

Vorlesung „Allgemeine Meteorologie“

Prof. Michael Kunz

Kapitel 10: Über Ursachen und Folgen des Klimawandels...



Dreisam bei Freiburg

2019/2020



Ahr Juli 2021

Tiefdruck "Bernd"
Wasserhöhe >7 m
>180 Todesopfer
Schäden ~€ 30 Mrd. (?)

**Durch den Klimawandel ist die Intensität extremer
Niederschläge zwischen 3 und 19 % angestiegen...**

(World Weather Attribution, 2021)

Hitze/Dürre Bayerischer Wald 2020



NASA Earth Observatory, Images
by L. Dauphin and J. Stevens

N-Amerika Juni 2021

Lytton (BC) 27-29 Juni

46.6°C

47.9°C

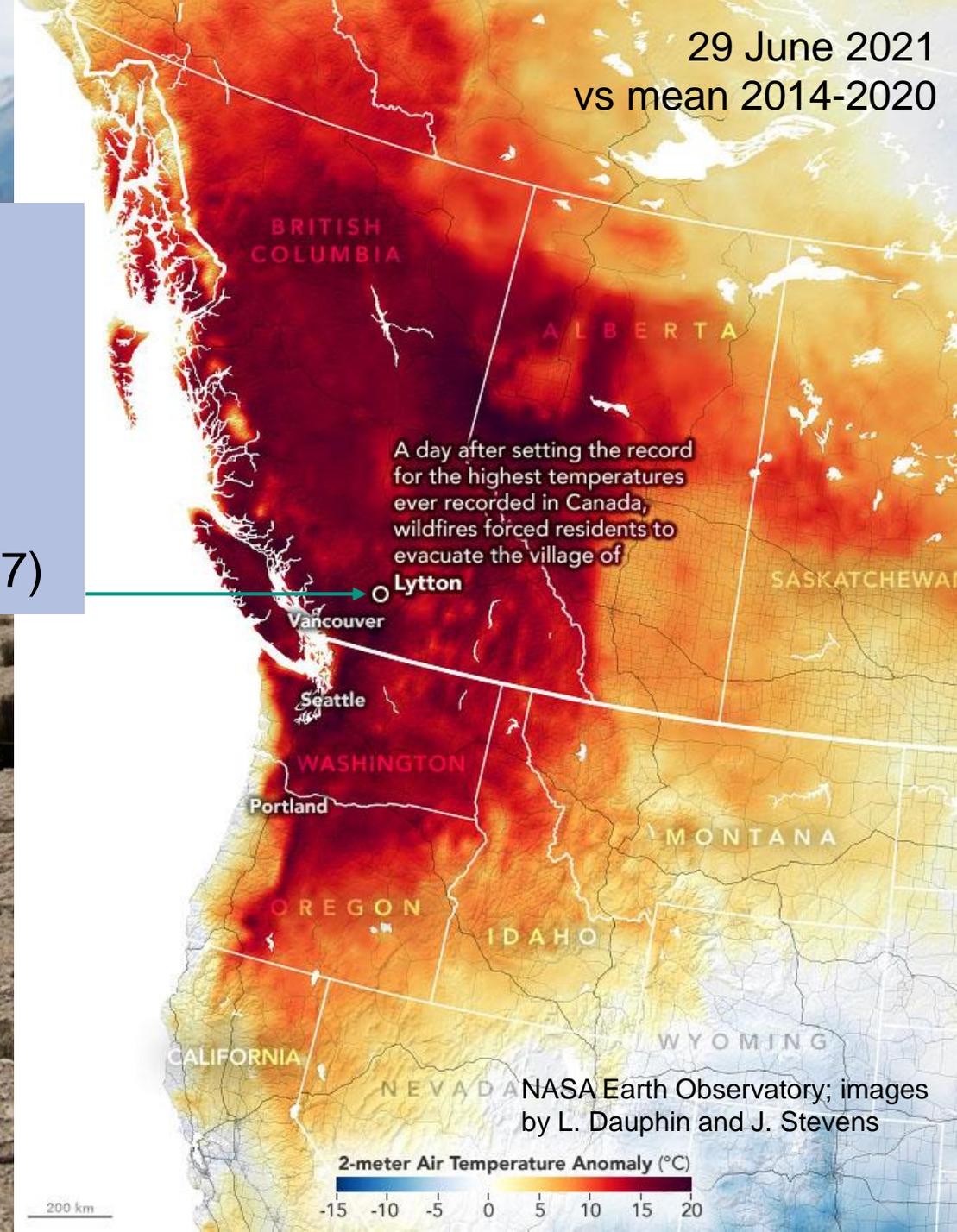
49.5°C

(bis. Rekord: 45°C, 1937)

Der Klimawandel hat die
Hitzewelle 150 x
wahrscheinlicher gemacht...

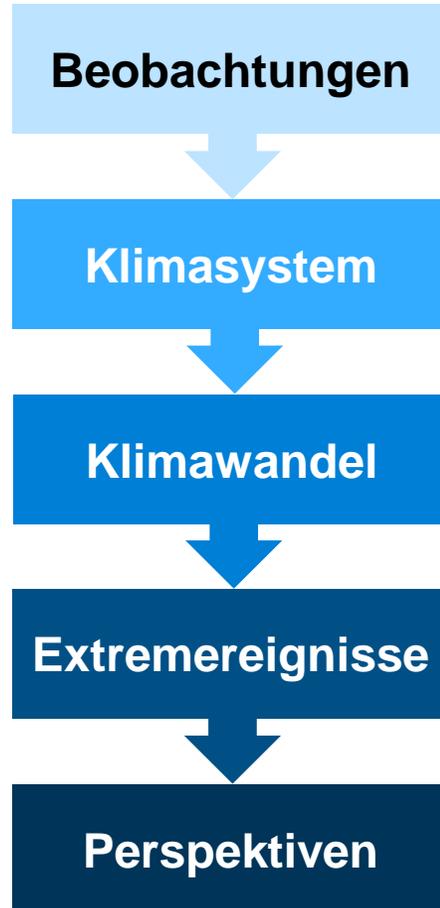
(World Weather Attribution, 2021)

29 June 2021
vs mean 2014-2020



NASA Earth Observatory; images
by L. Dauphin and J. Stevens

agenda



- Temperatur | Eis | Meeresspiegel
- Klimasystem | natürliche Variabilität
- Treibhausgase | Zukunftsprojektionen
- Hitzewellen | Gewitter | Hochwasser
- Emissionen | Es brennt...



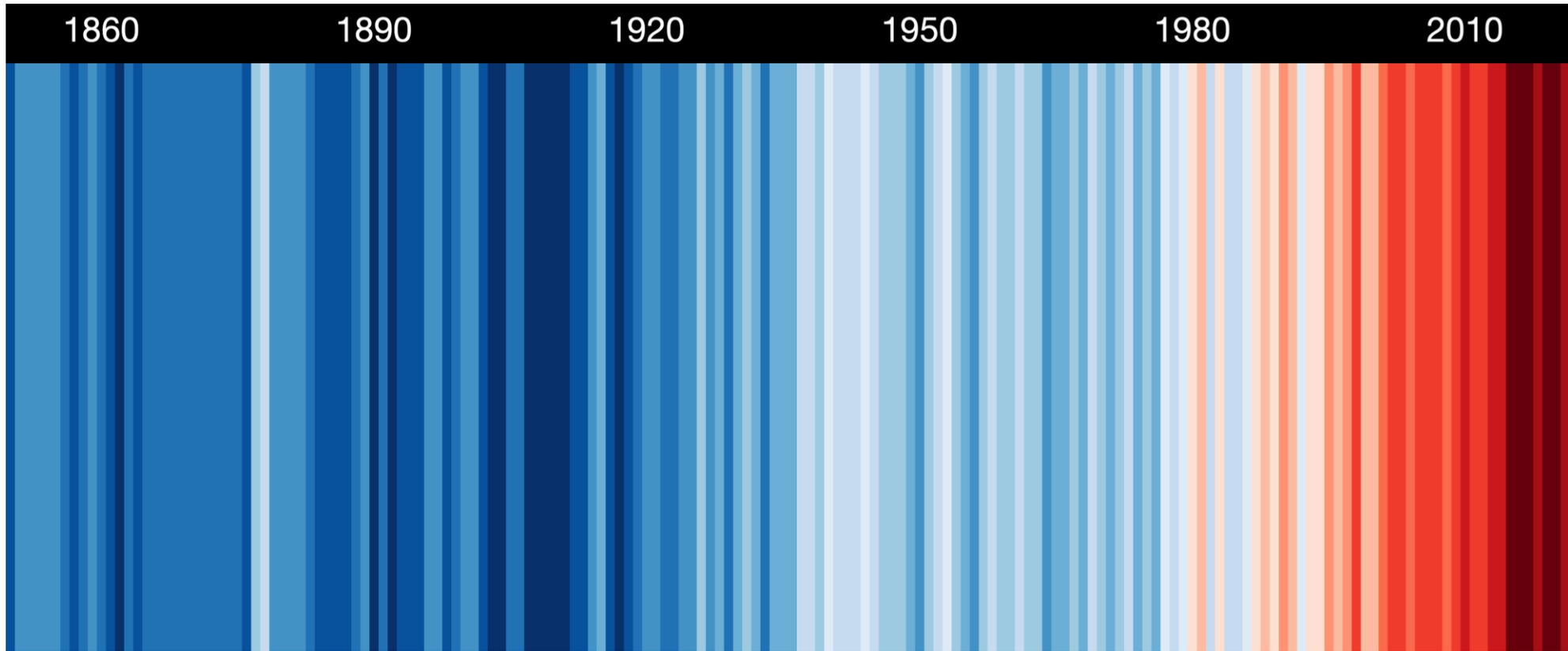
“Recent changes in the climate are
**widespread, rapid, and
intensifying**, and unprecedented in
thousands of years.”

IPCC AR6, 2021

BEOBACHTUNGEN

KLIMAWANDEL

Temperaturänderung Vergangenheit



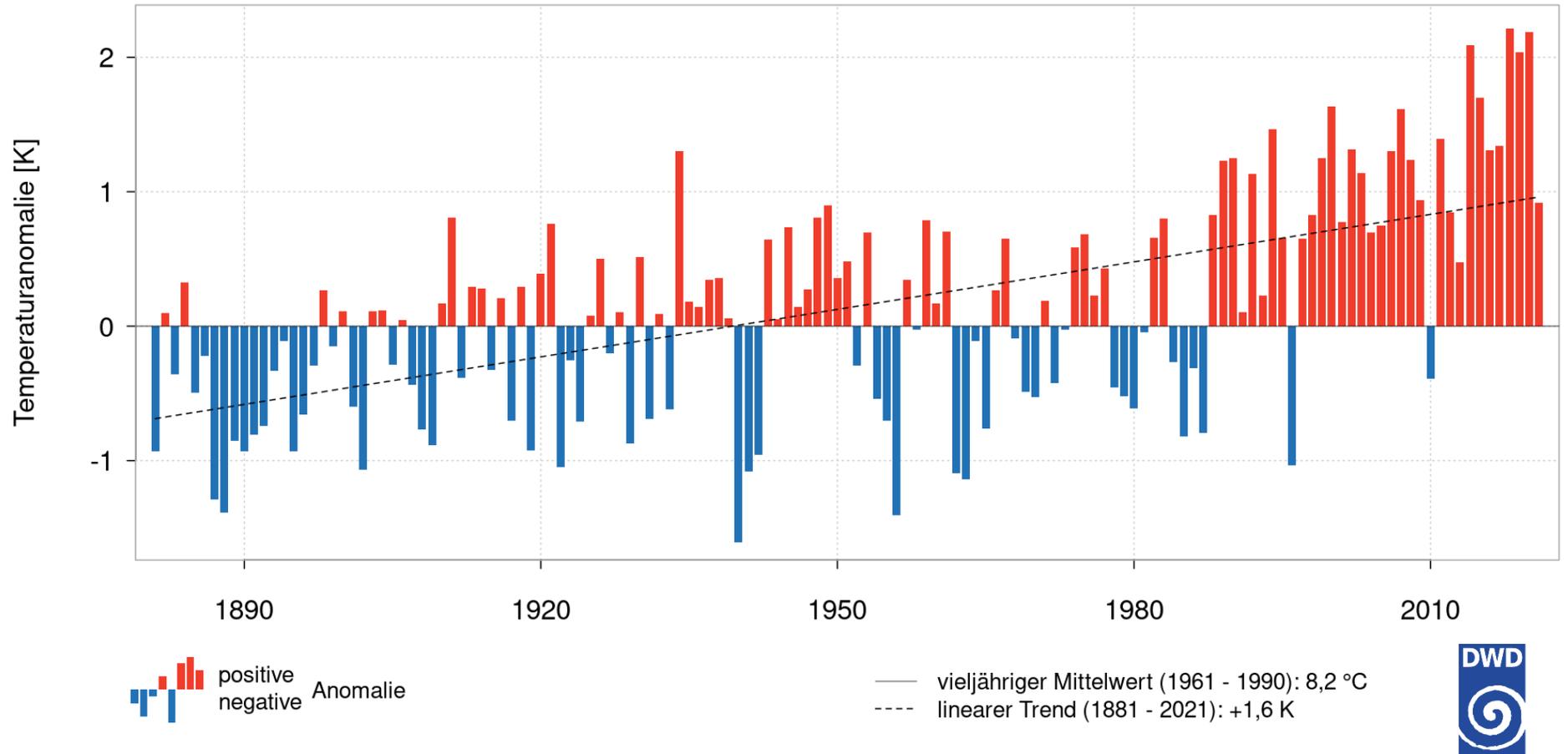
Jahresmitteltemperatur

<https://showyourstripes.info> Daten: UKMO

Trend: 1,1 K je röter desto wärmer (Grafik ©Ed Hawkins, 2019)

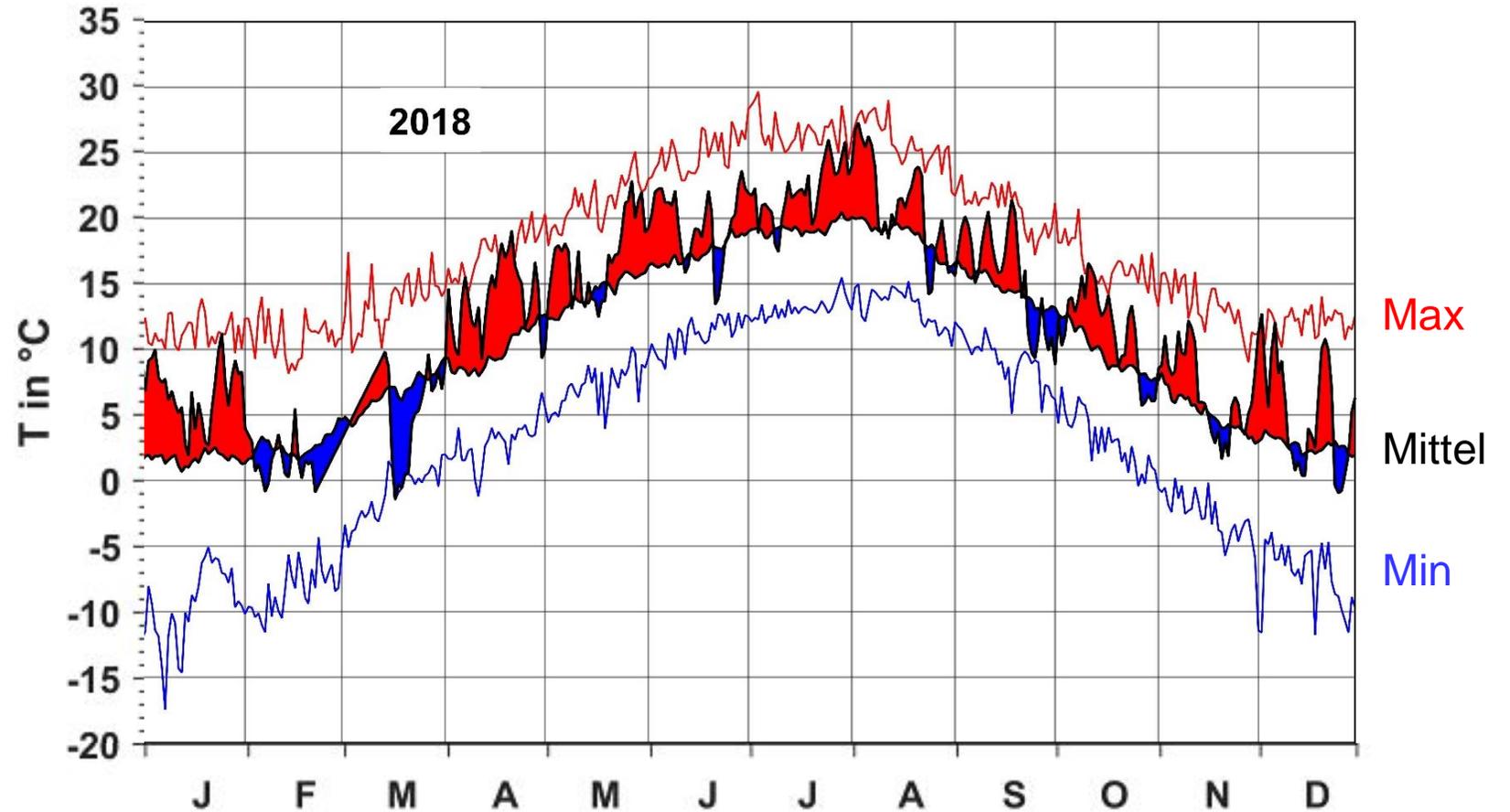
Global

Temperaturänderung Vergangenheit



Jahresmitteltemperatur (Abweichungen ggü. 1961-1990)
Trend: 1,6 K

Temperaturänderung Vergangenheit

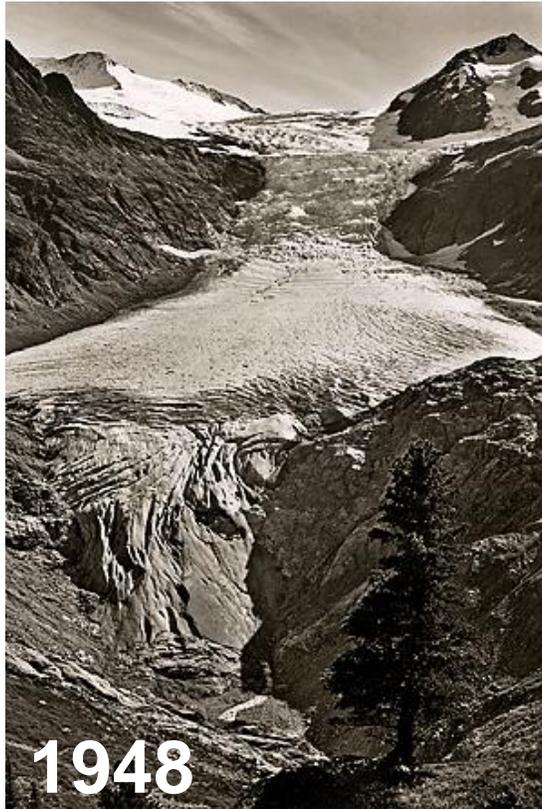


Tagesmitteltemperaturen 2018

ΔT bis 9°C

Abweichungen Tagesbasis (Referenzzeitraum: 1980-2018)

Abnahme Fläche | Volumen Gletscher

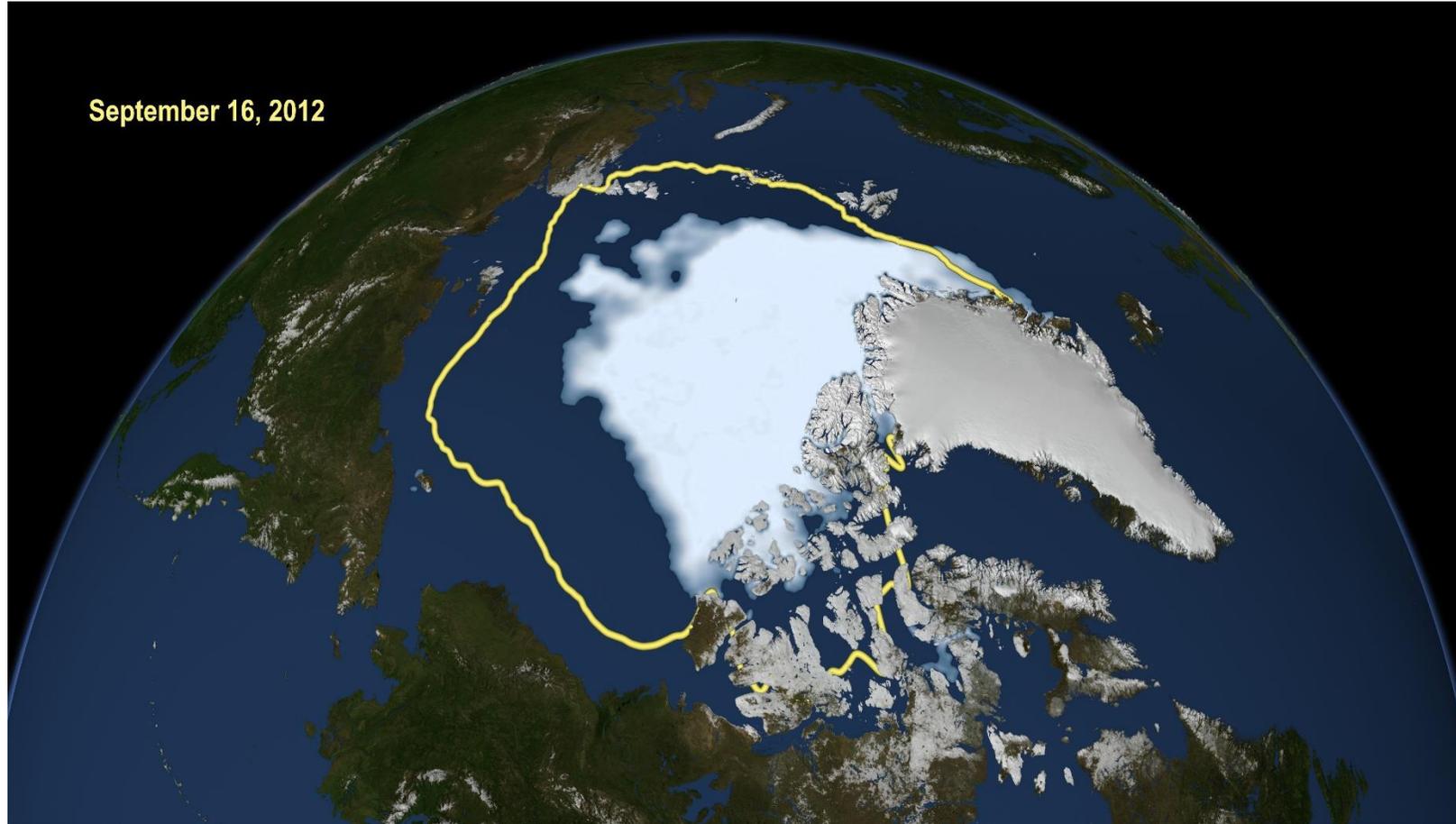


**Triftgletscher, Berner
Oberland, Schweiz**

Quellen: www.gletscherarchiv.de, M. Kunz

Arktische Meereisausdehnung

Ausdehnung September (Jahresminimum) 1979 - 2018



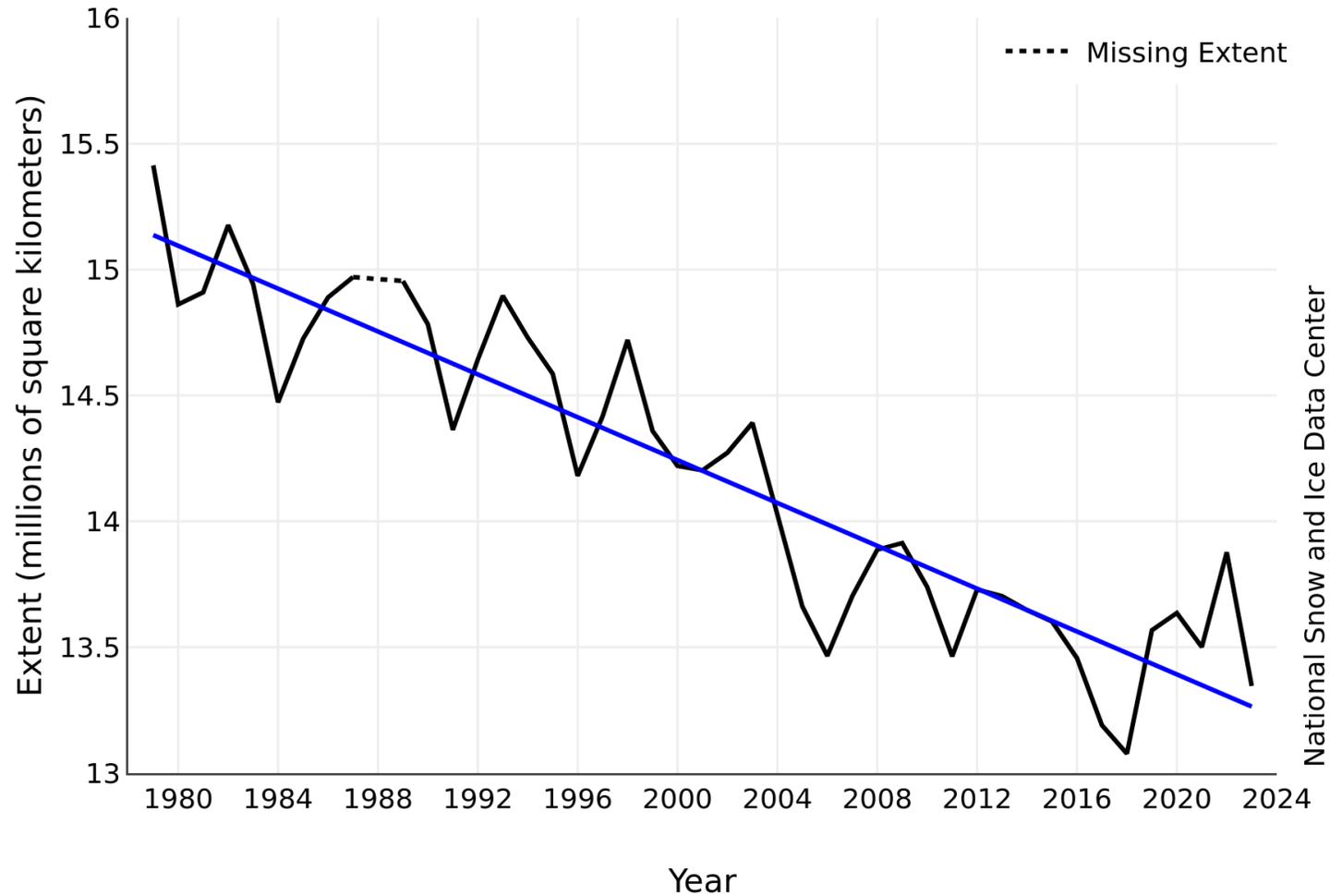
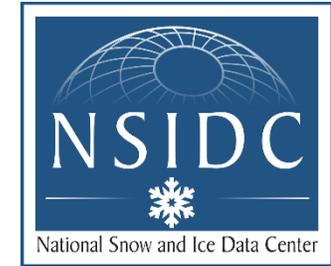
NASA Scientific Visualization Studio

Arktis

Arktische Meereisausdehnung

Arktis

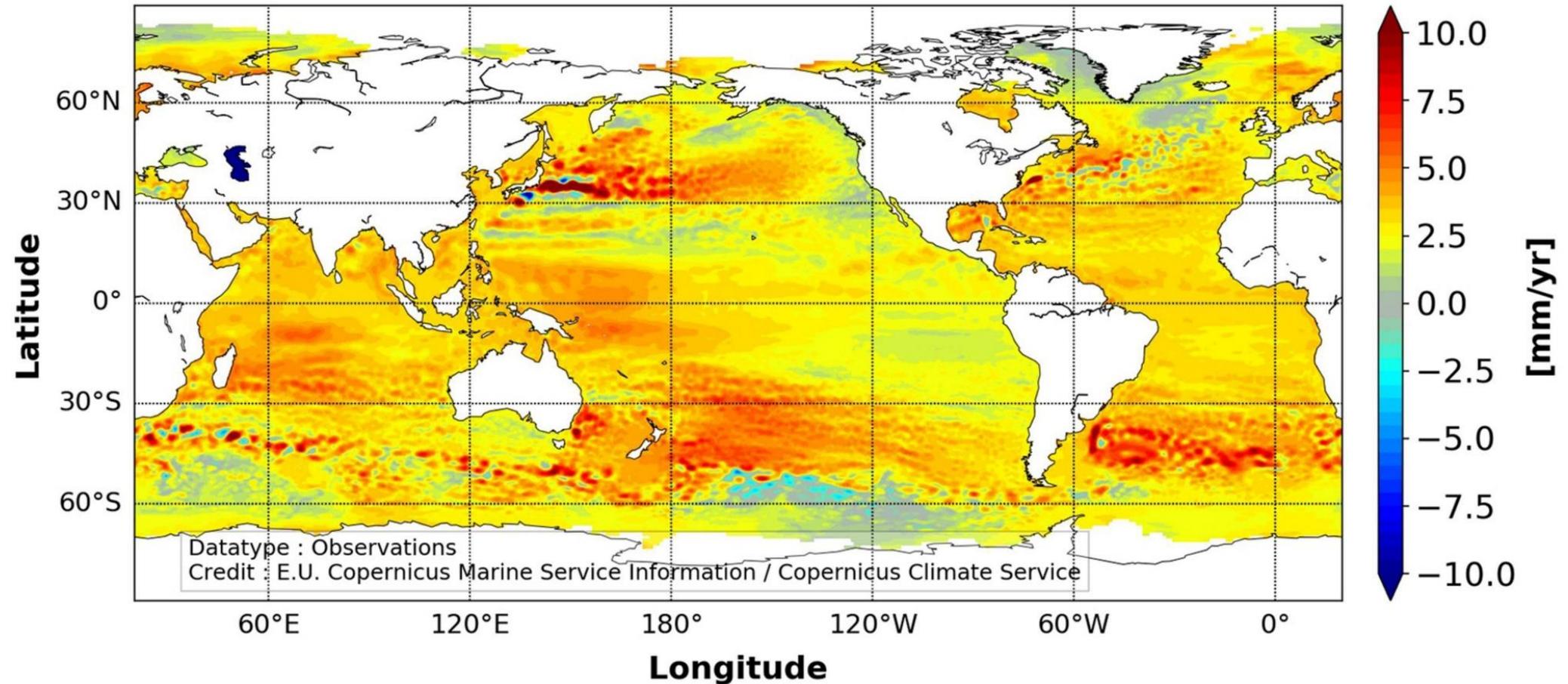
Average Monthly Arctic Sea Ice Extent
January 1979 - 2023



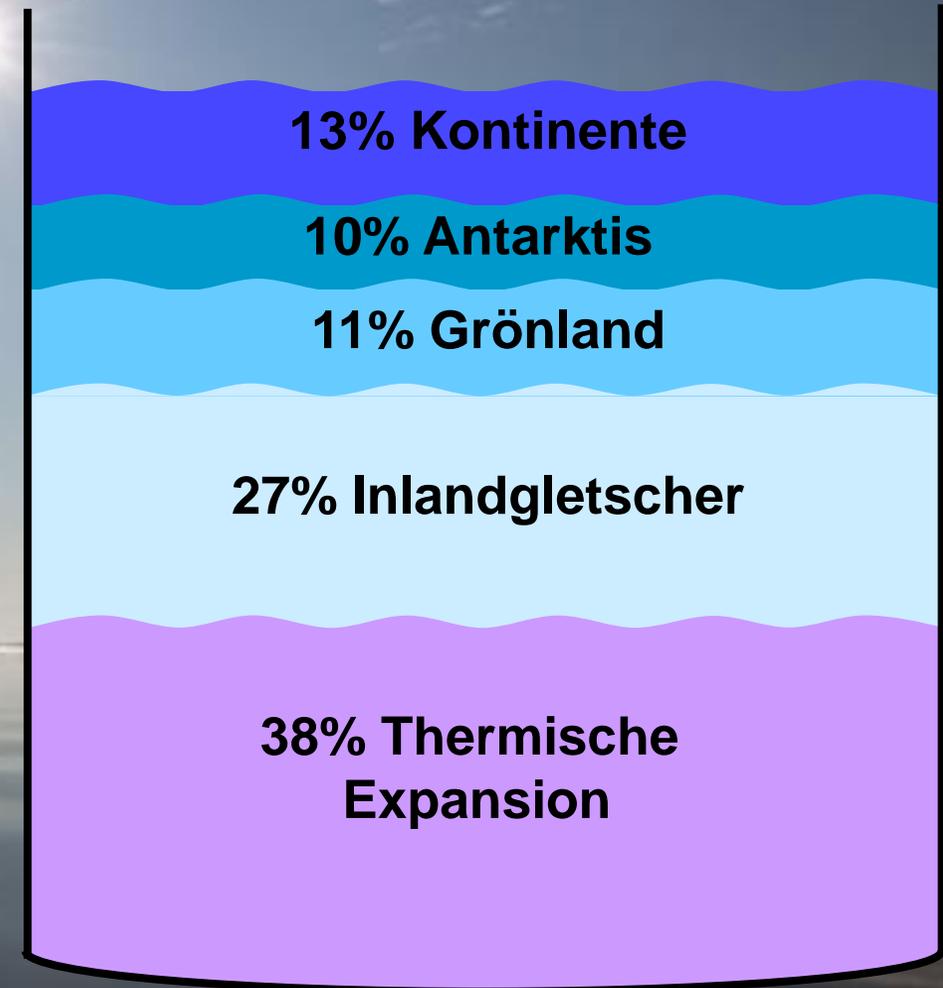
Meeresspiegelanstieg regional

1993-2020

Regional Mean Sea Level Trends (Jan-1993 to Jun-2020)



Anstieg Meeresspiegel



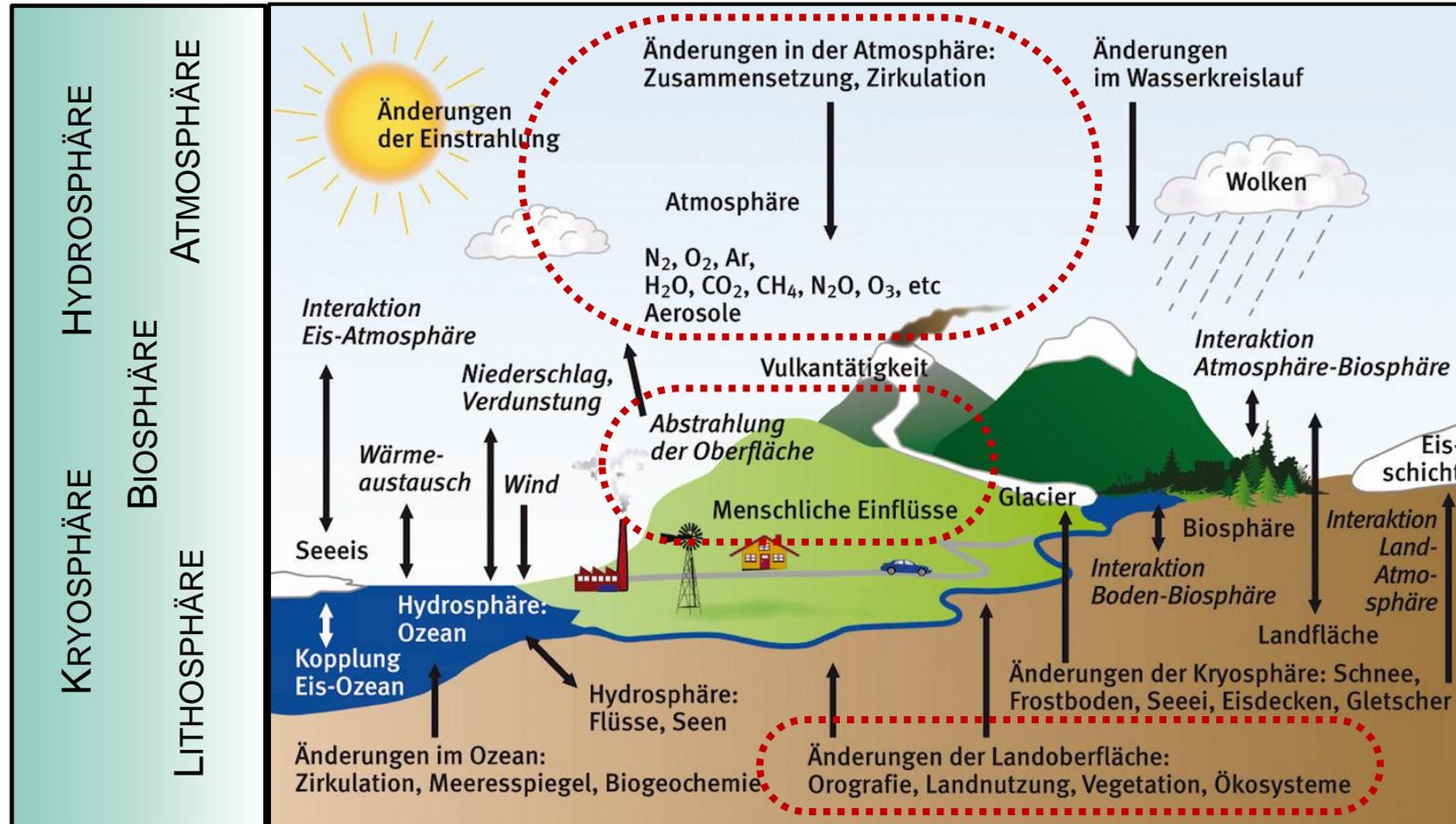
Ursachen



**KLIMASYSTEM,
KLIMAVARIABILITÄT,
TREIBHAUSEFFEKT!**

Klimasystem und Klimavariabilität

- **Klima:** „gemitteltetes Wetter“ über längen Zeitraum (≥ 30 Jahre)
- **Wechselwirkung** zwischen Klimakomponenten: Austausch von Wärme, Impuls, Masse

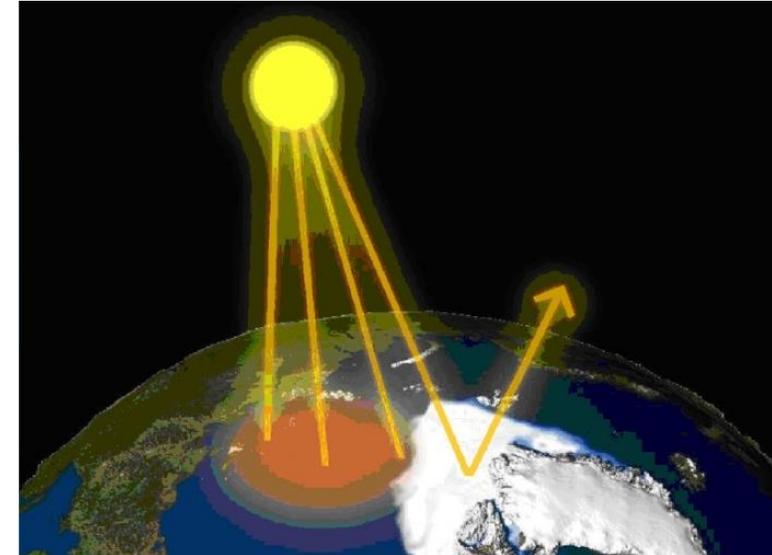
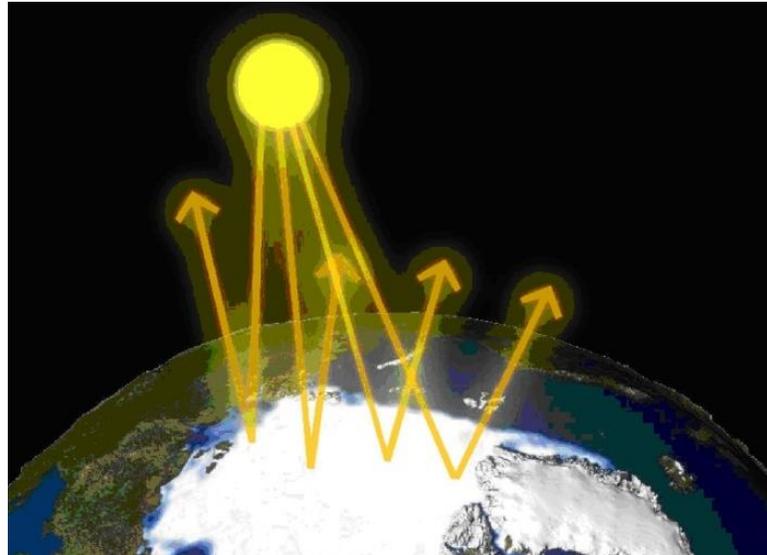


anthropogene Einflüsse

(IPCC, 2007)

Klimasystem und Klimavariabilität

- **Feedbacks (Rückkopplung)**: Verstärkung oder Abschwächung (externer) Klimaantriebe durch Komponenten des Klimasystems; oft nicht-linear



Eis-Albedo Feedback (Verstärkung, positiv)

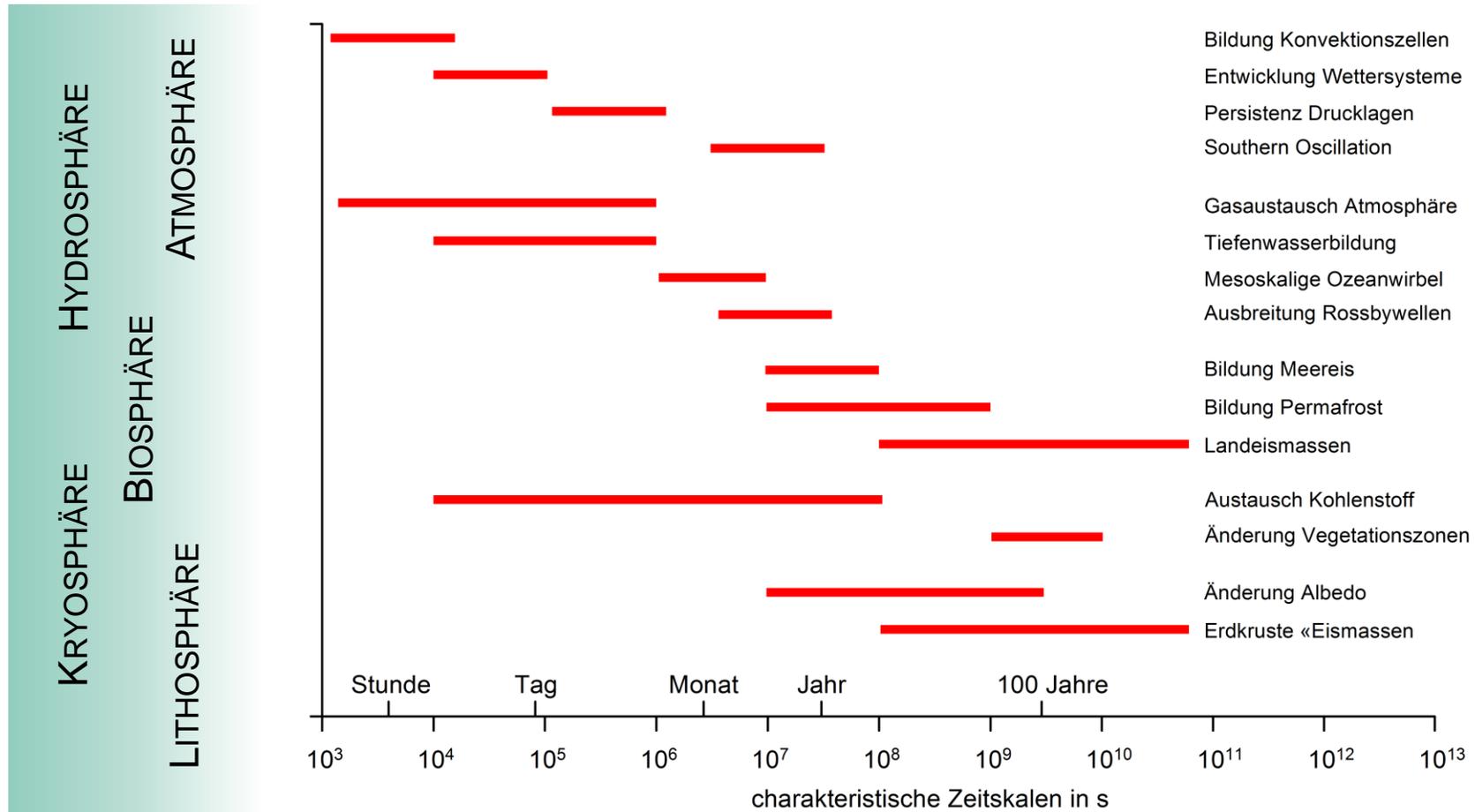
weitere Feedbacks:

- Wolken-Rückkopplung
- Wasserdampf-Rückkopplung
- thermo-haline Zirkulation
- CO₂ Speicher Ozeane
- ...

(bildungsserver wiki klimawandel)

Klimasystem und Klimavariabilität

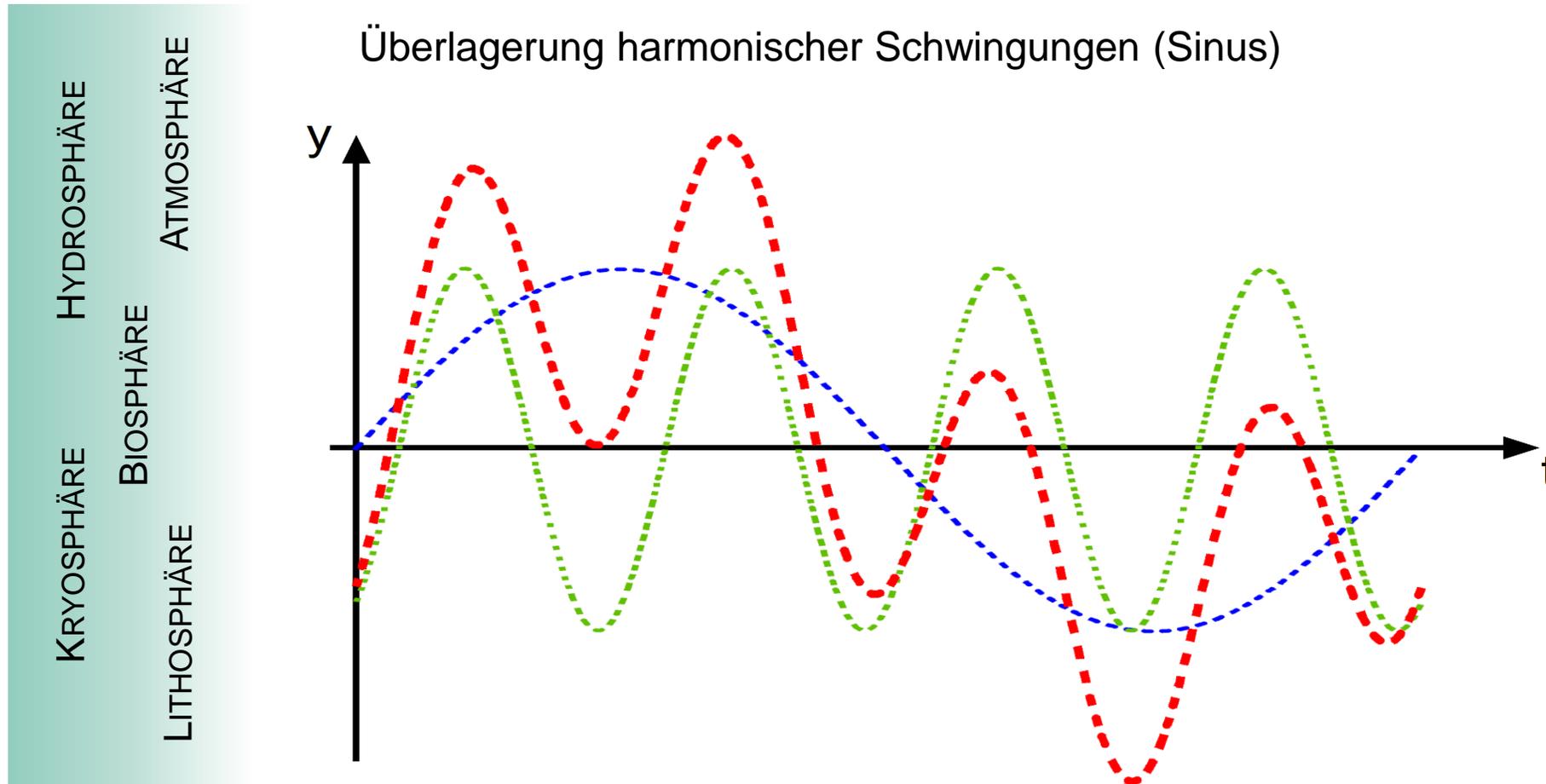
- Komponenten und Prozesse des Klimasystems mit **charakteristischen Zeitskalen** der Änderungen



(nach Stocker, 2008)

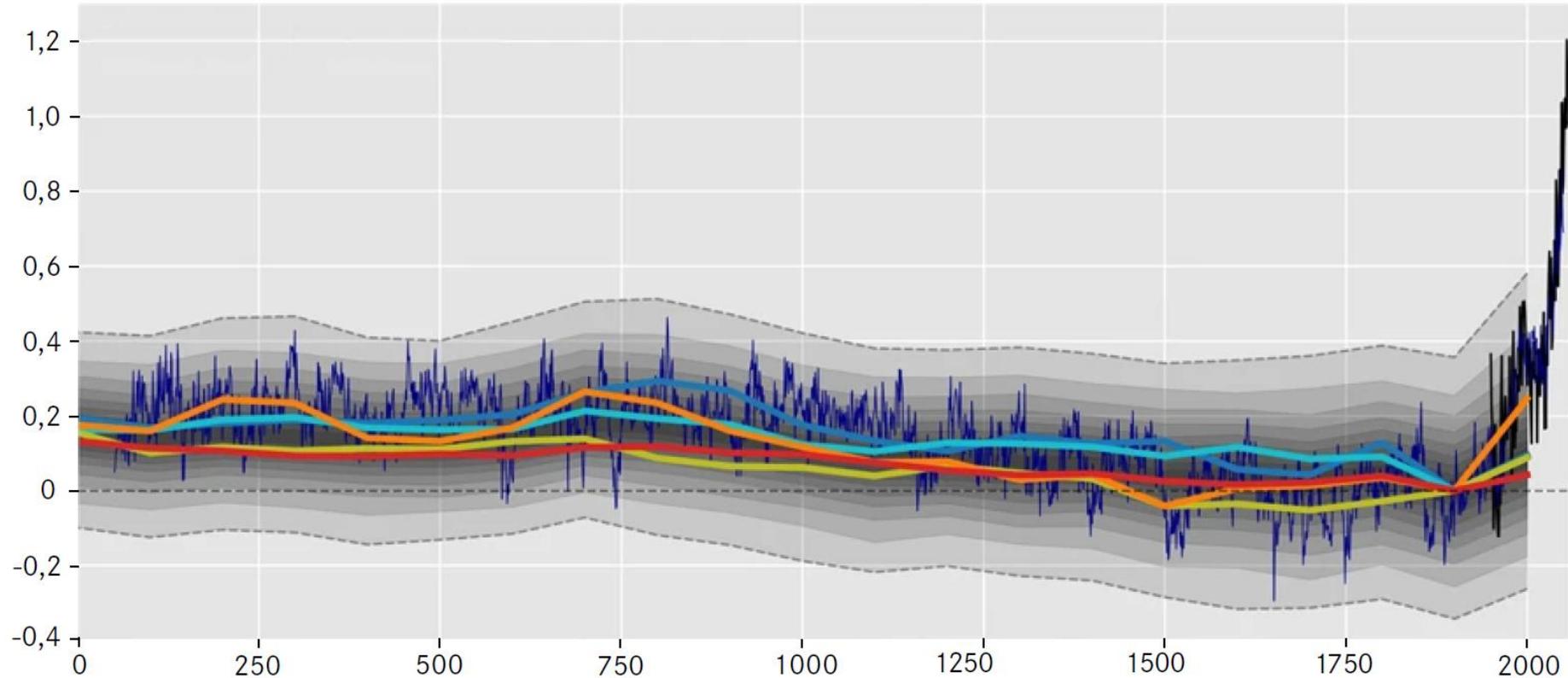
Klimasystem und Klimavariabilität

- Komponenten und Prozesse des Klimasystems mit **charakteristischen Zeitskalen** der Änderungen



Klimasystem und Klimavariabilität

- Komponenten und Prozesse des Klimasystems mit **charakteristischen Zeitskalen** Änderungen
- Hohe zeitliche Variabilität globale Mitteltemperatur

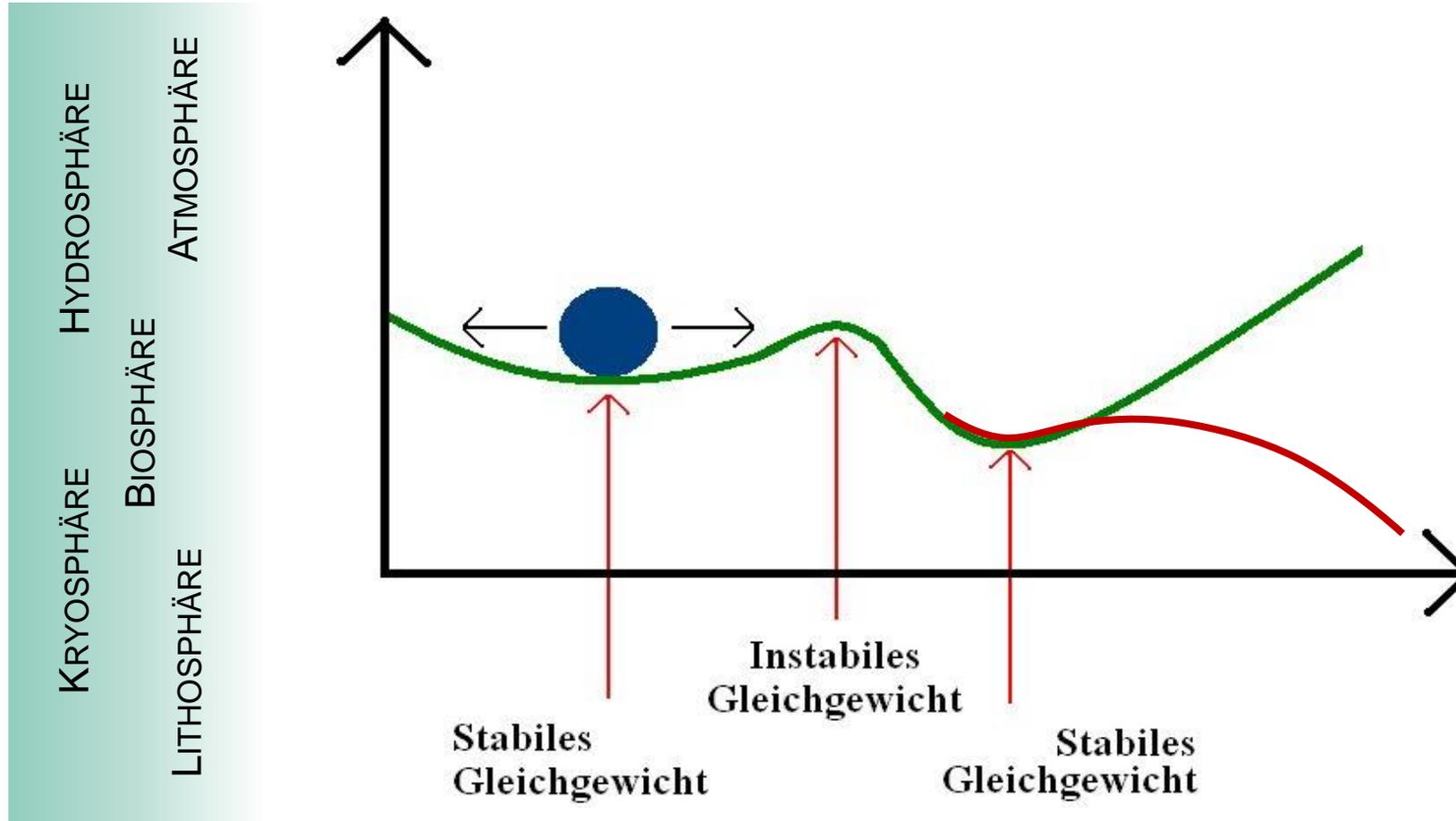


Originalgrafik: <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0530-7>

(DKK, 2021)

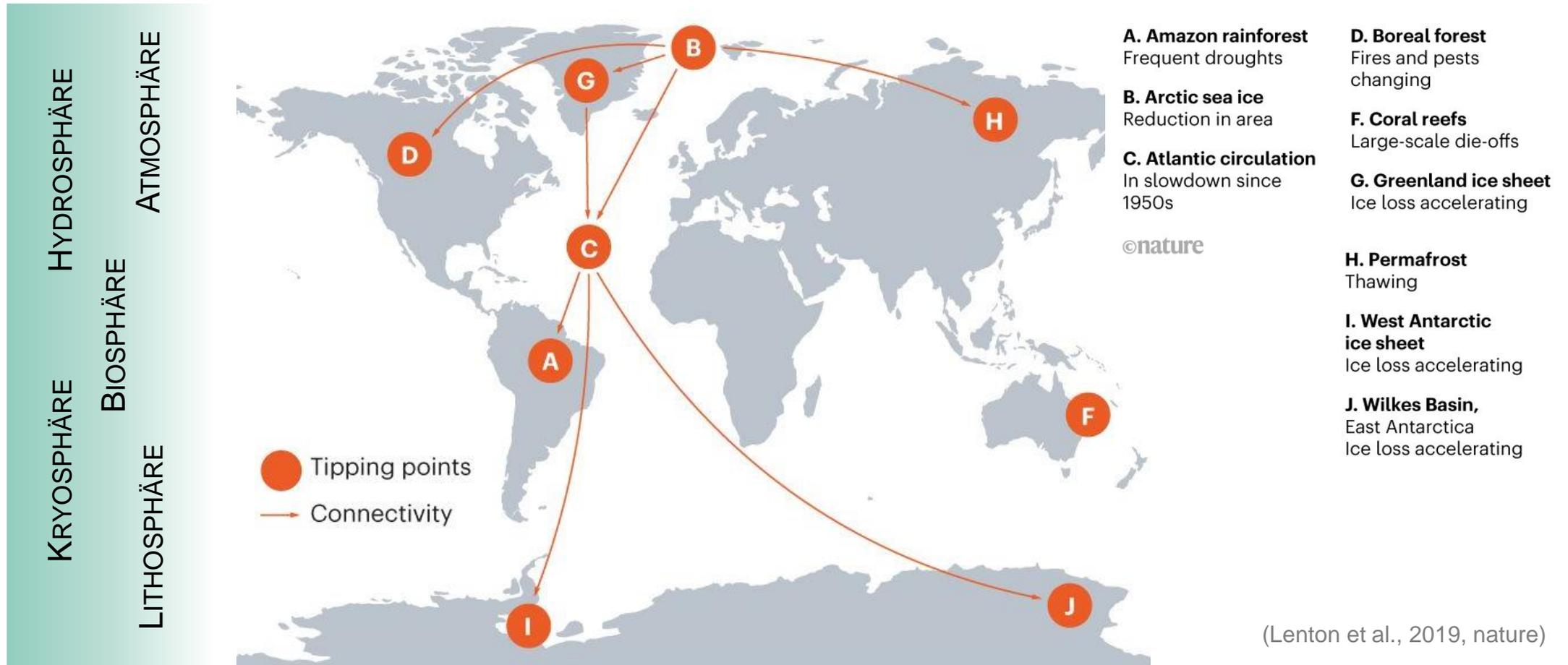
Klimasystem und Klimavariabilität

- **Kipppunkte (Tipping Points)**: Abrupte Klimaänderung bei Erreichen kritischer Schwelle; System geht in anderen Zustand über; teilweise unumkehrbar



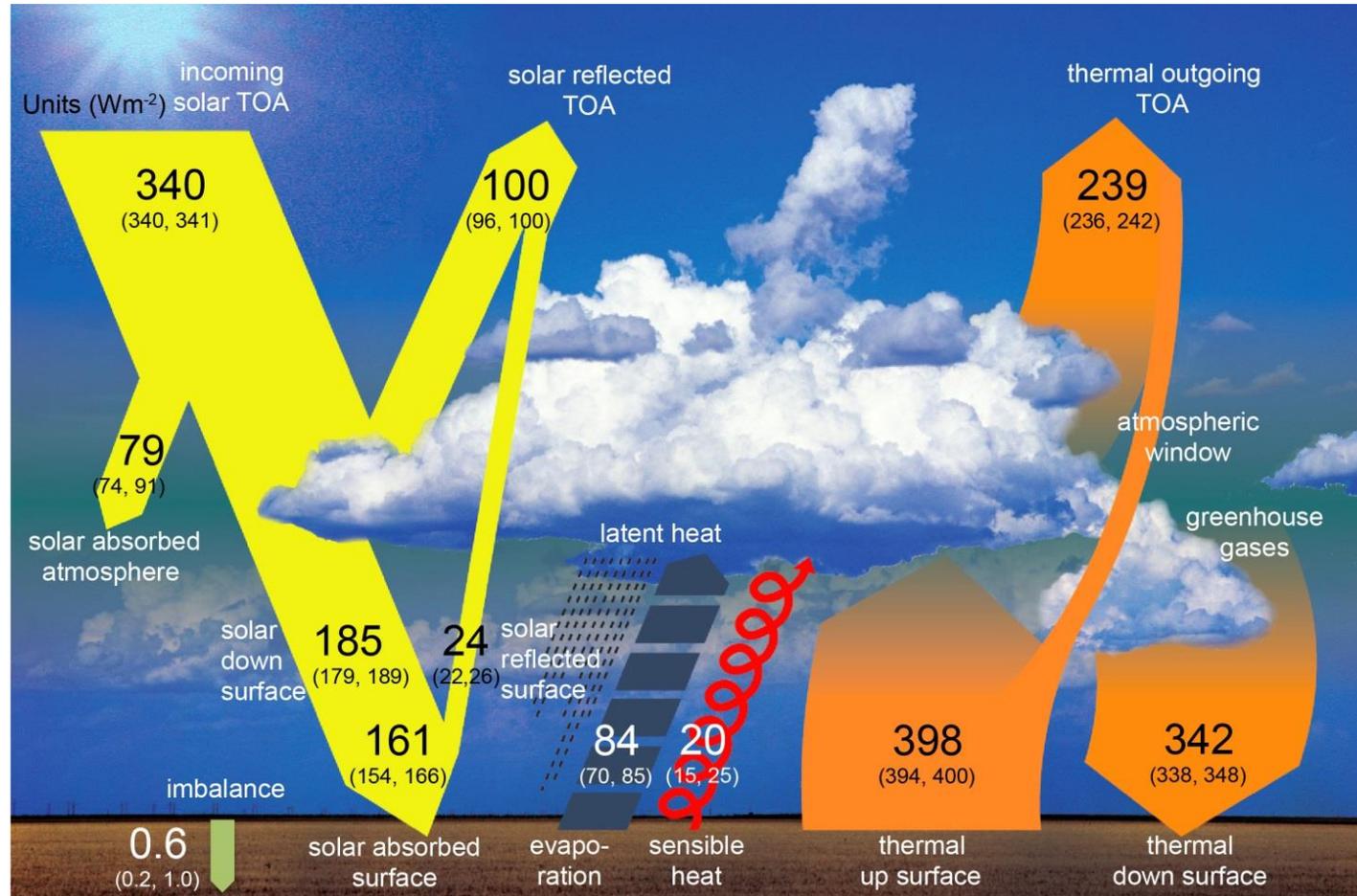
Klimasystem und Klimavariabilität

- **Kipppunkte (Tipping Points):** Abrupte Klimaänderung bei Erreichen kritischer Schwelle; System geht in anderen Zustand über; teilweise unumkehrbar



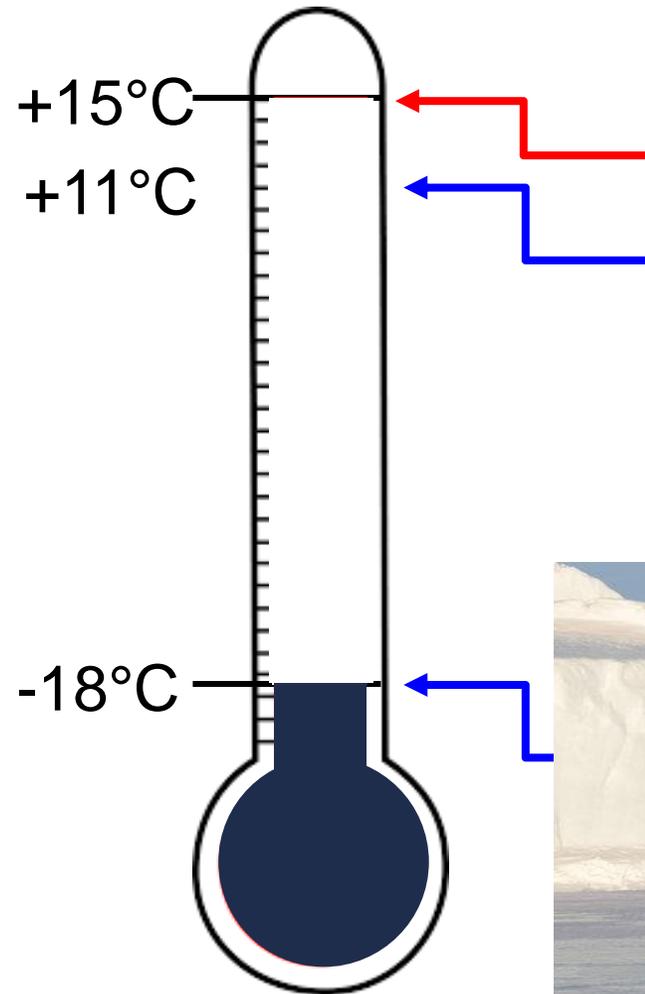
Treibhauseffekt

- **Treibhauseffekt:** ~Transmission solarer Strahlung, Absorption terrestrischer Strahlung durch Treibhausgase in Absorptionsbanden



(IPCC AR5, 2013)

Natürlicher Treibhauseffekt



Reines Strahlungsgleichgewicht, ohne Treibhausgase



Letzte Eiszeit; endete mit dem **Beginn des Holozäns** vor etwa **11.700 Jahren**

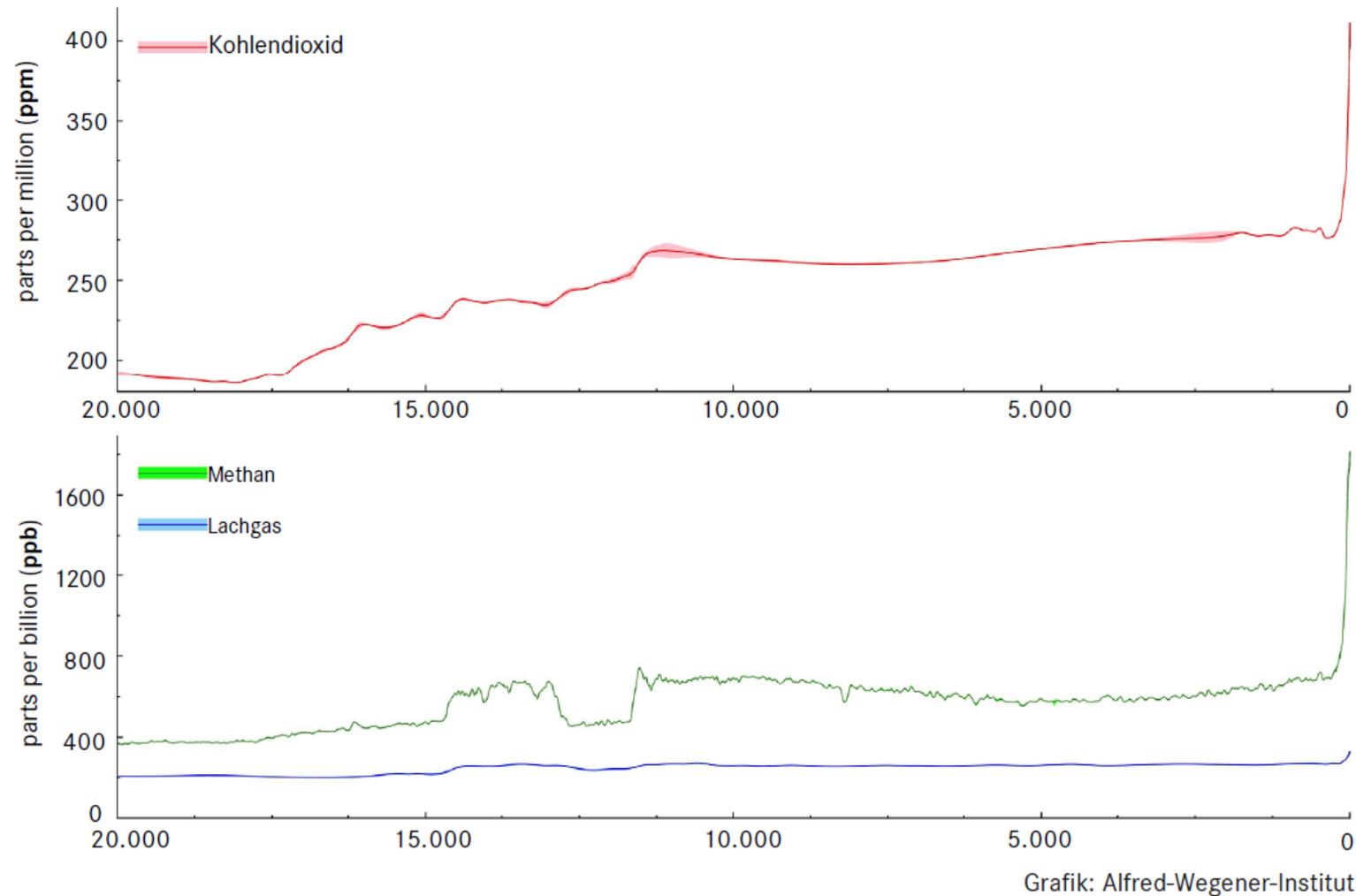




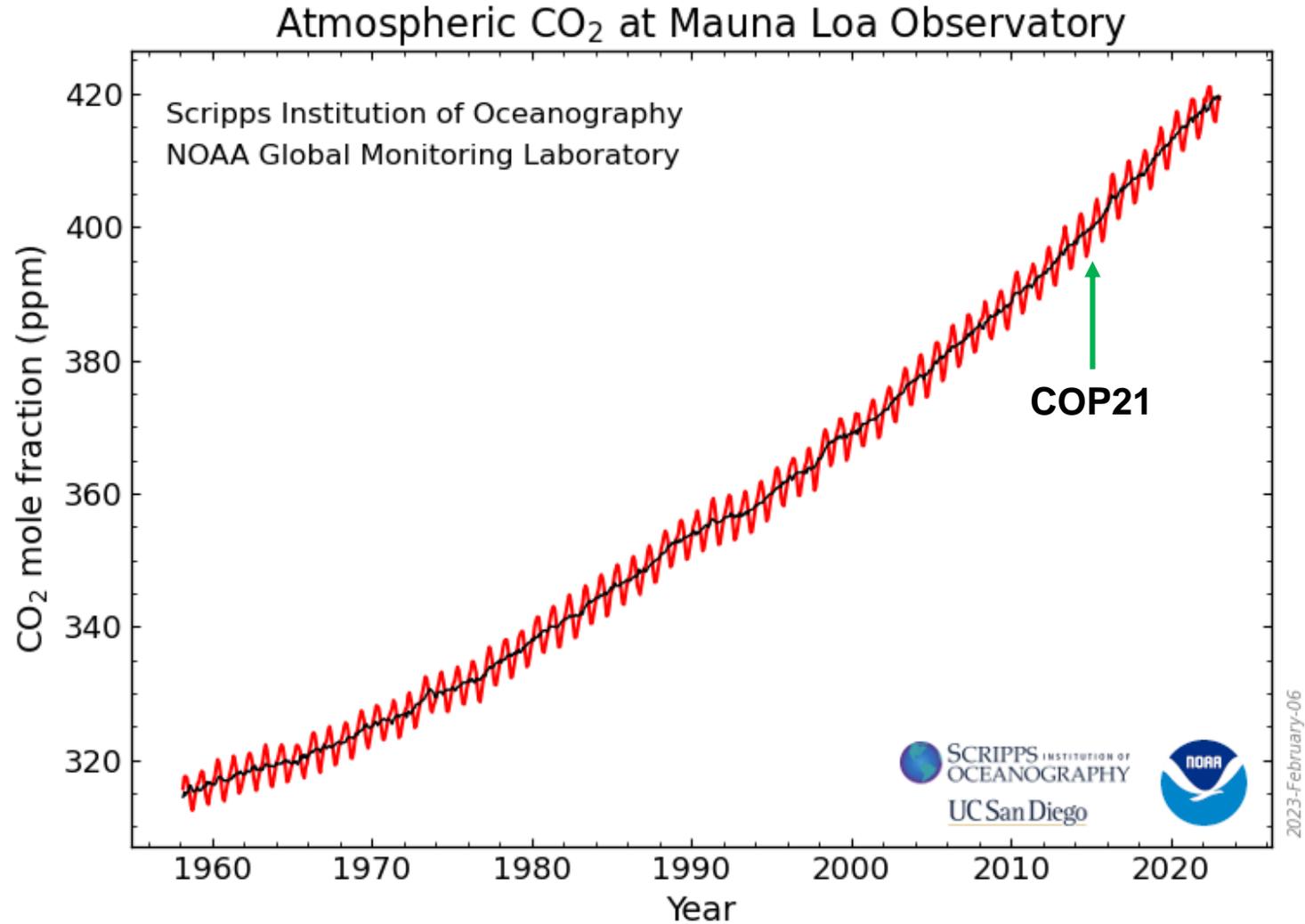
KLIMAWANDEL
TREIBHAUSGASE
ZUKUNFTSPROJEKTIONEN

Anstieg Treibhausgase

- Anstieg CO₂ | CH₄ | N₂O einmalig in Menschheitsgeschichte



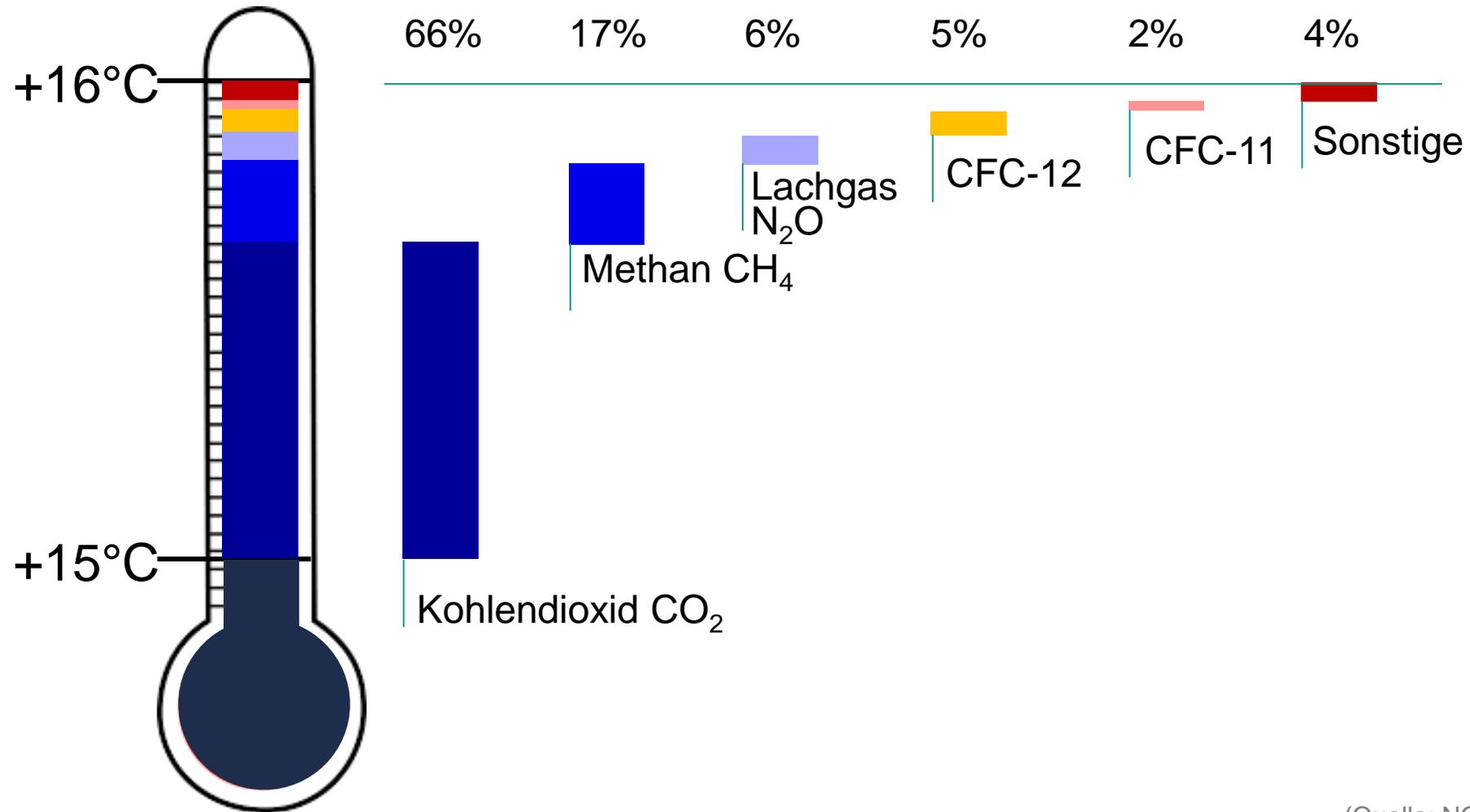
Anstieg Treibhausgase



<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

(Quelle: NOAA, 2023)

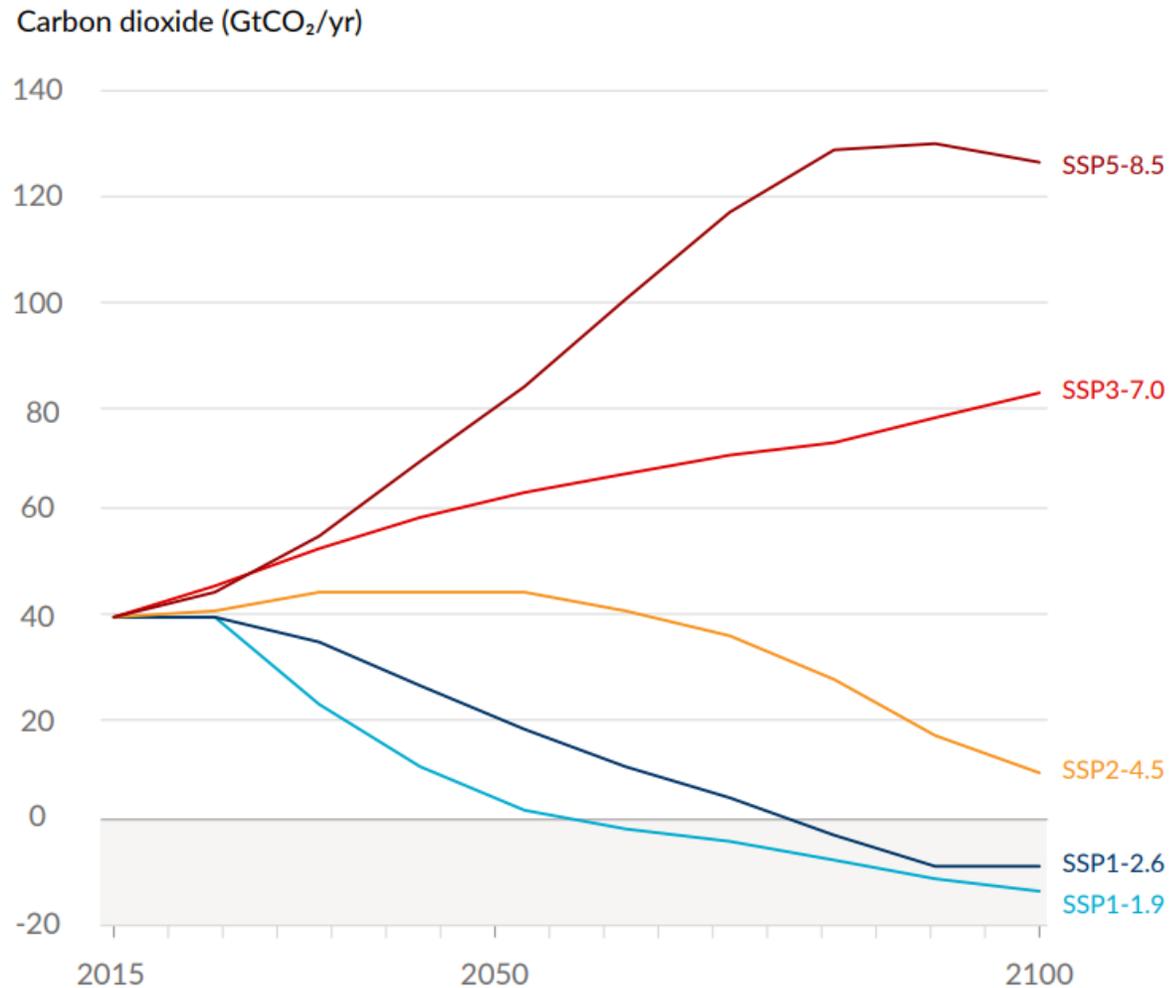
Treibhausgase des anthropogen bedingten Treibhauseffekts



(Quelle: NOAA, UBA, 2018)

Szenarien global

■ Grundlage für Zukunftsprojektionen: Shared Socio-economic Pathway (SSP)

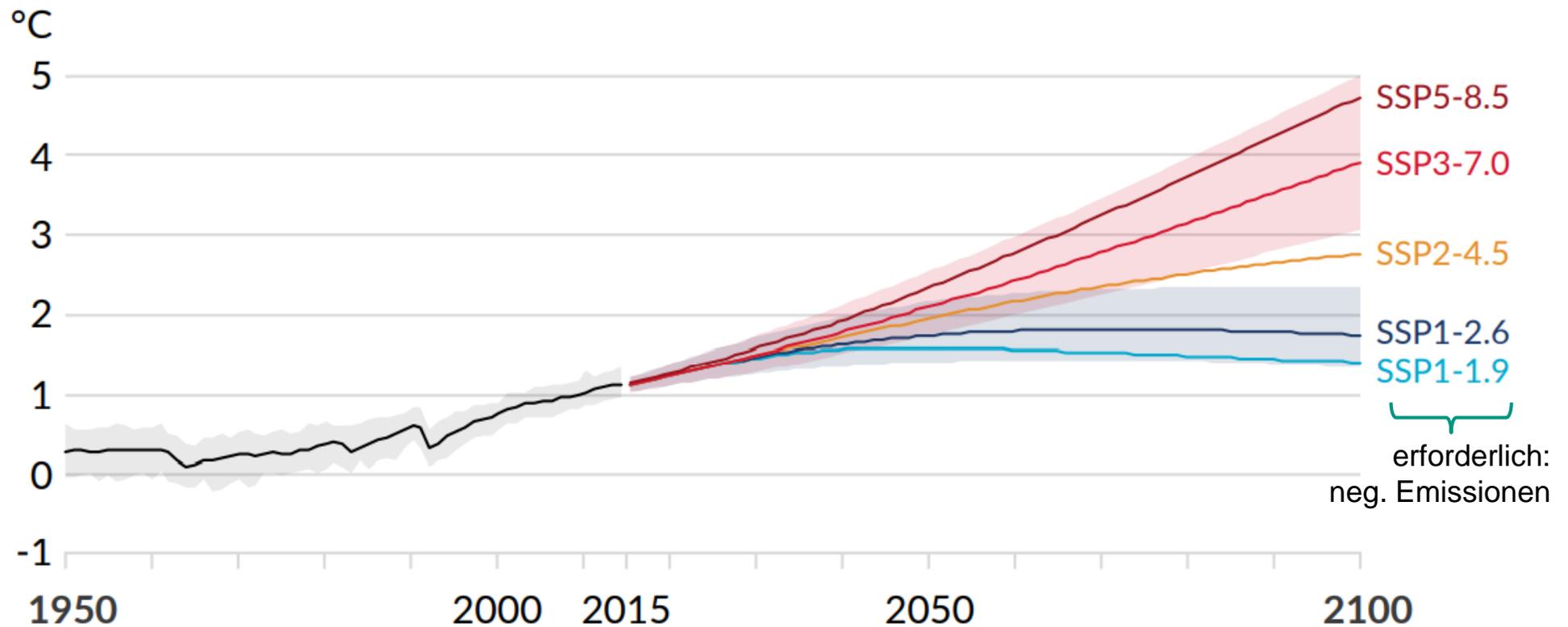


erforderlich:
neg. Emissionen

(IPCC WGI AR6, 2021)

Szenarien | Temperaturänderungen global

- Temperaturänderungen (bodennah; Ensemblemittel verschiedener Klimamodelle) relativ zu 1850-1900
 - Verschiedene Emissionsszenarien (Szenarien: Shared Socio-economic Pathway, SSP)



(IPCC WGI AR6, 2021)

“Projected **changes** in **extremes** are larger in frequency and intensity with every additional increment of global warming”

IPCC AR6, 2021

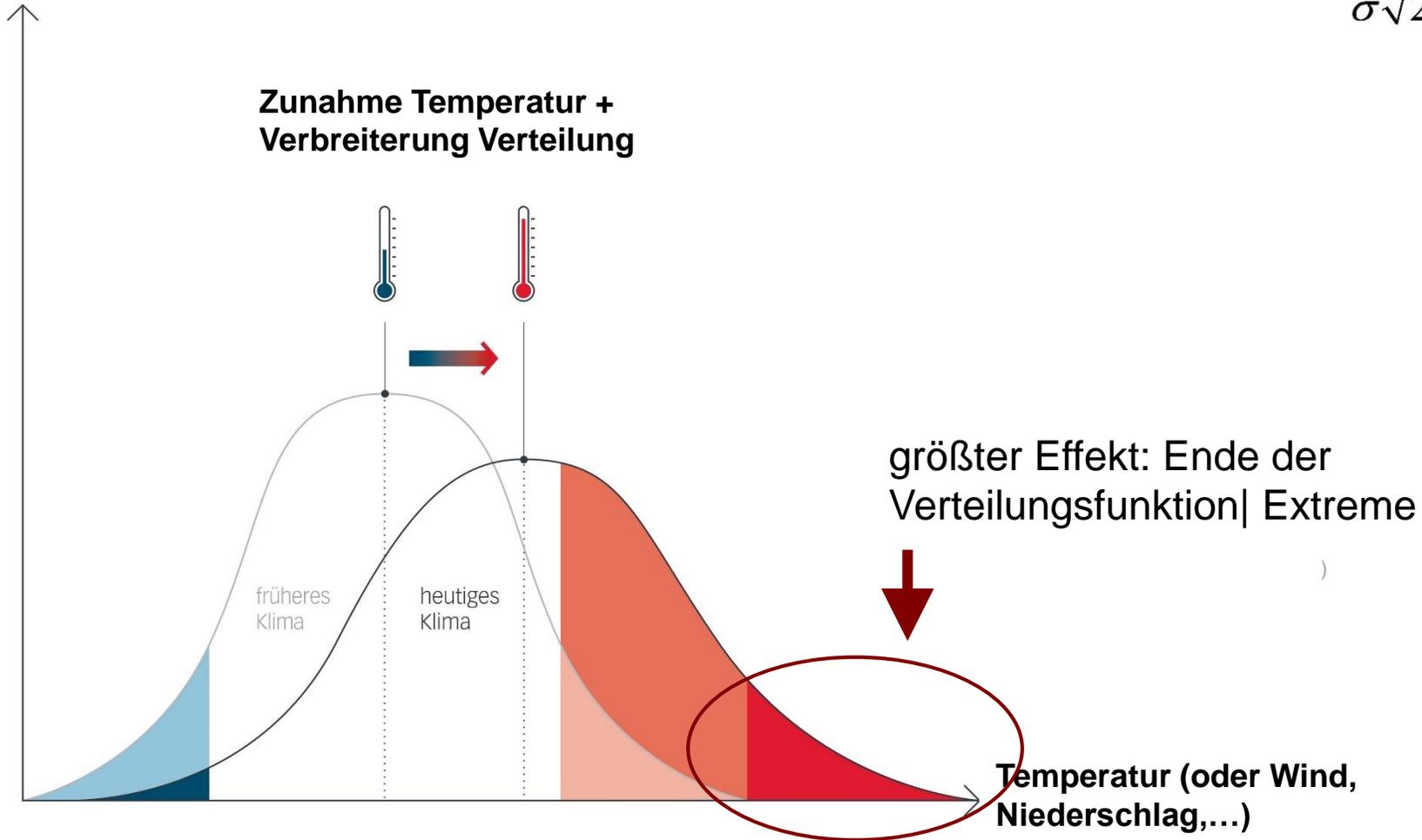


Extreme
DOWNLOADS

Ursachen Extreme I

Temperatur

Häufigkeit
Auftreten



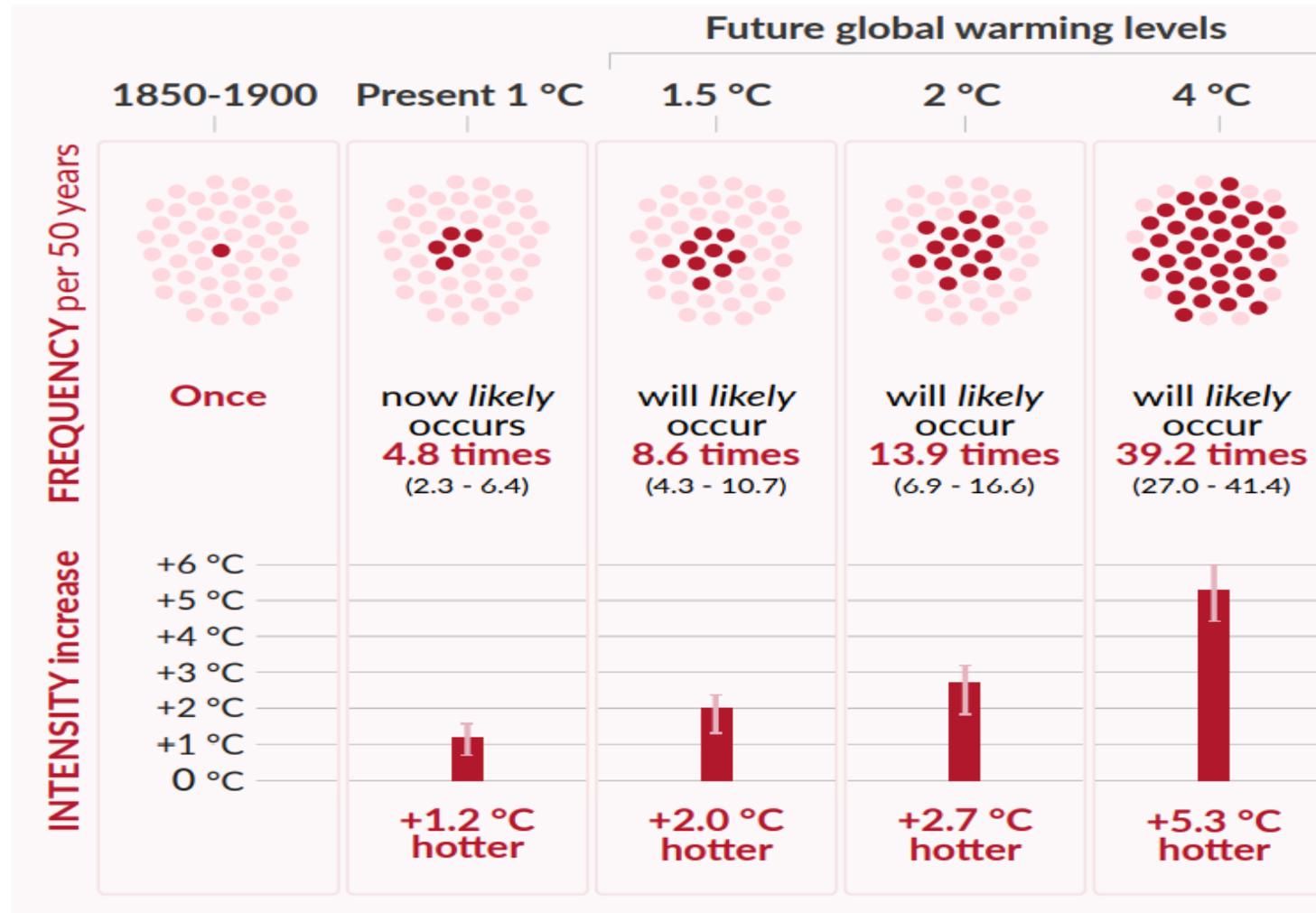
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

nach Hansen & Sato, 2016; Abb.: Nelles und Serrer, 2019

Änderungen Häufigkeit | Intensität global

- Extreme Hitzewellen, Wiederkehrperiode 50 Jahre

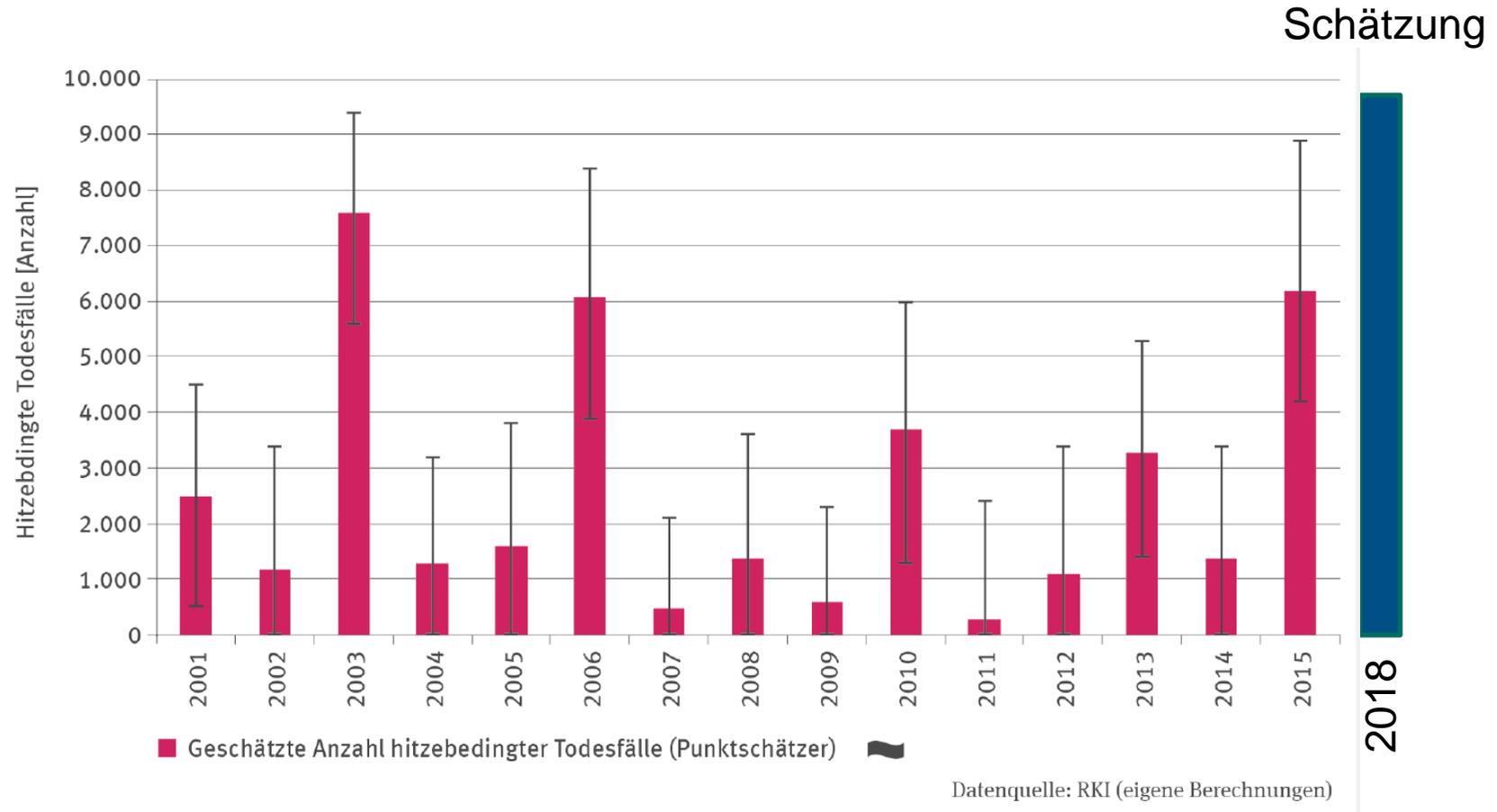
Hitzewellen



(IPCC WGI AR6, 2021)

Naturkatastrophen Deutschland

Todesopfer

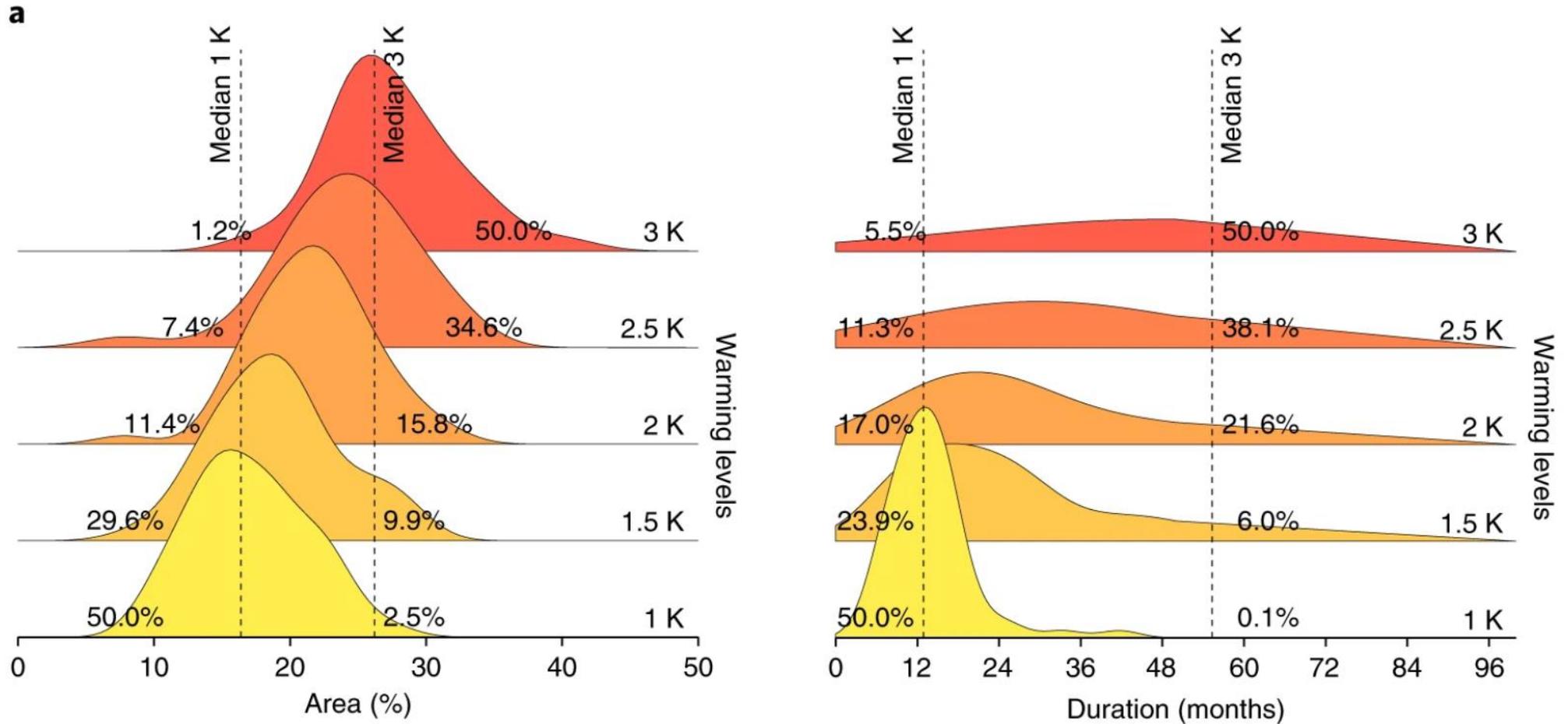


Hitzewelle 2018: nur Berlin ~490 Tote
Hitzewellen 2020: rund 4500 Tote

Quelle: Monitoringbericht UM 2019;
Daten: RKI

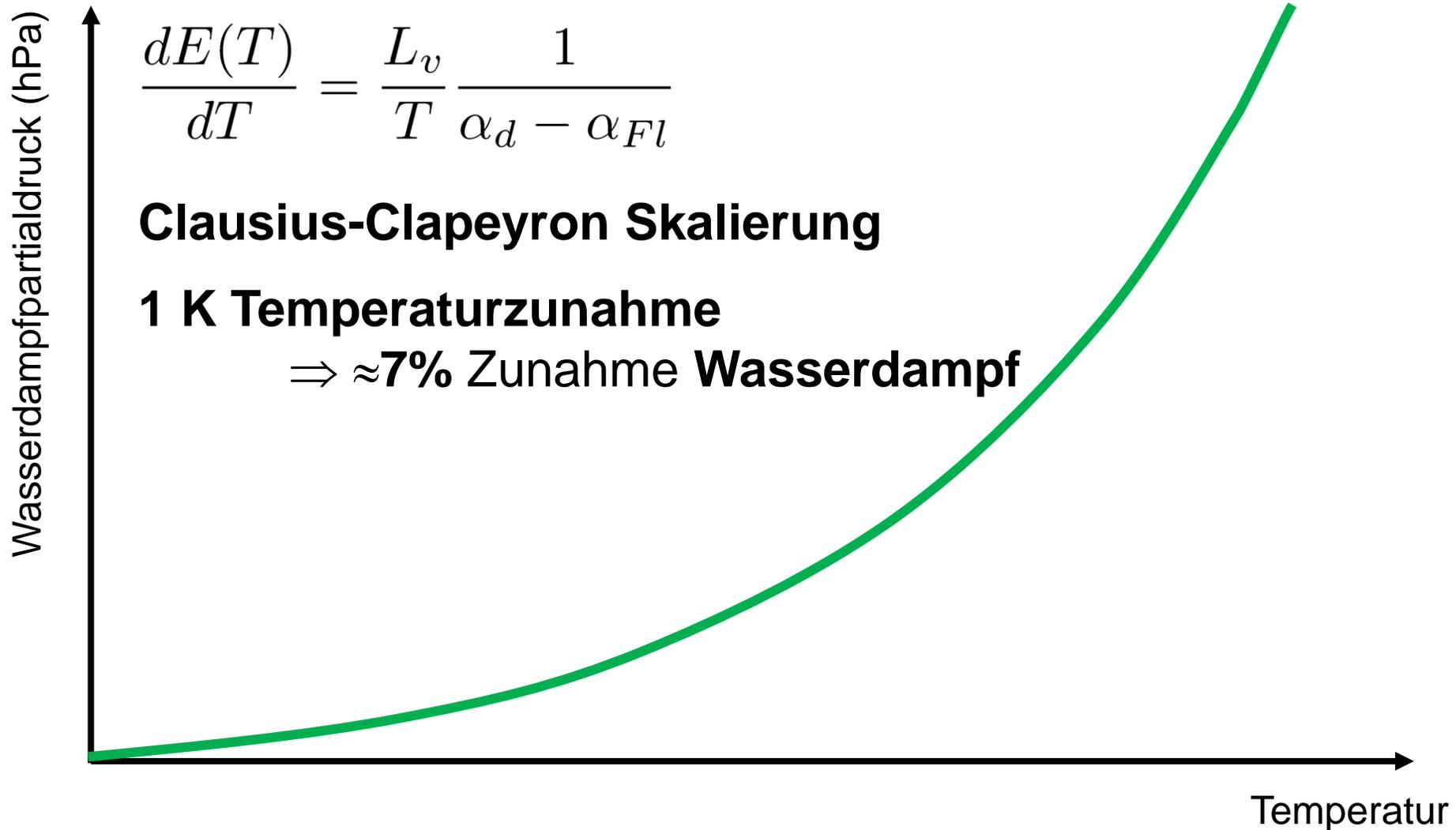
Dürre Europa

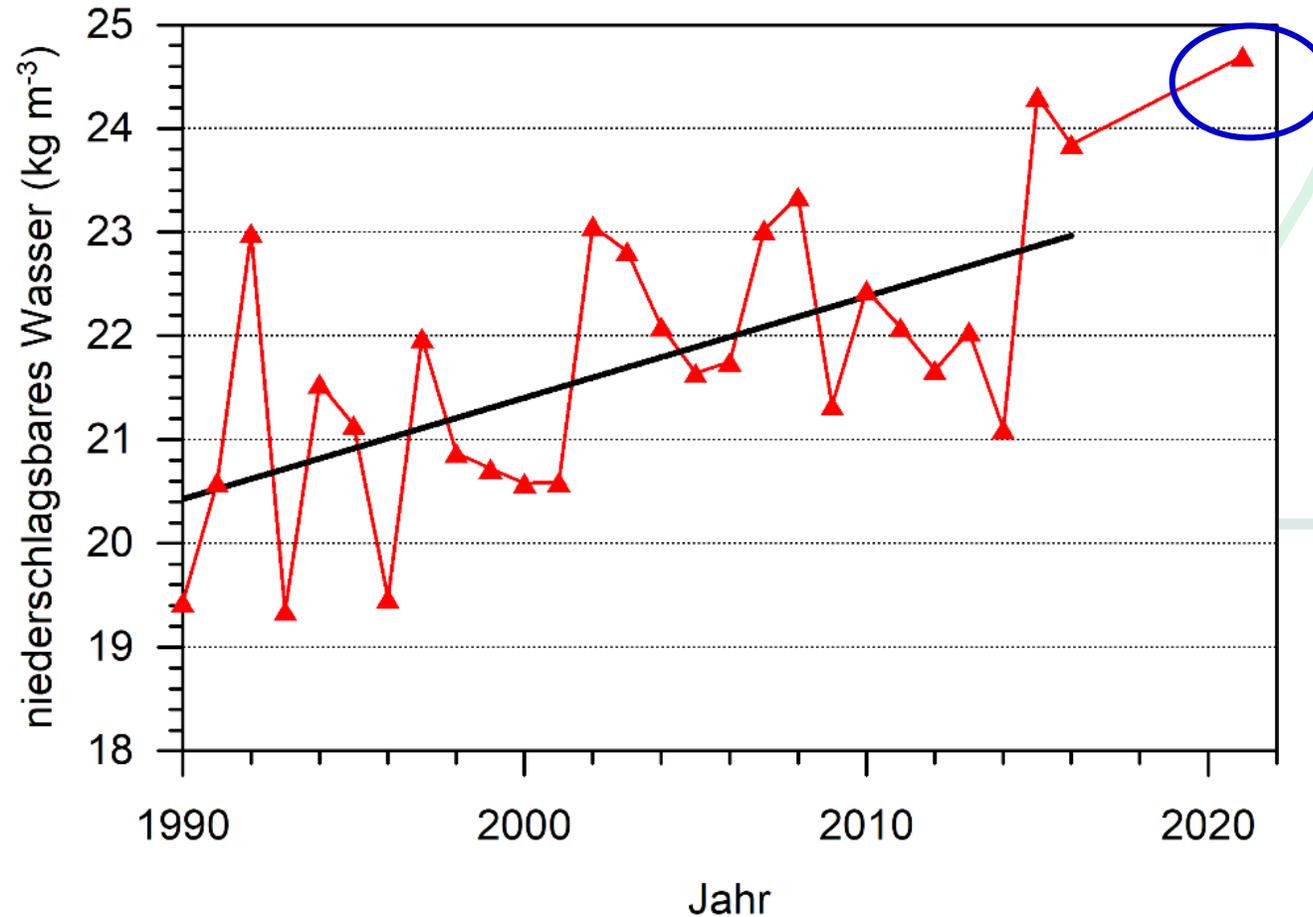
- Erwärmungen zwischen 1 und 3°C; Multi-Modell Ensemble; ohne Anpassung



Samaniego and Thober et al. 2018: "Anthropogenic warming exacerbates European soil moisture droughts", Nature Climate Change, 2018







Radiosondenstation
Stuttgart (DWD)
Juni-August

starke Zunahme Luftfeuchtigkeit
Gesamtsäule (niederschlagsbares Wasser)

**...und: Wasserdampf
= Energie**

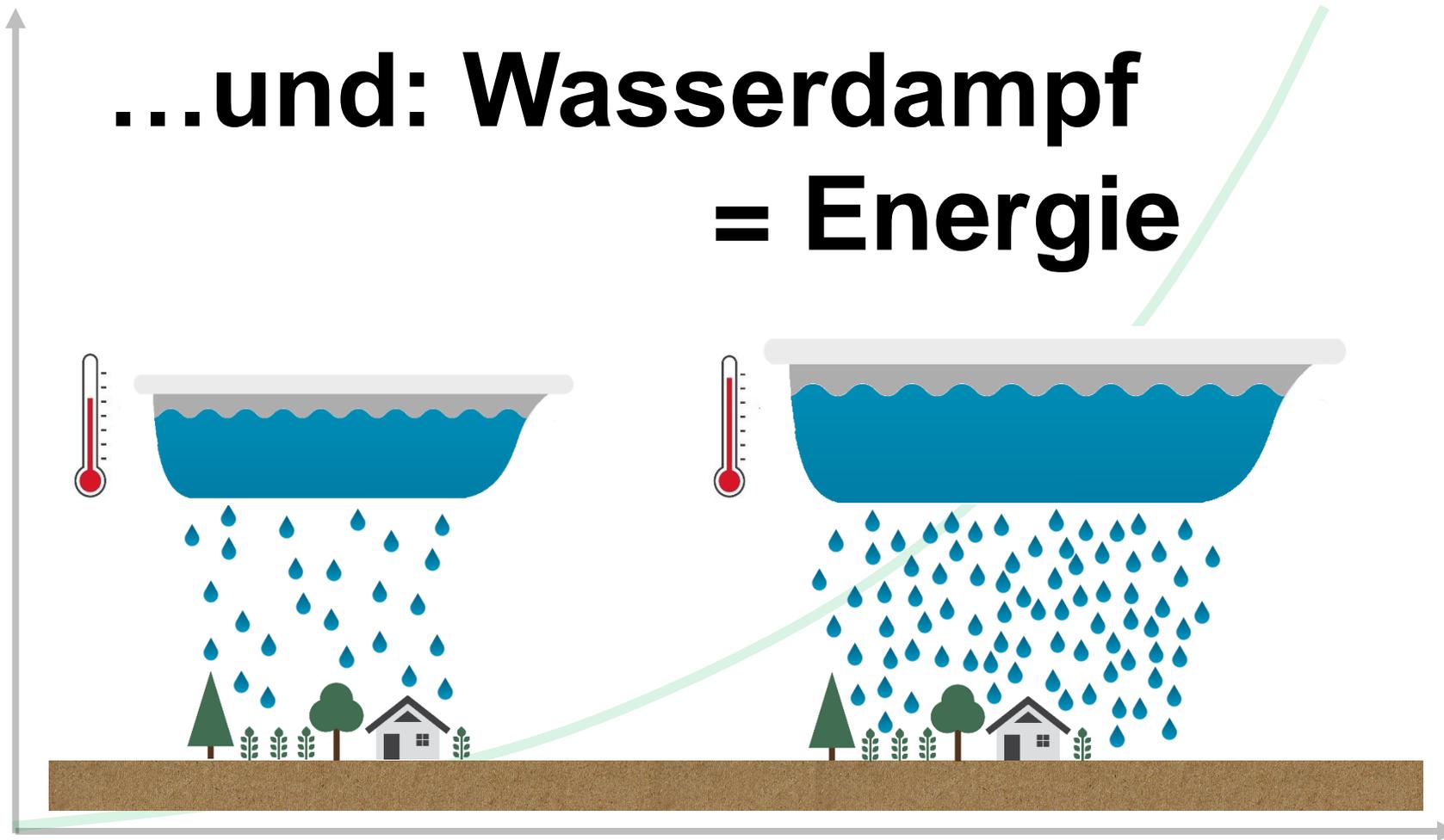


Fig.: Nelles and Serrer, 2019



“Every tonne of CO₂ emissions
adds to global warming”

“Unless there are immediate, rapid, and
large-scale reductions in greenhouse
gas emissions, **limiting warming to
1.5°C will be beyond reach.**”

IPCC AR6, 2021

EMISSIONEN...
PERSPEKTIVEN...

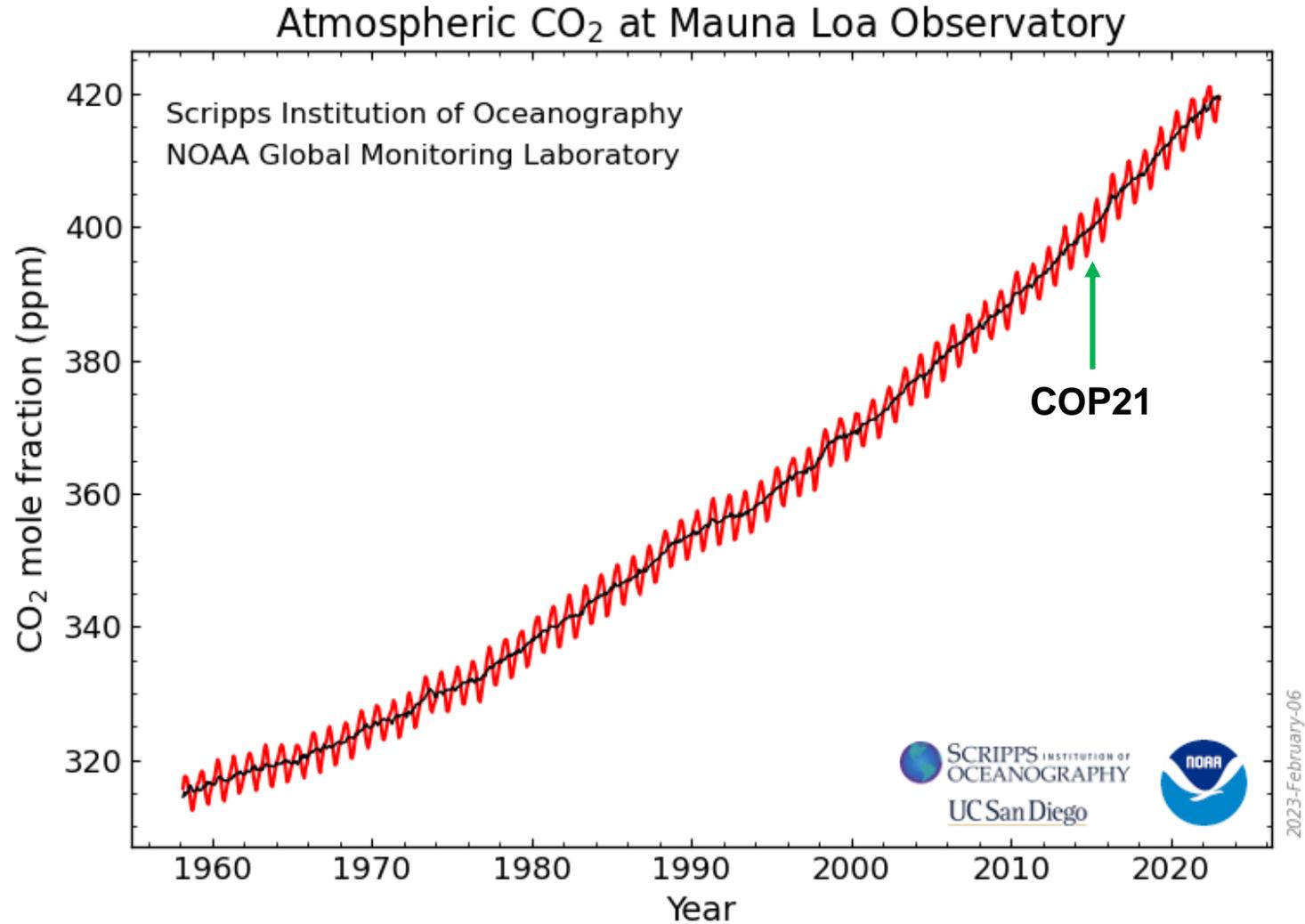


PARIS2015
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE
COP21·CMP11

Paris, France

- Begrenzung Temperaturanstieg auf 1,5 / 2°C
- Völkerrechtlich verbindlicher Vertrag (Kattowitz 2018)
- Vollständige Dekarbonisierung bis 2050
- Entwicklungsländer erhalten Hilfen in Höhe von 100 Mrd. US-\$ p.a.

Anstieg Treibhausgase



<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

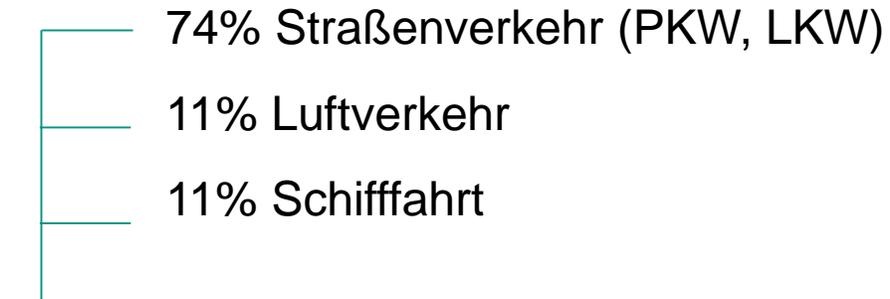
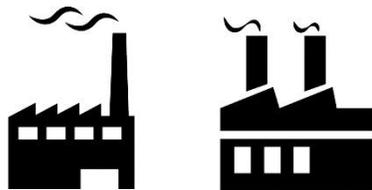
(Quelle: NOAA, 2023)

CO₂-Emissionen nach Sektoren: Global



Industrie

37%



Transport

23%



Haushalte

12%



Andere

17%

Dienstleistungen



(OECD/IEA., 2017; nach Nelles und Serrer, 2018)

Methan-Emissionen nach Sektoren

- Mehr als die Hälfte der globalen Methan-Emissionen stammen aus anthropogenen Quellen (2000er Jahre)



29%

fossile
Brennstoffe



27%

Viehhaltung



23%

Mülldeponie



11%

Reisanbau

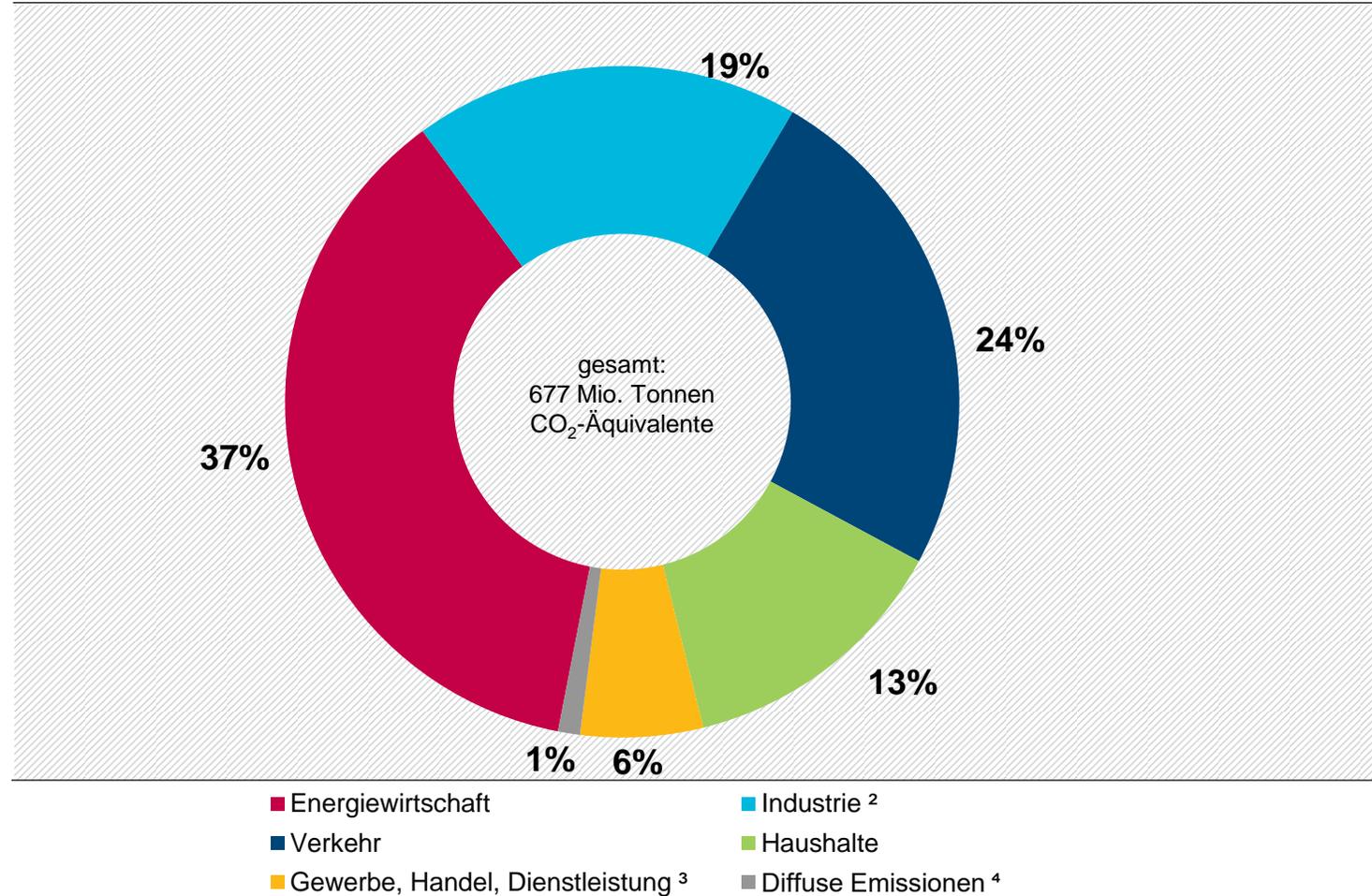


10%

Biokraftstoff,
Biomasse

(IPCC, 2014; nach Nelles und Serrer, 2018)

THG Emissionen Deutschland



1 in CO₂-Äquivalenten, berücksichtigt CO₂, CH₄, N₂O

2 enthält nur Emissionen aus Industriefeuerungen, keine Prozessemissionen

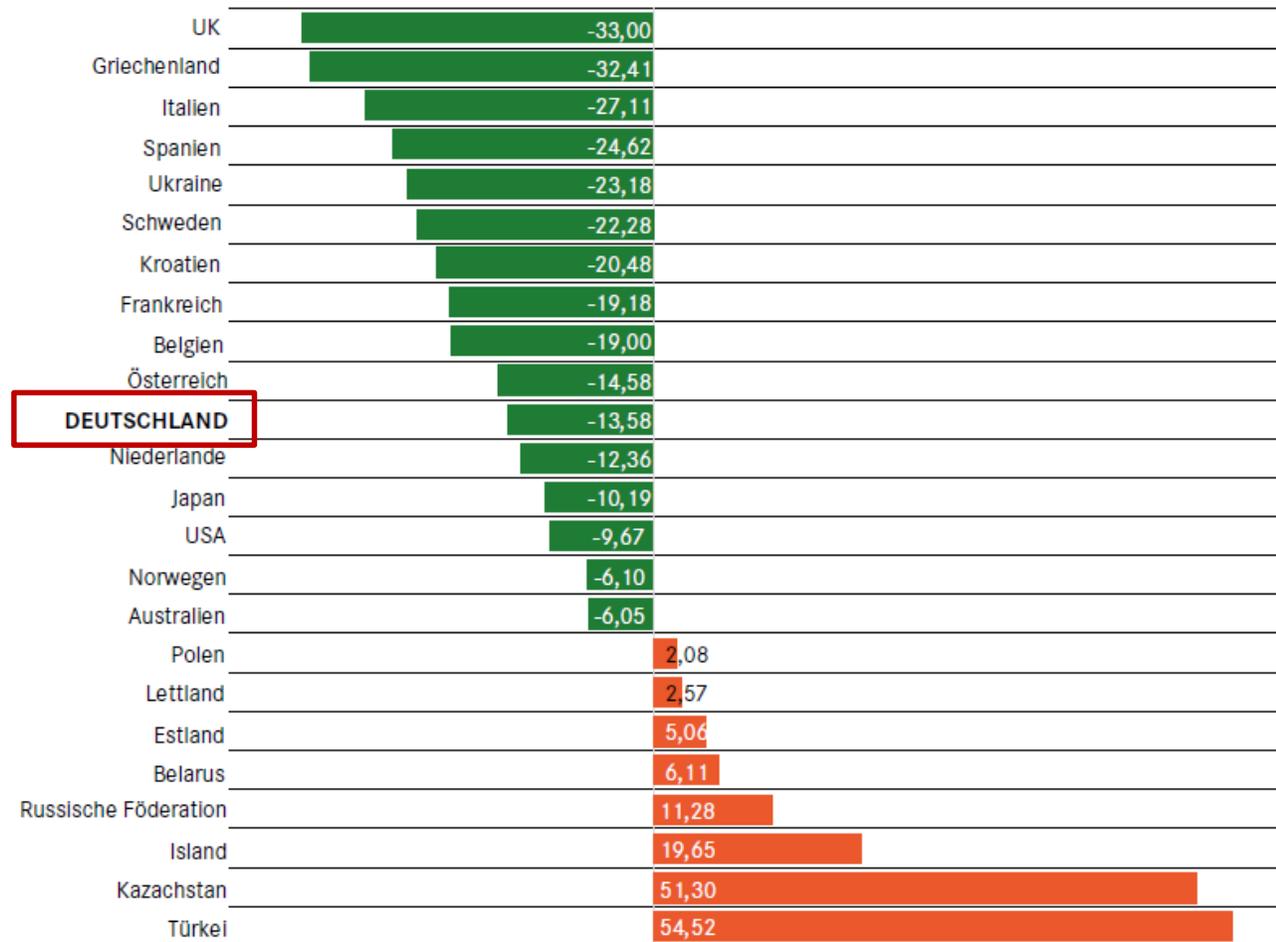
3 einschließlich Militär und Landwirtschaft (energiebedingt)

4 diffuse Emissionen aus der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung von Brennstoffen

(UBA, Stand 01/2021)

Änderung Treibhausgasemissionen

■ Unterschiede zwischen 2005 und 2018 (in%)



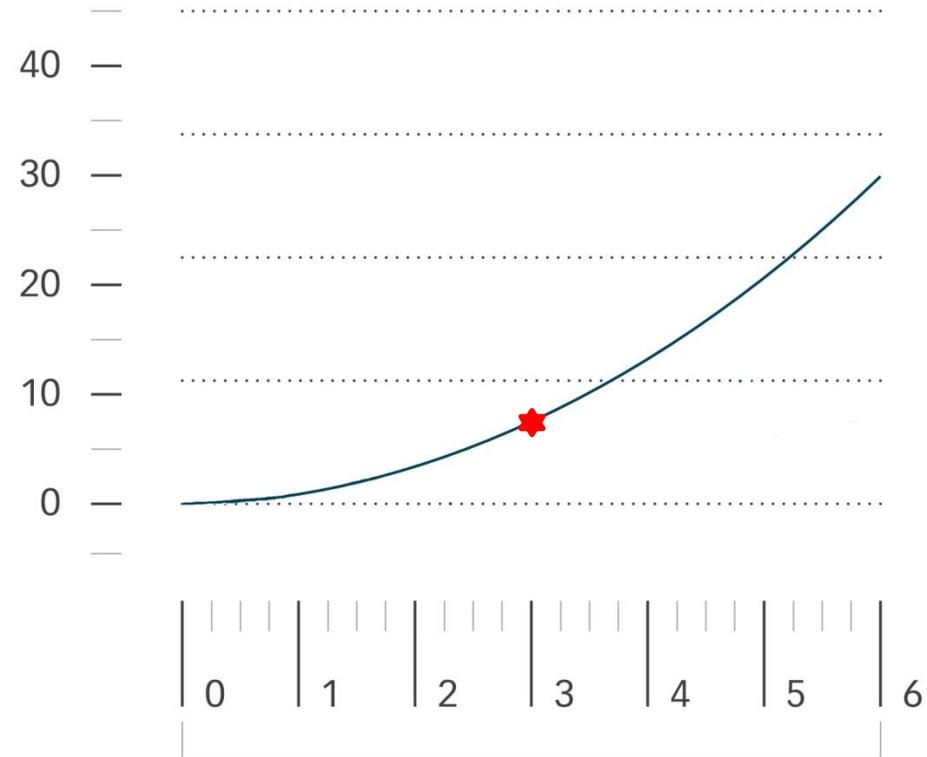
Daten: United Nations Framework Convention on Climate Change

Kosten durch den Klimawandel

Kosten

Verschiedene Berechnungen zum jährlichen Schaden durch den Klimawandel als Anteil am weltweiten Bruttoinlandsprodukt in %

★ 6,7% ≈ 5,4 Billionen USD



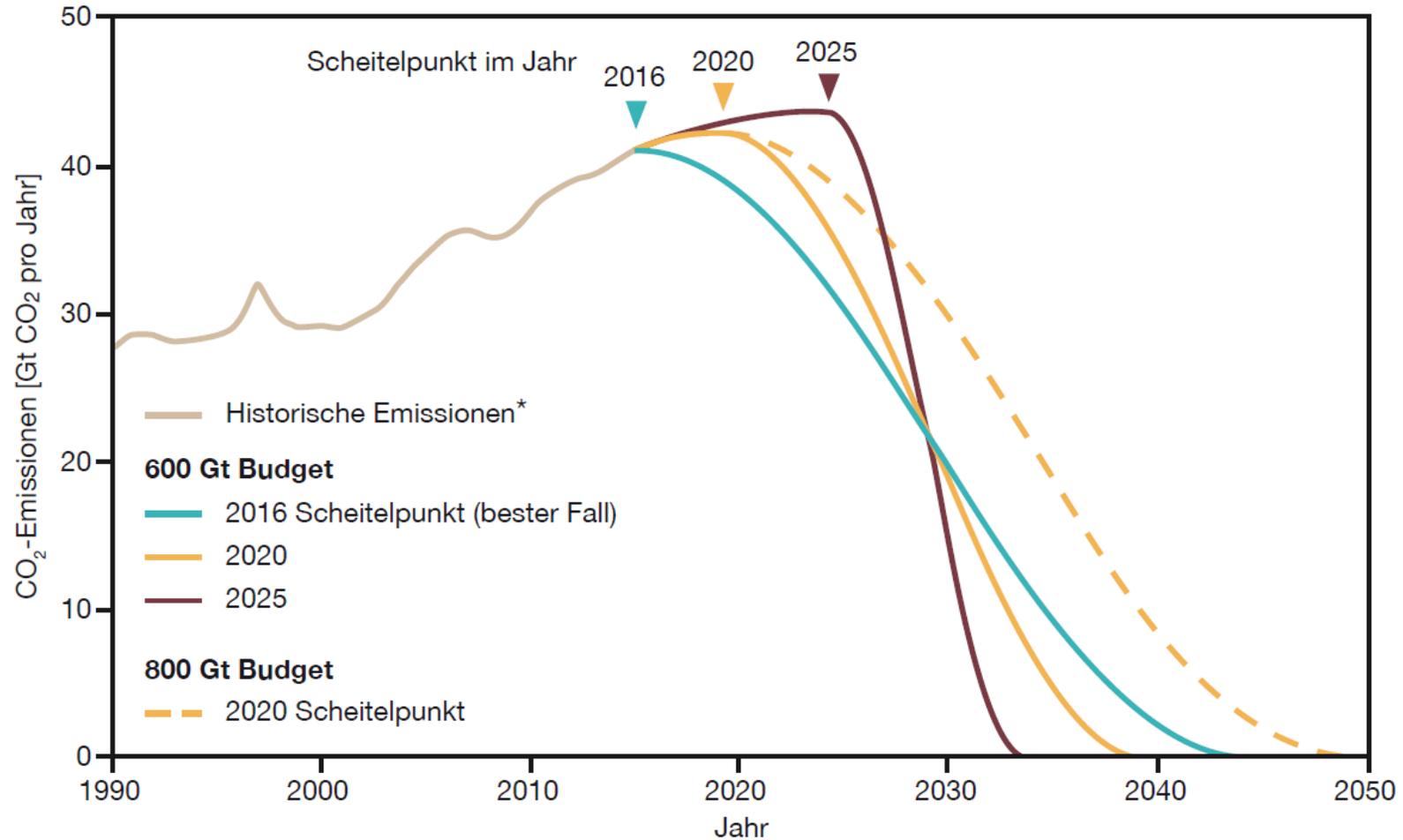
Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur in °C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit

Nach Howard & Sterner 2017
Abbildung: Nelles und Serrer, 2019

Reduktionsszenarien

- Annahme Budget Treibhausgas-Budget zw. 1.5 und 2° Erwärmung

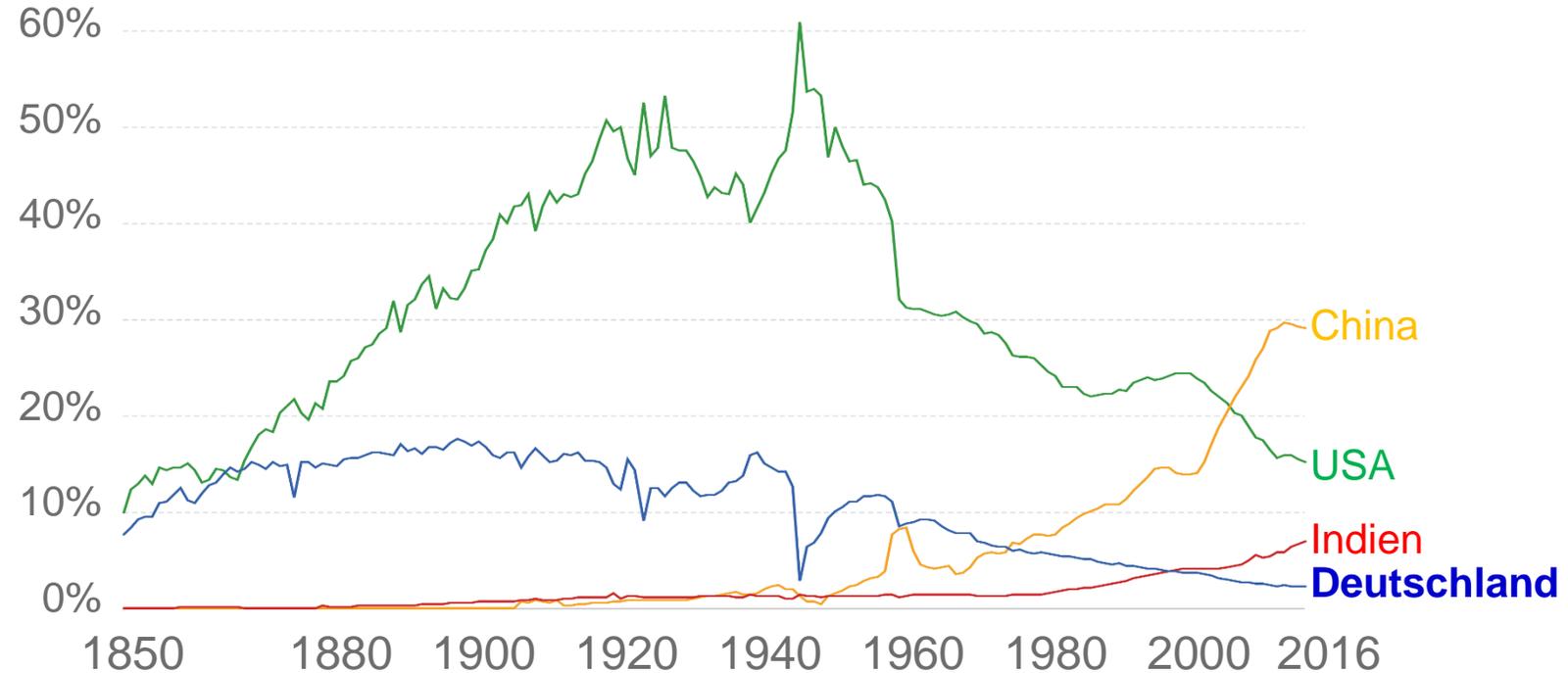
Emissionen



Quelle: WBGU Wiss. Beirat d. Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2018); nach Figueres et al., 2017

Anteil an Emissionen (mit Export):
2,4% (2,6%) (2016)

Anteil Gesamtkonzentration: **7,2%**



(Quellen: UNFCCC, CDIAC) <https://ourworldindata.org>

COP21

- Übersetzung $\Delta T_{1.5-2^\circ C}$: **Dekarbonisierung** bis 2050
- Große Herausforderung für alle Lebensbereiche...



Ernährung



- **Kohleausstieg** bis 2025 (2030) Deutschland (Welt)
- Einführung EU-weite **CO₂-Abgabe**
- Sofortiges Ende umweltschädlicher **Subventionen**
- Verbot von **Flügen** < 1000 km | Besteuerung Flugverkehr
- Verringerung Autoverkehr | **Tempolimit** (30 / 120 km/h)
- Nachhaltige **Infrastruktur** | Güterverkehr auf die Schiene
- **Energetische** Optimierung Bauwesen (Energiekredite)
- Globaler **Masterplan** gegen Klimakrise



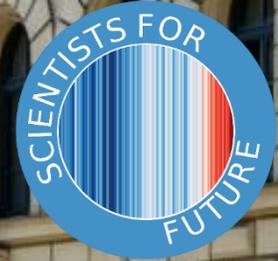
Folgen Klimawandel erheblich beschleunigt!

Zeit zu handeln ist knapp!!!

Mitigation und Adaption!!!



Fridays for Future



CAPITALISM KILLS OUR FUTURE

MAKE THE WORLD GREEN AGAIN

WHAT ABOUT PLEXIT?

SURFING into a better FUTURE

BE THE CHANGE YOU WANT TO SEE IN THIS WORLD



CLIMATE JUSTICE NOW!



69 deutsche Unternehmen fordern eine Umsetzungsoffensive für Klimaneutralität


 Stiftung
 KlimaWirtschaft



Das KIT hat Klimaschutz und Nachhaltigkeit über die Kernaufgaben hinaus systematisch strategisch und organisatorisch verankert



Beauftragter des Präsidiums für Klimaschutz und Nachhaltigkeit
Bestellung in 2020



SEP22-26: Klimamanagement
Neues Kapitel im SEP
2021



Handlungsfelder Transfer, Digitalisierung, Nachhaltigkeit
Aufnahme in Dachstrategie



Vizepräsidentin für Digitalisierung und Nachhaltigkeit
Neues Ressort ab 2023



Bekennnis der Helmholtz-Gemeinschaft
Bestätigung 2020



Klimapakt Karlsruhe
Vereinbarung 2021



Leitlinie Nachhaltigkeit
Bestätigung 2021



Nachhaltigkeit in der Infrastruktur
Bauliche Entwicklungsplanung
Energiediagramm
2022

Ziele im Handlungsfeld Nachhaltigkeit

„Bedeutenden Beitrag zur nachhaltigen Transformation der Gesellschaft leisten“



Nachhaltigkeit als strategische Querschnittsaufgabe in der Dachstrategie des KIT integriert

Die Nachhaltigkeitsstrategie adressiert alle relevanten Strukturen und Handlungsfelder innerhalb des KIT

Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung in den Kernaufgaben Forschung, Lehre und Innovation leisten

Transfer zur nachhaltigen Entwicklung in Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft aktiv gestalten

Wissen, Bewusstsein und Selbstverantwortung für nachhaltiges Handeln fördern

Prinzipien der Nachhaltigkeit an eigene Entwicklung und eigenes Handeln anlegen

Die Novellierung der Klimaschutzziele des Landes Baden-Württemberg (Klimaschutzgesetz vom 6.10.2021) gehen über die Ziele der aktuellen Hochschulfinanzierungsvereinbarung hinaus:

- Netto-Treibhausgasneutralität der Hochschulen des Landes bis 2030.

Das KIT unterstützt entsprechende Anpassungen der Nachfolgeregelungen und strebt eine Netto-Treibhausneutralität an.

**WELTOFFENE
HOCHSCHULEN
GEGEN FREMDEN-
FEINDLICHKEIT**

