



Risks, Challenges,
Opportunities?

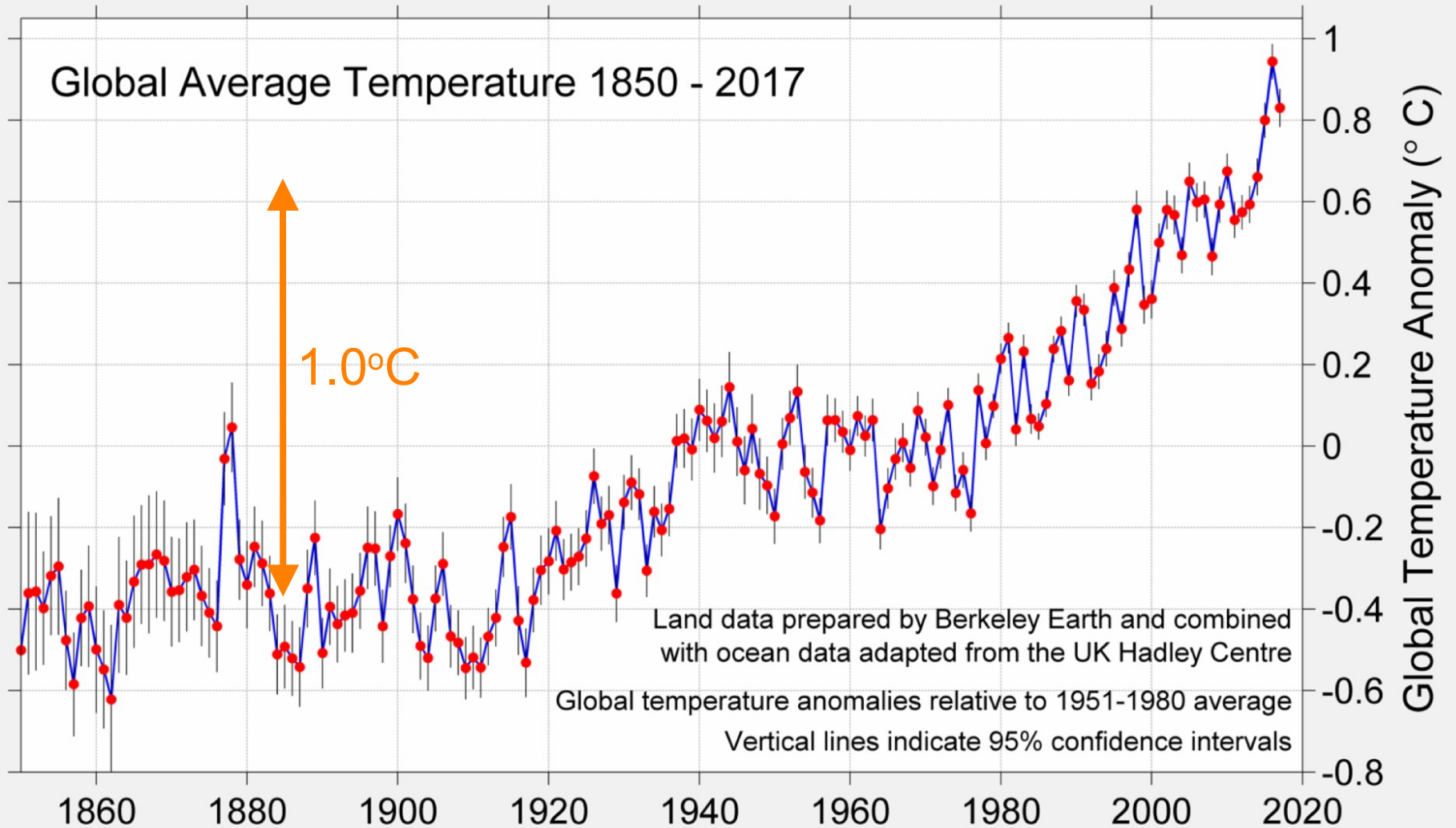
Worauf wir uns verlassen können: Unsicherheiten in der Klimamodellierung

Andreas Oschlies

GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel



Global Average Temperature 1850 - 2017



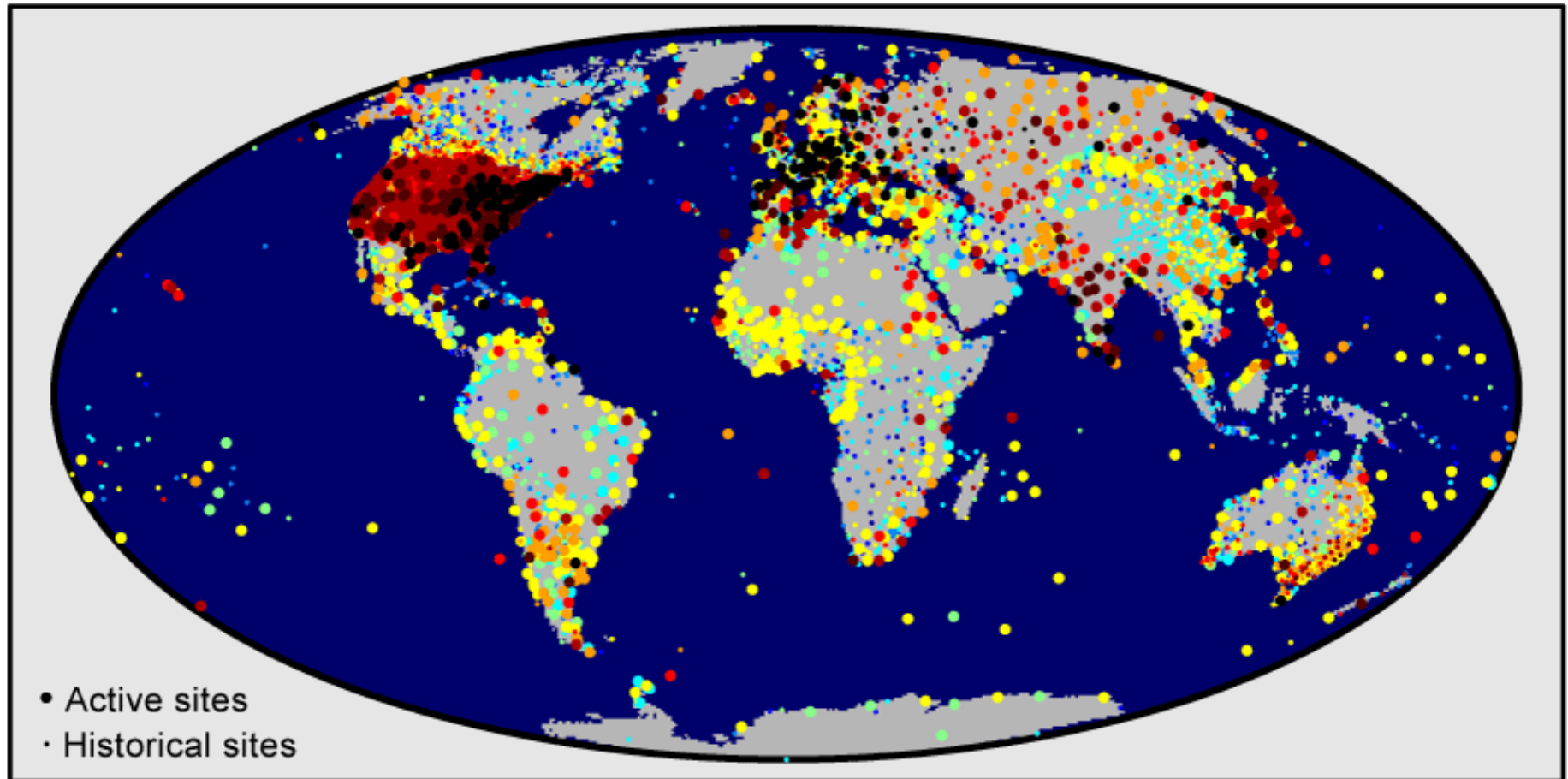


Unsicherheiten in der Bestimmung der globalen Mitteltemperatur

- Wie misst man die globale Mitteltemperatur? Was ist gemeint?
- plausible Definition: „oberflächennahe“ Lufttemperatur
- aktuell (Weltklimarat, IPCC):
 - über Land und Meereis: „oberflächennahe Lufttemperatur,
 - über Wasser: Oberflächenwassertemperatur (i.a. langsamere Erwärmung)
- zeitlich veränderliches Beobachtungsnetz (technologische, ökonomische, politische Bedingungen)
 - veränderte Gewichtung Land-Meer, Tropen-Polarregionen, Höhe,...
 - veränderte lokale Umgebung (Wald, Feld, Stadt,...)
 - geänderte Messmethoden

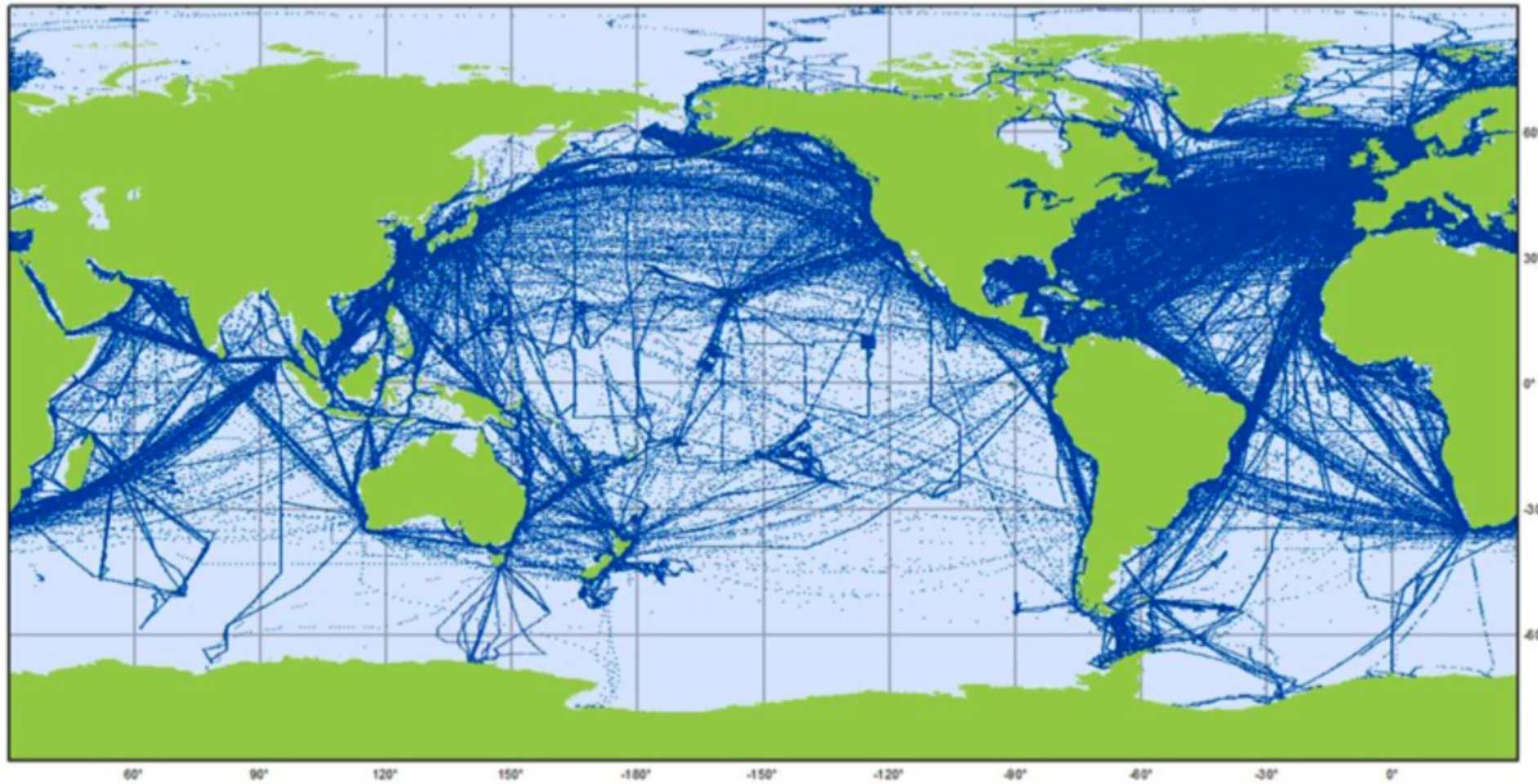


Global Climate Network Temperature Stations



- Active sites
- Historical sites





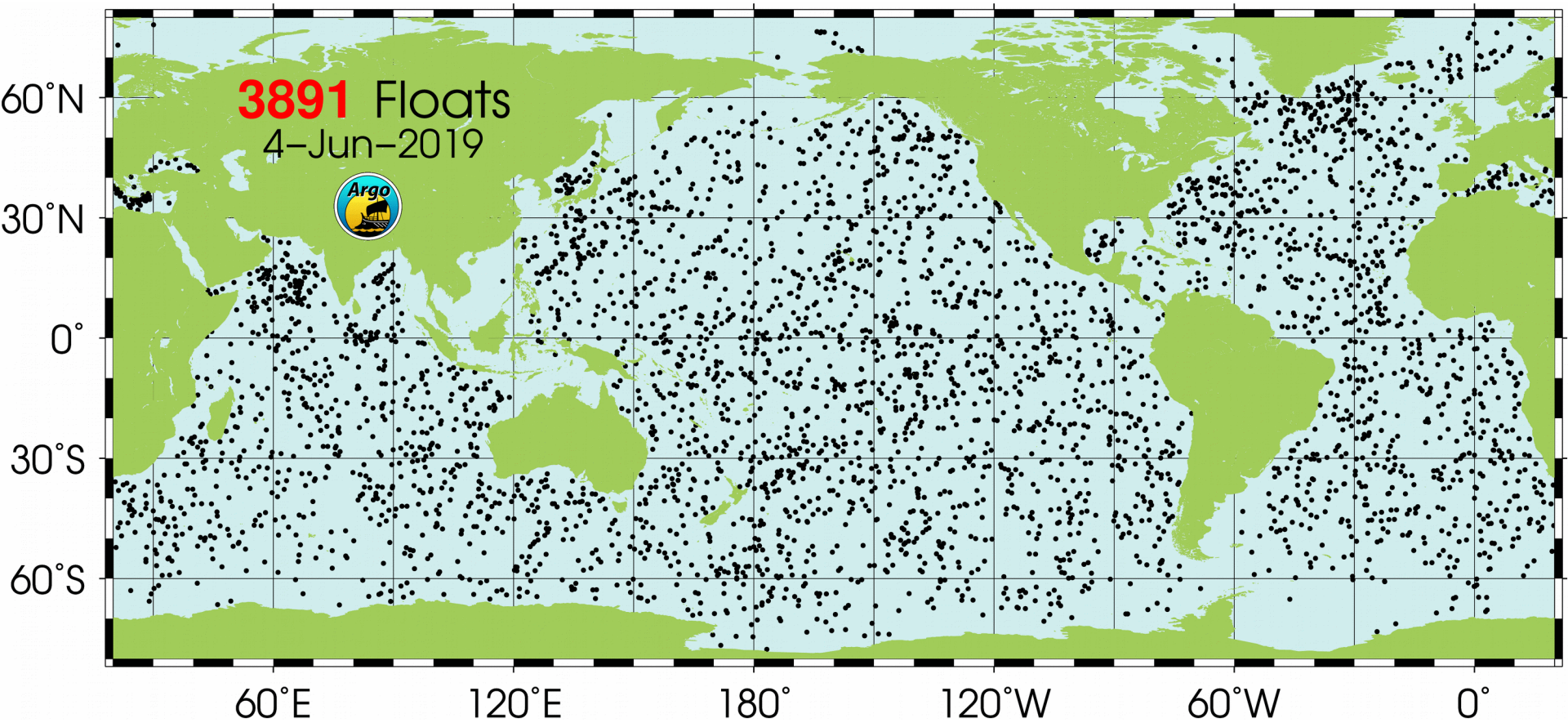
Ship Observations Team

VOS Scheme
VOS Observations 2016 (3,145,612)
Screenshot

2016

Generated by www.jcommops.org, 09-Oct-17

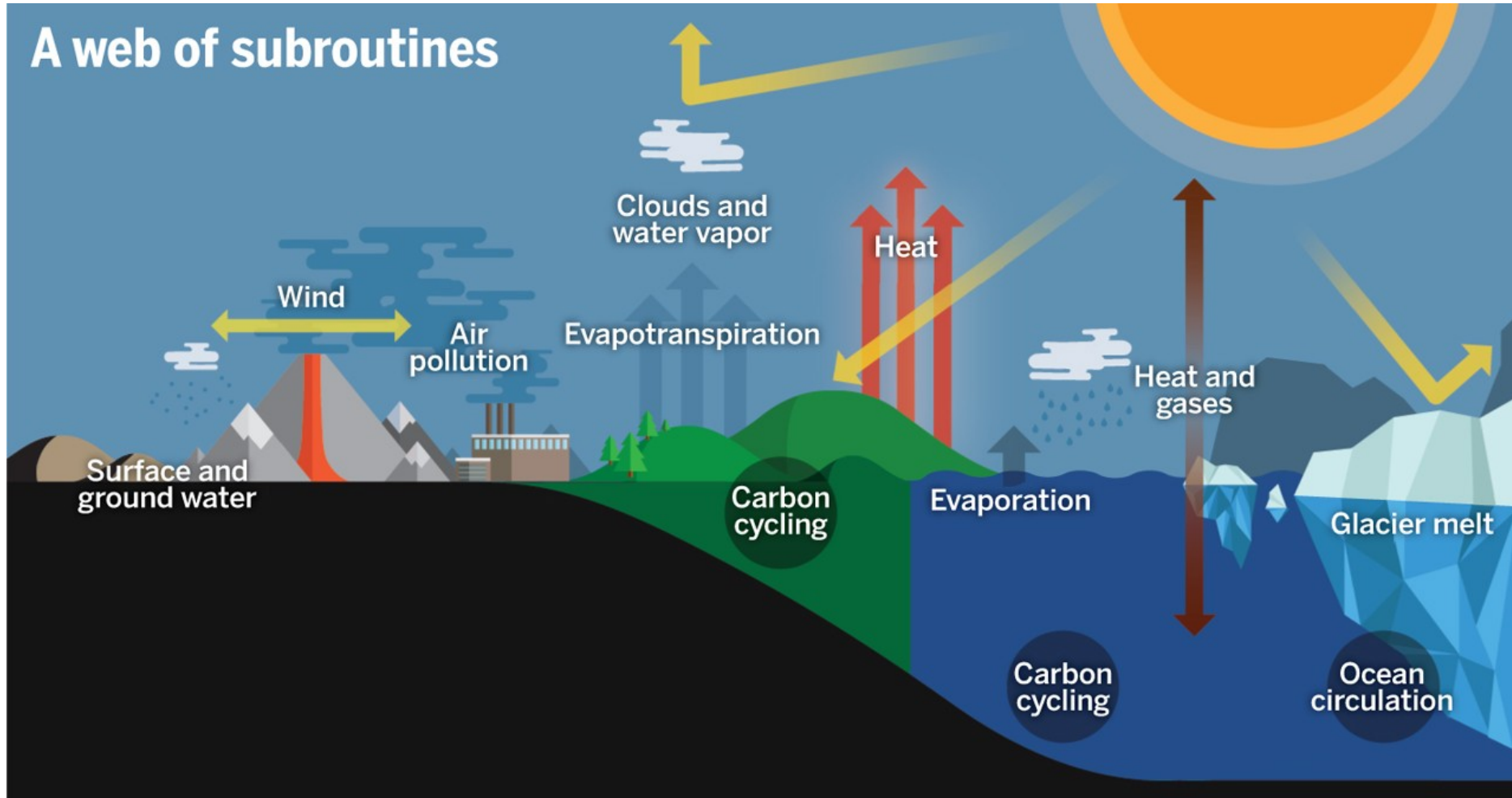






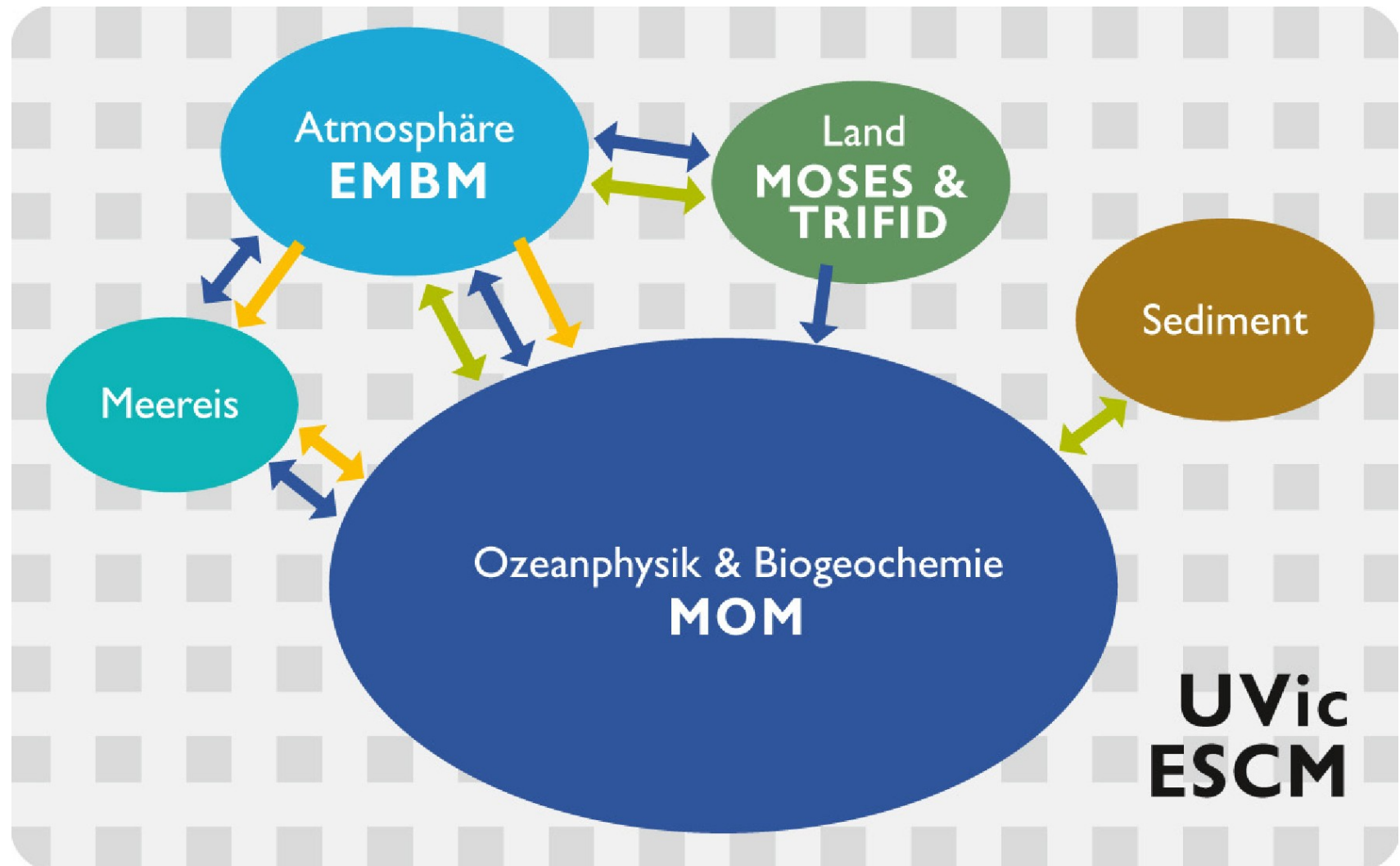
Was ist ein Erdsystemmodell?

A web of subroutines



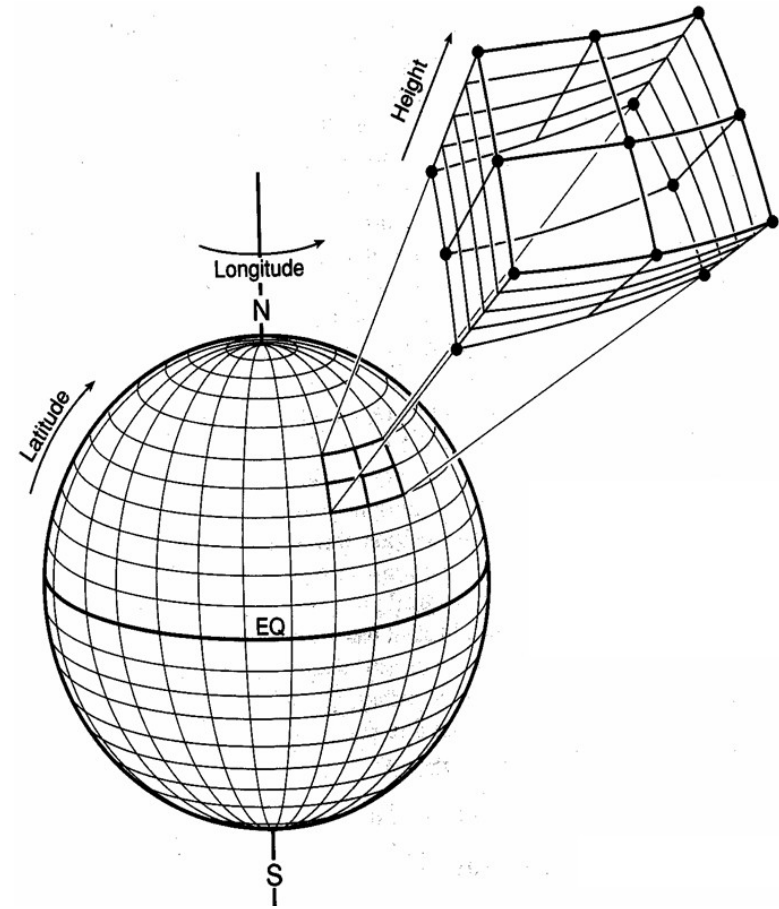
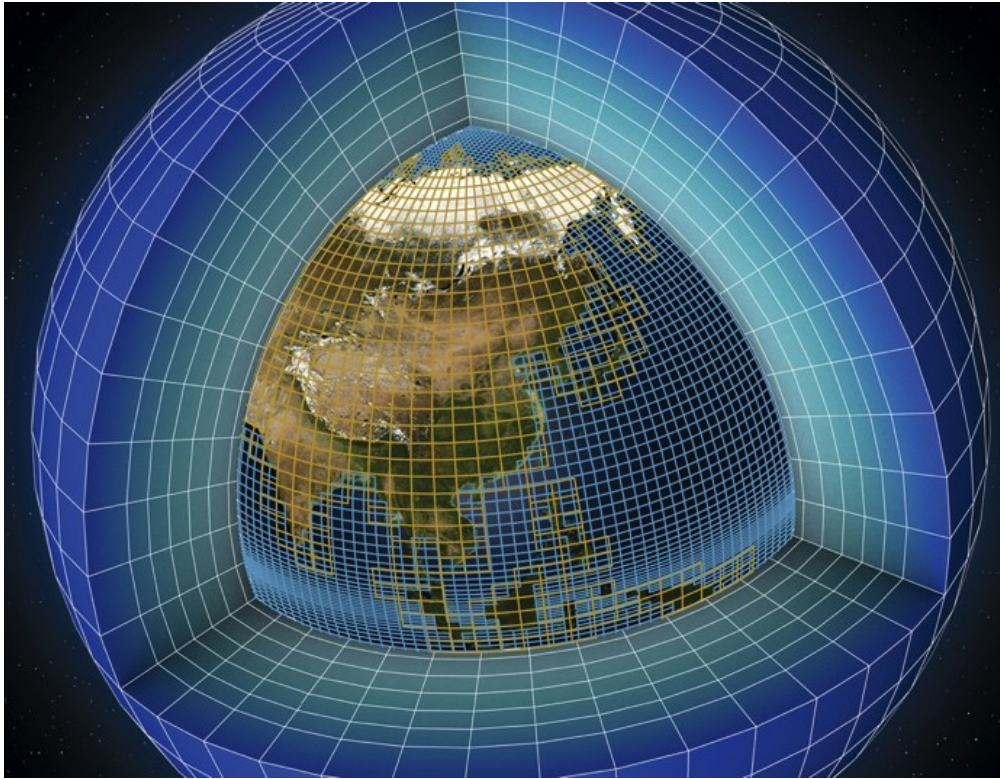


Was ist ein Erdsystemmodell?



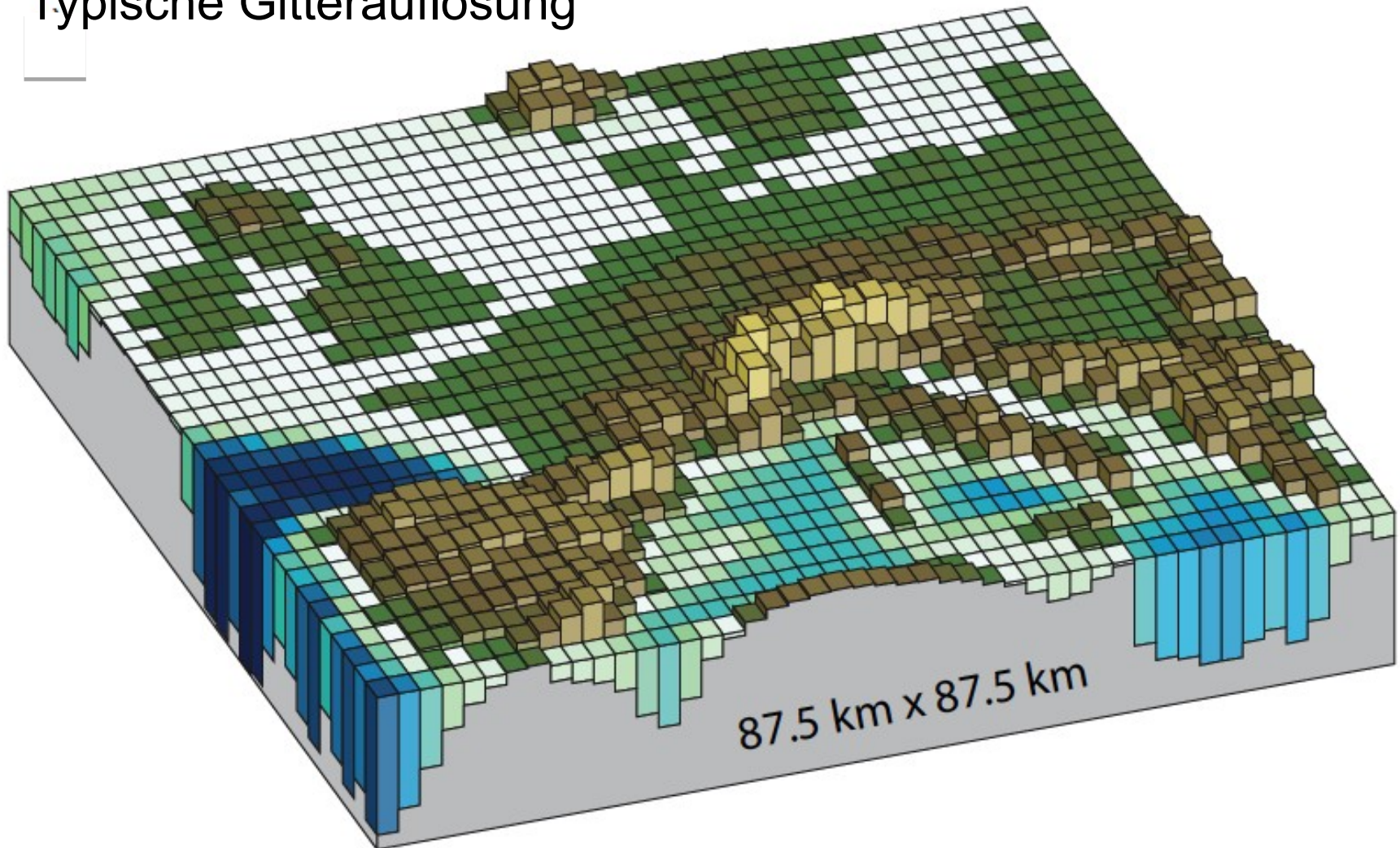


Was ist ein Erdsystemmodell?





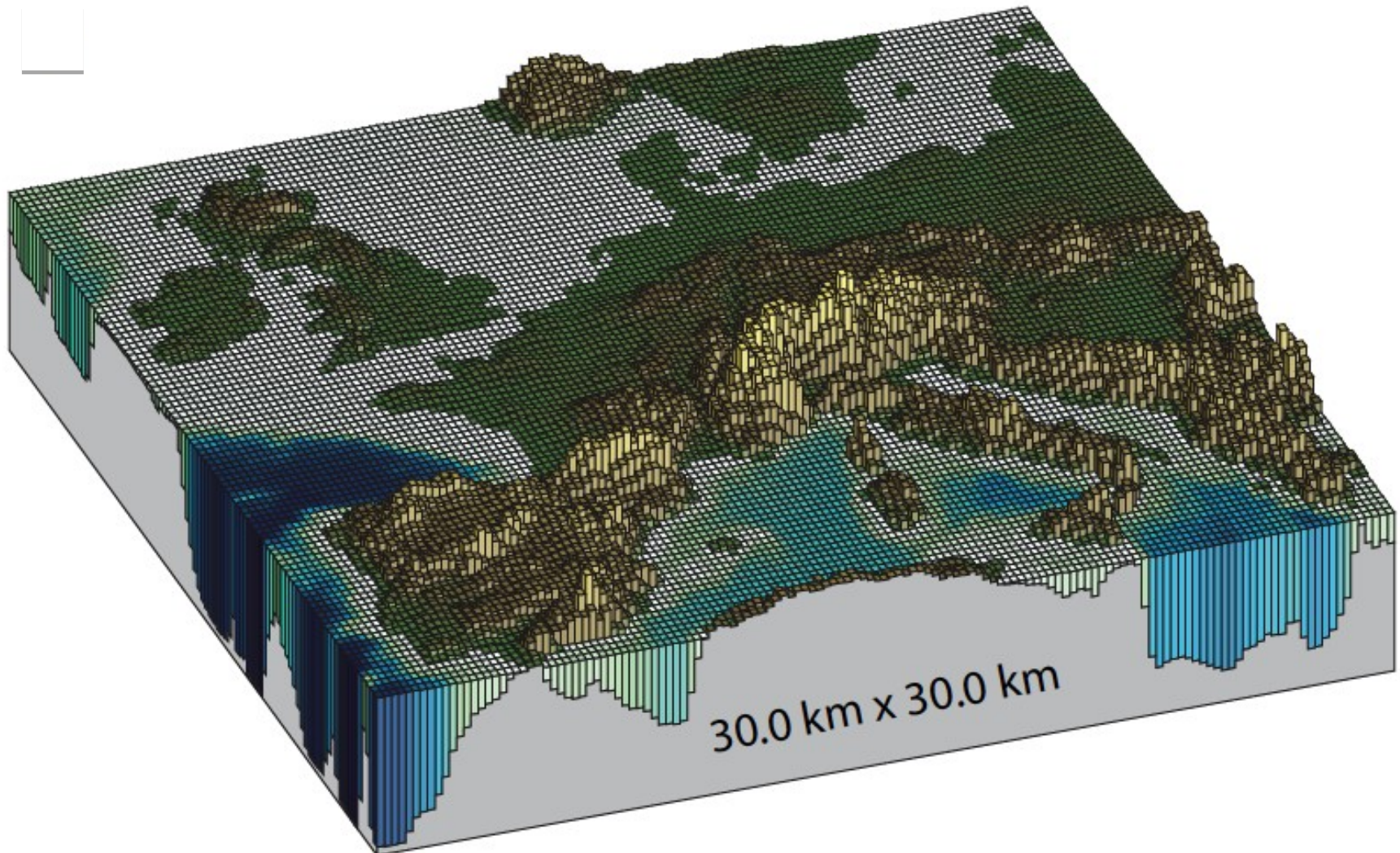
Typische Gitterauflösung



Modelle sind ein vereinfachtes Abbild der Realität

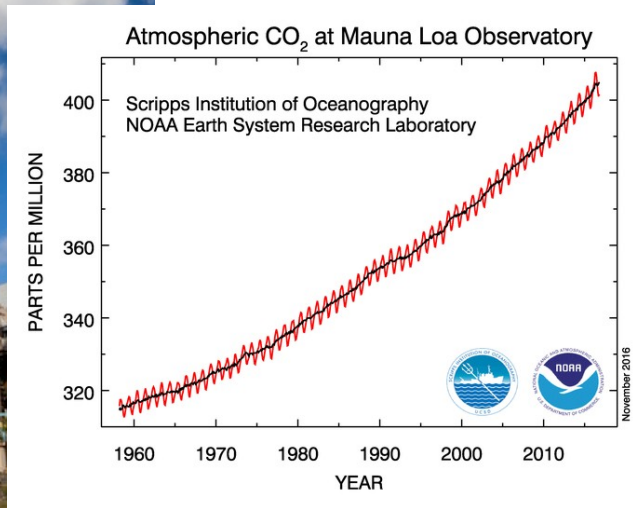


verfeinerte Gitterauflösung \Rightarrow erfordert mehr Rechenleistung



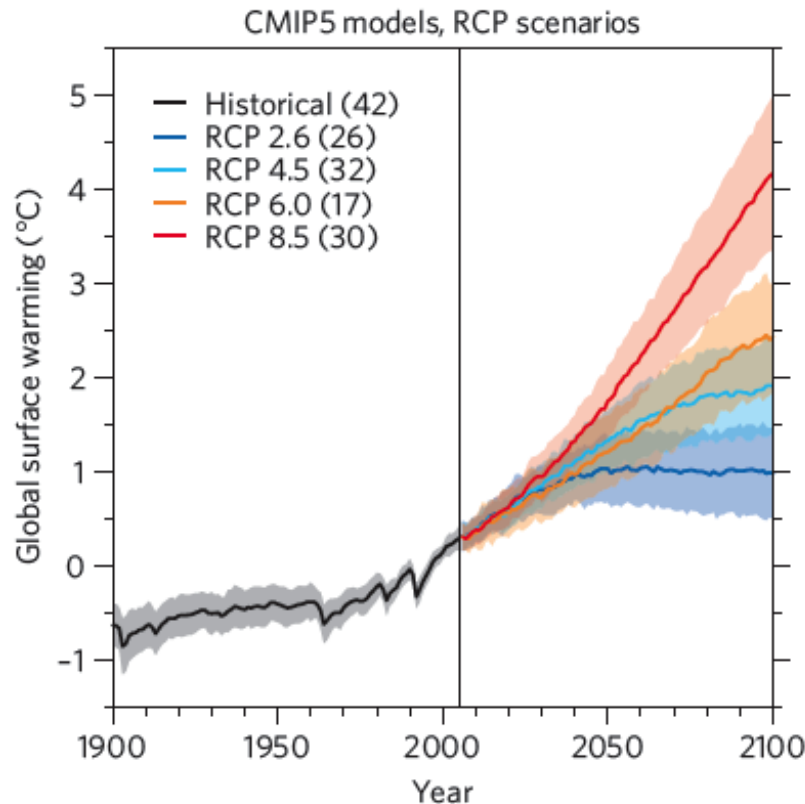


Antriebe



Modelle erlauben gefahrloses Testen von Ideen

- ▢ Was-wäre-wenn Szenarien
- CO₂ Emissionen,
- Vulkanausbrüche,
- gezielte Eingriffe in das Klimasystem,...



Streuung der Ergebnisse
verschiedener Modelle
= Unsicherheit???

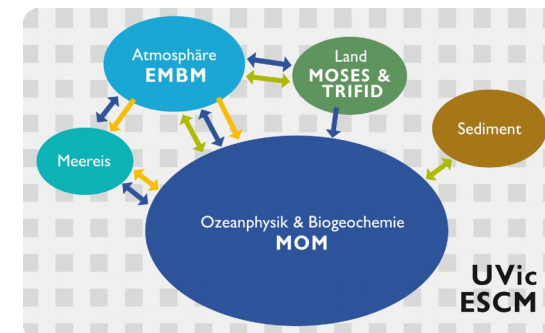


Was ist ein „gutes“ Modell?

Achtung: Modelle sind vereinfachtes Abbild der Realität!

Bewertungskriterien

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





1. Wann ist ein Modell **adäquat**?

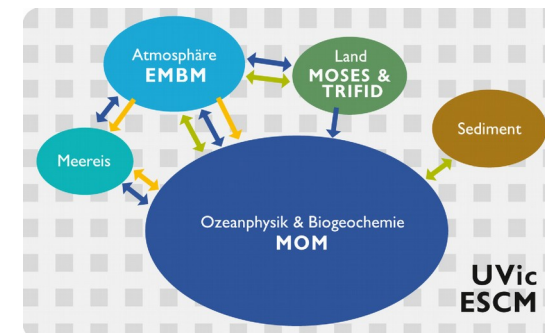
- Relevante Zustandsgrößen (Temperatur, Niederschlag, Algen, Pilze, Viren, DNA?)
- Relevante Prozesse (Jahreszeiten, CO₂-Emissionen, Photosynthese, Schallwellen?)
- i.a. nicht alle relevanten Prozesse bekannt
- häufig keine grundlegenden Gleichungen/Prinzipien bekannt
- adäquate numerische Realisierung?



2. 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?

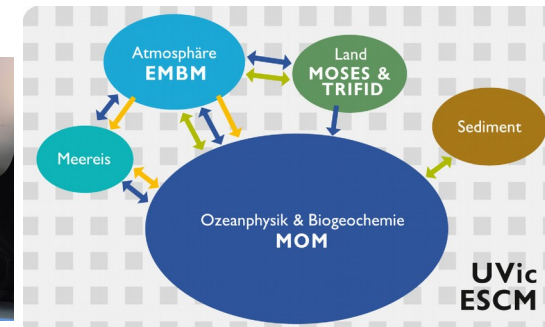
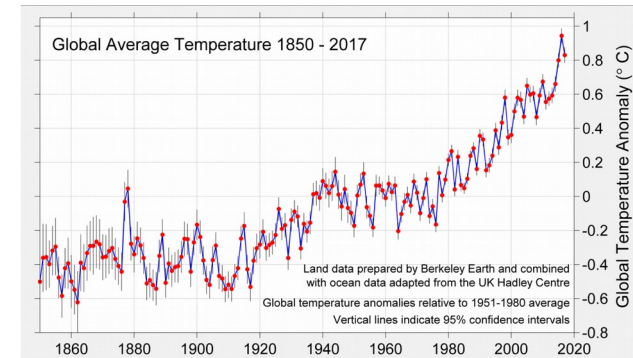




3. Wann ist ein Modell **repräsentativ**?

☐ Wann ist die Übereinstimmung mit Beobachtungen „gut“?

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

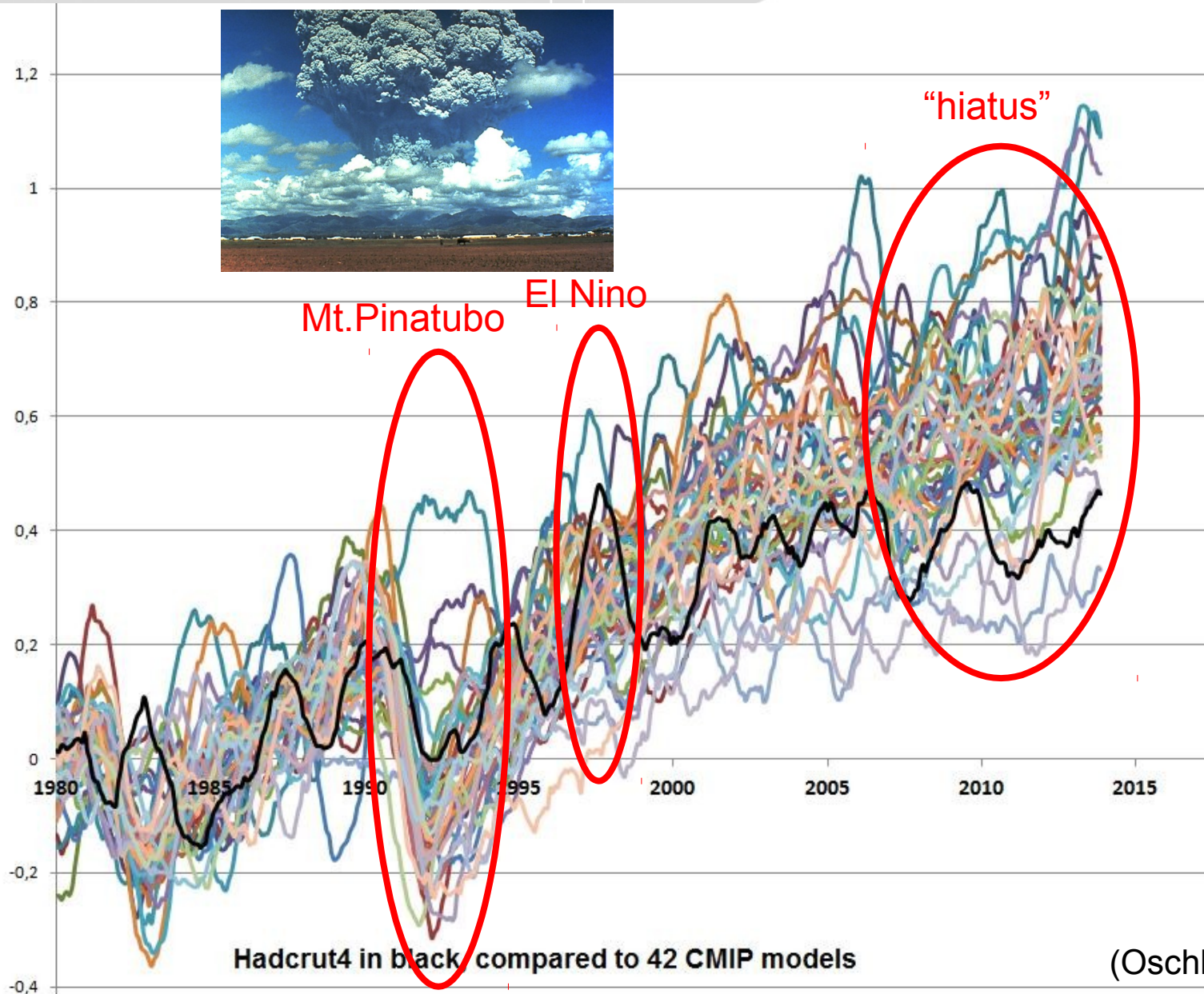




Unsicherheiten

- Modellparameter
 - nicht aufgelöste Prozesse (turbulente Vermischung)
 - prinzipiell bekannte Eigenschaften (Farbe von Schnee, Wasser, Wolken, Wüsten, Vegetation)
 - plausible aber kaum messbare Prozesse (Sterblichkeit von Algen, Fressverhalten, Futterauswahl)
- Randbedingungen (Sonne, Vulkane, CO₂-etc-Emissionen, Anfangsbedingungen,...)

Welches Modell ist "gut"?



Hadcrut4 in black compared to 42 CMIP models

(Oschlies, 2018)



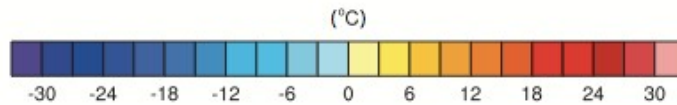
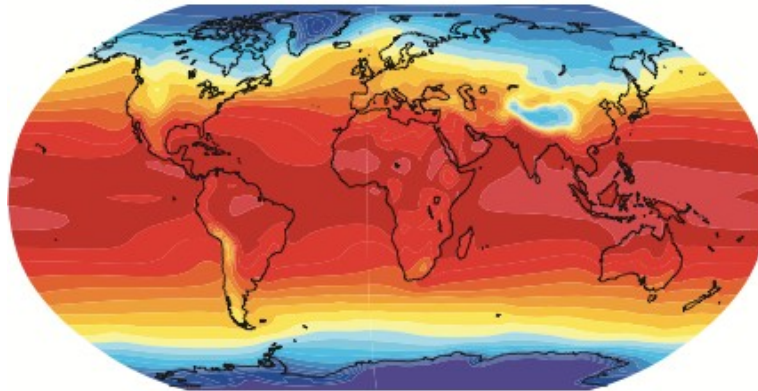
Chronischer Bewertungsmangel (Pragmatismus?)

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

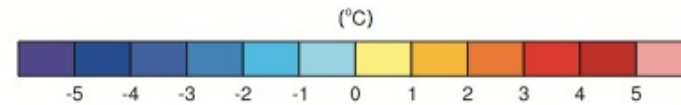
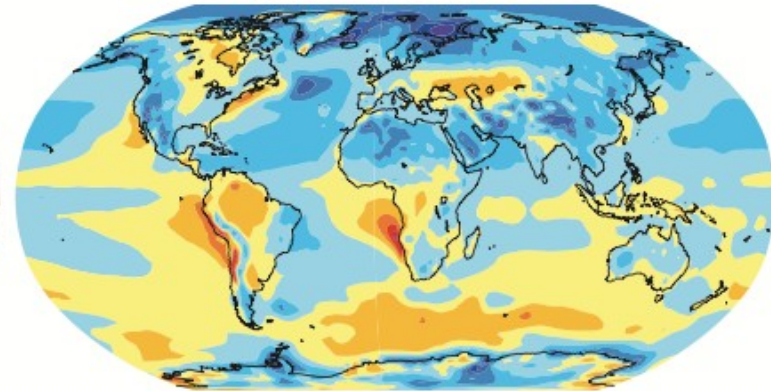


Modellbewertung, IPCC AR5, mittlere Oberflächentemperatur

(a) Multi Model Mean Surface Temperature

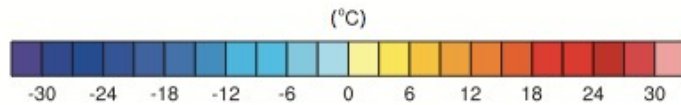
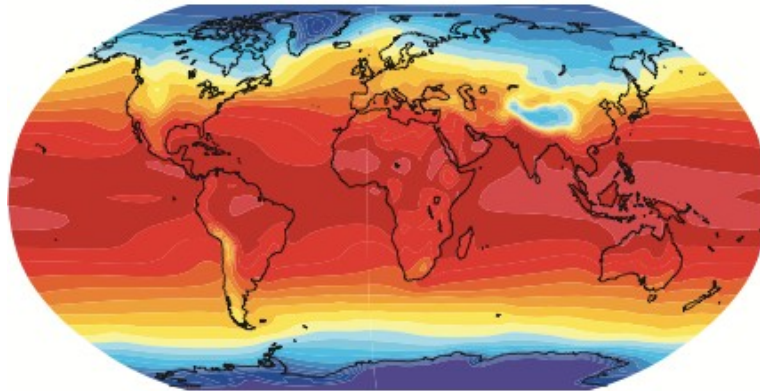


(b) Multi Model Mean Bias

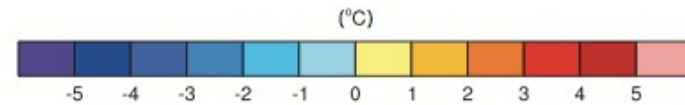
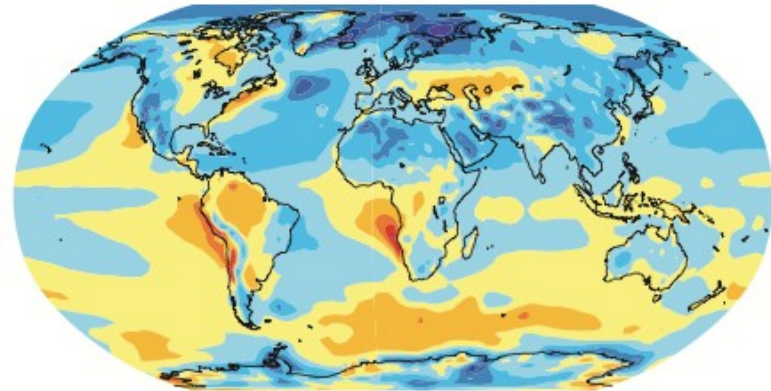


Modellbewertung, IPCC AR5, mittlere Oberflächentemperatur

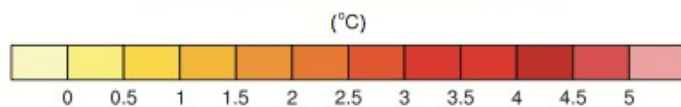
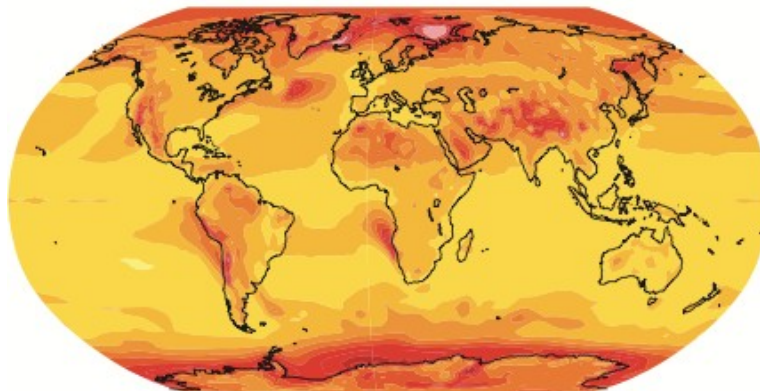
(a) Multi Model Mean Surface Temperature



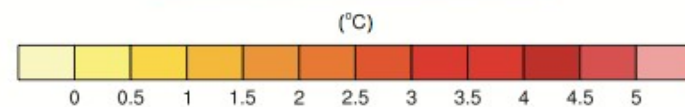
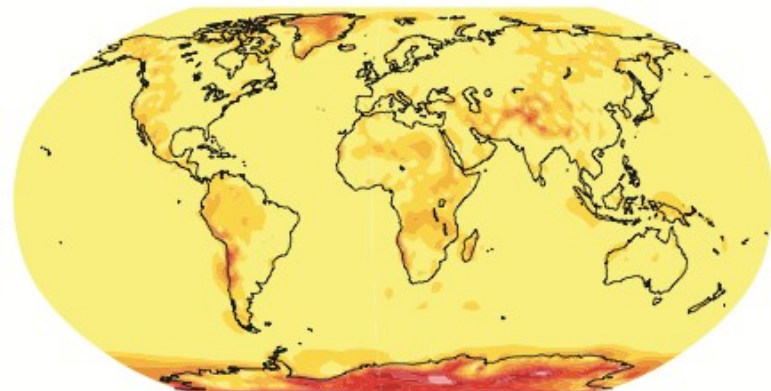
(b) Multi Model Mean Bias



(c) Multi Model Mean of Absolute Error



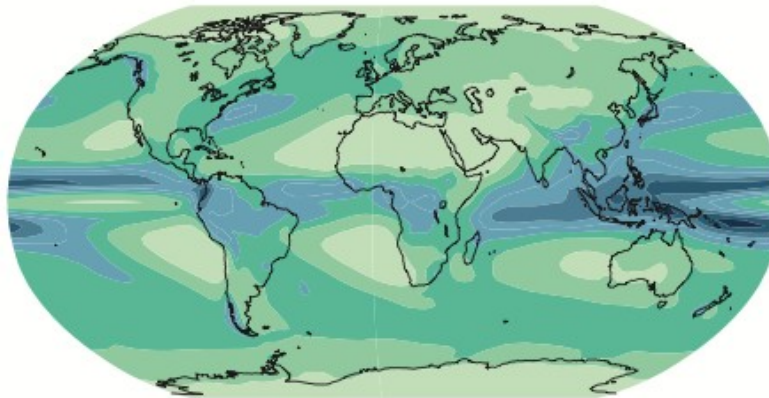
(d) Mean Reanalysis Inconsistency (n=3)



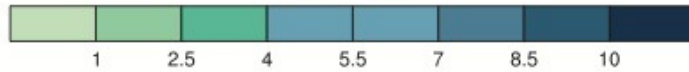


Modellbewertung, IPCC AR5, Niederschlag

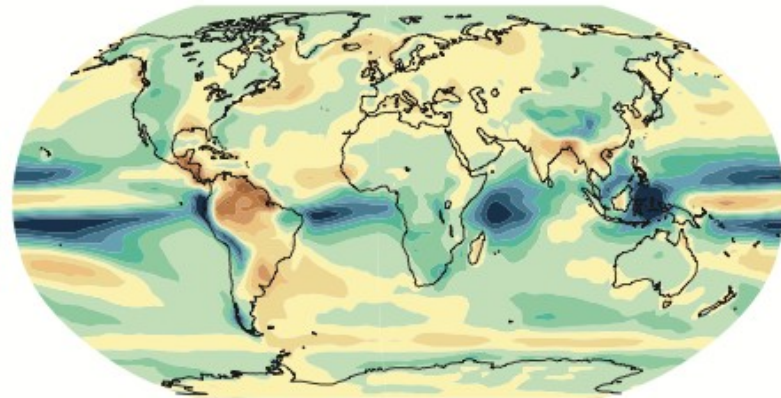
(a) Multi Model Mean Precipitation



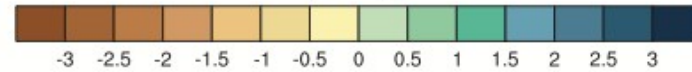
(mm day⁻¹)



(b) Multi Model Mean Bias



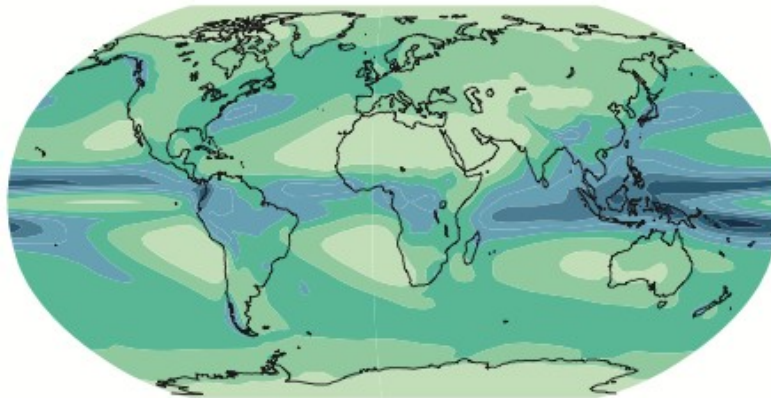
(mm day⁻¹)



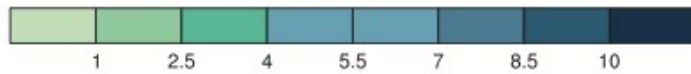


Modellbewertung, IPCC AR5, Niederschlag

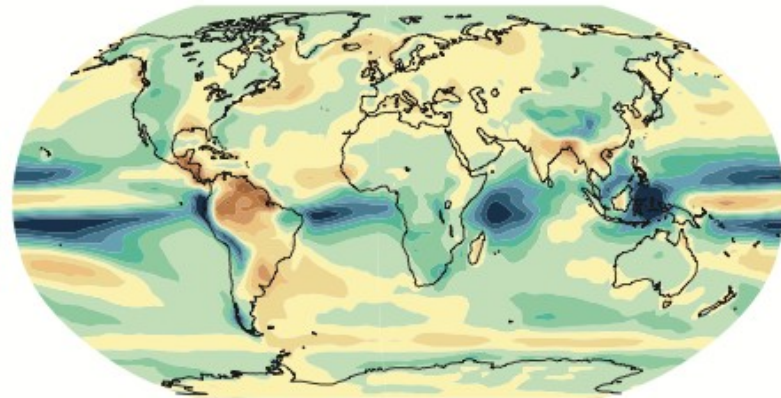
(a) Multi Model Mean Precipitation



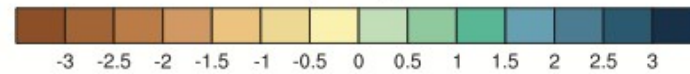
(mm day⁻¹)



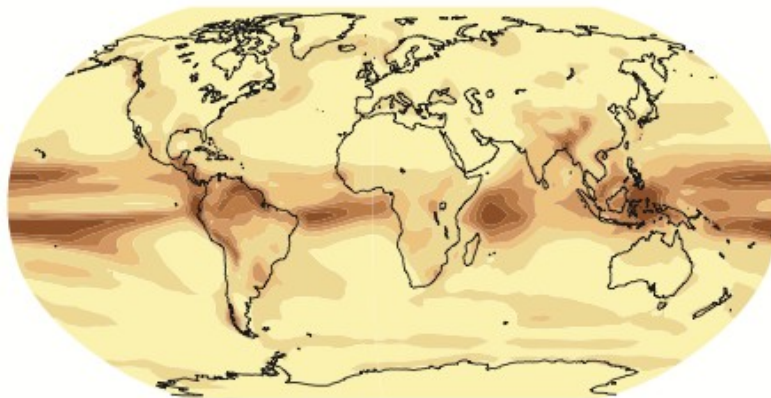
(b) Multi Model Mean Bias



(mm day⁻¹)



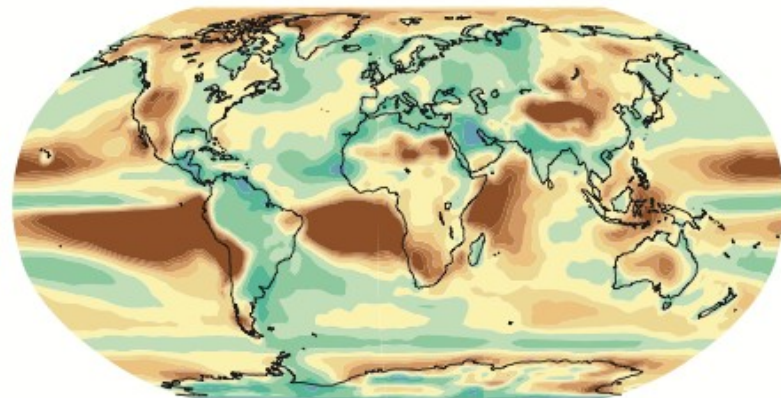
(c) Multi Model Mean of Absolute Error



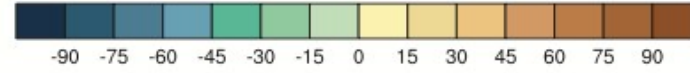
(mm day⁻¹)



(d) Multi Model Mean of Relative Error



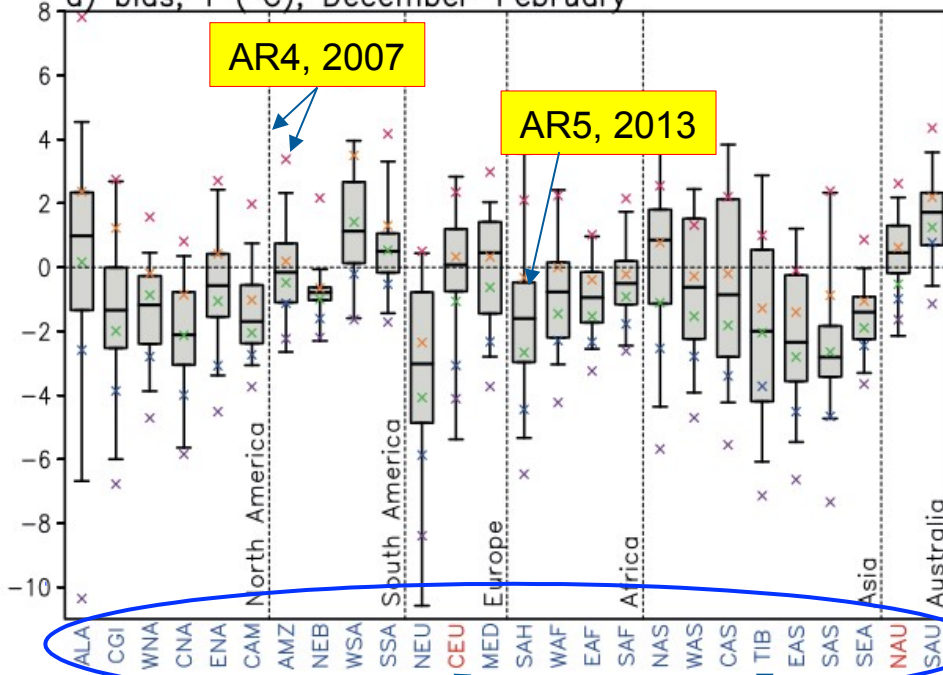
(%)



Modellbewertung, IPCC AR5. Fortschritt? Fehlerreduktion?

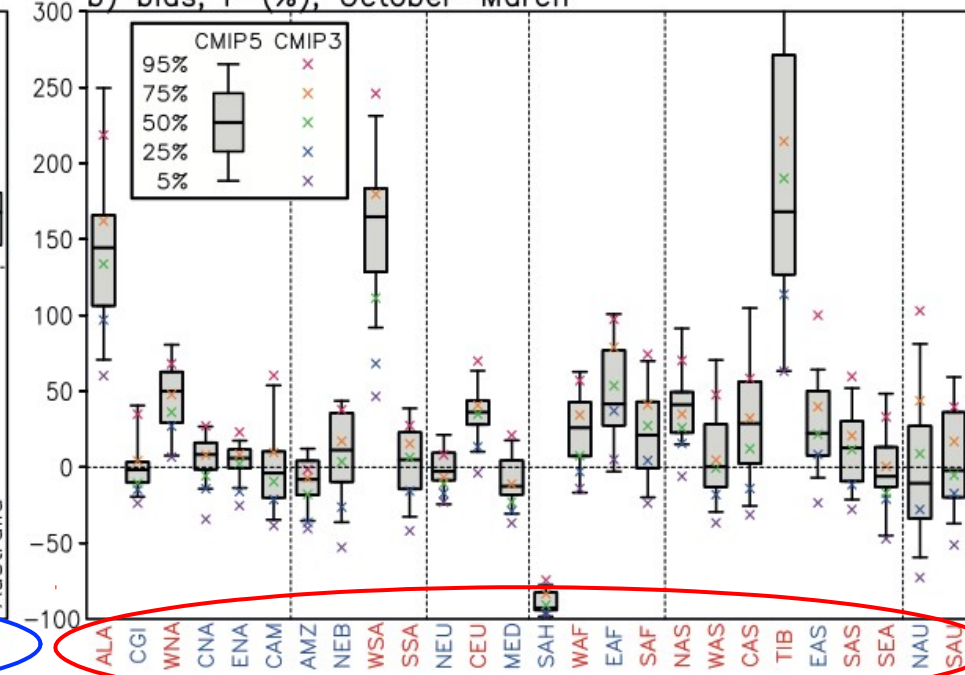
Temperatur

a) bias, T (°C), December–February



Niederschlag

b) bias, P (%), October–March



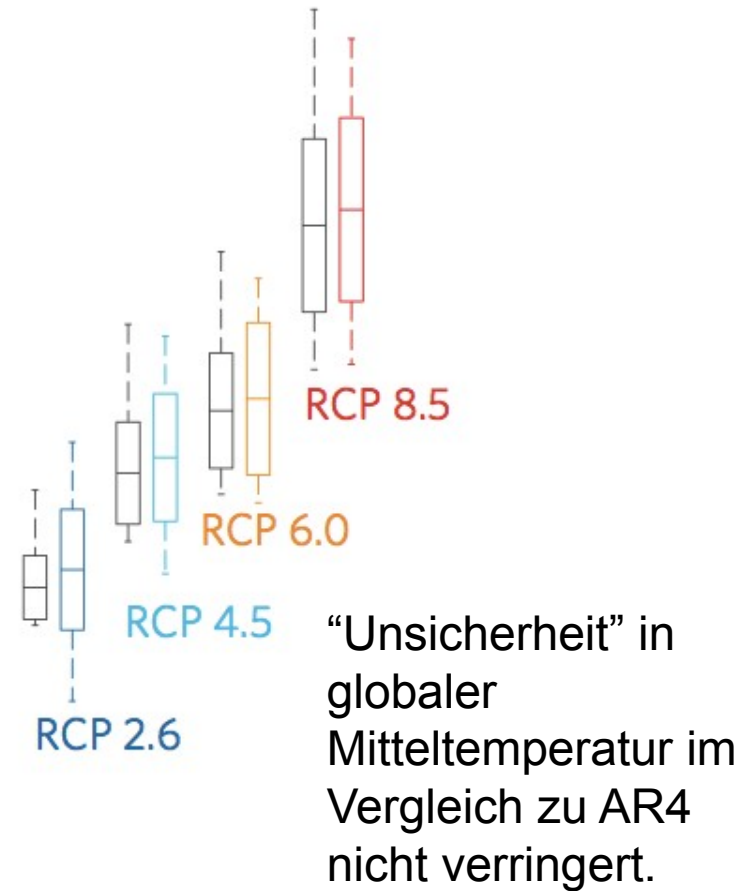
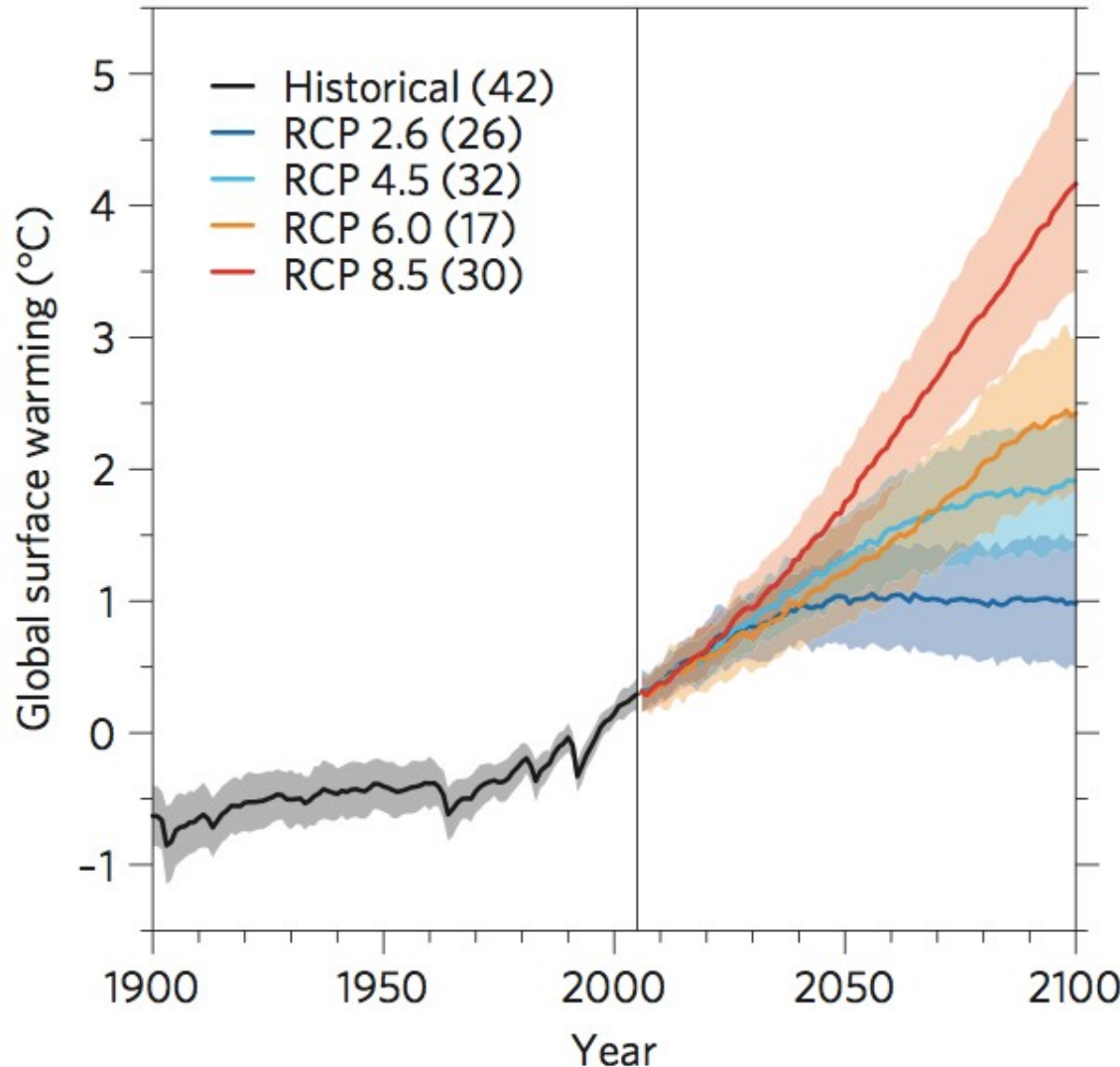
Regionale Abweichung gegenüber Beobachtungen.
In den letzten 6 Jahren **größer** bzw **kleiner** geworden.



Unsicherheiten, IPCC AR5 Projektionen in die Zukunft

Comparison with
emulated CMIP3 RCP

CMIP5 models, RCP scenarios



(Knutti & Sedlacek, 2013)



Schlussfolgerungen

- Abweichungen zwischen Modellergebnissen und Beobachtungen sind in den letzten Jahren nicht wesentlich kleiner geworden
- Streuung der Prognosen ist ebenfalls nicht wesentlich kleiner geworden
- Kaum Zunahme der Genauigkeit von Prognosen (?)
- Aber: detailgetreudere (bessere?) Darstellung vieler Prozesse
- “Besseres“ Prozessverständnis, fundierteres Wissen auch über bisher nicht beobachtete Klimazustände

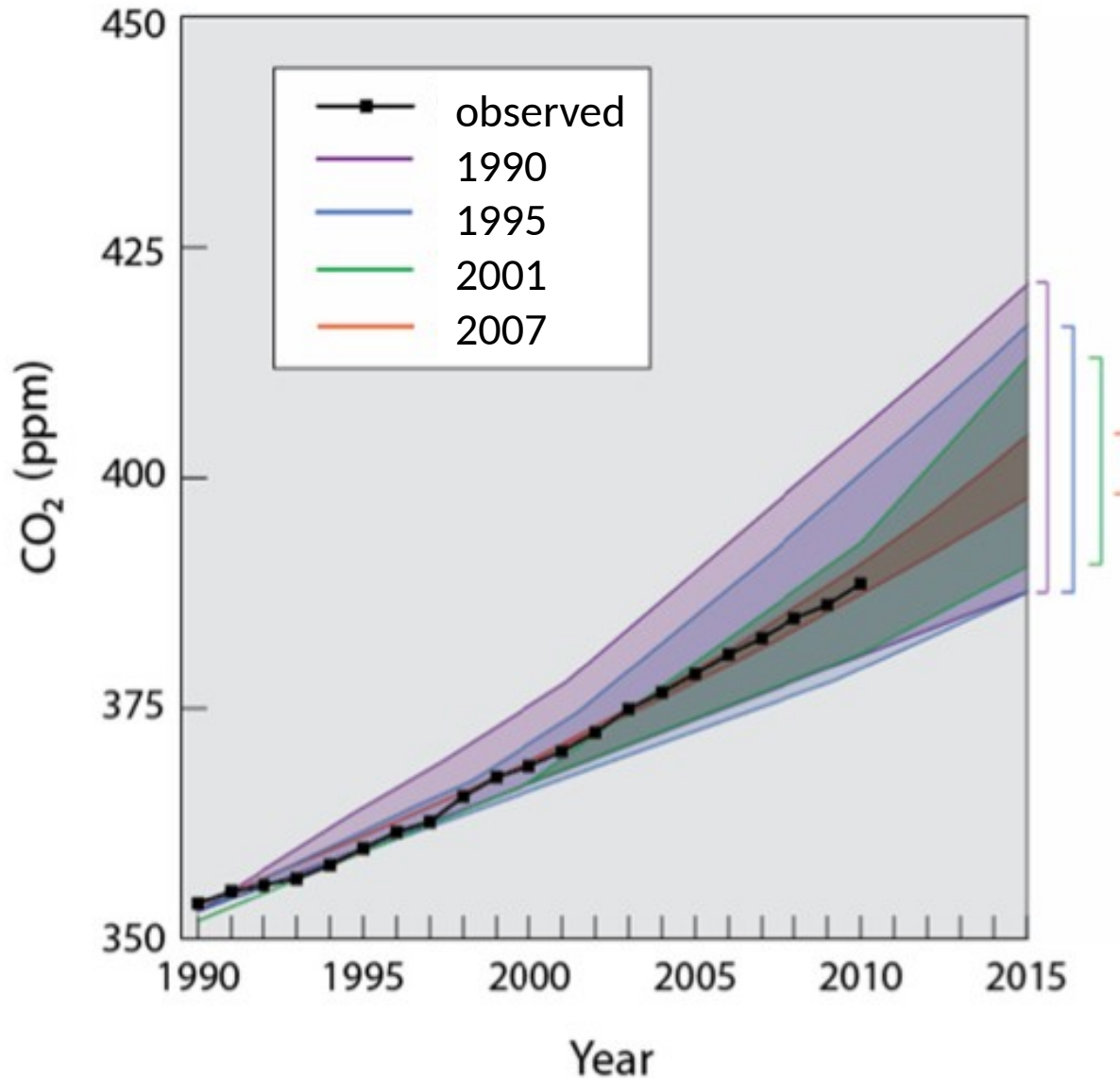


Schlussfolgerungen

- Modellbewertung oft rudimentär
 - keine einheitlichen Bewertungsmetriken
(wie würden wir Unsicherheiten bewerten wollen?)
 - „nach bestem Wissen und Gewissen“?
- Modelle simulieren i.a. zu geringe Variabilität
- Besonderes Problem: Extrapolation in bisher unbekannte Klimazustände
- Modelle sind für Blick in mögliche Zukunften das beste Werkzeug, das wir haben



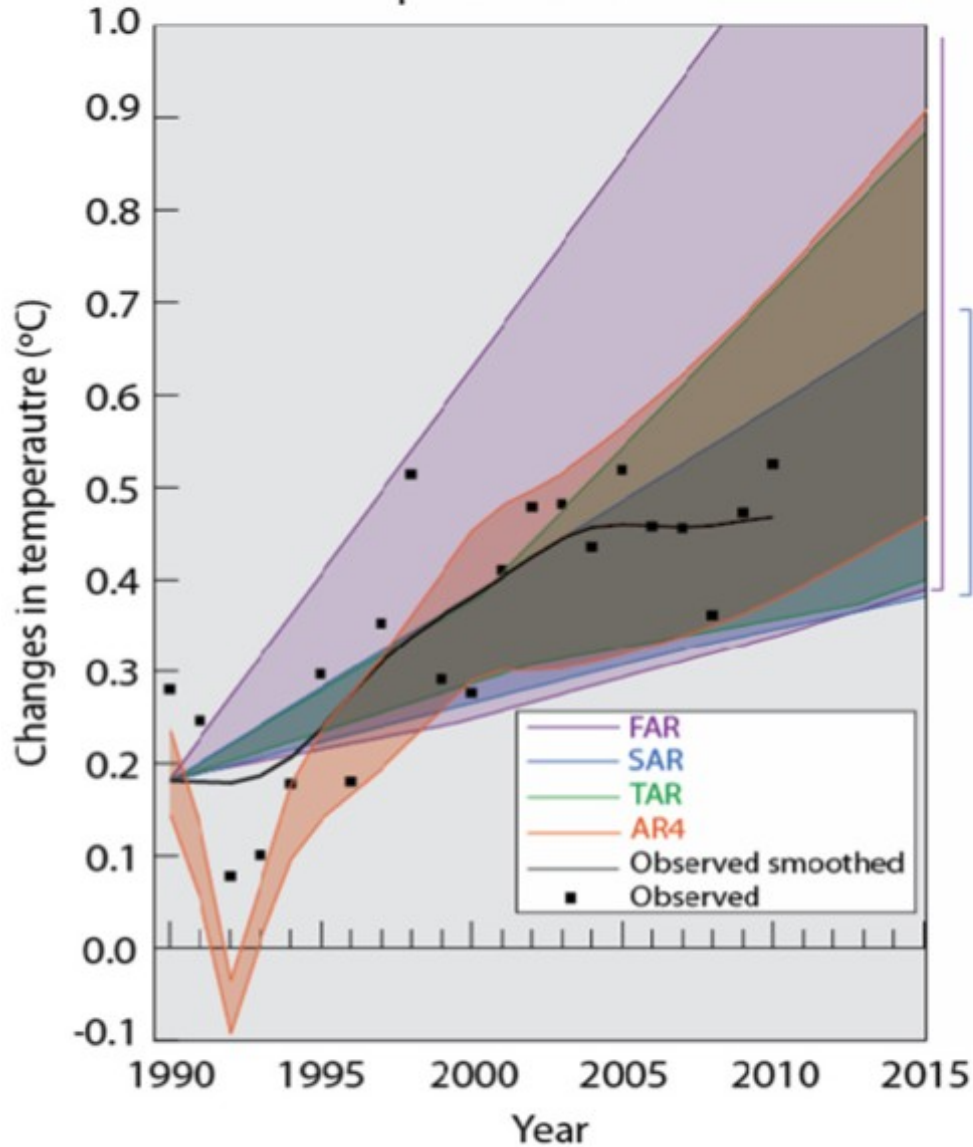
CO₂ Concentrations



- today: 413 ppm



Globally and Annually Averaged Temperature Anomalies



■ today



Schlussfolgerungen

- Unsicherheiten bleiben
- völlig normaler Alltagszustand
- Gesellschaft kann sehr gut mit Unsicherheiten umgehen
- Unsicherheiten sind kein Alibi für Nichtstun

- Zentral: Transparenz in der Wissenschaft
 - Publikationen, Begutachtungssystem, unabhängige Forschungsförderung





Vielen Dank!