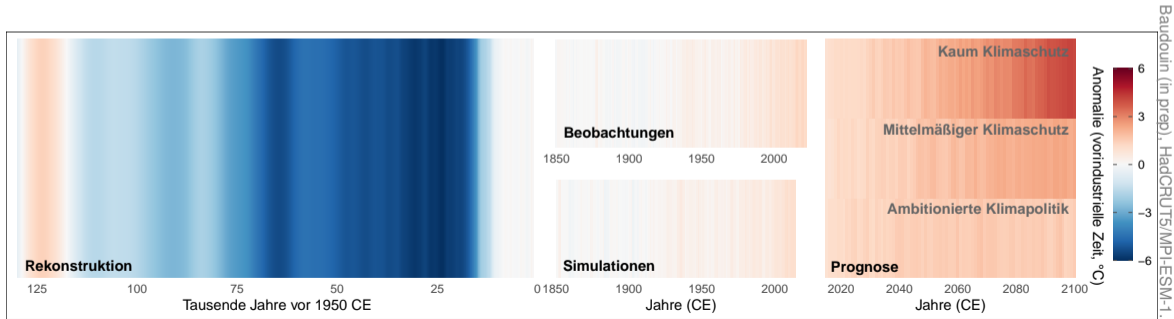


Klimawandel und Klimakrise – wieso, weshalb, warum?

Kira Rehfeld, 2022-10-25



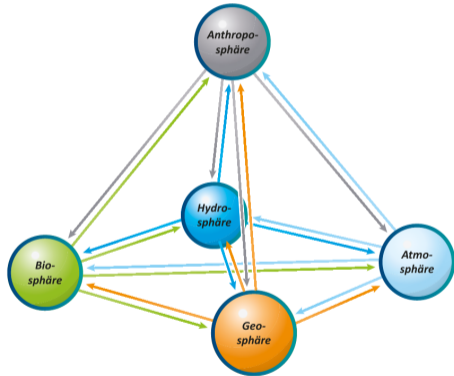
Überblick

- 1 **Klimasystem**
- 2 **Klimadynamik**
- 3 **Klimakrise**

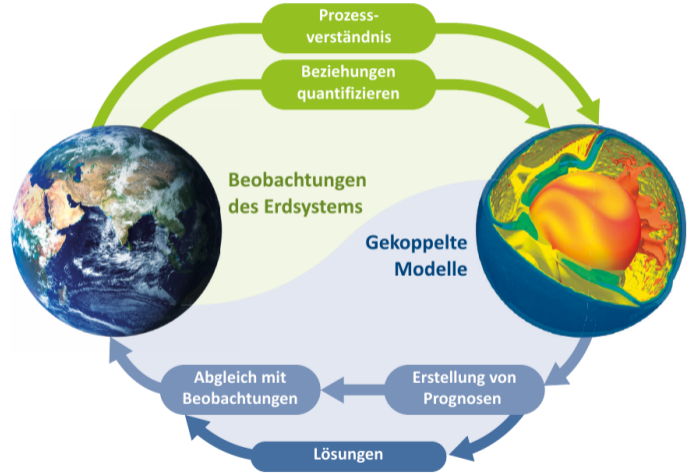
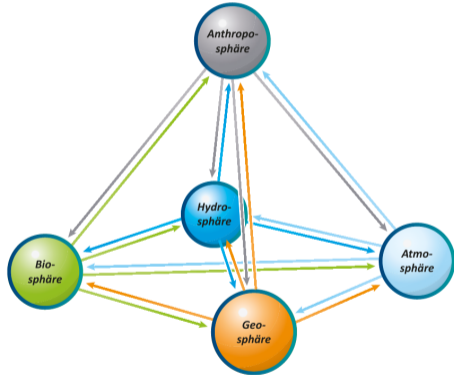
Klimasystem

Komponenten, Komplexität und Computermodule

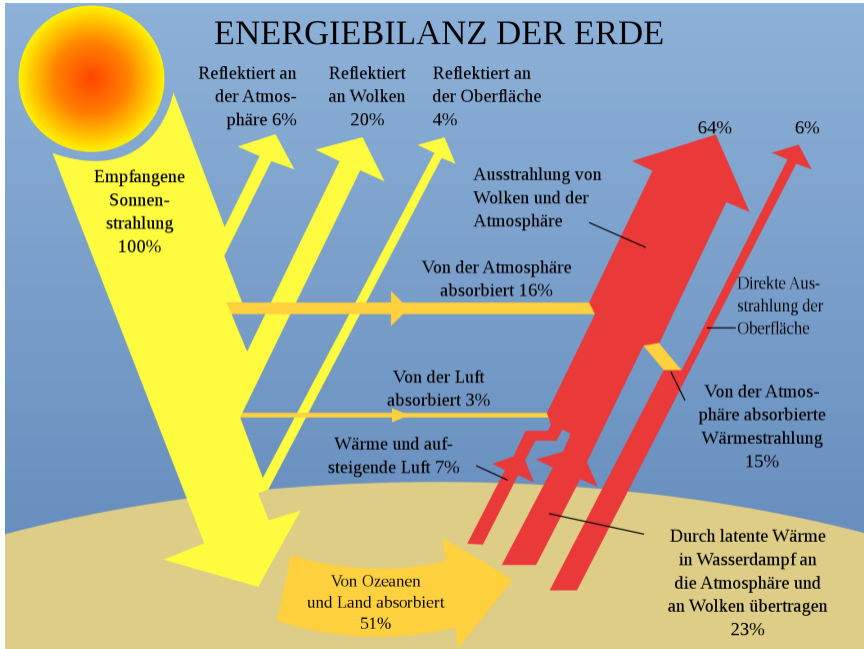
Erdsystem und Erdsystemforschung



Erdsystem und Erdsystemforschung



ENERGIEBILANZ DER ERDE



Absorption von Strahlung in der Atmosphäre

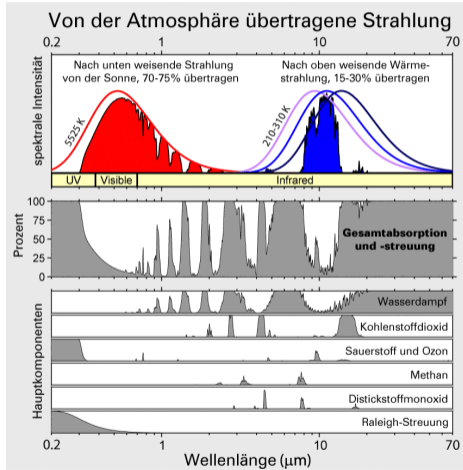


Illustration basierend auf Strahlungs-Absorptionsrechnungen. Bild v. Global Warming Art, CC-BY-SA 3.0; Katzen: Katze 1 Katze 2 (CC-0)

Absorption von Strahlung in der Atmosphäre

Wärmestrahlung an der Oberfläche folgt
Oberflächentemperatur

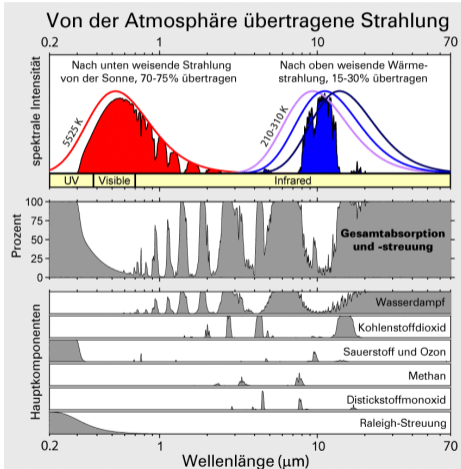
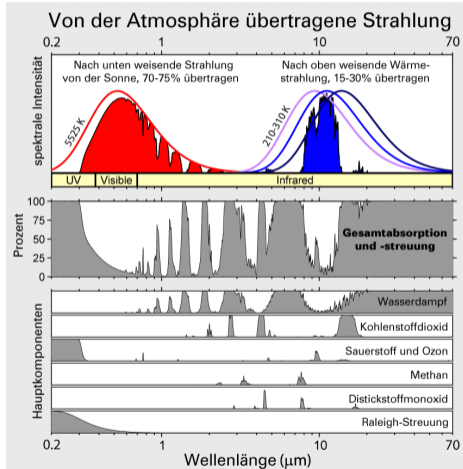


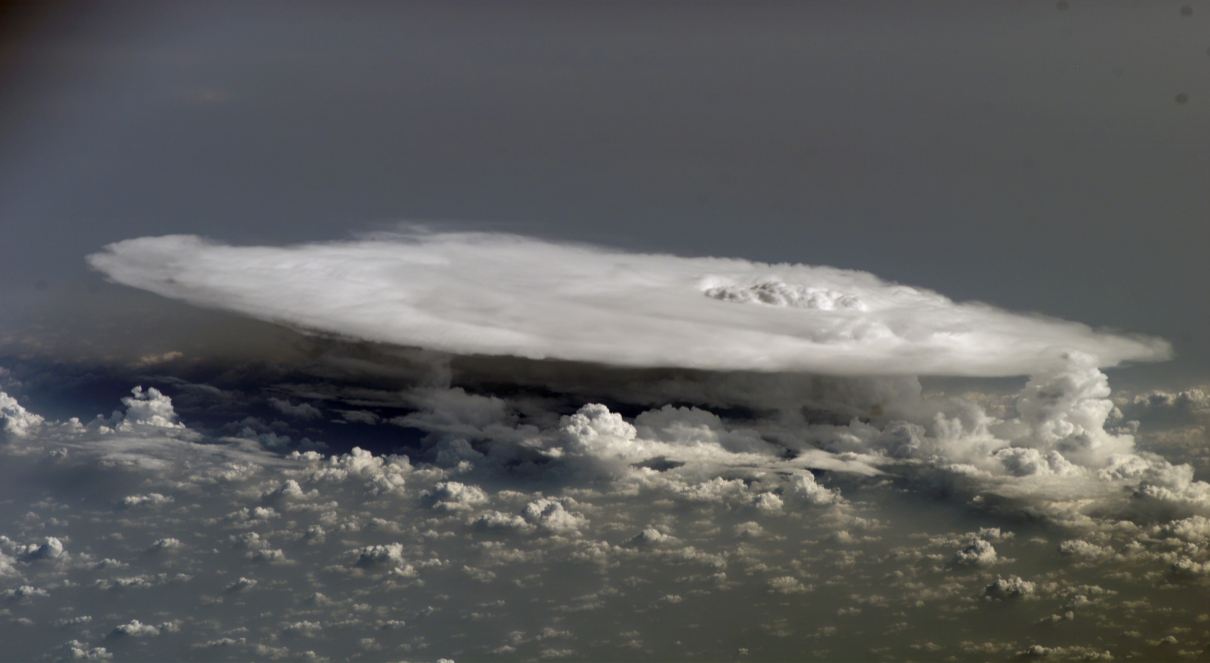
Illustration basierend auf Strahlungs-Absorptionsrechnungen. Bild v. Global Warming Art, CC-BY-SA 3.0; Katzen: Katze 1 Katze 2 (CC-0)

Absorption von Strahlung in der Atmosphäre

Wärmestrahlung an der Oberfläche folgt
Oberflächentemperatur



Zusätzliche Absorption (bspw. +30% CO_2)
als "Decke" \Rightarrow Erwärmung an Oberfläche



ISS016E027426



Cumulonimbus-Wolke über Afrika (2008), Blick von der ISS (ISS, n.d.)

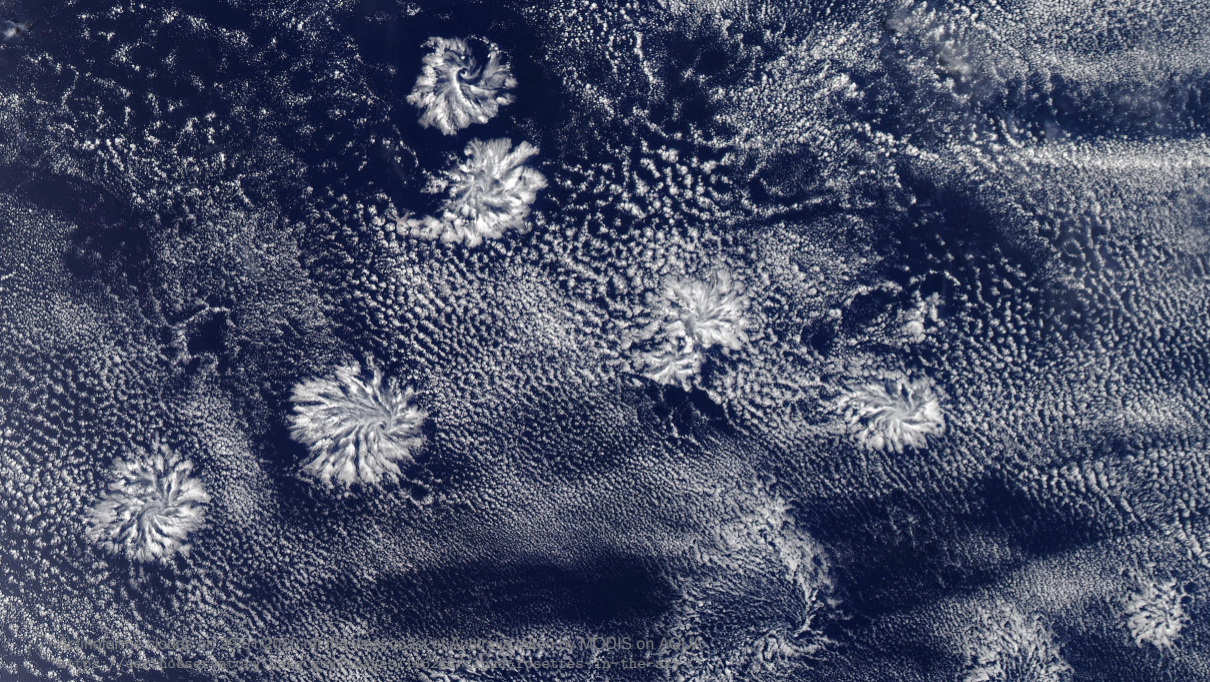


Figure 1. Aerial view of a forest showing several large, circular, light-colored patches, likely representing tree mortality or canopy gaps. The image is a composite of MODIS on-board and ground-based data, showing the spatial distribution of tree mortality in the forest.

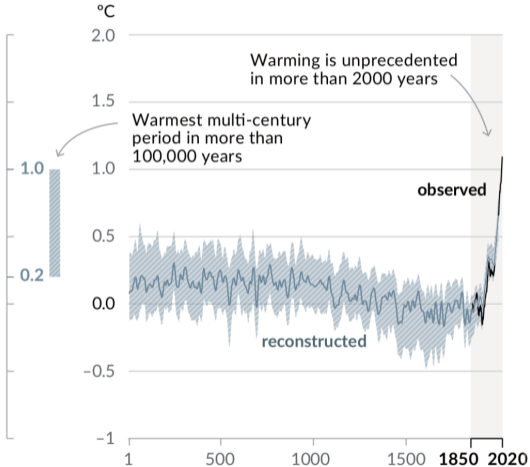
Klimadynamik

Dynamische Wechselwirkungen und Veränderungen im komplexen Erdsystem



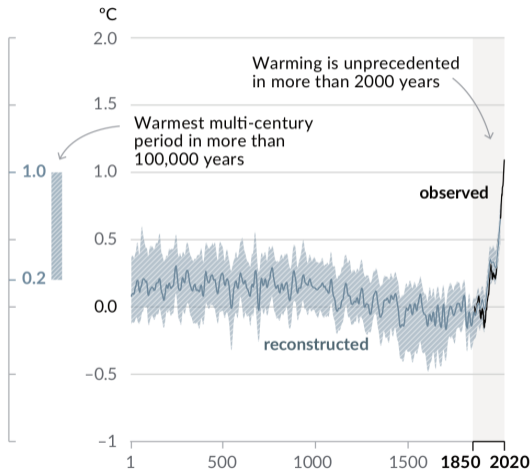
Changes in global surface temperature relative to 1850–1900

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

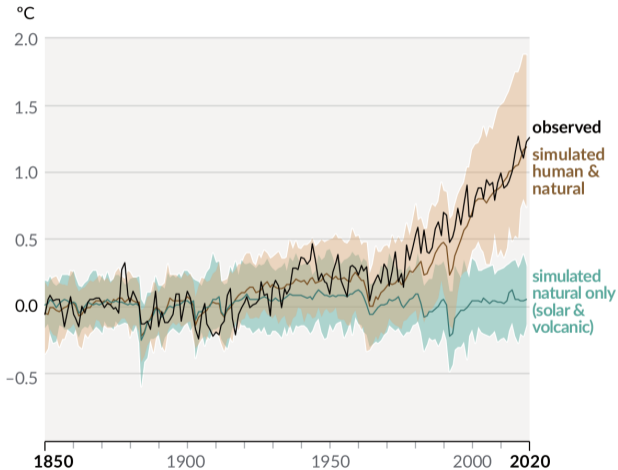


Changes in global surface temperature relative to 1850–1900

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



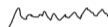
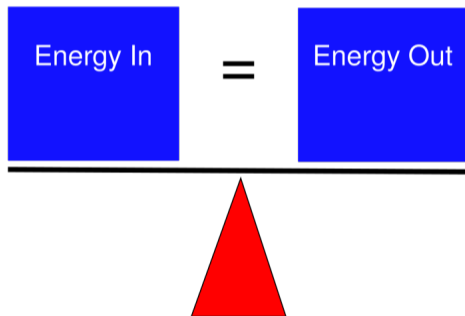
(b) Change in global surface temperature (annual average) as **observed** and simulated using **human & natural** and **only natural** factors (both 1850–2020)



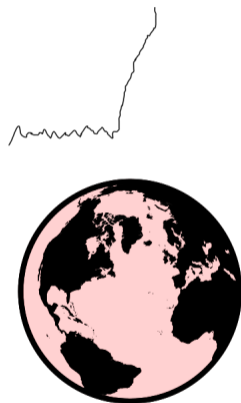
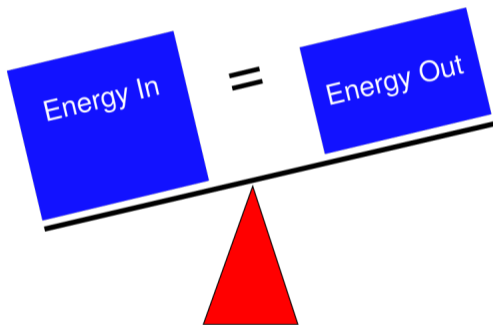
Energieungleichgewicht \Rightarrow Erwärmung



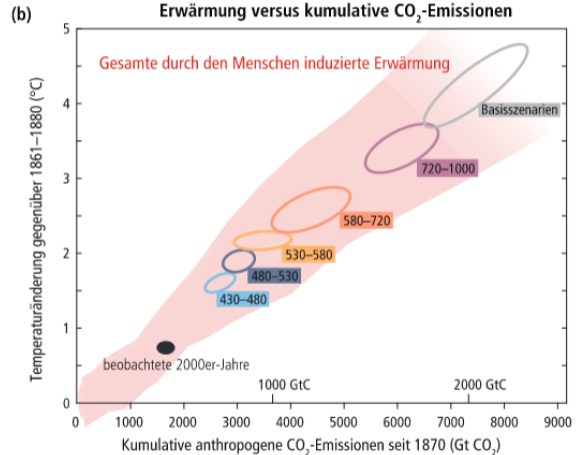
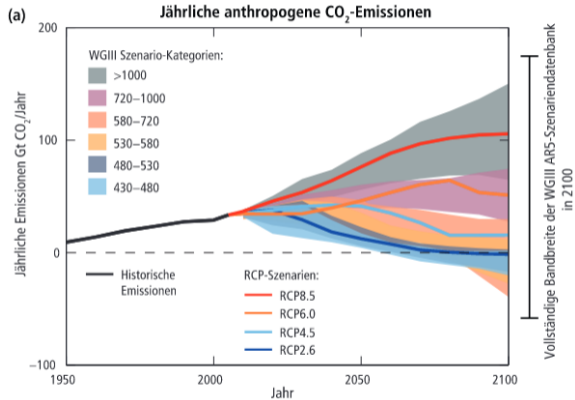
Energieungleichgewicht \Rightarrow Erwärmung



Energieungleichgewicht \Rightarrow Erwärmung



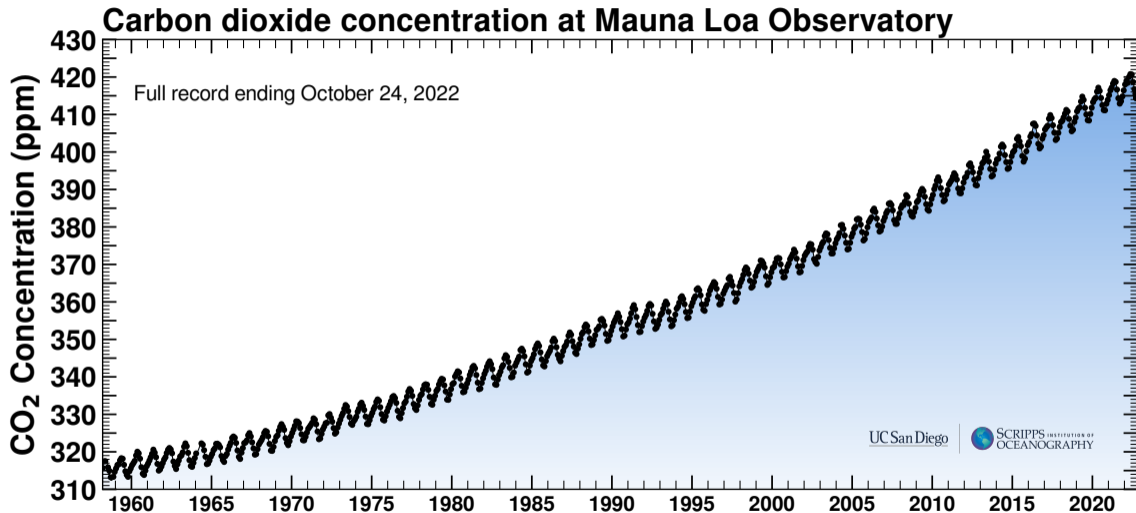
Emissionen und Erwärmung



Klimakrise

*Vom Klimawandel zur Klimakrise: Geschwindigkeit, kritische Situation,
Magnitude, Notstand*

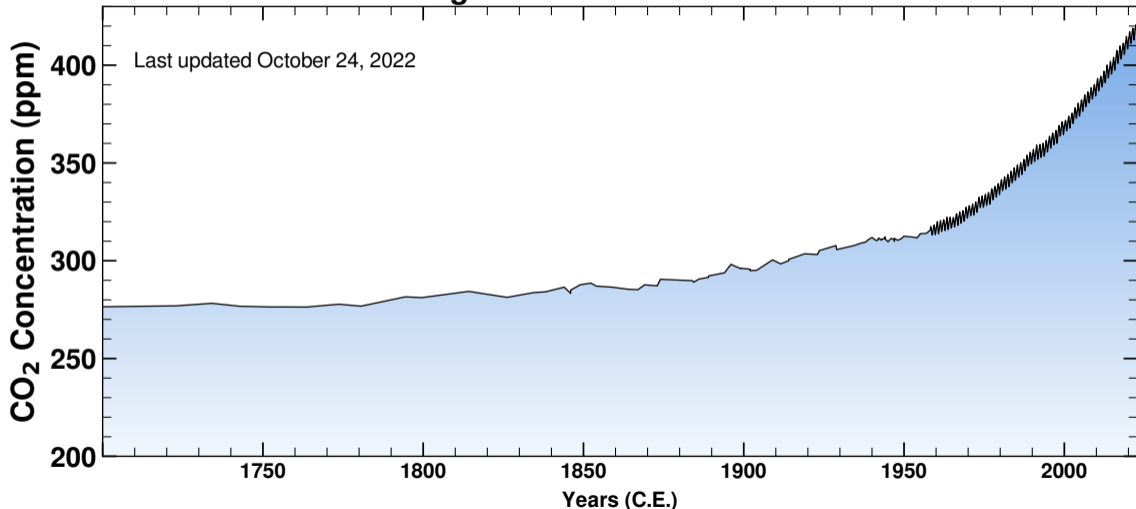
CO₂ in der Atmosphäre



Aktuelle Messungen: <https://keelingcurve.ucsd.edu/>, letzte Messung: https://bluemoon.ucsd.edu/co2_400/mlo_one_week.pdf

CO₂ in der Atmosphäre

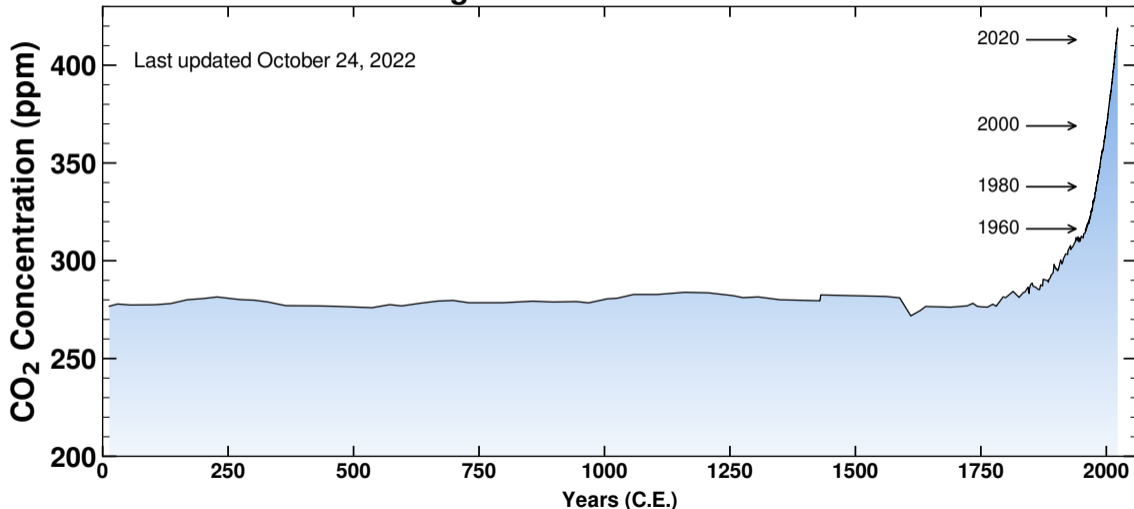
Mauna Loa Data starting in 1958. Ice-core data before 1958.



Aktuelle Messungen: <https://keelingcurve.ucsd.edu/>, letzte Messung: https://bluemoon.ucsd.edu/co2_400/mlo_one_week.pdf

CO₂ in der Atmosphäre

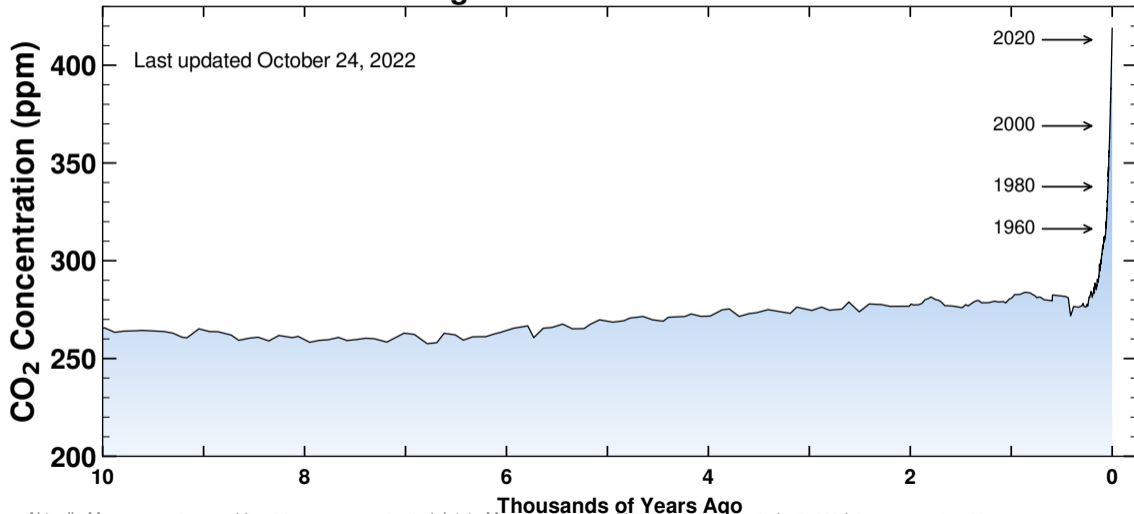
Mauna Loa Data starting in 1958. Ice-core data before 1958.



Aktuelle Messungen: <https://keelingcurve.ucsd.edu/>, letzte Messung: https://bluemoon.ucsd.edu/co2_400/mlo_one_week.pdf

CO₂ in der Atmosphäre

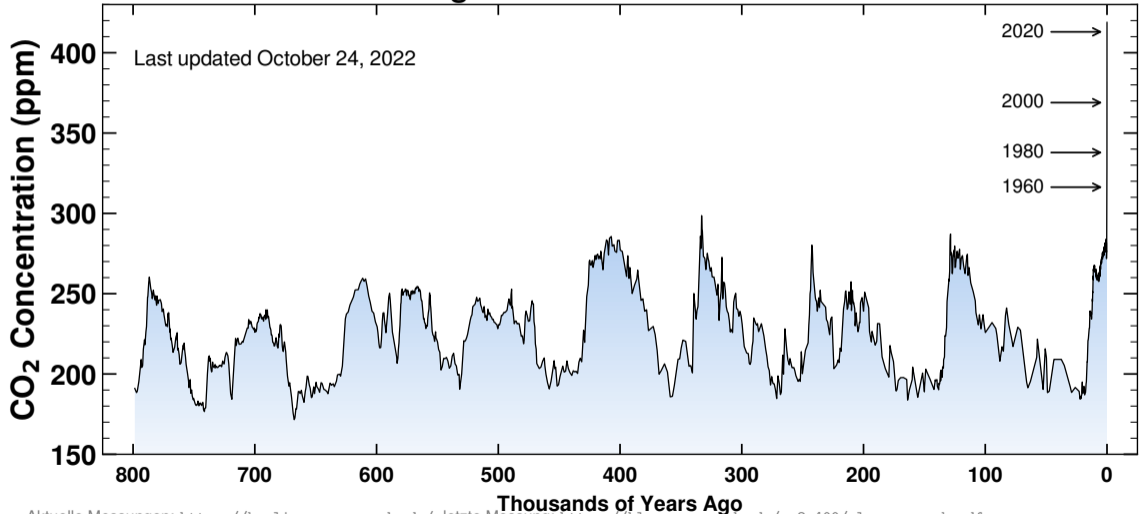
Mauna Loa Data starting in 1958. Ice-core data before 1958.



Aktuelle Messungen: <https://keelingcurve.ucsd.edu/>, letzte Messung: https://bluemoon.ucsd.edu/co2_400/mlo_one_week.pdf

CO₂ in der Atmosphäre

Mauna Loa Data starting in 1958. Ice-core data before 1958.

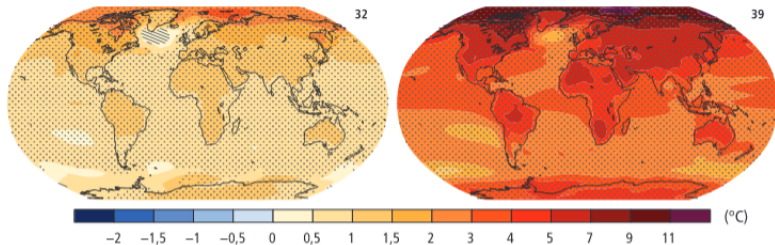


Aktuelle Messungen: <https://keelingcurve.ucsd.edu/>, letzte Messung: https://bluemoon.ucsd.edu/co2_400/mlo_one_week.pdf

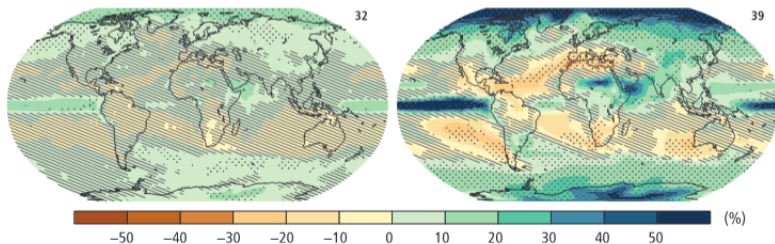
RCP2.6

RCP8.5

(a) Änderung der mittleren Erdoberflächentemperatur (2081–2100 gegenüber 1986–2005)



(b) Änderung des mittleren Niederschlags (2081–2100 gegenüber 1986–2005)



Option A RCP8.5

‘Business-as-usual’ \Rightarrow
 $8.5 \frac{W}{m^2}$ zus.
 Strahlungsantrieb im Jahr
 2100

Option B RCP2.6

Zeitnah Netto-negative
 Emissionen $\Rightarrow 2.6 \frac{W}{m^2}$ zus.
 Strahlungsheizung im Jahr
 2100

Änderung der Oberflächentemperatur T_s :

$$\Delta T_s \approx \lambda \Delta F,$$

mit λ Klimasensitivität in $[KW^{-1} m^2]$;

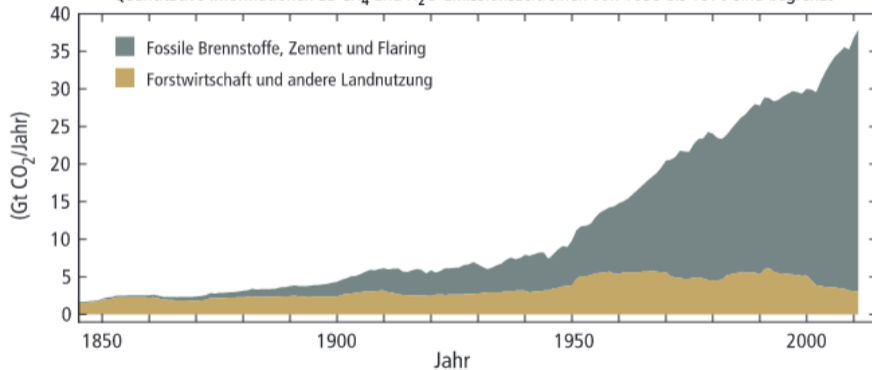
$$\Delta F = 5.35 \frac{W}{m^2} \cdot \ln \frac{C}{C_0};$$

$C_{(0)}$ CO₂-Konzentration in ppm

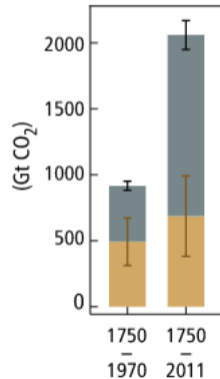
Woher kommen die anthropogenen Emissionen?

Globale anthropogene CO₂-Emissionen

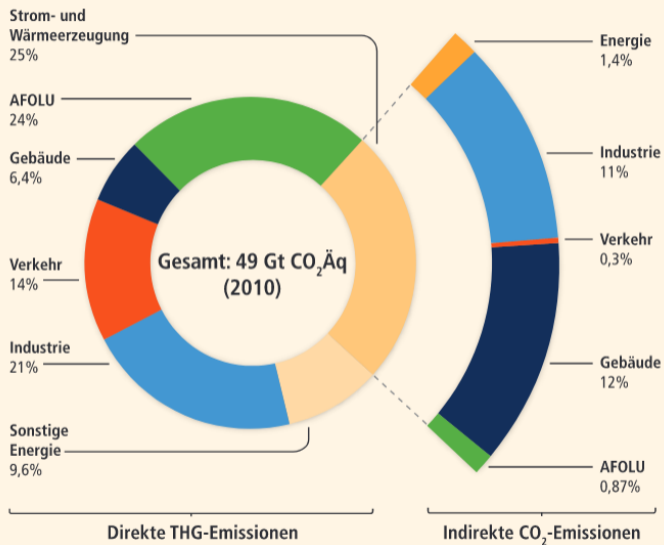
Quantitative Informationen zu CH₄ und N₂O-Emissionszeitreihen von 1850 bis 1970 sind begrenzt



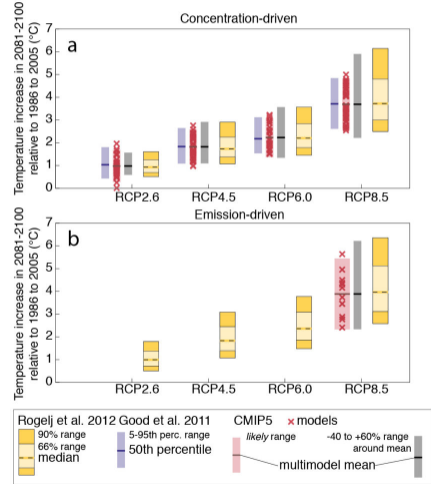
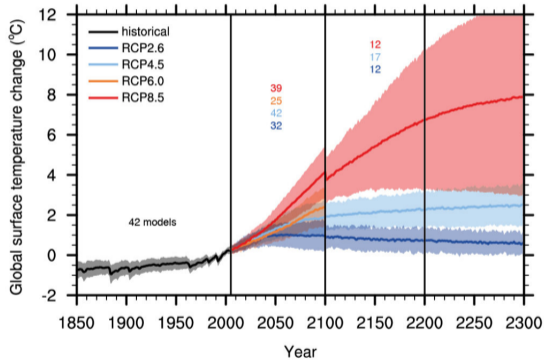
Kumulative CO₂-Emissionen

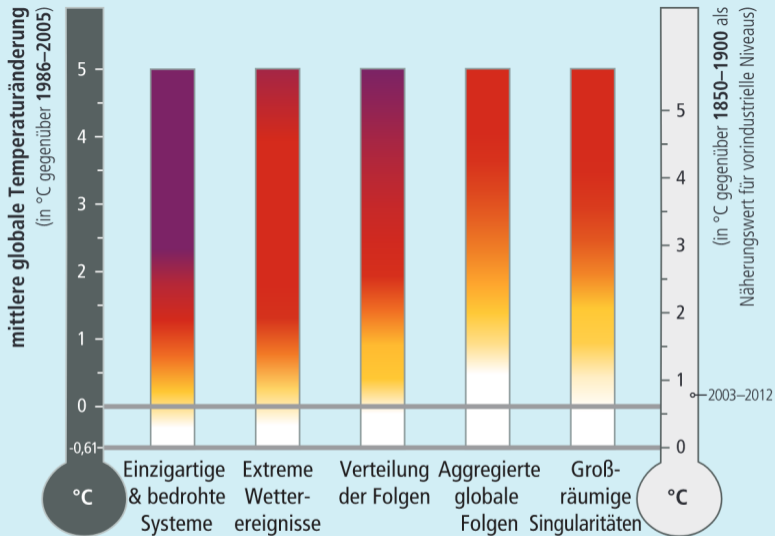


Treibhausgasemissionen nach Wirtschaftssektoren



Pfad-abhängige Projektionen für die Zukunft





Grad des zusätzlichen Risikos aufgrund des Klimawandels

Nicht nachweisbar

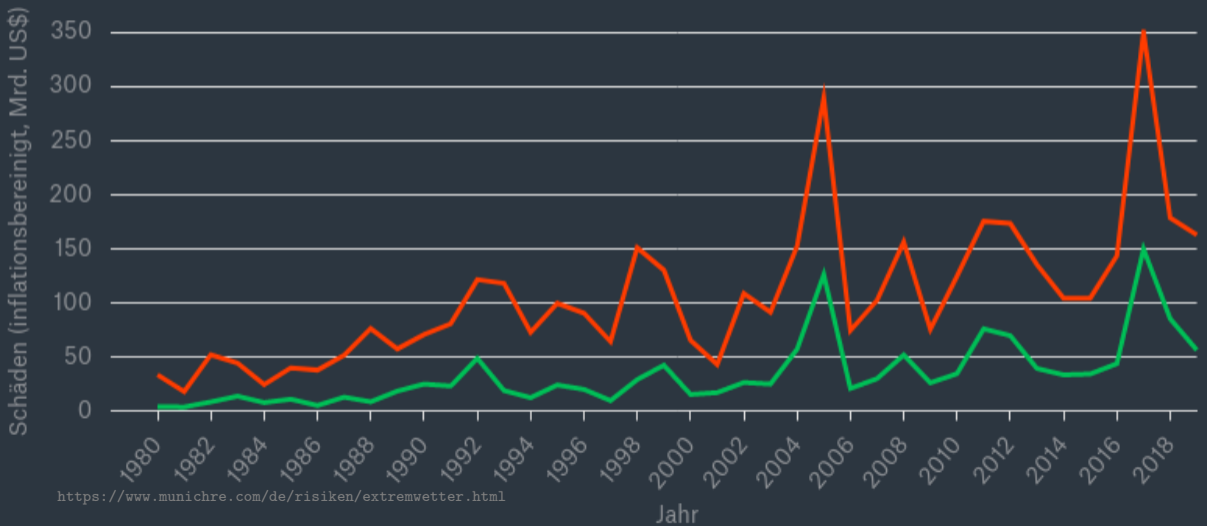
Moderat

Hoch

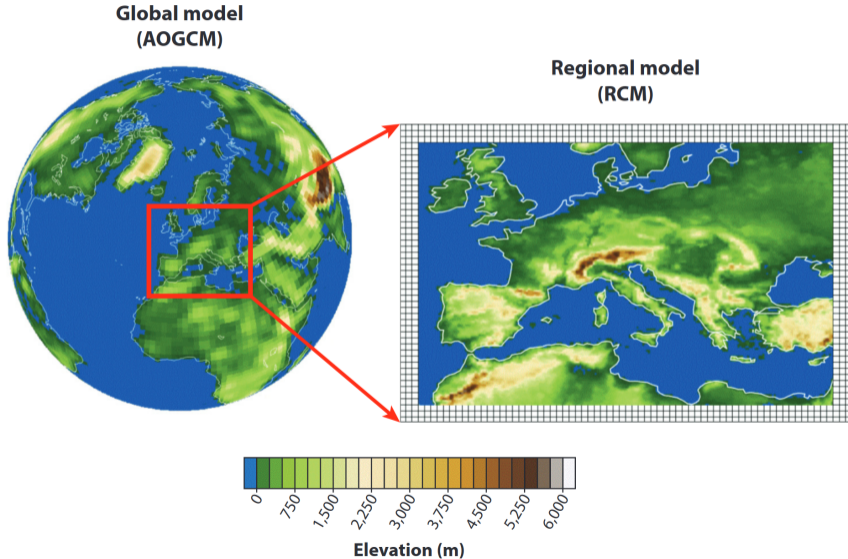
Sehr hoch

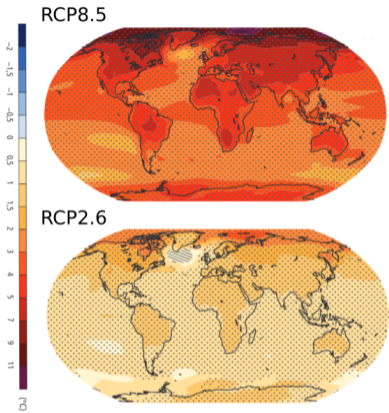
Schäden durch wetterbedingte Naturkatastrophen weltweit 1980-2019

Gesamtschäden Versicherte Schäden



Klimamodelle: Von Globalen zu Regionalen Skalen

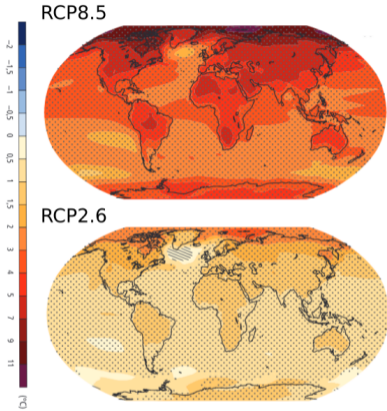




MAT, 2081-2100 rel. to 1986-2005

RCP8.5 (oben) vs.

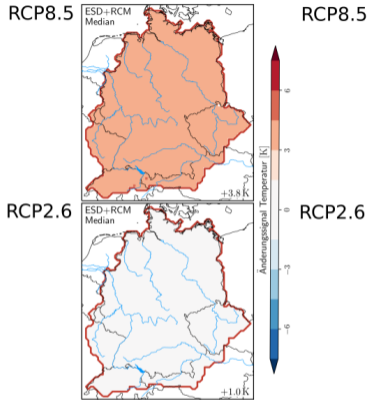
RCP2.5 (unten), IPCC AR5-SYR



MAT, 2081-2100 rel. to 1986-2005

RCP8.5 (oben) vs.

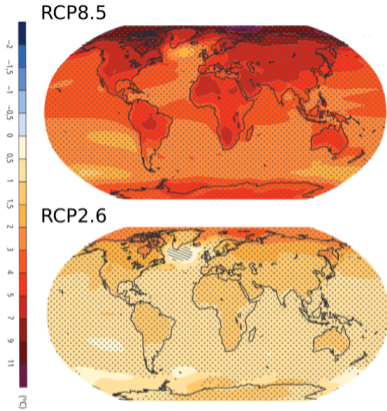
RCP2.5 (unten), IPCC AR5-SYR



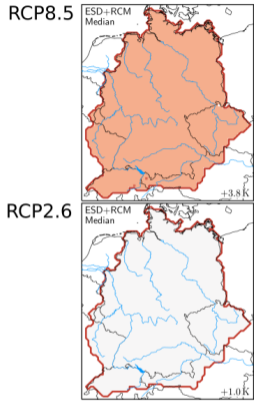
MAT, 2100 rel. to 1971-2000

RCP8.5 (oben) vs.

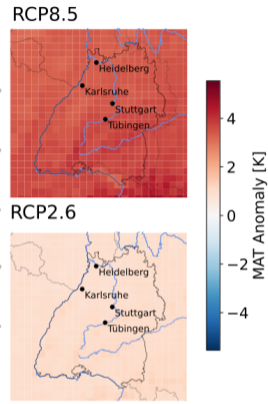
RCP2.5 (unten), Reklies-DE



MAT, 2081-2100 rel. to 1986-2005
 RCP8.5 (oben) vs.
 RCP2.5 (unten), IPCC AR5-SYR



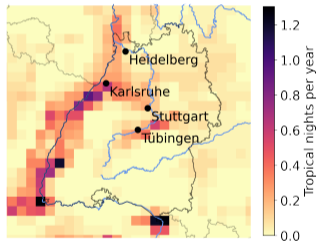
MAT, 2100 rel. to 1971-2000
 RCP8.5 (oben) vs.
 RCP2.5 (unten), Reklies-DE



MAT, 2071-2100
 rel. to 1971-2000
 RCP8.5 (Reklies-DE/SPACY)

Tropische Nächte im Projektionsvergleich

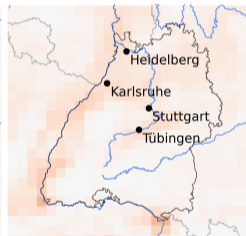
1970-2005



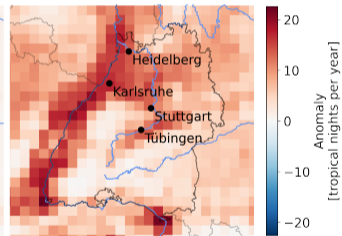
2071-2100 RCP2.6



RCP4.5



RCP8.5



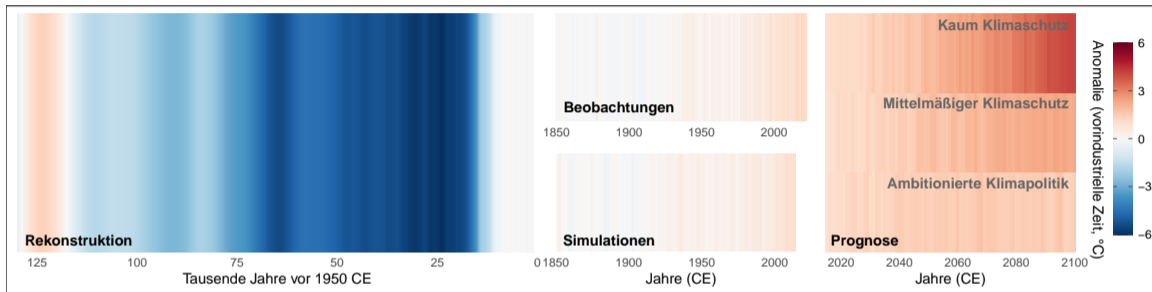
$T_{\min} > 20^{\circ} \text{C}$. Daten: Reklies-DE; Abbildung: SPACY (A. Samanta/ M. Adam), Modell MPI-ESM-LR mit smhi-rca4



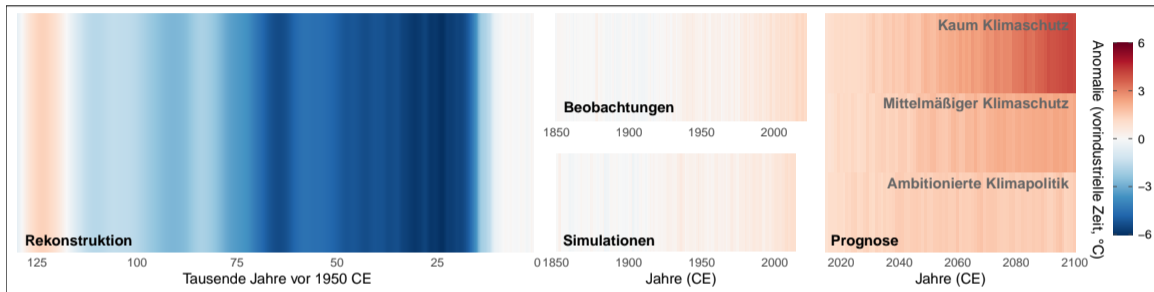
Ronne-Eisschelf in der West-Antarktis 2017/2018. Eine stabile Eiskante ermöglichte Be-/Entladung und Beprobung. Die letzte Fahrt der Ernest Shackleton.



Forschung: Prozesse verstehen, Projektionen verbessern



Forschung: Prozesse verstehen, Projektionen verbessern



Vergangenheit

Rekonstruktion
Natürliche Klimavariabilität
Erdsystemsensitivität/
Kippunkte

Beobachtungszeit

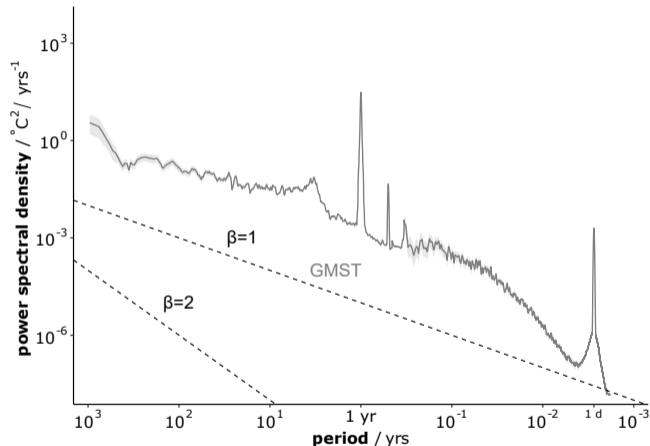
Veränderung
Extremereignisse
Natürliche vs.
anthropogene Einflüsse

Zukunft

Kopplung Anthroposphäre
Klimavariabilität/Extreme
Erdsystemsensitivität/
Kippunkte

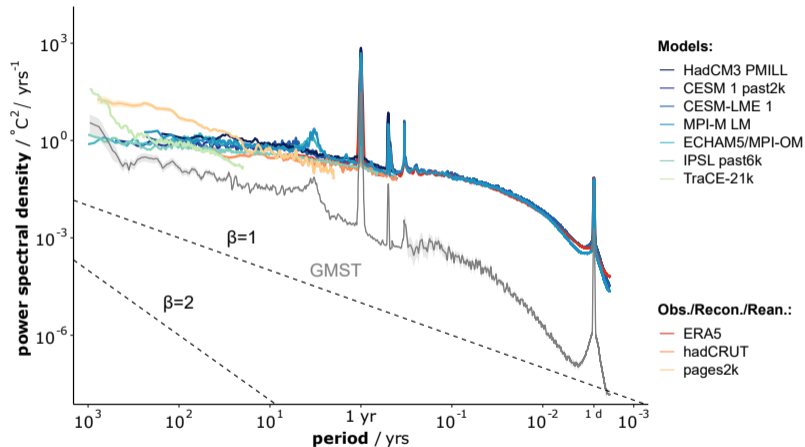
Daten und Modelle: Temperaturvariabilität der letzten 2000a


Modellierte regionale Klimavariabilität im Rahmen der Messungen/Rekonstruktionen bis zu multidekadischer Zeitskala.



Daten und Modelle: Temperaturvariabilität der letzten 2000a

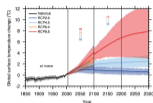
Modellierte regionale Klimavariabilität im Rahmen der Messungen/Rekonstruktionen bis zu multidekadischer Zeitskala.



A vibrant blue sky filled with scattered white clouds. In the foreground, there is a field of green corn plants with their tassels visible. The overall scene is bright and clear, suggesting a sunny day.

Ein angenehmes Klima in der Zukunft ist möglich, mit lokaler & globaler Zusammenarbeit!

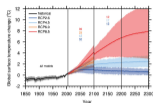
Klimawandel und Klimakrise – Zusammenfassung & Ausblick



Ohne anthropogene Emissionen strahlungswirksamer Gase lässt sich der gemessene Temperaturanstieg der letzten 150 Jahre nicht erklären.

★ Weitere Emissionen führen zu starker Erwärmung.

Klimawandel und Klimakrise – Zusammenfassung & Ausblick

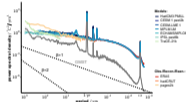


Ohne anthropogene Emissionen strahlungswirksamer Gase lässt sich der gemessene Temperaturanstieg der letzten 150 Jahre nicht erklären.

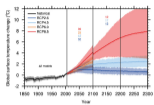
★ Weitere Emissionen führen zu starker Erwärmung.

Mit Klimaarchiven lassen sich Klimaänderungen rekonstruieren, die mit Simulationen abgeglichen werden können

★ Modelle geben auf Zeitskalen von Jahren bis Dekaden Variabilität realistisch wieder



Klimawandel und Klimakrise – Zusammenfassung & Ausblick

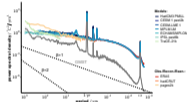


Ohne anthropogene Emissionen strahlungswirksamer Gase lässt sich der gemessene Temperaturanstieg der letzten 150 Jahre nicht erklären.

★ Weitere Emissionen führen zu starker Erwärmung.

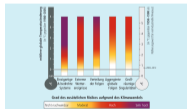
Mit Klimaarchiven lassen sich Klimaänderungen rekonstruieren, die mit Simulationen abgeglichen werden können

★ Modelle geben auf Zeitskalen von Jahren bis Dekaden Variabilität realistisch wieder



Risiken skalieren – lokal, regional und global

★ Emissionsreduktion, Anpassung und Forschung



Danke für die
Aufmerksamkeit!

Referenzen I

- Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina (2022). *Erdsystemwissenschaft: Forschung für eine Erde im Wandel*. Tech. rep. Halle (Saale): Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. - Nationale Akademie der Wissenschaften. DOI: [10.26164/leopoldina_03_00590](https://doi.org/10.26164/leopoldina_03_00590).
- Ellerhoff, B. and K. Rehfeld (2021). "Probing the timescale dependency of local and global variations in surface air temperature from climate simulations and reconstructions of the last millennia". In: *Phys. Rev. E* 104.6. DOI: [10.1103/PhysRevE.104.064136](https://doi.org/10.1103/PhysRevE.104.064136). URL: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.104.064136>.
- Giorgi, F. and W. J. Gutowski (2015). "Regional Dynamical Downscaling and the CORDEX Initiative". In: *Annu. Rev. Environ. Resour.* 40. DOI: [10.1146/annurev-environ-102014-021217](https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021217).
- IPCC (2016). *Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)*. Ed. by Hauptautoren, R. K. Pachauri, and L. Meyer. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn. URL: https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/deutsch/IPCC-AR5%7B%5C_%7DSYR%7B%5C_%7Dbbarrierefrei.pdf.
- (2021). *Summary for Policymakers*. Ed. by V. Masson-Delmotte et al. URL: www.ipcc.ch.
- IPCC-AR5 (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ed. by T. Stocker et al. Cambridge University Press. URL: <https://www.ipcc.ch/>.
- ISS (n.d.). *ISS016-E-27426.cumulonimbus*. URL: <https://eol.jsc.nasa.gov/SearchPhotos/photo.pl?mission=ISS016%7B%5C%7Droll=E%7B%5C%7Dframe=27426>.
- Pages2k-Consortium (2019). "Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era". In: *Nat. Geosci.* 12.8. DOI: [10.1038/s41561-019-0400-0](https://doi.org/10.1038/s41561-019-0400-0). URL: <http://www.nature.com/articles/s41561-019-0400-0>.

Referenzen II

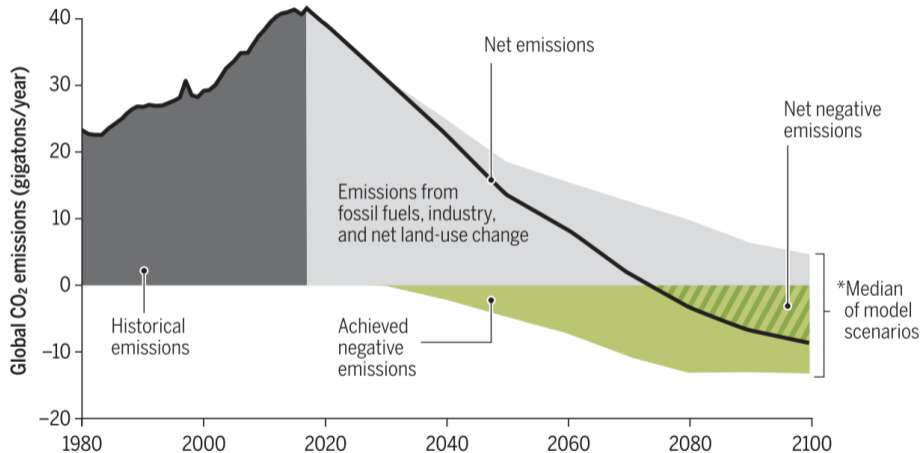
Rehfeld, K. et al. (2020). "Variability of surface climate in simulations of past and future". In: *Earth Syst. Dyn.* 11.2. DOI: 10.5194/esd-11-447-2020. URL: <https://esd.copernicus.org/articles/11/447/2020/>.

Rosen, J. (2018). "The carbon harvest". In: *Science (80-.)*. 359.6377. DOI: 10.1126/SCIENCE.359.6377.733. URL: http://science.sciencemag.org/content/359/6377/733?utm%7B%5C_%7Dcampaign=toc%7B%5C_%7Dsci-mag%7B%5C_%7D2018-02-15%7B%5C%7Det%7B%5C_%7Drid=35368906%7B%5C%7Det%7B%5C_%7Dcid=1852983.

Nützliche Ressourcen

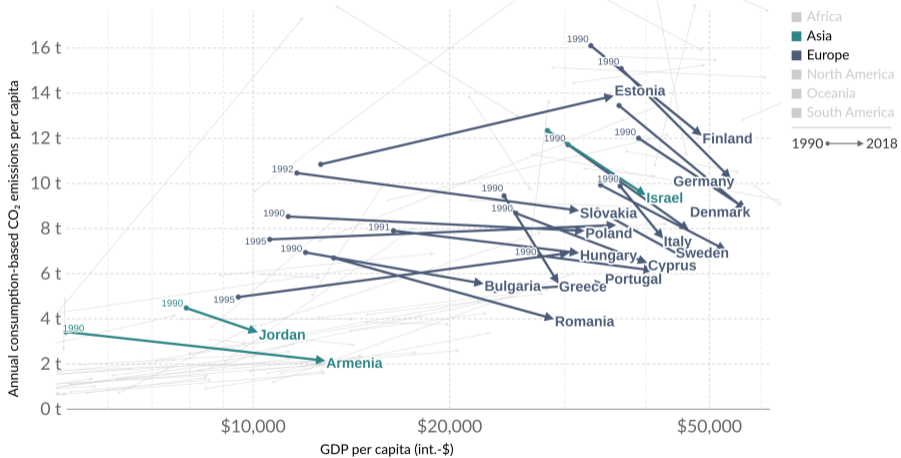
- <https://pd.lubw.de/10200>, <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/klimawandel-und-anpassung/klimawandel>
- <https://en-roads.climateinteractive.org/scenario.html?v=22.10.0&lang=de>
Simulationstool
- <https://www.ipcc.ch/>
- <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>
- https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html
- <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/tatenbank>
- <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/515/dokumente/4298.pdf> Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen (2012)

Entwicklungspfade kompatibel mit Paris-Agreement



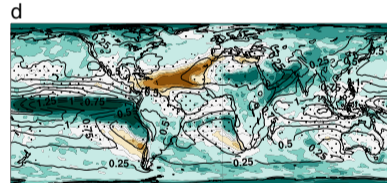
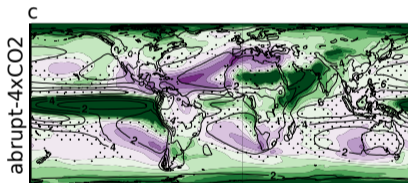
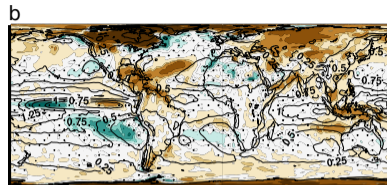
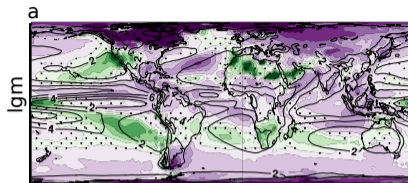
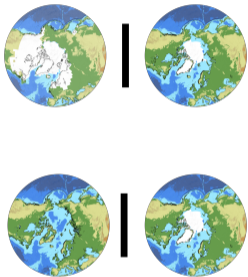
Consumption-based CO₂ emissions per capita vs GDP per capita

- Consumption-based emissions are domestic emissions adjusted for trade. If a country imports goods the CO₂ emissions needed to produce such goods are added to its domestic emissions; if it exports goods then this is subtracted.
- GDP per capita is adjusted for price differences between countries (PPP) and over time (inflation).



Source: Our World in Data based on the Global Carbon Project, Data compiled from multiple sources by World Bank

Zustandsabhängigkeit der Niederschlagsvariabilität



-50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50
Precipitation Anomaly (%)

12 23 34 45 910 11 109 54 43 23 21
Precipitation Variance Ratio

Mittelwertsänderung

Niederschlag \Leftrightarrow Zirkulation
Mediterrane Regionen folgen
nicht globalen Trends

Varianzänderung

Variabilität folgt
Mittelwertsänderung