

Kurs Waldpädagogik

Klimawandel – Grundlagen und Anpassung



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Heidelberger_Sachsenspiegel_26v_-_Dorfgruendung.jpg

Themen

- 🌿 Klimawandel: ein globaler Prozess
- 🌿 regionale und lokale Effekte
- 🌿 Wirkungen auf Waldökosysteme



www.independent.co.uk

Literatur

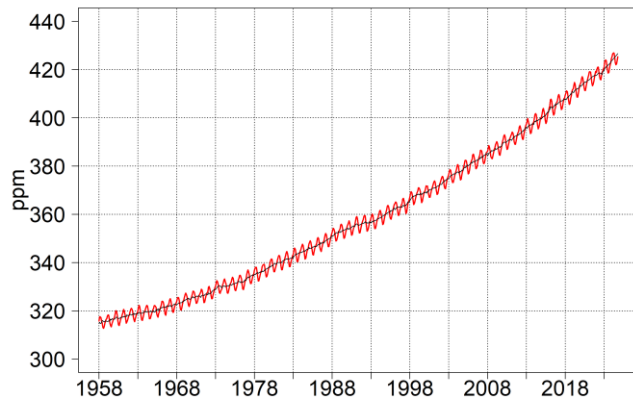
- Allen, C.D.; Breshears, D.D.; McDowell, N. 2015: On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere* 6 (8): Article 129
- IPCC 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- IPCC 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Jacob, D. et al. 2014: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Change* 14: 563–578
- Körner, C.; Asshoff, R.; Bignucolo, O. et al. 2005: Carbon Flux and Growth in Mature Deciduous Forest Trees Exposed to Elevated CO₂. *Science* 309:1360-1362
- Lamb, W.; Mattioli, G.; Levi, S. et al. 2020. Discourses of climate delay. *Global Sustainability* 3: E17. doi:10.1017/sus.2020.13

Literatur

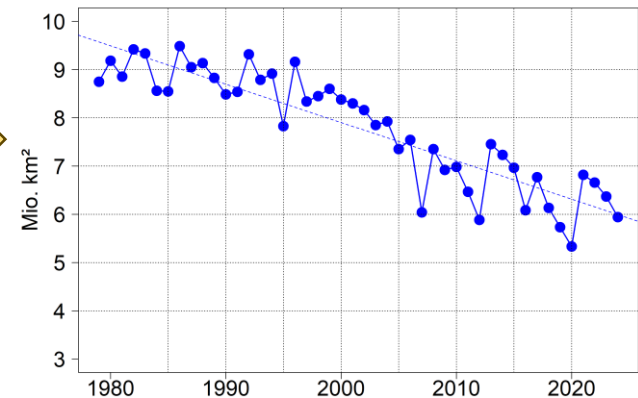
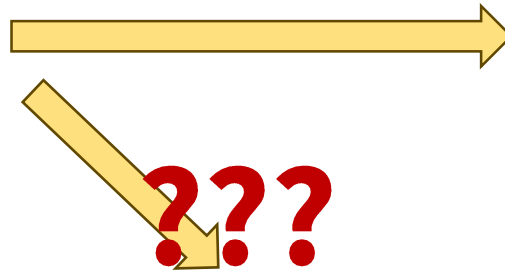
- McDowell, N.; Pockman, W. T.; Allen, C. D. et al. 2008: Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist* 178: 719–739
- Neukom, R.; Steiger, N.; Gómez-Navarro, J.J. et al. 2019a: No evidence for globally coherent warm and cold periods over the preindustrial Common Era. *Nature* 571: 550-572, doi.org/10.1038/s41586-019-1401-2
- Neukom, R. et al. 2019b: Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era. *Nature Geoscience* (online): doi.org/10.1038/s41561-019-0400-0
- PAGES 2k Consortium 2013: Continental-scale temperature variability during the past two millennia. (html) *Nature Geoscience* 6 (5): 339-346. doi:10.1038/ngeo1797
- Pretzsch, H. et al. 2014: Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nature Communications*, DOI: 10.1038/ncomms5967
- Pretzsch, H. et al. 2018: Wood density reduced while wood volume growth accelerated in Central European forests since 1870. *Forest Ecology and Management* 429: 589-616, DOI: doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.045
- Riahi, K.; van Vuuren, D.P.; Kriegler, E. et al. 2017: The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*. 42: 153–168. doi:10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009
- Stott, P.A. et al. 2016: Attribution of extreme weather and climate-related events. *WIREs Clim Change* 7: 23– 41. doi: 10.1002/wcc.380

Einführung

Was geschieht? Was sind die Gründe? Was sind die Konsequenzen?



CO₂-Konzentration in der
Atmosphäre, Mauna Loa,
Hawaii (ppm)



Eisfläche in der Arktis
im Oktober seit 1979
(Mio km²)



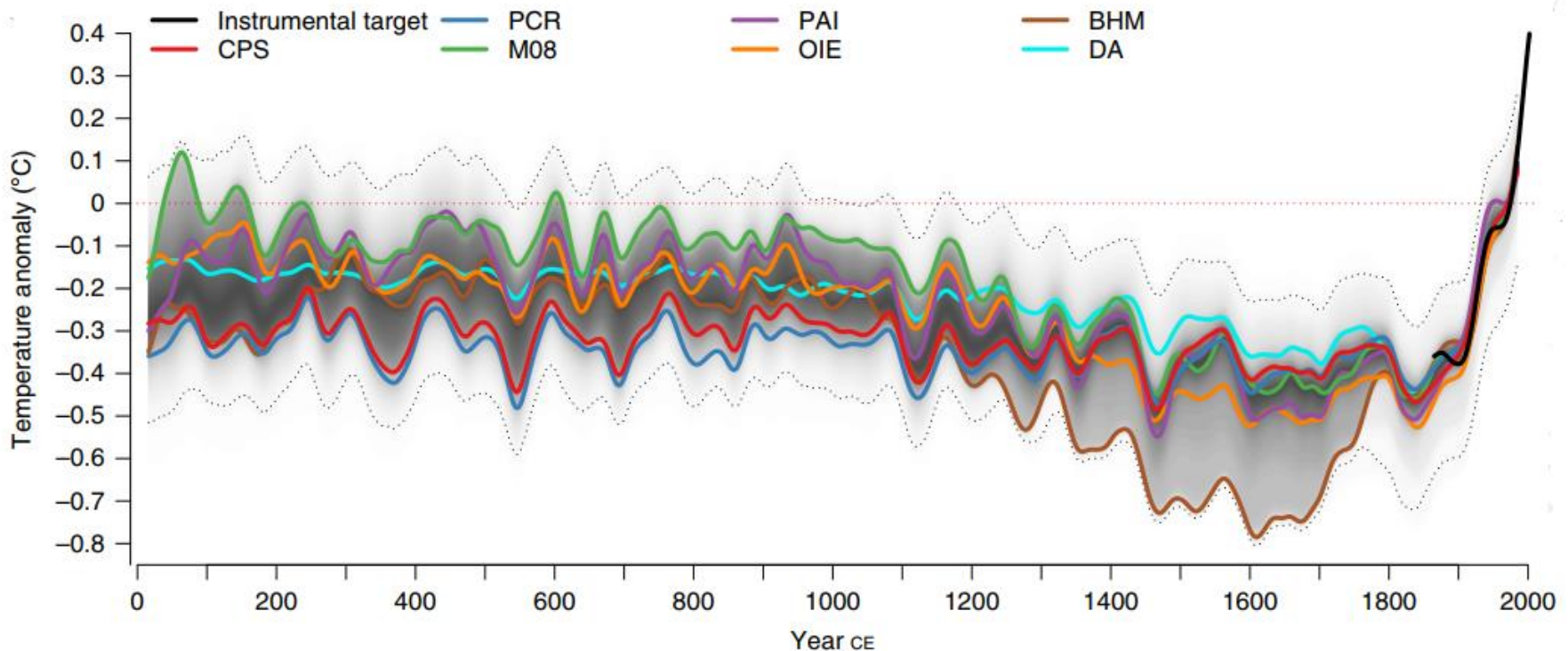
Daten CO₂: https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/co2/recent_mauna_loa_co2.html; Arctic ice: https://nsidc.org/data/seaice_index/

Einführung: die globale Perspektive

Temperaturabweichung von Referenzperiode 1961-1990

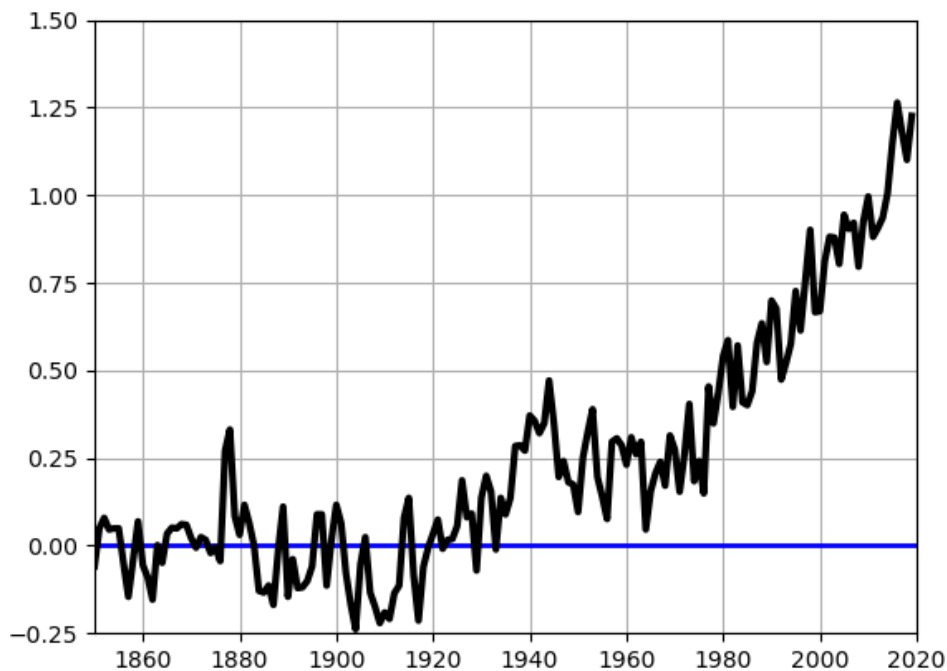
(**Rekonstruktionen** aus Eisproben, Korallen, Jahrringen; globales Mittel)

Farben: verschiedene Rekonstruktions-Studien
Schwarz: Messwerte
Hellgrau: Konfidenzintervall (95%)



Einführung: die globale Perspektive

Erderwärmung als Fakt: Temperaturabweichung

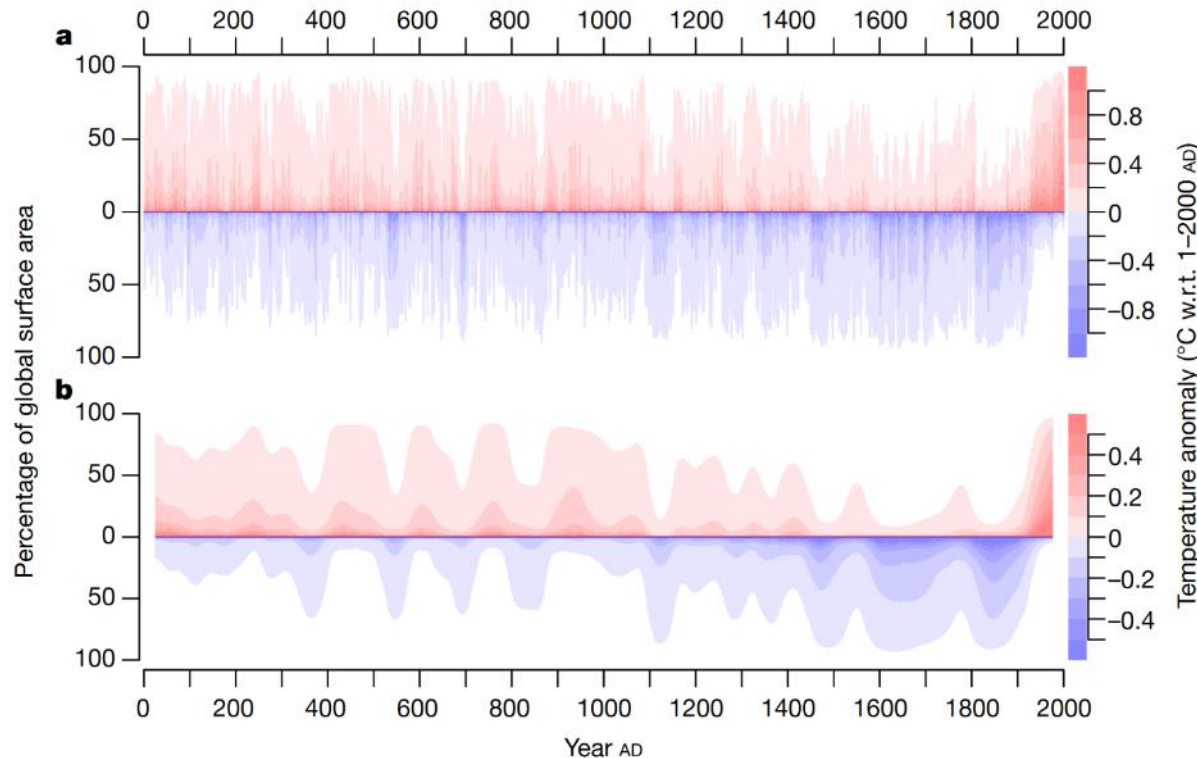


By LukeSurl - Own work, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=108297712>

Rekonstruktion der globalen
Jahres-Mitteltemperaturen
und Abweichung zum Mittel
1850-1900 [K]

1. Ausmaß und Anstieg der Erderwärmung sind signifikant höher als alles, was durch Rekonstruktionen sichtbar gemacht werden kann

Einführung: die globale Perspektive



- a. Jahreswerte
- b. 51-j. gleitendes Mittel

Temp.abweichung
für $5^\circ \times 5^\circ$ Gitter-
zellen ($n = 5.184$)

2. Globale Einheitlichkeit der positiven Abweichung vom Mittel der vergangenen 2000 Jahre ist so groß wie nie zuvor

Einführung: die globale Perspektive

- 🌿 UN Intergovernmental Panel on Climate Change (**IPCC**) → Beobachtungen, Modelle, Szenariostudien, Empfehlungen

"Assessment Reports" alle 5-8 Jahre (aktuell: Nr. 6, 2021-22)

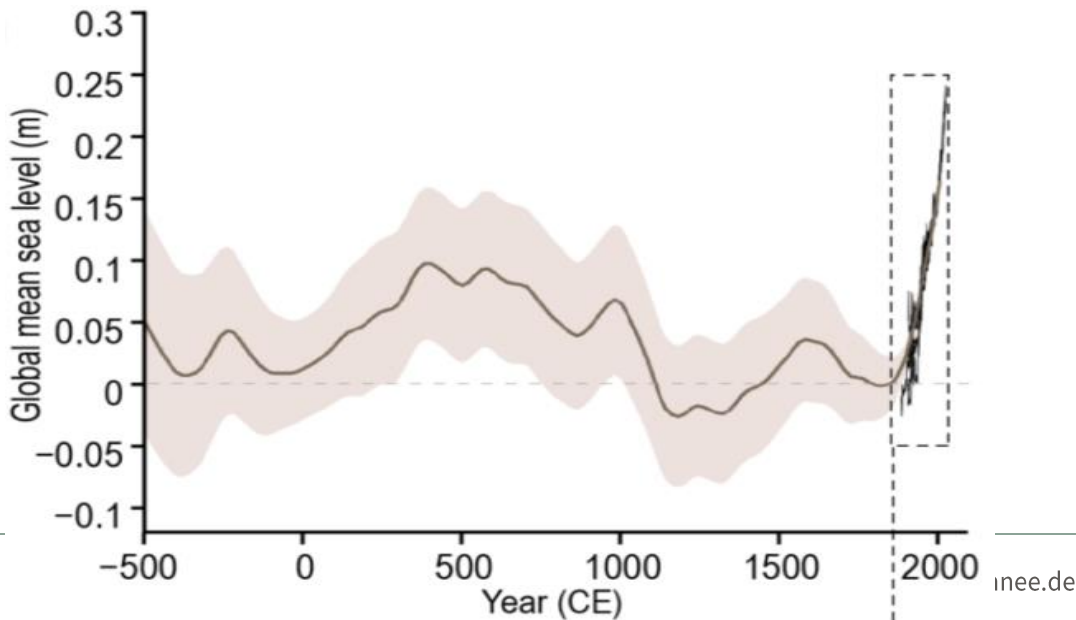
- 🌿 ausführliche Berichte und Kurzfassungen "for policy makers"
- 🌿 Inhalte: beobachteter Klimawandel und seine Folgen, Ursachen, Szenarien/Hochrechnungen, Anpassungs- und Begrenzungsoptionen



Einführung: die globale Perspektive

Messbare, verifizierbare Erscheinungen:

- 🌿 Erwärmung der Atmosphäre und der Ozeane
- 🌿 Abnahme von Eis und Schnee in Fläche und Menge
- 🌿 steigender Meeresspiegel
- 🌿 wachsende Konzentrationen klimatisch wirksamer Gase

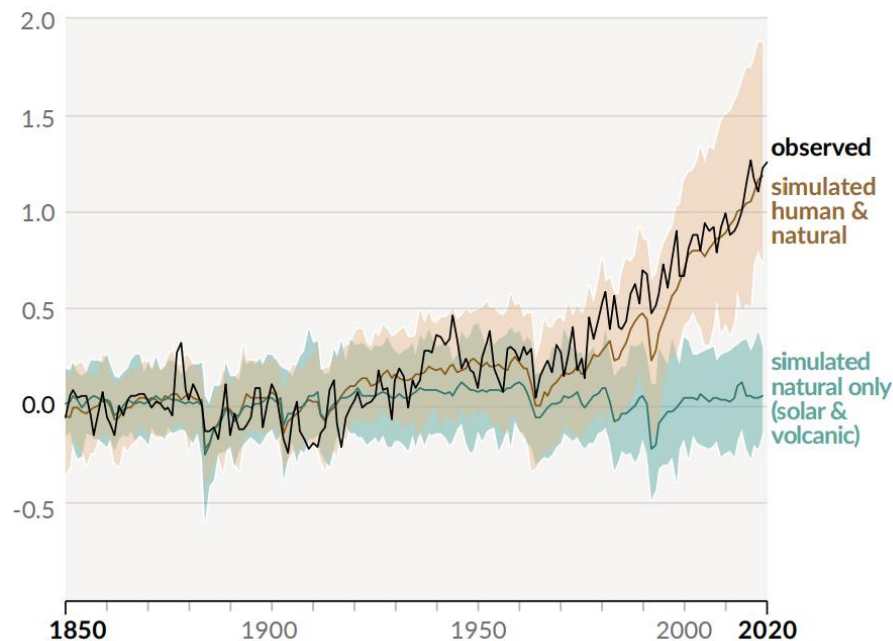


Rekonstruktion der Meeresspiegelhöhe während der letzten 2.500 Jahre; instrumentelle Messungen für die Zeit seit Ende des 19. Jahrhunderts

IPCC (2021) AR6 Fig. 2.28c

Einführung: Beitrag anthropogener Emissionen

Verlauf der globalen Mitteltemperaturen bezogen auf 1901-1950



Messwerte

Modelle mit natürlichen +
anthropogenen Treibern

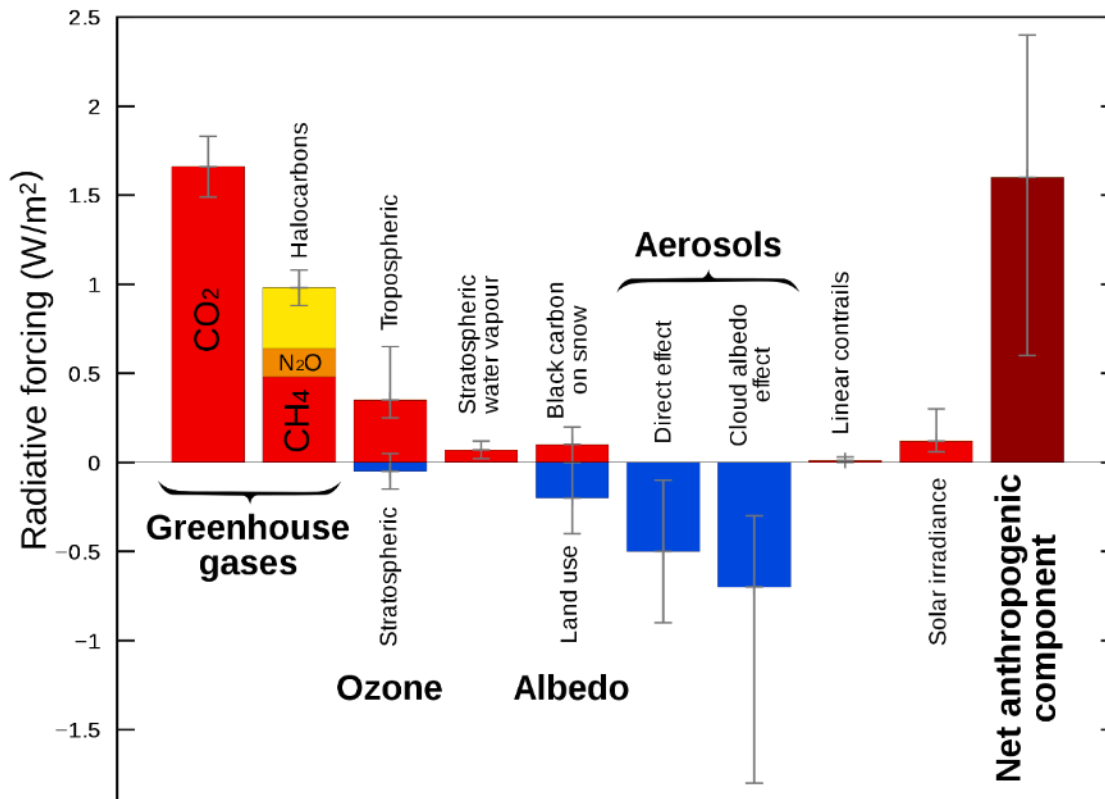
Modelle nur mit
natürlichen Treibern

IPCC (2021): Summary for policy makers, S. 7

3. Entscheidender Beitrag anthropogener Emissionen zur globalen Erwärmung ist (statistisch) extrem wahrscheinlich

Klimawandel – Fakten und Zahlen


 Erwärmung durch "radiative forcing" (Strahlungsantrieb)



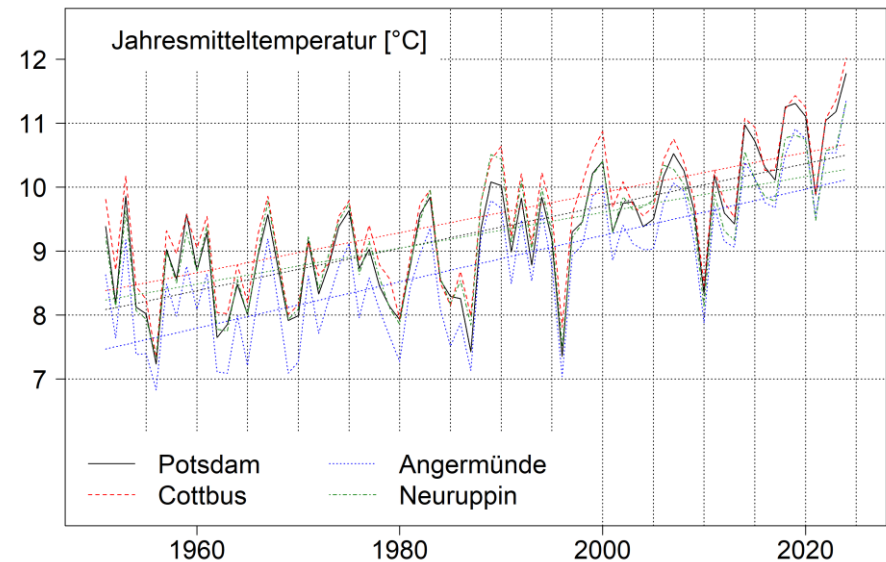
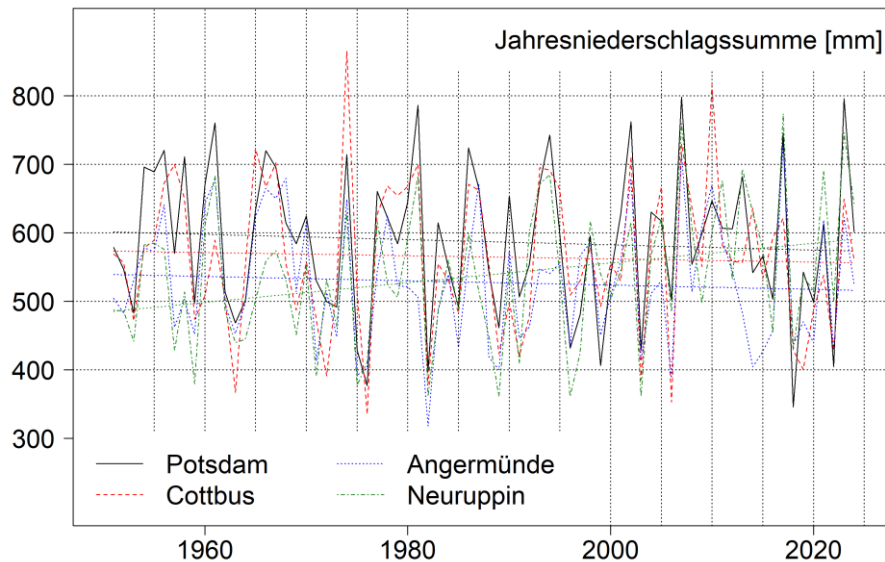
Radiative forcing (oder climate forcing) = Differenz zwischen von der Erde absorbierte Einstrahlung (Sonne) und ins All zurückgestrahlter Energie.

Diagramm: menschl. Anteil an radiative forcing (aktuell)

Diagramm: Leland McInnes, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2501966>

Einführung: vom globalen zum regionalen Wandel

Entwicklung in Brandenburg – vier Stationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) 1951-2024



 allgemeiner Trend: wärmer bei kaum veränderten Niederschlägen

Klimawandel: auf frischer Tat ertappt?!

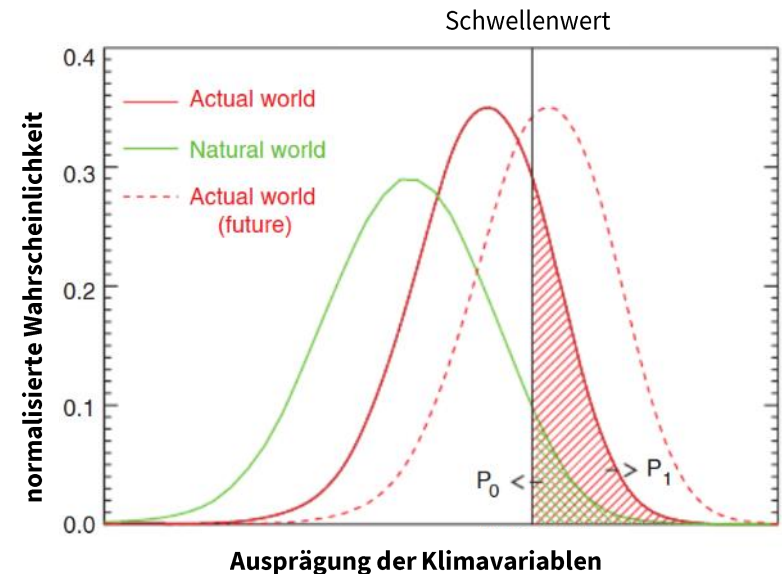
Attribution Science: Einfluss des KW auf Extremwetter (oder Witterung)

- ✿ Änderung von Wahrscheinlichkeiten; Beispiel Hitzewelle 2019 in Mittel-Europa mindestens fünfmal wahrscheinlicher durch aktuellen KW

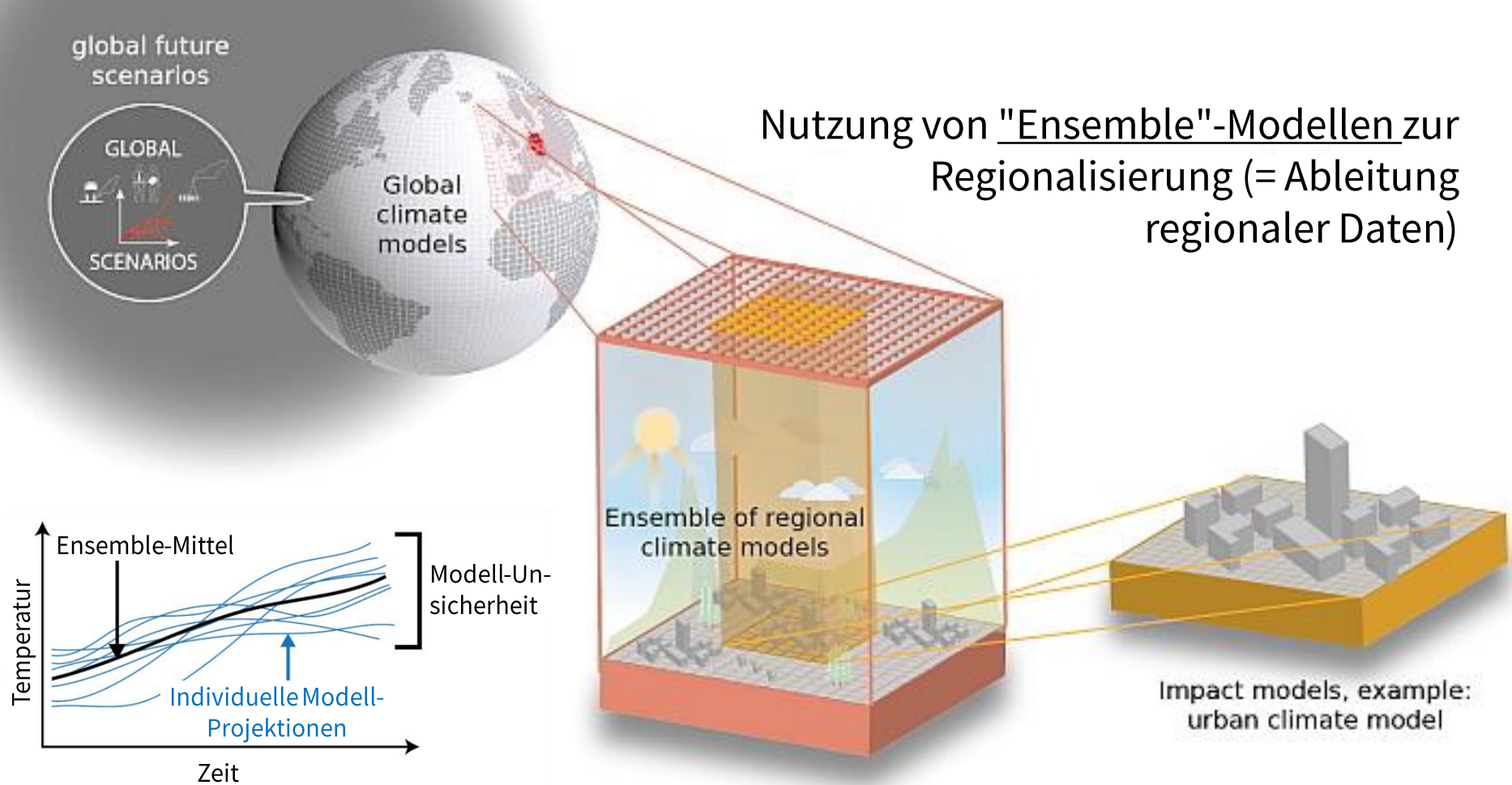
CLIMATE

Climate change made 2019 European heat wave worse

Study finds global warming quintupled the likelihood of this excessive heat

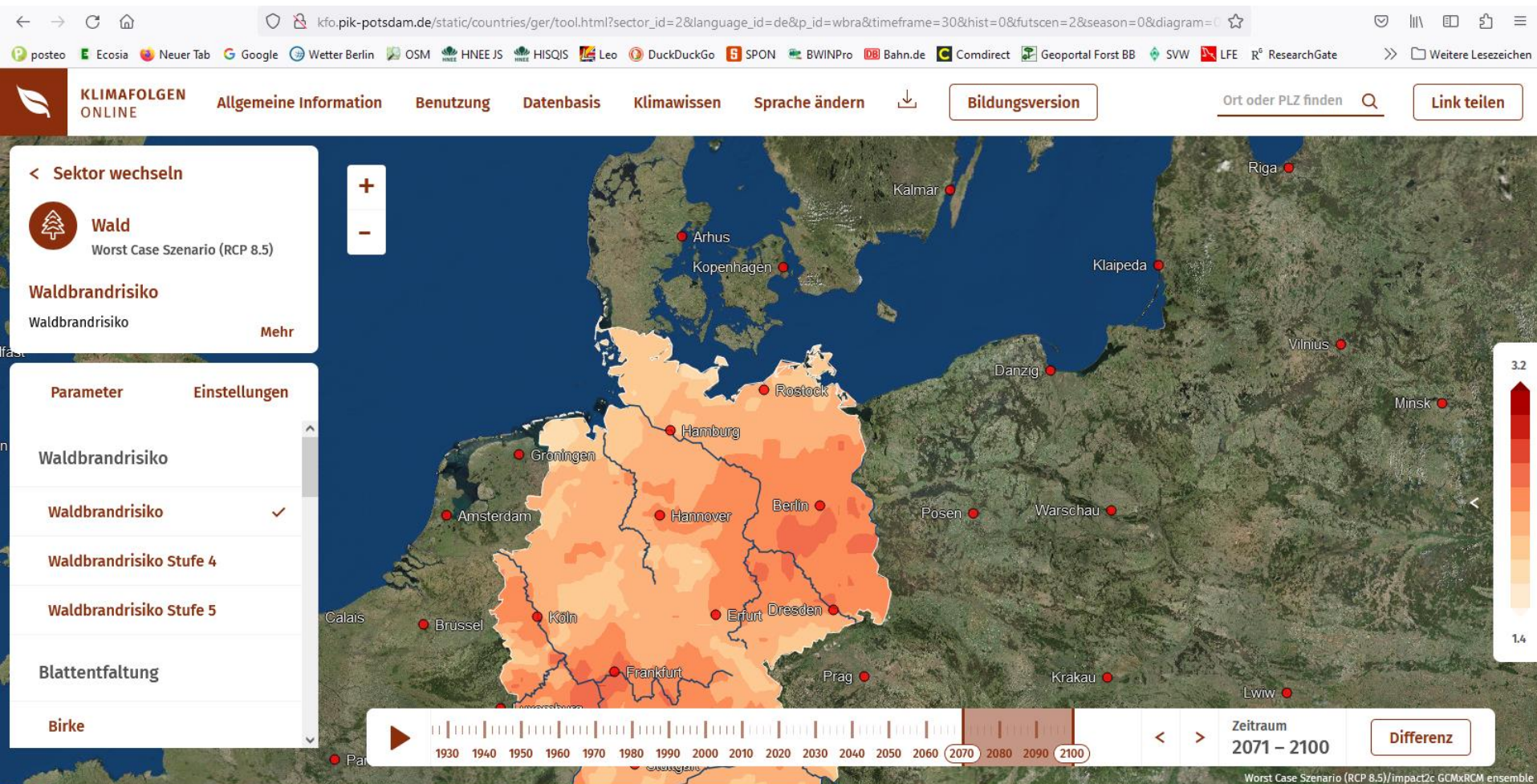


Klimawandel – wie sind die Aussichten?



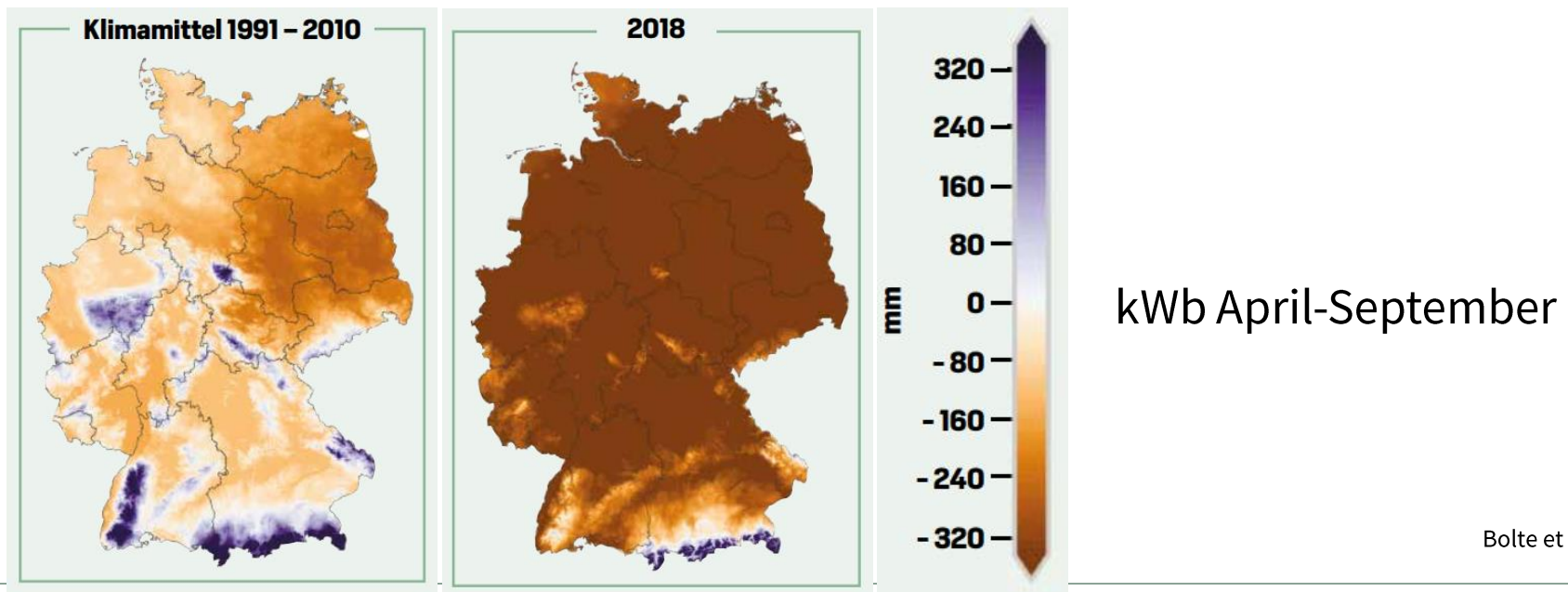
Regionale Folgen: Beispiel für Visualisierung

Klimawandel – was sind die Aussichten?



Klimawandel – was sind die Aussichten?

- 🌿 steigende Durchschnittstemperaturen, v. a. im Winter und Frühjahr
- 🌿 Verlagerung von Niederschlägen in das Winterhalbjahr
- 🌿 Häufigkeit + Intensität von Extrem-Ereignissen (Hitze, Trockenheit) steigen
- 🌿 ungünstigere klimatische Wasserbilanzen (kWb) in der Vegetationszeit



Bolte et al. 2021

Klimawandel: Folgen

Effekte für Waldökosysteme



abhängig von

-  **Geschwindigkeit** der Veränderungen
-  Ausmaß des Wandels (**Extreme** vs. Mittelwerte)
-  **"Puffereffekte"** durch andere Standortfaktoren
-  **Stabilität, Resilienz** und **Anpassungsfähigkeit** der Wälder
-  **Störungskaskaden, Komplexwirkungen, Kombinationseffekte** mit anderen Stressfaktoren

Klimawandel: Folgen

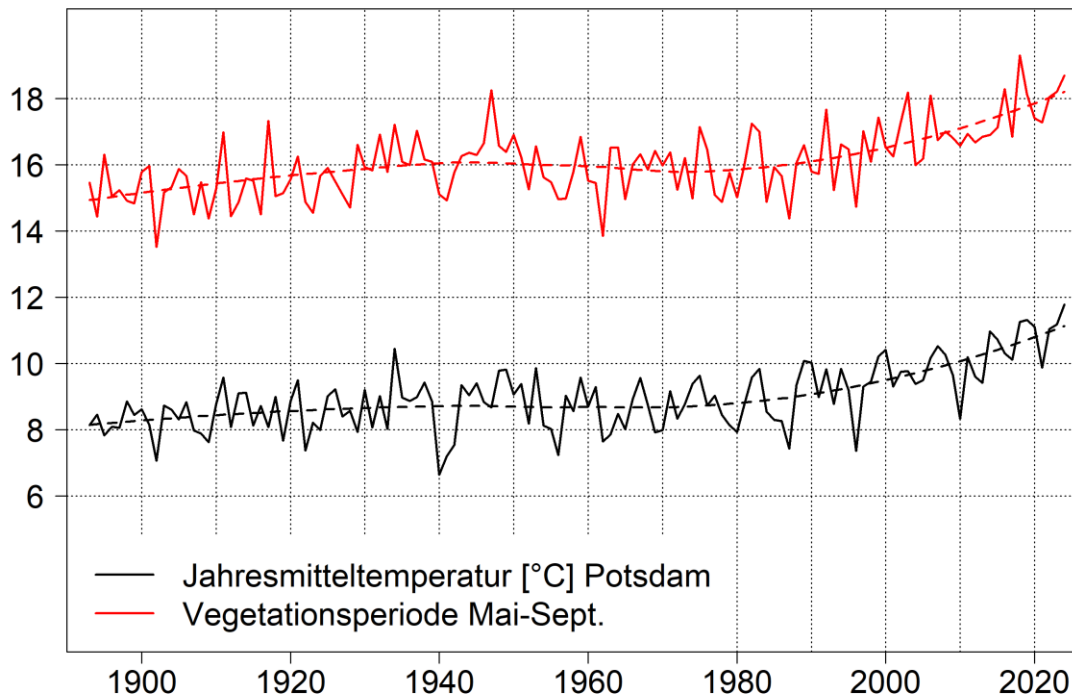
🍃 kombinierte Effekte mit extremen Folgen



bei Potsdam (2006, links), Harz (2022)

Klimawandel: Folgen

Wirkung auf Standortfaktoren: **Temperatur**



Zeitreihe Potsdam,
Mitteltemperaturen:

1893-1924
Jahr / Vegetationsperiode
8,3 / 15,3 °C

1995-2024
Jahr / Vegetationsperiode
9,9 / 17,0 °C

Daten: Deutscher Wetterdienst (DWD); https://www.dwd.de/EN/climate_environment/cdc/cdc_node.html

Klimawandel: Folgen

Wirkung auf Standortfaktoren: **Temperatur**



steigende Temperaturen →
Verlängerung der Vegetationsperiode
(Deutschland 1969-1998: + 10,5 Tage)

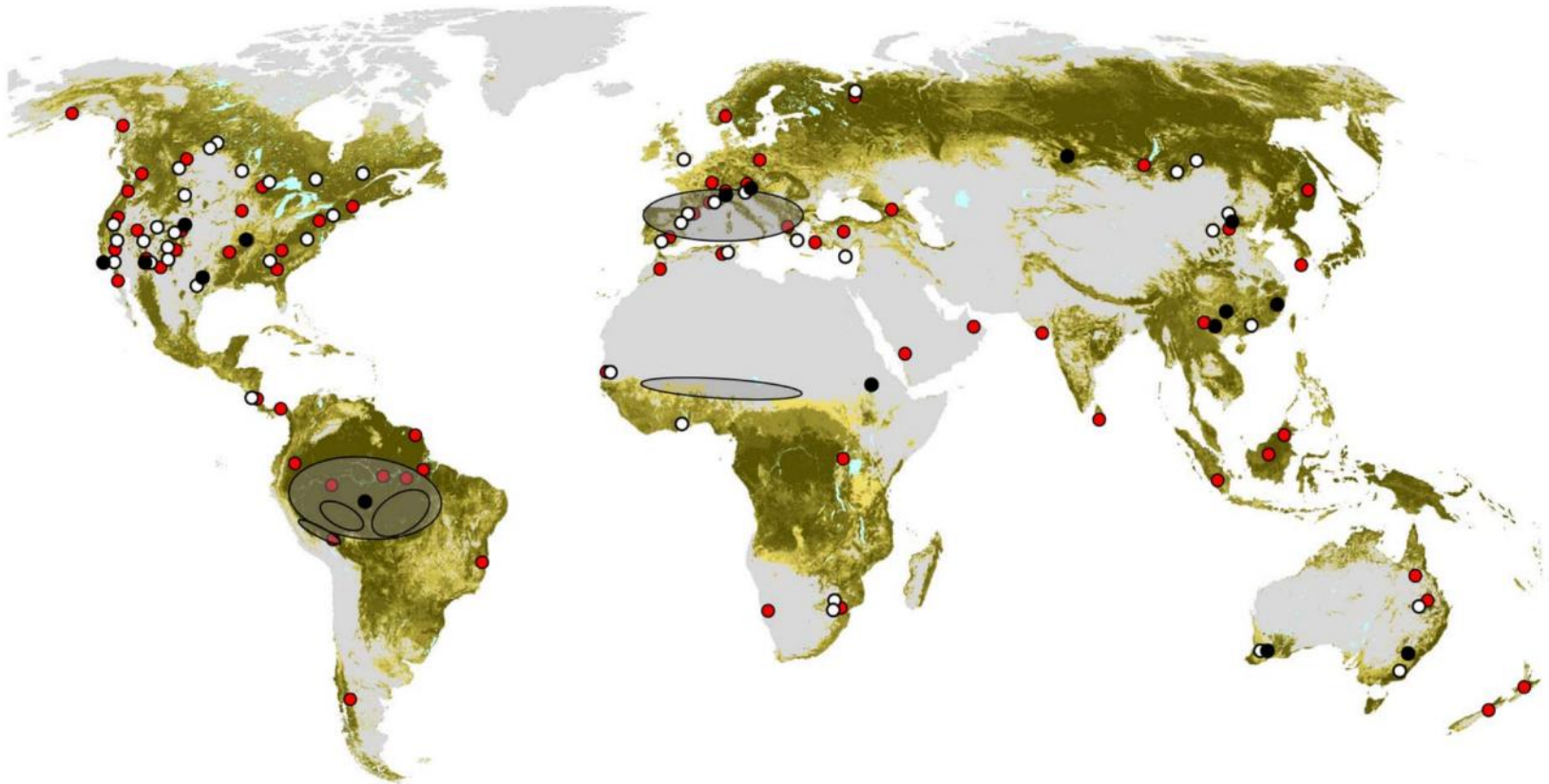


bleibendes Risiko von **Spätfrostschäden**, andererseits **steigende Zuwächse** (von radial bis Volumenzuw.)

Pretzsch et al. (2014)

Klimawandel: Folgen

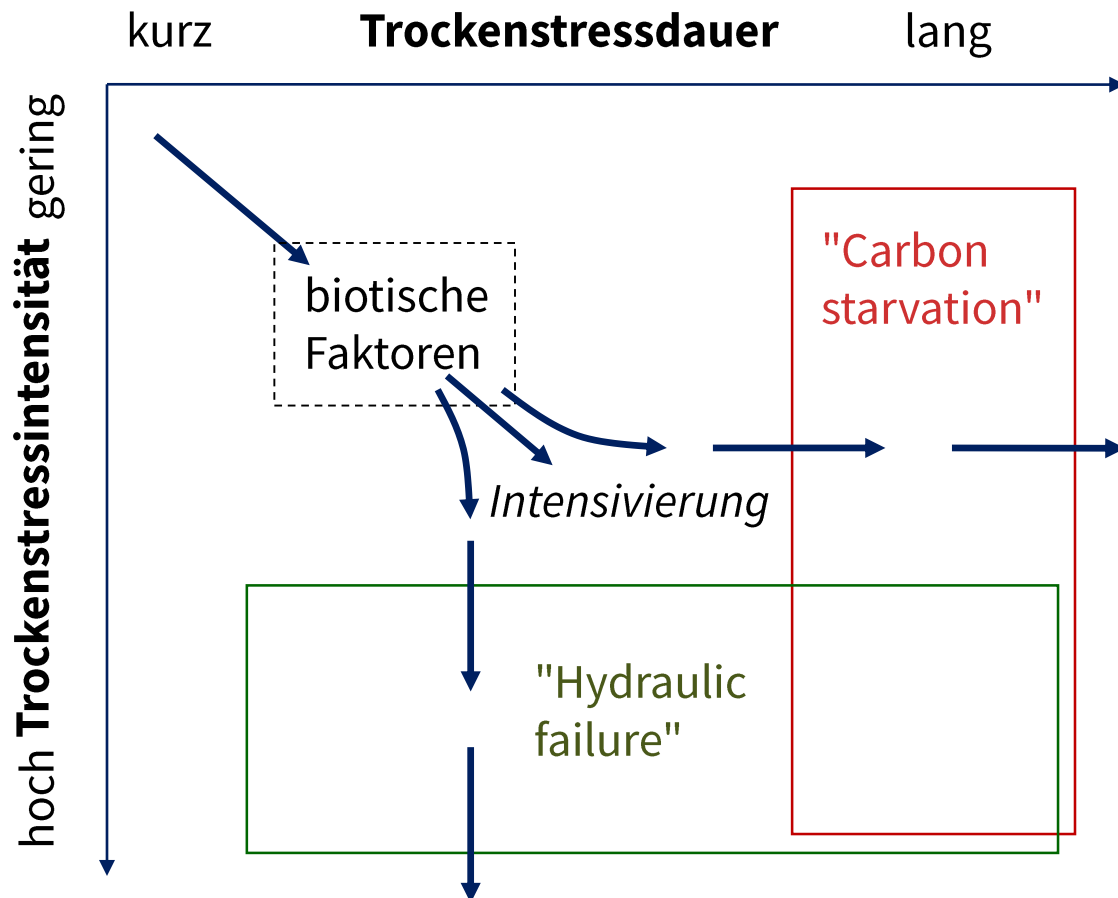
🌿 Wirkung auf Standortfaktoren: **Wasser**



Farben: unterschiedliche Studien; Ellipsen: IPCC (2013); Zusammenstellung: Allen et al. (2015)

Klimawandel: Folgen


 Wirkung auf Standortfaktoren: **Wasser**

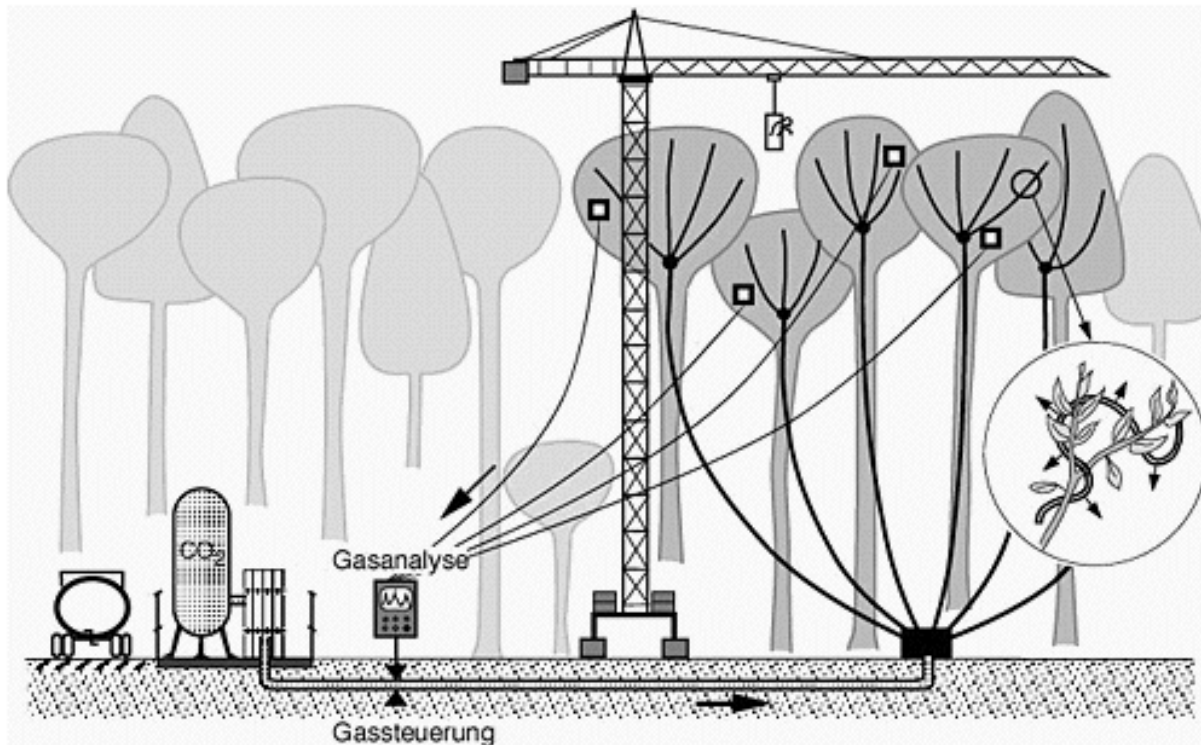


- oft **entscheidender begrenzender Faktor**
- verschiedene Effekte, abhängig von Kombination Intensität und Dauer

McDowell et al. (2008)

Klimawandel: Folgen

- Wirkung auf Standortfaktoren: **CO₂-Konzentration in der Atmosphäre**
 - Tests von Hypothesen in FACE Experimenten (**F**ree-**A**ir **C**arbon **E**nrichment)



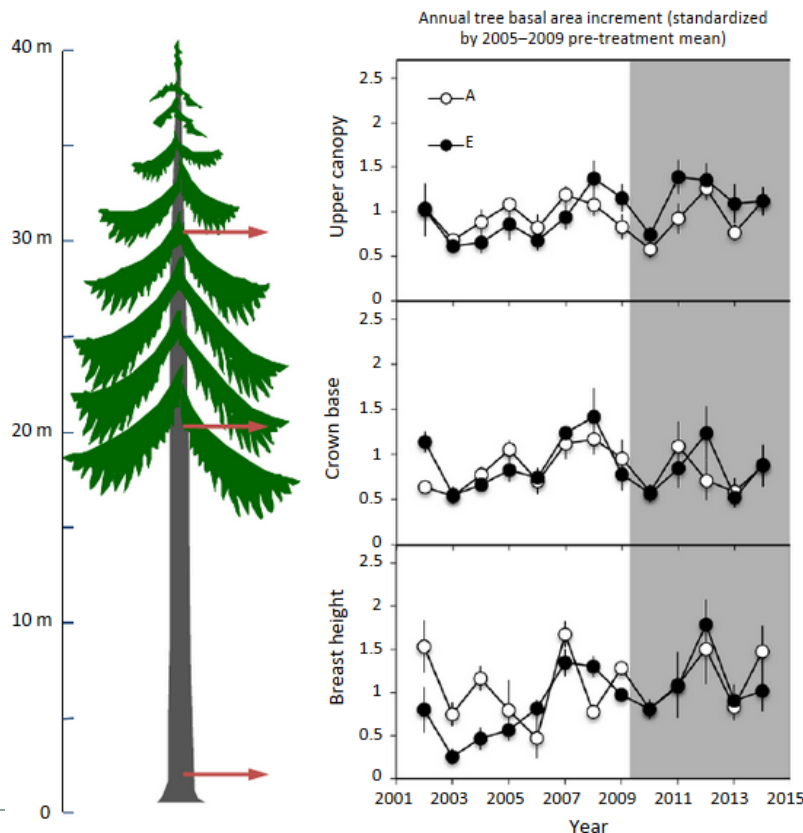
Hofstetten bei Basel
(CH), 550 m ü. NN

2001-09: Buche
2009-17: Fichte

Körner et al. (2005)

Klimawandel: Folgen

-  Wirkung auf Standortfaktoren: **CO₂-Konzentration in der Atmosphäre**
 - FACE Hofstetten: Beispielergebnis für Fichte



→ Keine nachweisbaren Wirkungen von erhöhtem CO₂ auf Nadelmasse, Radialzuwachs oder Triebblängen

A = "normal" CO₂ (weiß), E = erhöhtes CO₂ (schwarz), grau schattiert: Zeitraum mit erhöhtem CO₂

Klein, T. et al. 2016: Growth and carbon relations of mature *Picea abies* trees under five years of free air CO₂ enrichment. *Journal of Ecology* 104, 1720–1733

Möglichkeiten der Anpassung / Schadensbegrenzung

Spannungsverhältnis Stabilität vs. Resilienz: Angesichts zunehmender Risiken / Unwägbarkeiten ist Stabilität immer weniger zu gewährleisten

- 🌿 wichtig: **Resilienz** stärken = die immanenten Fähigkeiten des Systems zur Aufrechterhaltung der wesentlichen Funktionen und Beziehungen und ggf. zur Rückkehr in (zeitweilig) stabile Zustände – **auch in veränderter Zusammensetzung**



Möglichkeiten der Anpassung / Schadensbegrenzung

🌿 Was kann getan werden?

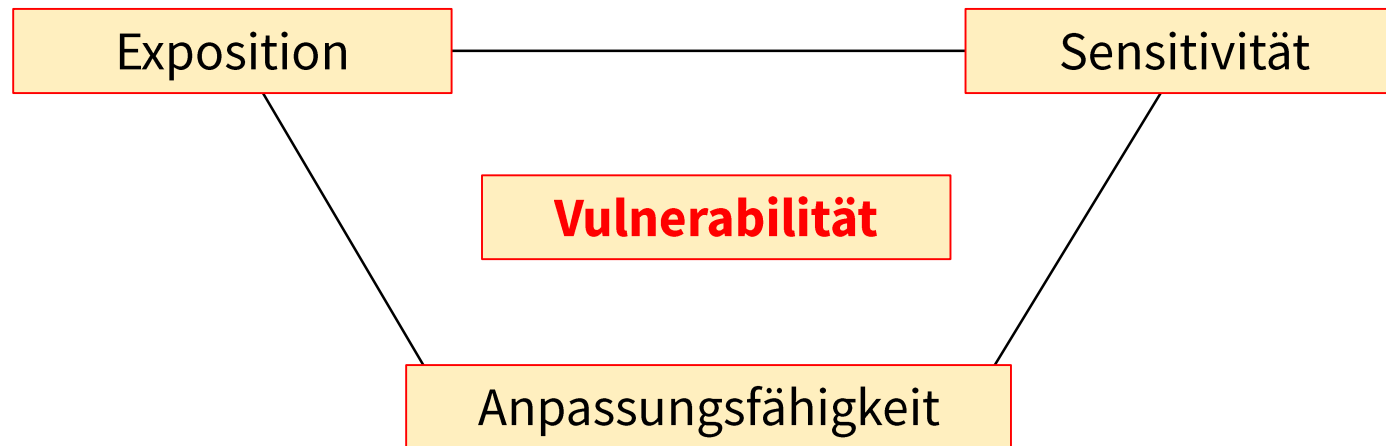
→ Vulnerabilität (= Anfälligkeit, Verletzlichkeit) verringern



Foto (links): <https://news.cornell.edu/stories/2012/04/experts-suggest-grazing-cows-sheep-ducks-forests>

Möglichkeiten der Anpassung / Schadensbegrenzung

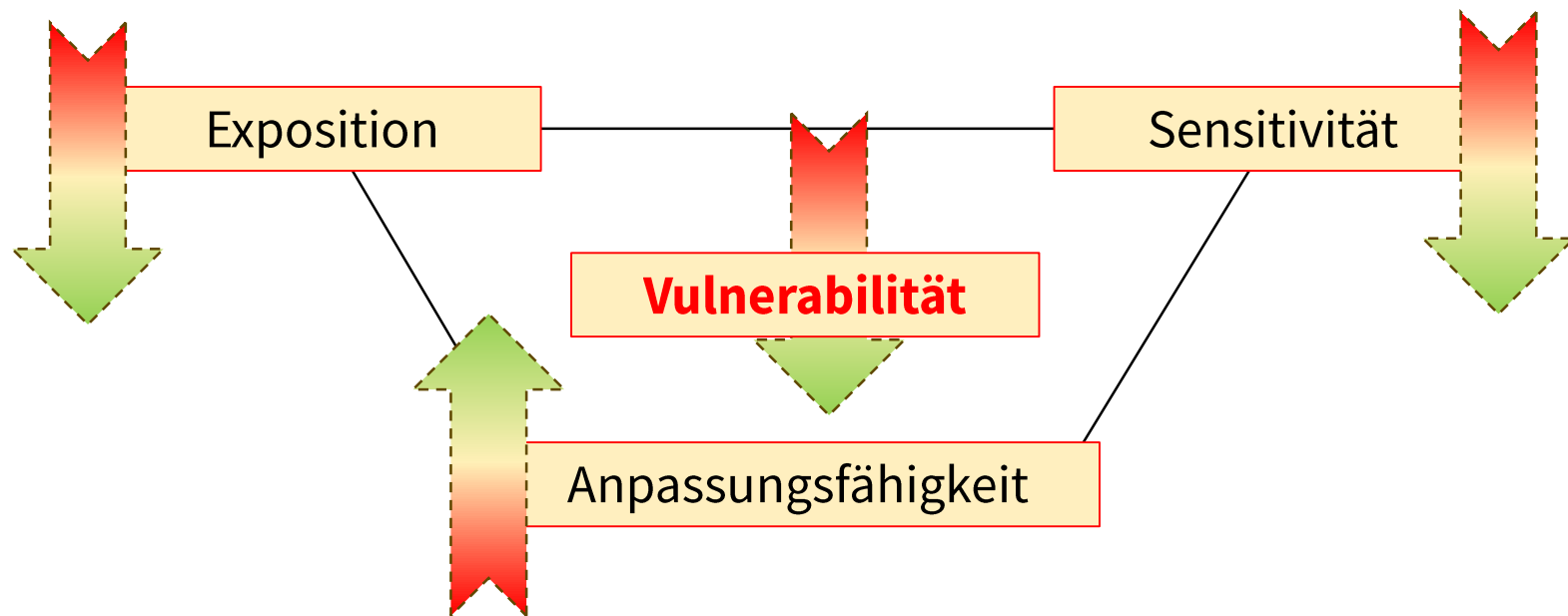
🌿 Vulnerabilität als zentrales Kriterium und Gegenteil von Resilienz



→ Exposition, Sensitivität und Anpassungsfähigkeit = Ansatzpunkte zur Steigerung der Resilienz & Senkung der Vulnerabilität

Möglichkeiten der Anpassung / Schadensbegrenzung

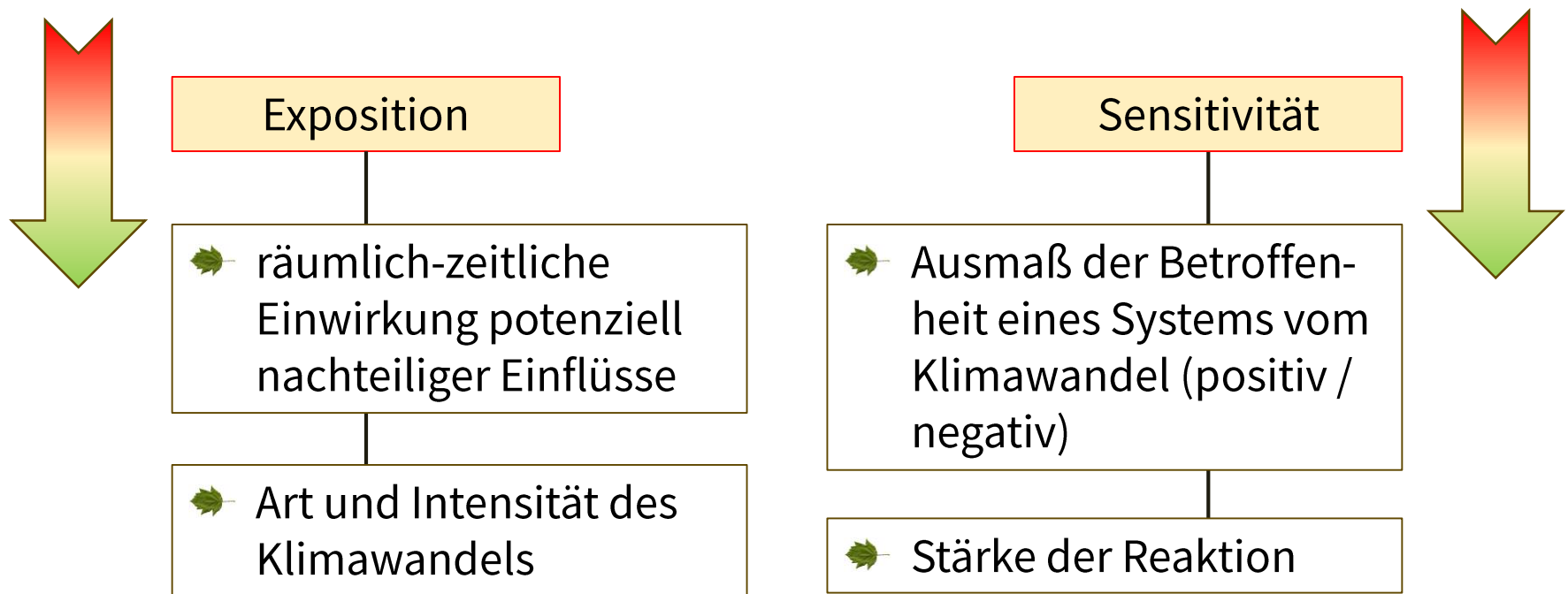
🌿 Vulnerabilität als zentrales Kriterium und Gegenteil von Resilienz



→ Exposition, Sensitivität und Anpassungsfähigkeit = Ansatzpunkte zur Steigerung der Resilienz & Senkung der Vulnerabilität

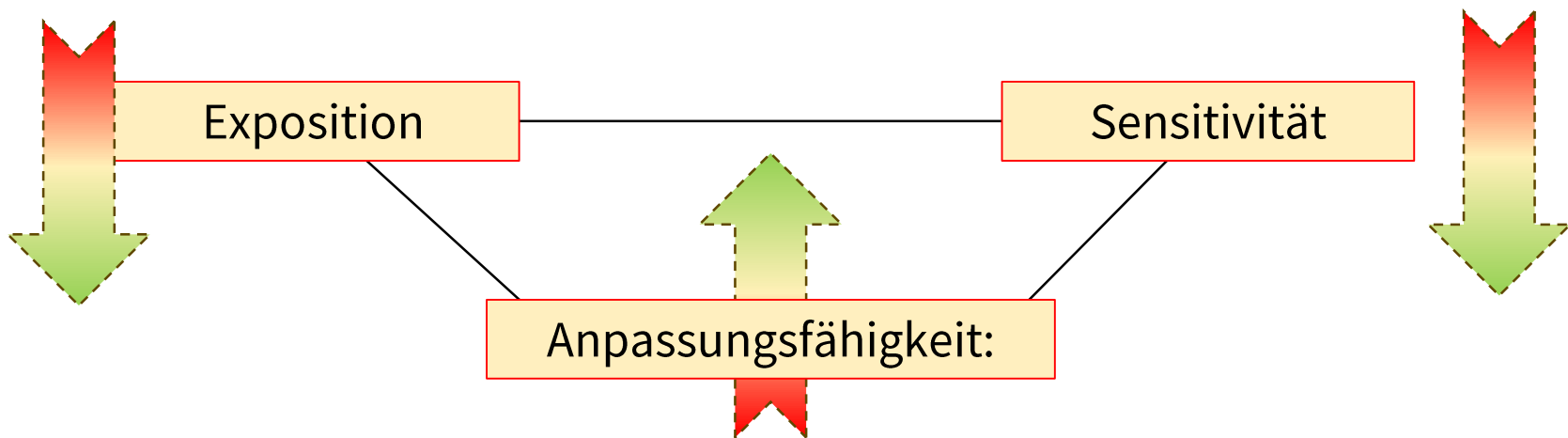
Möglichkeiten der Anpassung / Schadensbegrenzung

Vulnerabilität als zentrales Kriterium und Gegenteil von Resilienz



Möglichkeiten der Anpassung / Schadensbegrenzung

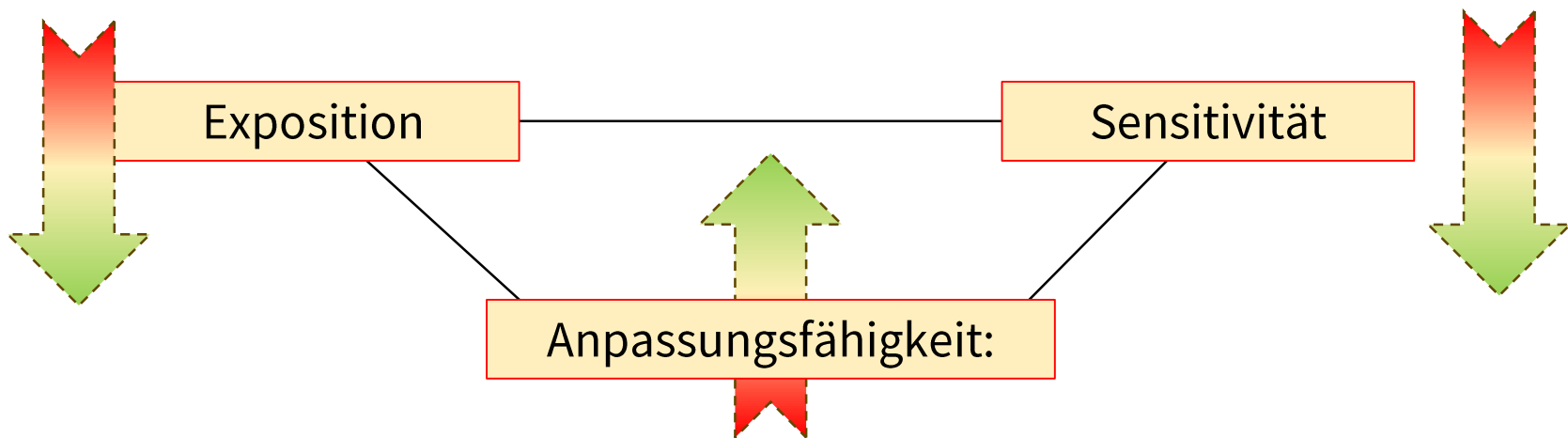
🍃 Vulnerabilität als zentrales Kriterium und Gegenteil von Resilienz



- optimale Baumartenwahl je nach Standortverhältnissen und zu erwartendem Wandel, incl. nichtheimische Arten
- Standortqualität erhalten + verbessern (Nährst., Wasser)
- gemischte, ungleichaltrige Bestände (Risikoverteilung)
- Förderung individueller Vitalität und Resilienz

Möglichkeiten der Anpassung / Schadensbegrenzung

🍃 Vulnerabilität als zentrales Kriterium und Gegenteil von Resilienz



- optimale Baumartenwahl je nach Standortverhältnissen und zu erwartendem Wandel, insbesondere nicht heimische Arten
- Standortqualität erhalten und verbessern (Nährst., Wasser)
- gemischte, ungleichermaßen alte Bestände (Risikoverteilung)
- Förderung individueller Vitalität und Resilienz

"no-regret-Maßnahmen"

Zentrale Inhalte

Der globale Klimawandel ist ein Fakt, der durch Beobachtungen, Messreihen und Rekonstruktionen abgesichert ist. Er wird statistisch hochsignifikant von menschlichen Einflüssen getrieben.

Die Folgen für Waldökosysteme sind abhängig von Veränderungen der Standortfaktoren. Hochproblematisch in den meisten Klimazonen ist eine abnehmende Wasserbilanz durch steigende Temperaturen bei gleichbleibenden oder sinkenden Niederschlägen.

"It is difficult to make predictions, especially about the future." (Niels Bohr) → Unsicherheit und Komplexität bleiben erhalten → "No Regret" Maßnahmen vorantreiben (■ Waldumbau).