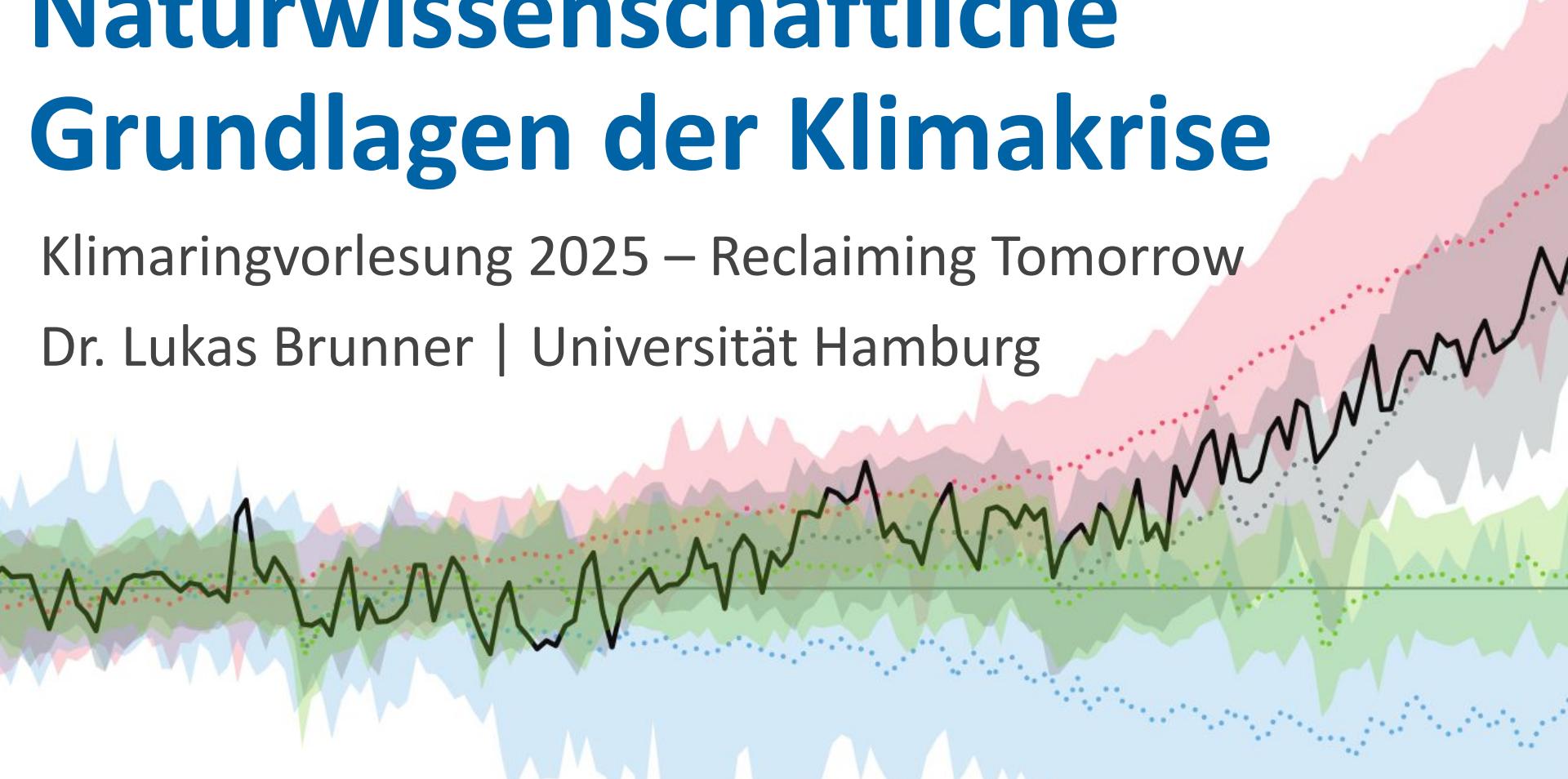


Naturwissenschaftliche Grundlagen der Klimakrise

Klimaringvorlesung 2025 – Reclaiming Tomorrow

Dr. Lukas Brunner | Universität Hamburg



Über mich

- 2009-14: Studium der Physik an der Karl-Franzens Universität Graz
- 2014-18: Doktorat zum Thema Hochdrucksysteme und Temperaturextreme am Wegener Center für Klima und Globalen Wandel, Graz
- 2018-22: PostDoc in der Gruppe für Klimaphysik an der ETH Zürich
- 2022-2024: Wissenschaftler in der Gruppe für Dynamik und Modellierung des Klimasystems an der Universität Wien
- seit 2024: Wissenschaftler in der Gruppe für Klimaextreme an der Universität Hamburg | lukasbrunner.github.io



Überblick



1 | Das natürliche Klimasystem der Erde



2 | Der menschliche Einfluss auf das Klima

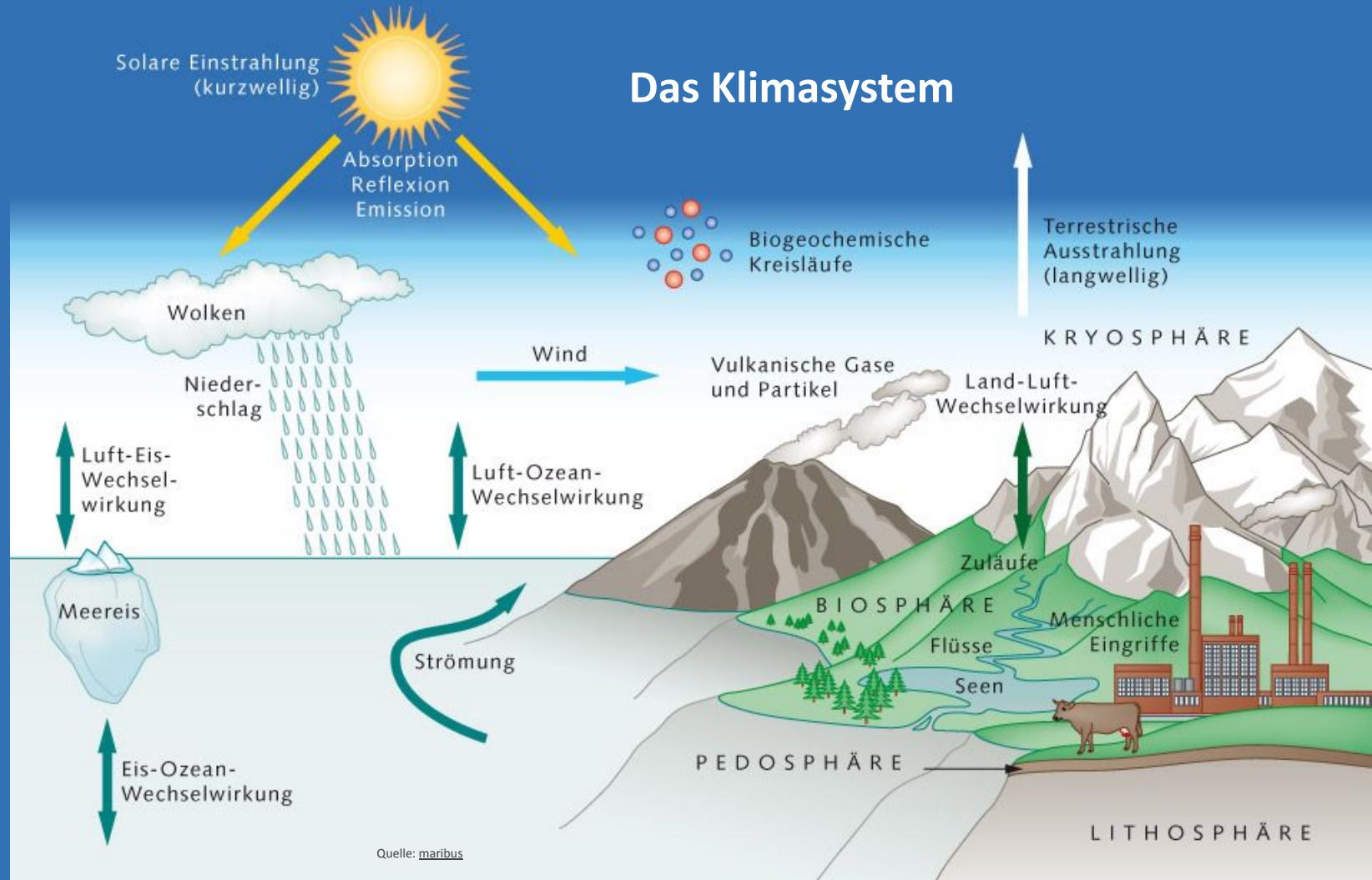


3 | Verminderung von Klimawandel (und Anpassung)

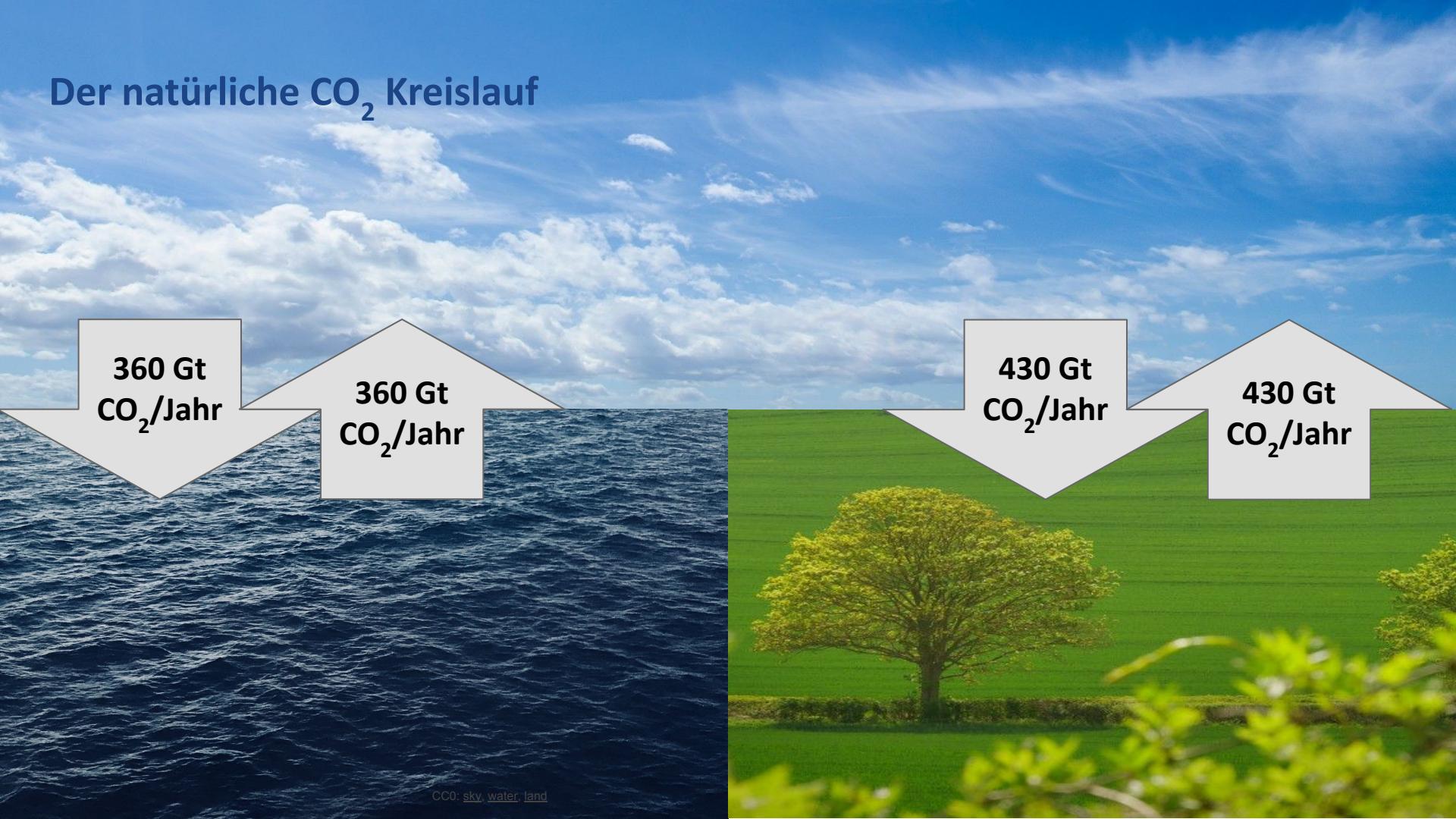
1 | Das natürliche Klimasystem der Erde



Das Klimasystem

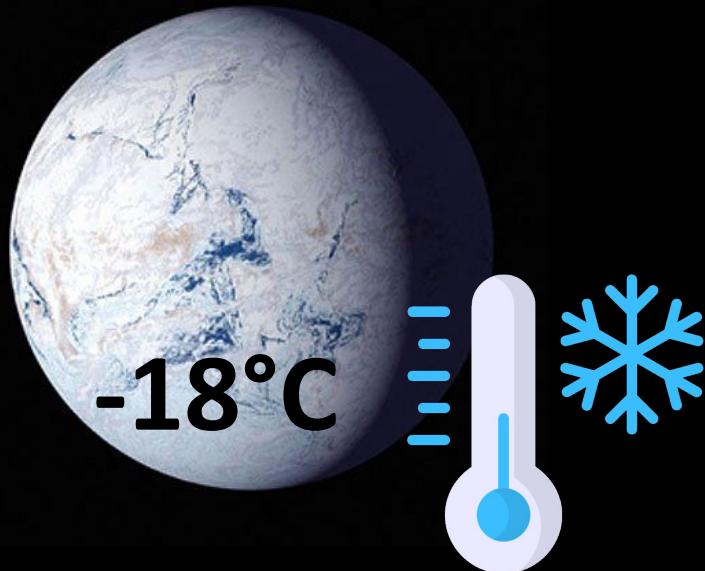


Der natürliche CO₂ Kreislauf

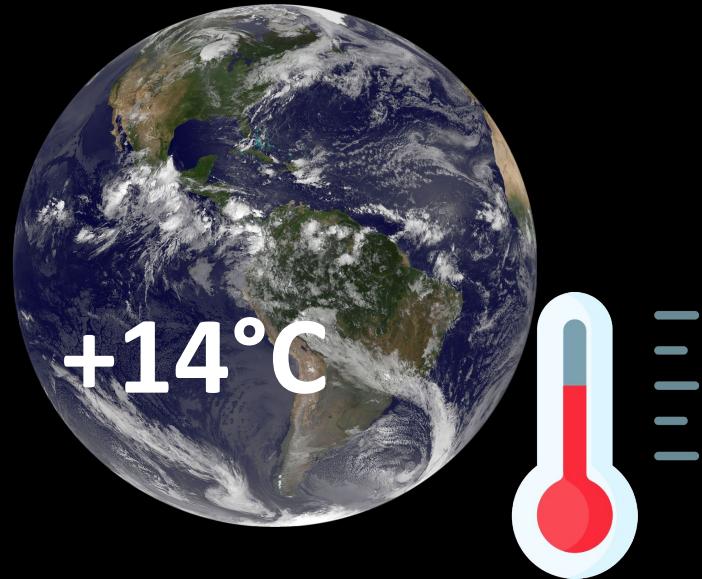


Temperatur der Erde und (natürlicher) Treibhauseffekt

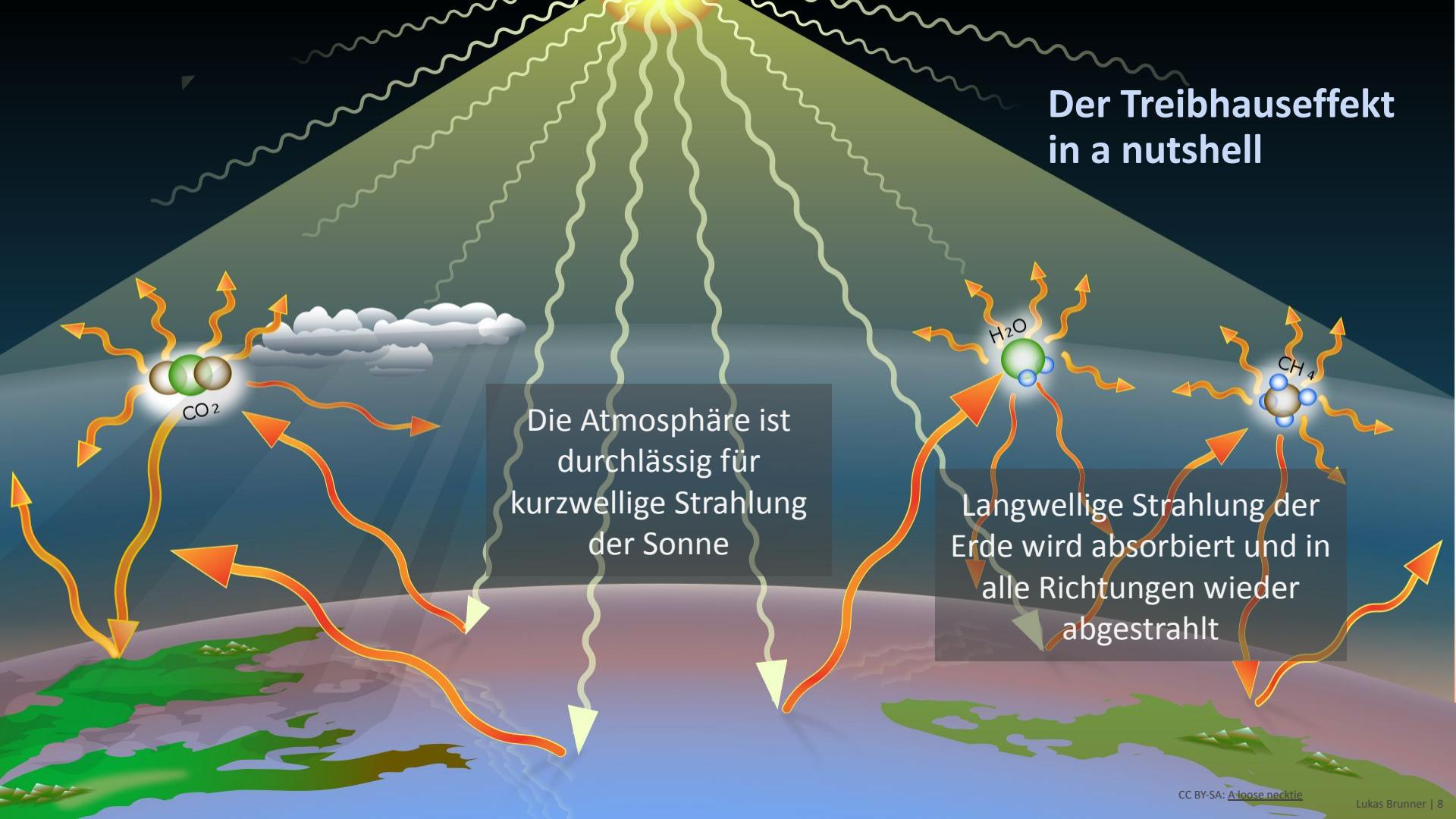
Ohne Treibhausgase



Mit Treibhausgasen

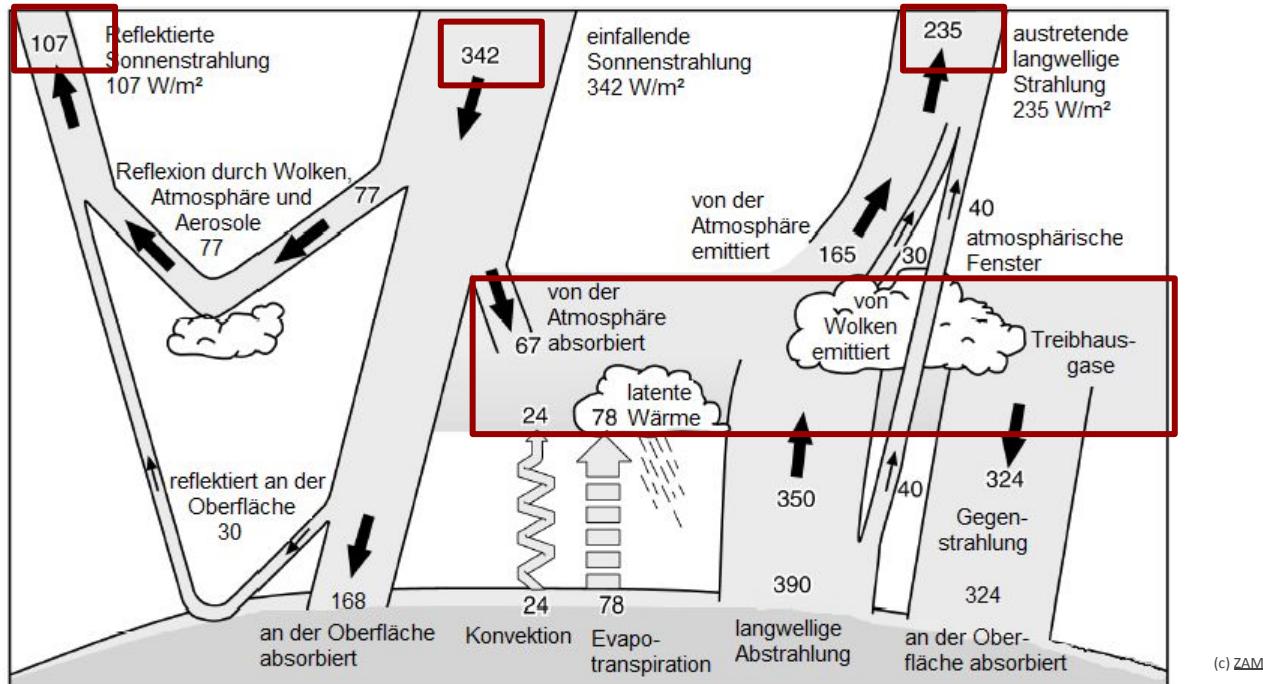


Der Treibhauseffekt in a nutshell



Ohne Störung ist die Energie von Ein- und Ausstrahlung im Klimasystem im Gleichgewicht

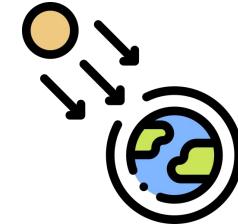
Einfallend (342 W/m^2) = Reflektiert (107 W/m^2) + Austretend (235 W/m^2)



(c) ZAMG

Take Home Messages

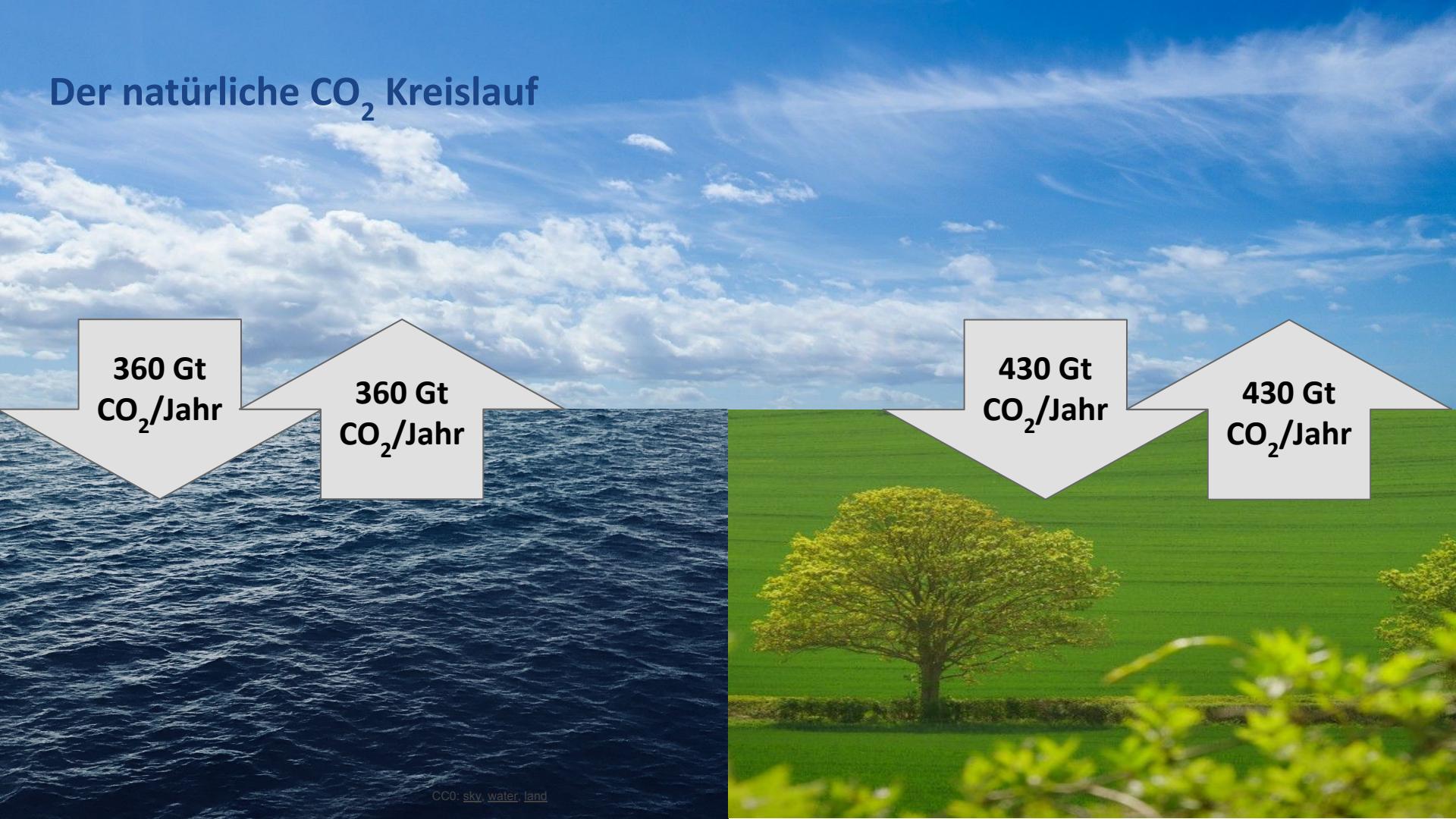
- Treibhausgase in der Atmosphäre sind **durchlässig für kurzwelliges Sonnenlicht** aber **absorbieren und re-emittierten die langwellige Wärmestrahlung der Erde** (natürlicher Treibhauseffekt)
- Das **Klimasystem** versucht langfristig ein **Gleichgewicht** zu erreichen (z.B. zwischen Einstrahlung und Ausstrahlung).



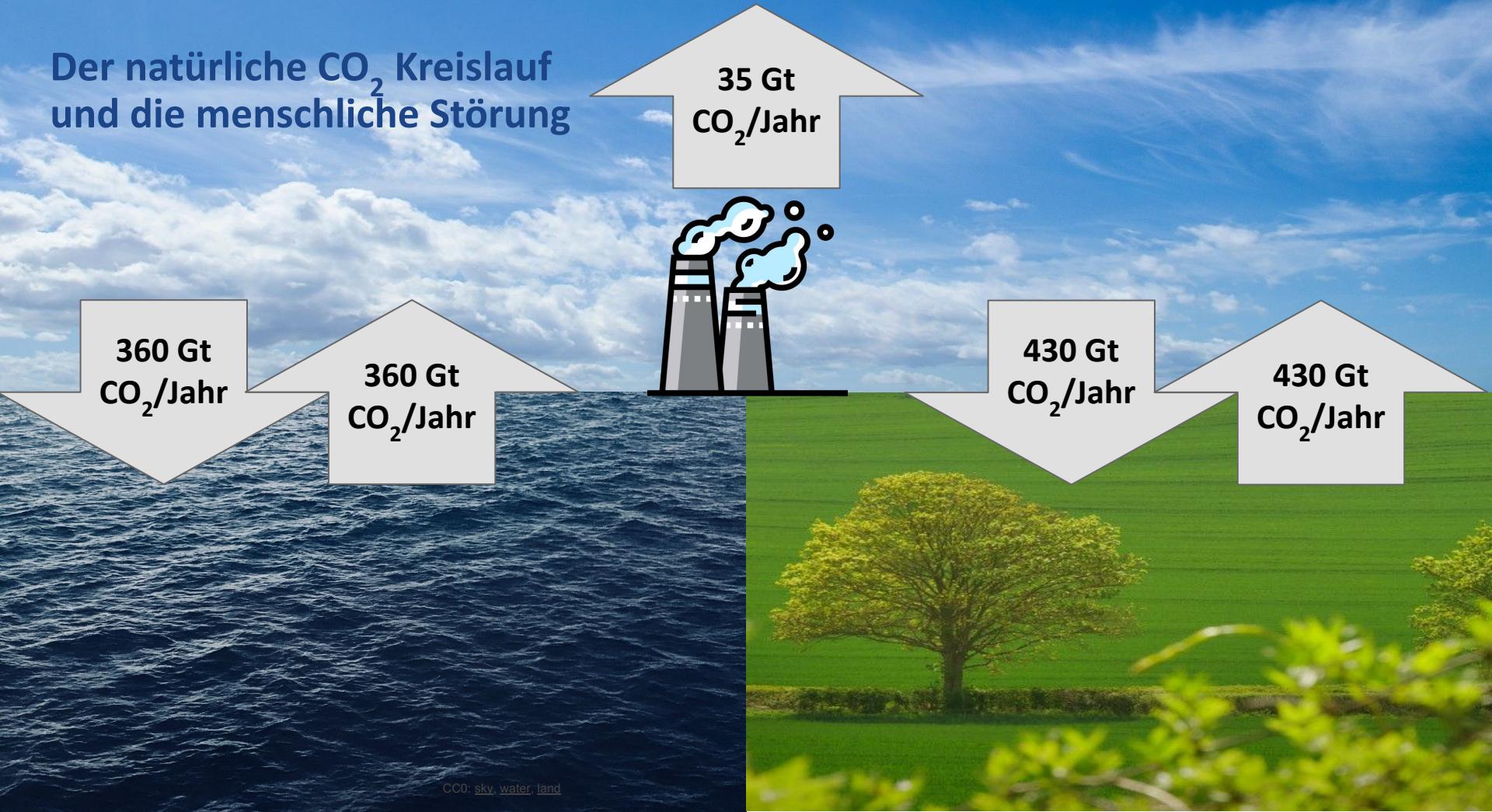
2 | Der menschliche Einfluss auf das Klima



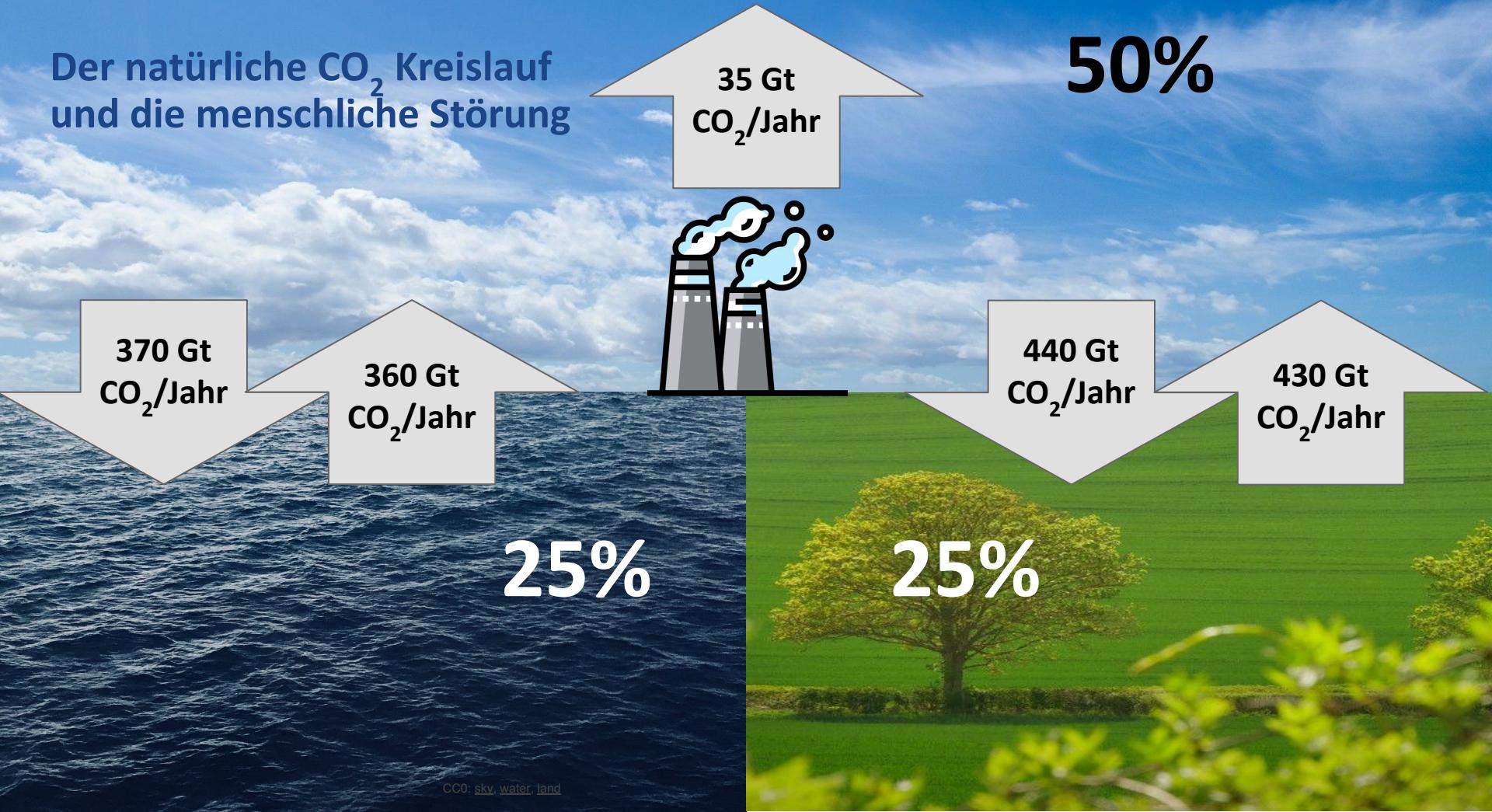
Der natürliche CO₂ Kreislauf



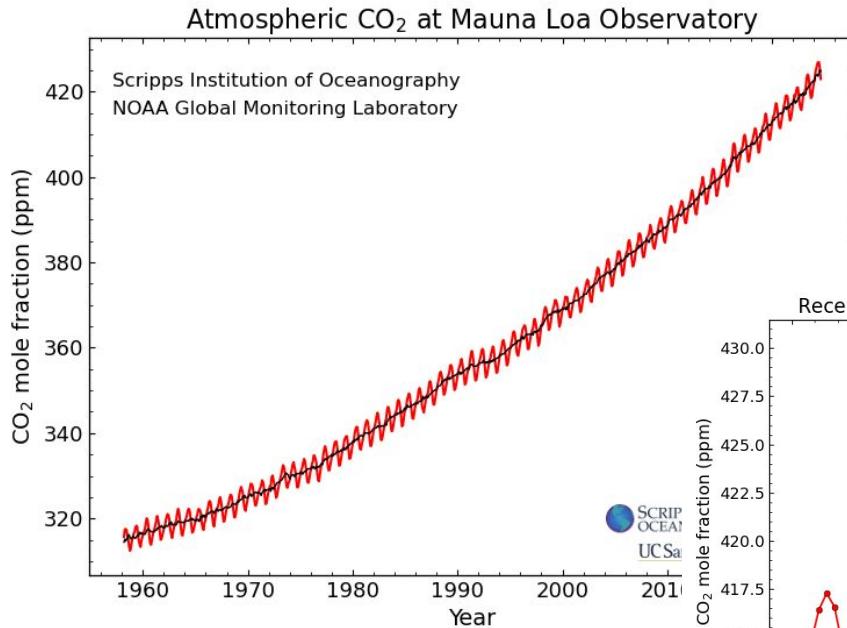
Der natürliche CO₂ Kreislauf und die menschliche Störung



Der natürliche CO₂ Kreislauf und die menschliche Störung



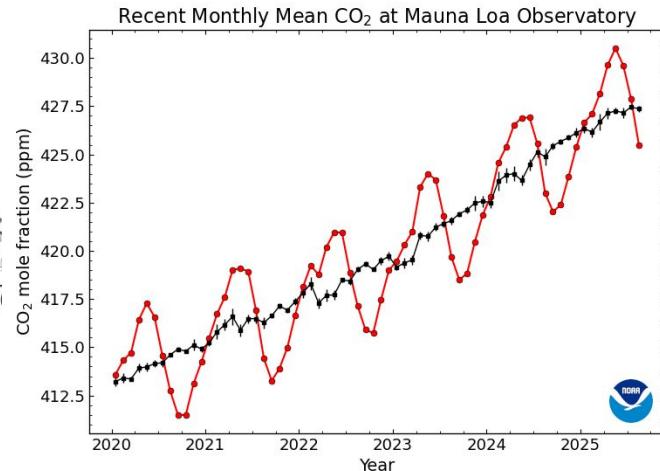
Unsere CO₂ Emissionen führen zu einem Anstieg der CO₂ Konzentrationen in der Atmosphäre



Quelle: [NOAA](#)

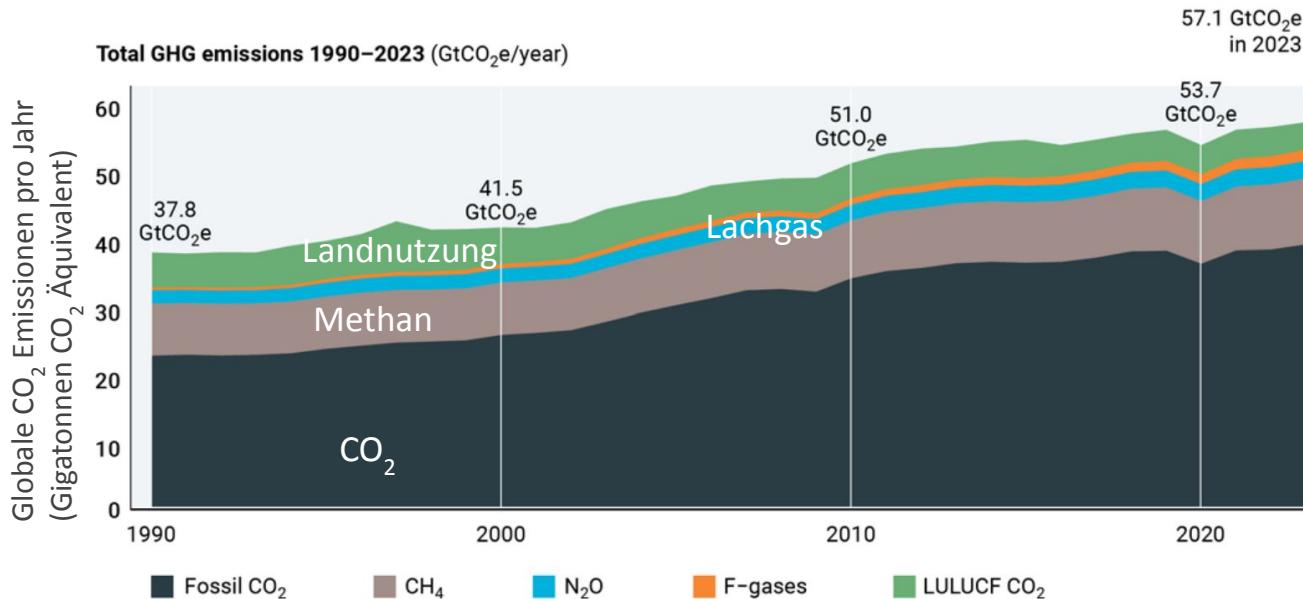
Sog. Keeling-Kurve

Treibhausgase wie CO₂ können **viele Jahrhunderte** in der Atmosphäre bleiben und sammeln sich daher an.



ppm: Teile pro Million Teile

Anteil anderer Treibhausgase im Vergleich zu CO₂

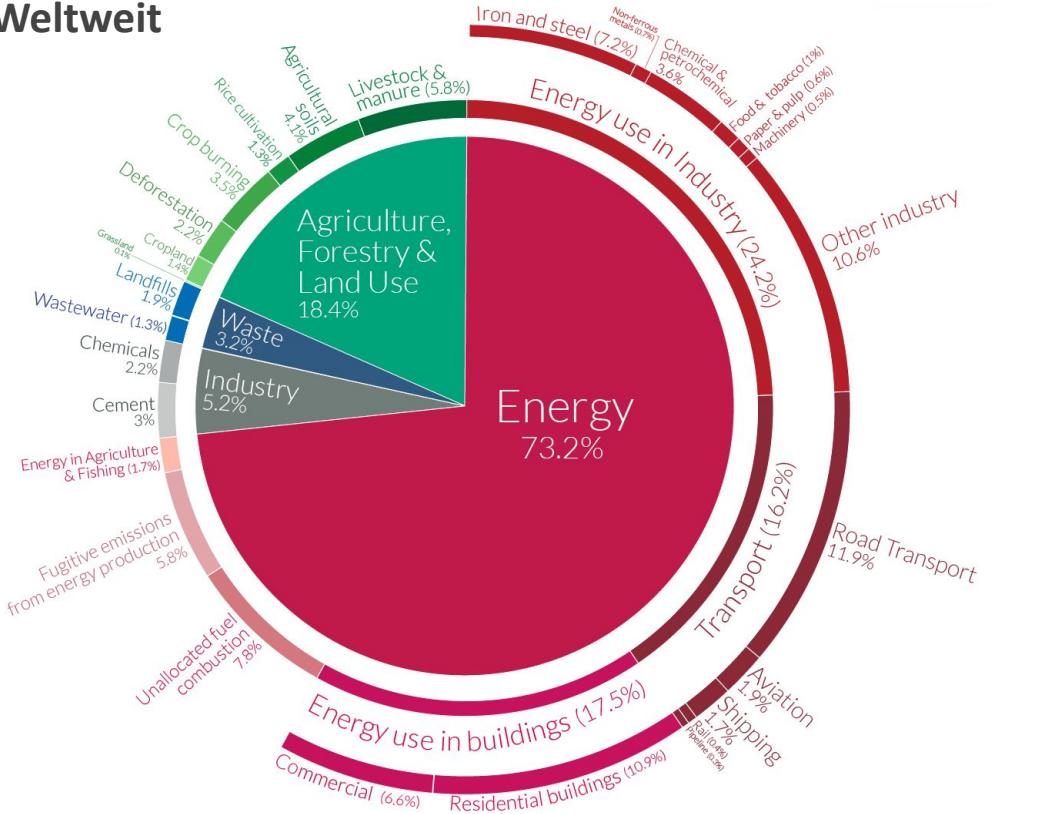


Ein CO₂ Äquivalent gibt die Wirkung eines Treibhausgases verglichen mit CO₂ an. Als Zeitraum für die Berechnung werden üblicherweise 100 Jahre verwendet.

Eine **Gigatonne** ist eine **Milliarde Tonnen** oder eine Billion (10^{12}) Kilogramm

Nebenbemerkung: Woher kommen die Emissionen?

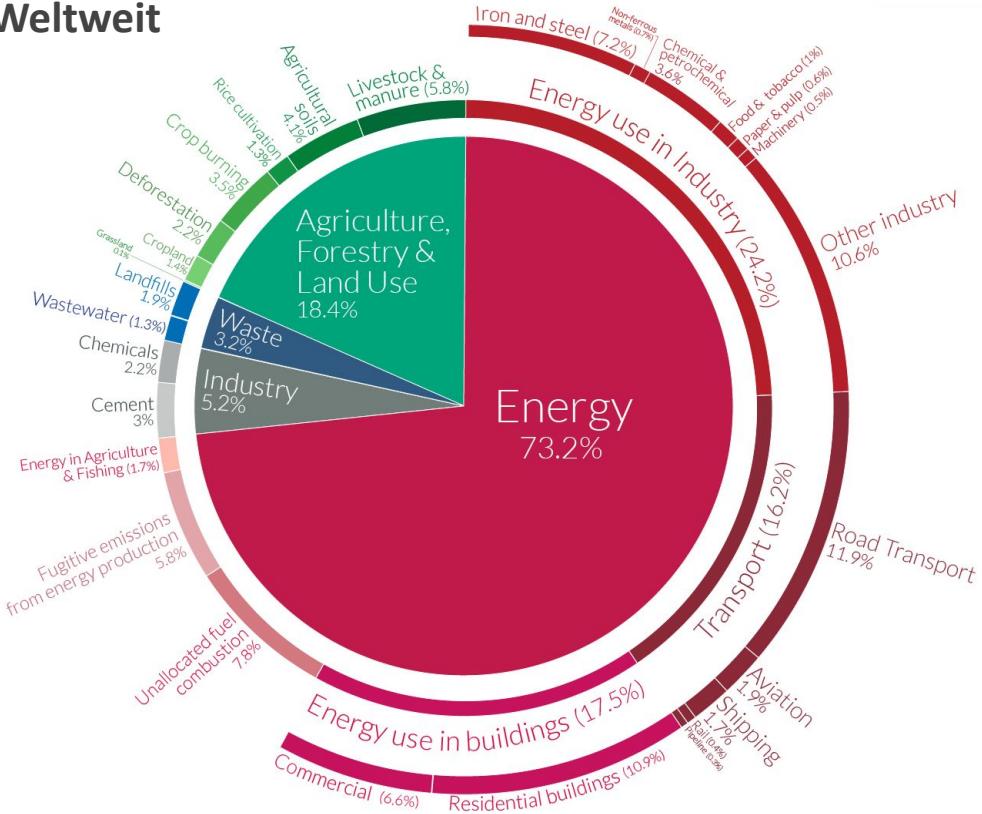
Weltweit



Quelle: [Our World in Data](#)

Nebenbemerkung: Woher kommen die Emissionen?

Weltweit



Deutschland



Quelle: [Our World in Data, Klimadashboard](#)

Finding Information: Klimadashboard



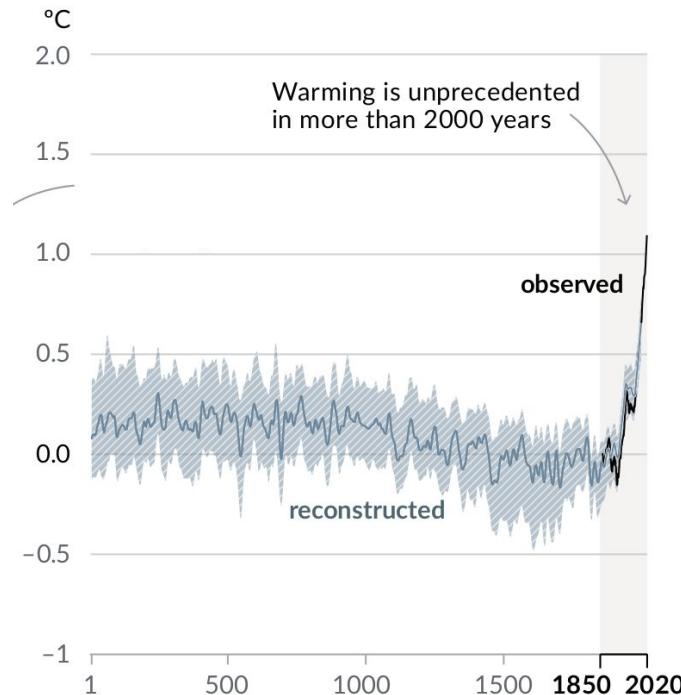
Klimadashboard

Deutschland



Quelle: [Our World in Data](#), [Klimadashboard](#)

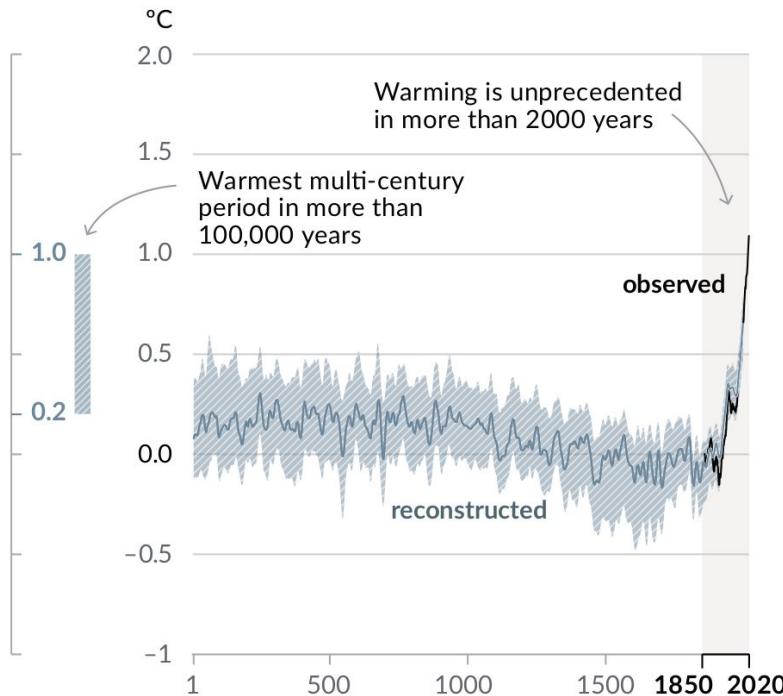
Unsere Emissionen führen zu einer Temperatur die heute höher ist als in den letzten 2000 Jahren



Quelle: [IPCC AR6 Summary for Policymakers](#)

Globale Temperaturänderung relativ zu 1850-1900.

Unsere Emissionen führen zu einer Temperatur die heute höher ist als in den letzten 2000 Jahren oder mehr...



DER STANDARD

Wissen und Gesellschaft > Natur International Deutschland Österreich Web mehr...

KLIMAKRISE

Höchsttemperaturen wie 2023 gab es womöglich erstmals seit 100.000 Jahren

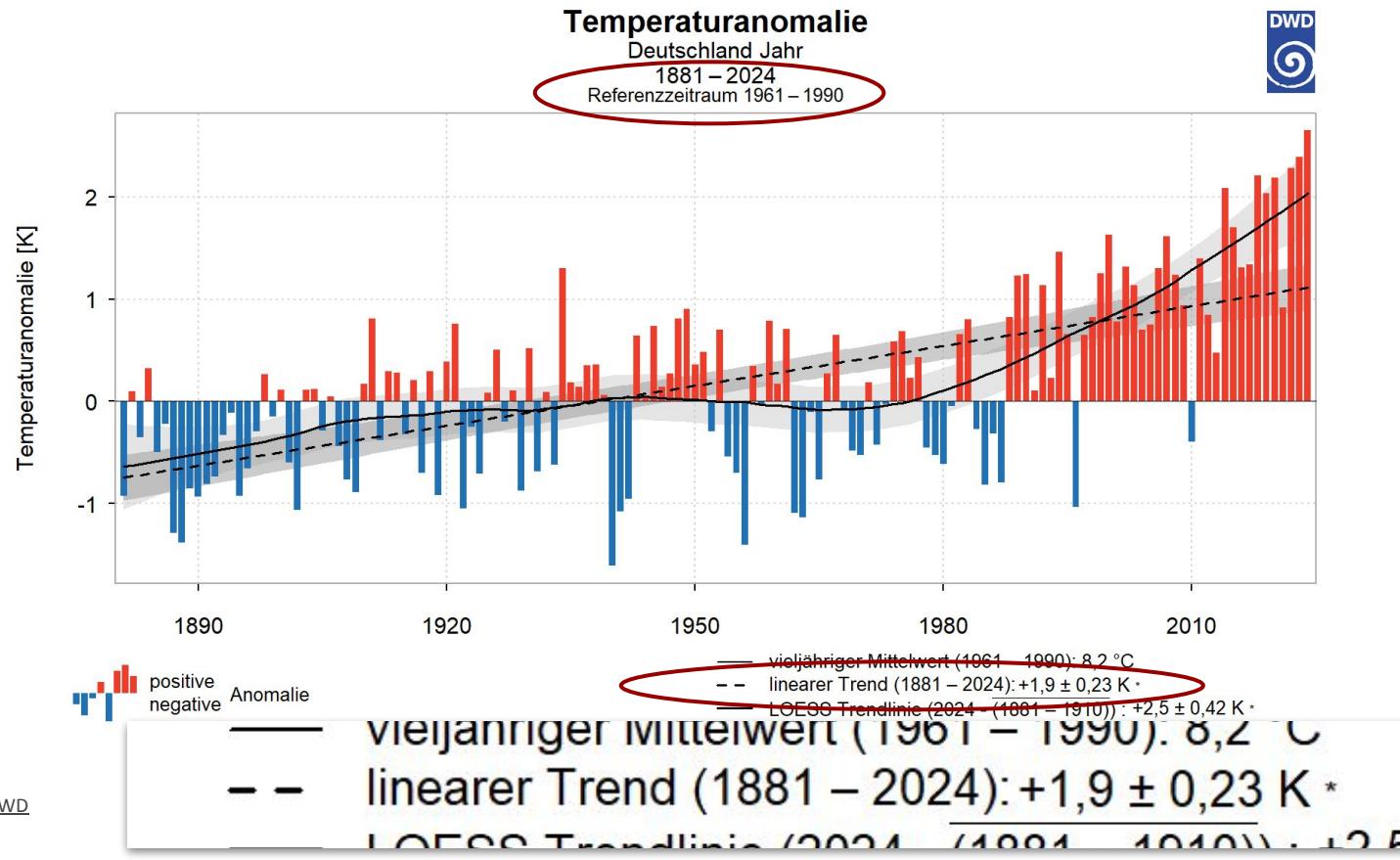
Ein neuer Klimareport warnt vor einem lebensbedrohlichen Zustand der Erde. Die 2023 gemessenen Extremwerte machen auch unpopuläre Entscheidungen nötig

Julia Sica
24. Oktober 2023, 16:03

Globale Temperaturänderung relativ zu 1850-1900.

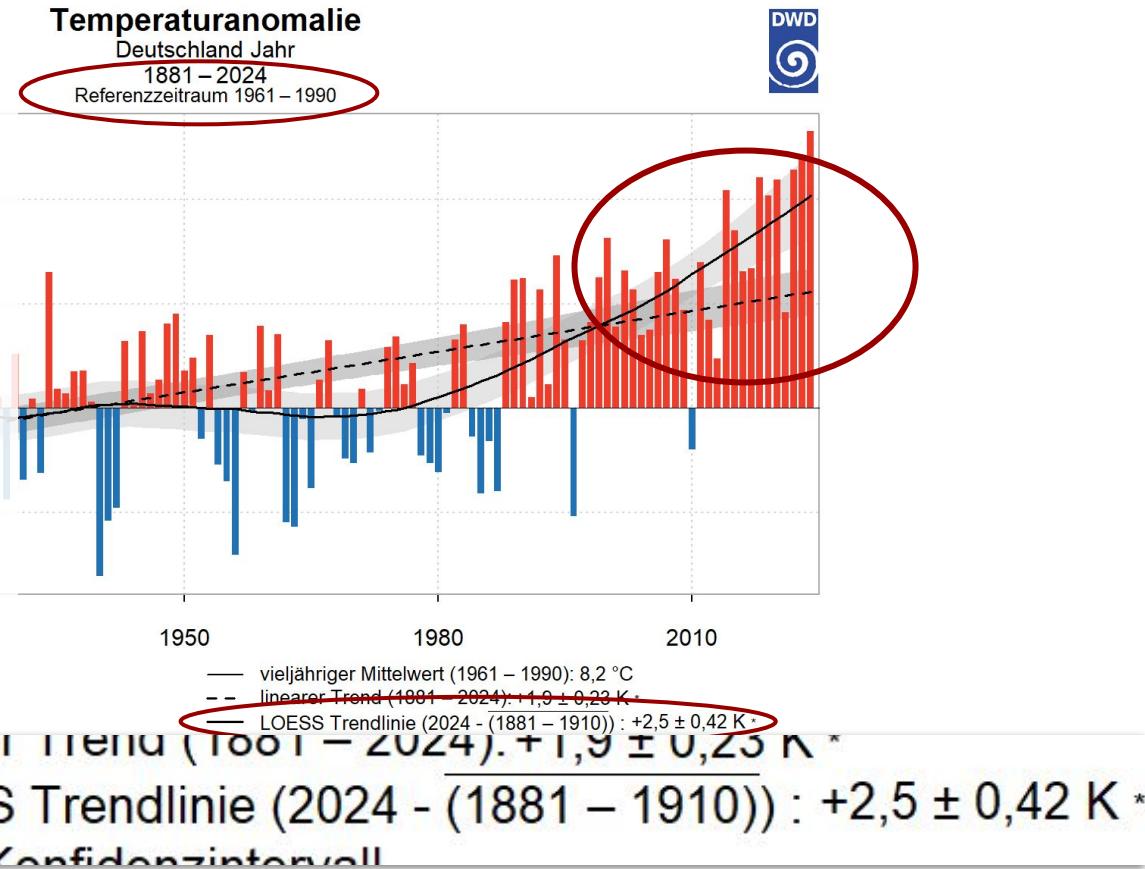
Quelle: [IPCC AR6 Summary for Policymakers](#)

Deutschland erwärmt sich stärker als das globale Mittel



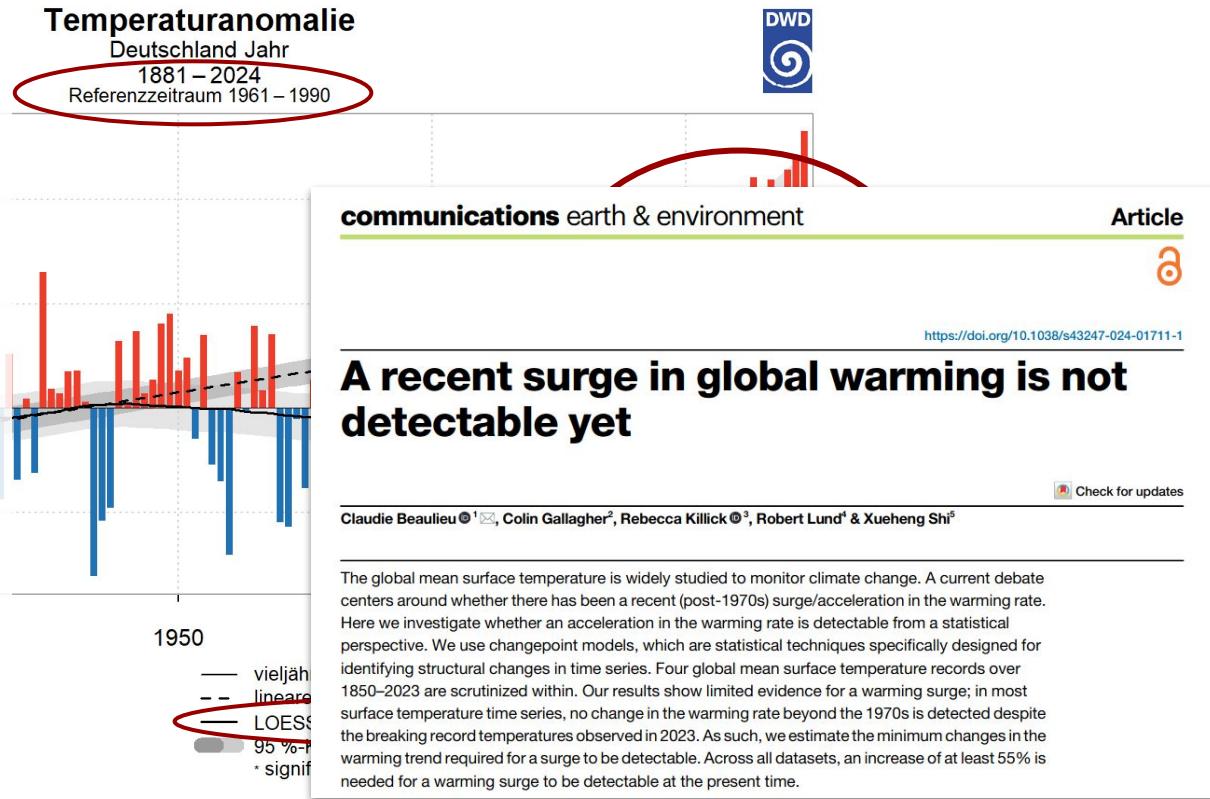
Deutschland erwärmt sich stärker als das globale Mittel – und immer schneller!?

Mit der beschleunigten Erwärmung der Temperaturen in Deutschland und global seit Beginn der 1970er Jahre bildet die bisherige lineare Trendanalyse zunehmend schlechter die Klimaentwicklung ab, sodass der DWD im April 2025 ein neues Trendverfahren für das Klimamonitoring und weitere Produkte e



Deutschland erwärmt sich stärker als das globale Mittel – und immer schneller!?

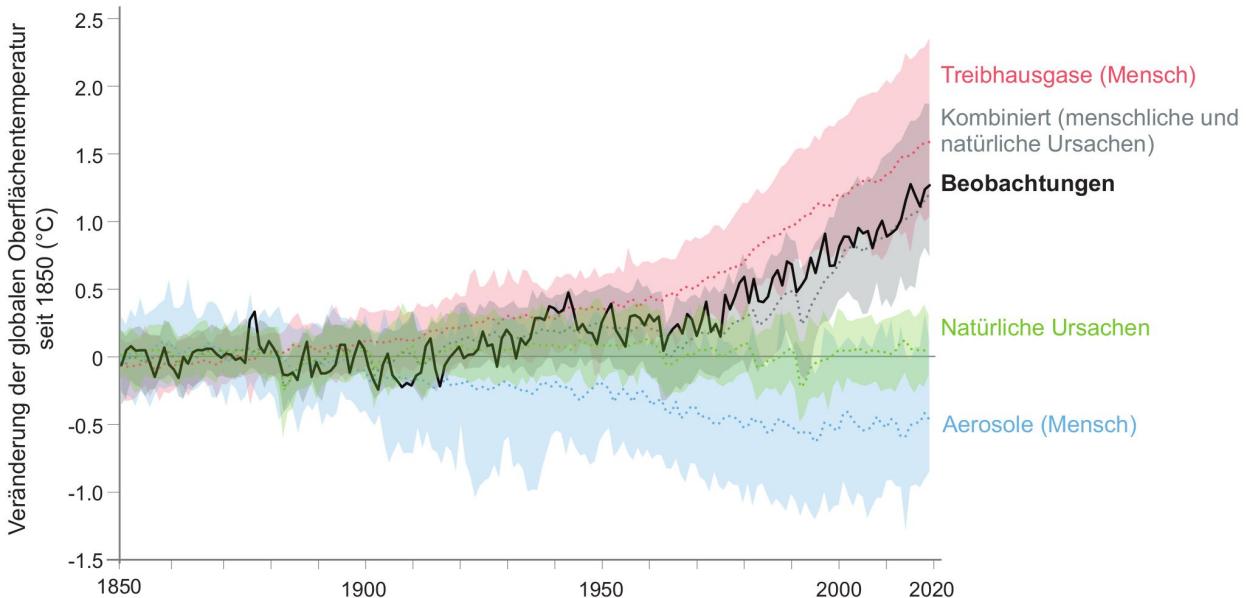
Mit der beschleunigten Erwärmung der Temperaturen in Deutschland und global seit Beginn der 1970er Jahre bildet die bisherrige lineare Trendanalyse zunehmend schlechter die Klimaentwicklung ab, sodass der DWD im April 2025 ein neues Trendverfahren für das Klimamonitoring und weitere Produkte einführt.



Die beobachtete Temperaturänderung kann ohne den menschlichen Einfluss nicht erklärt werden.

Woher wissen wir, dass der Mensch den Klimawandel verursacht?

Die beobachtete Erwärmung (1850–2019) wird nur in Simulationen mit menschlichem Einfluss reproduziert.



Quelle: [IPCC AR6 Summary for All](#)

"Human activities, principally through emissions of greenhouse gases, have unequivocally caused global warming, with global surface temperature reaching 1.1°C above 1850–1900 in 2011–2020."

– IPCC AR6 SYR SPM

Einzelne Temperaturextreme können (oft) nicht direkt auf den Klimawandel zurückgeführt werden aber...

The image displays five news articles from the Austrian newspaper DER STANDARD, each reporting on extreme heat events and their relation to climate change:

- 4. Juli vermutlich global heißester Tag der Messgeschichte** (July 4th likely the hottest day in history)
Wissenschaft > Natur | International | Inland | Wirtschaft | Web | Sport | Panorama | Kultur | Etat | Lifestyle | Diskurs | mehr...
KLIMAKRISE
56 Postings
- Heißeste Woche der globalen Messgeschichte liegt hinter uns** (The hottest week in history is behind us)
Wissen und Gesellschaft > Natur | International | Deutschland | Österreich | Web | Wirtschaft | Sport | Lifestyle | Kultur
OPFER DER HITZE
357 Postings
- Bestätigte Werte: Juli war heißester bisher gemessener Monat** (Confirmed values: July was the hottest month ever measured)
Wissen und Gesellschaft > Natur | International | Deutschland | Österreich | Web | Wirtschaft | Sport | Lifestyle | Kultur
HITZEWELLEN
913 Postings
- HITZEREKORDE**
Der Sommer 2023 war der heißeste in der Messgeschichte
Wissen und Gesellschaft > Natur | International | Deutschland | Österreich | Web | Wirtschaft | Sport | Lifestyle | Kultur
KLIMAKRISE
1317 Postings
- Das wärmste Jahr seit Messbeginn wird 2023 sein** (2023 will be the warmest year since the start of measurement)
Wissenschaft > Klima | Wahl 24 | International | Inland | Wirtschaft | Web | Sport | Panorama | Kultur | Etat | mehr...
KLIMAKRISE
599 Postings

Neue Methoden erlauben den Einfluss des menschgemachten Klimawandels zu berechnen

Climate change and high exposure increased costs and disruption to lives and livelihoods from flooding associated with exceptionally heavy rainfall in Central Europe

25 September, 2024

Extreme rainfall
Europe

In mid September 2024 a very large region in Central Europe, including Poland, Czechia, Austria, Romania, Hungary, Germany and Slovakia experienced very heavy rainfall, breaking local and national rainfall records over the period of four days.

While the rain was extremely heavy in many locations stretching across many countries, was exceptionally heavy rainfall in Central Europe (September 2024). The most severe impacts in urban areas were reported in Poland (Guardian, 2024). At the time of writing, the death toll reached 100 (BNN, 2024; CNN, 2024). After the event in Czechia, the government declared a state of emergency.

Full study

Download the full study: Climate change and high exposure increased costs and disruption to lives and livelihoods from flooding associated with exceptionally heavy rainfall in Central Europe (35 pages, 8.87MB)

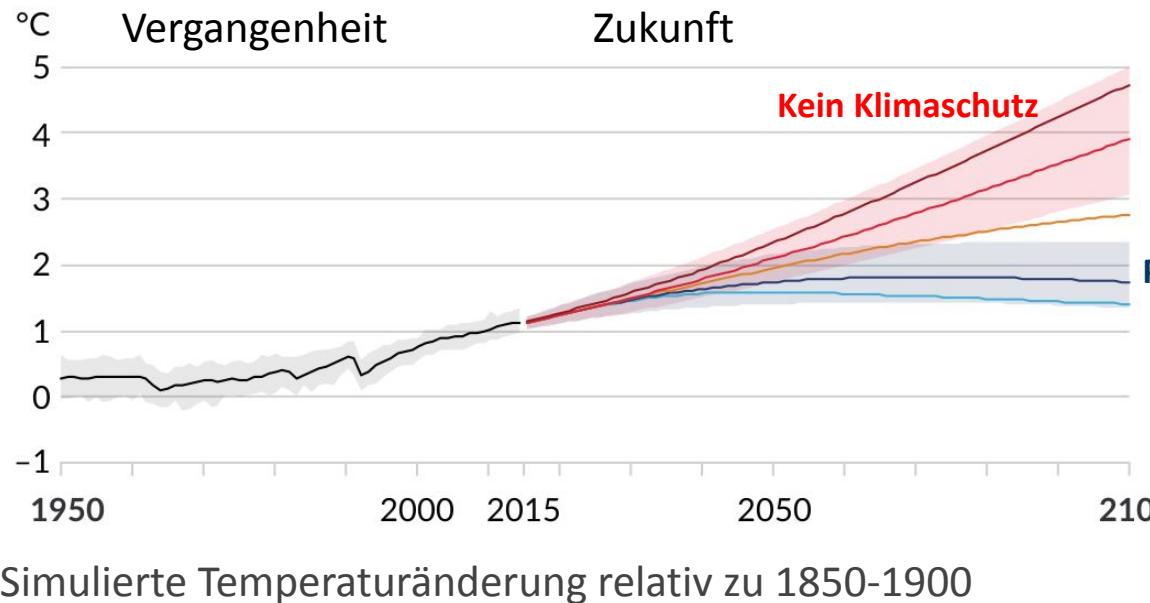
Guide for journalists

The screenshot shows a news article from the Austrian newspaper DER STANDARD. The headline reads "September-Unwetter waren bisher heftigste Regenfälle in Zentraleuropa". The article discusses extreme rainfall in Central Europe, mentioning flooding in Poland and other countries. It quotes Julia Sica from World Weather Attribution. The page includes navigation links for Wissen und Gesellschaft, Natur, International, Deutschland, Österreich, Web, Wirtschaft, Sport, Lifestyle, and mehr... There are also social media sharing icons for Twitter, Facebook, and LinkedIn.



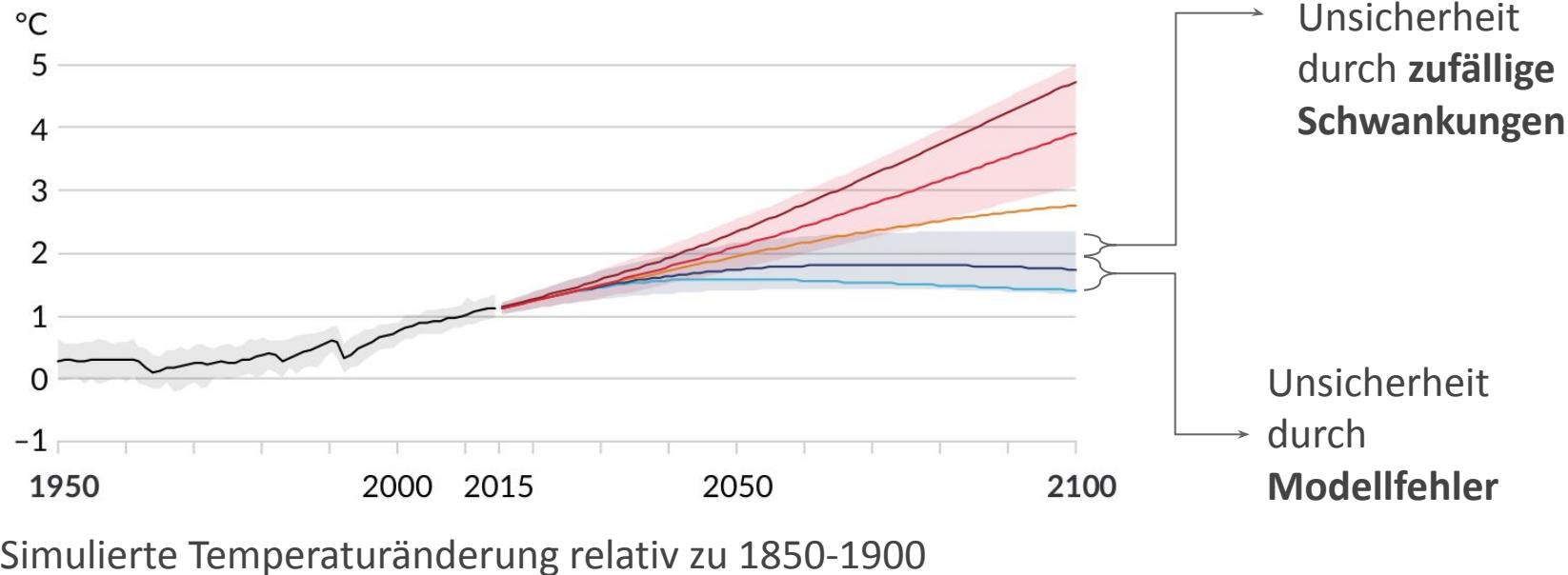
World
Weather
Attribution

Wie die Wissenschaft in die Zukunft schaut: Klimamodell-Simulationen basierend auf Szenarien



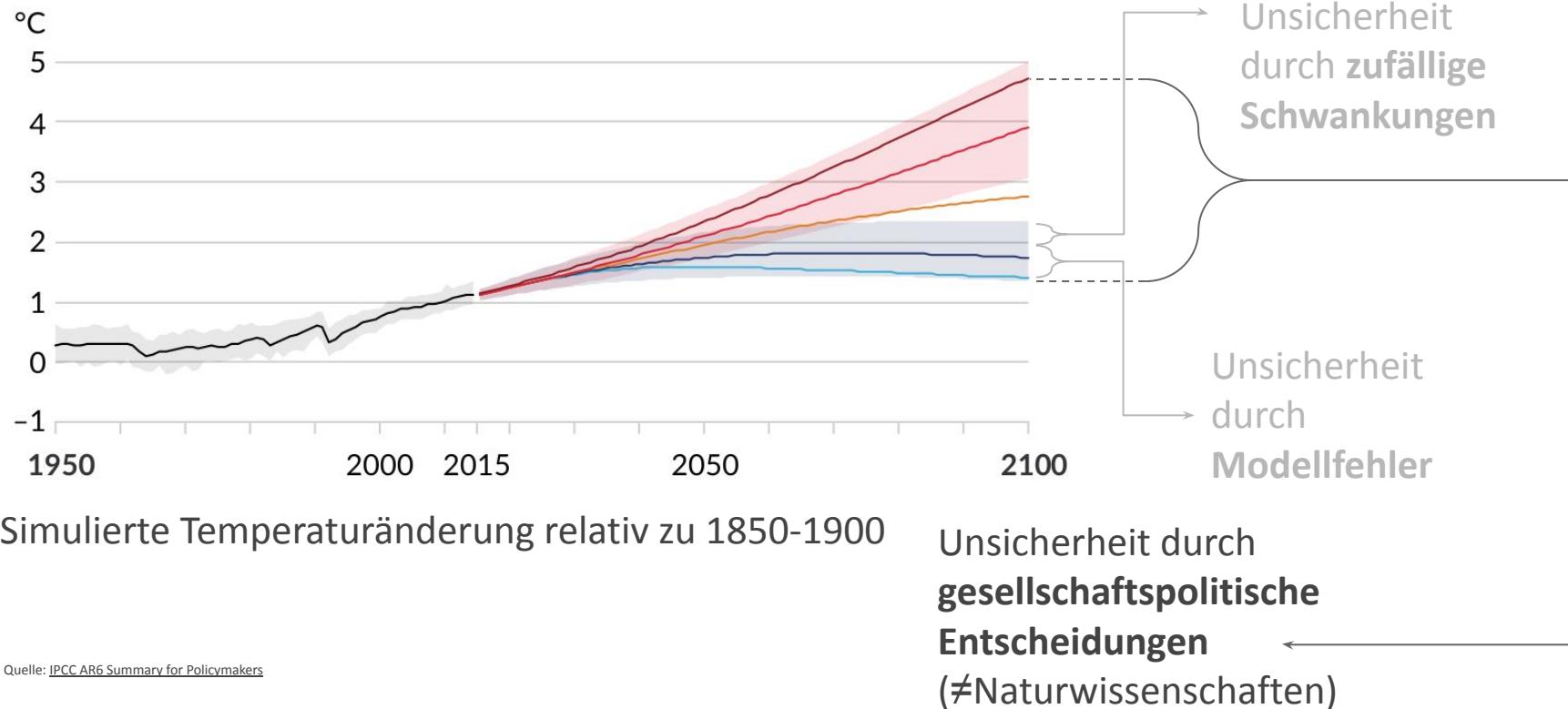
SSPs: Shared Socio-economic pathways: Gesellschaft- & Wirtschaftsentwicklung und damit verbundenen Emissionen

Wie die Wissenschaft in die Zukunft schaut: Klimamodell-Simulationen basierend auf Szenarien

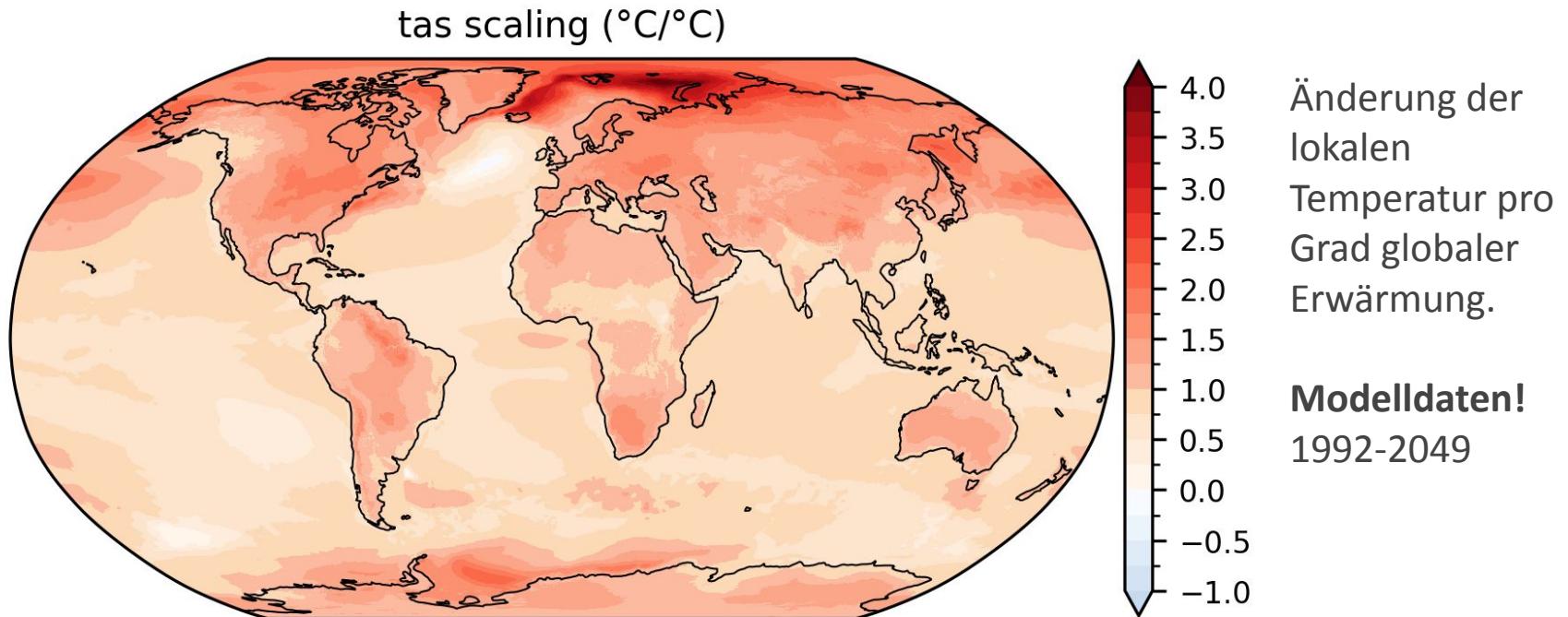


Quelle: [IPCC AR6 Summary for Policymakers](#)

Wie die Wissenschaft in die Zukunft schaut: Klimamodell-Simulationen basierend auf Szenarien

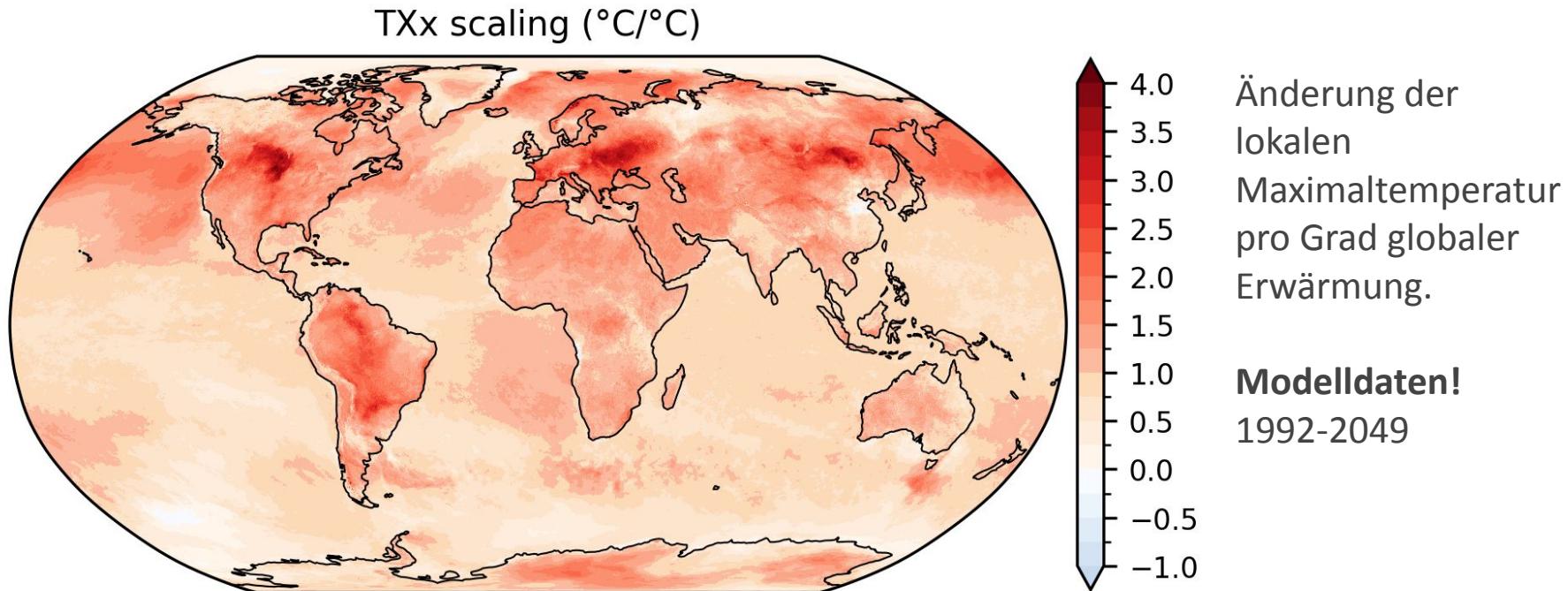


Die Änderungen können lokal unterschiedlich sein



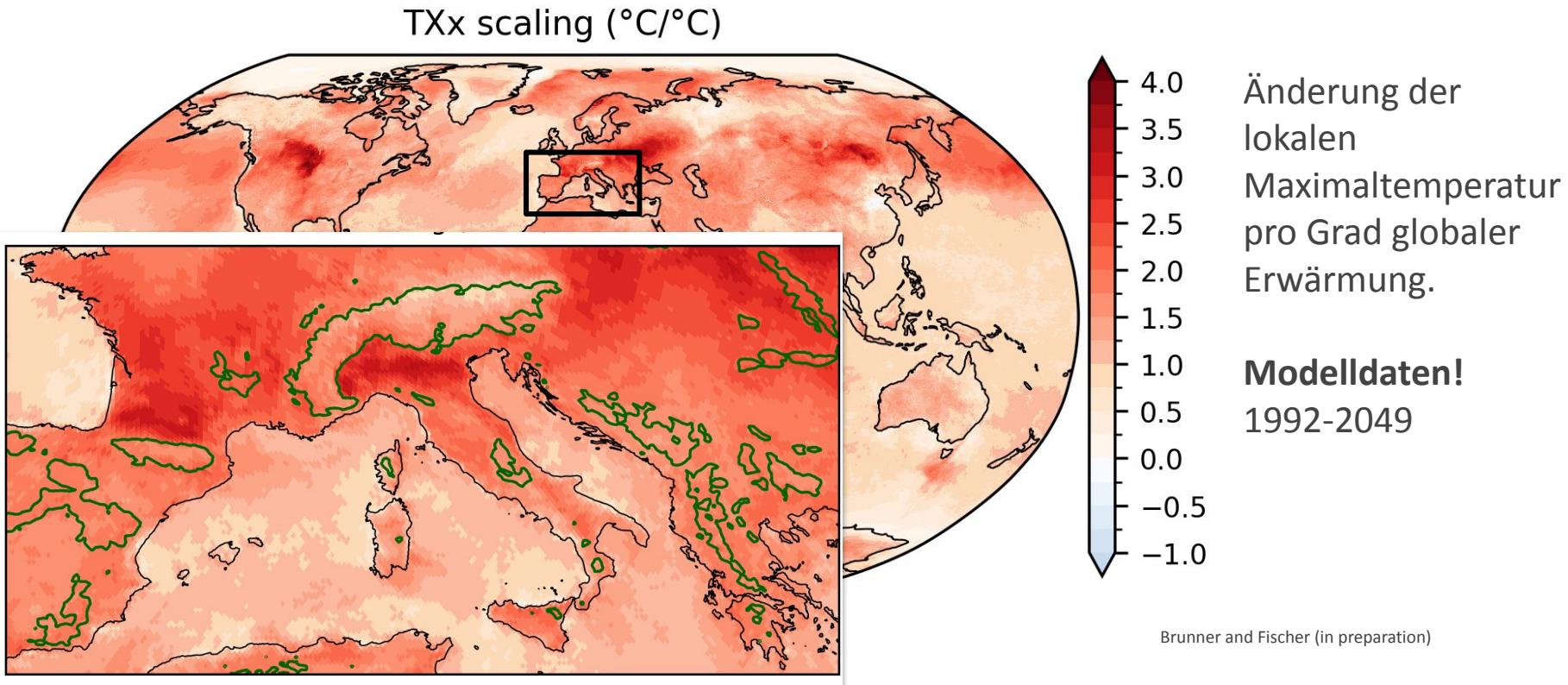
Brunner and Fischer (in preparation)

Die Änderungen in den Extremen können lokal sehr unterschiedlich sein



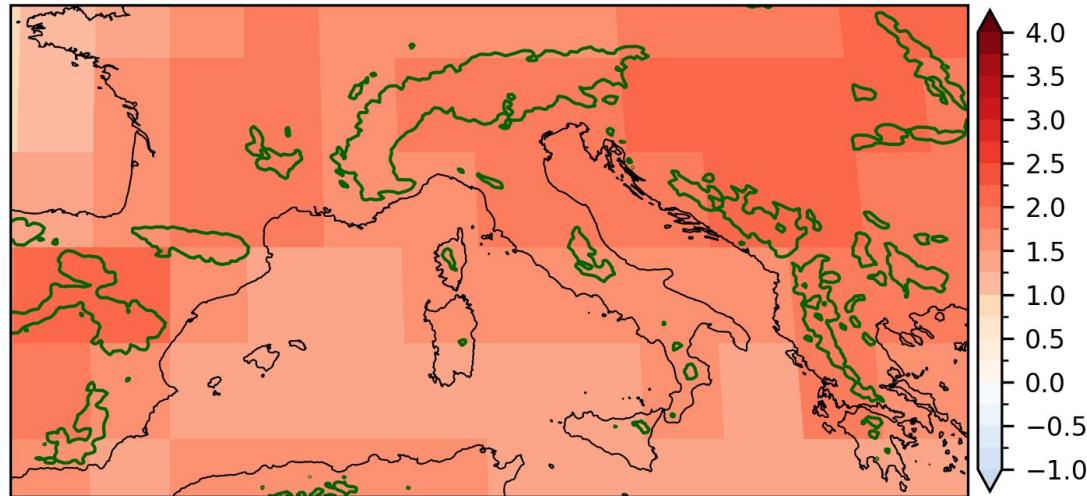
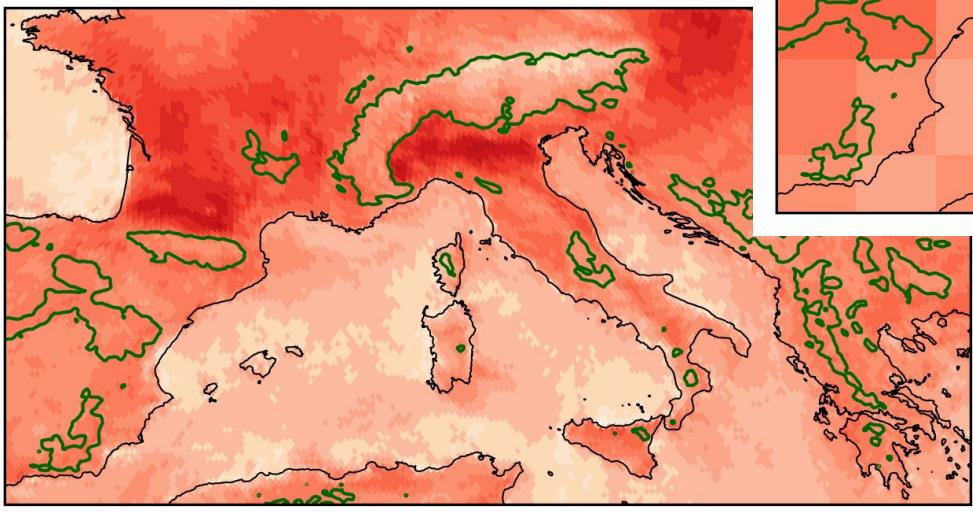
Brunner and Fischer (in preparation)

Die Änderungen in den Extremen können lokal sehr unterschiedlich sein



Die Änderungen in den Extremen können lokal sehr unterschiedlich sein → Modellauflösung!

Neue Modellgeneration
ca 10km Auflösung

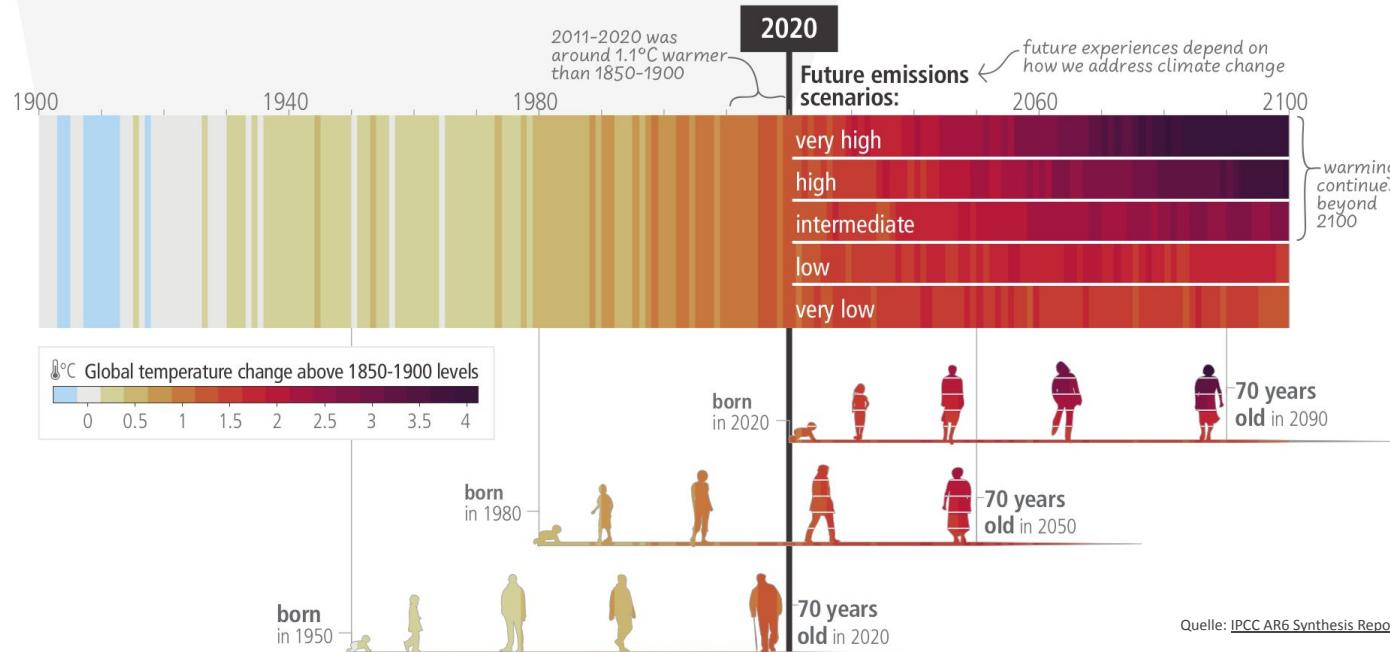


Ältere Modelle
ca 250km Auflösung

Brunner and Fischer (in preparation)

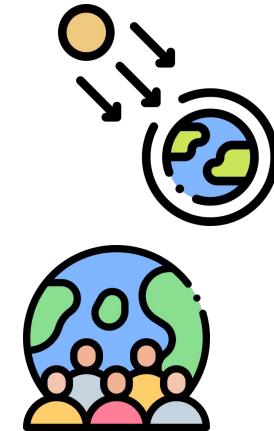
Die Auswirkungen des Klimawandels in der Zukunft hängen von unseren Entscheidungen heute ab

c) The extent to which current and future generations will experience a hotter and different world depends on choices now and in the near-term



Take Home Messages

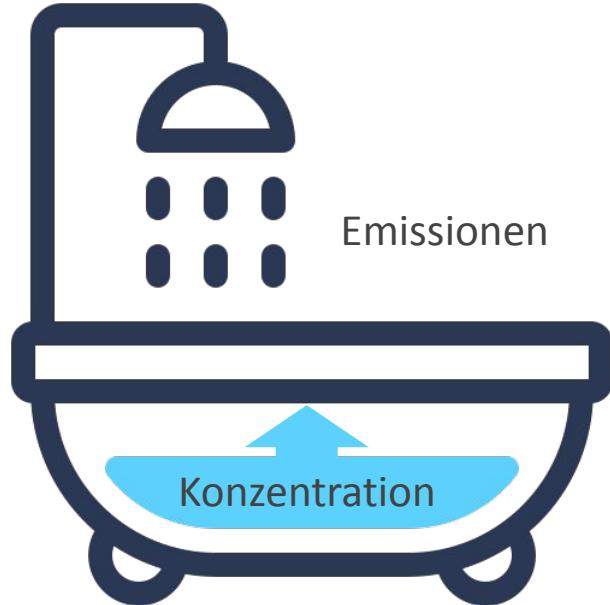
- Treibhausgase in der Atmosphäre sind durchlässig für kurzwelliges Sonnenlicht aber **absorbieren die langwellige Wärmestrahlung der Erde** (natürlicher Treibhauseffekt)
- Das Klimasystem versucht langfristig ein Gleichgewicht zu erreichen (z.B. zwischen Einstrahlung und Ausstrahlung).
- Etwa **50% der menschgemachten CO₂ Emissionen sammeln sich langfristig in der Atmosphäre an** und führen so zu einem Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre.
- Der Anstieg der Treibhausgaskonzentration führt zu einem **Anstieg der globalen Temperatur** von bisher ca. 1.1°C und wird sich in der Zukunft fortsetzen.



3 | Verminderung von Klimawandel

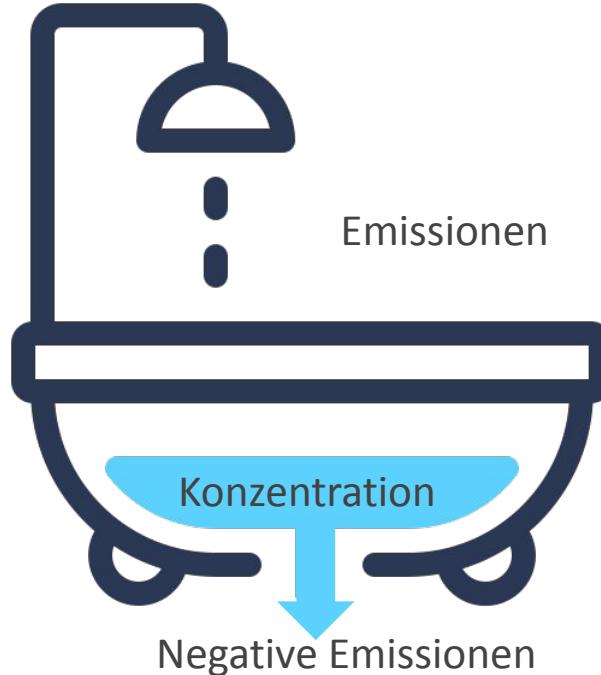


Um die Temperatur zu stabilisieren sind Null Emissionen notwendig



Solange wir Treibhausgase emittieren, steigt deren Konzentration in der Atmosphäre und damit die Temperatur!

Um die Temperatur zu stabilisieren sind Netto-Null Emissionen notwendig



Netto-Null beschreibt die menschgemachte Emissionen minus die Treibhausgase, die wieder aus der Atmosphäre entfernt werden (“**Negative Emissionen**”). Unsere Fähigkeit dazu ist aber noch unsicher.



(c) Climeworks

Maschinelles entfernen von CO₂ aus der Atmosphäre

Das Pariser Abkommen der Parteien der UNFCCC

Article 2

1. This Agreement, in enhancing the implementation of the Convention, including its objective, aims to strengthen the global response to the threat of climate change, in the context of sustainable development and efforts to eradicate poverty, including by:

(a) Holding the increase in the global average temperature to well below 2°C above pre-industrial levels and pursuing efforts to limit the temperature increase to 1.5°C above pre-industrial levels, recognizing that this would significantly reduce the risks and impacts of climate change;

Article 3

As nationally determined contributions to the global response to climate change, all Parties are to undertake and communicate ambitious efforts as defined in Articles 4, 7, 9, 10, 11 and 13 with the view to achieving the purpose of this Agreement as set out in Article 2. The efforts of all Parties will represent a progression over time, while recognizing the need to support developing country Parties for the effective implementation of this Agreement.

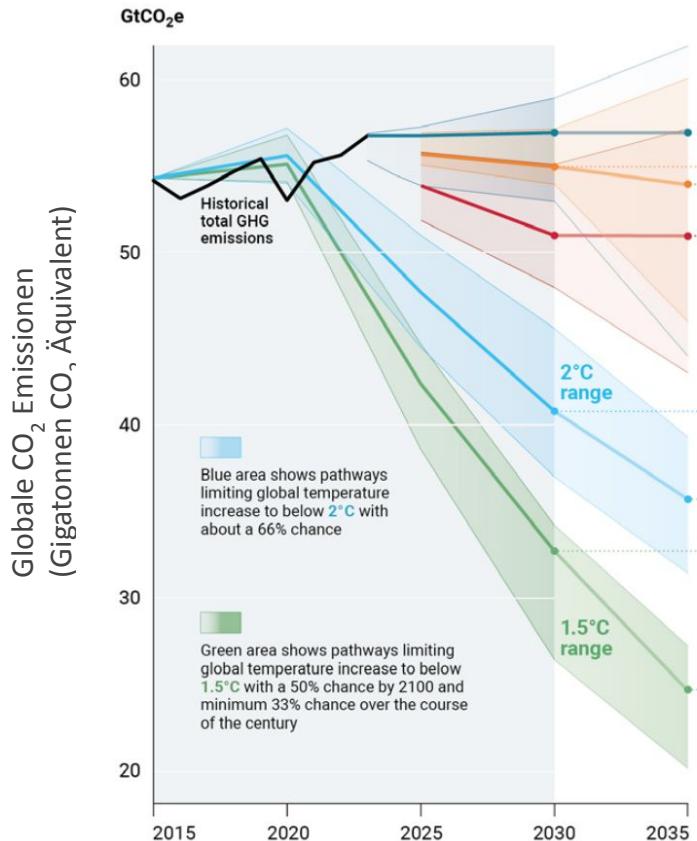
Die Erhöhung der Globaltemperatur soll unter 2°C (1,5°C) gehalten werden.

Merke: das ist ein politisches Ziel kein wissenschaftliches

Die Parteien legen ihren Beitrag selbst fest und berichten darüber.

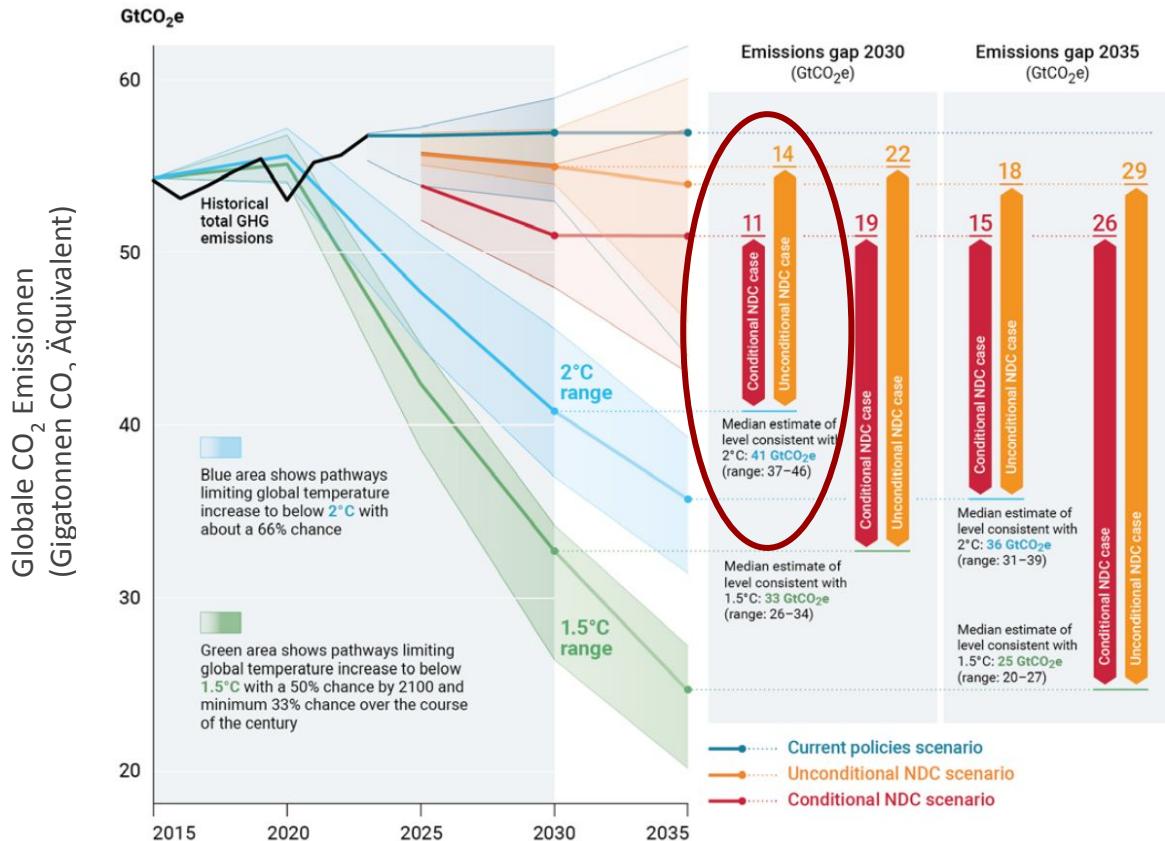
Mit der Zeit sollen die Beträge der Parteien nachgebessert werden, um das Pariser Ziel zu erreichen.

“Emissions-Lücke”: Reichen die bisher gesetzten Maßnahmen aus um die Pariser Klimaziele zu erreichen?



Quelle: [Emissions Gap Report 2024](#)

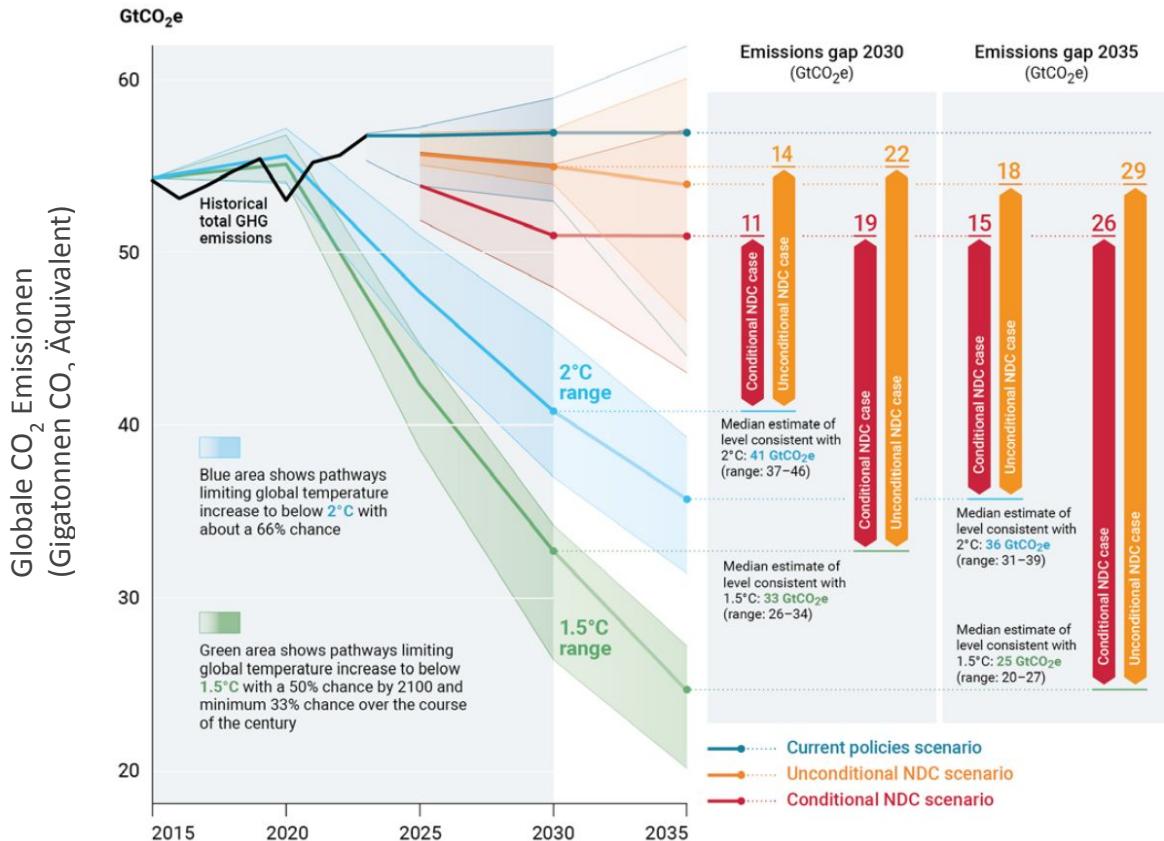
“Emissions-Lücke”: Die bisher gesetzten Maßnahmen reichen nicht aus um die Pariser Klimaziele zu erreichen



NDC: nationally determined contribution – Nationale Beiträge der Parteien

Quelle: [Emissions Gap Report 2024](#)

“Emissions-Lücke”: Die bisher gesetzten Maßnahmen reichen nicht aus um die Pariser Klimaziele zu erreichen



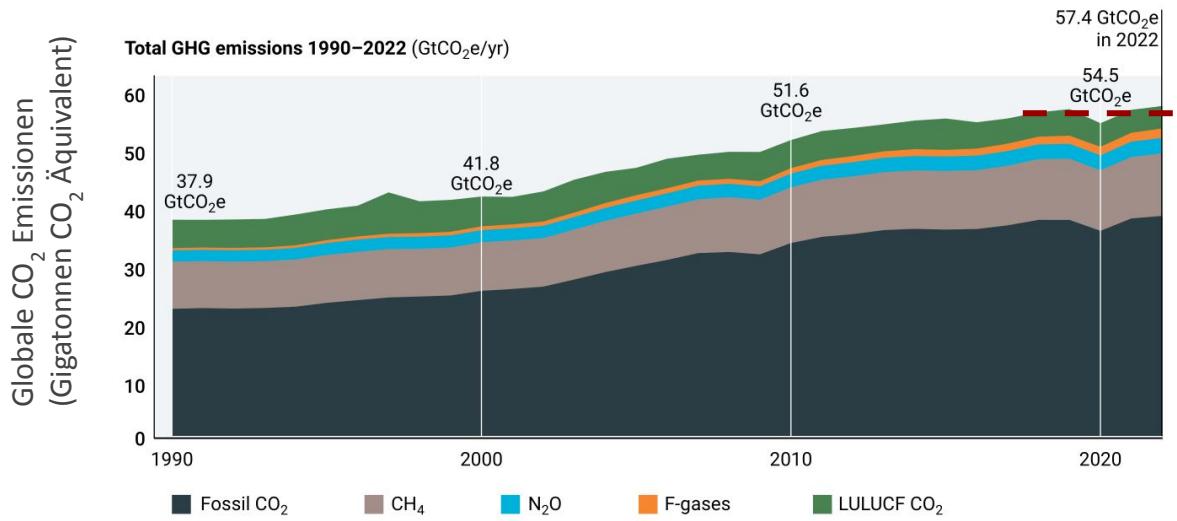
NDC: nationally determined contribution – Nationale Beiträge der Parteien



EGR 2019 interactive

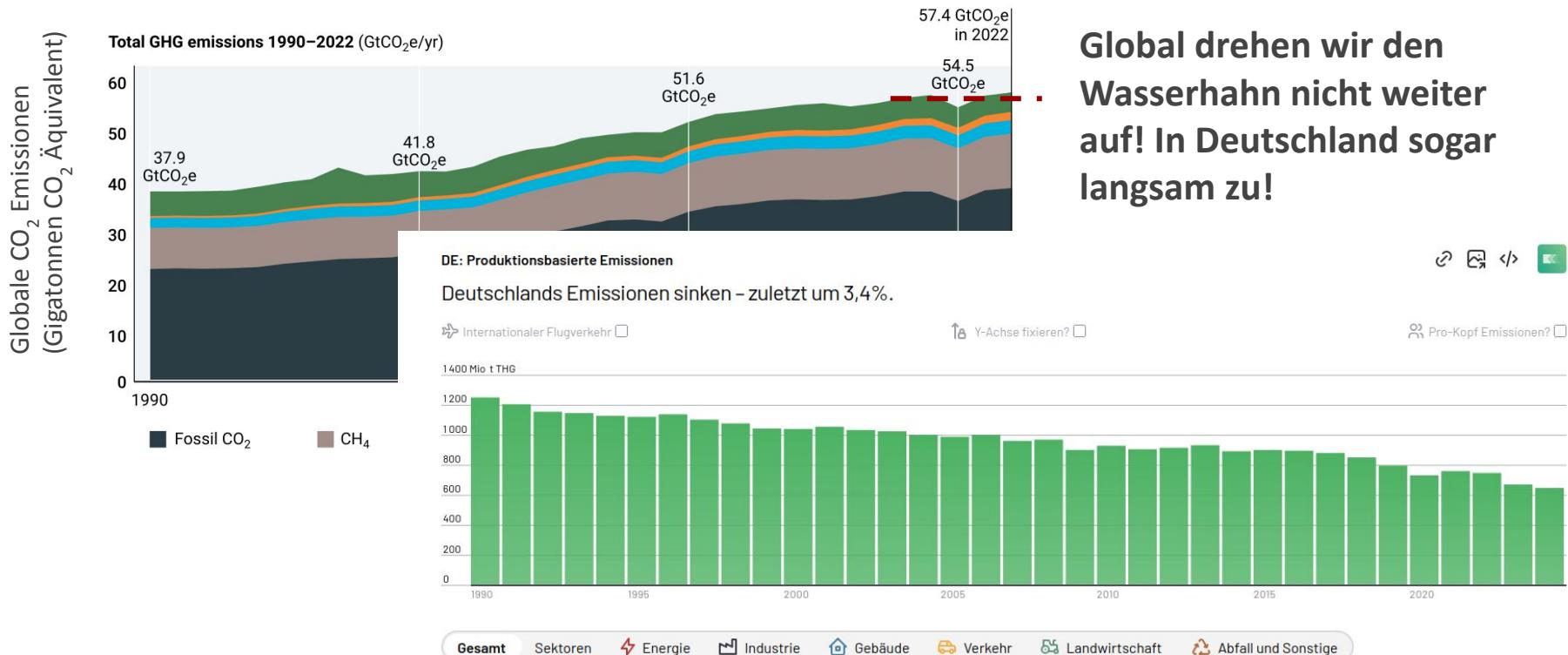
Quelle: [Emissions Gap Report 2024](#)

“Emissions-Lücke”: Die bisher gesetzten Maßnahmen reichen nicht aus um die Pariser Klimaziele zu erreichen



Global drehen wir den
Wasserhahn nicht weiter
auf!

“Emissions-Lücke”: Die bisher gesetzten Maßnahmen reichen nicht aus um die Pariser Klimaziele zu erreichen



Mit entschlossenem Handeln können wir die globale Erwärmung immer noch auf unter 2°C begrenzen

≡ DERSTANDARD ▾ 

Wissenschaft > Natur > Klimawandel International Inland Wirtschaft Web Sport Panorama Kultur Etat mehr...

170 Postings  HOFFNUNG IM KLIMASCHUTZ

Wenn Klimaziele streng eingehalten werden, könnte die Erwärmung unter zwei Grad bleiben

Die 1,5-Grad-Marke der Erderwärmung wird wohl überschritten. Für das 2-Grad-Ziel sieht es besser aus – wenn alle die Zusagen der Glasgow-Klimakonferenz umsetzen

nature View all journals Search  Login 

14. April 2022, 12:37, 170 Postings Explore content ▾ About the journal ▾ Publish with us ▾

 nature > articles > article

Article | Published: 13 April 2022

Realization of Paris Agreement pledges may limit warming just below 2 °C

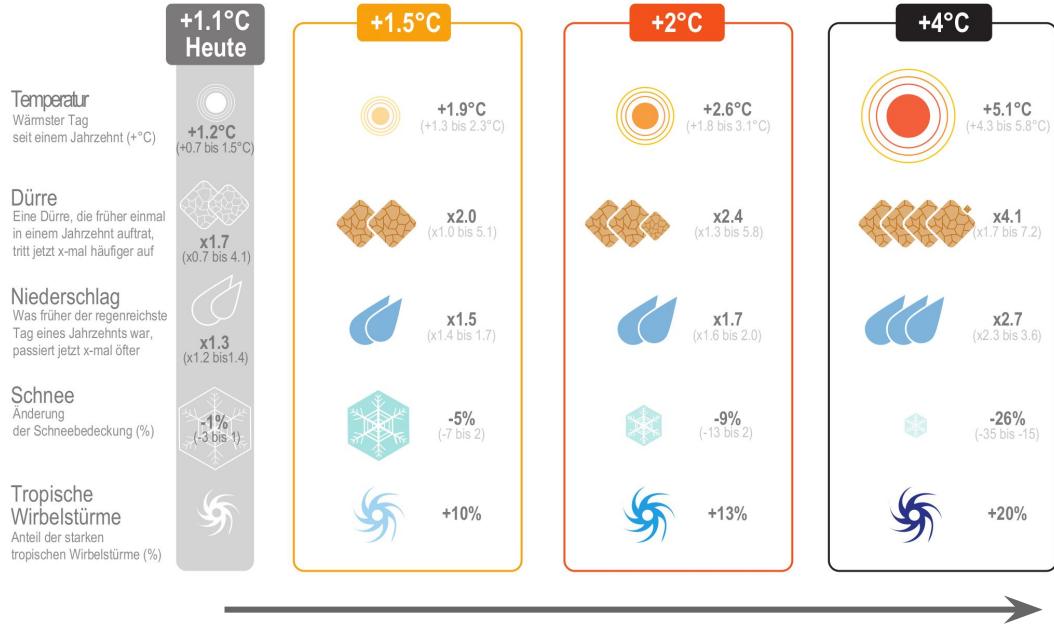
Malte Meinshausen , Jared Lewis, Christophe McGlade, Johannes Gütschow, Zebedee Nicholls, Rebecca Burdon, Laura Cozzi & Bernd Hackmann

Bei der COP 26 in Glasgow wurde für Klimagerchtigkeit demonstriert. Zumindest das 2-Grad-Ziel dürfte aber noch im Rahmen des Möglichen liegen.

Quelle: Meinshausen et al. 2022

Die 2°C-Grenze ist nicht absolut: jedes bisschen (verhinderte) Erwärmung zählt!

Die Veränderungen werden mit jeder Zunahme der globalen Erwärmung größer



Immer schwierigere Anpassung

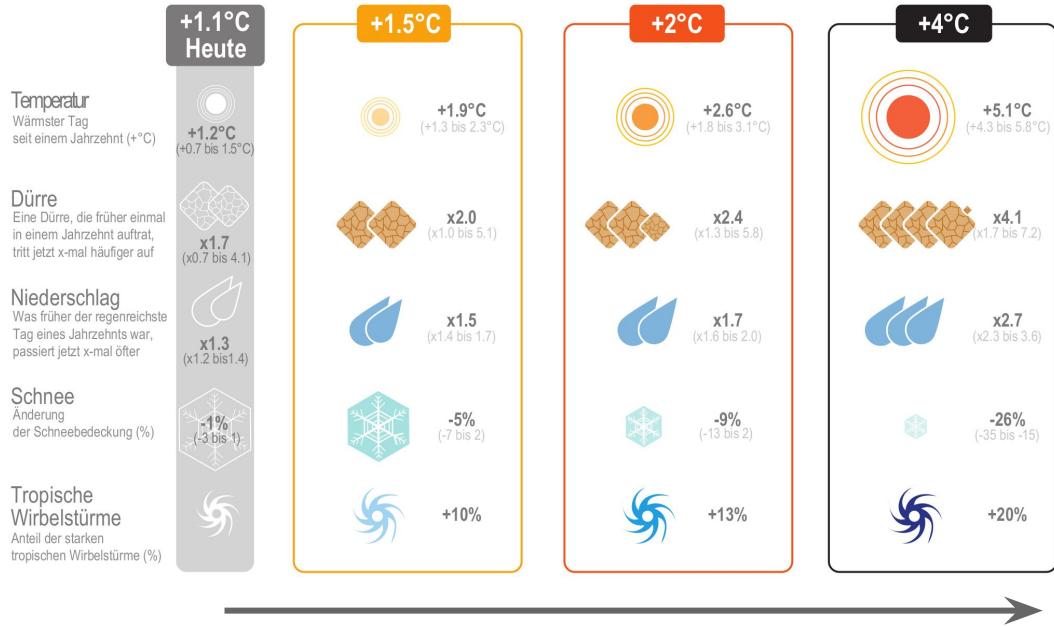
“Every increment of global warming will intensify multiple and concurrent hazards.”

IPCC AR6 SYP SPM

Quelle: [IPCC AR6 Zusammenfassung für alle](#)

Die 2°C-Grenze ist nicht absolut: jedes bisschen (verhinderte) Erwärmung zählt!

Die Veränderungen werden mit jeder Zunahme der globalen Erwärmung größer

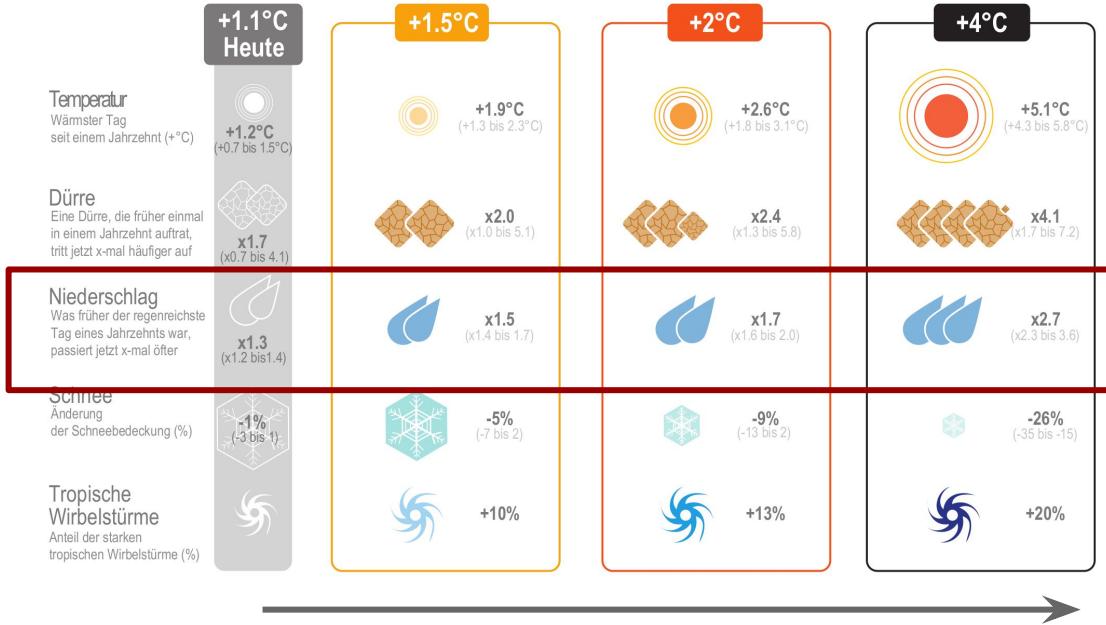


Visualisierung von Auswirkungen der verschiedenen Erwärmungs-Levels:
Worlds Apart

Quelle: [IPCC AR6 Zusammenfassung für alle](#)

Die 2°C-Grenze ist nicht absolut: jedes bisschen (verhinderte) Erwärmung zählt!

Die Veränderungen werden mit jeder Zunahme der globalen Erwärmung größer



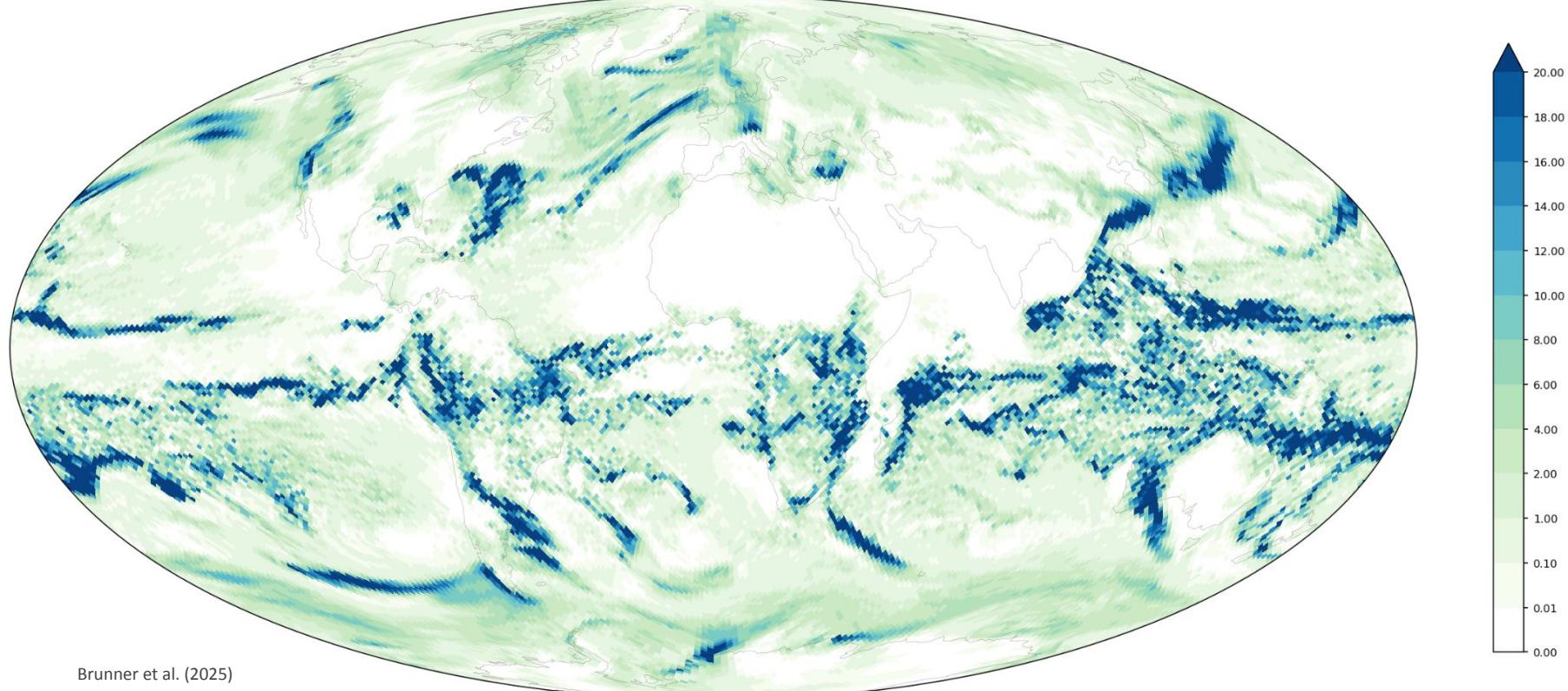
“Every increment of global warming will intensify multiple and concurrent hazards.”

IPCC AR6 SYP SPM

Quelle: [IPCC AR6 Zusammenfassung für alle](#)

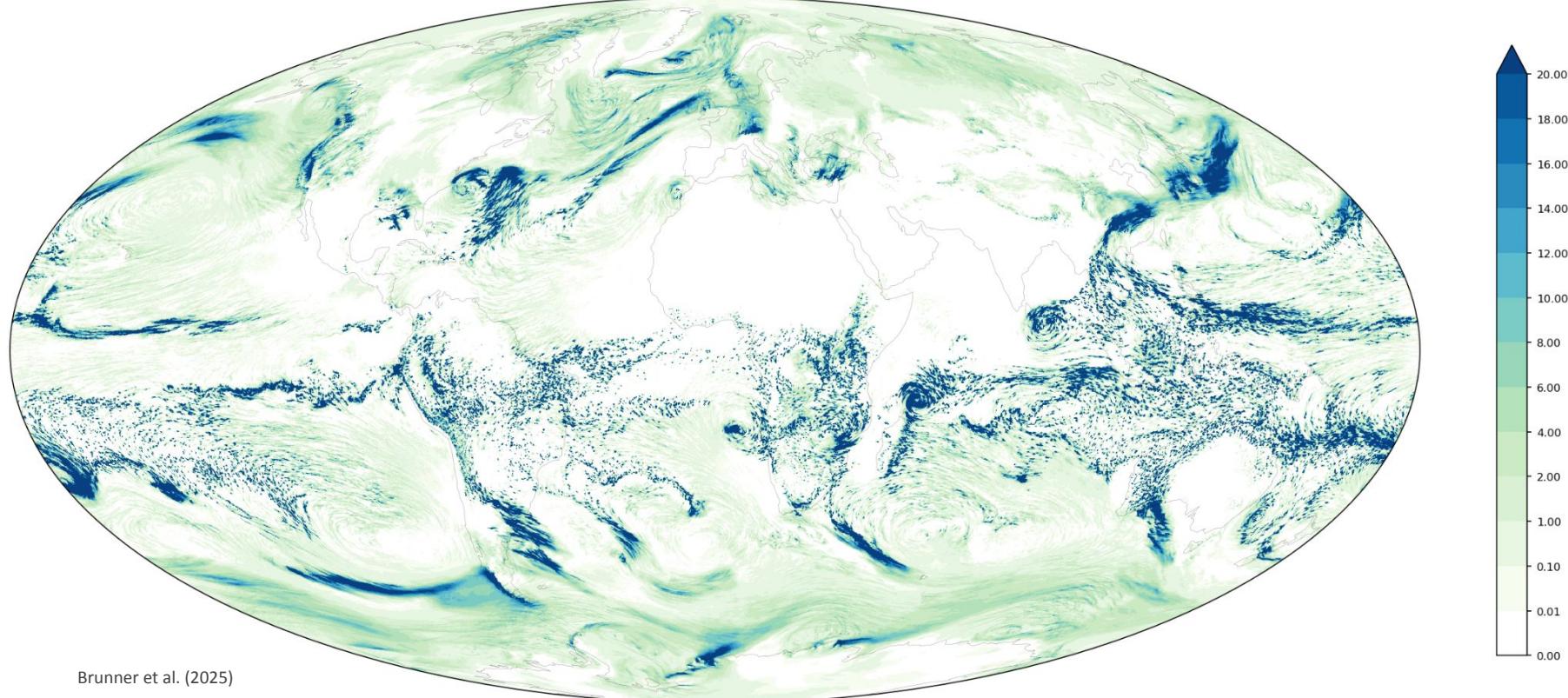
Klimamodelle sind essentiell für die Abschätzung von erwarteten Änderungen, haben aber Limitierungen

ICON: Daily precipitation on 2025-03-08 (mm/day)

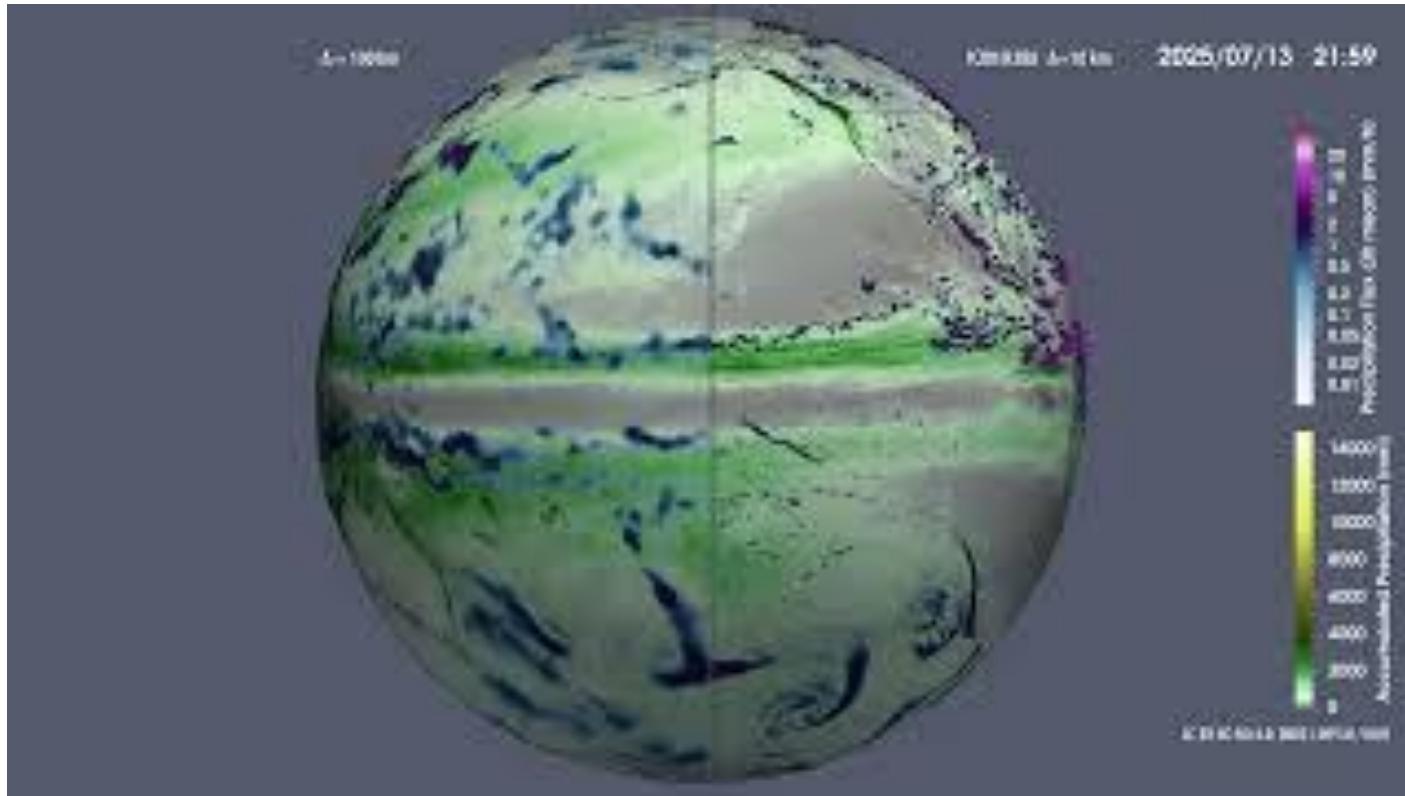


**Die neuesten Modelle bestätigen existierendes Wissen und erlauben
einen immer genaueren Blick auf die Details**

ICON: Daily precipitation on 2025-03-08 (mm/day)



Effekt der räumlichen Auflösung auf die Darstellung von Niederschlag basierenden auf dem ICON Klimamodell

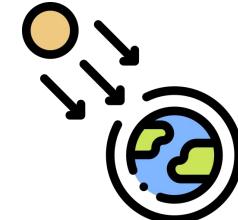


Video: M. Böttiger (DKRZ)

Lukas Brunner | 52

Take Home Messages

- Treibhausgase in der Atmosphäre sind durchlässig für kurzwelliges Sonnenlicht aber absorbieren die langwellige Wärmestrahlung der Erde (natürlicher Treibhauseffekt)
- Das Klimasystem versucht langfristig ein Gleichgewicht zu erreichen (z.B. zwischen Einstrahlung und Ausstrahlung).
- Etwa 50% der menschgemachten CO₂ Emissionen sammeln sich langfristig in der Atmosphäre an und führen so zu einem Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre.
- Der Anstieg der Treibhausgaskonzentration führt zu einem Anstieg der globalen Temperatur von bisher ca. 1.1°C.
- Um den Klimawandel aufzuhalten, müssen wir es schaffen, möglichst bald Netto-Null-Emissionen zu erreichen.
- Das muss durch eine schnelle und deutliche Reduktion unserer Emissionen passieren, unterstützt durch (technische) Maßnahmen, die CO₂ aus der Atmosphäre entfernen.
- An ein geringes Maß von Klimawandel können wir uns anpassen, unterstützt durch Vorhersagen der Klimaforschung



Take Home Messages

- Treibhausgase in der Atmosphäre sind durchlässig für kurzwelliges Sonnenlicht aber **absorbieren die langwellige Wärmestrahlung der Erde** (natürlicher Treibhauseffekt)
- Das **Klimasystem** versucht langfristig ein **Gleichgewicht** zu erreichen (z.B. zwischen Einstrahlung und Ausstrahlung).
- Etwa **50% der menschgemachten CO₂ Emissionen sammeln sich langfristig in der Atmosphäre an** und führen so zu einem Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre.
- Der Anstieg der Treibhausgaskonzentration führt zu einem **Anstieg der globalen Temperatur** von bisher ca. 1.1°C.
- Um den Klimawandel aufzuhalten, müssen wir es schaffen, möglichst bald **Netto-Null-Emissionen** zu erreichen.
- Das muss durch eine **schnelle und deutliche Reduktion unserer Emissionen** passieren, unterstützt durch (technische) Maßnahmen, die CO₂ aus der Atmosphäre entfernen.
- An ein geringes Maß von Klimawandel können wir uns anpassen, unterstützt durch Vorhersagen der Klimaforschung

