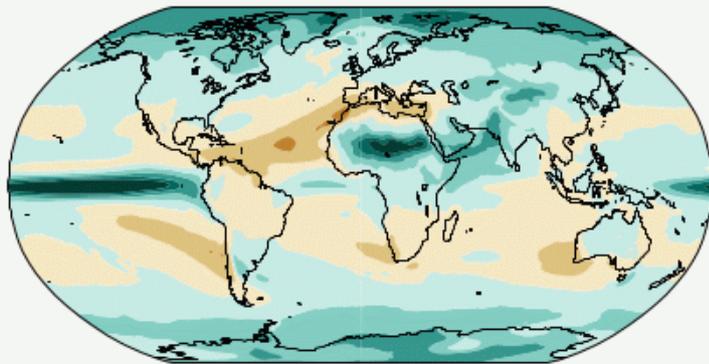


Bodenfeuchte bis 1.8m Tiefe in  
Abhängigkeit von Temperatur und  
Niederschlag (Flannigan et al. 2016)

# Niederschlag

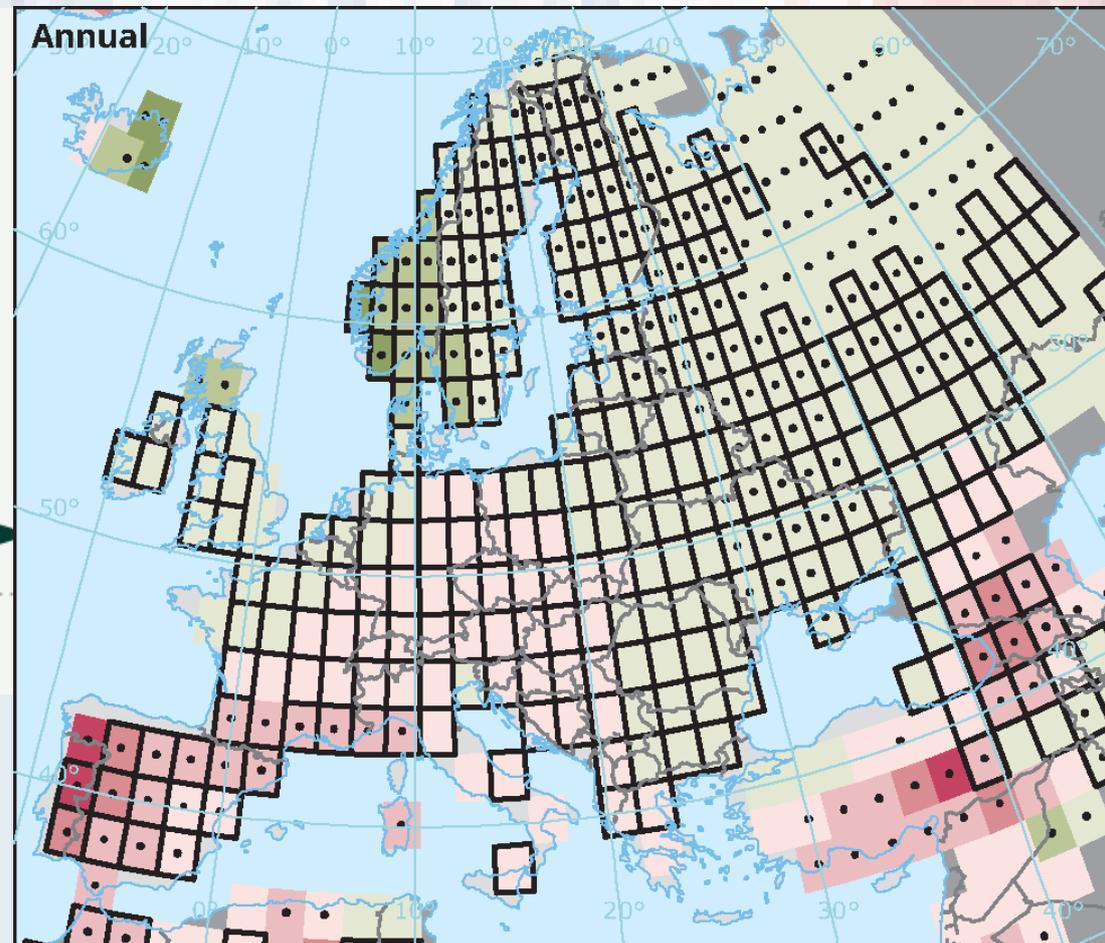
- Änderung durch die Klimaerwärmung:

Simulated change at 2 °C global warming



Berechnete globale Niederschlagsänderungen im 2°-Szenario (IPCC AR6 2021)

Tatsächlich beobachtete Niederschlagsänderungen der letzten 20 Jahre EEA (2017)



Annual precipitation (mm/decade)



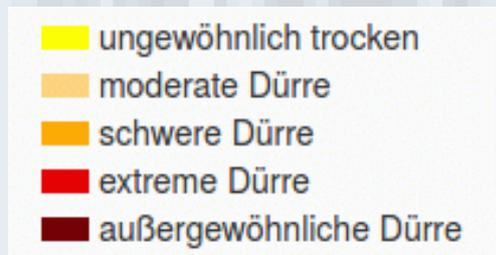
# Ergebnis: Trockenheit

- **Aktuell:**

- Deutschland

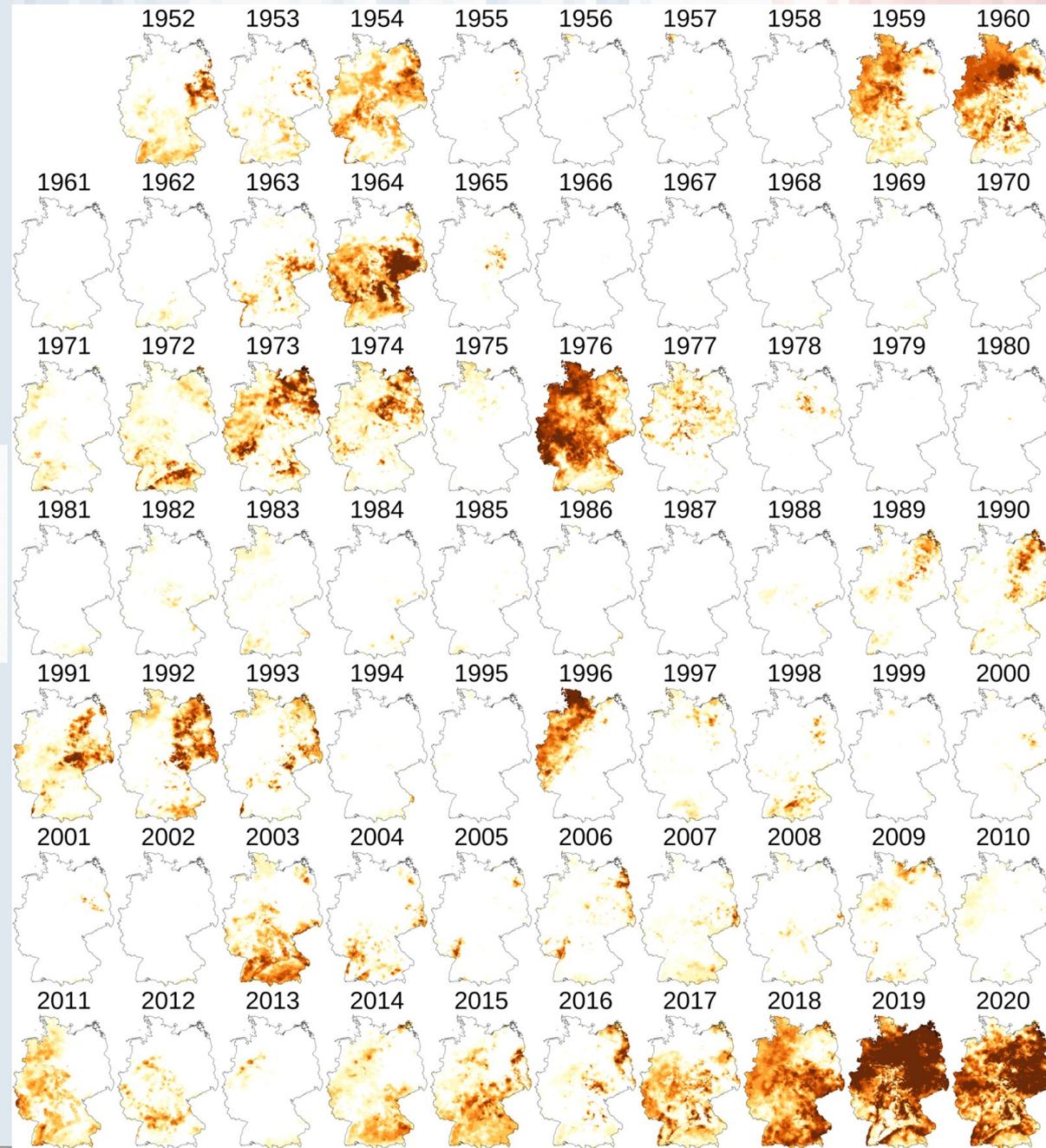
- Dürre im Gesamtboden

Helmholtz-Zentrum für  
Umweltforschung (UFZ)



- Ergebnis: Waldsterben

- Starke Auswirkungen auf  
Landwirtschaft



© UFZ-Dürremonitor/ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Friedrich Boeing

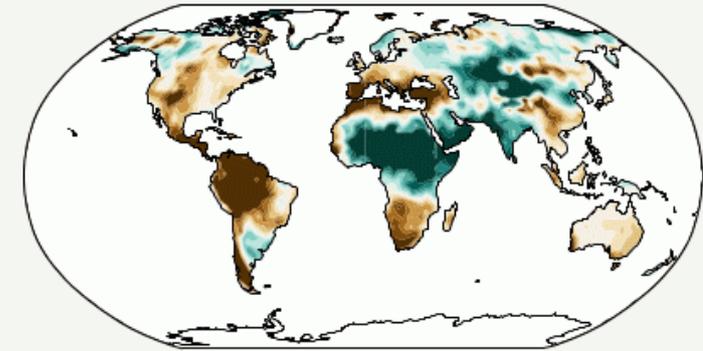
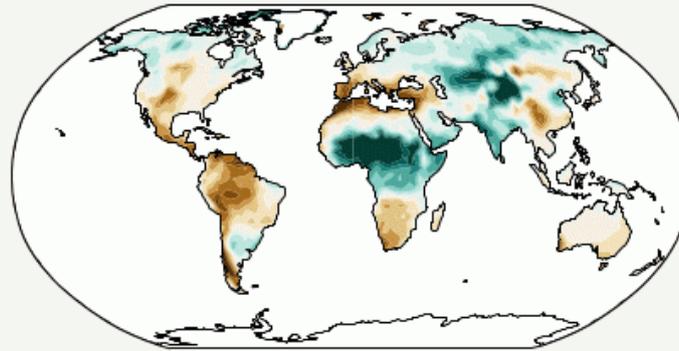
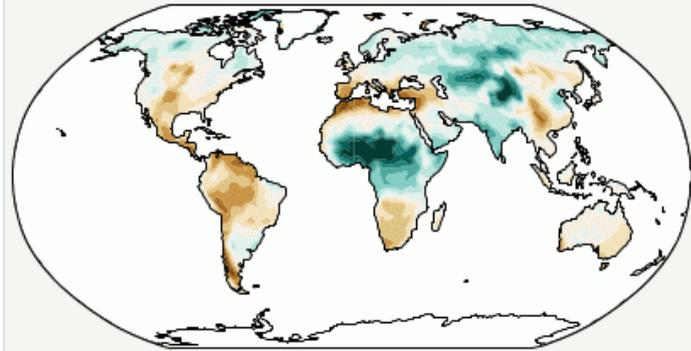
# Ergebnis: Trockenheit

- **Weltweit:** Vorhersagen

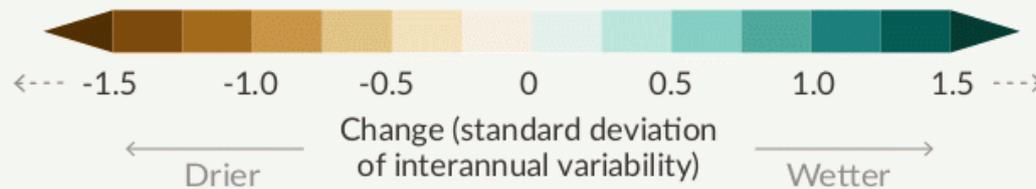
Simulated change at 1.5 °C global warming

Simulated change at 2 °C global warming

Simulated change at 4 °C global warming



Relatively small absolute changes may appear large when expressed in units of standard deviation in dry regions with little interannual variability in baseline conditions



IPCC AR6 (2021)

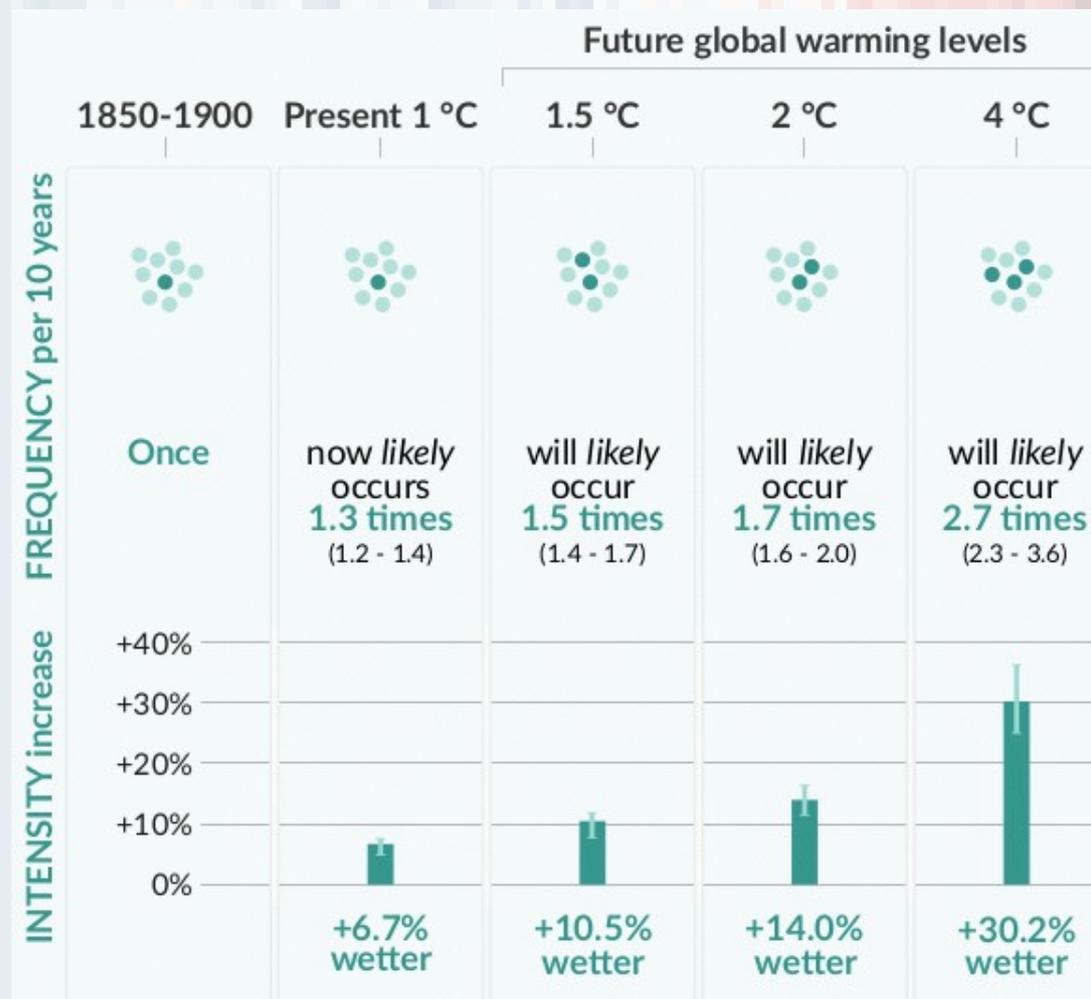
# Das Gegenteil - Starkregen

- Erhöhte Luftfeuchte fördert auch Starkregen



B265 in Blessem 16.7.2021

- Starkregenereignisse, die früher nur einmal in 10 Jahren auftraten, werden häufiger und stärker

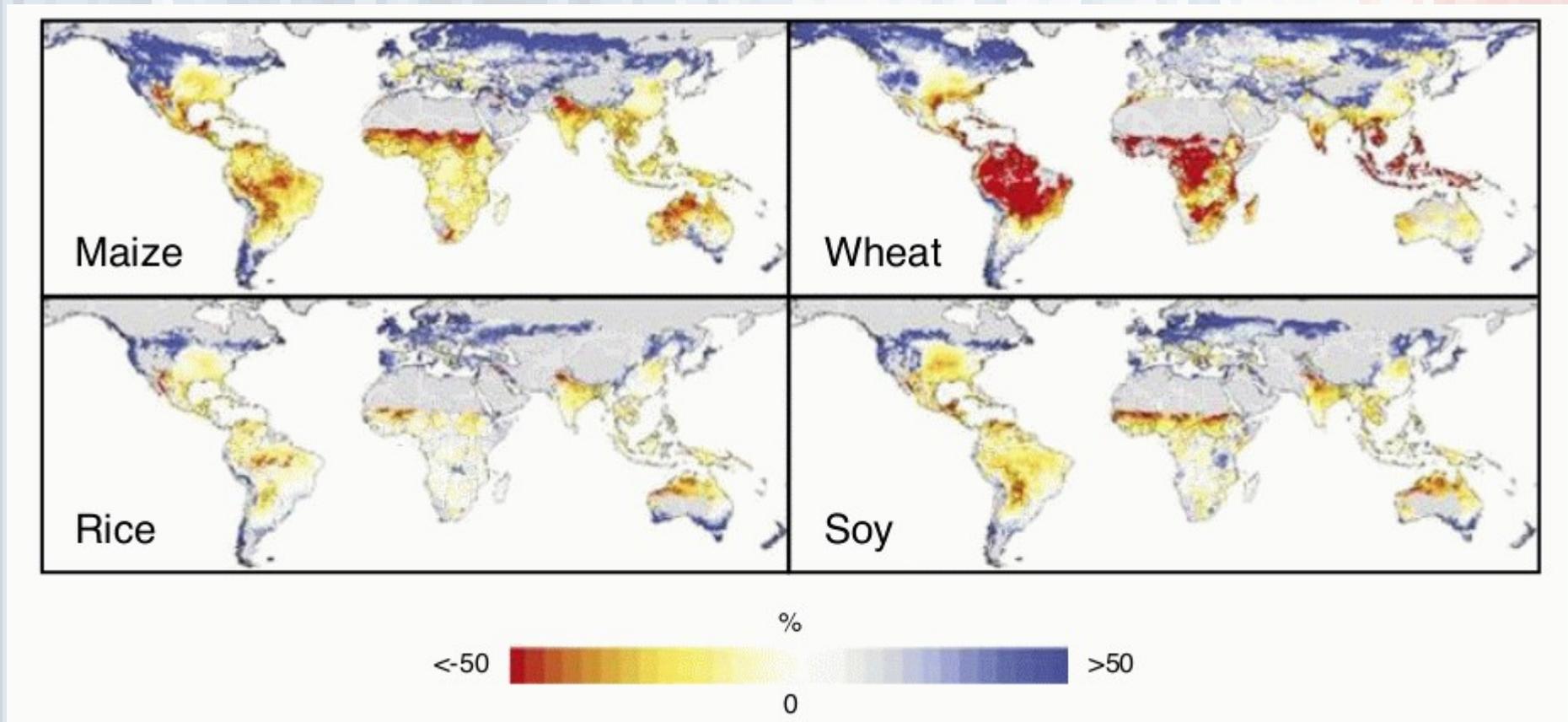


IPCC AR6 (2021)

# Nahrungsmittelproduktion

- Ertragsänderungen

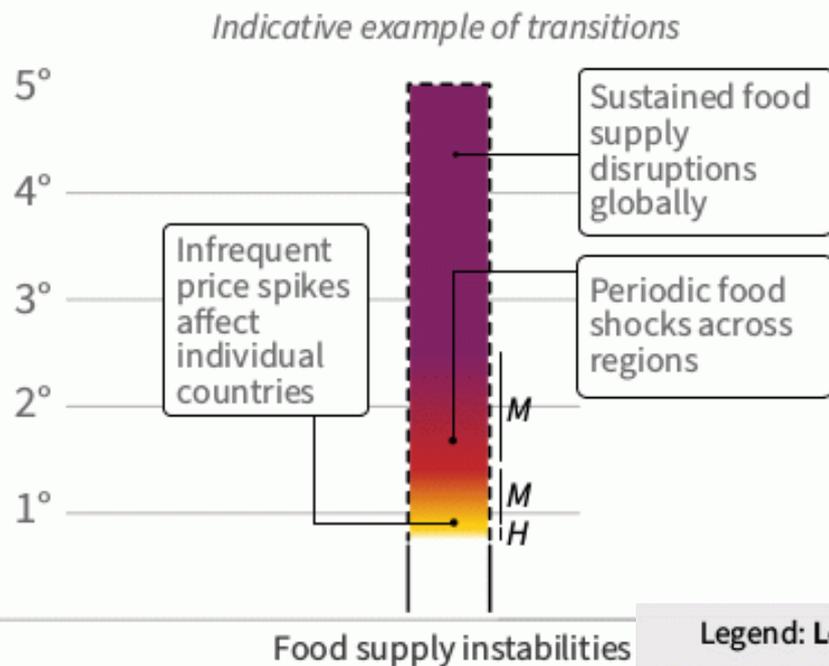
RCP8.5 = 4.5°-Szenario  
(IPCC Land Use Report 2019)



– Ernterückgänge insbesondere in den Tropen/Subtropen

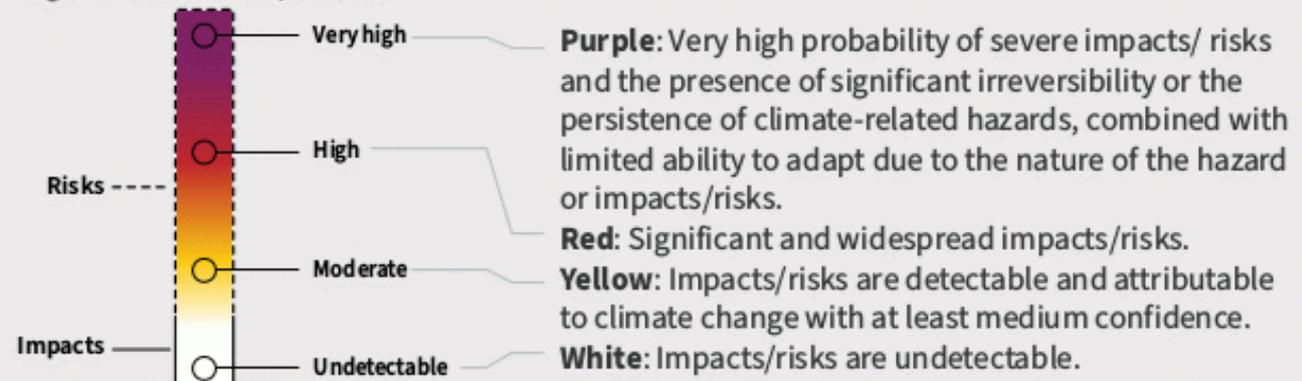
# Auswirkungen

- Risikoanalyse:
  - Charakterisierung der möglichen gesellschaftlichen Auswirkungen



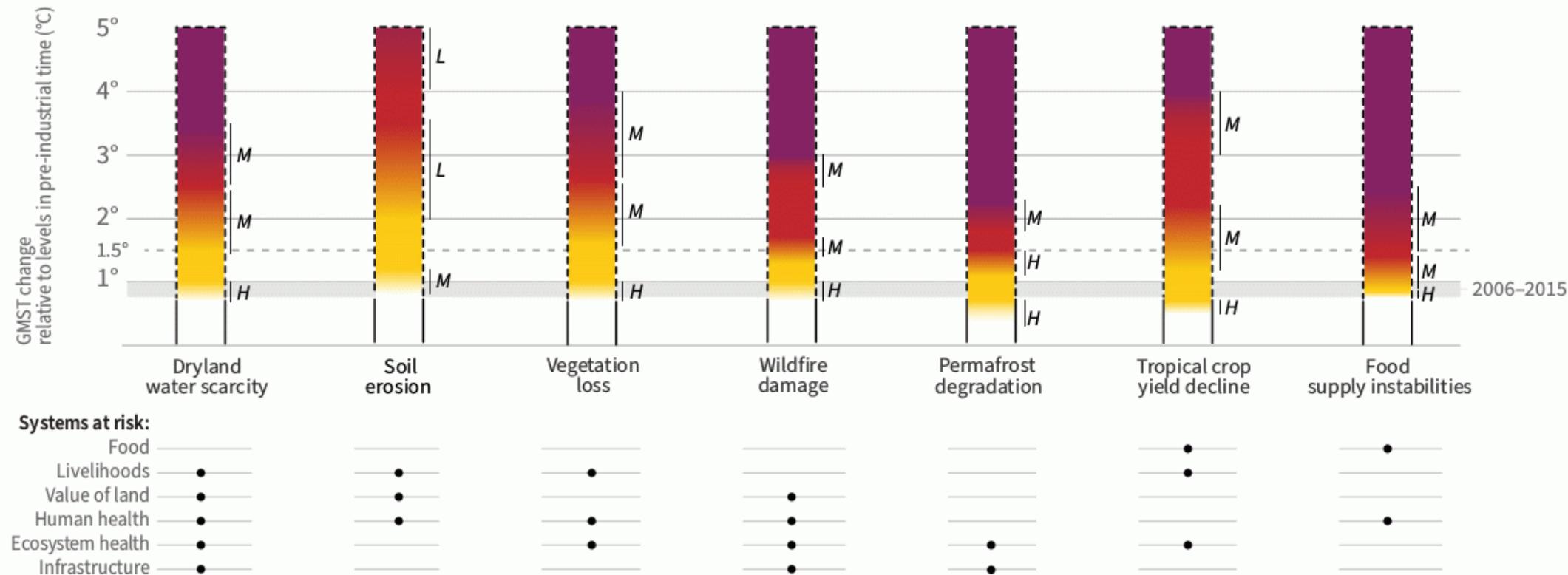
IPCC Land Use Report (2019)

## Legend: Level of impact/risk



# Abschätzung der Risiken

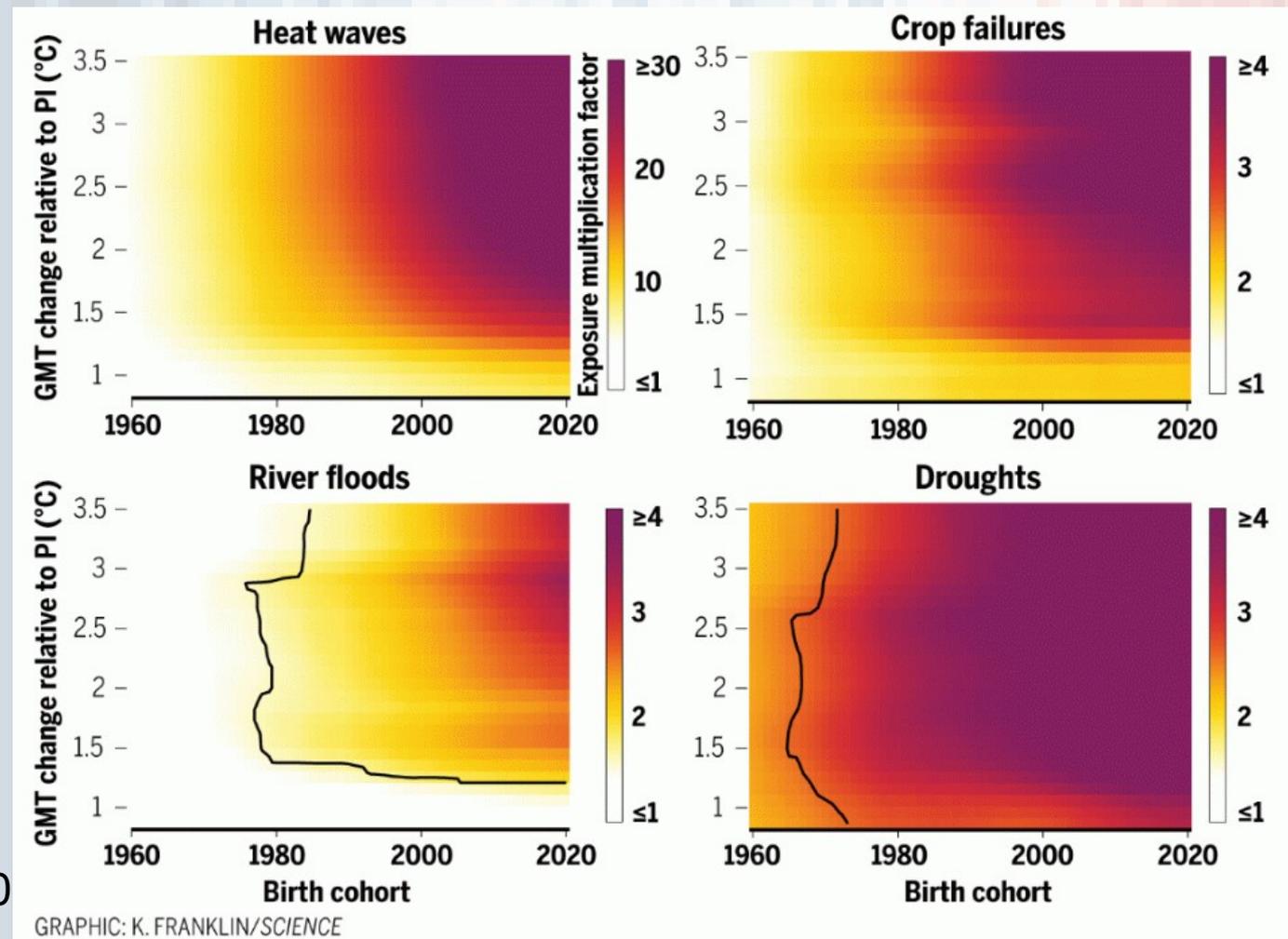
- **Weltweit:**
  - Verschiedene Auswirkungen auf menschliche Gesellschaft



IPCC Land Use Report (2019)

# Risiken

Das Risiko für das Erleben von Extremereignissen wächst mit dem Geburtsjahr der Menschen:

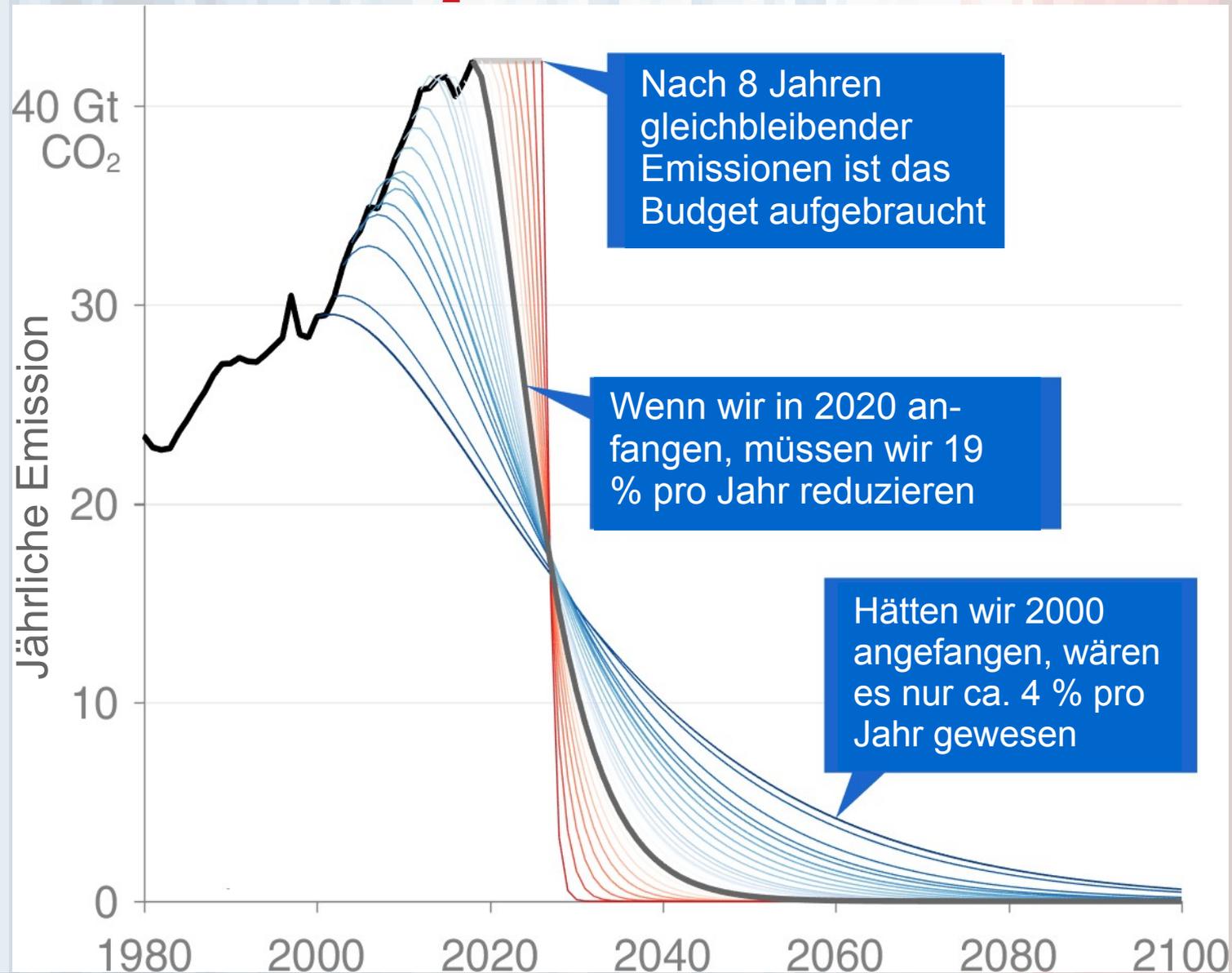


Thiery et al. (2021):  
Erwärmung jeweils bis 2100

# Was tun?

Wir dürfen nur noch maximal 500 Gt CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre blasen!

- Bei derzeitigem Emissionsniveau: in ~ 8 Jahren verbraucht (2°: 25a)
  - Die einfacheren Wege haben wir uns schon verbaut



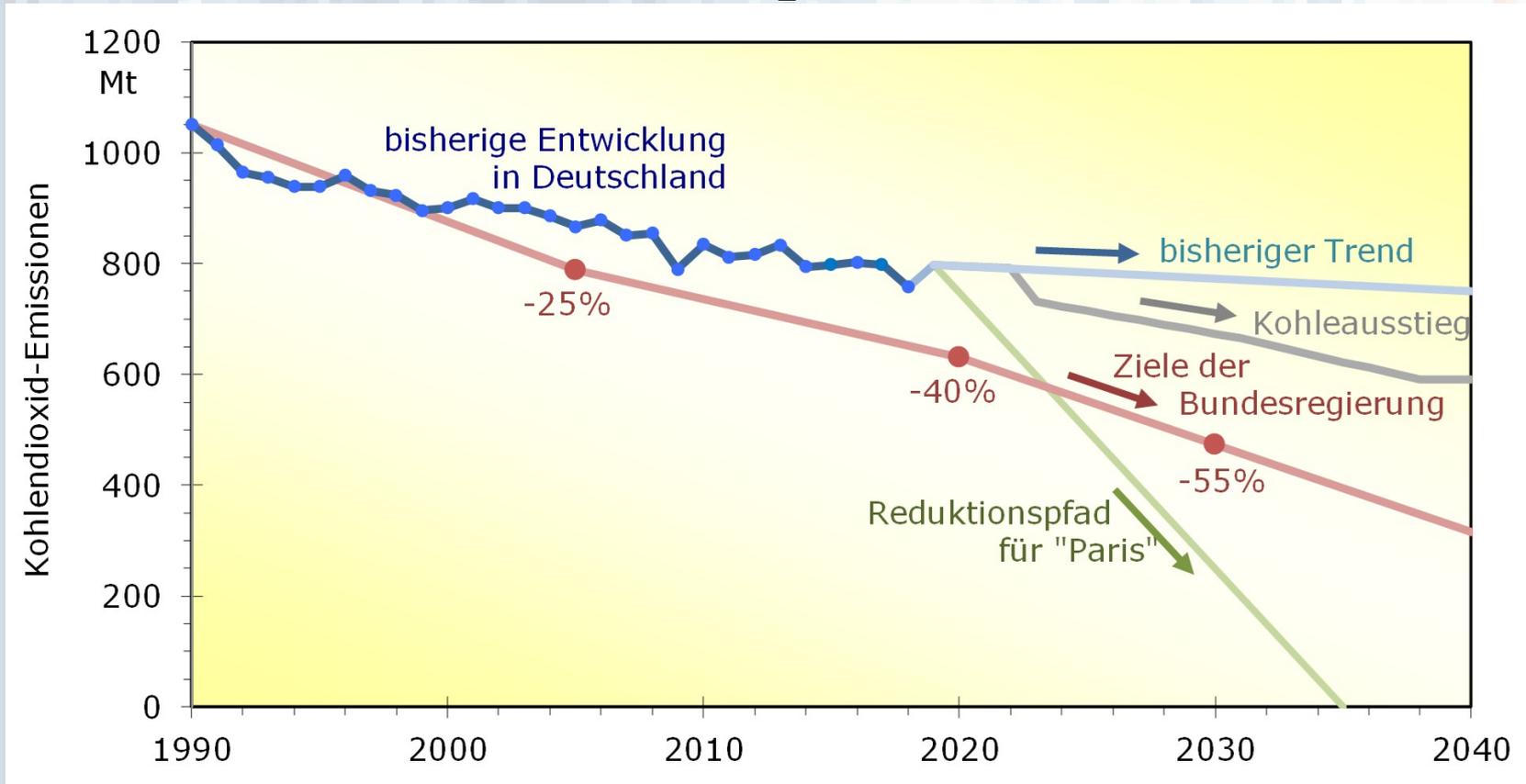


- Massiver Ausbau der Erneuerbaren
  - Solar und Windkraft
  - Stopp fossiler Subventionen
  
- Reduktion des Energiebedarfs
  - Effizienzmaßnahmen
  - Transporte reduzieren
  - Schienenverkehr und ÖPNV
  
- Wärmewende
  - Wärmepumpen, Netze
  - Prozesswärme recyceln
  - Gebäudesanierung
  
- Marktregeln
  - CO2-Preis
  - Demand-Side-Management
  
- Innovationen erlauben
  - Digitalisierung nutzen



# Deutschland

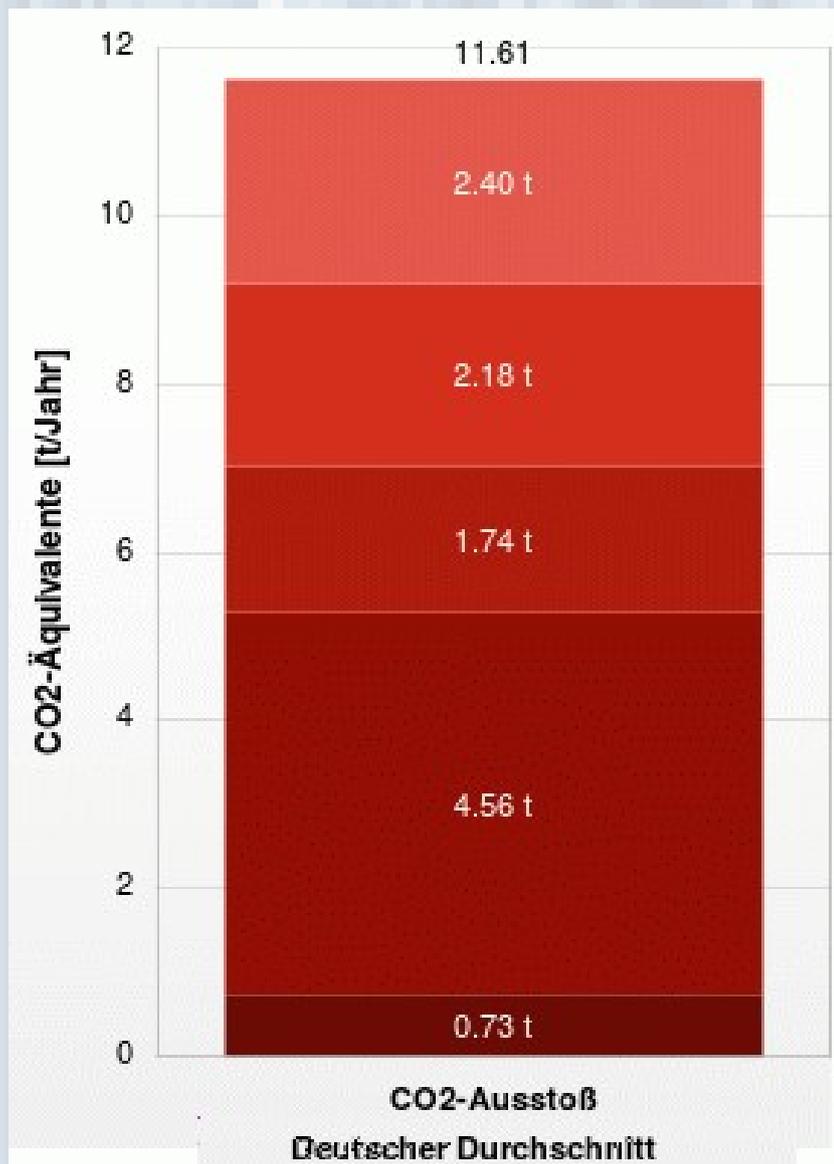
- Notwendige Einsparung: 50 Mio t CO<sub>2</sub> pro Jahr



Quaschnig  
(2019)

- Ziele der Bundesregierung völlig unzureichend
- Maßnahmen im Klimapaket völlig ungeeignet Ziele zu erreichen
- Selbst Kohlekompromiss von 2019 wird inzwischen nicht mehr umgesetzt
- Einsparungen bisher praktisch nur in Bereichen Haushalte und Energiewirtschaft

# Wie können wir selbst CO<sub>2</sub> einsparen?



Umweltbundesamt (2019):  
CO<sub>2</sub>-Rechner

- Größter Posten: **Konsum**
  - Textilien, Technik, ...
- Individuell oft getoppt bei Flugreisen
  - Köln-Bangkok-Köln (Economy)  
= **3.4t CO<sub>2</sub>**
- Wohn-CO<sub>2</sub>-Kosten erheblich
  - Hauptfaktor: Wohnfläche