Wege aus der aktuellen menschengemachten Umwelt- und Klimakrise

Teil II – Das Erdsystem und der Klimawandel

Simon Wehden

simon.wehden@gmail.com

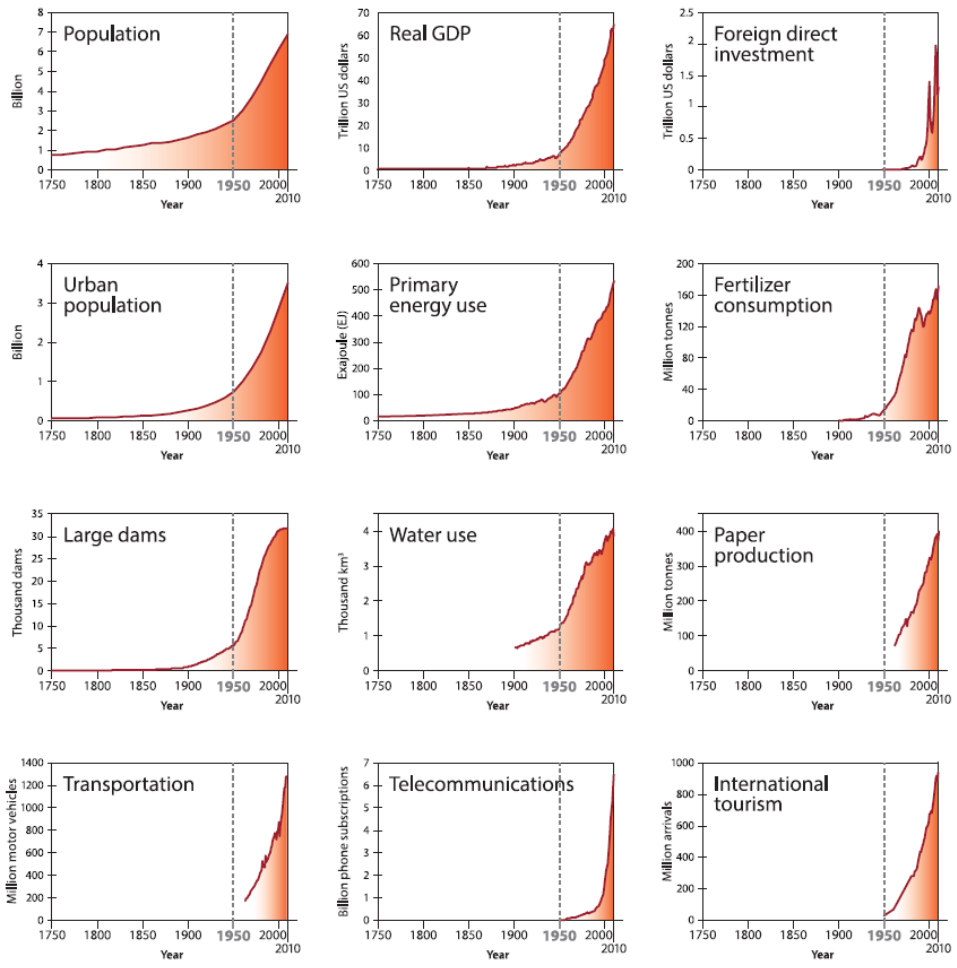
Gliederung

1. Kurze Wiederholung
2. „Kippen“ des Erdsystems
3. Klimasystem & Klimawandel
4. Klimafolgen
5. Treibhausgase & Budget

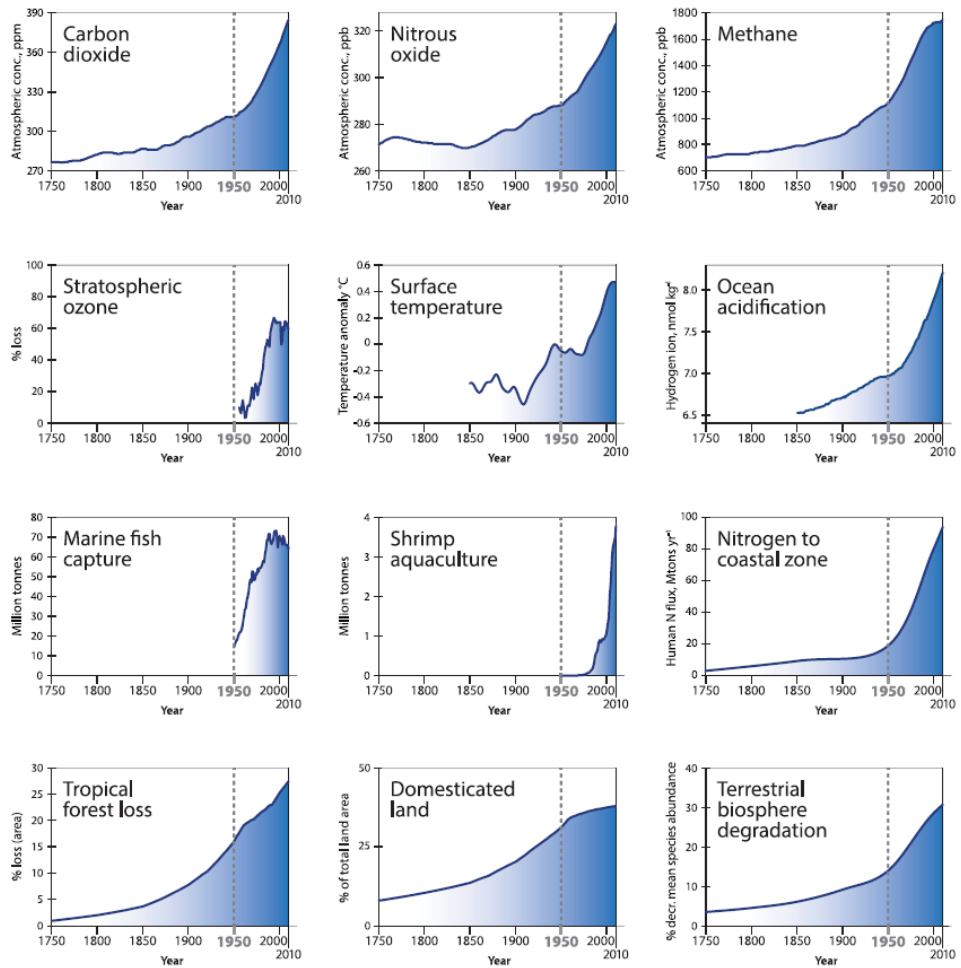
Kurze Wiederholung des letzen Vortrags

Große Beschleunigung

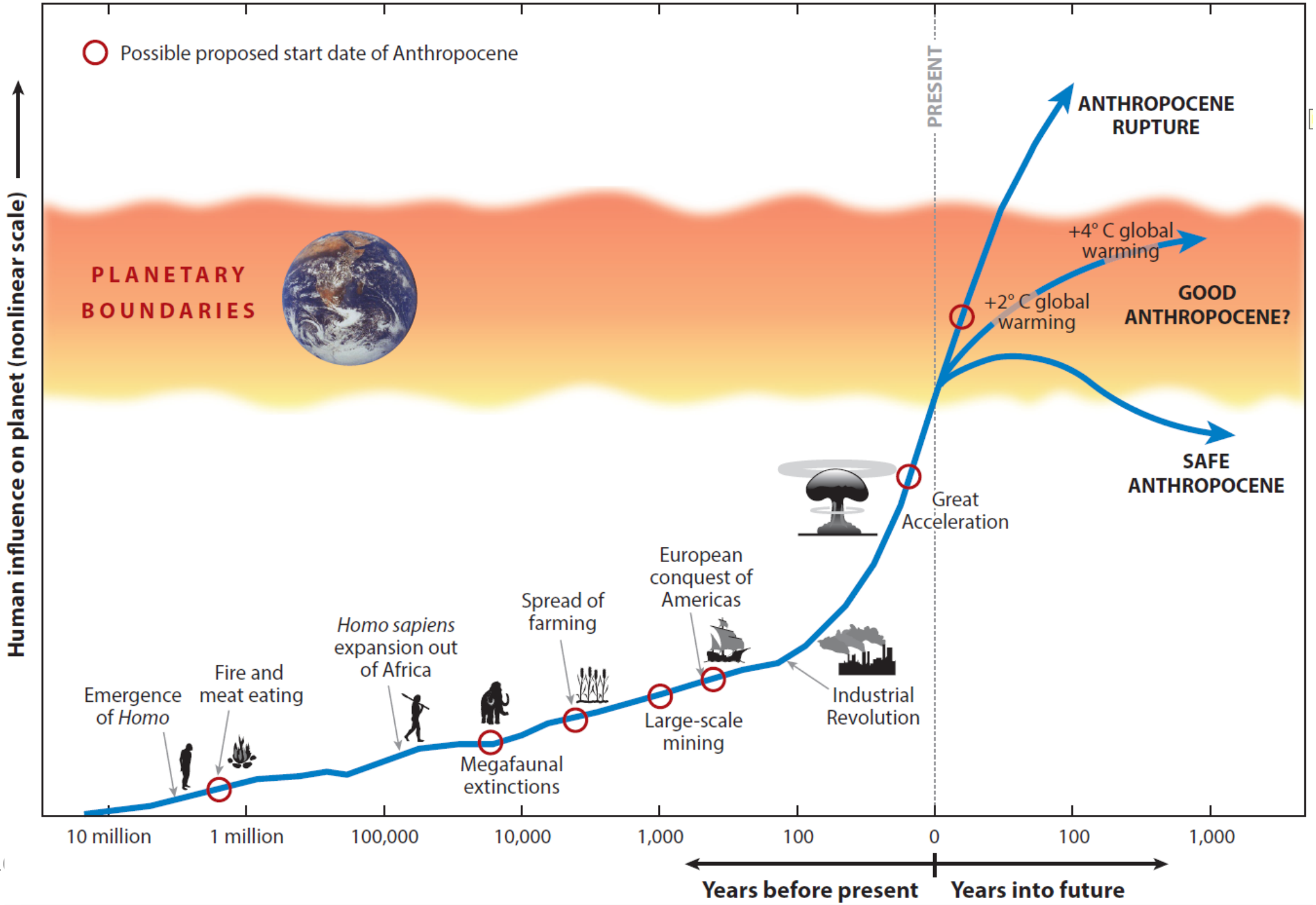
Socio-economic trends



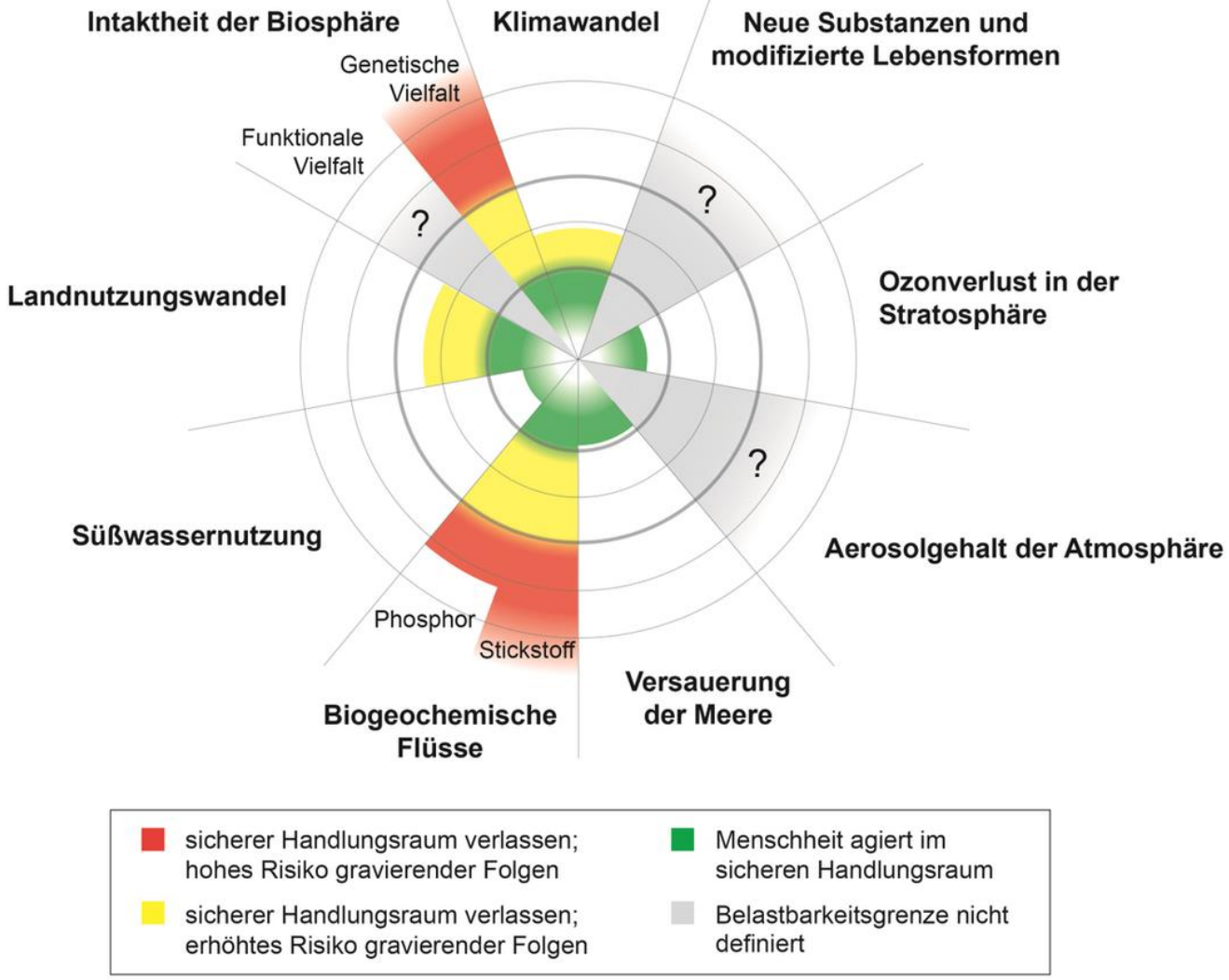
Earth system trends



Steffen W et al. (2015) The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. The Anthropocene Review 2:81-98


Possible proposed start date of Anthropocene
PRESENT
ANTHROPOCENE RUPTURE
+4° C global warming
+2° C global warming
GOOD ANTHROPOCENE?
SAFE ANTHROPOCENE
PLANETARY BOUNDARIES
Great Acceleration
European conquest of Americas
Spread of farming
Homo sapiens expansion out of Africa
Fire and meat eating
Emergence of Homo
Megafaunal extinctions
Large-scale mining
Industrial Revolution
Human influence on planet (nonlinear scale)
10 million
1 million
100,000
10,000
1,000
100
0
100
1,000
Years before present
Years into future

Planetare Grenzen: „*Der sichere Operationsrahmen*“



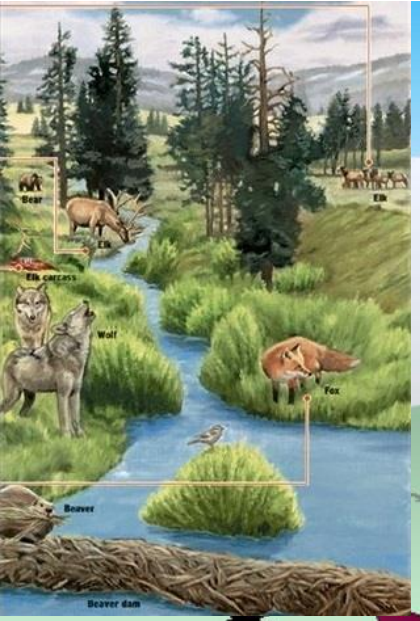
- Holozän: Rahmen natürlicher Lebensbedingungen gesamter Zivilisationsgeschichte der Menschheit
- Rahmen verlassen: Gefährdung für Entwicklung
  - ? Beendigung der Armut
  - ? Gesunde Lebensbedingungen
  - ? Gesellschaftliche und wirtschaftliche Stabilität
  - ? Gerechtigkeit und Frieden

→ Vermutlich nicht möglich ohne das Fundament einer stabilen Umwelt und intakten Natur

© Steffen et al. 2015, übersetzt

Steffen W. et al. (2011) Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science 347 1259855

Intaktheit der Biosphäre



terrestrial herbivores
180,000
reduced by 92%

km² yr⁻¹

anadromous fish
140 million
reduced by 96%

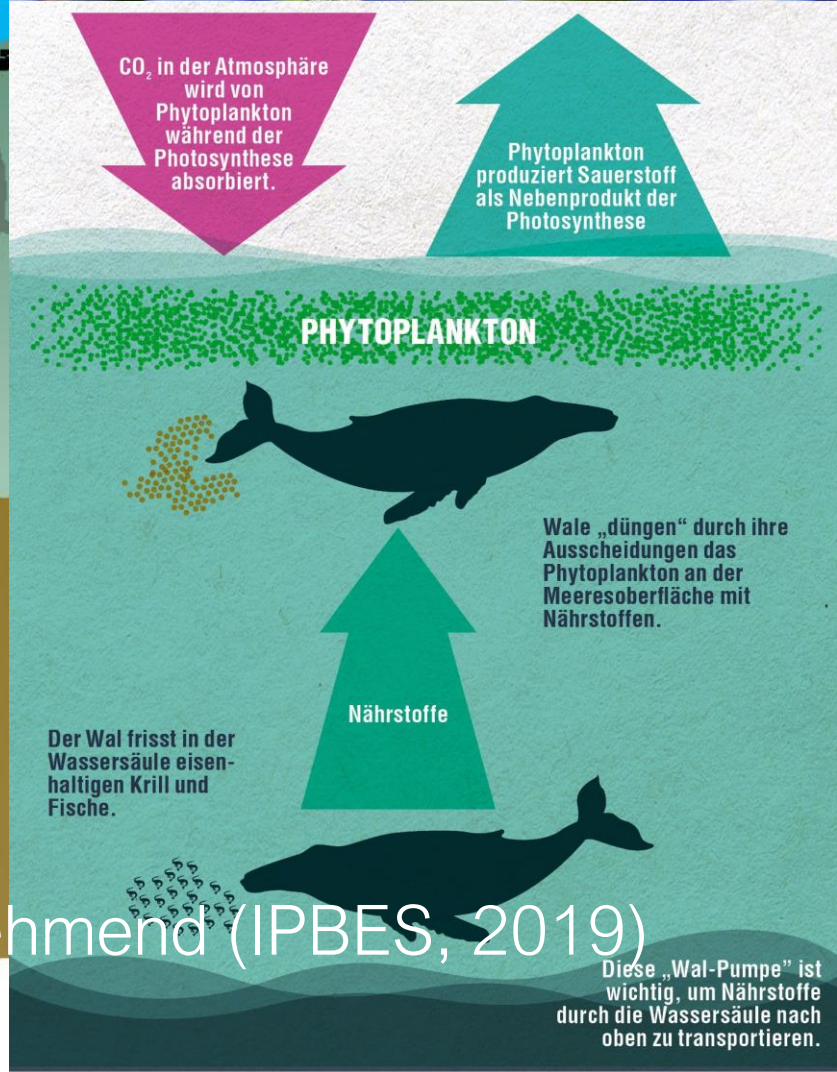
kg P yr⁻¹

seabirds
6.3 million

kg P yr⁻¹

marine mammals
340 million
reduced by 77%

kg P yr⁻¹



Beiträge der Natur zum Menschen nicht ersetzbar & abnehmend (IPBES, 2019)

Das „Kippen“ des Erdsystems

Was bedeutet eigentlich „Kippen“?

Lenton T M et al. (2019) Climate tipping points – too risky to bet against. *Nature*

Das „Kippen“ ist der Übergang von einem Zustand in einen anderen, mit einer anderen Funktionsweise.

Erdgeschichtliche Belege für solches globales Kippen:

- z.B. Eintritt in Eiszeitzyklen vor 2,6 Millionen Jahren
- Regionales Kippen z.B. Beginn und Ende der letzten Eiszeit (80.000 und 10.000 Jahre zuvor)

Was bedeutet eigentlich „Kippen“?

Das „Kippen“ ist der Übergang von einem Zustand in einen anderen, mit einer anderen Funktionsweise.

Um die Vorstellung anzuregen: CO_2-Niveau so hoch wie seit über 4 Millionen Jahren nicht

Damals:

Keine Polkappen, anderer Verlauf der Meeresströmungen, verschobene Klimazonen

Lenton T M et al. (2019) Climate tipping points – too risky to bet against. *Nature*

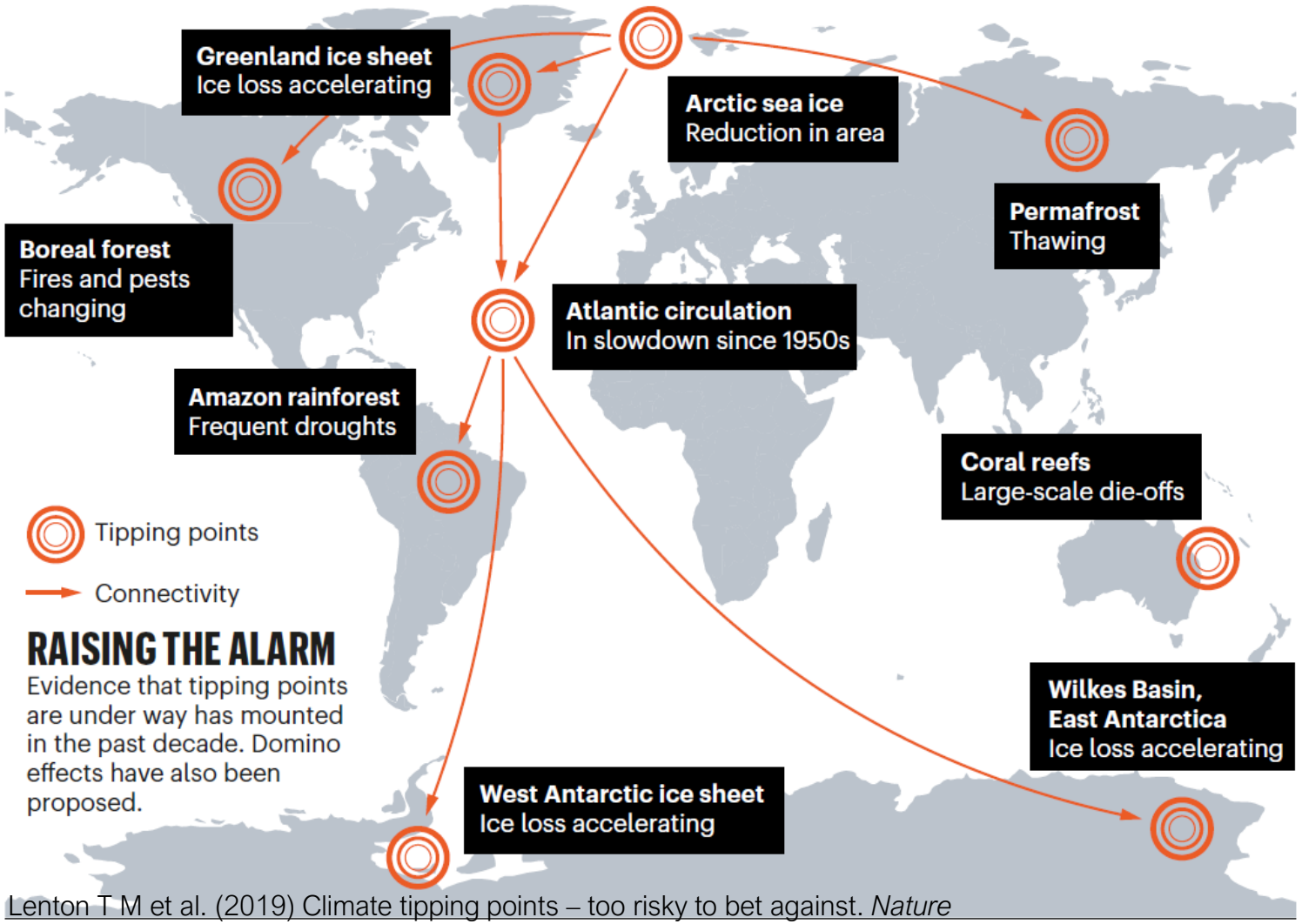
Was bedeutet eigentlich „Kippen“?

Historisch: Erdgeschichtliches Kippen des Erdsystems Folge von Veränderungen der Erdumlaufbahn (moderater Strahlungsantrieb)

Heute: Treibhausgase, Geschwindigkeit der Temperaturänderung eine Größenordnung schneller als bei der letzten Entgletscherung

Lenton T M et al. (2019) Climate tipping points – too risky to bet against. *Nature*

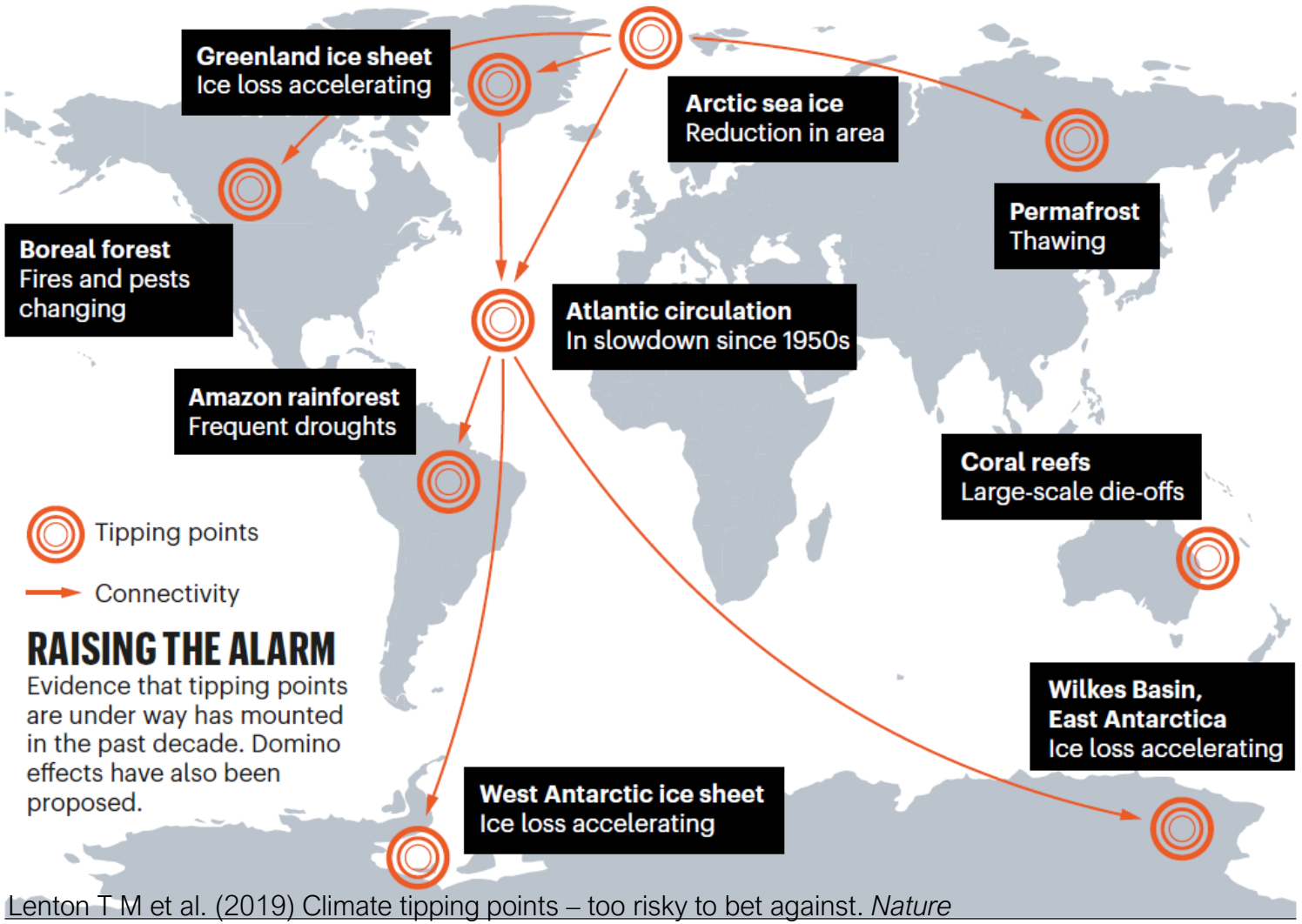
Kipppunkte und ihre Verbindungen



Lenton T M et al. (2019) Climate tipping points – too risky to bet against. *Nature*

- Manche Kipppunkte sind gefährlich nahe (~1,5°C) oder sogar schon übertreten (Eisschilde)
- GAU: Kaskade von Kipppunkten, bei der ein Kipppunkt den nächsten Lostritt und zum globalen Kippen des Erdsystems führt

Kipppunkte und ihre Verbindungen



Lenton T M et al. (2019) Climate tipping points – too risky to bet against. *Nature*

ABER: Narrativ eines **zu spät** falsch und gefährlich!!!

Selbst wenn z.B. das Grönland-Eisschild unwiederbringlich verloren geht (Kipppunkt losgetreten) **haben wir immer noch Konrolle über die Geschwindigkeit** des Tauens, indem wir die Überschreitung des Kipppunktes minimieren (mehr dazu später)

Klimasystem und Klimawandel

Energiehaushalt der Erde

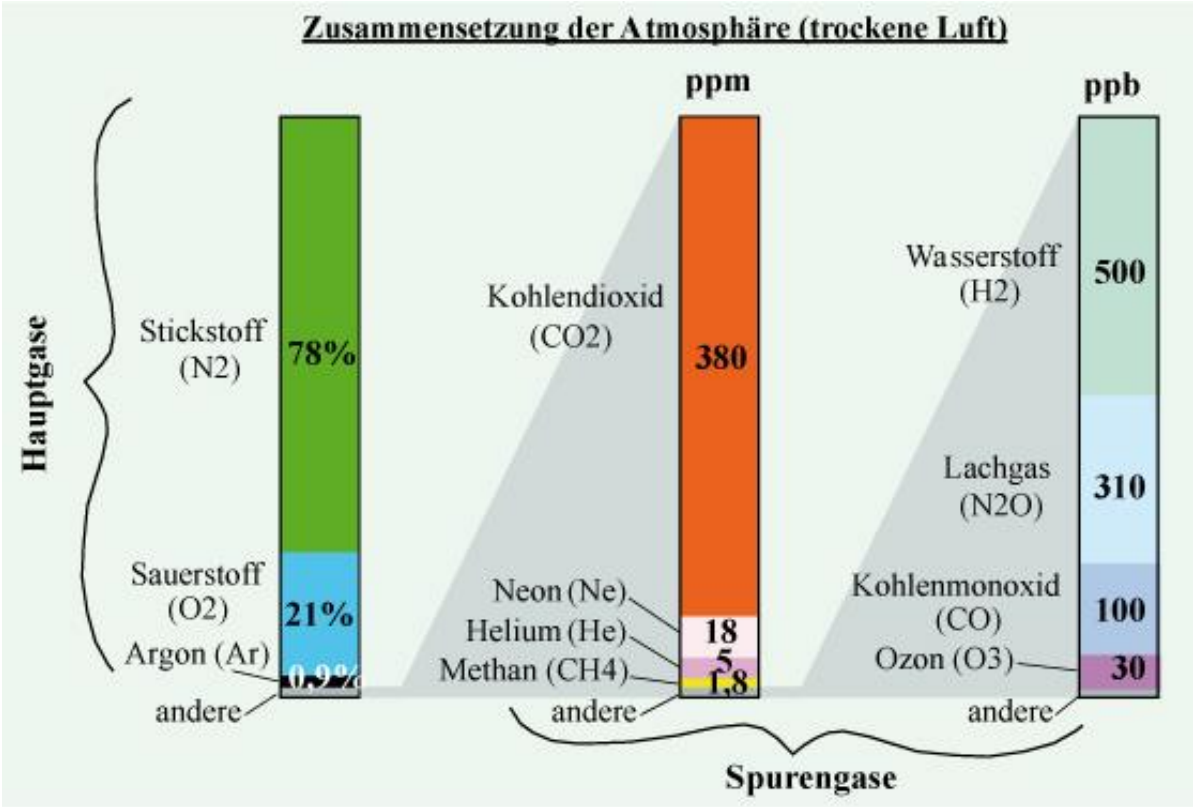
- Einstrahlende Energie: kurzwelliges, sichtbares Licht & UV von der Sonne
- Ausstrahlende Energie: Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung), hängt von der Temperatur der Erde ab
- Erde ohne Atmosphäre (Schwarzer Körper): Durchschnittstemperatur -18°C
- → Natürlicher Treibhauseffekt auf Grund von Spurengasen
- Wasserdampf (65% des Treibhauseffekts) und CO_2 (22%)
- Bewirken einen (natürlichen) Treibhauseffekt von ca. 30°C

Zusammensetzung der Luft[1]

1. Stickstoff: 78,08%
2. Sauerstoff 20,95%
3. Argon: 0,93%

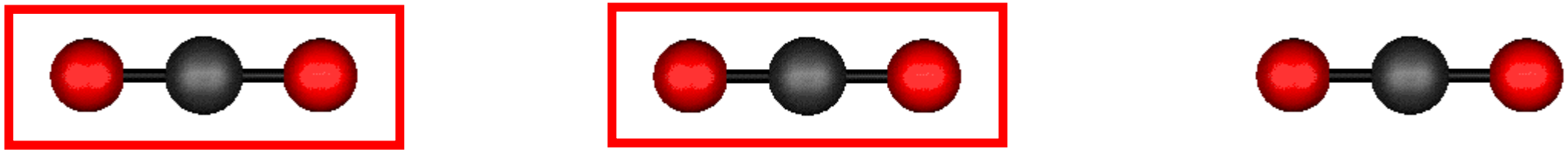
Ferner liefen:

Kohlenstoffdioxid: 0,04%,
genauer: 416 ppm (8.6.2020)[2



[1] http://cdiac.ornl.gov/tracegases.html , zuletzt aufgerufen: 18.2.2020
[2] https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/monthly.html , zuletzt aufgerufen: 08.06.2020

CO_2 absorbiert elektromagnetische Strahlung im IR-Bereich.



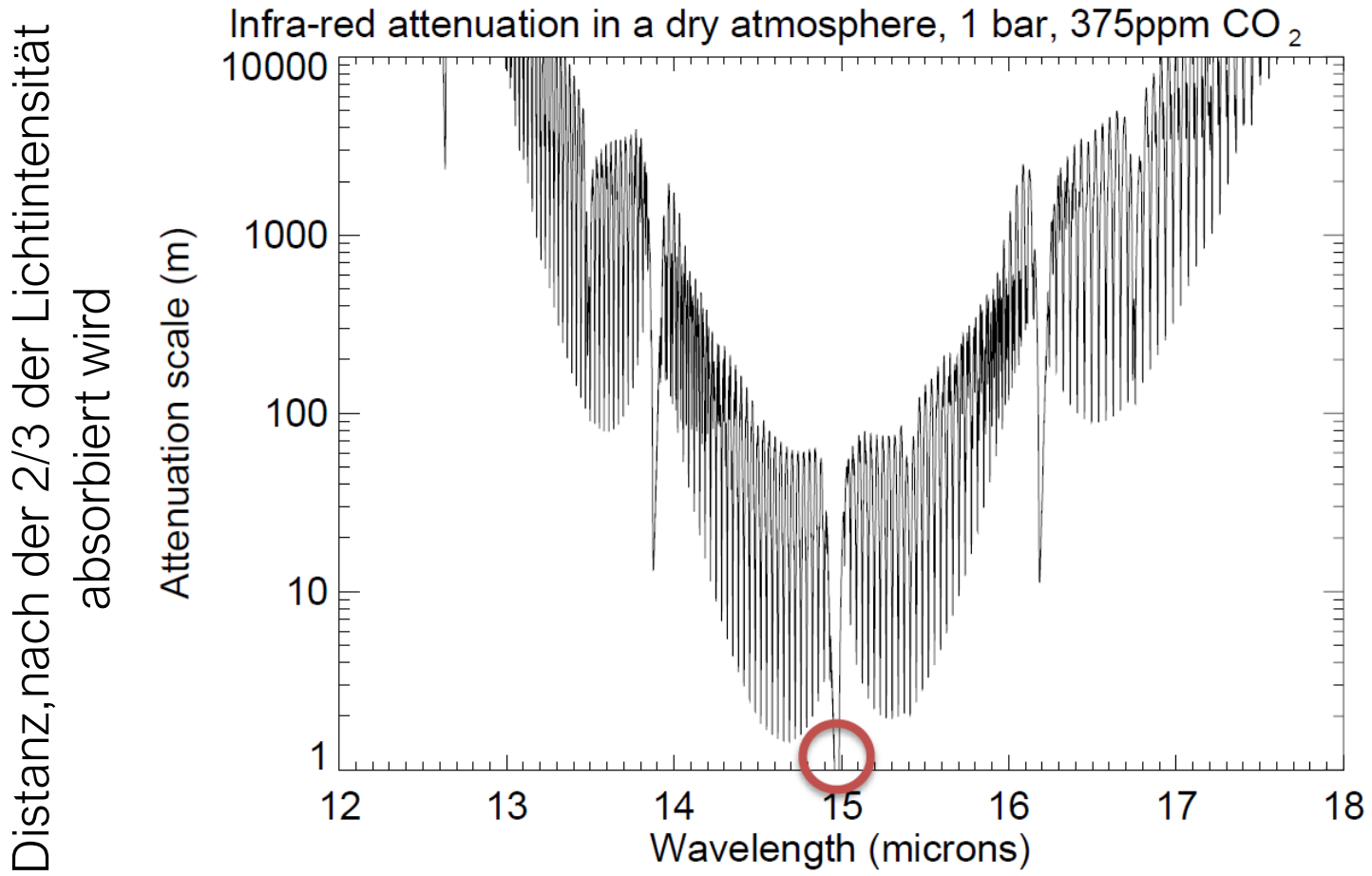
CO_2

O_2

N_2

Sauerstoff und Stickstoff nicht.

Abschwächung der Lichtintensität



- Selbst bei CO_2-Konzentrationen unter 0,5% absorbiert die Atmosphäre bereits weite Teile des IR-Spektrums
- Winzige Molekle haben große Einflusssphären bei Wechselwirkung mit Strahlung
- Kein Effekt auf sichtbares Licht, nur auf IR-Licht absorbiert
- Wärmestrahlung wird von CO2 absorbiert und wird letztendlich langsamer wieder ausgestrahl

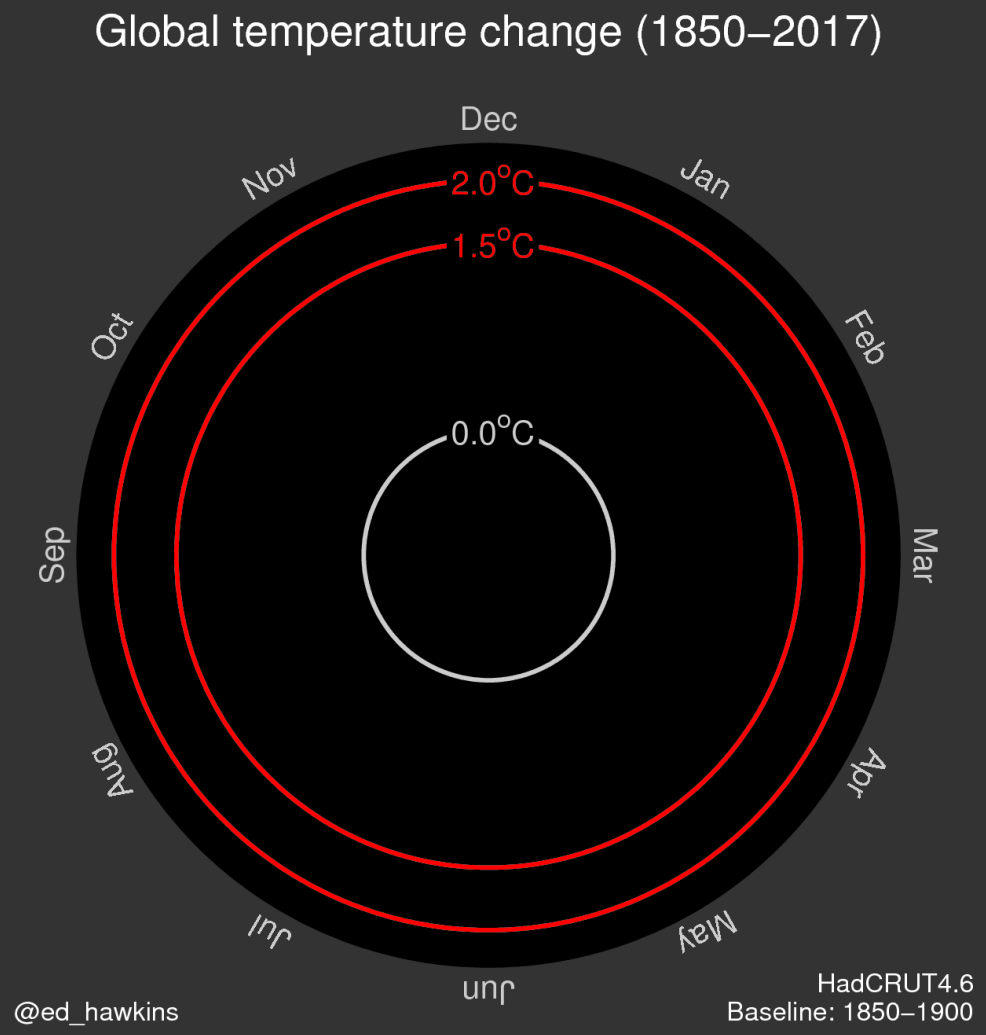
Energiehaushalt bei Erhöhung der CO_2-Konzentration

Ungleichgewicht aus einfallender und ausfallender Energie (mit Satelliten messbar) → Strahlungsantrieb → Erderwärmung

Aktueller Anthropogener Strahlungsantrieb:

1,7 W/m^2 (CO_2) + 1 W/m^2 (CH_4) + … ≈ 2,8 W/m^2

Globale Temperaturänderung



- Land erwärmt sich schneller als Meer
- Arktis erwärmt sich 2-3x so schnell wie der Durchschnitt
- Anthropogene Erwärmung in 2018: ca. 1°C mit Erwärmung von +0,2°C pro Jahrzehnt
- Aktuelle Emissionen werden *unwahrscheinlich* zu 1,5°C führen (weniger)

IPCC (2018) Sonderbericht 1,5°C Globale Erwärmung. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger

Klimafolgen

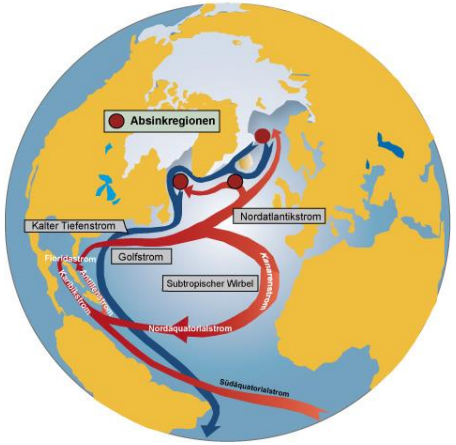
Wenn sich die Pole erwärmen

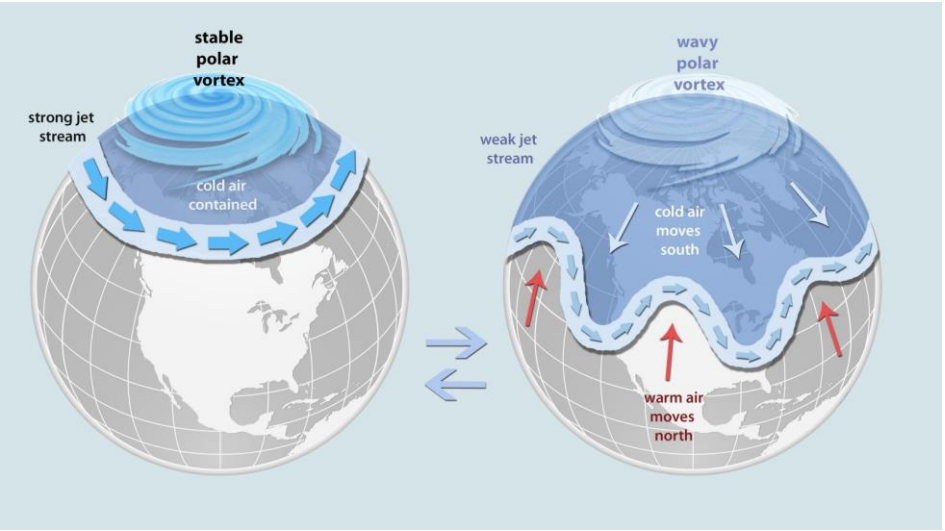
… wird es lokal nicht unbedingt wärmer. Denn es nimmt die Temperaturdifferenz zwischen Arktis und Tropen ab

- der Golfstrom flaut ab → Europa wird kälter
- Jetstream „zerfranst“ → Rekordwinter in USA 2018/2019 mit viel arktischer Luft[1] → Republikaner: „*Das nennt ihr Erderwärmung?*“

… kann aber auch zu Hitzewellen führen

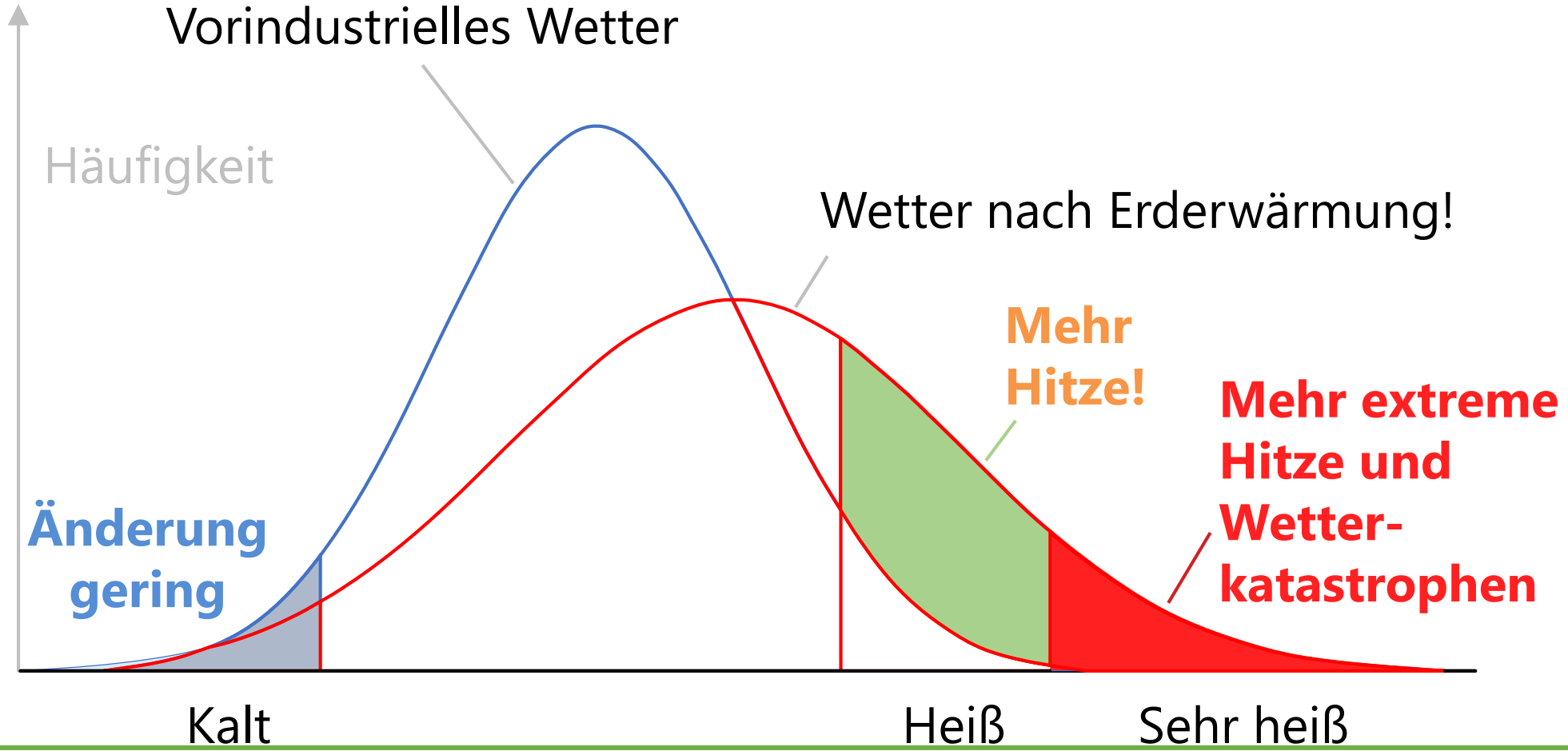
- Rekordsommer 2018 ebenfalls auf Anomalien des Jetstreams zurückzuführen (Hochdruckgebiet zieht nicht ab)





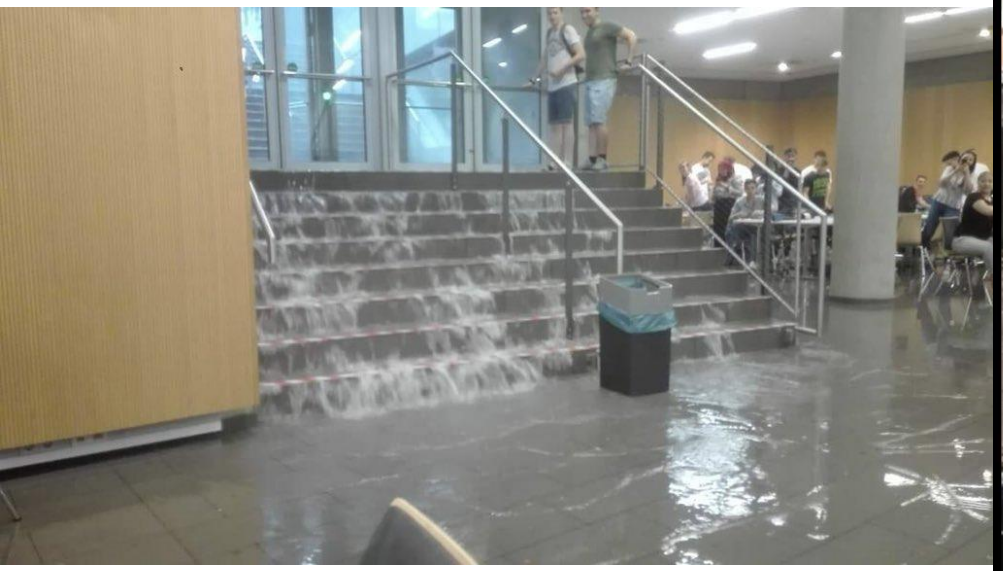
[1] https://www.sueddeutsche.de/wissen/usa-kaeltewelle-polarwirbel-polar-vortex-kaelte-klimawandel-1.4310718 , zuletzt aufgerufen: 5.11.2019
[2] Kornhuber K et al. (2019) Extreme weather events in early summer 2018 connected by a recurrent hemispheric wave-7 pattern. Environ. Res. Let. 14

Klimawandel macht das Wetter extremer, nicht einfach nur „wärmer“



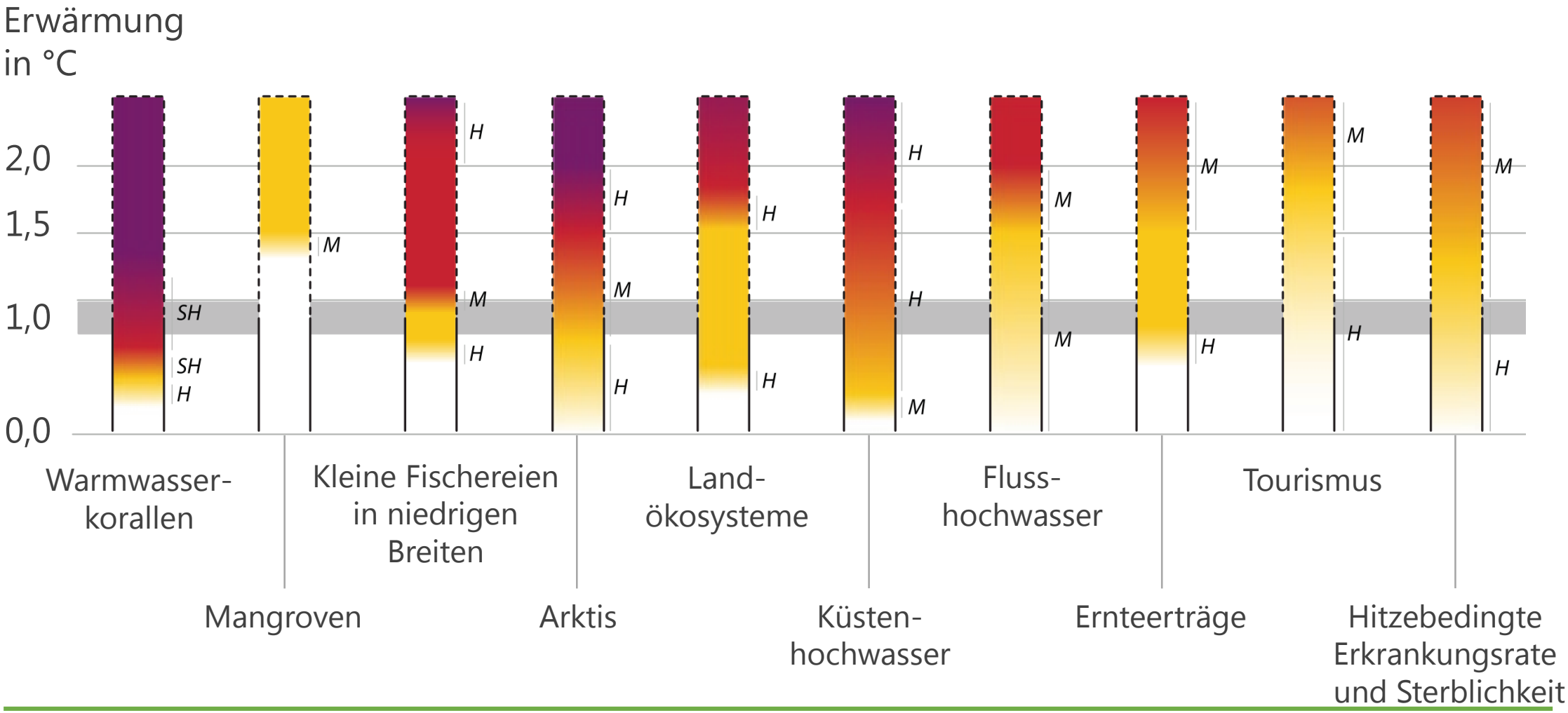
© Gregor Hagedorn, CC BY-SA 4.0

Regenfälle



- Eine wärmere Atmosphäre kann mehr Wasserdampf aufnehmen
- Menge an Wasser in Atmosphäre größer
- Gesamtmenge an Niederschlag nimmt zu, aber lokal unterschiedlich und vermehrt in Form von *Extremwetter*

Folgen und Risiken ausgewählter Systeme



© IPCC 2018, modified by Gregor Hagedorn, used by permission to Scientists for Future

Klimafolgen nach 1,5°C IPCC Bericht

1,5°C

- 7% der globalen Landfläche durchlaufen Transformation der Ökosysteme
- ein Sommer mit meereisfreiem arktischen Ozean pro Jahrhundert
- Korallenriffe gehen um 70-90% zurück

2°C

- 13% der globalen Landfläche durchlaufen Transformation der Ökosysteme
- ein Sommer mit meereisfreiem arktischen Ozean pro Jahrzehnt
- Korallenriffe gehen um >99% zurück

Meeresspiegelanstieg

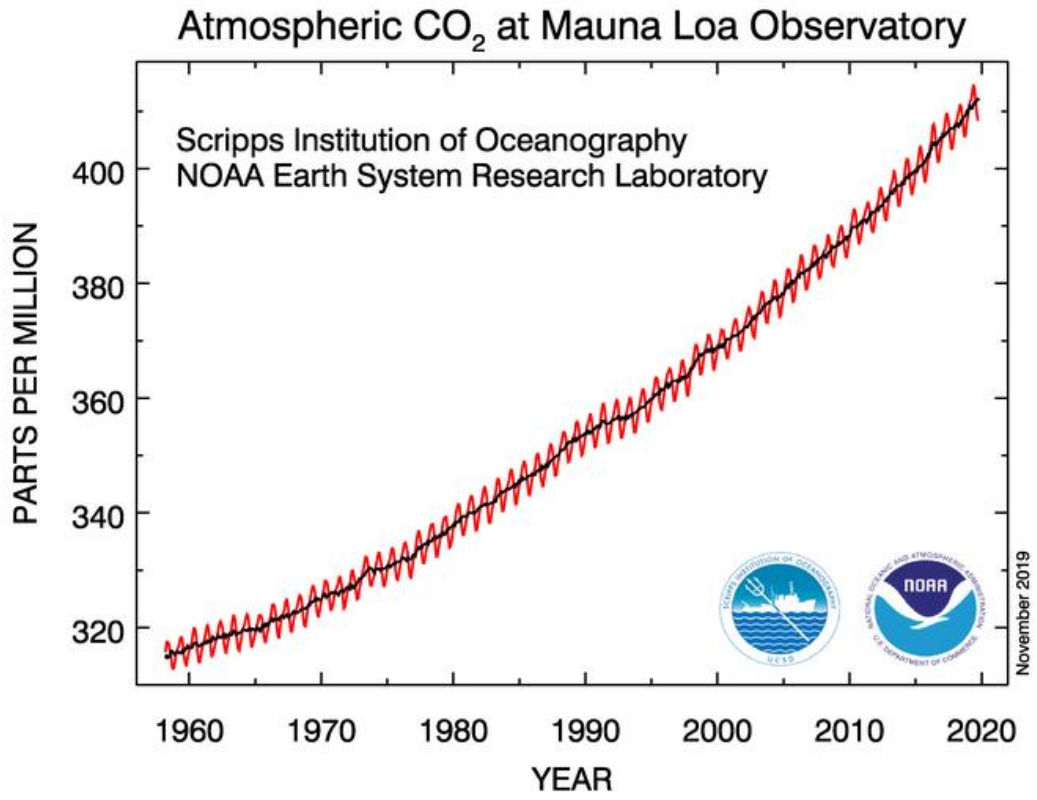
- Kipppunkte liegen zwischen 1,5°C und 2°C und sind möglicherweise schon jetzt losgetreten (Grönland)
- West Antarktis: + 3 Meter über Jahrhunderte bis Jahrtausende
- Ost Antarktis: + 3-4 Meter über Jahrhunderte
- Grönland: + 7 Meter über Jahrtausende
- Vermeidung weiterer Treibhausgase würde die Geschwindigkeit der Veränderung deutlich Bremsen und Anpassungsmöglichkeiten bieten → Geschwindigkeit der Veränderung hängt ab von Überschreitung des Kipppunktes
- Weniger die Frage ob wir einen Meeresanstieg von über 10 m bekommen, sondern über welchen Zeitraum: 1.000 Jahre (2°C) oder 10.000 Jahre (1,5°C)?
- Narrativ eines „Es ist zu spät“ **falsch** und **gefährlich**

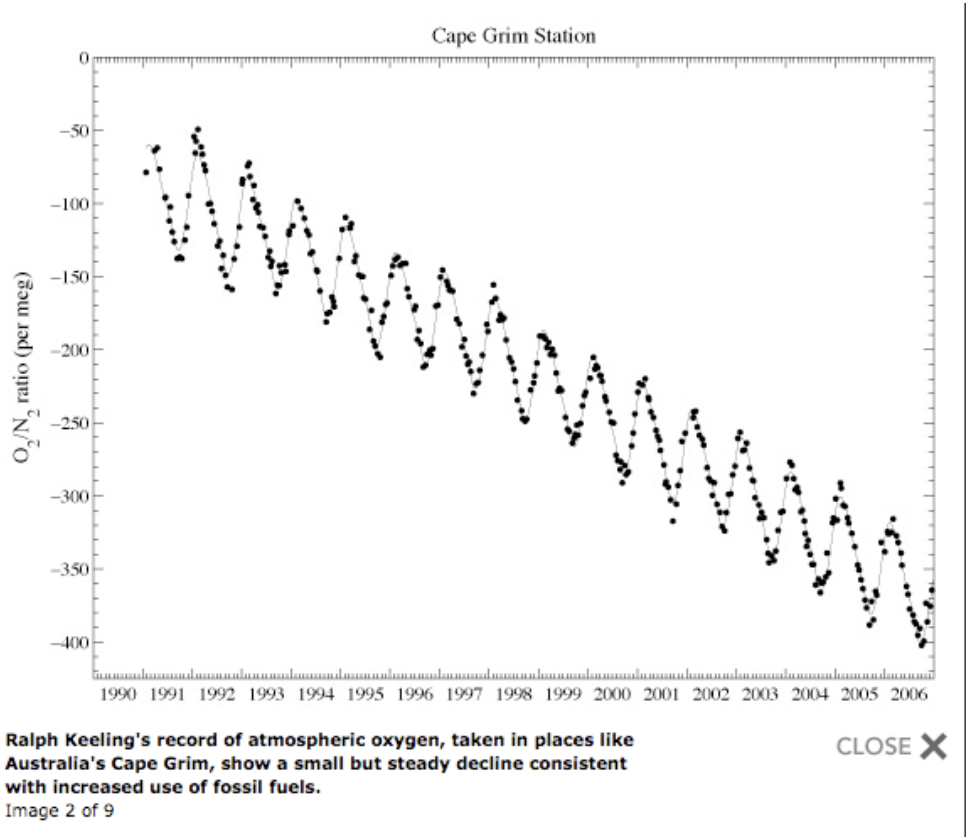
Lenton T M et al. (2019) Climate tipping points – too risky to bet against. *Nature*

Treibhausgase und Budget

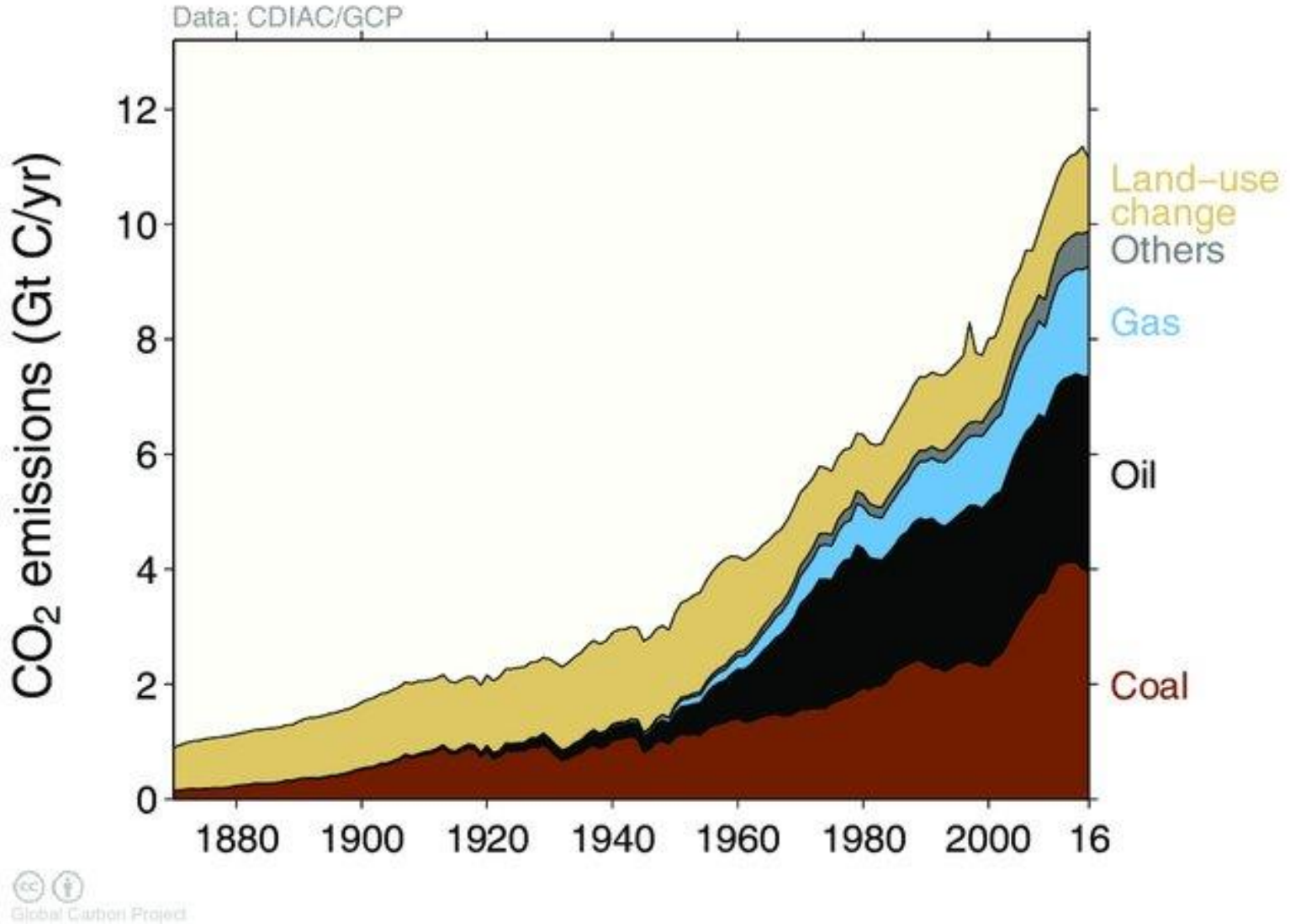
Keeling Kurven: Der Klimawandel ist menschengemacht

Der Anstieg der CO_2 Konzentration geht mit einem Abfall der O_2 Konzentration einher und die Isotopenverteilung des Kohlenstoffs zeigt: Das CO_2 stammt aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe.





Quellen atmosphärischen CO_2s



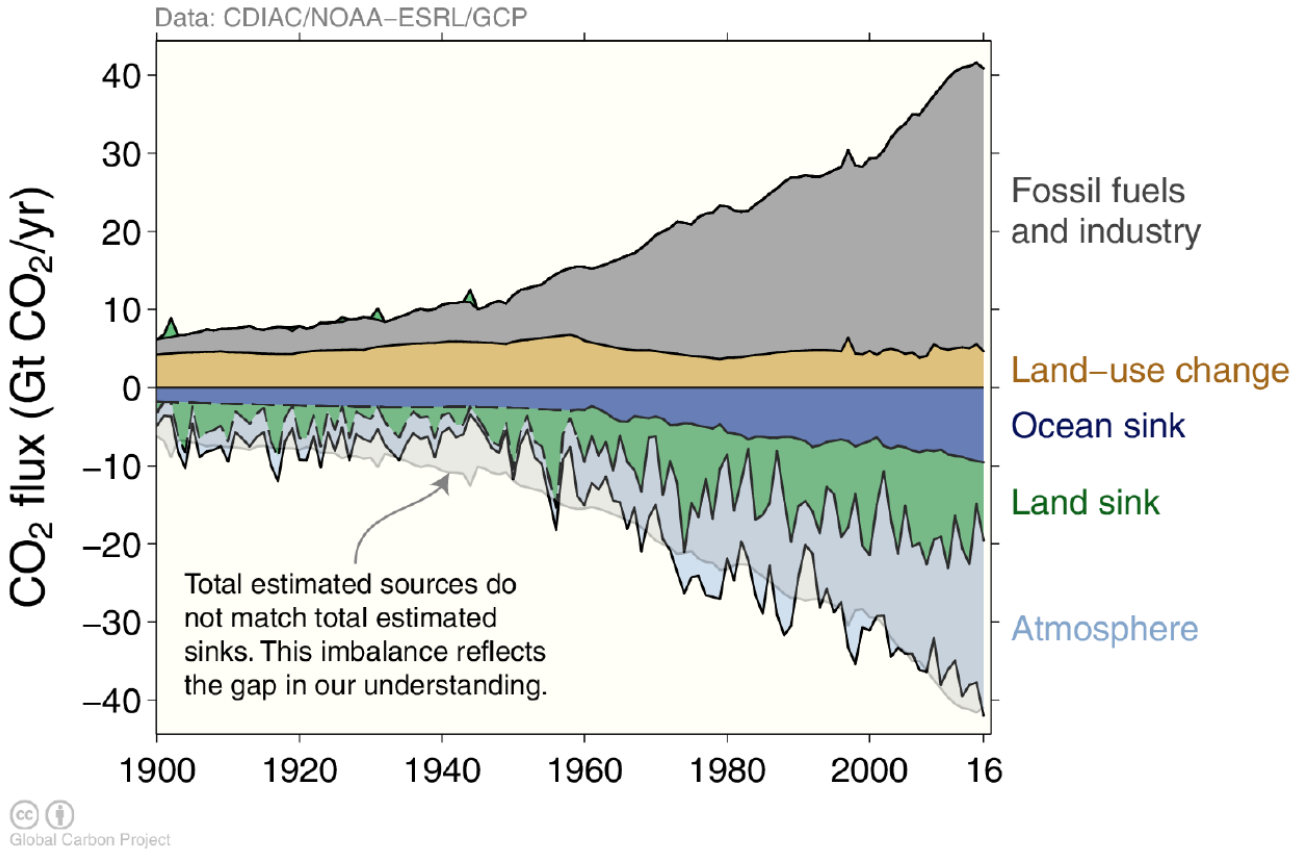
Wo bleibt das CO_2?

- 50% bleiben in der Atmosphäre
- 30% gehen in die Biosphäre
- 20% gehen ins Meer

  C (Atm) ↔ C (Bio)

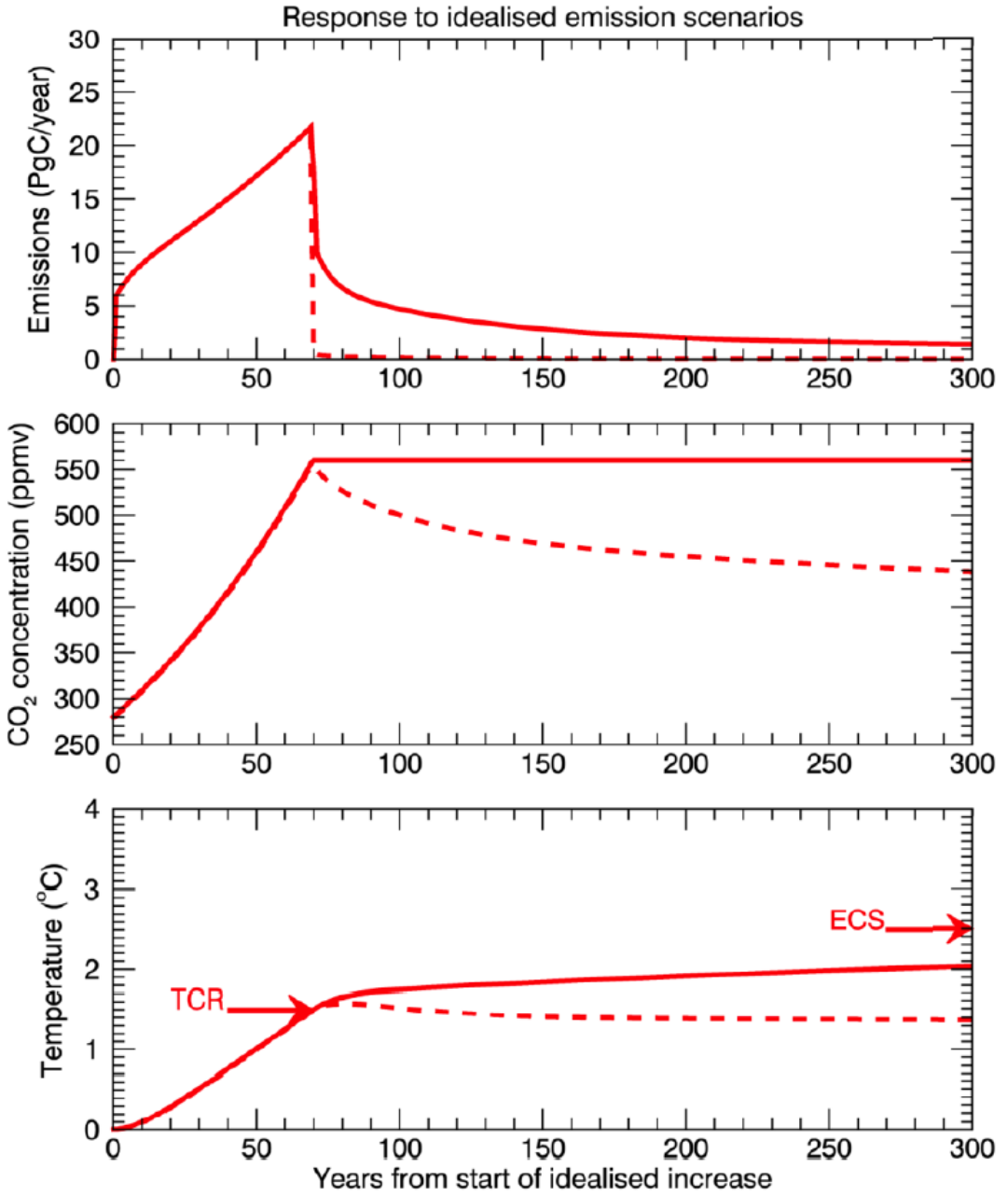
  C (Atm) ↔ C (Meer)

Aber: Anteil in Biosphäre und Meer nimmt ab → Senken scheinen sich zu sättigen



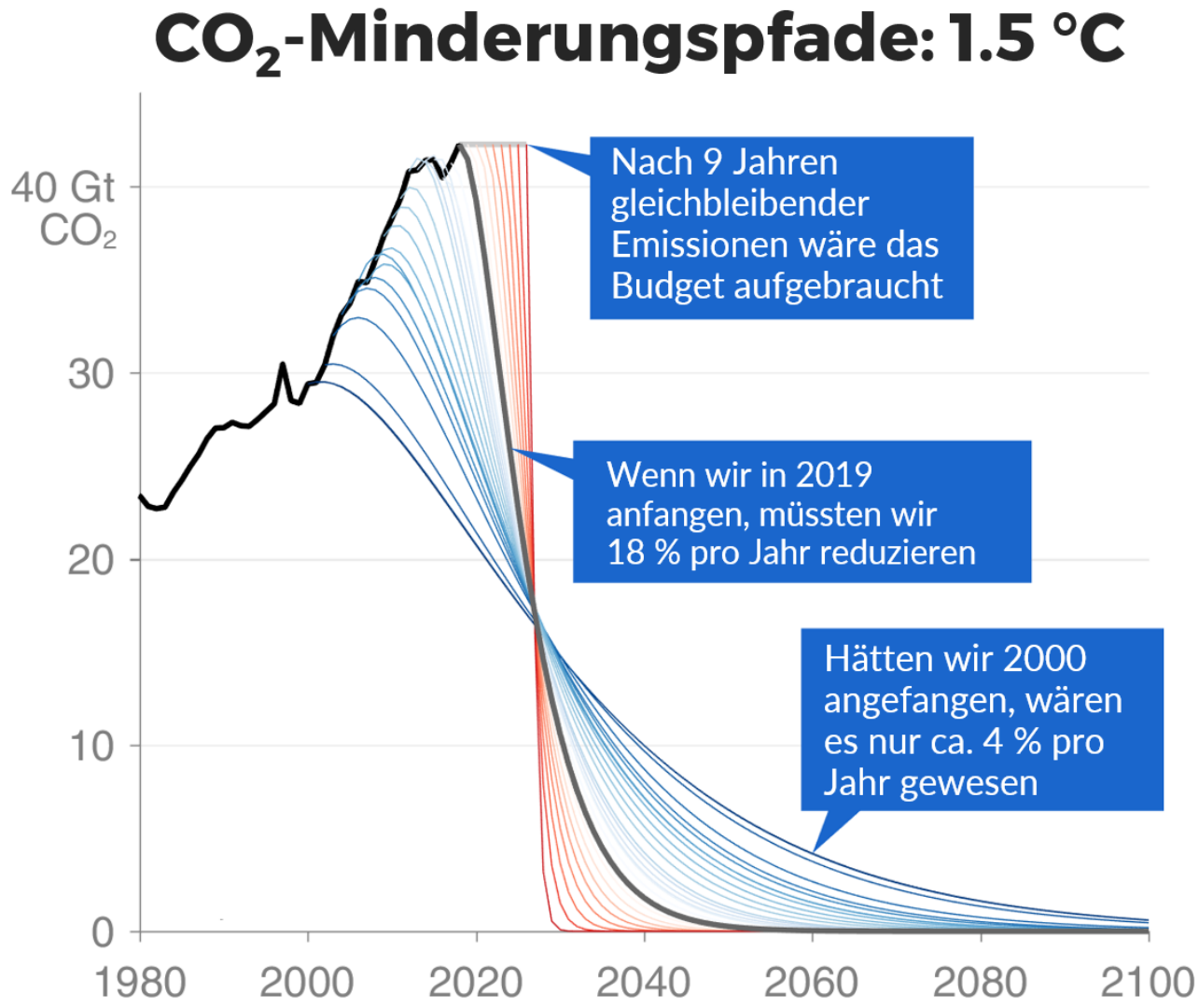
Was passiert mit dem CO_2-Level?

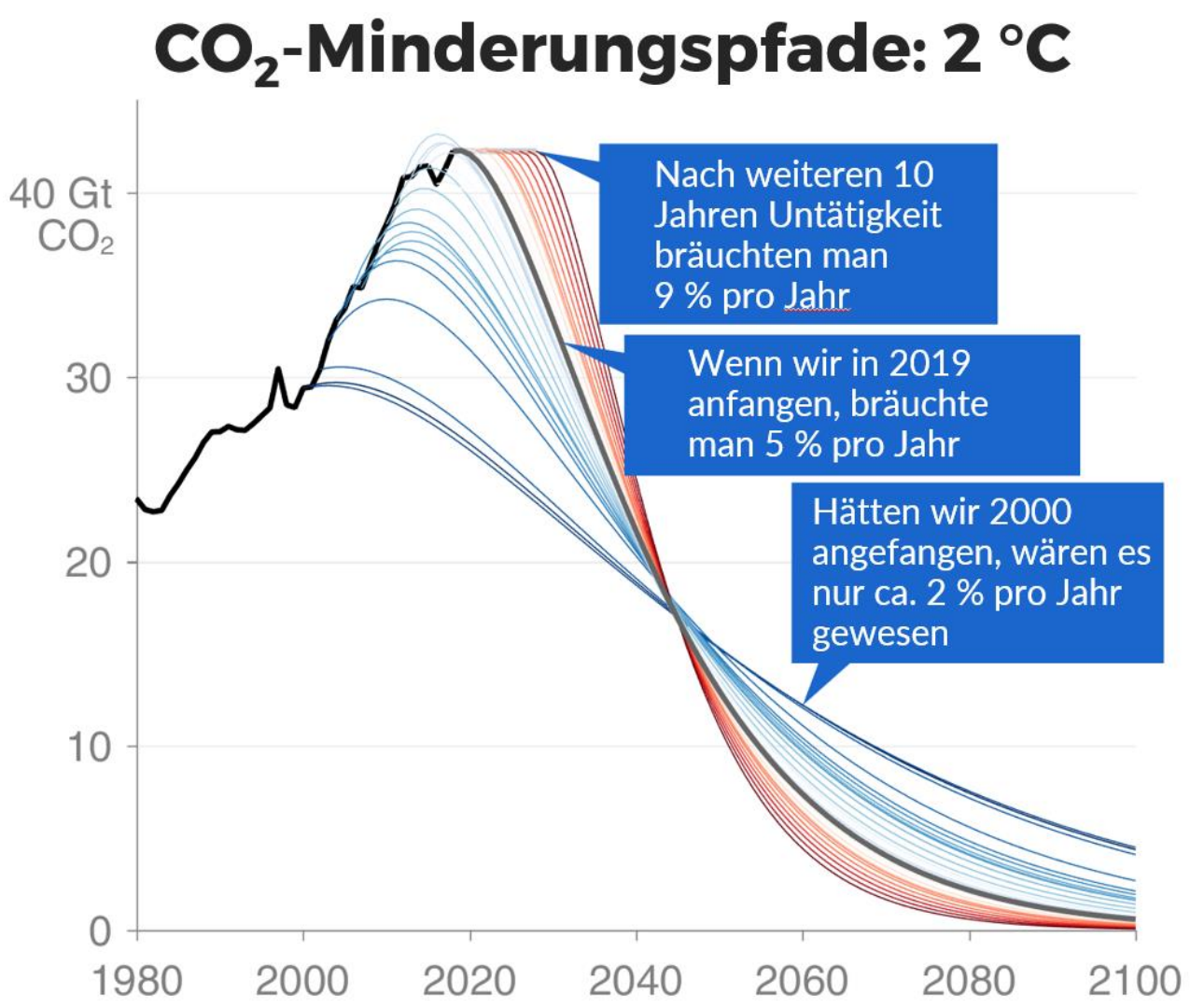
- mindestens 50% unserer Emissionen bleiben ewig (hunderte bis tausende Jahre) da oben
- 30% ist in der Biosphäre und kann jeder Zeit auch da oben landen (siehe Abholzung, Buschbrände etc.)
- Gaaaaaanz laaaangsaaaam bildet sich Öl und Kalkstein am Meeresboden (Jahrmillionen)



Die vielleicht wichtigste Lehre…

Jedes Temperaturziel entspricht einem CO_2-Budget





2°C: Die Trillionste Tonne Kohlenstoff

Spitzen-Erderwärmung wird bestimmt durch die **kumulierten CO_2-Emissionen (Gesamtemissionen) und nicht durch den Emissionspfad!**

Eine Trillionen Tonnen Kohlenstoff-Emissionen seit der Industrialisierung (bzw. 3,65 Gt CO_2) bringen eine Erwärmung von 2°C (1,3-3,9°C).

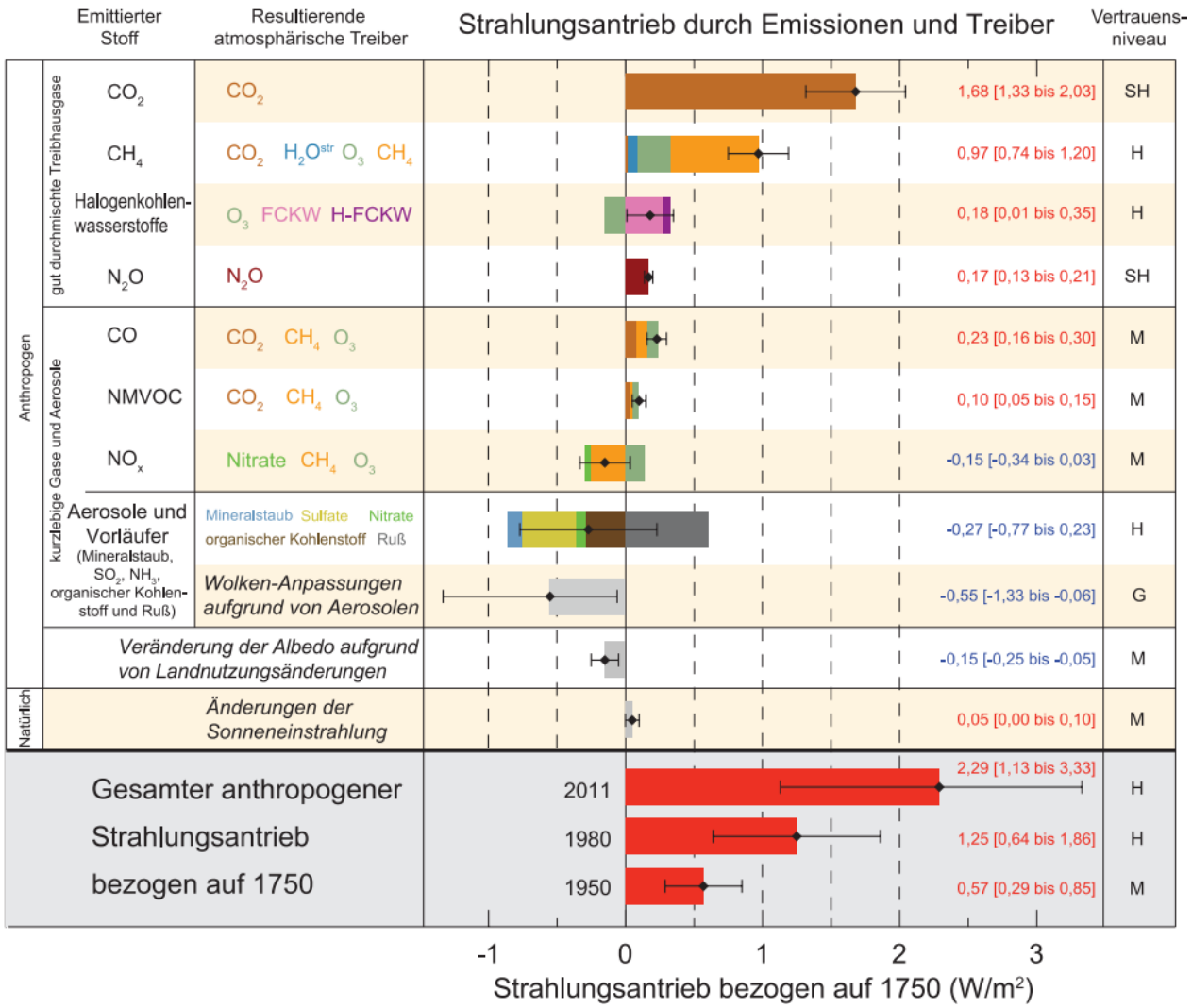
In anderen Worten:

Um die Erderwärmung aufzuhalten müssen die Emissionen auf Null gehen!

Es ist egal, wie wir runterkommen! Es zählt NUR die Menge an CO_2, die wir bis zur Nettonull ausgestoßen haben.

Allen M et al. (2009) Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. Nature 458

Was ist mit anderen Treibhausgasen?



Darstellung häufig: 1 kg Methan sind so schlimm wie 4, 28, 84 … kg CO_2

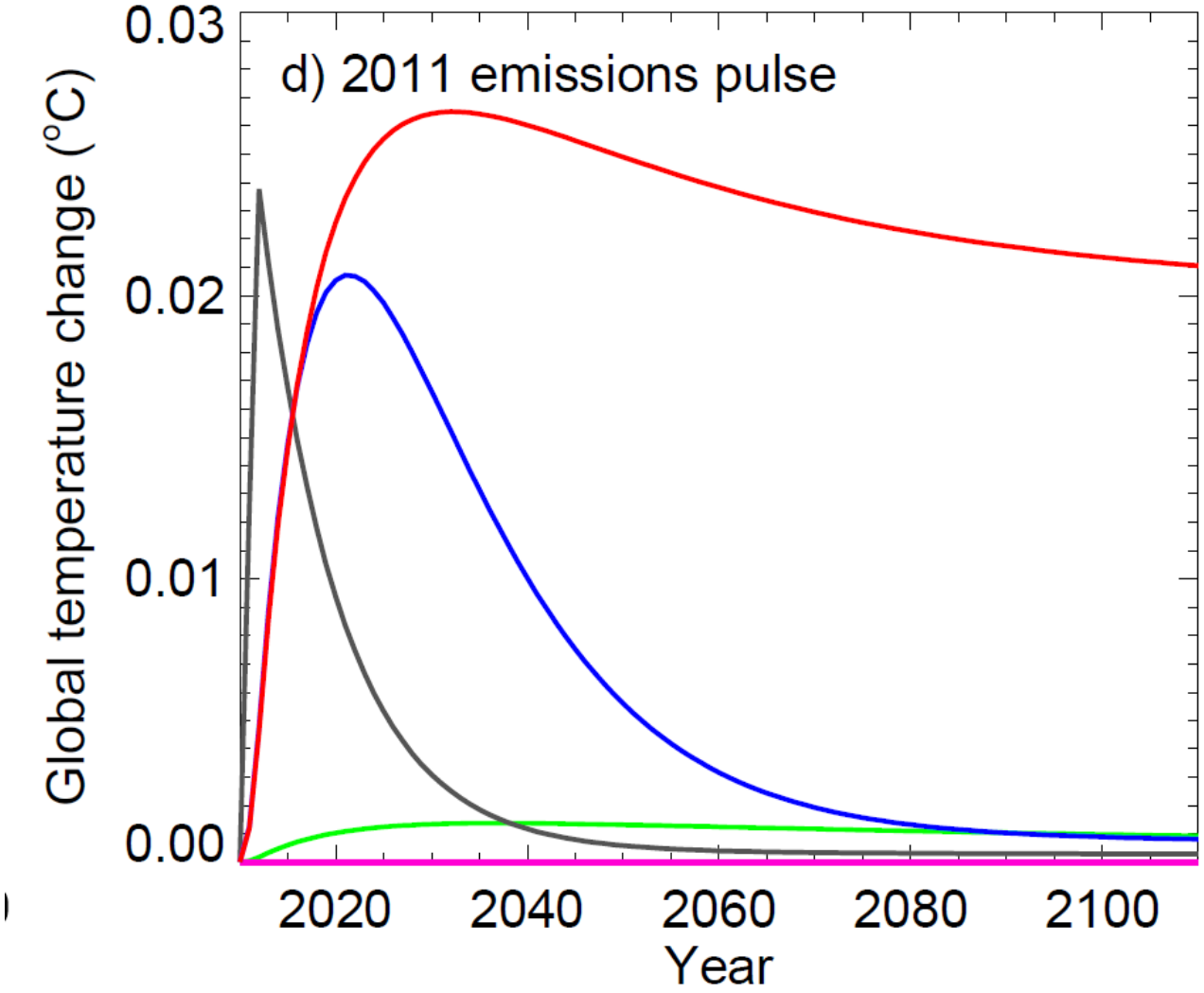
→ Halbwertszeit von Methan ca. 15 Jahre

→ CO_2-Äquivalente hängen aber ab, über welchen Zeitraum man spricht

→ Unmittelbarer Effekt CH_4 = 120x CO_2

→ 20 Jahre CH_4 = 84x CO_2

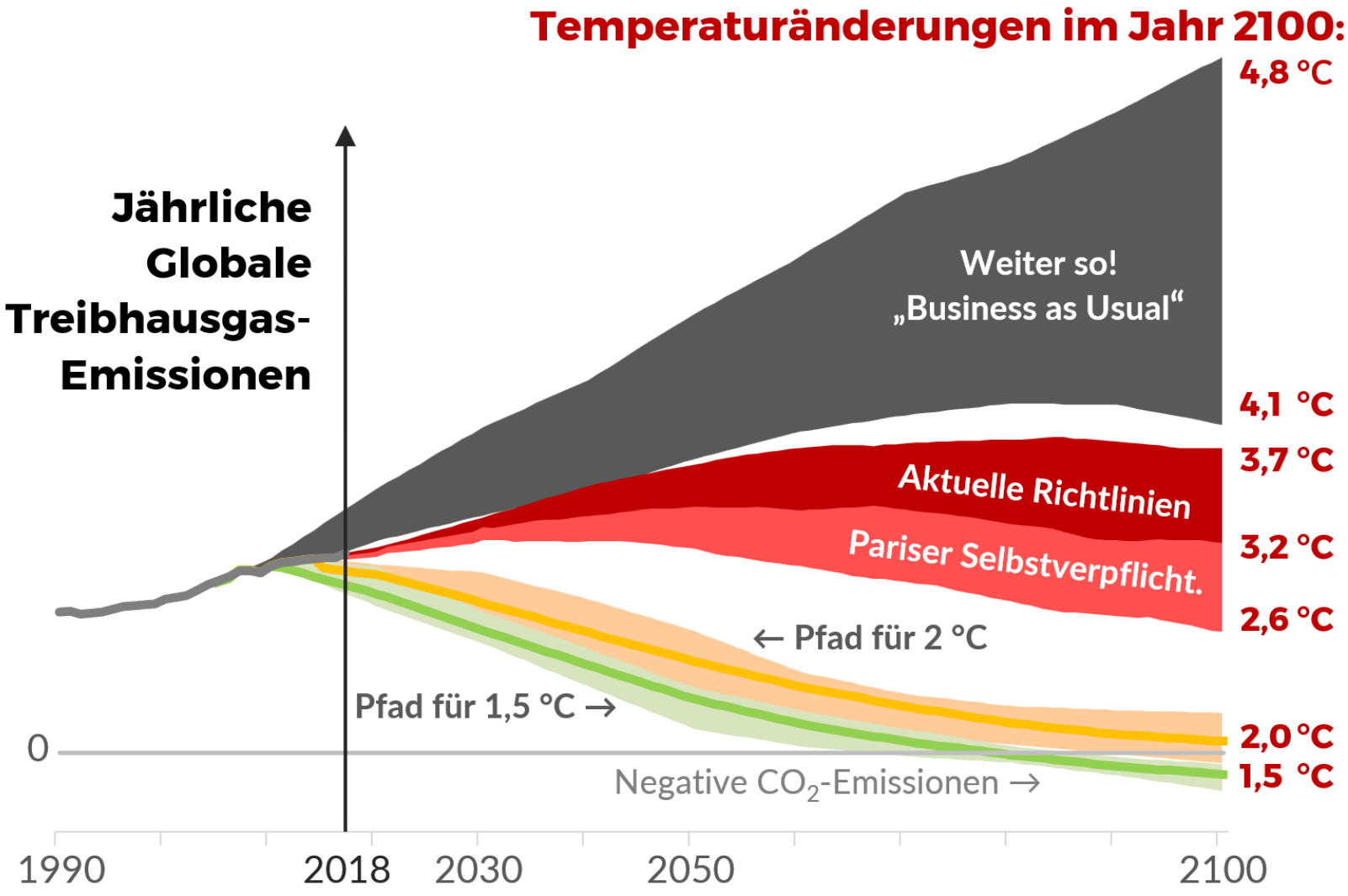
CO_2-Äquivalente???



Verlauf Temperatur-änderung gegen Zeit bei einem einmaligen Puls aller Treibhausgas-Emissionen a

IPCC: Netto-Null CO_2 Emissionen und fallende nicht-CO_2 Emissionen würden die Erderwärmung zum Halten bringen.us 2011

Paris reicht nicht aus



Zusammenfassung

- Erderwärmung seit der Industrialisierung liegt bei ca. 1°C und schreitet mit 0,2°C fort
- Sie ist eine Folge des Strahlungsantriebs, d.h. des Ungleichgewichts aus eintretender und austretender Energie
- Der Strahlungsantrieb ist auf die anthropogenen Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe zurückzuführen
- Über 50% unserer CO_2-Emissionen bleiben Jahrtausende in der Atmosphäre
- Für beliebige Begrenzung der Erderwärmung müssen die Emissionen auf Null sinken → jedes Temperaturziel entspricht einem Emissionsbudget
- Folgen des Klimawandels deutlich geringer bei 1,5°C als 2°C → Anpassungsmöglichkeiten
- Einzelne Kipppunkte werden bei ca. 1,5°C losgetreten (z.B. Grönlandeisschild wird dann unwiederbringlich kollabieren) ABER Geschwindigkeit hängt ab von Höhe der Überschreitung (z.B. +10m Meeresspiegelanstieg in 1.000 oder 10.000 Jahren)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kohlenstoffkreislauf

1. Biosphäre

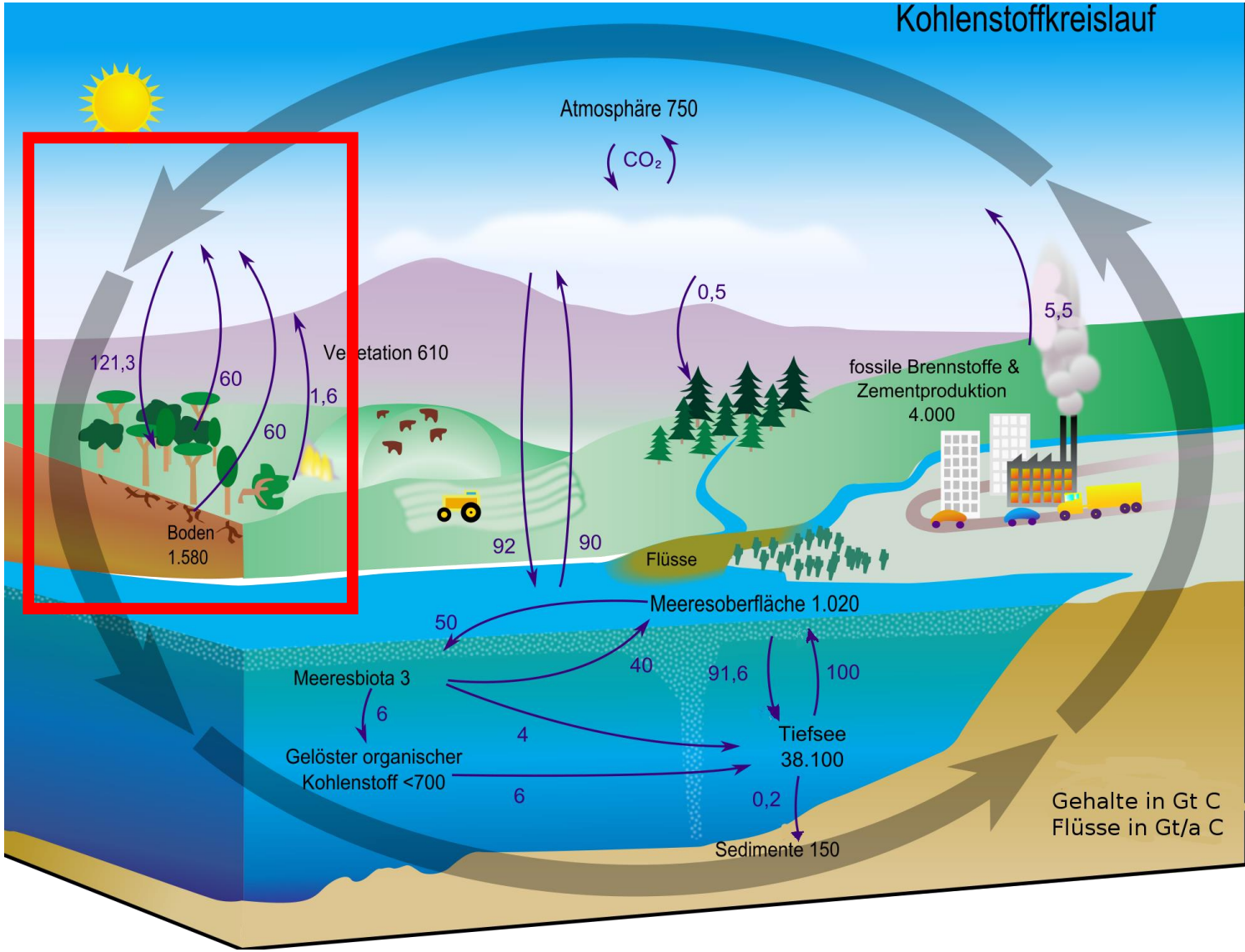
→Alte (Ur-)wälder sind im Gleichgewicht aus Wachsen (Senke) und Vergehen (Quelle)

→junge, wachsende Wälder entziehen CO_2

→CO_2-Düngung: Erhöht man die CO_2-Konzentration in der Atmosphäre „düngt“ das die Pflanzen und befördert ihr Wachstum → hört man auf zu emittieren, dann entziehen Urwälder auch kein CO_2

→ Biosphäre nimmt also nur CO_2 auf, wenn sie nicht im Gleichgewicht mit Atmosphäre steht

→Biosphäre nur so lange CO_2-Speicher, wie sie geschützt und intakt ist → degradierende Biosphäre setzt CO_2 frei



Kohlenstoffkreislauf

1. Biosphäre

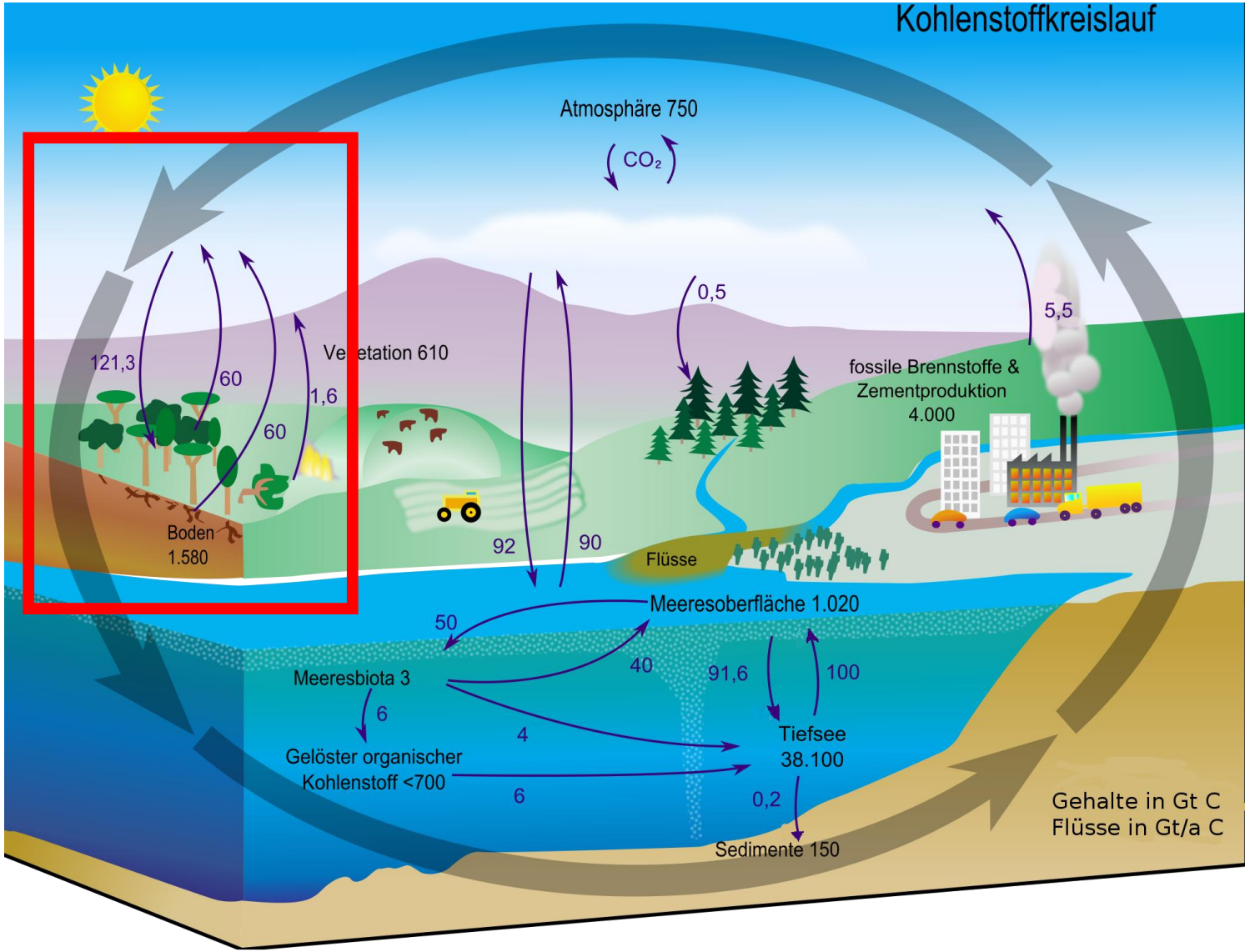
→Aber: Großteils des Kohlenstoffs in den Böden

→Fähigkeit der Böden, Kohlenstoff zu binden, zentral für Senkenfunktion

→Erhöhung der organischen Bestandtteile im Boden (Humus)

→Degradierung von Böden setzt Kohlenstoff frei

→Restaurierung und Schutz der Böden zentral für Klimaschutz (Synergie mit Biodiversität)



Kohlenstoffkreislauf

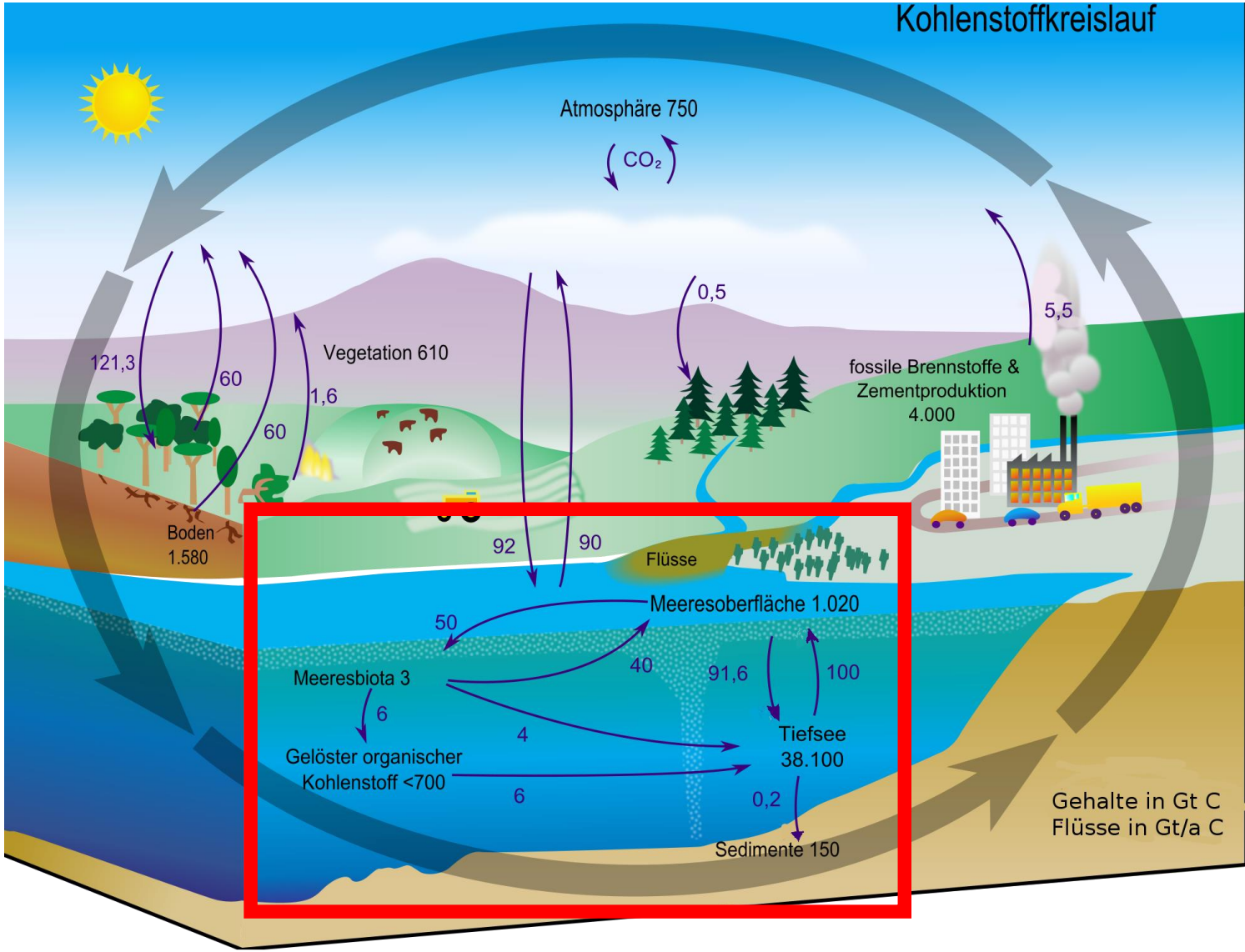
2. Ozean

→ CO_2 löst sich im Meer

→ pro CO_2 Molekül wird dabei ein CO_3^{2-} in ein HCO_3^- umgewandelt

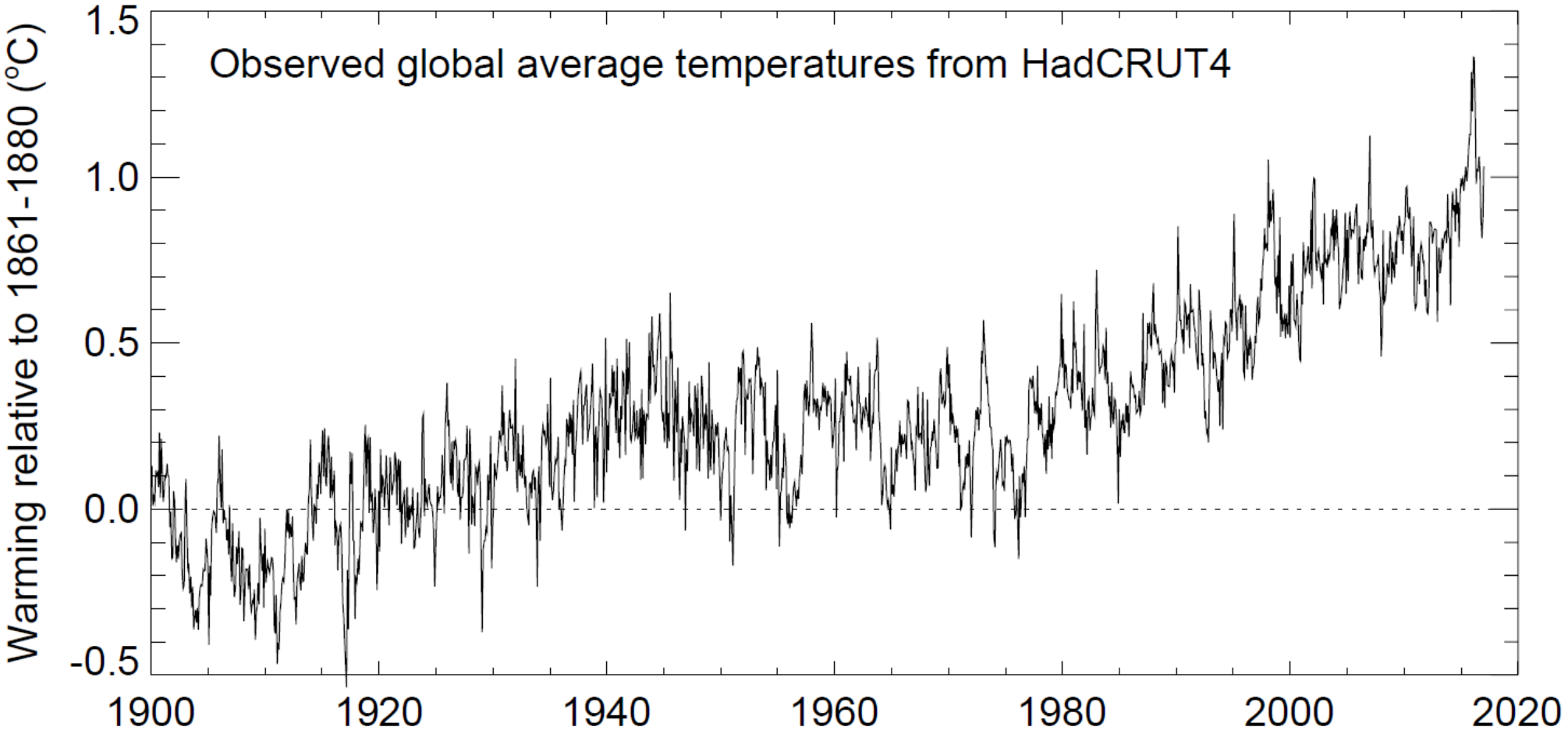
→ Mikroorganismen wie Plankton formen Kalkschalen → sinkt zu Boden und formt Kalkstein

→ Lösung von CO_2 und Bildung von Kalkschalen gehemmt bei saureren Meeren, da weniger CO_3^{2-} vorliegt

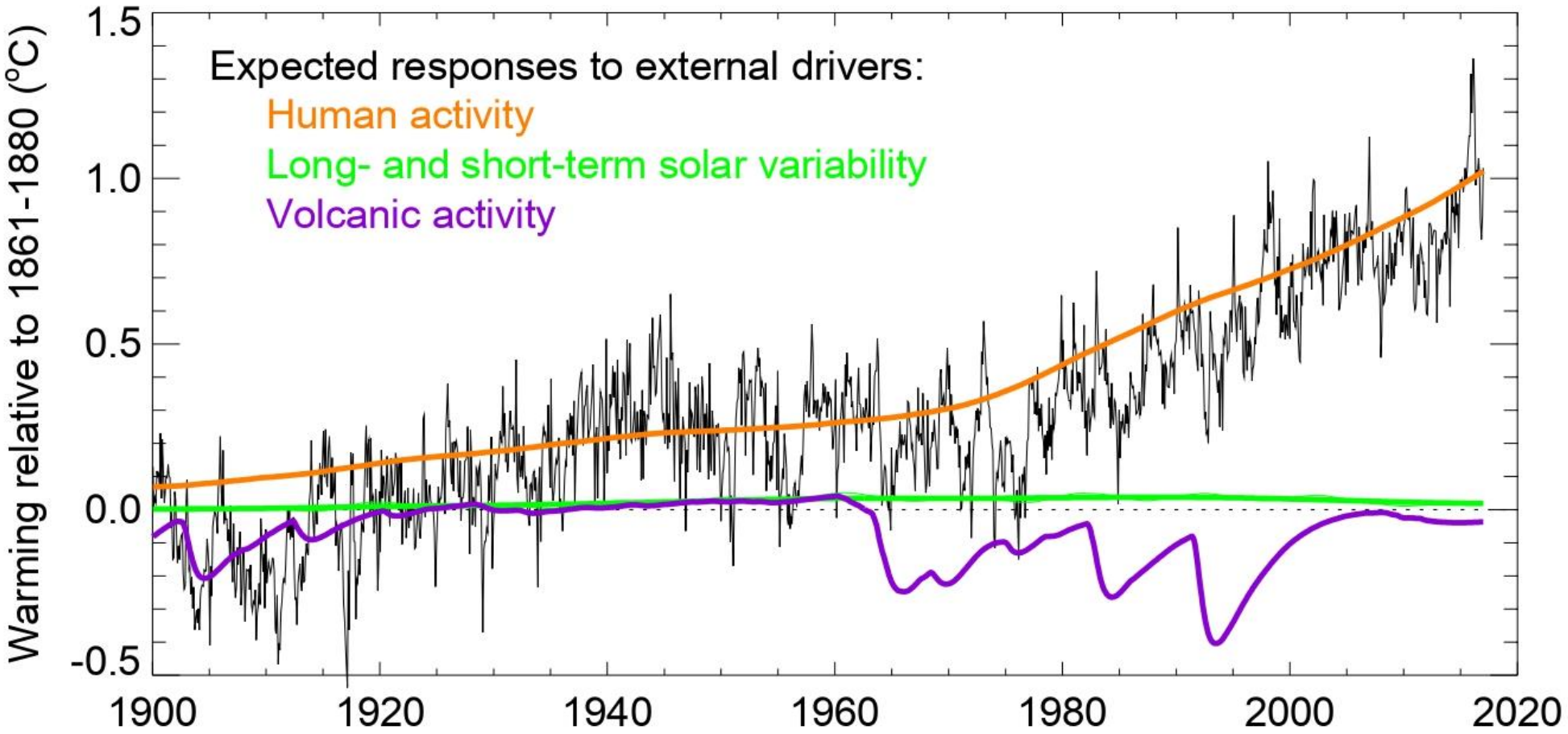


Ist der Klimawandel wirklich menschengemacht?

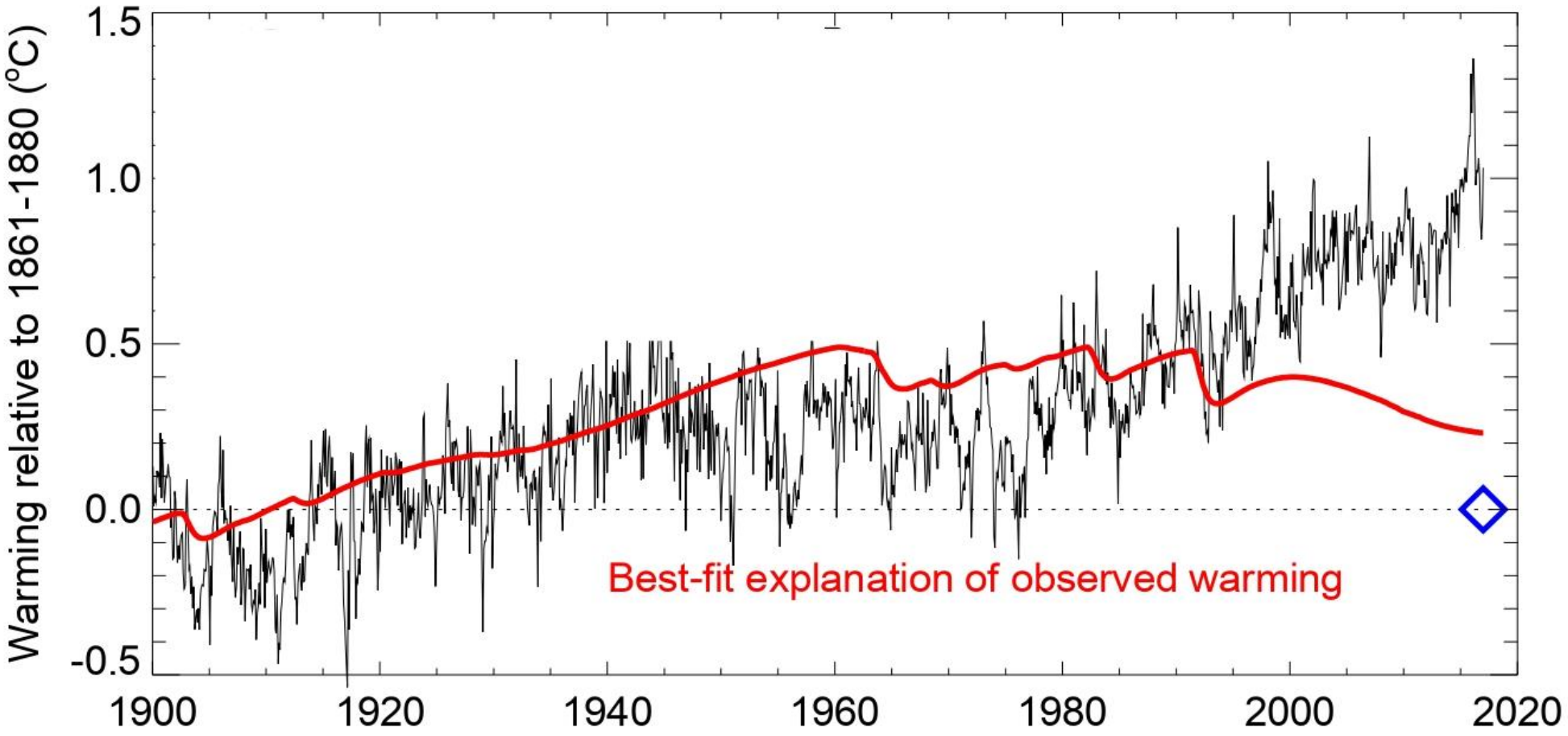
Zuschreibung des Temperaturanstiegs zu externen Einflussfaktoren



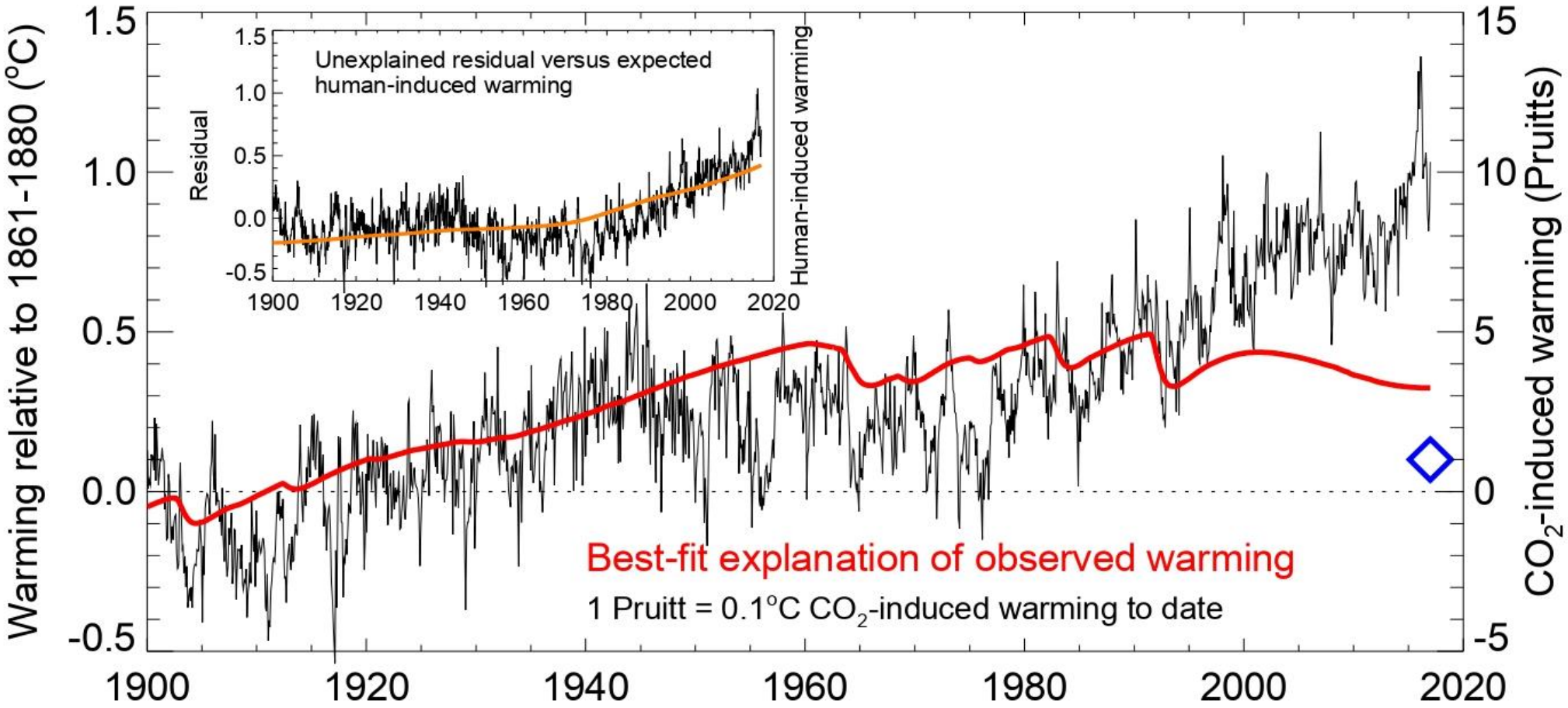
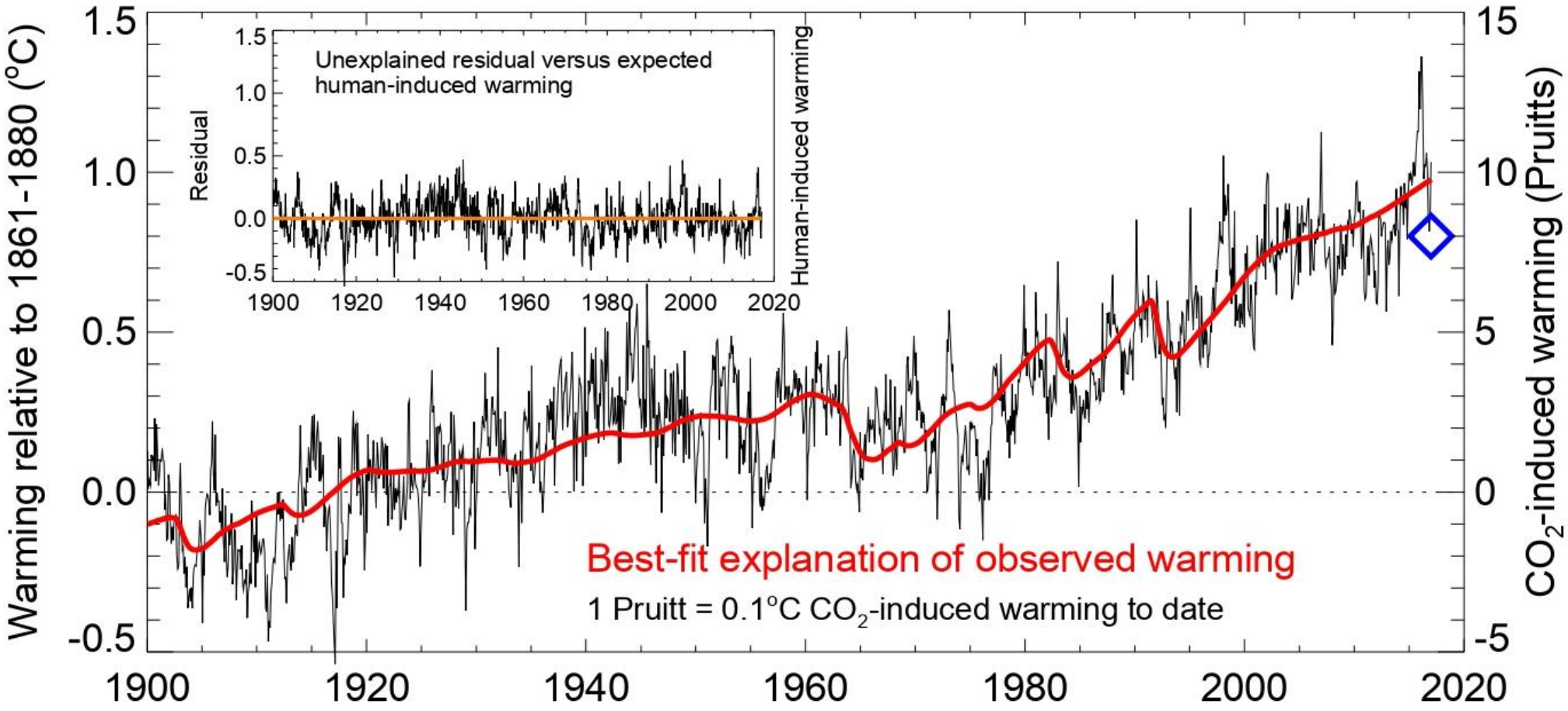
Anthropogene und natürliche Einflussfaktoren



Beste Beschreibung mit maximaler Flexibilität der natürlichen Einflüsse und CO_2-Einfluss = 0 Pruitt



Residuen korrelieren auffallend gut mit erwartetem anthropogenen Einfluss



Methode kleinster Fehlerquadrate: Menschlicher Einfluss auf beobachtete Erwärmung bei 8 Pruitt = 0,8°C