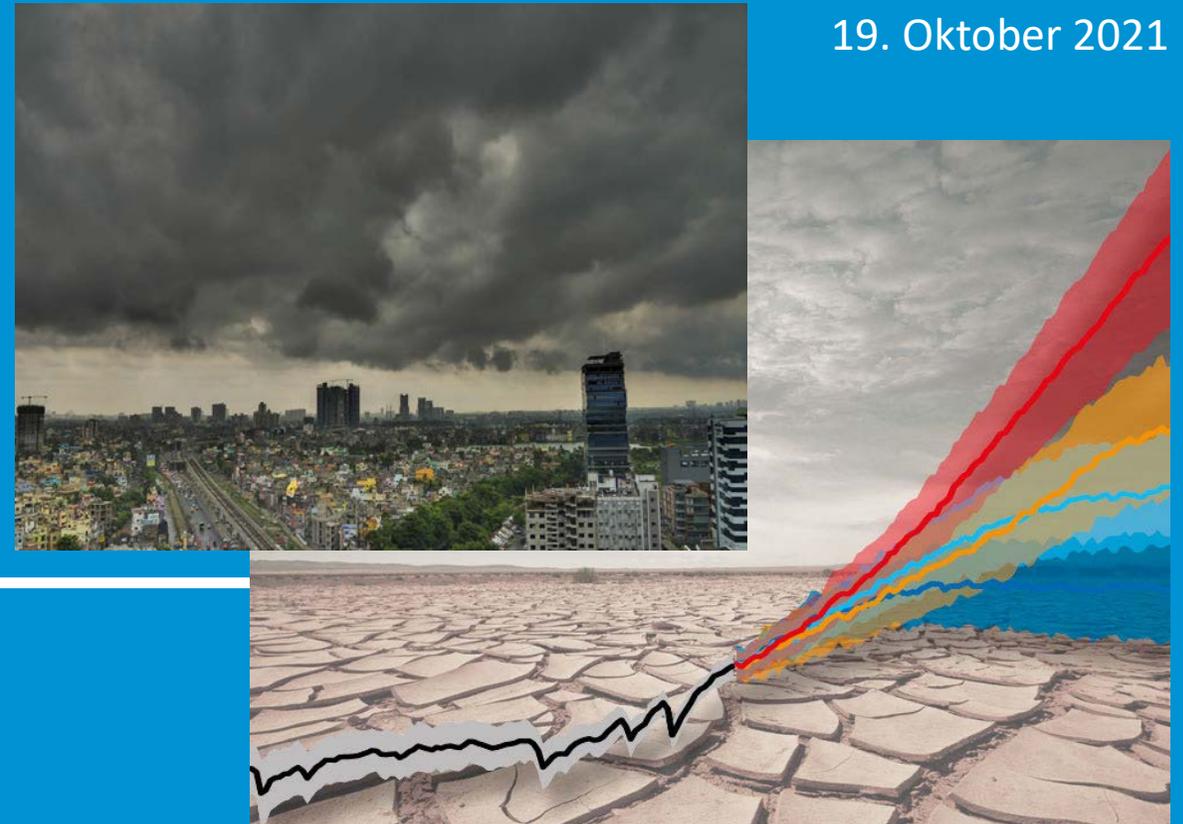


Ringvorlesung CliCCS-C1, WiSe 2021
„Nachhaltige Anpassungsszenarien für Stadtgebiete
– Wasser von 4 Seiten“

Markus Quante
Helmholtz-Zentrum Hereon

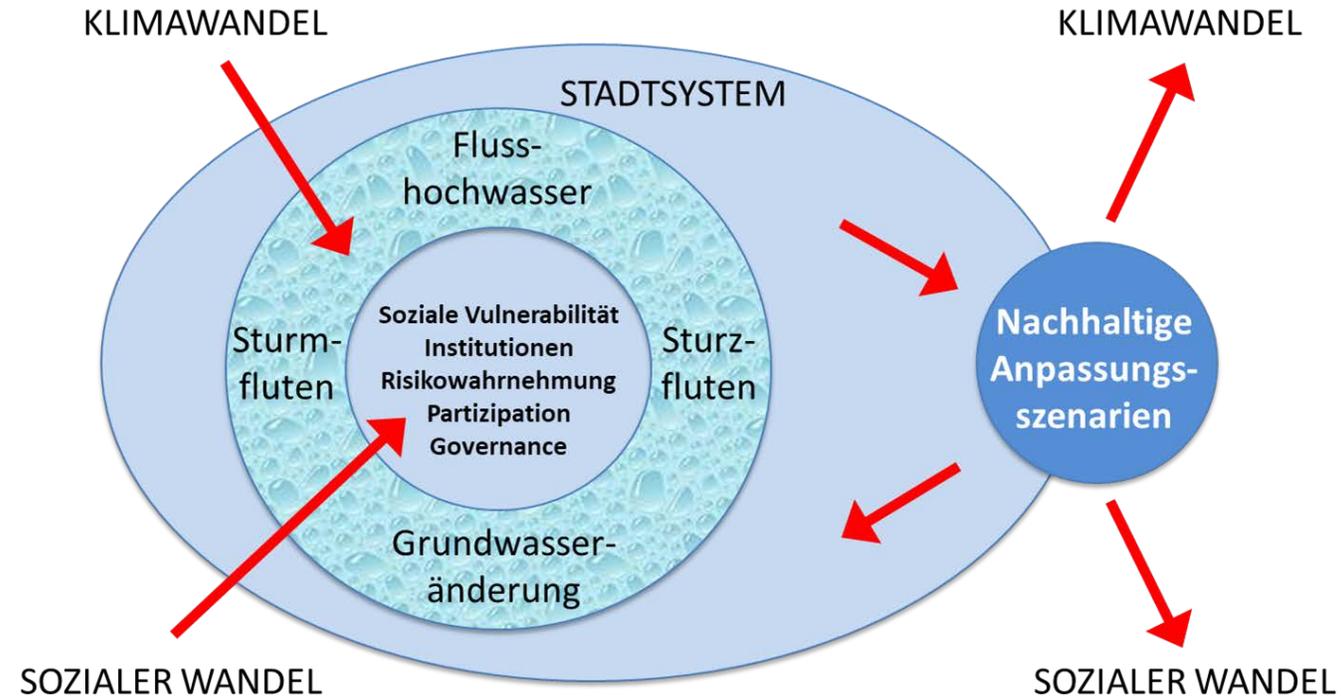
19. Oktober 2021



**Emissionsszenarien –
grundlegende Ereignisräume für die
projizierende Klimaforschung**

Kontakt: markus.quante@hereon.de

Treibhausgas- und
 Partikelemissionen,
 Landnutzung
 ↓
 Antriebsszenarien/
 Emissionsszenarien
 ↓
 Klimaänderungen
 ↓
 wasserbezogene
 Stressoren für das
 Stadtsystem
 ↓
 Entwicklung von
 Anpassungsszenarien



© picture alliance/dpa/M. Hiekel



Foto: Hajo Boldt



Foto: S. Eichler



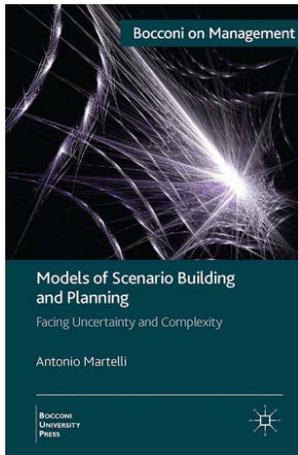
Foto: picture alliance/dpa/D. Bockwoldt

Teil 1 *Szenarien*

- Was sind Szenarien?
- Szenarien im Klimawandelkontext
- Entwicklung von Klimaszenarien
- Aktuelle Antriebsszenarien

Teil 2 *wasserbezogene Klimavariablen*

- Von Klimaszenarien zu Klimavariablen
- Szenarienbasierte Klimaprojektionen
- Regionale Niederschlagsprojektionen
- Bezug zu Anpassungsszenarien



Antonio Martelli (2014)

The word “scenario” is **nowadays** in use all the time and **everywhere**. And yet what is meant by it is far from indisputable. **The word easily gives way to confusion.**

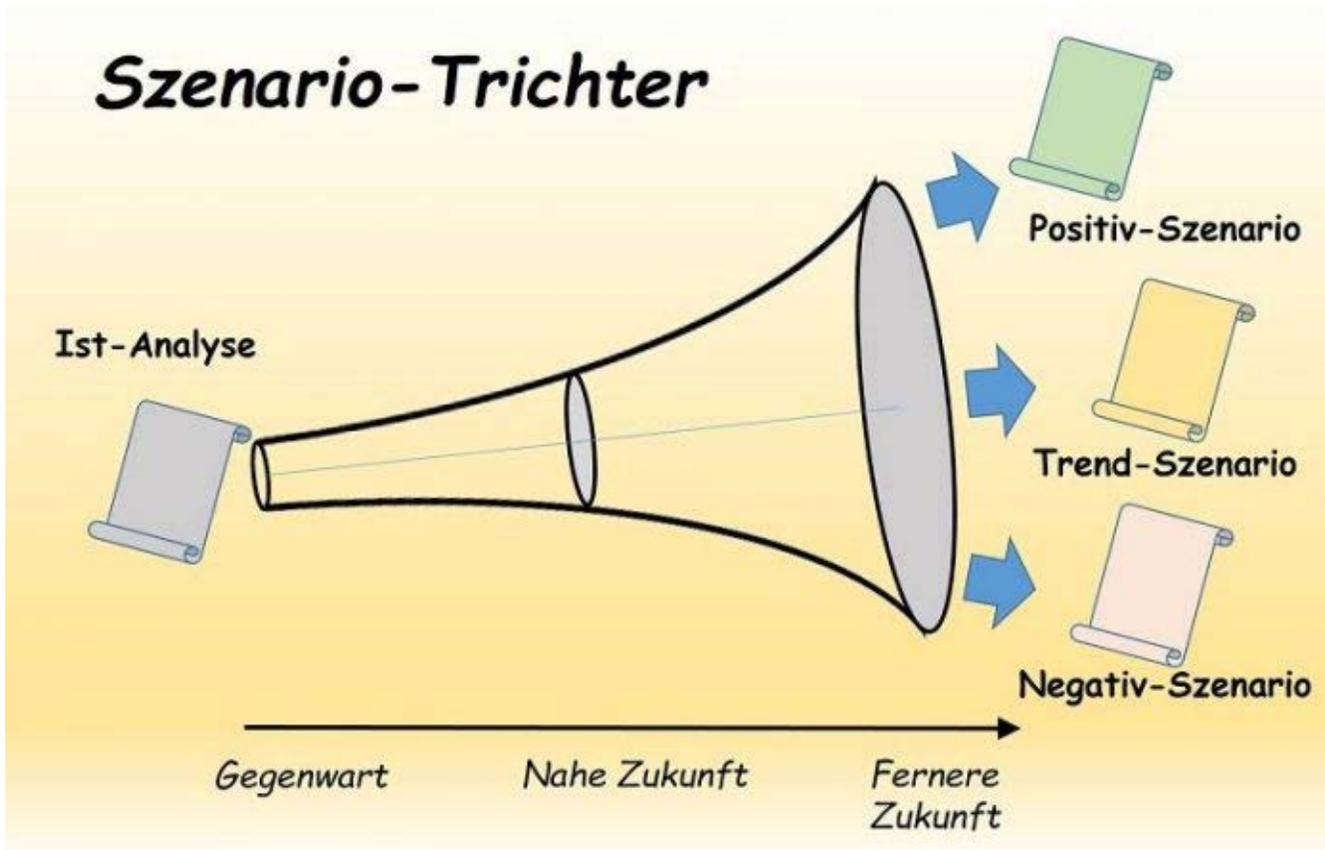
- Szenarien sind deskriptive Erzählungen (**Narrative**) von **plausiblen** alternativen Projektionen von spezifischen Aspekten der Zukunft (Ratcliffe, 2000)
- Szenarien sind eine Darstellung einer möglichen zukünftigen Situation (**Zukunftsbild**) inklusive der **Entwicklungspfade**, die zu der zukünftigen Situation führen (Kosow und Gaßner 2008)

Zu vermeiden sind Merkmale von “Religiöser Kunst” und “ideologischem Nonsens” (Kahn, 1979) und “Zukunftsramsch” (Bell, 1976)

Prinzip der Szenario-Technik



Narrative – Entwicklungspfade - Zukunftsbilder



große Spannweite von Möglichkeiten ausloten

je weiter in die Zukunft, desto mehr Zukunftsbilder sind möglich



= Möglichkeitsraum

Übersicht in
Kahn und Wiener (1967)
Wack (1985)

- Erste systematische Schritte nach dem 2. Weltkrieg in den 1950er Jahren. Strategische militärische Planungen

Think Tanks → szenarienbasierte “War Games”

Herman Kahn war Pionier der Szenariotechnik im Bereich Waffenentwicklung und Militärstrategie, später auch im Bereich Ökonomie und Weltpolitik → Zukunftsforscher

- **Pierre Wack**, Royal Dutch Shell, schrieb die erste weit wahrgenommene Erfolgsgeschichte. Seine Szenariendarbeit erlaubte Shell sehr gut durch das OPEC Ölembargo (1973) zu kommen. Der Mystiker - “Hellseher”.
- Öffentliche Aufmerksamkeit auf Einsatz von Szenarien durch die Publikation der **Club of Rome-Studie** “The Limits to Growth” von Meadows et al. (1972)



Library of Congress



Detroit Free Press



alchetron.com



Laut Weltklimarat (IPCC) sind Szenarien ...

... eine **plausible** Beschreibung wie sich die Zukunft entfalten kann basierend auf kohärenten und **intern konsistenten Annahmen** zu den Schlüssel-**Antrieben** (z.b. *technologischen Entwicklungen, Preisen, etc. ...*)

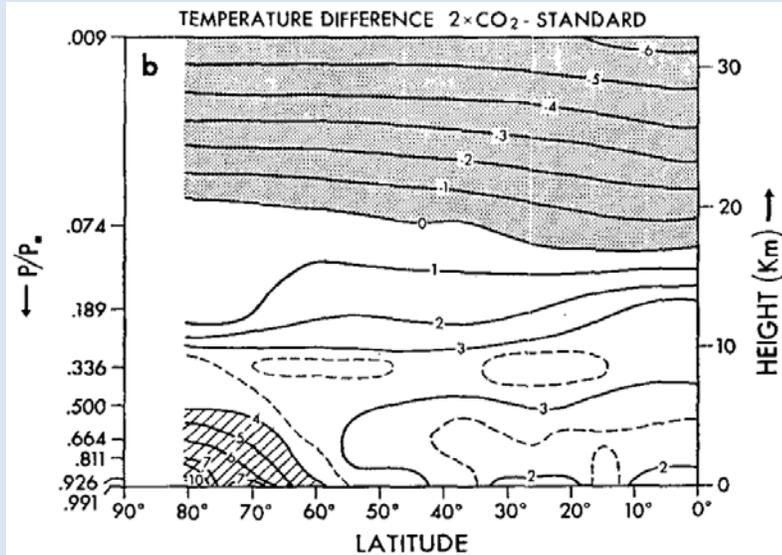
→ Satz von alternative Zukünften (*qualitativ und/oder quantitativ formuliert*)

Änderungen der Strahlungs- und Energiebilanz der Erde entlang des zeitlichen Entwicklungspfad es müssen erfasst werden. Dazu sind nötig:

- **Treibhausgasemissionen / -konzentrationen** → **Absorption** (CO_2 , CH_4 , N_2O , ...)
- **Aerosolemissionen / -konzentrationen** → **Streuung**, Absorption (Sulfat, Ruß, ...)
- **Landnutzungsänderungen** → **Reflexion** (Absorption)

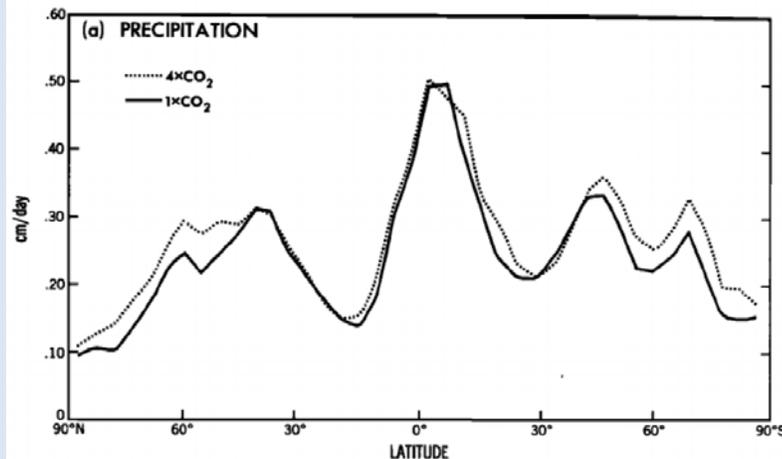
Diese hängen von sozioökonomischen und technologischen Entwicklungen ab!





$2 \times \text{CO}_2$

← Temperatur



$4 \times \text{CO}_2$

← Niederschlag

Manabe und Stouffer (1980)



Syukuro Manabe (und Joseph Smagorinsky) 1972

Geophysical Fluid Dynamics Labor / EPA



Nobelpreis für Physik 2021

CC BY 2.0

SA90 (FAR, 1990) **4 Szenarien**

IS92 (SAR, 1995) **6 Szenarien**

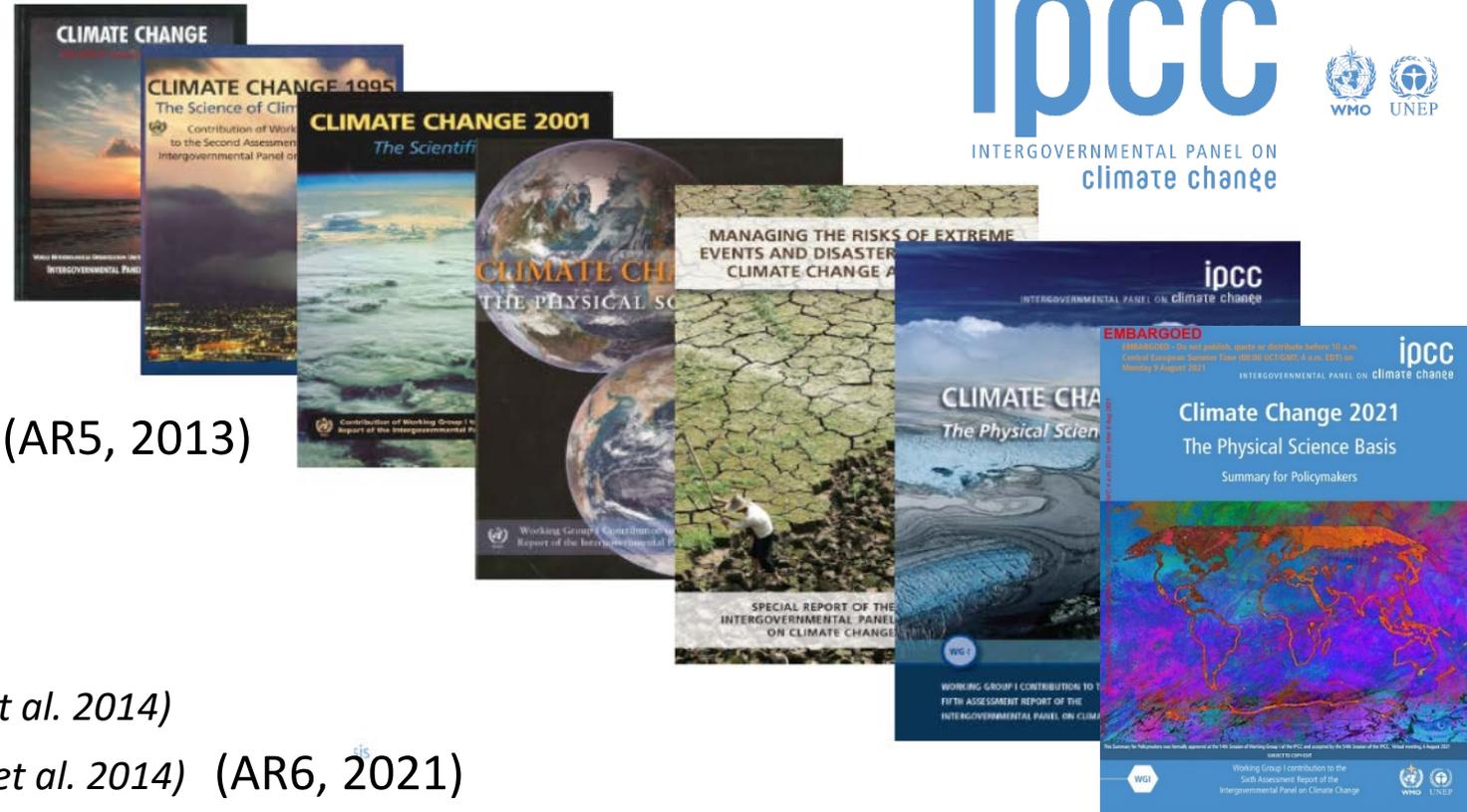
SRES Special Report on Emission Scenarios
(TAR, 2001, FAR 2007) (*Nakicenovic et al. 2000*)
40 Szenarien, **6 Marker** -> Narrative

RCPs Representative Concentration Pathways (AR5, 2013)
4 Marker-Szenarien (*Moss et al. 2010*)

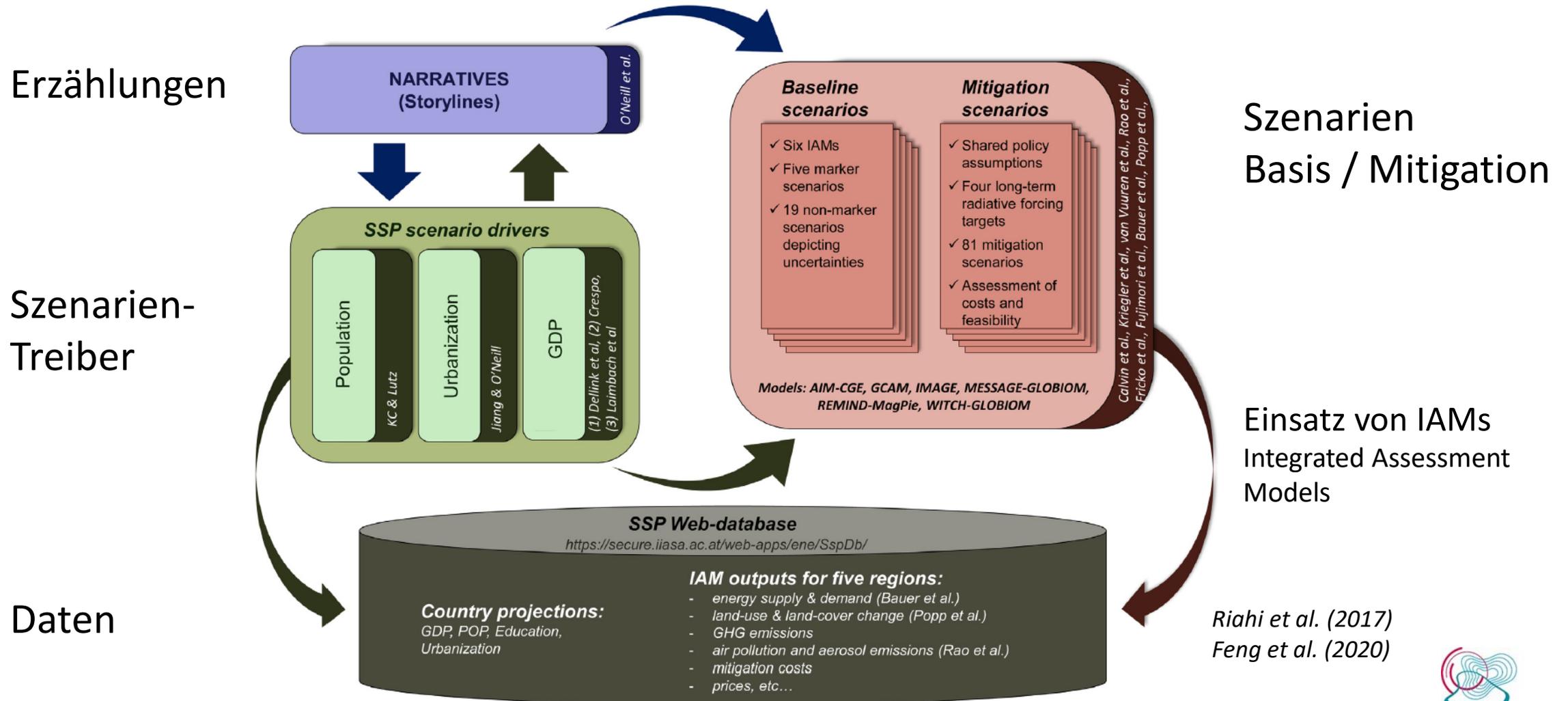
Überblick in Quante und Bjørnæs (2016)

SSPs Shared Socioeconomic Pathways (*O'Neill et al. 2014*)
plus SPAs Shared Policy Assumptions (*Kriegler et al. 2014*) (AR6, 2021)

IPCC Working Group I Reports Since 1990



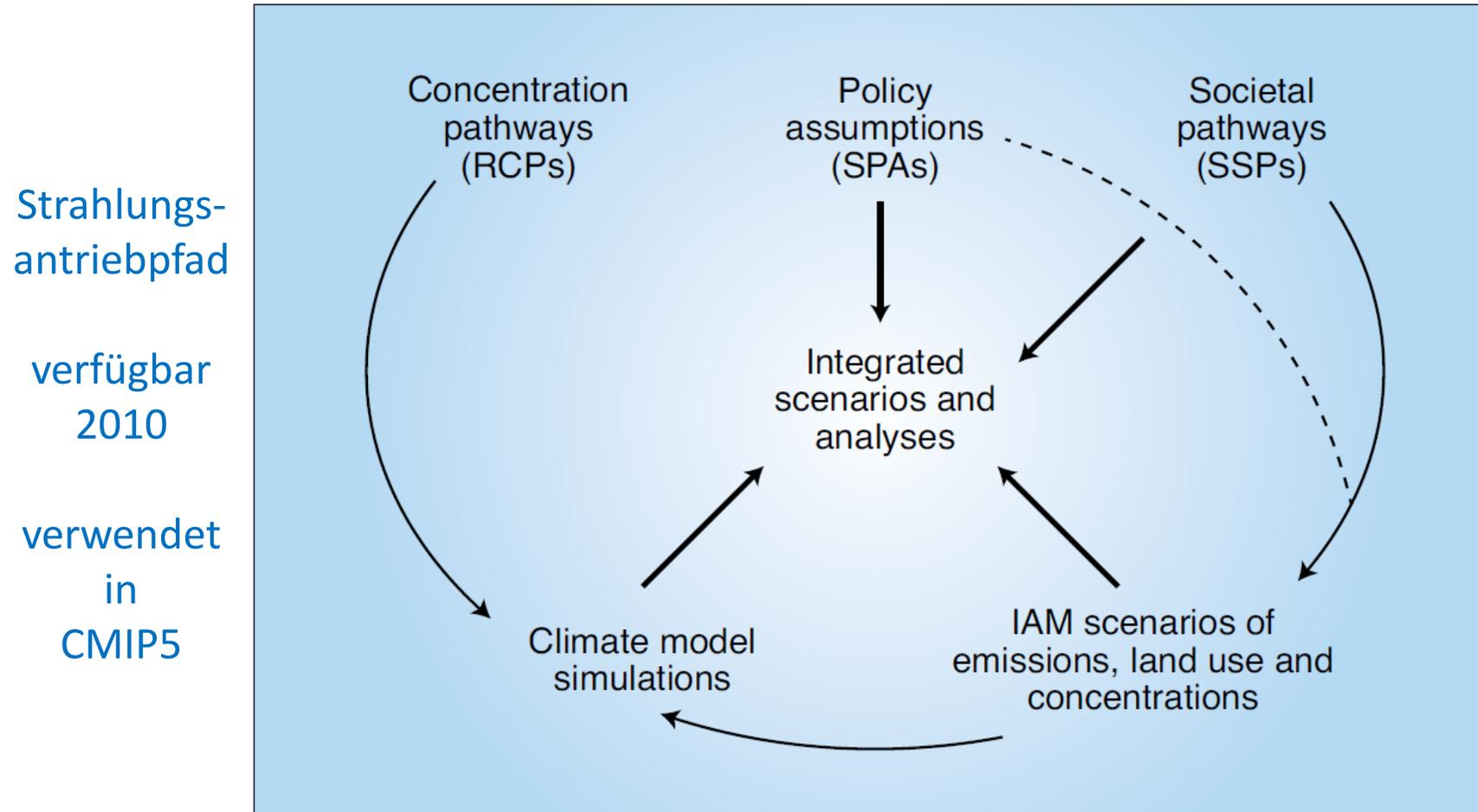
RCPs und SSPs bilden die aktuelle sogenannte SSP-RCP Matrix



Riahi et al. (2017)
Feng et al. (2020)

“Viele Straßen führen nach Rom”

Scenario-Rahmenwerk für Integrierte Studien

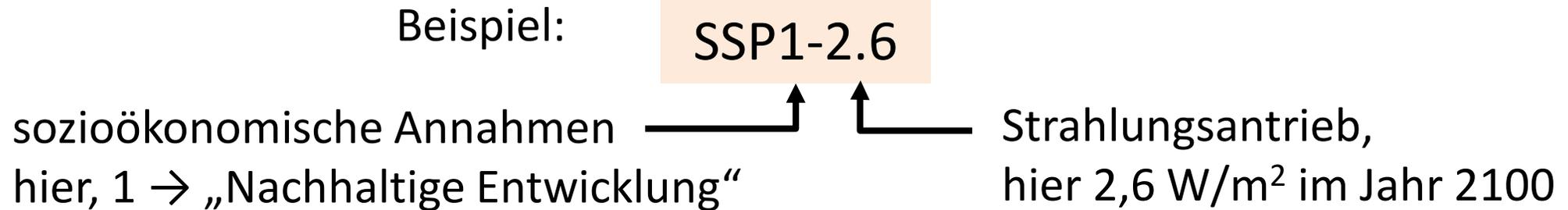


Strahlungsantriebspfade können durch diverse sozio-ökonomisch-technologische Entwicklungen erreicht werden

unterschiedliche Narrative
 &
 Mitigation
 Anpassung
 Überschießen

O'Neill et al. (2020)

“RF”-track verwendet in CMIP6, verfügbar ~ 2017



“Representative Concentration Pathways” (RCPs)

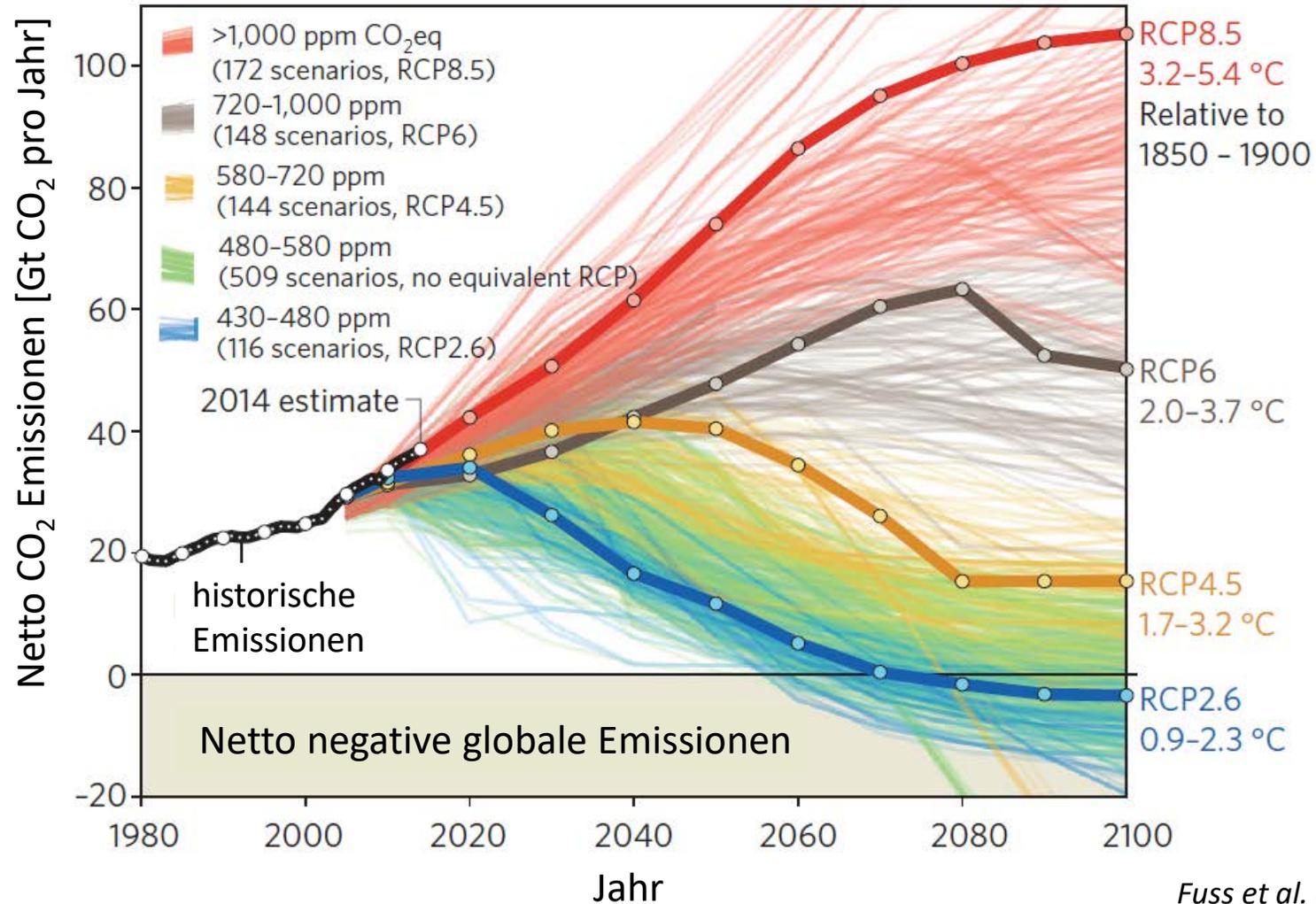
Strahlungsantrieb-orientiert (RF für Klimamodelle)
→ **“Antrieb” direkt mit Klimamodell-Output verbunden**

“Shared Socioeconomic Pathways” (SSPs)

Narrativ-orientiert (RF für Klimamodelle auch zugeordnet)
→ **Narrative können auch ohne Klimamodell-Output hilfreich sein**

klimaorientierte und gesellschaftliche Entwicklungen wurden parallel entwickelt und später verbunden

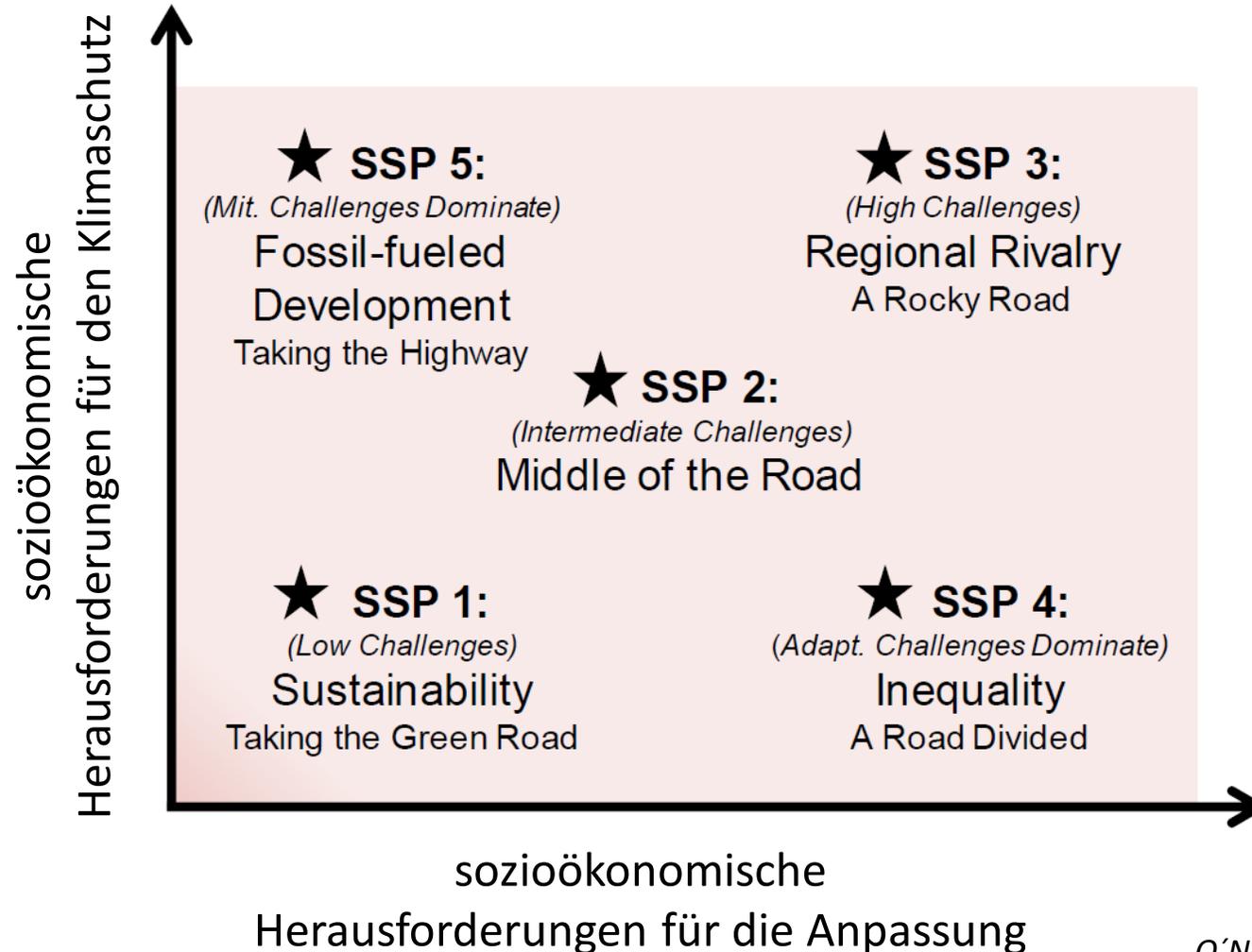
RCP Szenarien



fett:
RCP Marker-Szenarien

relativ
optimistische
Trends

allgem. Entwicklung;
Bildung,
Gesundheit,
effektive Institutionen,
...

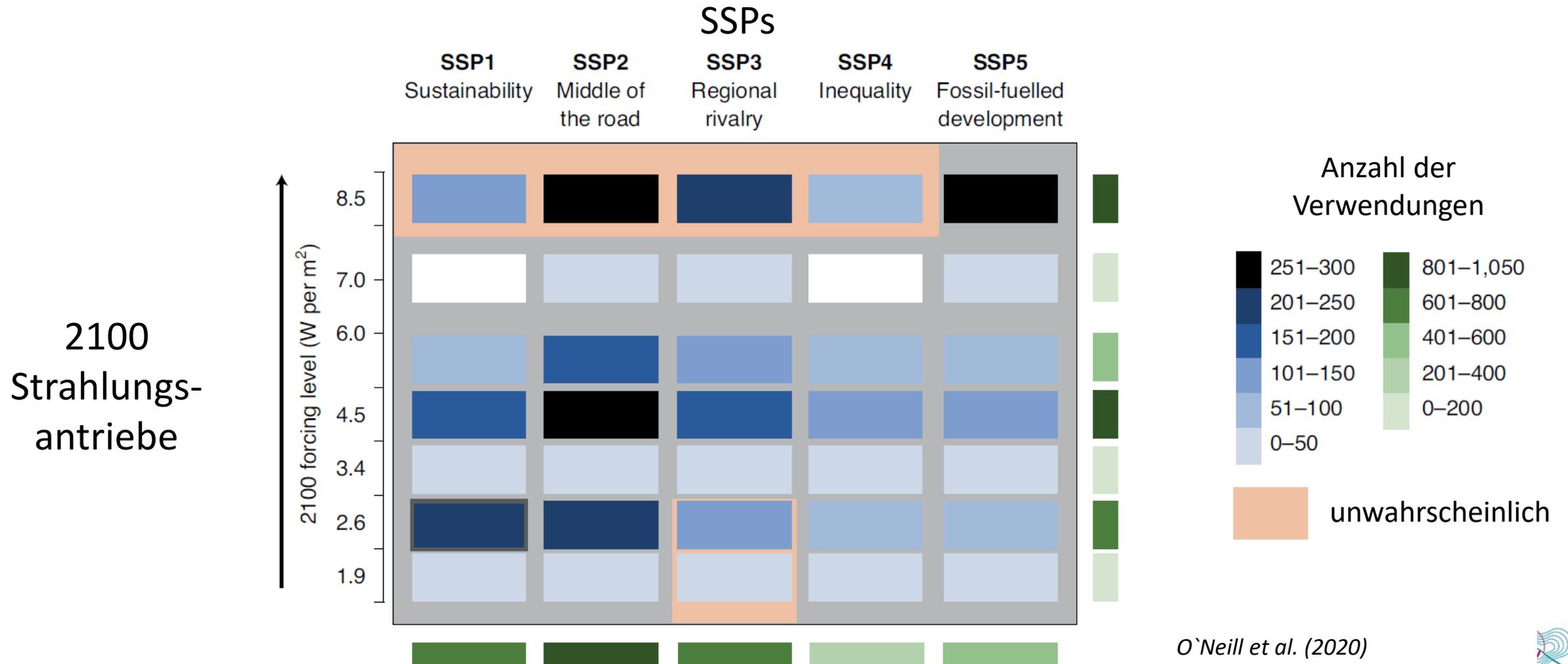


mehr
pessimistische
Trends

· soziale Entwicklung;
stark ansteigende
Bevölkerung,
ansteigende
Ungleichheit
...

O'Neill et al. (2014)

SSP-RCP Matrix



O'Neill et al. (2020)

(1.) Regions:

- World
- 5 Regions
 - OECD
 - Reforming Economies
 - Asia
 - Middle East and Africa
 - Latin America
- 32 Regions
- Countries

Regionen, Nationen

(2.) Model/Scenarios:

- Basic Elements
 - POP
 - IIAS/... populati
 - NC... ization
 - GDP
 - ... GDP
 - ... A GDP
 - ... K GDP
 - ... story

BSP, Bevölkerung ...

(2.) Model/Scenarios:

- MARKER
- SSP1 (IMAGE)
- SSP2 (SSAGE-G)
- SSP3 (SSAGE)
- SSP4 (CAM4)
- ... (REMIND-MA)
- ... baseline
- 6.0
- 4.5
- 3.4
- 2.5

Szenarien

(3.) Variable: data

- GDP
 - PPP
- Population
 - Total
 - Ma'
 - ...

prinzip. Variablen

(3.) Variable: data

- GDP
- Population
- Energy
- Land Cover
- Emission (monized)
- Emission (monized)
- Clim...
- A... Indicators
- ... Indicators
- Technological Indicators

abgel. Variablen



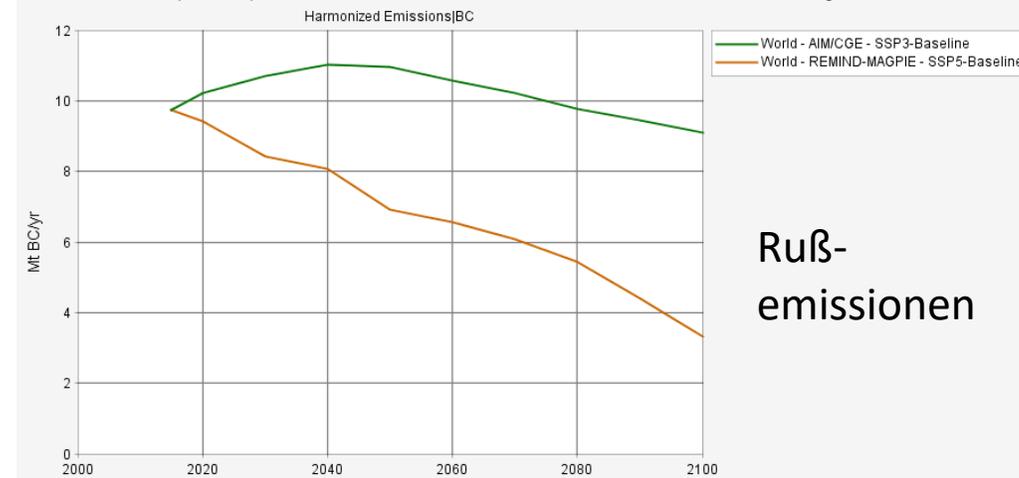
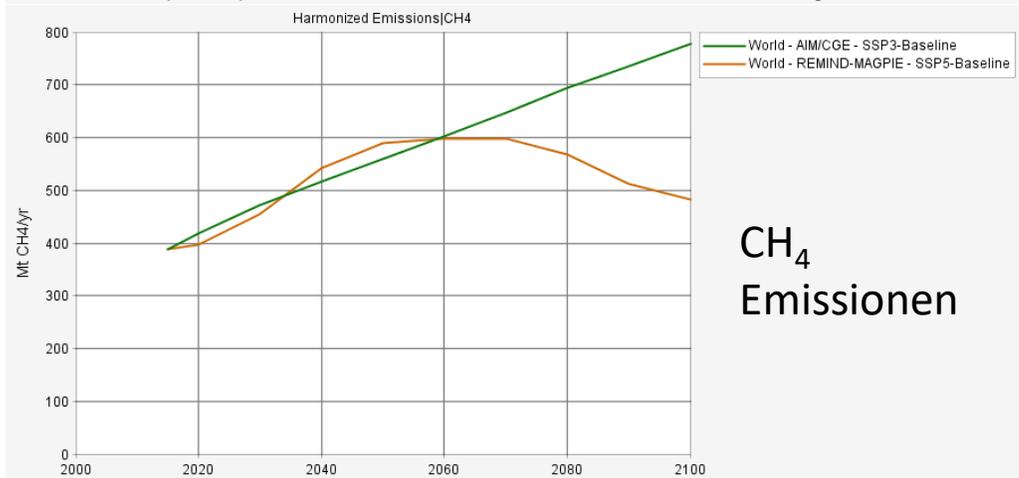
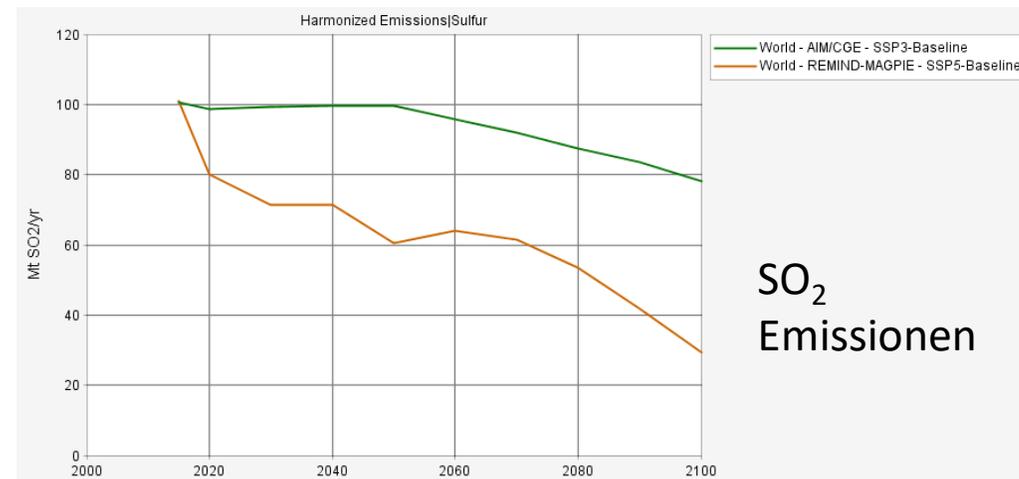
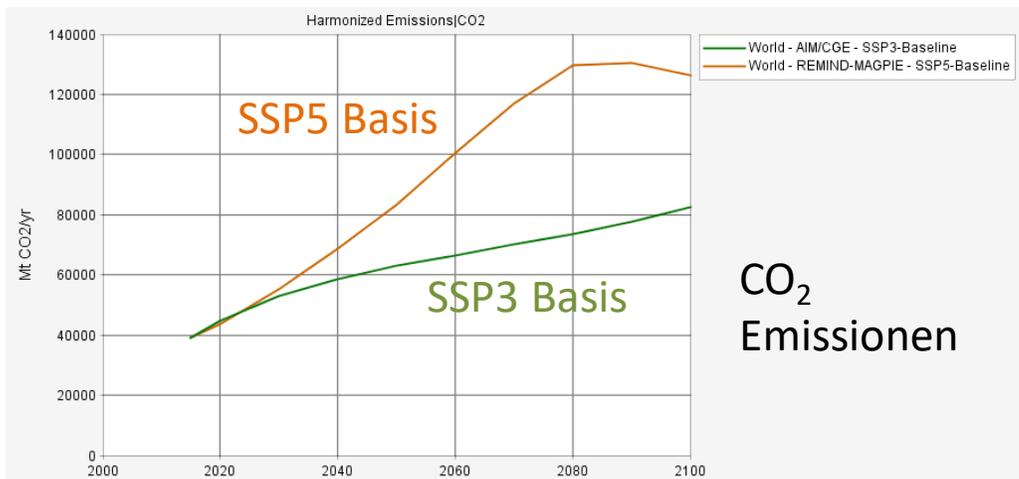
dsd-2.png



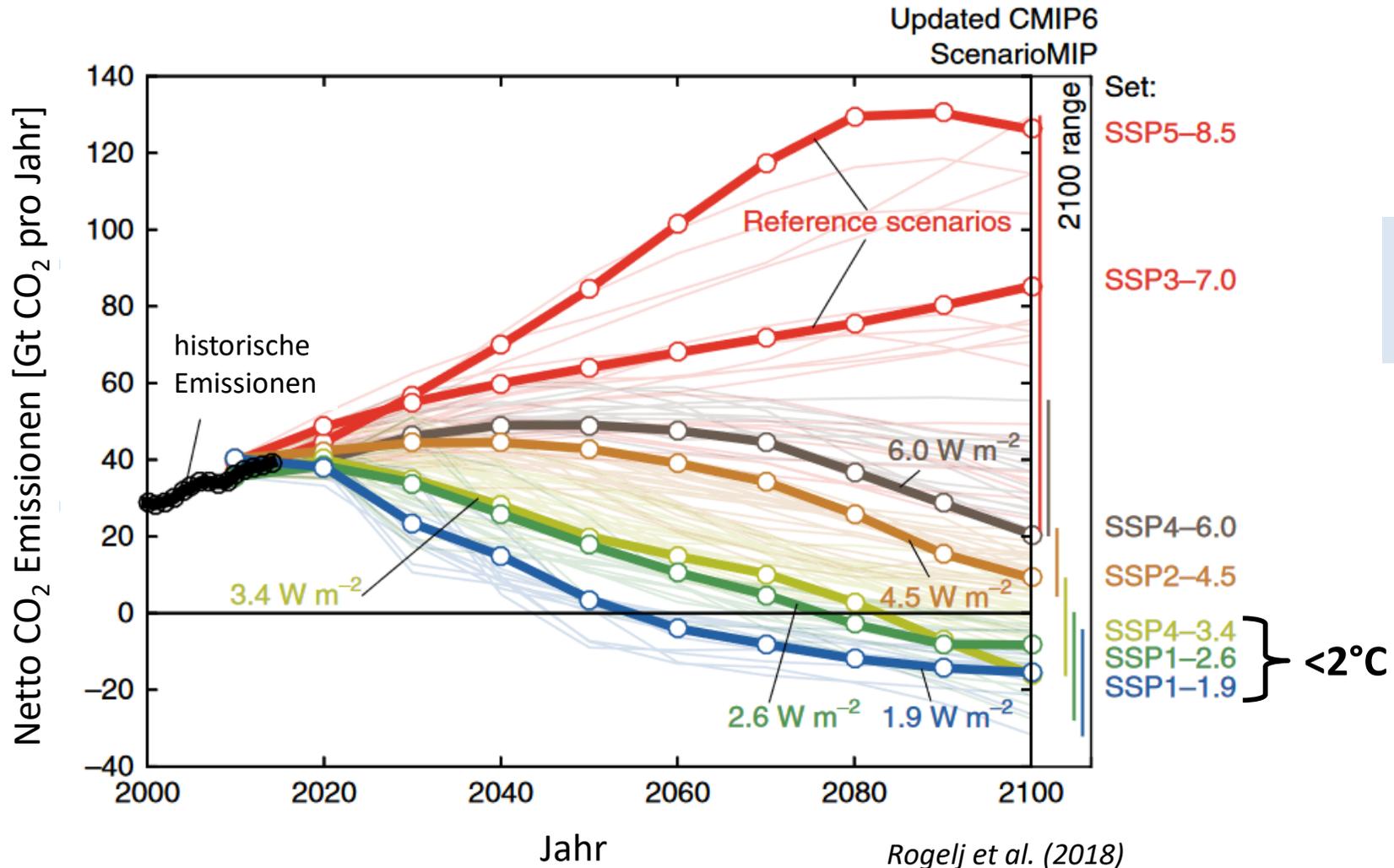
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

Aus SSP Databasis Beispiel

EXZELLENZCLUSTER
CLIMATE, CLIMATIC CHANGE,
AND SOCIETY (CLICCS)



SSPs für CMIP6 (AR6)



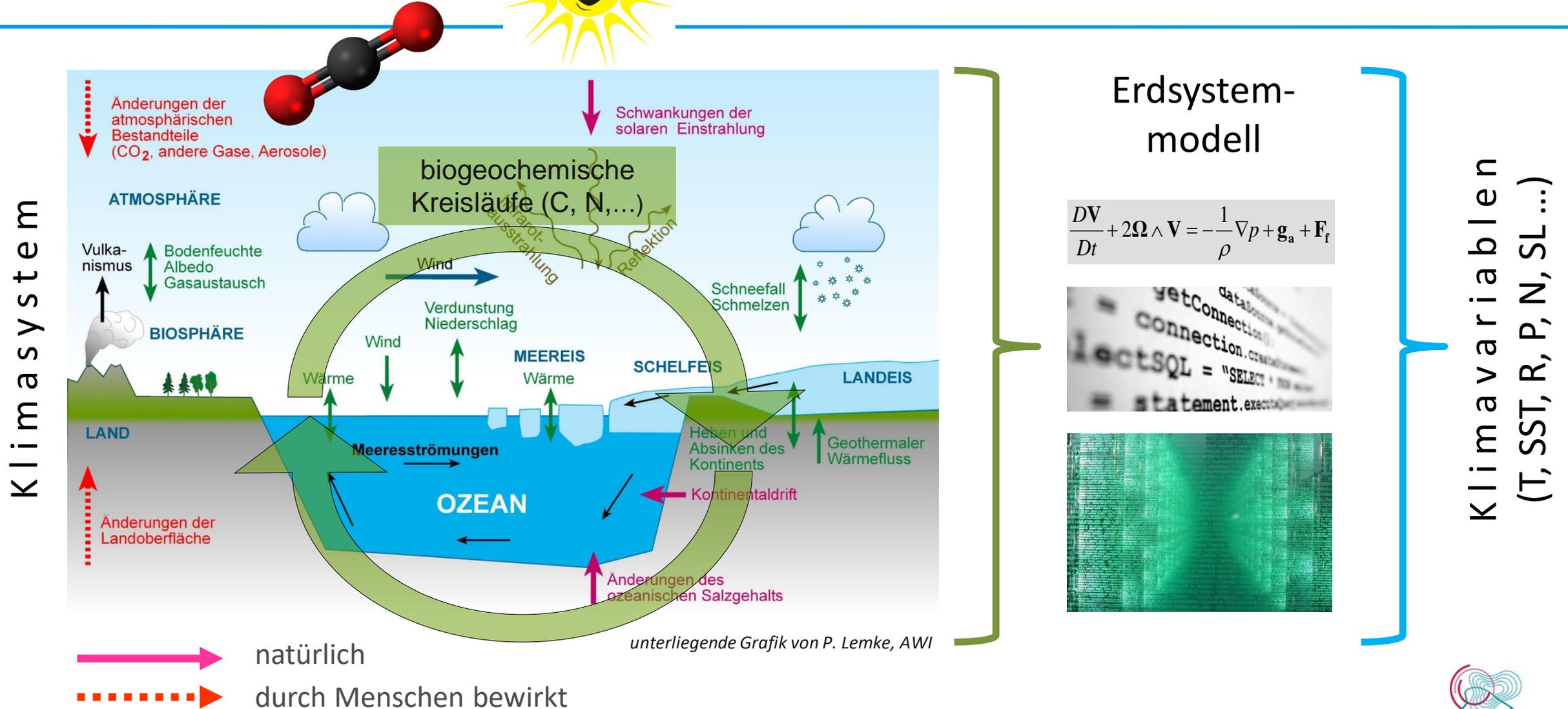
“no-climate-policy baseline” Szenarien

Klimaschutzszenarien

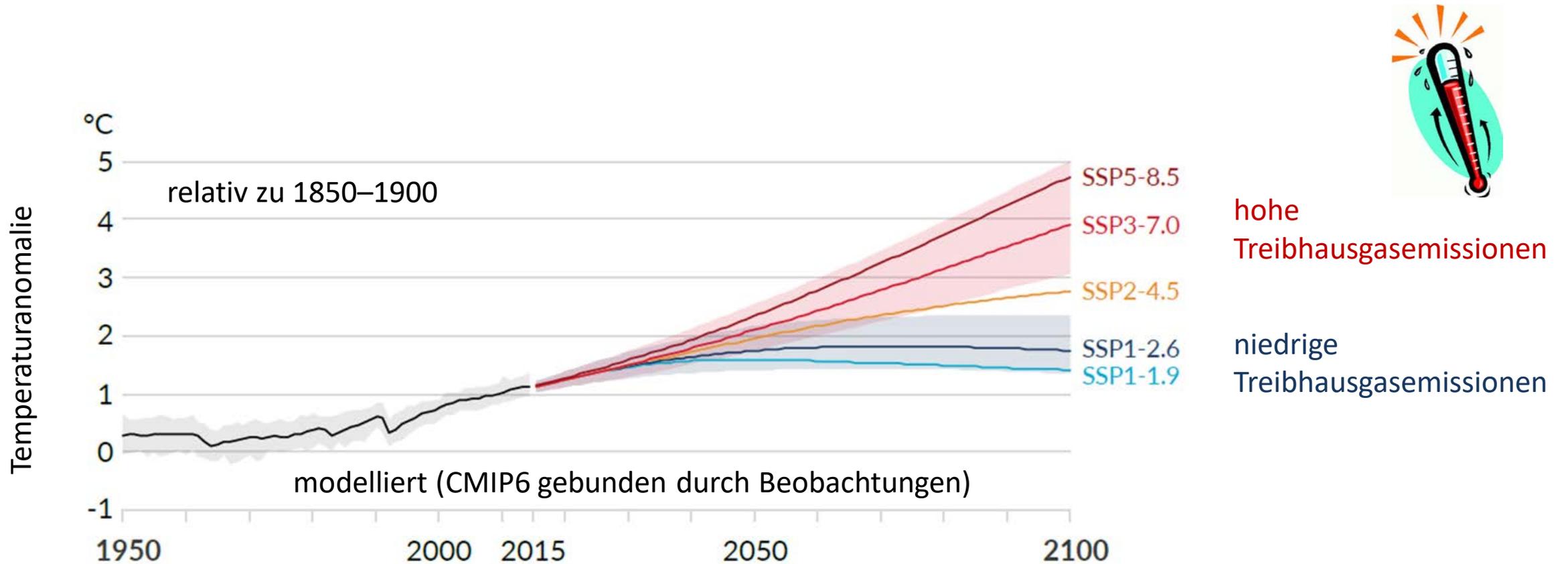
- ▶ IPCC hat die Politik, den Szenarien keine Eintrittswahrscheinlichkeiten zuzuordnen
- ▶ der “Hamburg Climate Futures Outlook” hat jetzt Plausibilitätsbetrachtungen gewagt
- ▶ demnach scheiden die Szenarien SSP1-1.9 und SSP5-8.5 derzeit als nicht plausibel aus
- ▶ der derzeit plausible Temperaturbereich engt sich auf 1,7°C - 4,9 °C ein



Von Antrieben zu Klimavariablen



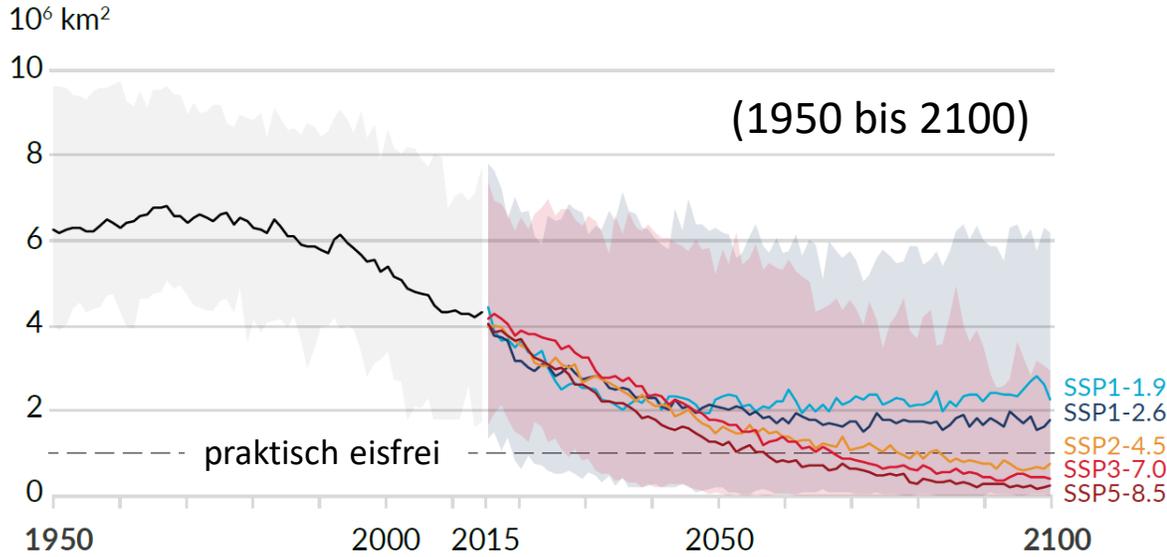
Anstieg der globalen Mitteltemperatur (1950 bis 2100)



IPCC AR6 WGI (2021)

Veränderung des arkt. Meereises und des Meeresspiegels

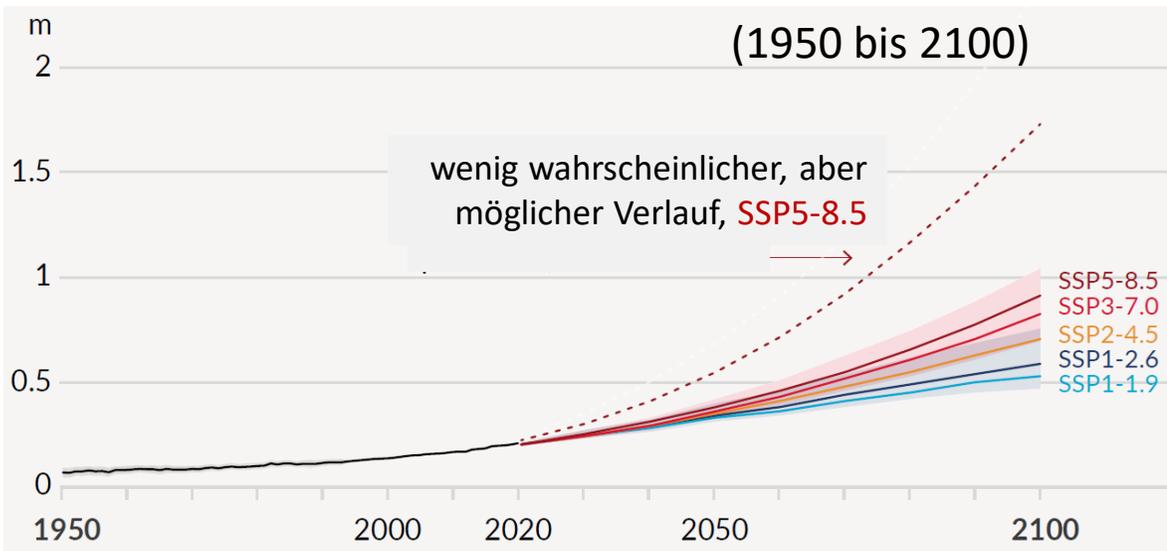
Arktische Sept. Meereisfläche



niedrige
Treibhausgasemissionen

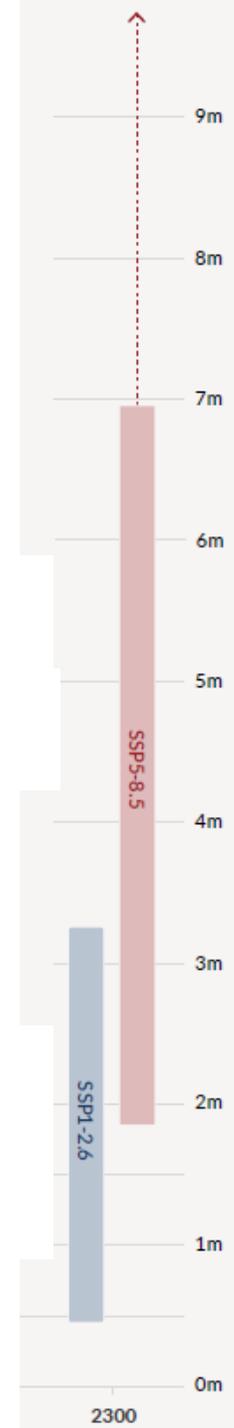
hohe
Treibhausgasemissionen

Globaler Meeresspiegel



hohe
Treibhausgasemissionen

niedrige
Treibhausgasemissionen



EXZELLENZCLUSTER
 CLIMATE, CLIMATIC CHANGE,
 AND SOCIETY (CLICCS)

Globaler Meeresspiegel 2300

hohe
Treibhausgasemissionen

niedrige
Treibhausgasemissionen

Häufigkeit und Intensität von Eintages-Starkregenereignissen

(bezogen auf solche, die einmal in 10 Jahren im Klima ohne anthropogenen Einfluss auftraten)

heute

zukünftige Erwärmung

1,0°C

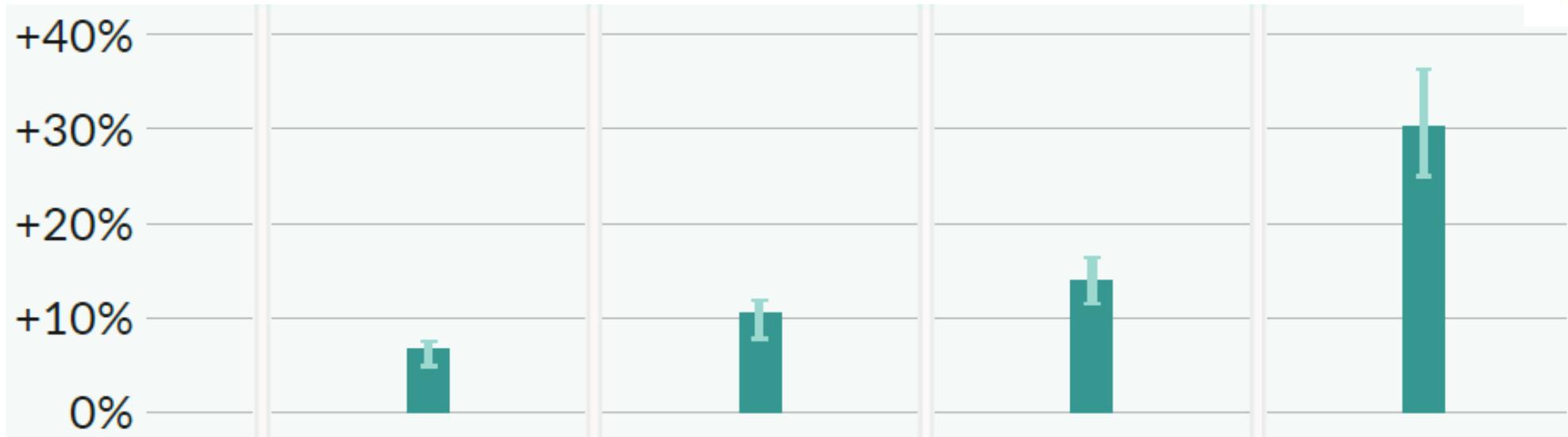
1,5°C

2,0°C

4,0°C



Intensität



6,7%
nasser

10,5%
nasser

14,0%
nasser

30,2%
nasser

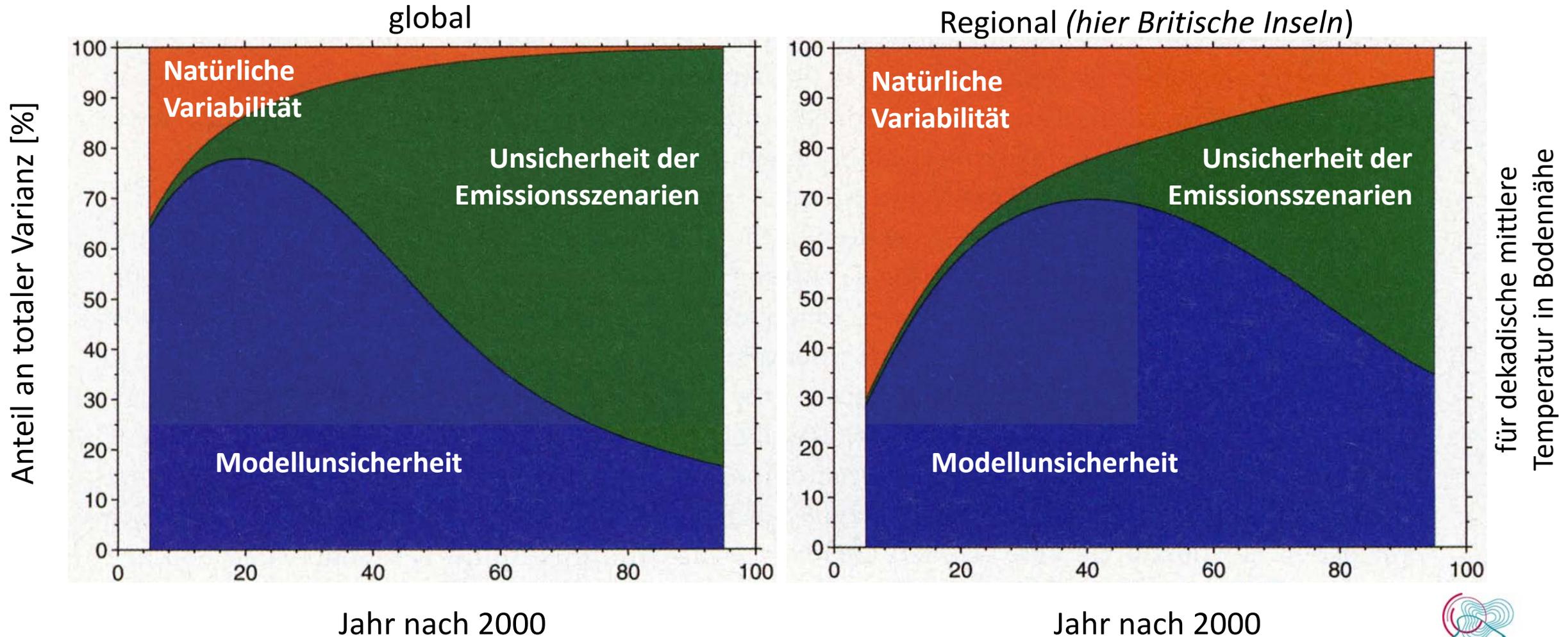
1,3 mal
häufiger

1,5 mal
häufiger

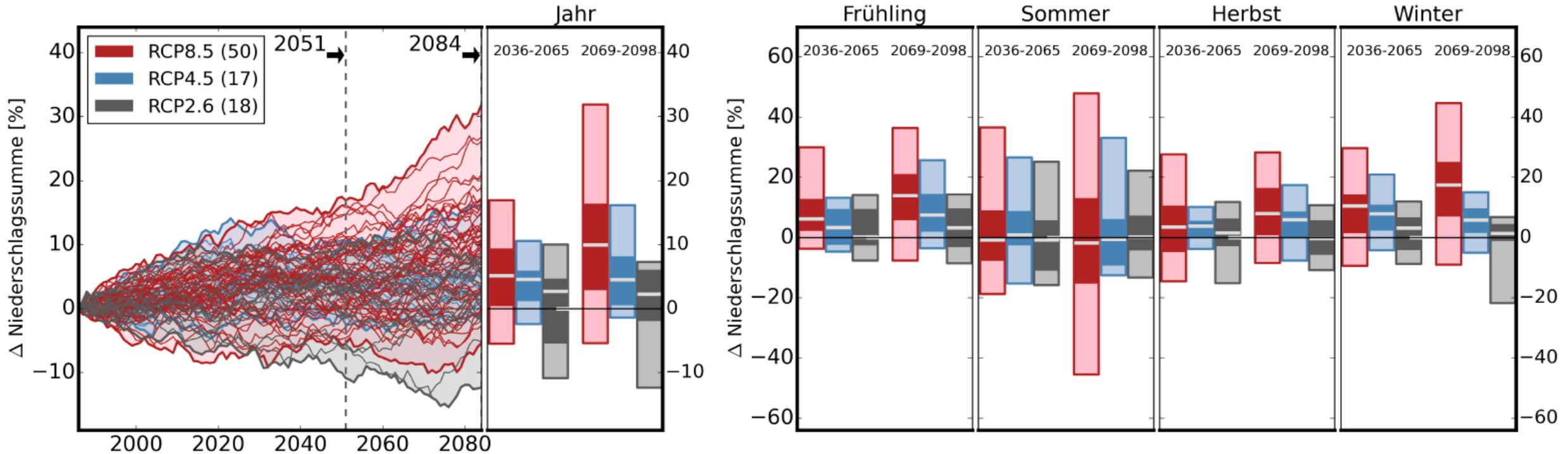
1,7 mal
häufiger

2,7 mal
häufiger

Relative Anteile an Unsicherheiten



Niederschlagsprojektionen für Hamburg

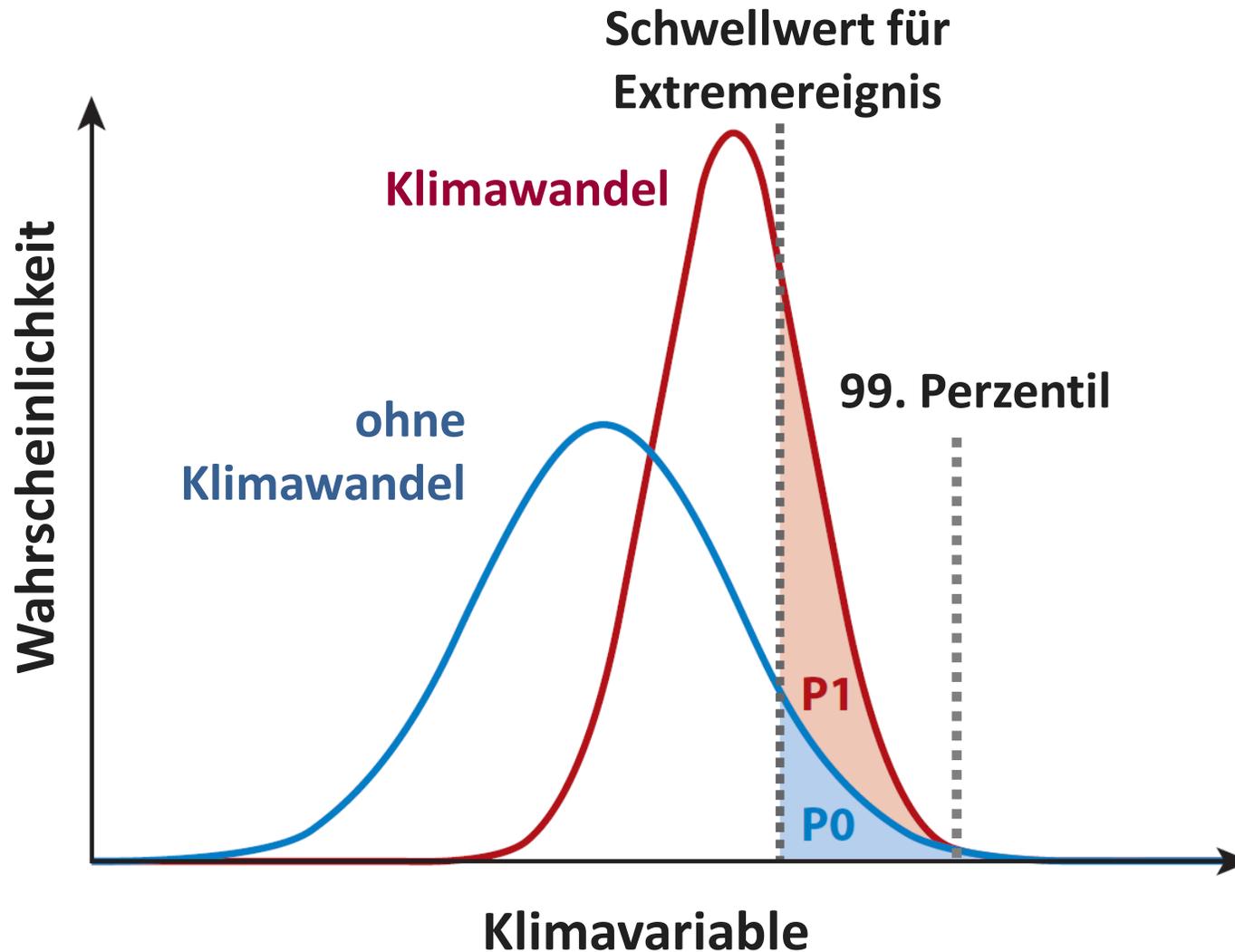


Referenzperiode 1971 - 2000

Pfeifer et al. (2021)

Veränderte Häufigkeitsverteilung

– Mittelwert verschoben plus geänderte Variabilität



Änderungen durch Klimawandel

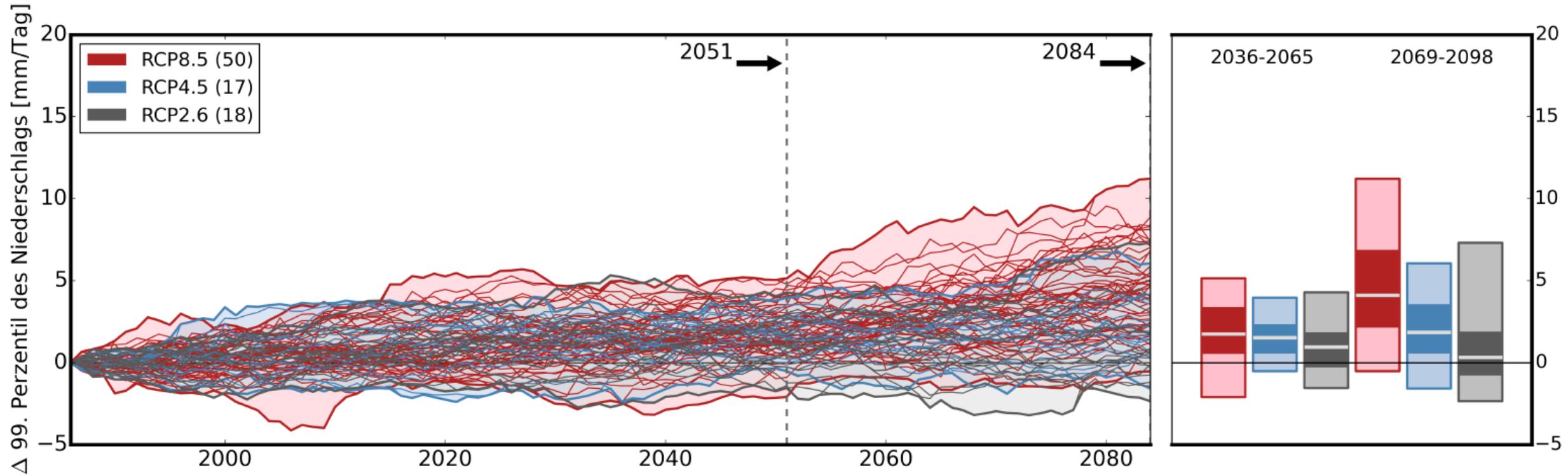
thermodynamisch:

- mehr Energie im System
- höhere Temperaturen
- mehr Wasserdampf in der Luft
- größere Niederschlagsmengen möglich

dynamische Folgen:

- regionale Zirkulationsänderungen
→ stärkere Temperaturgegensätze

Starkniederschlagsprojektionen für Hamburg (99. Perzentil)



Referenzperiode 1971 - 2000

CRCM5-LE
 (Kanadisches Klimamodell)

Jahreszeiten

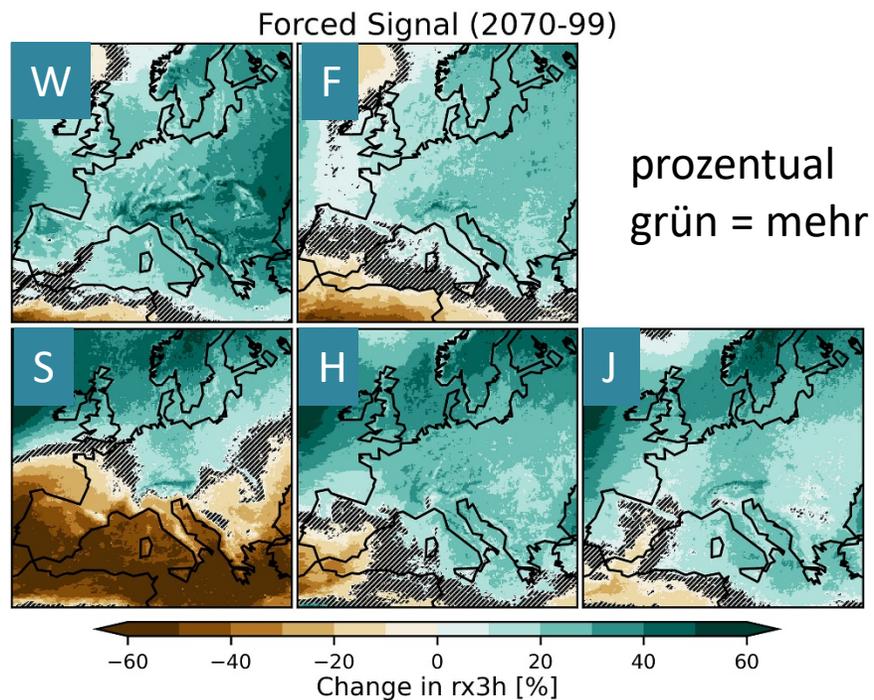
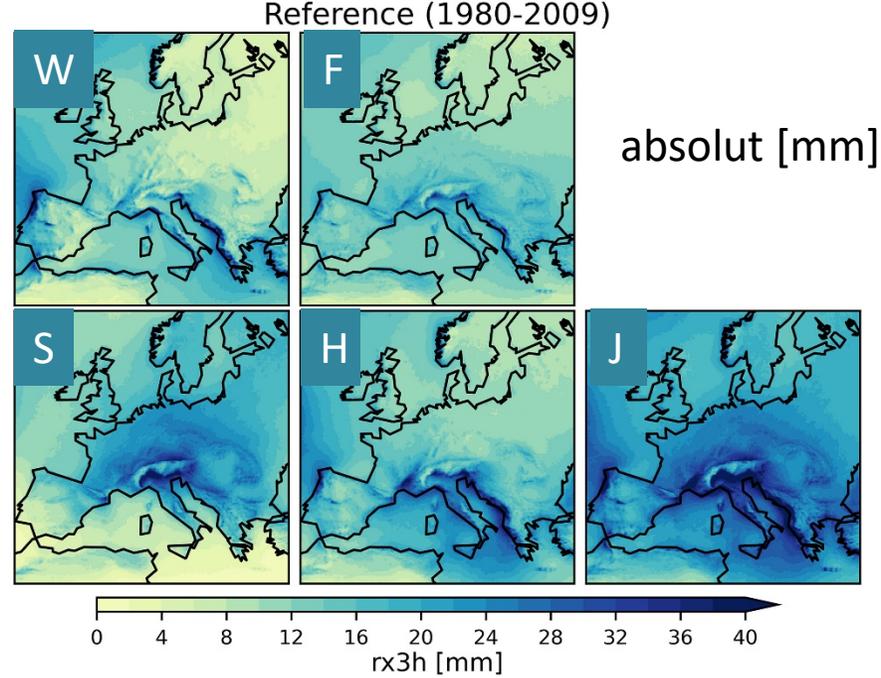
50 Ensemble-Mitglieder
 12 km Auflösung

mittlerer
 3-stündiger maximaler
 Niederschlag

RCP8.5

Jahreszeiten

Wood & Ludwig (2020)



Regionalisierung HAPPI

“Muttermodell” NorESM
 25 Ensemblemitglieder

Änderung des jährlichen
 Maximums der
**5-Tagessumme des
 Niederschlags**
(RX5day)
 Im Vergleich zu heute

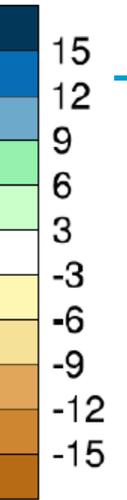
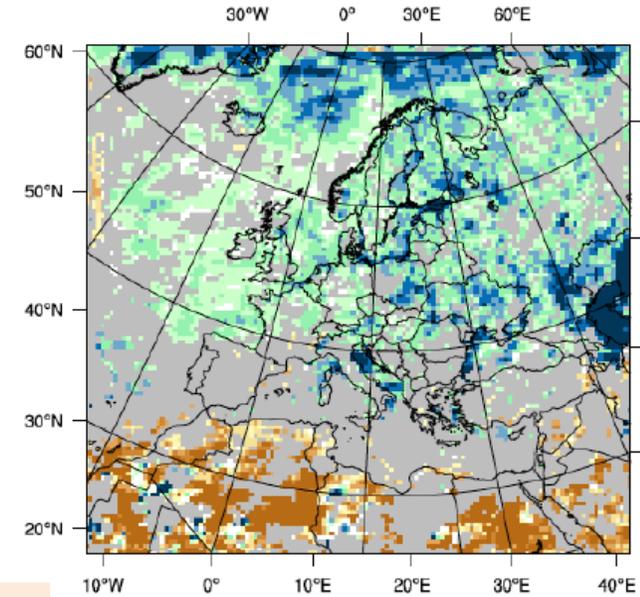
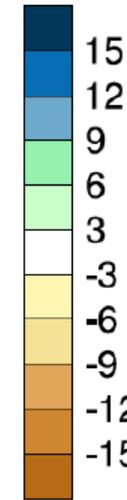
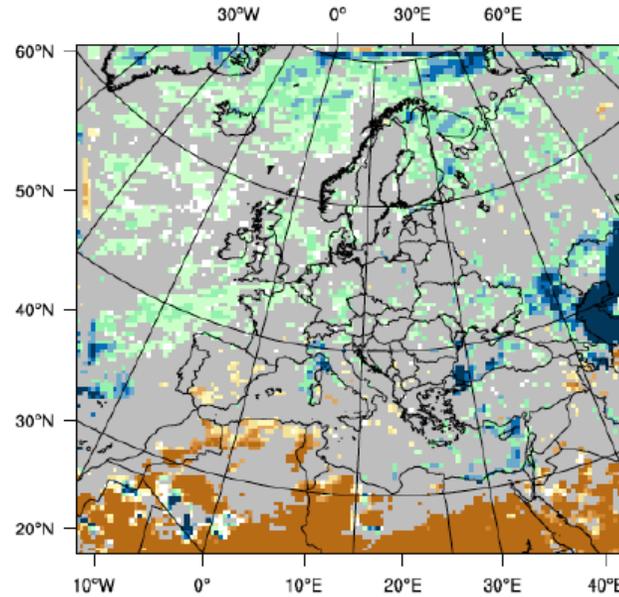
“Muttermodell” ECHAM6
 100 Ensemblemitglieder

Sieck et al. (2021) basiert auf RCP2.6

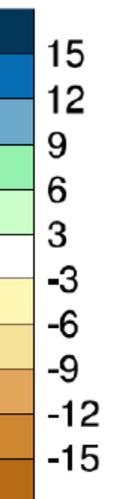
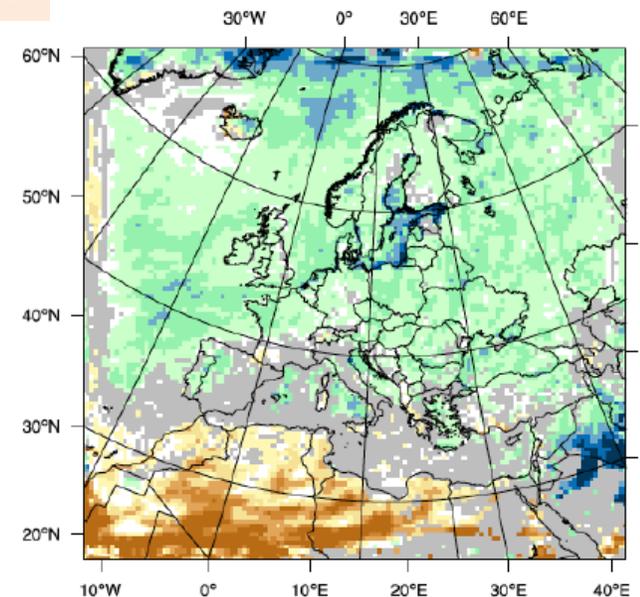
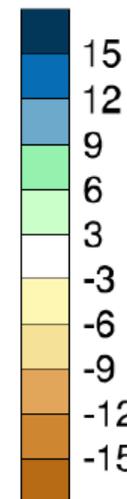
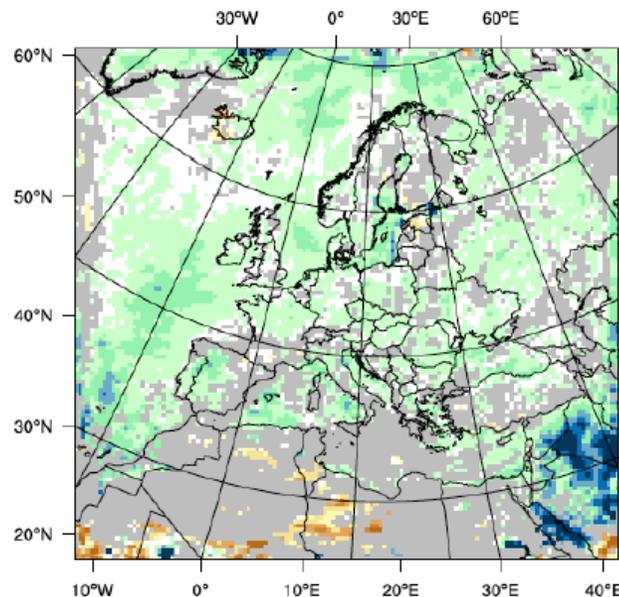
1.5°C Welt

in %

2.0°C Welt



10 km REMO



“Muttermodell” NorESM
 25 Ensemblemitglieder

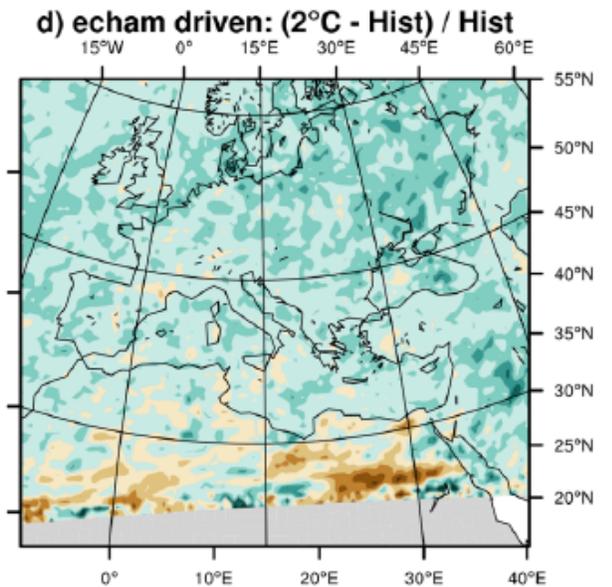
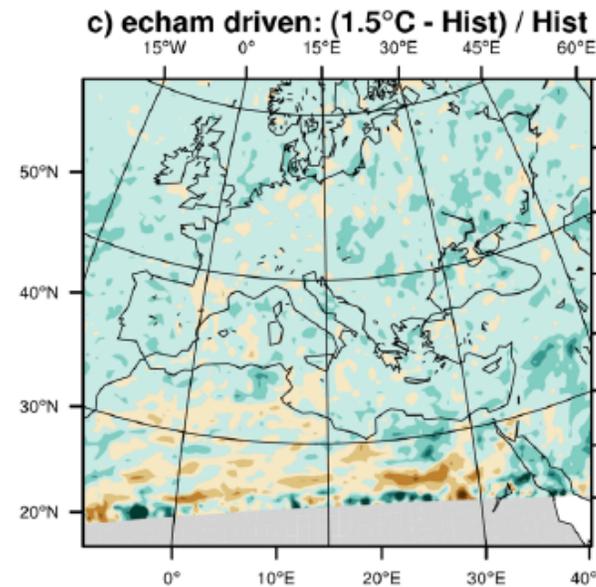
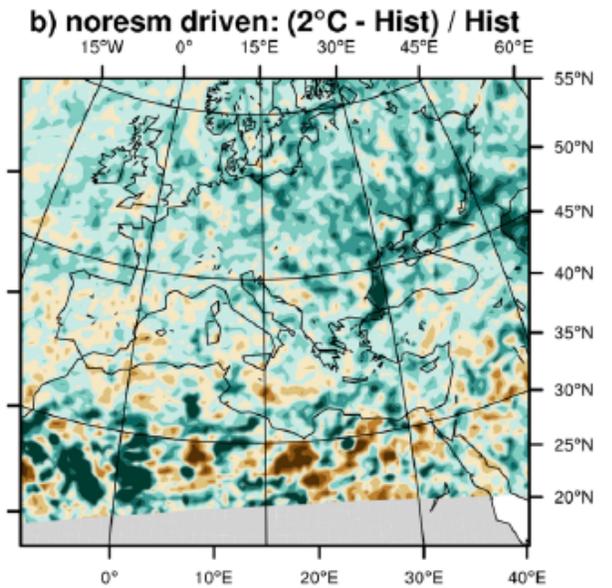
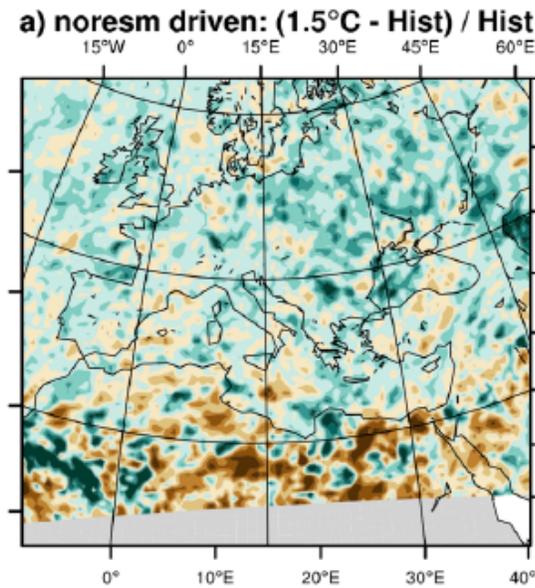
Regionalisierung HAPPI

Änderung der Intensität von
50 jährigen
Niederschlagsereignissen
(RI50yr)
 im Vergleich zu heute

10 km REMO

basiert auf
 RCP2.6

“Muttermodell” ECHAM6
 100 Ensemblemitglieder



1.5°C Welt

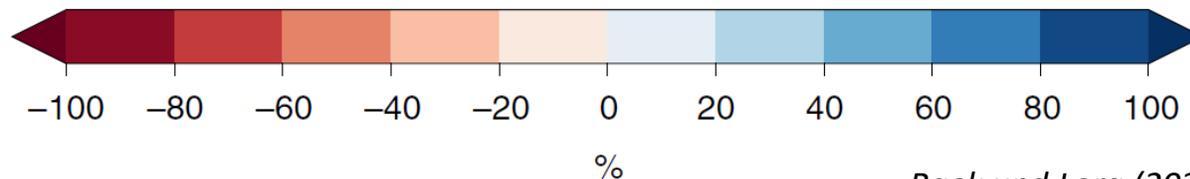
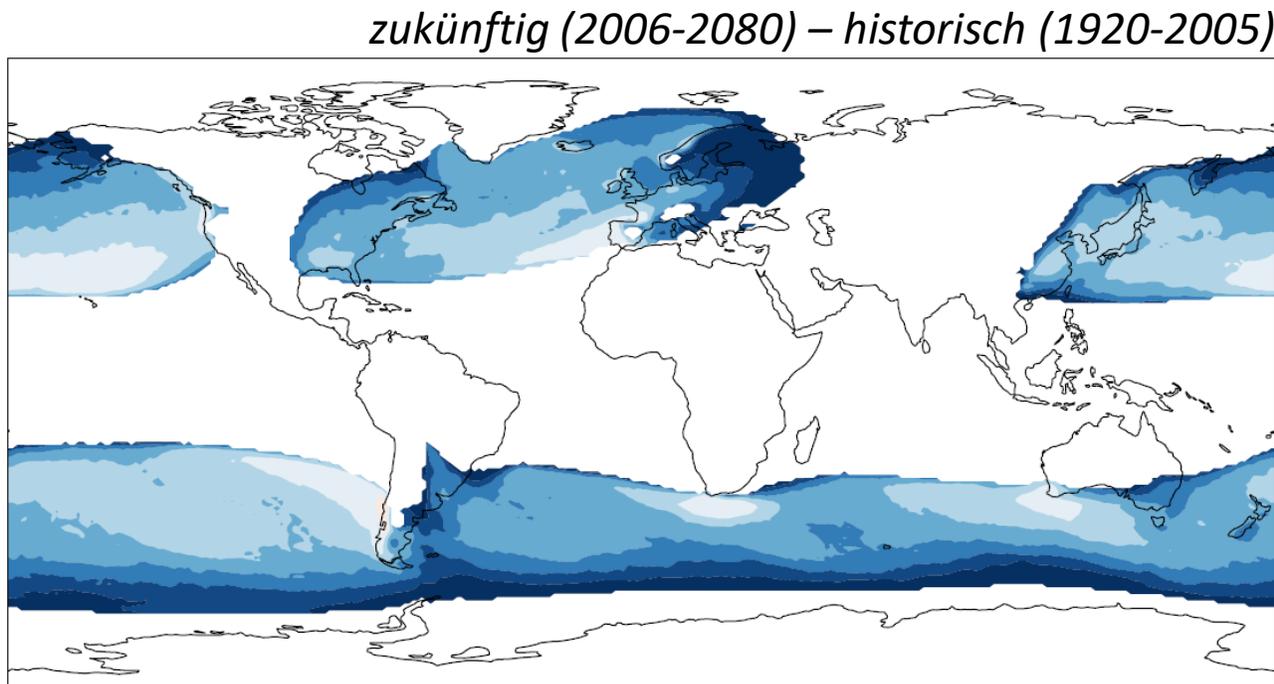


2.0°C Welt

Percent

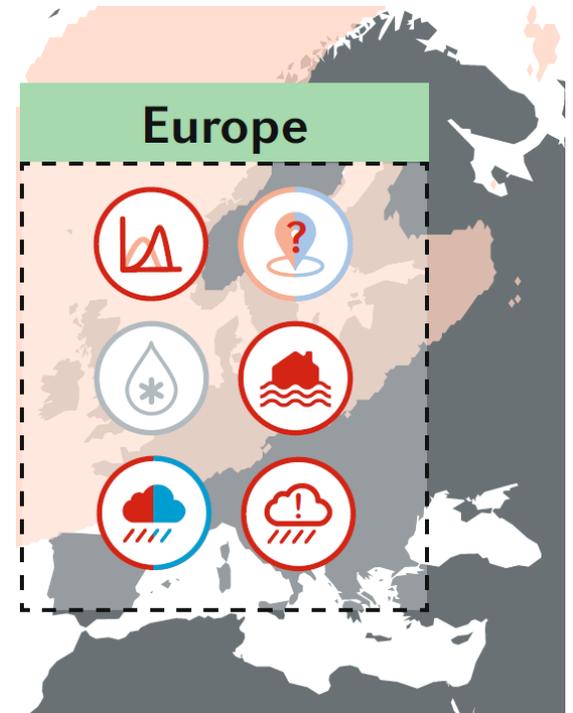
Veränderungen bei Erwärmung sind noch nicht umfassend genug erforscht
 → aber Potenzial für Starkregen

Prozentuale Veränderung
 des extremen AF Niederschlags
 [99 Perzentil des AF 1920-2005]



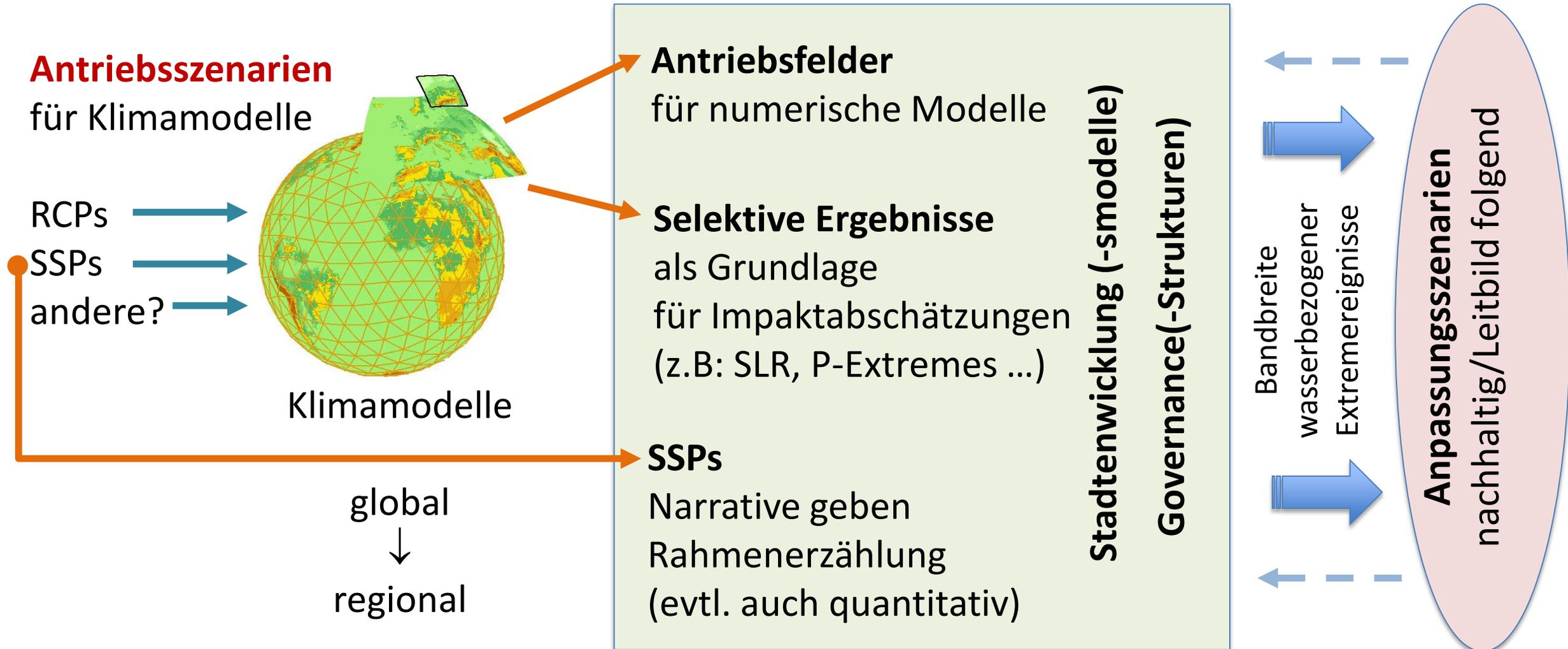
RCP8.5

Baek und Lora (2021)



aus Payne et al. (2020)

rot: mehr
 blau: weniger



Szenarien

- systematische Szenarienplanung hilft uns in Zukünften zu denken
- Szenarien spannen den Möglichkeitsraum für die projizierende Klimaforschung auf
- physikalische Aspekte + sozioökonomischen Erzählungen → neue SSPX-Y Szenarien
- nicht alle verfügbaren Szenarien sind plausibel

Anpassung

- szenarienbasierte Klimaprojektionen → Orientierungsrahmen / „Leitplanken“
- auch in einer 1,5 oder 2 Grad-Welt ist Anpassung angesagt
- ! Anpassung auf jeden Fall erforderlich, insb. im Wasserbereich ← Klimaschutz hilft !



Anpassungsszenarien werden in weiteren Beiträgen der Ringvorlesung adressiert

Vielen Dank für Ihr Interesse !

Funded by:

DFG

Deutsche
Forschungsgemeinschaft
German Research Foundation

- Baek, S.H., und Lora, J.M., 2021: Counterbalancing influences of aerosols and greenhouse gases on atmospheric rivers. Nature Climate Change. available online
- Bell, 1976: The Cultural Contradictions of Capitalism. Basic Books, New York.
- Feng, L., Smith, S. J., Braun, C., Crippa, M., Gidden, M. J., Hoesly, R., Klimont, Z., van Marle, M., van den Berg, M., and van der Werf, G. R., 2020: The generation of gridded emissions data for CMIP6, Geosci. Model Dev., 13, 461–482,.
- Fuss, S., Canadell, J.G., Peters, G.P., Tavoni, M., Andrew, R.M., Ciais, Ph., et al. 2014: Betting on negative emissions. In Nature Climate change 4 (10), pp. 850–853.
- IPCC AR6 WGI, 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, Cambridge University Press. In Press.
- Hawkins, E. und Sutton, R. T., 2009: The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions. Bulletin of the American Meteorological Society, 90 (8). pp. 1095-1107.
- Kahn, H., 1979: Die Zukunft der Welt, 1980 - 2000. Molden, Wien-München-Zürich-New York. 524pp.
- Kahn, H., und Wiener, A. J., 1967: The year 2000: A framework for speculation on the next thirty-three years. Macmillan, New York.
- Kosow, H., und Gaßner, R., 2008: Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse: Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien, Werkstattbericht Nr. 103, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin.
- E. Kriegler, J. Edmonds, S. Hallegatte, K.L. Ebi, T. Kram, K. Riahi, H. Winkler, D.P. van Vuuren, 2014: A new scenario framework for climate change research: the concept of shared climate policy assumptions Clim. Change, 122, pp. 401-414

- Manabe, S. und R. T. Wetherald, 1975: The Effects of Doubling the CO₂ Concentration on the climate of a General Circulation Model. *J. Atmos. Sci.*, 32, 3–15.
- Manabe, S. und Stouffer, R.J. 1980. Sensitivity of global model to an increase of CO₂ concentration in the atmosphere. *J. Geophys. Res.* 85(C10), 5529-5554.
- Martelli, A., 2014: *Models of Scenario Building and Planning - Facing Uncertainty and Complexity*. Palgrave Macmillan, London, 315pp.
- Meadows, D., D. Meadows, J. Randers, W.W. Behrens III, 1972: *The Limits to Growth*. A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. Universe Books, New York.
- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard Ka, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T, Meehl GA, Mitchell JFB, Nakicenovic N, Riahi K, Smith SJ, Stouffer RJ, Thomson AM, Weyant JP, Wilbanks TJ, 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463:747–756.
- Nakićenović, N., Lempert, R.J., Janetos A., 2014: A framework for the development of new socio-economic scenarios for climate change research: Introductory essay. *Climatic Change* 122:351–361.
- O'Neill, B. et al., 2014: A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change* 122, 387–400.
- O'Neill, B.C., Carter, T.R., Ebi, K. et al., 2020: Achievements and needs for the climate change scenario framework. *Nat. Clim. Change, online* 25 Nov. 2020
- Payne, A.E., Demory, ME., Leung, L.R. et al. Responses and impacts of atmospheric rivers to climate change. *Nat Rev Earth Environ* 1, 143–157

Pfeifer S, Rechid D, Bathiany S: Klimaausblick Hamburg. Dezember 2020, Climate Service Center Germany (GERICS).

https://gerics.de/products_and_publications/fact_sheets/index.php.de

Quante, M., und Bjørnæs, C., 2016: Emission Scenarios for Climate Projections. In M. Quante and F. Colijn (eds.), North Sea Region Climate Change Assessment, Regional Climate Studies. Springer International Publishing, Cham; Switzerland, 515-524.

Rattcliffe, J., 2000: Scenario building: a suitable method for strategic property planning? Property Management, Vol. 18 No. 2, 127-144.

Riahi, K. et al., 2017: The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview. Glob. Environ. Change 42, 153–168.

Rogelj et al., 2018: Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 °C. Nat. Clim. Change, 8, 325–332.

Sieck, K., Nam, C., Bouwer, L. M., Rechid, D., and Jacob, D.: Weather extremes over Europe under 1.5 and 2.0 °C global warming from HAPPI regional climate ensemble simulations, Earth Syst. Dynam., 12, 457–468,

Wack, P. , 1985: Scenarios: Uncharted waters ahead, in: Harvard Business Review, Heft 5, S. 73-89

Wood, R. R., & Ludwig, R., 2020: Analyzing Internal Variability and Forced Response of Sub-daily and Daily Extreme Precipitation over Europe. Geophysical Research Letters, 47, e2020GL089300.