CLIMATE ENGINEERING

Risks, Challenges, Opportunities?

Bewertung von Modellqualität und Unsicherheiten aus Sicht der Klimamodellierung

Andreas Oschlies
GEOMAR & Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

GEOMAR

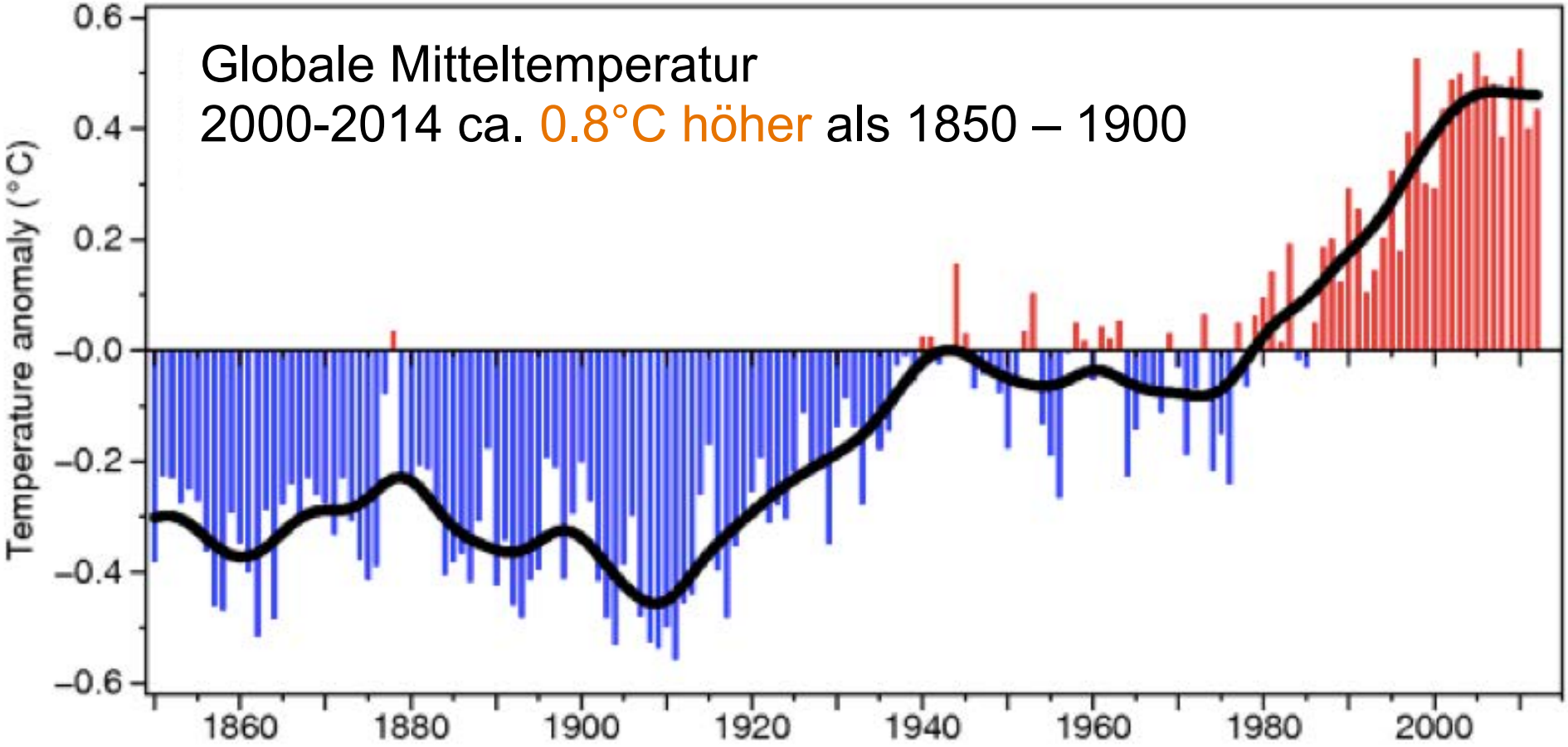
KIEL EARTH INSTITUTE
environment · society · economy

future ocean
KIEL MARINE SCIENCES

DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft

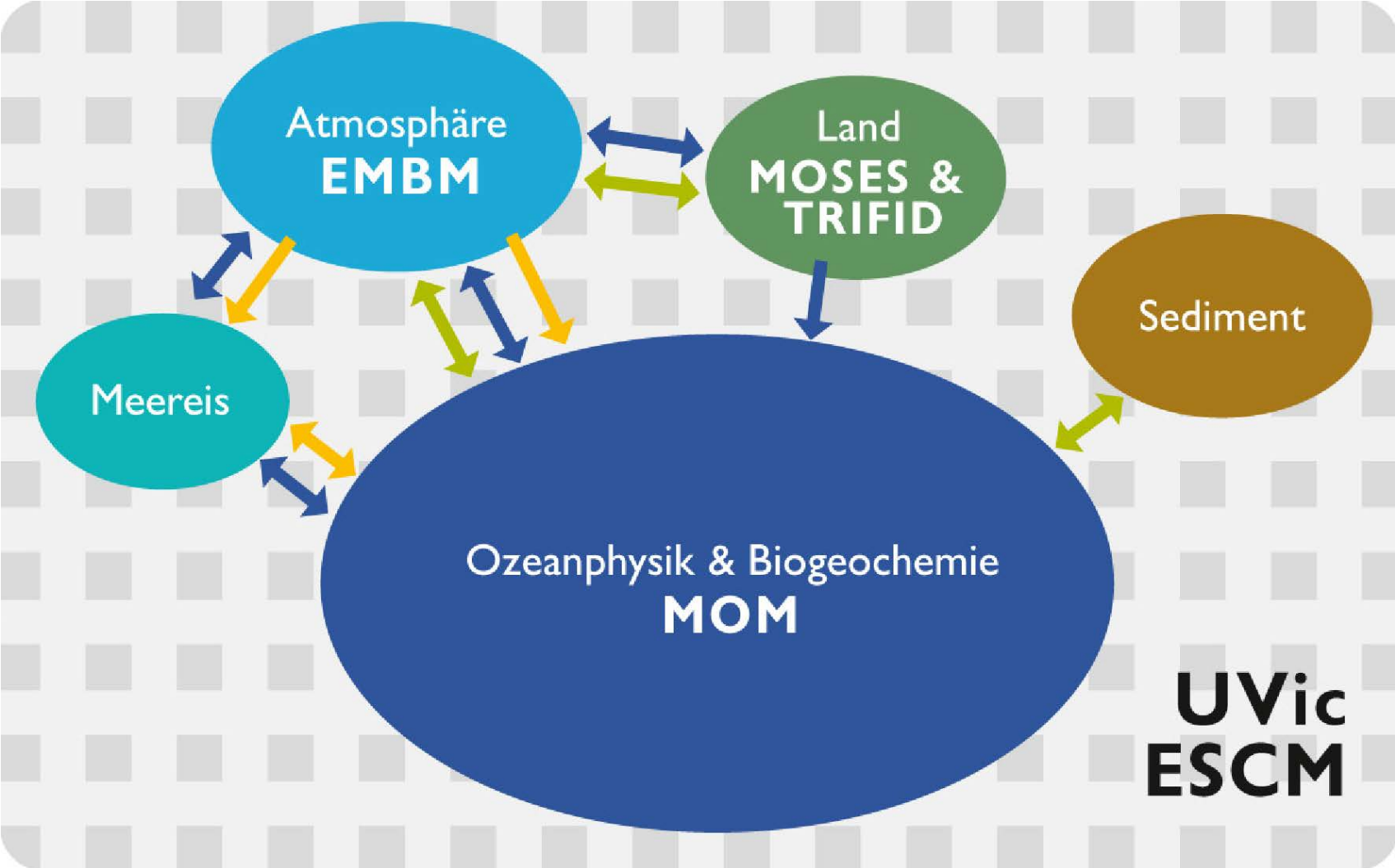
Bisher beobachtete Erwärmung

Globale Durchschnittstemperatur



(Phil Jones, HadCRUT3, 2014)

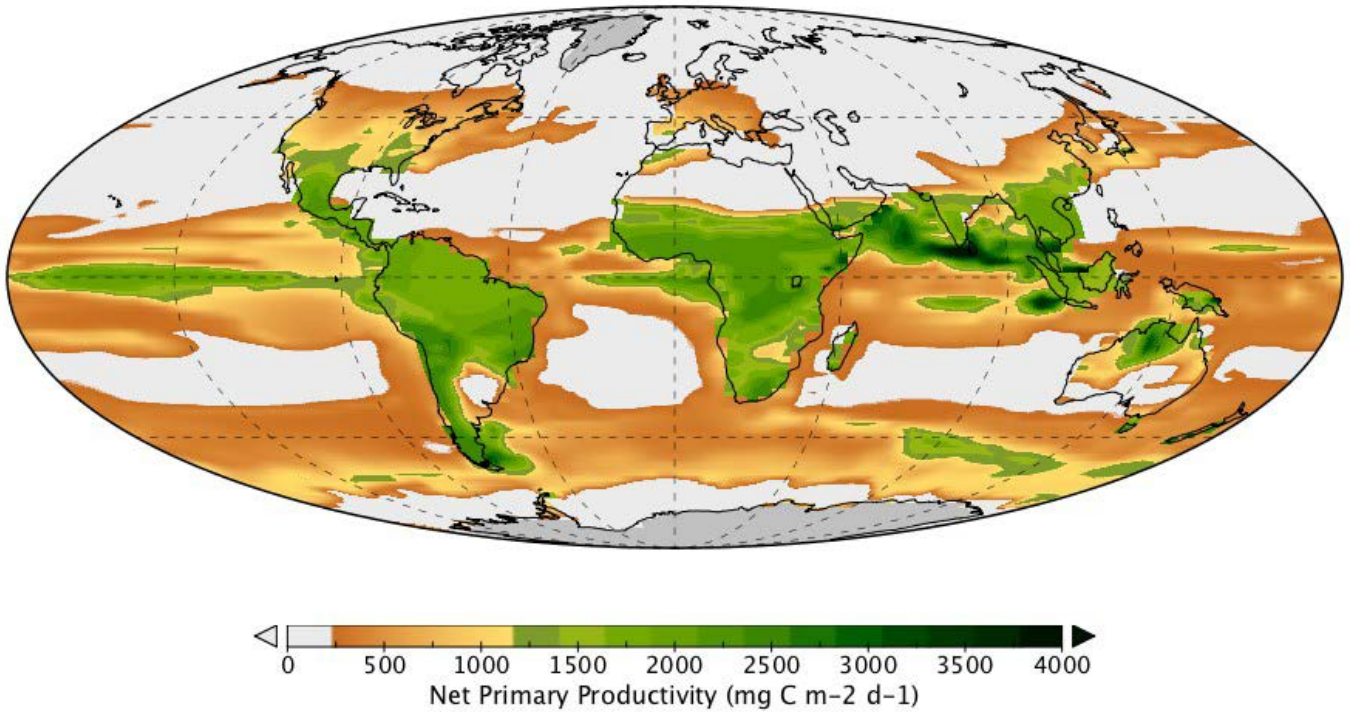
Was ist Erdsystemmodellierung?

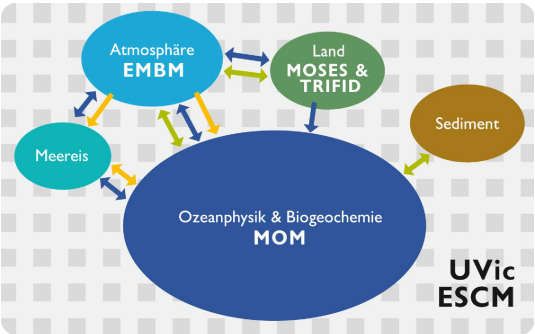


CLIMATE ENGINEERING
Risks, Challenges, Opportunities?

Was ist Erdsystemmodellierung?

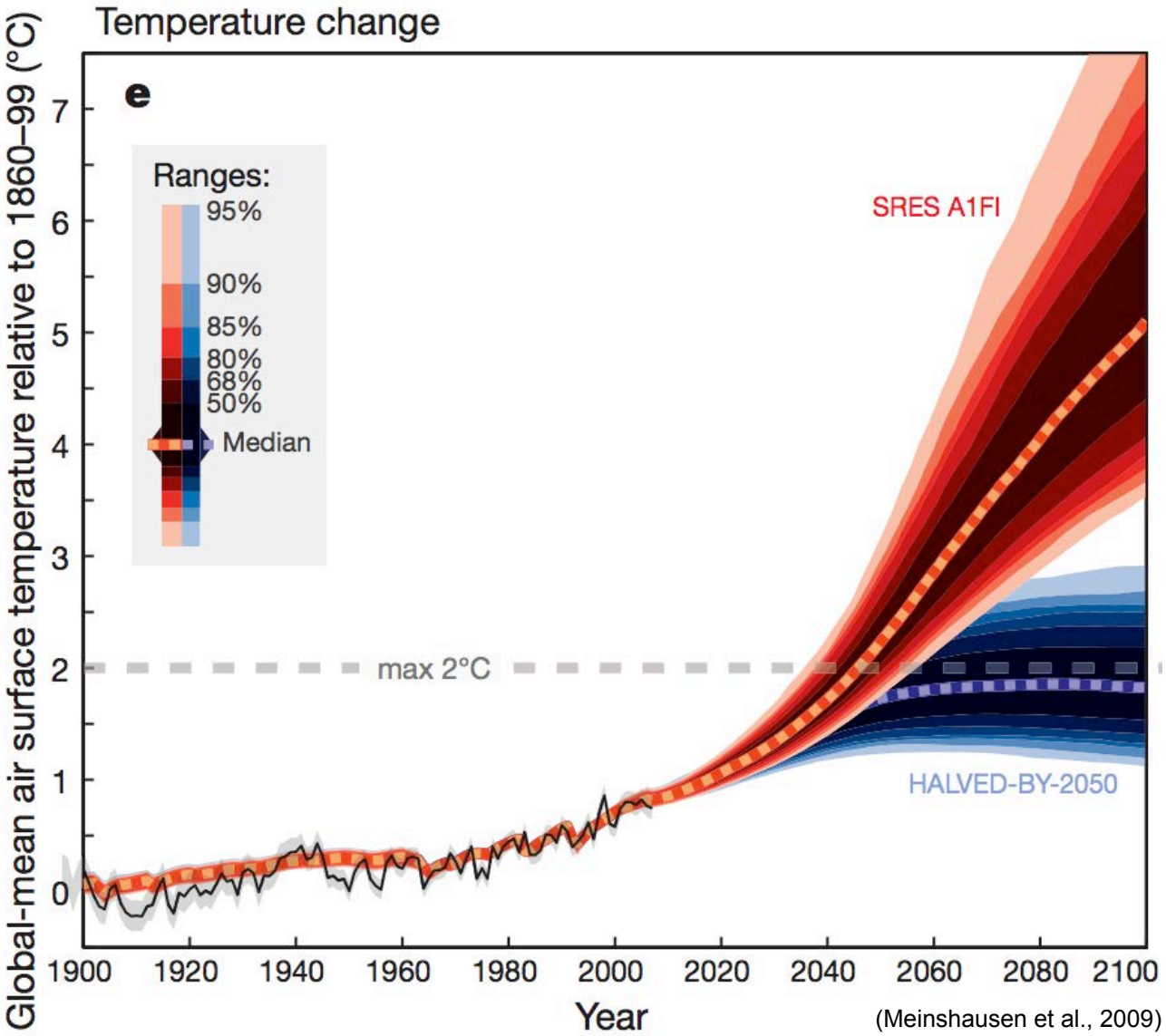
Modelle sind vereinfachtes Abbild der Realität.
Testen von Ideen, Inter- & Extrapolation von Beobachtungen





Die Zukunft?

CLIMATE ENGINEERING
Risks, Challenges, Opportunities?



(Meinshausen et al., 2009)

1. Weitermachen & Anpassen

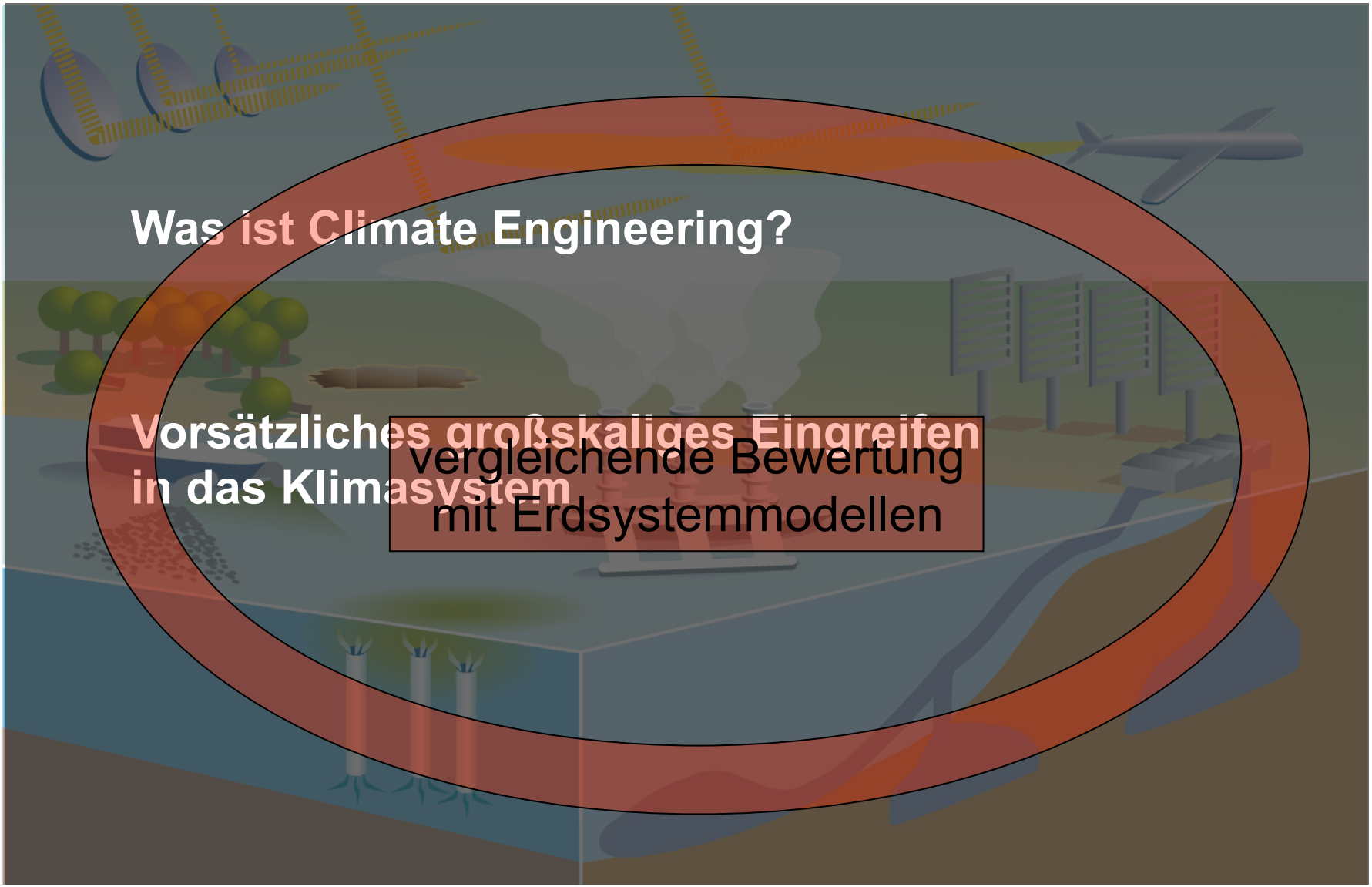
2. H der gl en CO Emissionen 2050

→ 50% Chance, das 2°- zu erreichen.

CLIMATE ENGINEERING
Risks, Challenges, Opportunities?

Dritte Option Climate Engineering???

Science Fiction???

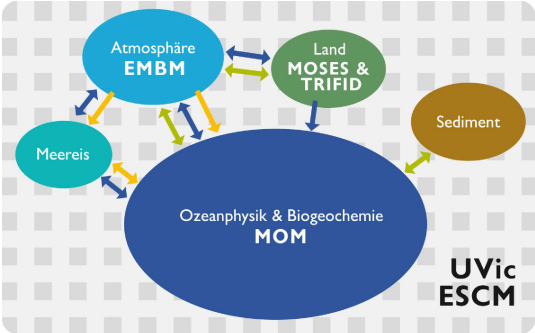


Was ist ein „gutes“ Modell?

Achtung: Modelle sind vereinfachtes Abbild der Realität!

Bewertungskriterien

1. adäquat (relevante Prozesse)
2. konsistent (z.B. Massenerhaltung)
3. Übereinstimmung mit Beobachtungen (Vergangenheit)



Wann ist ein Modell adäquat?

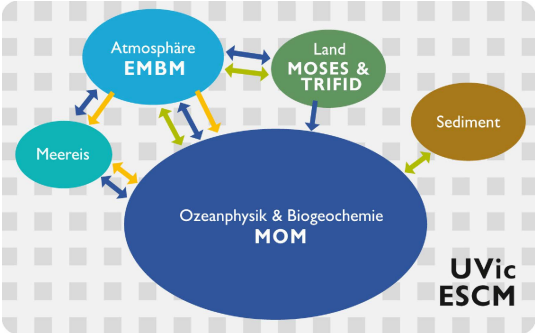
- Relevante Zustandsgrößen (Temperatur, Niederschlag, Algen, Pilze, Viren, DNA?)
- Relevante Prozesse (Jahreszeiten, CO_2-Emissionen, Photosynthese, Schallwellen?)

- i.a. nicht alle relevanten Prozesse bekannt
- häufig keine grundlegenden Gleichungen/Prinzipien bekannt
- adäquate numerische Realisierung?

Wann ist ein Modell konsistent?

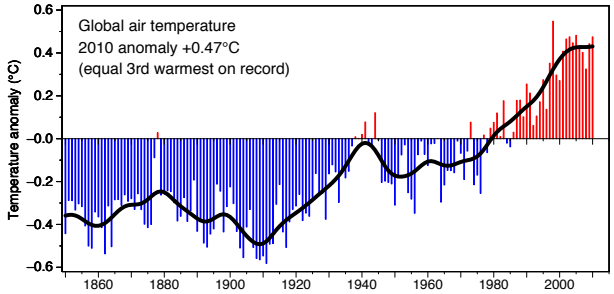
- Massenerhaltung (i.a. ja)
- Energieerhaltung (i.a. nein)
- Wenige Testfälle mit bekannten analytischen Lösungen (z.B. Wellen)

- Numerische Umsetzung: Ergebnisse reproduzierbar? Falsifizierbar?

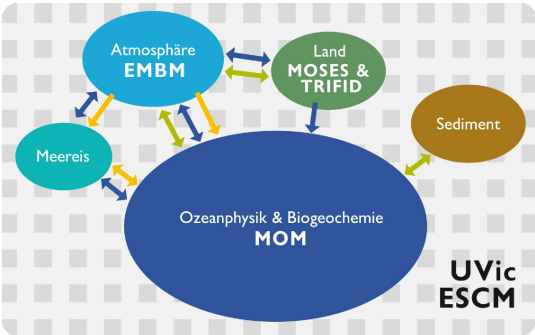


Wann ist Übereinstimmung mit Beobachtungen „gut“?

- Jahresmittel? (global gemittelte Temperatur. Wo? Boden? Meeresniveau?)
- RMS Abweichung?
- Extremwerte?
- Variabilität?
- Vergangene Klimazustände (Eiszeiten,...)



- → Einfluss von Unsicherheiten

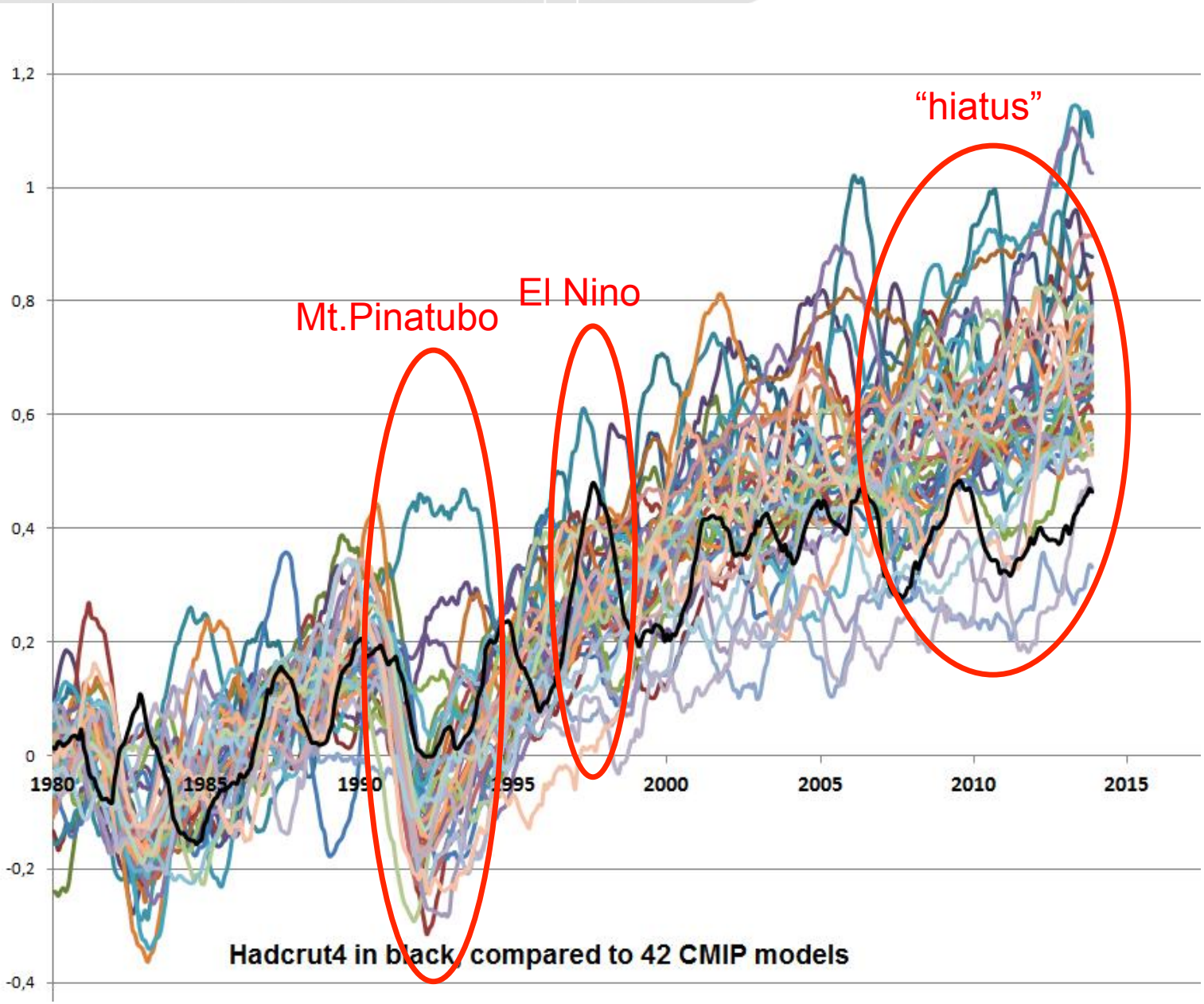


Unsicherheiten

- Modellparameter
  - nicht aufgelöste Prozesse (turbulente Vermischung)
  - prinzipiell bekannte Eigenschaften (Farbe von Schnee, Wasser, Wolken, Wüsten, Vegetation)
  - plausible aber kaum messbare Prozesse (Sterblichkeit von Algen, Fraßverhalten)
- Anfangsbedingungen
- Randbedingungen (Sonne, Vulkane, CO_2-etc-Emissionen)

Praxistest Modellbewertung

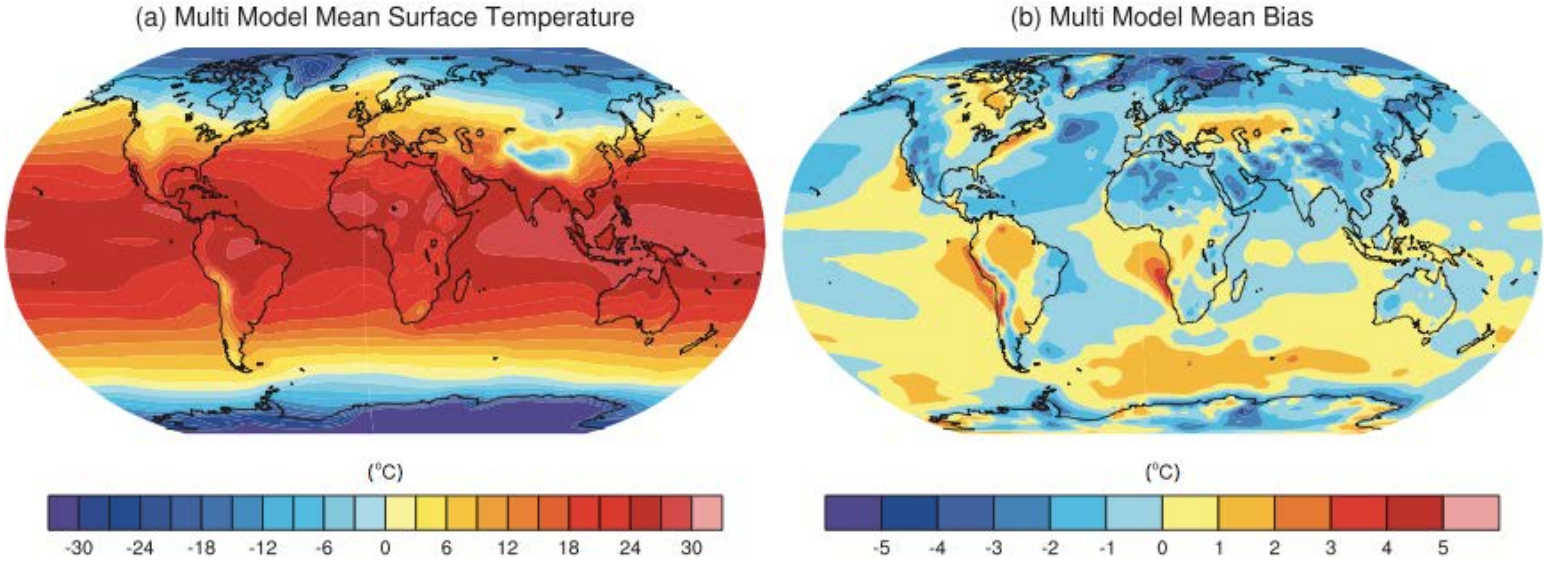
Welches Modell ist “gut”?



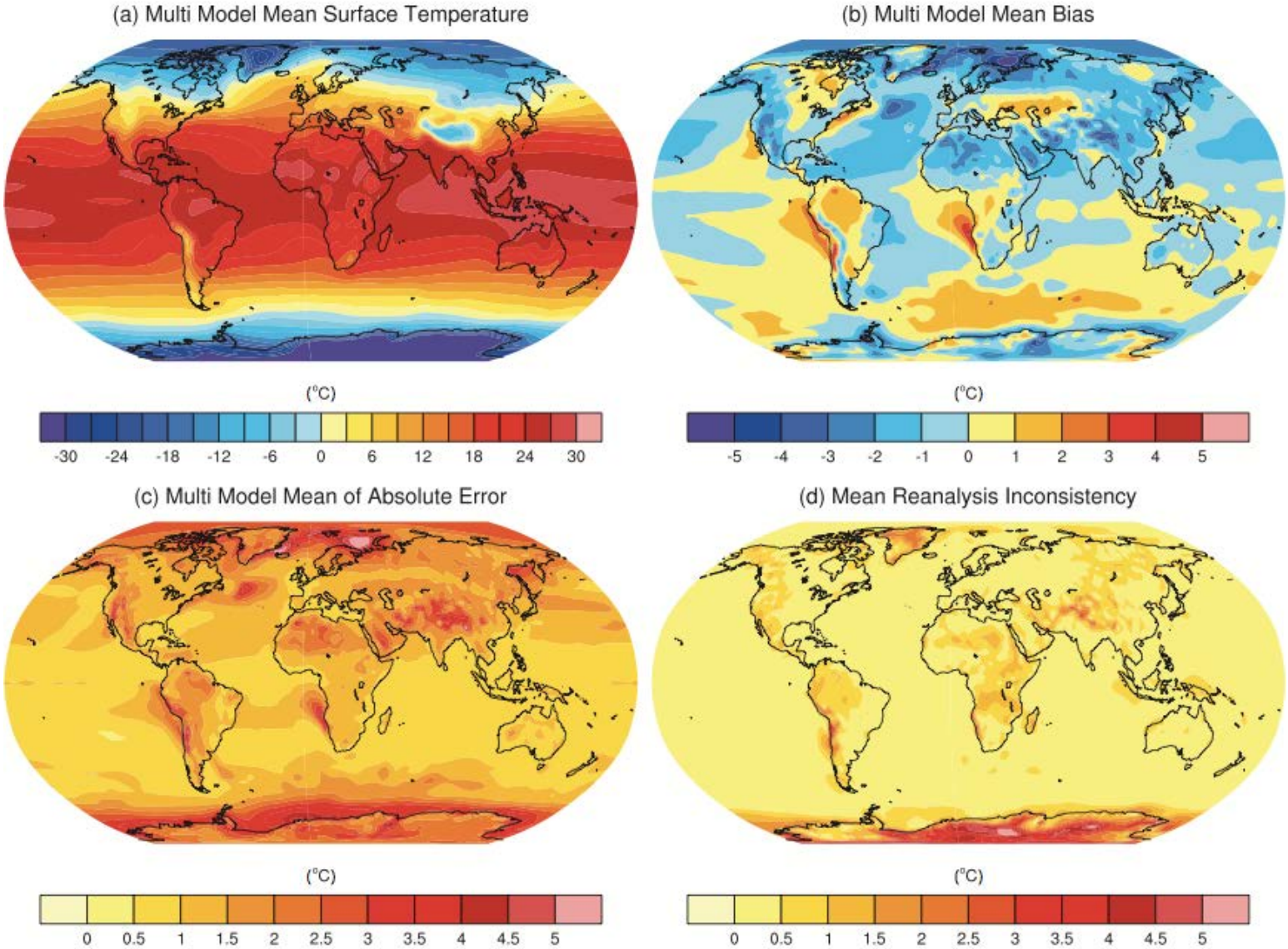
Chronischer Bewertungsmangel (Pragmatismus?)

- Individuelle Modellentwicklung, Rechtfertigung und pragmatische „Kalibrierung“ bzw „Validierung“
- Kaum Sensitivitätsstudien zur Prüfung alternativer Formulierungen
- Übergreifender Modellvergleich und Nachweis von Fortschritt schwierig. („Irgendwas kann jedes Modell gut“)
- Konvergenz kein notwendiges Maß für Reduktion von Unsicherheiten

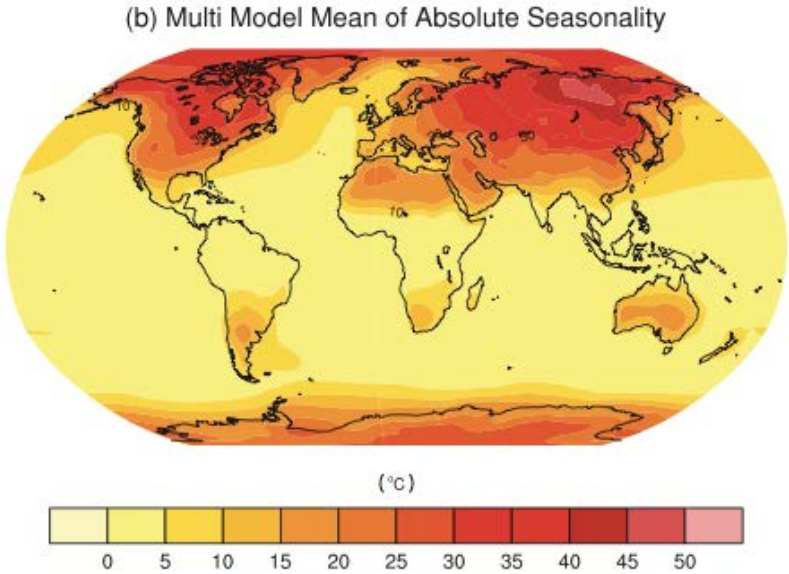
Modellbewertung, IPCC AR5, mittlere Oberflächentemperatur

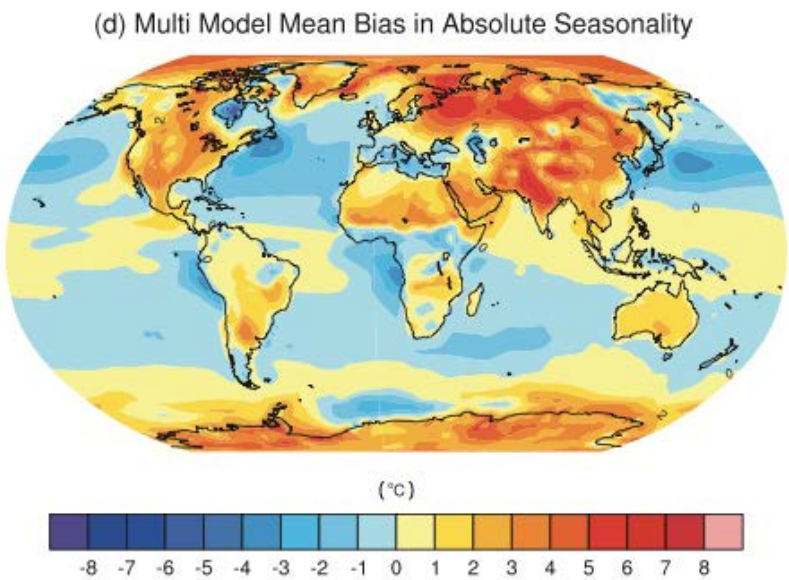


Modellbewertung, IPCC AR5, mittlere Oberflächentemperatur



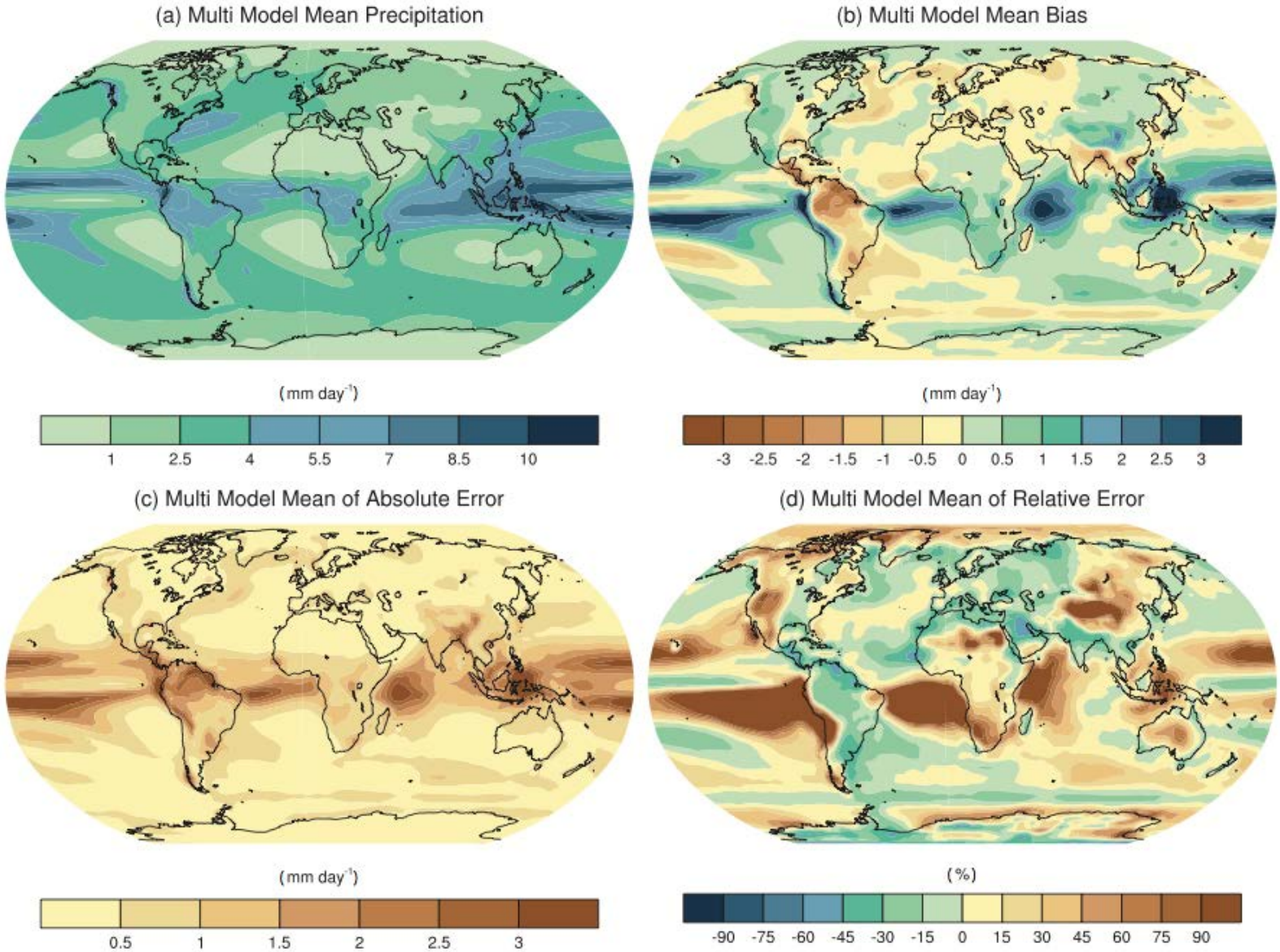
Modellbewertung, IPCC AR5, Jahresgang → systematische Defizite?





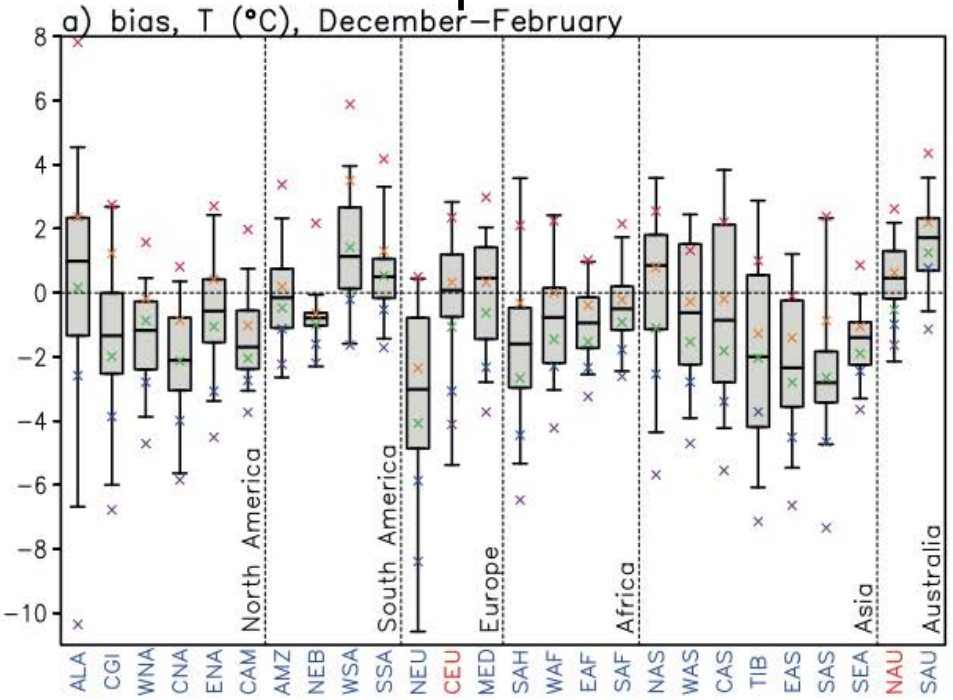
Jahresgang zu stark über Land, zu gering über Ozean

Modellbewertung, IPCC AR5, Niederschlag

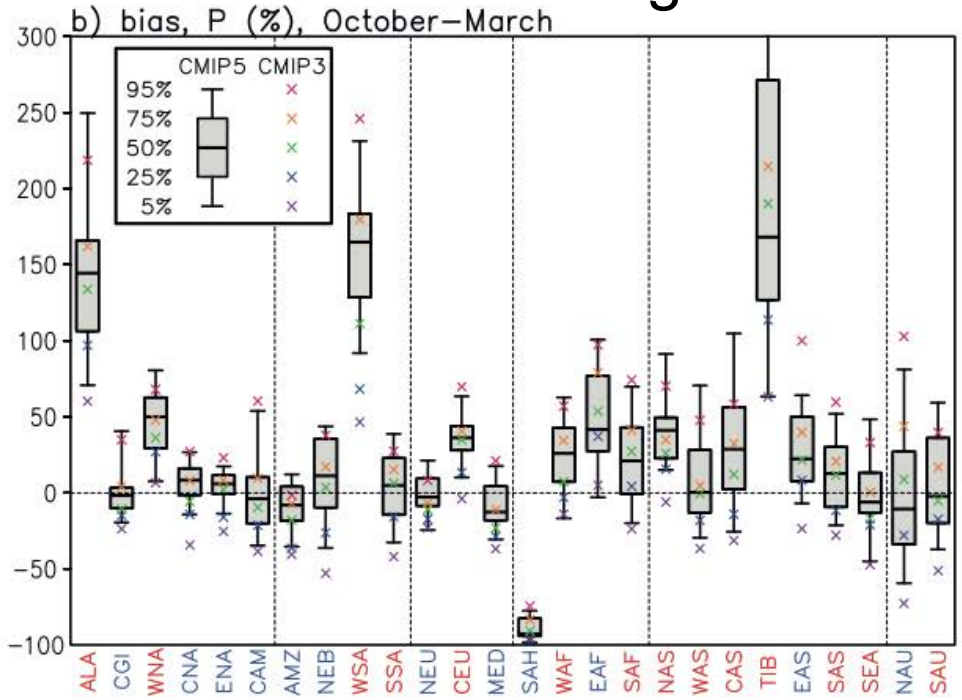


Modellbewertung, IPCC AR5. Fortschritt? Fehlerreduktion?

Temperatur

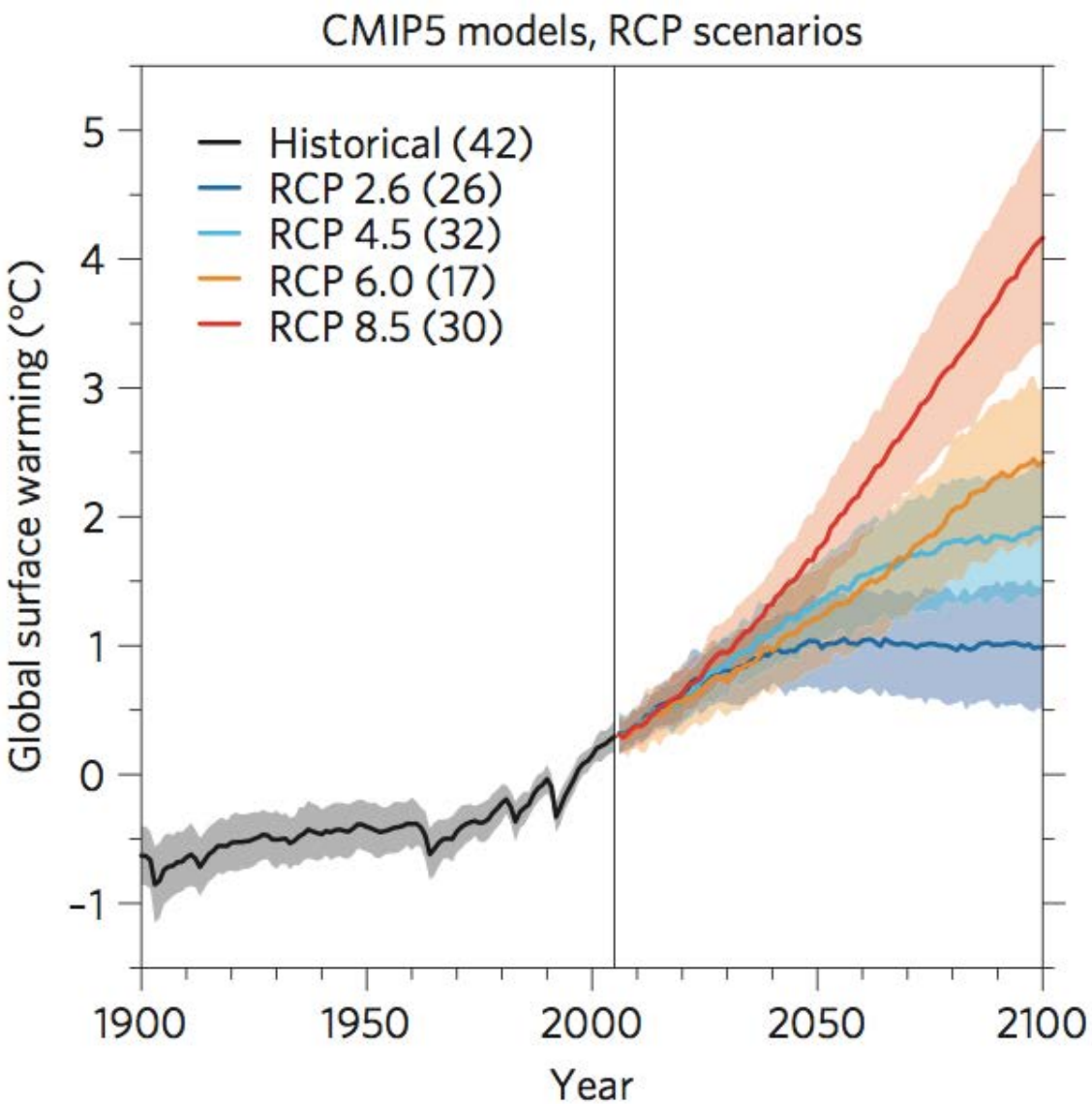


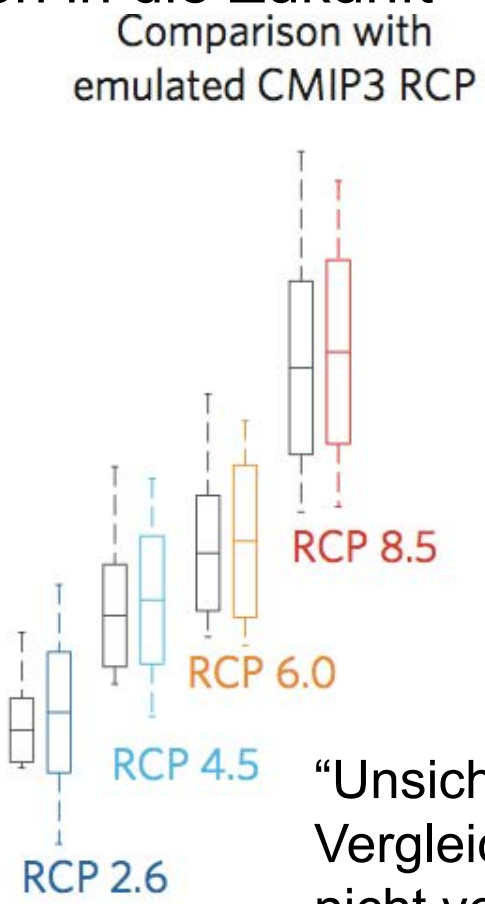
Niederschlag



Regionale Abweichung gegenüber Beobachtungen.
In den letzten 6 Jahren größer bzw kleiner geworden.

Unsicherheiten, IPCC AR5 Projektionen in die Zukunft

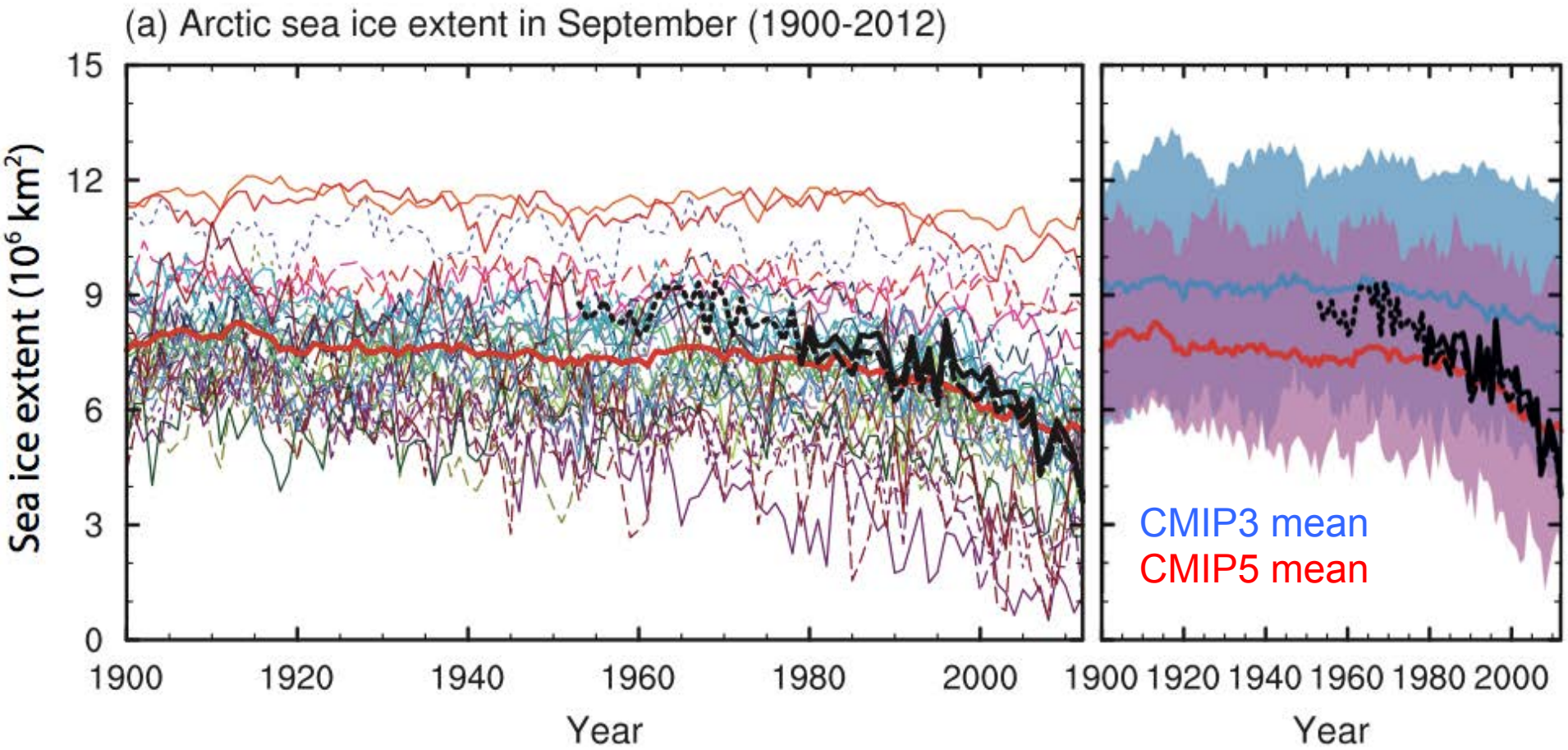




"Unsicherheit" im Vergleich zu AR4 nicht verringert

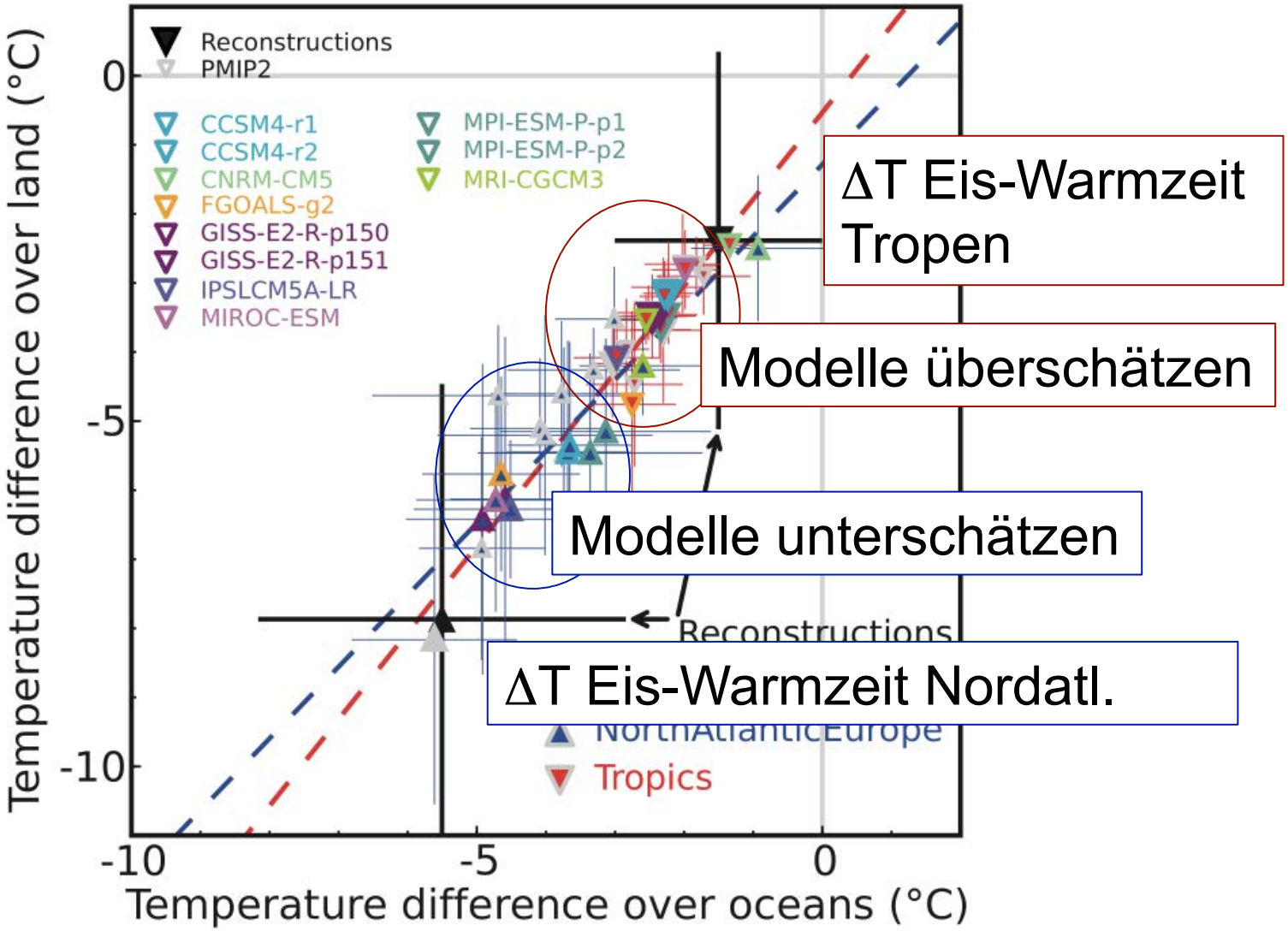
(Knutti & Sedlacek, 2013)

Arktisches Meereis im Fokus der Modellkalibrierung?



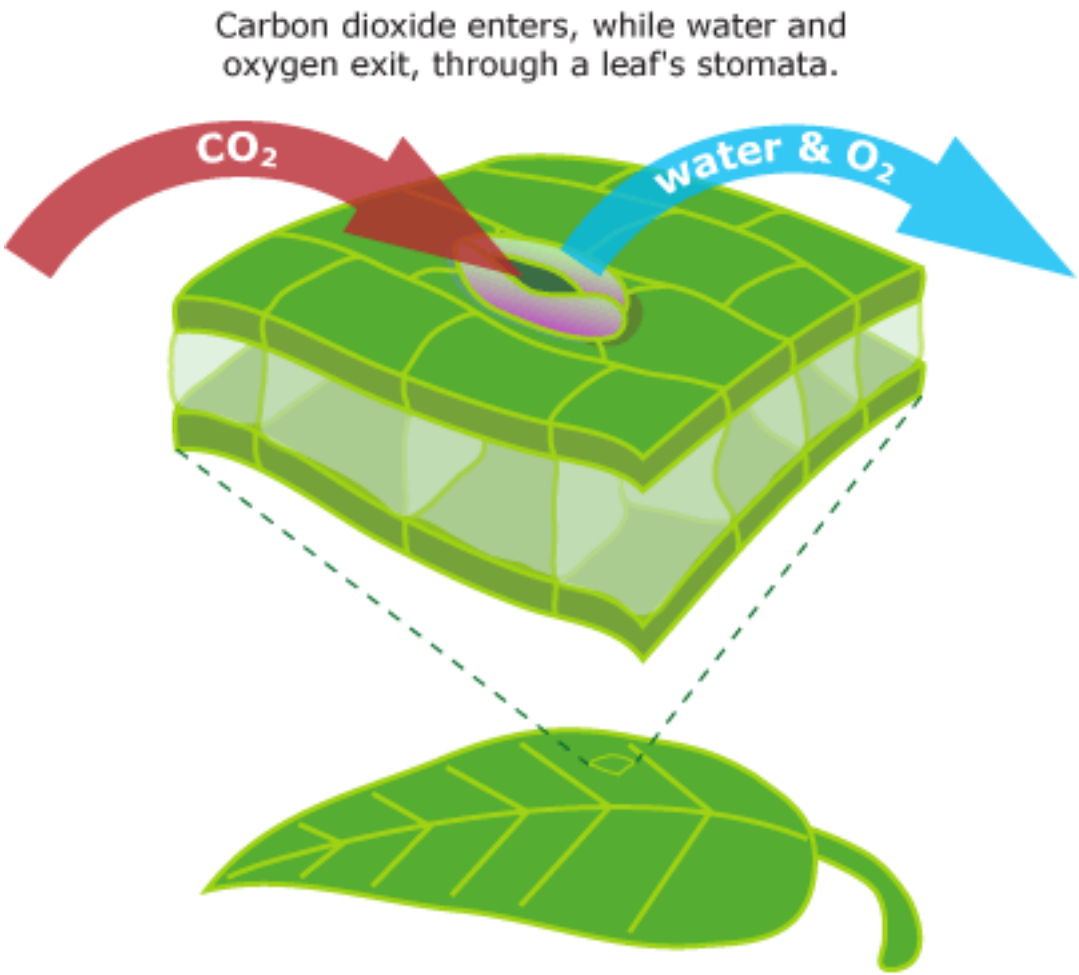
(IPCC, AR5, 2013, WR1, ch9)

Modellbewertung Klimavariabilität, IPCC AR5, glazial-interglazial
Tendenz: Unterschätzung von räumlicher & zeitlicher Variabilität



Wie robust sind Modellergebnisse?

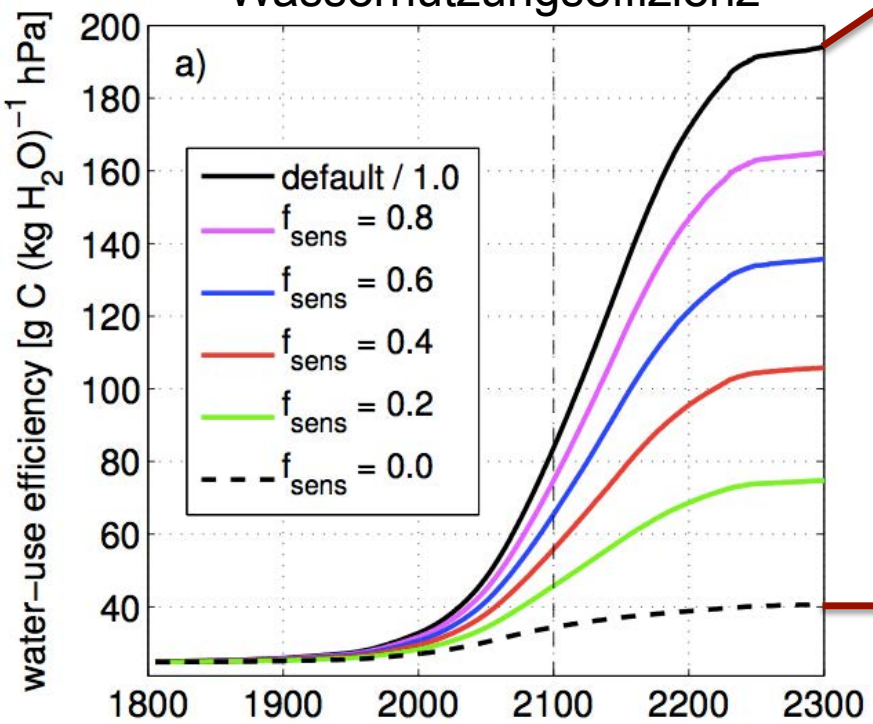
- Beispiel Evapotranspiration



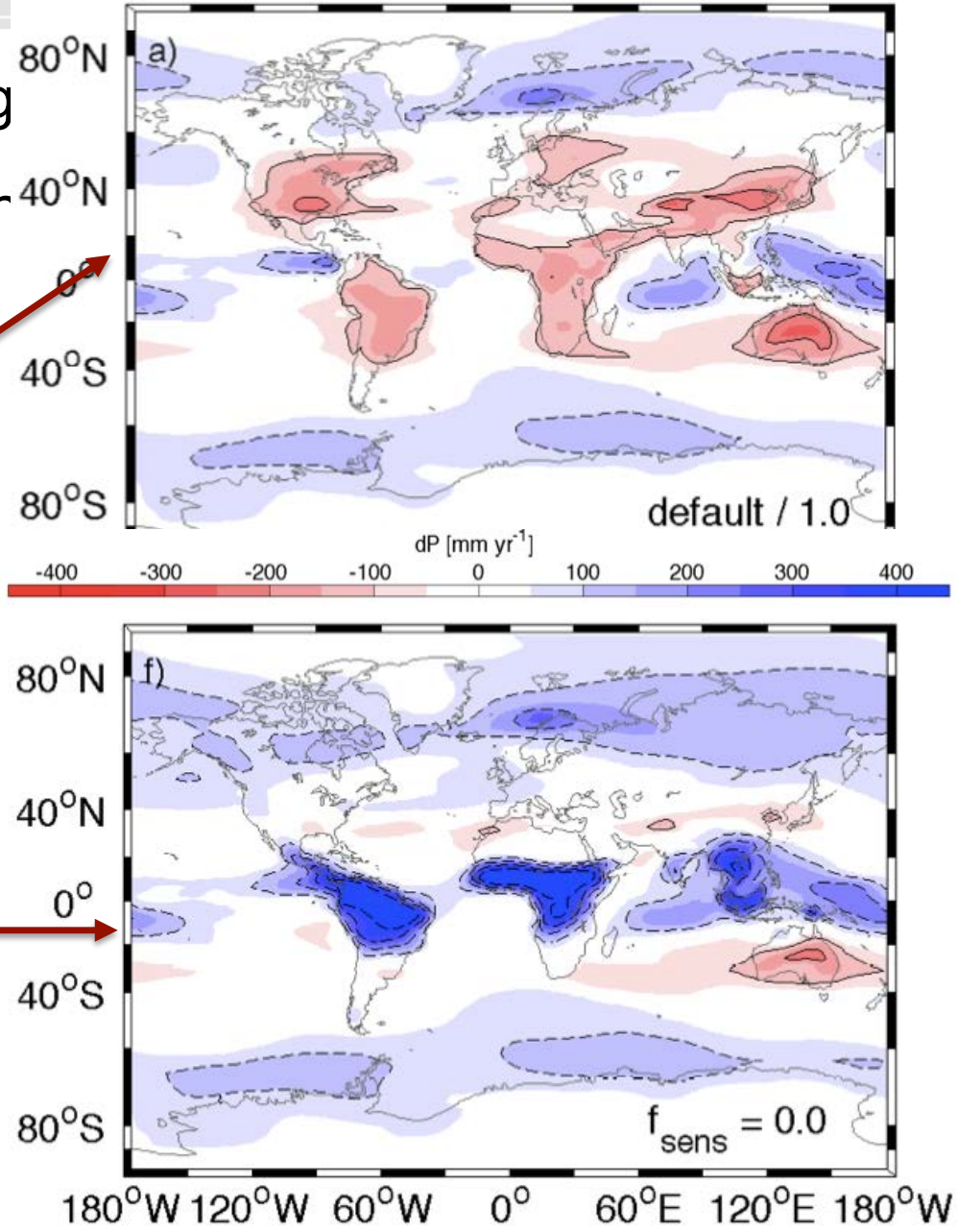
Wie robust sind die Modellerg

- Beispiel Evapotranspiration

Wassernutzungseffizienz



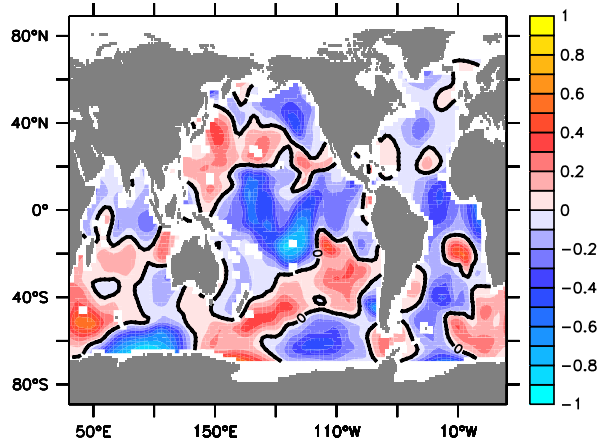
Simulierte Niederschlagsänderung
~2090 vs ~1990



(Nadine Mengis, pers. comm.)

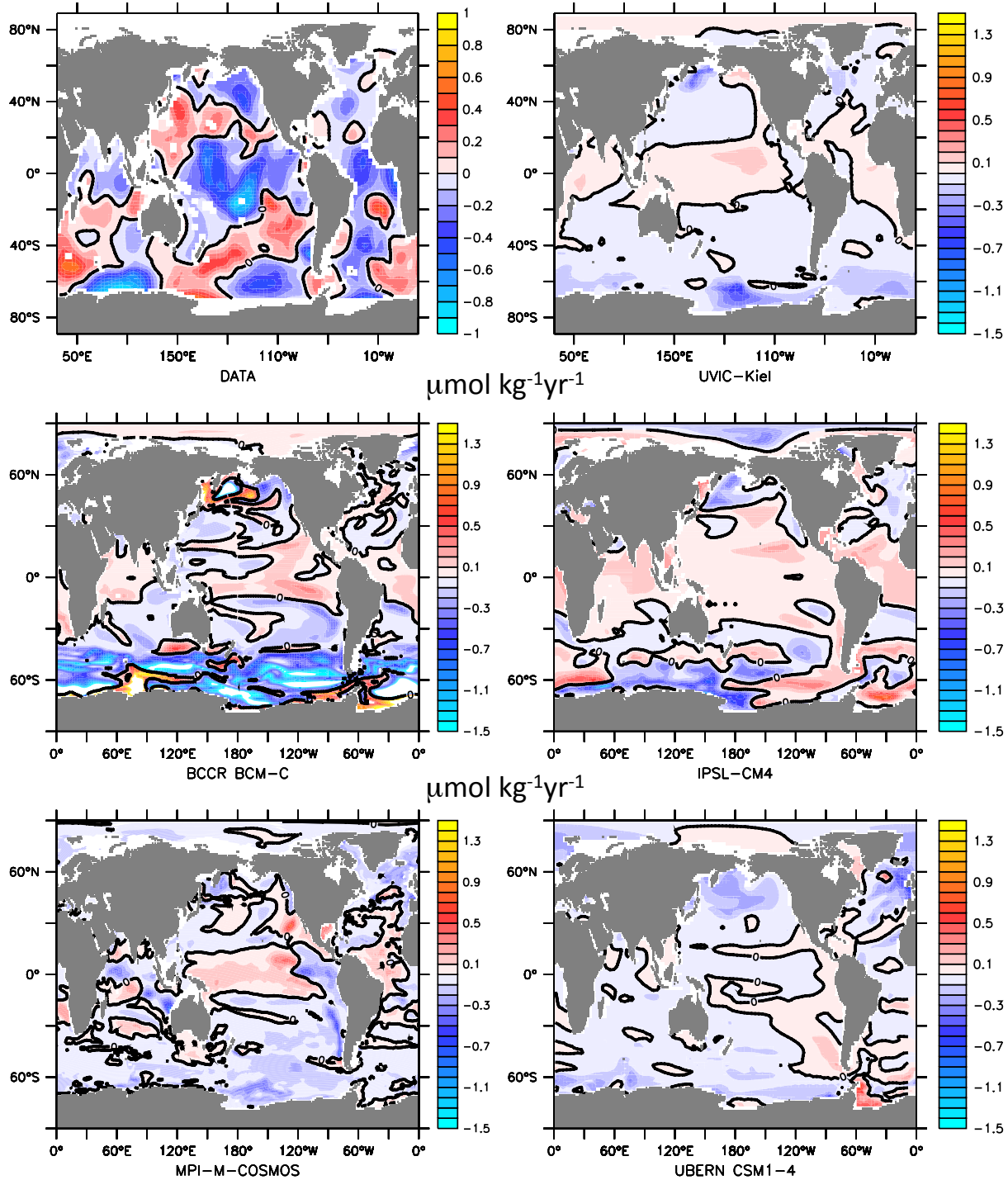
More obs!

O_2 changes 1960 – 2010, 300dbar



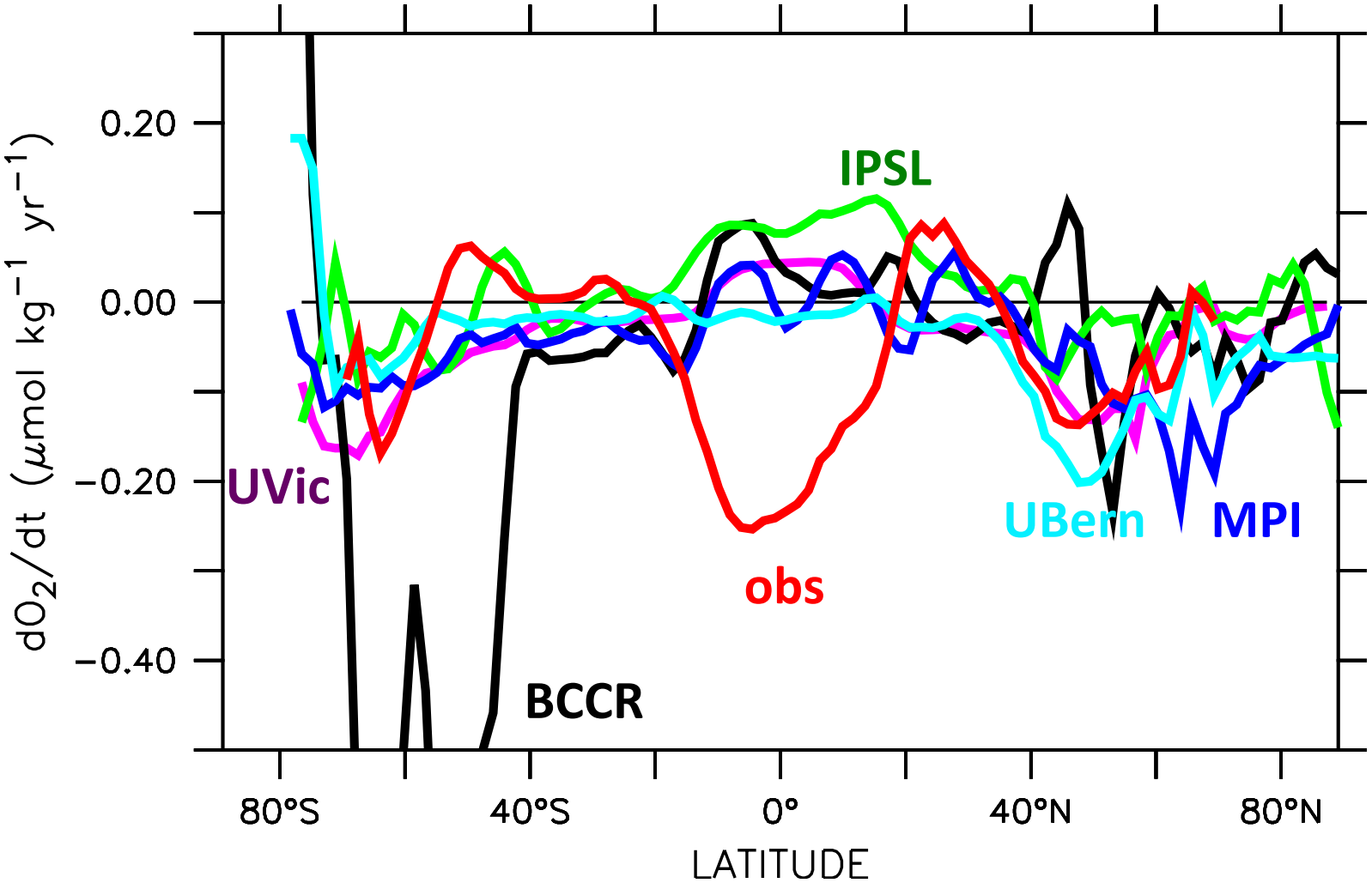
More obs!

O_2 changes 1960 – 2010, 300dbar



"All" models simulate O_2 increase in tropical thermocline!

Zonally averaged O_2 change (1960-2010)



Simulated and observed O_2 changes are **anticorrelated**!

Schlussfolgerungen

- Abweichungen zwischen Modellergebnissen und Beobachtungen sind in den letzten Jahren nicht wesentlich kleiner geworden
- Streuung der Prognosen ist ebenfalls nicht wesentlich kleiner geworden
  - Keine Zunahme der Genauigkeit von Prognosen (?)
  - Aber: detailgetreuere (bessere?) Darstellung vieler Prozesse
- Modelle simulieren i.a. zu geringe Variabilität

Schlussfolgerungen

- Modellbewertung oft rudimentär
  - keine einheitlichen Bewertungsmetriken
  - „nach bestem Wissen und Gewissen“?

- Besonderes Problem: Extrapolation in bisher unbekannte Klimazustände