

# Konsortialrechnungen mit dem MPI-M Erdsystemmodell für CMIP5

–

## Hintergrund, Experimente, Szenarien und Modelle

Marco Giorgetta



Max-Planck-Institut  
für Meteorologie

- Wissenschaftlicher Hintergrund
- Internationaler Bezug
- Experimente: CMIP5
- Szenarien: RCPs
- Das Modell: MPI-ESM
- Arbeitsablauf
- Zusammenfassung und Ausblick



# Wissenschaftlicher Hintergrund

- Können Klimamodelle, die für Projektionen benutzt werden, nebst dem Klima des 20. Jahrhunderts auch das vorindustrielle Klima nachvollziehen?
  - Jahrtausend von 850 bis 1850  
→ **Millennium Konsortialprojekt (Jungclaus et al.,2010)**
  - mittleres Holozän (vor 6000 Jahren)
  - letztes glaziales Maximum (vor 21000 Jahren)
- Wie hängt das Ausmaß einer Klimavariation oder Klimaänderung von Rückkopplungsmechanismen im Klimasystem ab?
  - Rolle der Wolken
  - Rolle des Kohlenstoffkreislaufs



# Wissenschaftlicher Hintergrund

- Kann das Klima über mehrere Jahre vorhergesagt werden
  - In welchen Regionen?
  - Welche Variablen?
    - **Atlantische Umwälzung**
    - Matei et al. (2012):**
  - Wie können Beobachtungen dafür optimal genutzt werden?
    - **MiKliP**



- Wie unterschiedlich können Klima und Lebensbedingungen in 2100 sein bei Berücksichtigung eines breiten Spektrums von Emissions- und Landnutzungsszenarien?
  - Von hohen **Basisszenarien ohne Klimapolitik: RCP8.5**
  - Bis zu **Vermeidungsszenarien**, die eine globale Erwärmung von weniger als **2°C** anstreben: **RCP2.6**



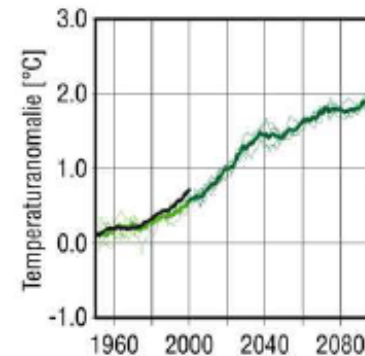
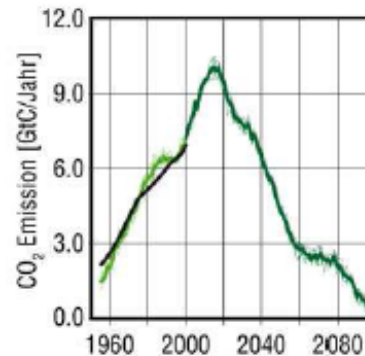
# Wissenschaftlicher Hintergrund

- Wie groß darf die anthropogene CO<sub>2</sub> Emission sein um bestimmten CO<sub>2</sub> Konzentrationspfaden folgen zu können?

$$d\text{CO}_2(t) = (\text{Anthrop. Emission})(t) - (\text{Fluss A} \rightarrow \text{O})(t) - (\text{Fluss A} \rightarrow \text{L})(t)$$

$$\rightarrow (\text{Anthrop. Emission})(t) = d\text{CO}_2(t) + (\text{Fluss A} \rightarrow \text{O})(t) + (\text{Fluss A} \rightarrow \text{L})(t)$$

→ **ENSEMBLES Projekt**  
**E1 Szenario**  
**(Roeckner et al., 2010)**



# Wissenschaftlicher Hintergrund

- Wie zuverlässig sind Resultate aus Simulationen mit einzelnen Klimamodellen?
  - In welchen Resultaten stimmen verschiedene Modell überein?
  - Sicherheit für Planungsentscheidungen?

→ Multi-Modell Experimente

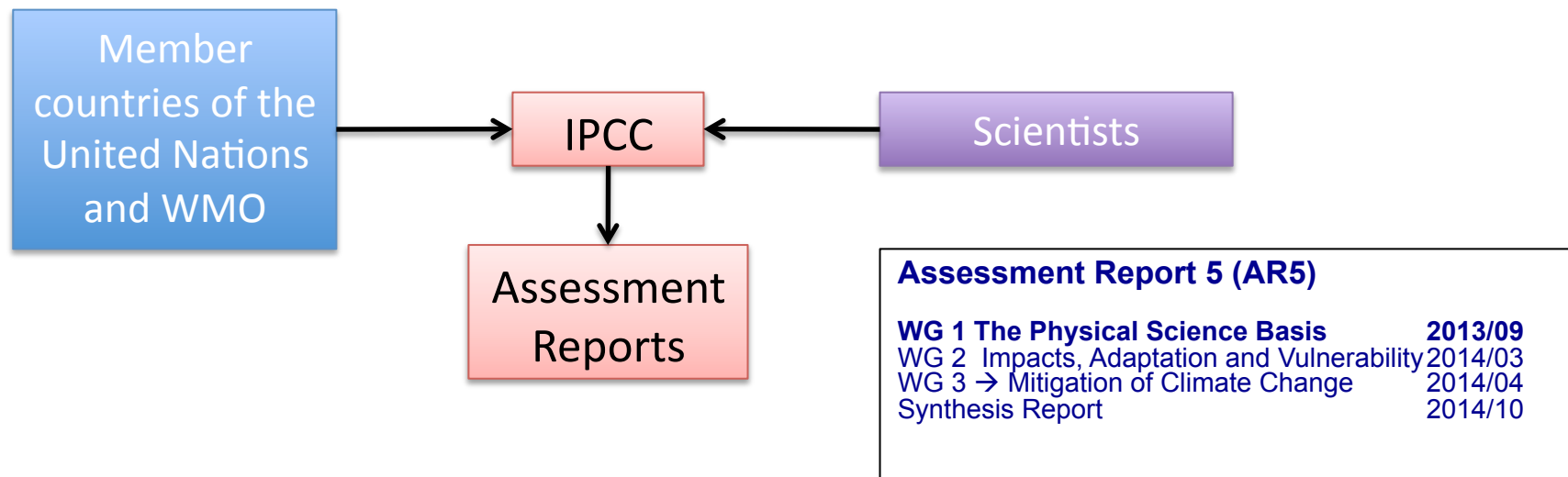
- Internationale Koordination von numerischen Experimenten
  - wegen des Umfangs und der Komplexität des Themenbereichs
  - wegen der vielseitigen Interessen

→ WCRP, IPCC



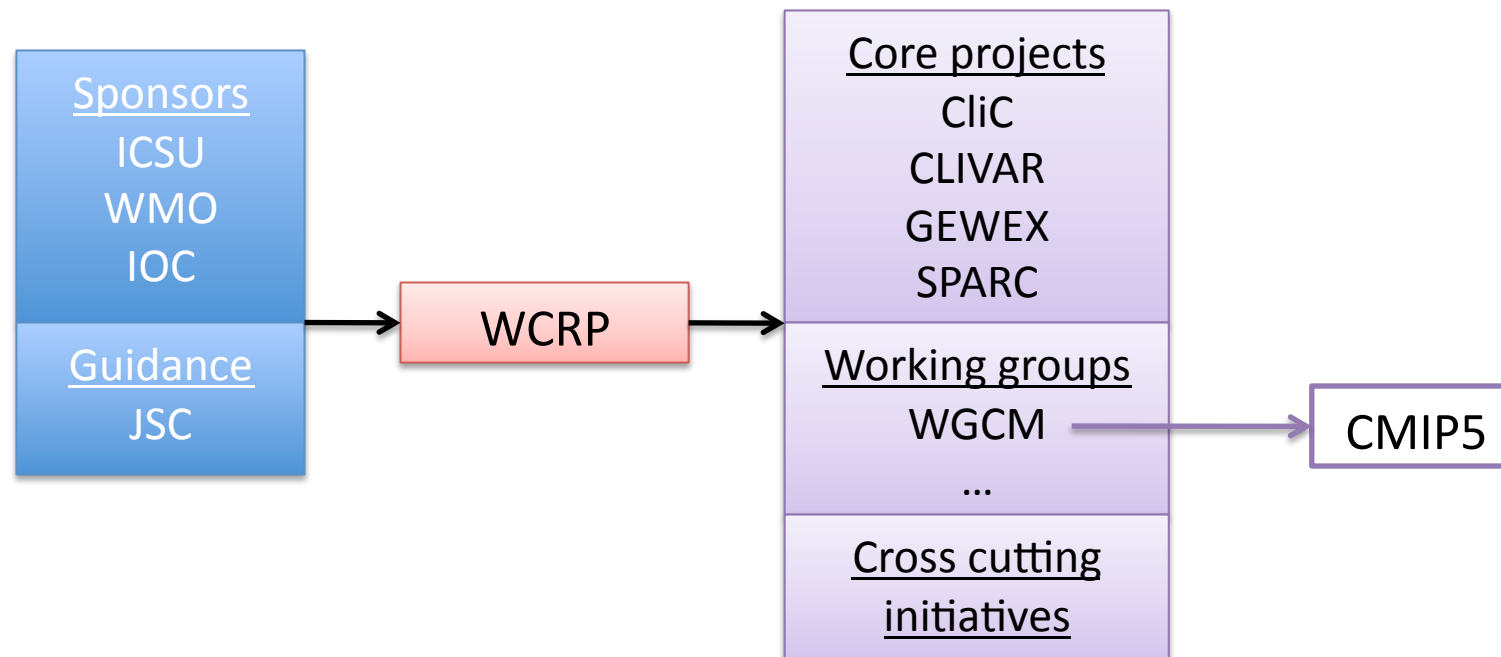
# Intergovernmental Panel on Climate Change (since 1988)

- IPCC *begutachtet und bewertet* wissenschaftliche, technische und sozioökonomische Informationen, die für das Verstehen der Klimaänderung relevant sind
- IPCC *betreibt keine eigene Forschung*
- IPCC ist eine zwischenstaatliche Einrichtung



# World Climate Research Programme (since 1980)

*Ziel: Entwicklung des grundlegenden Verständnisses des physikalischen Klimasystems, der Vorhersagbarkeit des Klimas und des Ausmaßes menschlicher Einflüsse auf das Klima*





# Vergleichsprojekt für gekoppelte Modelle

## Coupled Modelling Intercomparison Project (CMIP)

- CMIP5: Start im September 2008
- **Experimente:** Auswahl und Spezifikation von Experimenten durch Modelliergruppen in Absprache mit der involvierten wissenschaftlichen Gemeinde
- **Szenarien:** Koordination mit Szenarientwicklern
  - Treibhausgase, Landnutzung, Ozon, solare Einstrahlung, vulkanische Aerosole, ...
- **Standards:** Formate, Variablen, ...



# Experimente

01-10-2011 / 02-10-2011	20110101	20201231	20201231	<a href="#">decadal2010_r8i1p1-LR</a>	02-10-2011 01:11:23
01-10-2011 / 02-10-2011	20110101	20201231	20201231	<a href="#">decadal2010_r7i1p1-LR</a>	02-10-2011 01:11:00
01-10-2011 / 02-10-2011	20110101	20201231	20201231	<a href="#">decadal2010_r10i1p1-LR</a>	02-10-2011 01:16:41



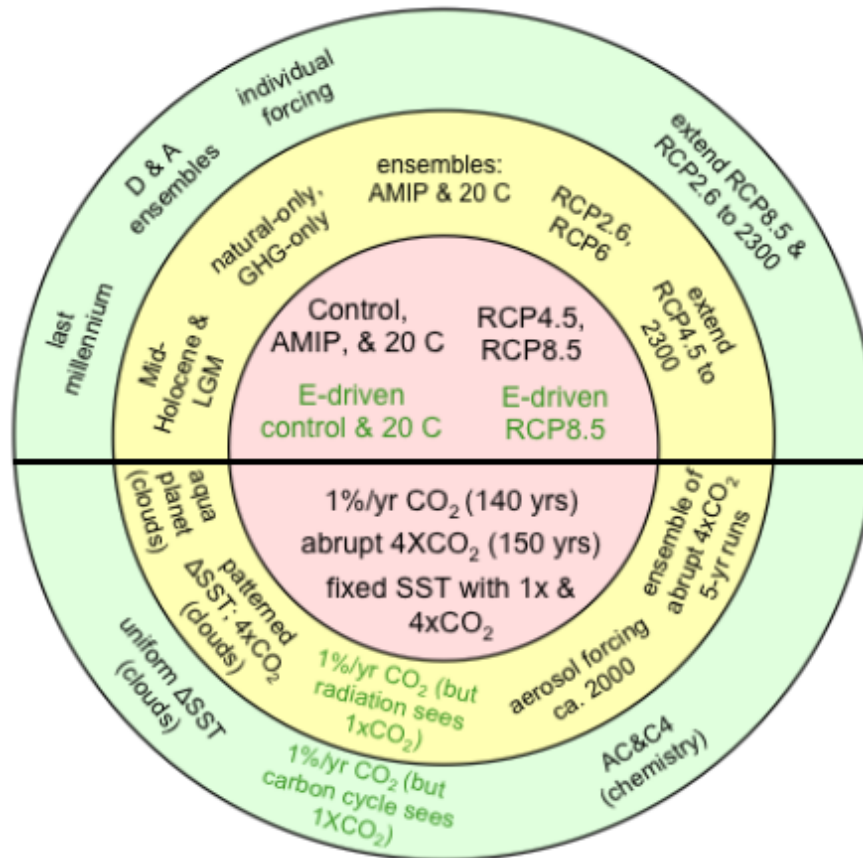
# CMIP5 Experimente

- Basis Experimente:
  - Das vorindustrielle Klima von 1850
  - Das Klima von 1850 bis 2005
- Klimaprojektionen bis 2100 (2300)
  - „Neue Szenarien“
  - Wie viel CO<sub>2</sub> darf emittiert werden für bestimmte Konzentrationspfade?
- Dekadische Klimavorhersage
  - Für Startjahre ab 1960 bis 2010
- Rückkopplungseffekte
  - Klima/Wolken, Klima/C-Kreislauf
- Paleo
  - 850 – 1850, mittleres Holozän, letztes glaziales Maximum

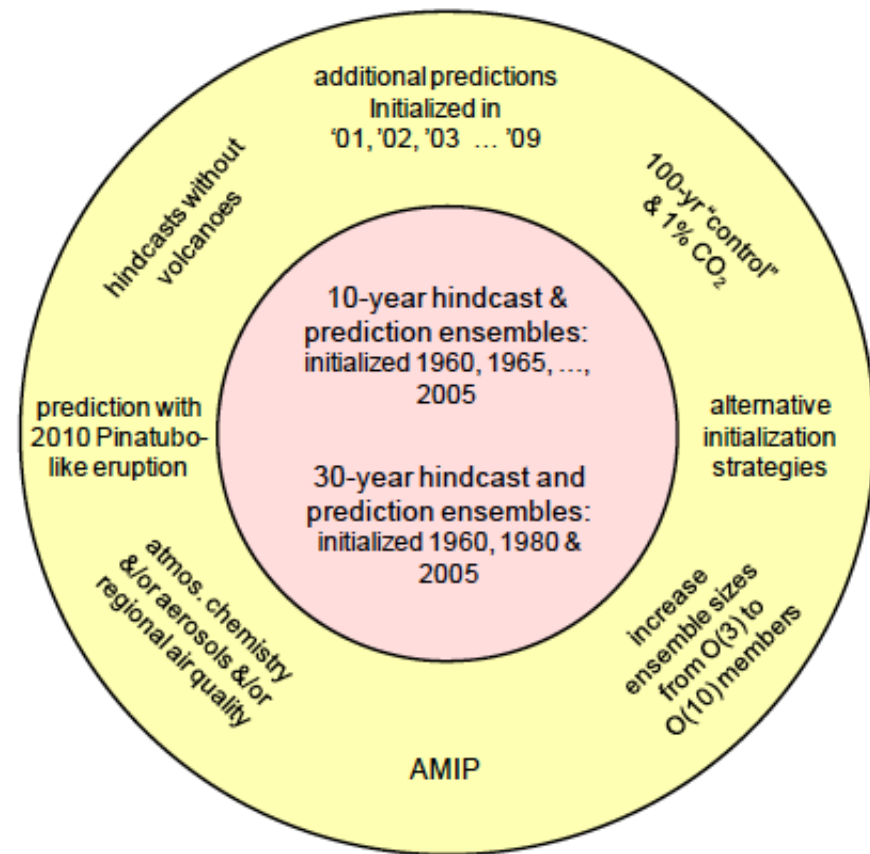
(Taylor et al. 2011)



# CMIP5 Experimente



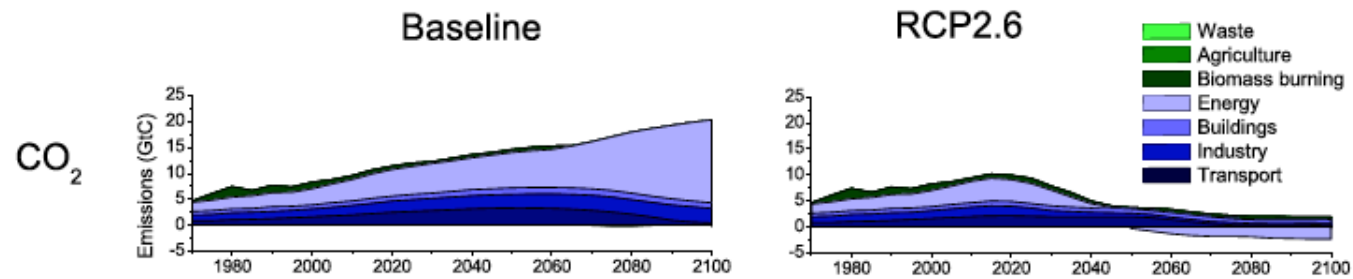
Langfristige Experimente



Dekadische Experimente



# Szenarien



(van Vuuren et al., 2011b, Fig. 4)



# Szenarien

## *Was sind Szenarien?*

- *Mögliche und nach aktuellem Verständnis plausible Entwicklungen, die die Grundlage für weitere Überlegungen bieten*
- *“ ... Sie erlauben Forschern die langfristigen Konsequenzen heutiger Entscheidungen zu erforschen, unter Einbezug der Trägheit sowohl sozioökonomischer als auch physikalischer Systeme.*

*Szenarien bilden auch ein integrierendes Element zwischen den verschiedenen Forschungsrichtungen, die sich mit Klimaänderung befassen, wie Ökonomen, Technologieexperten, Klimaforschern, ...”*

*(van Vuuren et al., Climatic Change, 2011a)*



# Geschichte der Szenarien in IPCC

→ Moss et al., *The next generation of scenarios for climate change research and assessment*, *Nature*, 463, 747-756, 2010.

Für die ersten Sachstandsberichte hatte IPCC selbst die Entwicklung der Szenarien betrieben:

- *Scenario A 1990, (SA90), (IPCC, 1990)*
- *IPCC Scenarios 1992 (IS92) (Legget et al., 1992)*
- *Special Report on Emission Scenarios (SRES)*  
(Nakicenovic et al., 2000) → **A2, A1B, B1** → **CMIP3 und AR4**

→ In 2006 hat der IPCC beschlossen, dass die Koordination und Entwicklung neuer Szenarien für AR5 durch die wissenschaftliche Gemeinde selbst erfolgen soll, ...



# Szenarien für IPCC AR5

- IPCC Expert Meeting, Noordwijkerhout, September 2007:  
Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change,  
impacts and response strategies (Moss et al., 2008)
- **3-stufiger paralleler Prozess**
  - Stufe 1:
    - Auswahl von repräsentativen Szenarien anhand des Strahlungsantriebs,  
für die Benutzung in Klimamodellen
  - Stufe 2:
    - (A) Klimaszenarien: kurzfristig, langfristig, regional, ...
    - (B) Entwicklung neuer sozioökonomischer Szenarien inkl. Emissionen etc.
  - Stufe 3
    - Integration der neuen Klimaszenarien und sozioökonomischen Szenarien
- **Integration aller Aspekte in einem Sachstandsbericht**





# Auswahlkriterien für Szenarien

- Aus der begutachteten Literatur
- Von verschiedenen Gruppen unabhängig entwickelt worden
- Interne Konsistenz (→ integrated assessment models)
- Repräsentativ:
  - Abdeckung des gesamten Bereichs der Strahlungsantriebe in 2100
  - In 2100 klar getrennte Strahlungsantriebe (delta ca. 2 W/m<sup>2</sup>)
  - Unterschiedliche Typen
    - Szenario ohne Klimapolitik (wie SRES)
    - Stabilisierungsszenarien
    - Überschießende Szenarien
- Szenario beschreibt alle für GCMs/ESMs benötigten Daten
- Möglichkeit für die Ausdehnung von 2100 bis 2300
- 4 Szenarien (kleine und gerade Anzahl)



# Repräsentative Konzentrationspfadszenarien

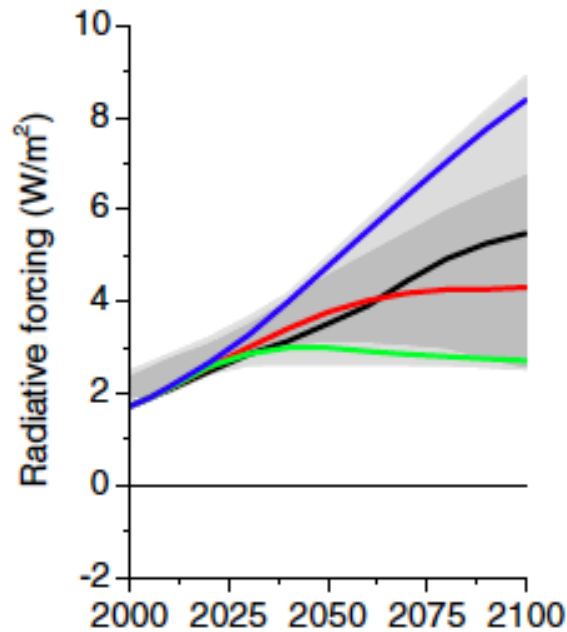
## Representative Concentration Pathway (RCP) scenarios

- Auswahl von 4 Szenarien benannt nach dem Strahlungsantrieb in 2100 bezogen auf 1850 → **RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5, RCP2.6**
- **Keine politische Implikation → Alle 4 RCPs gleich wahrscheinlich**
- Ausarbeitung:
  1. Mittels aktueller Versionen der IAMs
  2. Gemeinsame Referenzjahre für Emissionen und Landnutzungsdaten
  3. **Harmonisierung der Landnutzungsbeschreibung**
  4. **Erstellung Kohlenstofftransfermatrizen für Landnutzungsänderungen**
  5. **Umrechnung von Emissionen in Konzentrationen**
    - Für langlebigen Treibhausgase
    - Für reaktive Substanzen

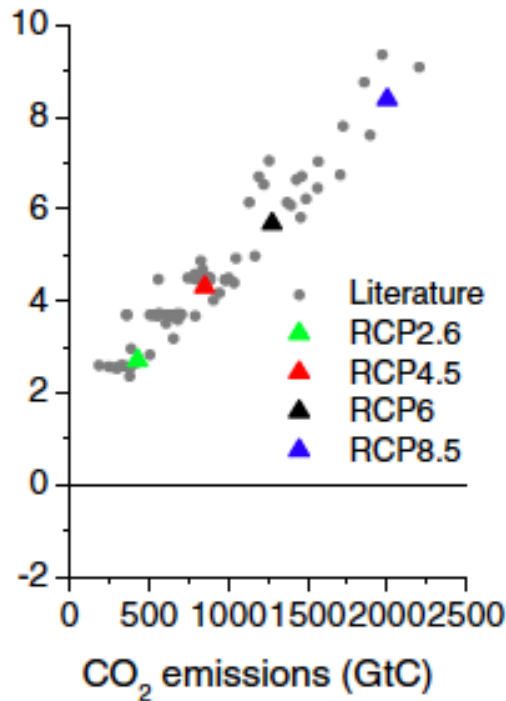


# RCPs

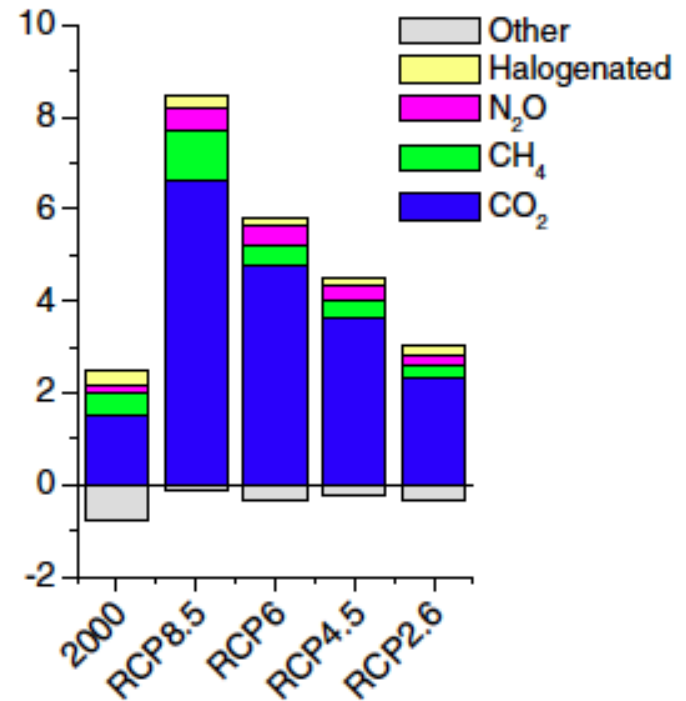
van Vuuren et al., Climatic Change, 109, 5-31, 2011a., Fig. 10:



Strahlungsantrieb  
Grau: 90, und 98. Perzentil  
der Literatur;



Kumulierte  $\text{CO}_2$  Emission in  
2100 vs. Strahlungsantrieb;  
Grau: von anderen Studien



Beiträge zum  
Strahlungsantrieb in 2100.



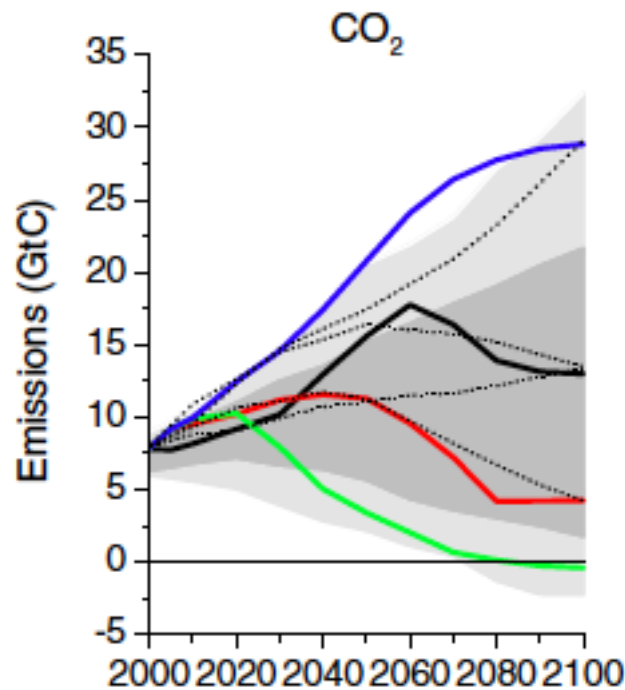
# Charakteristika der RCPs

- RCP 8.5: ansteigend, 8.5 W/m<sup>2</sup> in 2100
  - Sehr hohes Basisszenario verwandt mit SRES A2, 8.5 W/m<sup>2</sup> in 2100
  - Keine Klimapolitik, energieintensiv [GJ/\$], landintensiv
- RCP 6.0: Stabilisierung bei 6.0 W/m<sup>2</sup>
  - Landnutzung: Stärkste Abnahme wg. Intensivierung der Viehhaltung
- RCP 4.5: Stabilisierung bei 4.5 W/m<sup>2</sup>
  - Energie: Weniger extrem als RCP2.6
  - Landnutzung: abnehmend
- RCP 2.6: Maximum bei 3.0 W/m<sup>2</sup> , dann Reduktion auf 2.6 W/m<sup>2</sup> .  
(auch RCP 3.0 PD “Peak and Decline”)
  - Geringer Kohlenstofffaktor [kg C/GJ]      **Bio-Energie + CCS!**
  - Geringe Energieintensität [GJ/\$]
  - Landnutzung: zunehmend      **Bio-Energie**

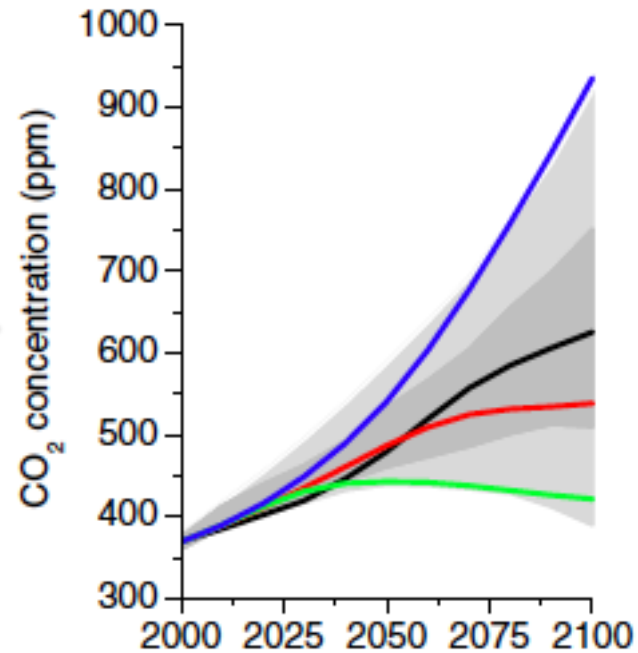


# RCPs: CO<sub>2</sub> Emissionen und Konzentrationen

- Treibhausgasemissionen wurden mittels des MAGICC6 Kohlenstoffkreislaufmodells in Konzentrationen umgerechnet



CO<sub>2</sub> Emissionen von 2000 bis 2100  
Grau: 90. und 98. Perzentil



CO<sub>2</sub> Konzentrationen 2000 – 2100

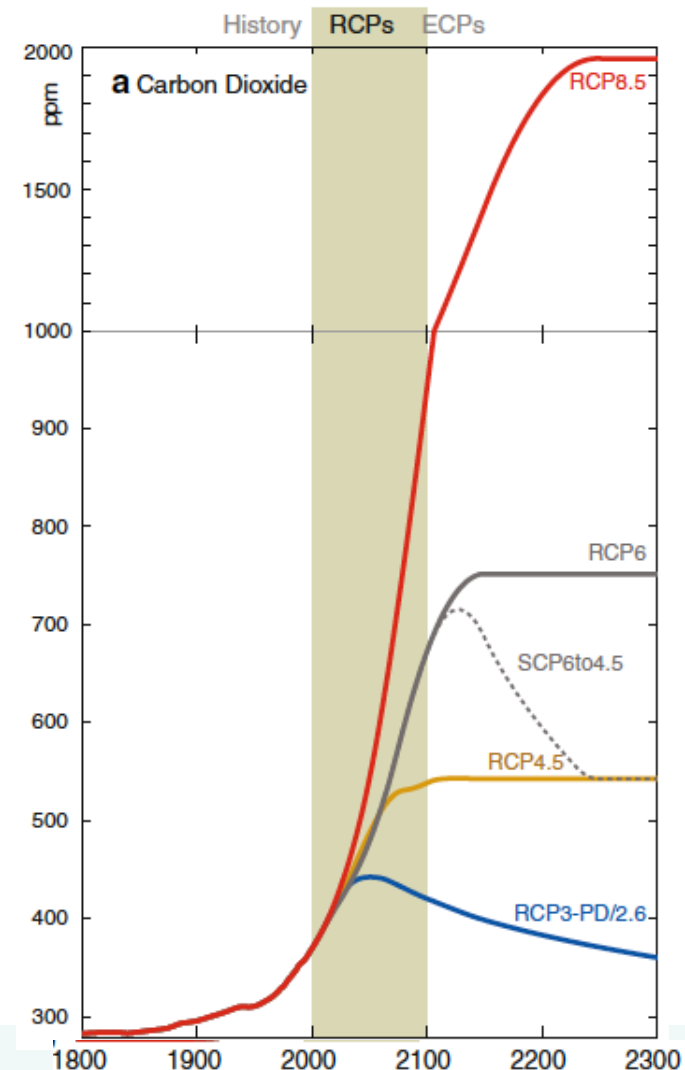


# Erweiterte Konzentrationspfad-Szenarien

## Extended Concentration Pathways (ECPs)

- Für die Untersuchung langzeitiger Effekte, wie Meeresspiegelanstieg
- Einfache Regeln anstatt sozioökonomischer Szenarien
- Entweder Stabilisierung der Konzentrationen oder konstante Emissionen
- Nur für Klimamodellen

CO<sub>2</sub> Konzentration 1800 – 2300  
(Meinshausen et al., 2011, Fig. 5a)



# Modelle: MPI-ESM

```
CALL cloud(jce, nbdim, jks, &! in  
& nlev, nlevpl, ntrac, &! in  
& pdtinc, nstplen, lcover &! in  
& ftime, nesi, old(:, : , jb) & no  
& ftime, nesi, old(:, : , jb) & no  
& ftime, nesi, old(:, : , jb) & no
```



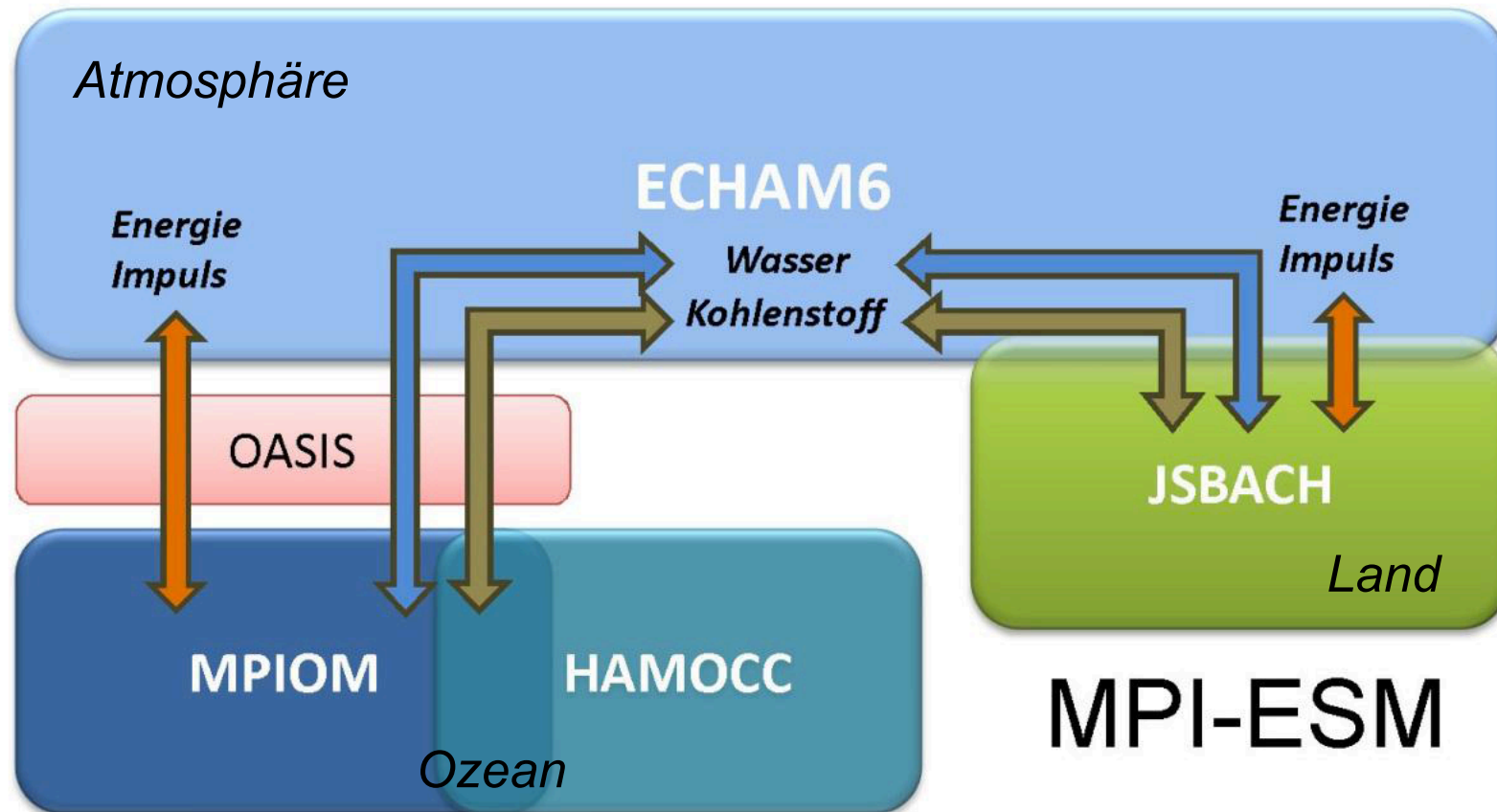
# Modelle

- Was sind Modelle?
- Konstrukte, die dazu dienen ein Objekt zugänglich zu machen, greifbar zu machen, oder betrachten zu können
  - Architektur: Modellhäuser
  - Physikunterricht: Atommodell
  - Klimaforschung: Klimamodell
- Modelle sind immer Vereinfachungen, auch Klimamodelle
  - Konzeptmodelle
  - Erdsystemmodelle





# Modellkomponenten von MPI-ESM



# Modellkonfigurationen und Auflösungen

- Für CMIP5: 3 Konfigurationen
- MPI-ESM-LR
  - ECHAM6 T63 / 1.9°, 47 Schichten bis 0.01 hPa
  - JSBACH: dynamische natürliche Vegetation
  - MPIOM: ca. 1.5°, 40 Schichten
- MPI-ESM-MR
  - ECHAM6 T63 / 1.9°, **95 Schichten** bis 0.01 hPa
  - JSBACH: dynamische natürliche Vegetation
  - MPIOM: ca. **0.4°**, 40 Schichten
- MPI-ESM-P
  - Wie “LR”, aber JSBACH mit vorgeschriebener Vegetationsverteilung



# Durchführung der CMIP5 Experimente



# Ablauf im Konsortialprojekt

- Modellentwicklung, Tuning, Spinup
- Durchführung der Experimente am DKRZ:
  - MPI-ESM-LR : 259 Simulationen, 7751 Jahre
  - MPI-ESM-P : 10 Simulationen, 3028 Jahre
  - MPI-ESM-MR : 72 Simulationen, 2803 Jahre
- Post-Prozessing
  - Qualitätschecks
  - CMIP5 Formate und Variablen → “CMOR”
  - Input für Regionalisierung
- Transfer der CMOR Daten ins “Earth System Grid”
  - MPI-ESM Daten → DKRZ/ESG → **User**
- **Publikation der Datensätze mit DOIs**

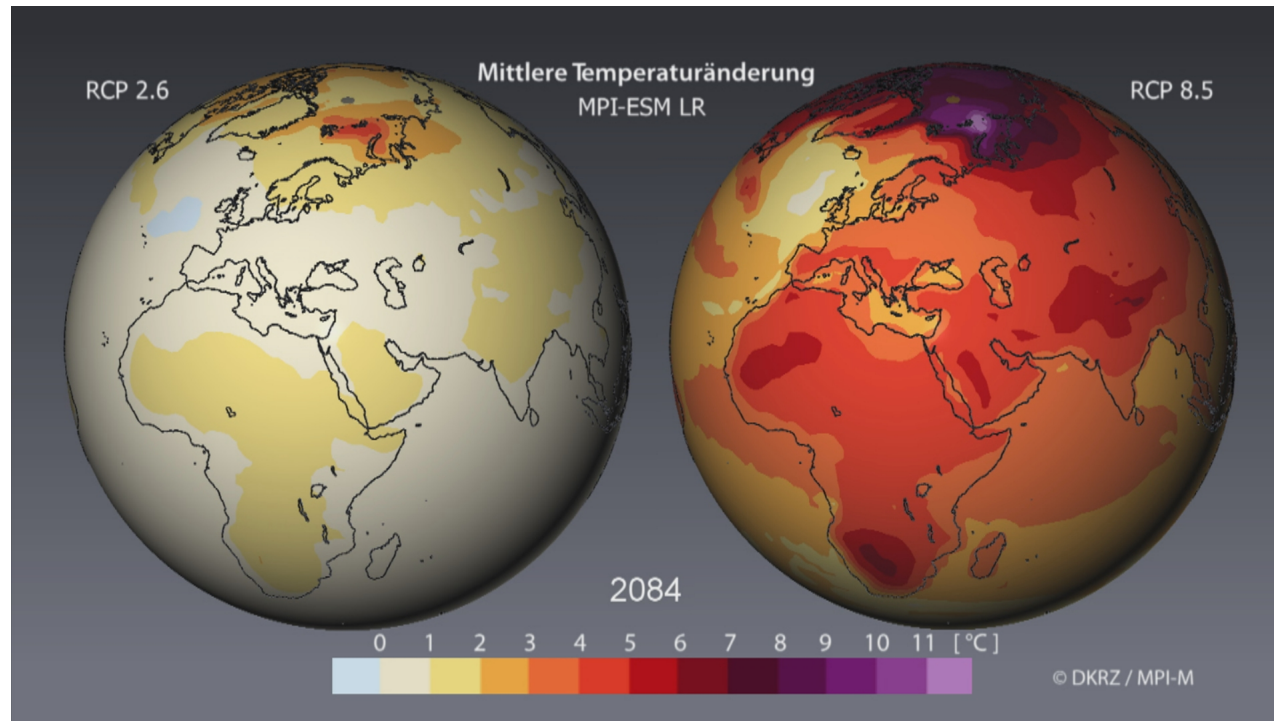


# Zusammenfassung

- In CMIP5 hat sich eine größere Anzahl von Forschungsinstituten engagiert um gemeinschaftlich die Klimaforschung voranzubringen.
- Das deutschen CMIP5 Projekt wurde im Rahmen eines vom BMBF unterstützen Konsortialprojekt am durchgeführt:
  - Modellentwicklung → MPI-ESM
  - Durchführung der Experimente am DKRZ
  - Datenspeicherung am DKRZ
  - Zugriff über ESG
- Diese Daten sowie das Modell stehen nun zur Verfügung
- Die wissenschaftliche Auswertung hat erst begonnen.



# ENDE



# Literatur

- IPCC. Emissions scenarios from the response strategies working group of the intergovernmental panel on climate change, Appendix 1. In *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Prepared for IPCC by Working Group I. Cambridge University Press, Cambridge, UK. (1990).
- Jungclaus, J. H., S. J. Lorenz, C. Timmreck, C. H. Reick, V. Brovkin, K. Six, J. Segschneider, M. A. Giorgetta, T. J. Crowley, J. Pongratz, N. A. Krivova, L. E. Vieira, S. K. Solanki, D. Klocke, M. Botzet, M. Esch, V. Gayler, H. Haak, T. J. Raddatz, E. Roeckner, R. Schnur, H. Widmann, M. Claussen, B. Stevens, and J. Marotzke: Climate and carbon-cycle variability over the last millennium. *Clim. Past*, 6, 723–737, 2010; doi: 10.5194/cp-6-723-2010
- Leggett, J., W.J. Pepper, and R.J. Swart. Emissions Scenarios for IPCC: an update. In *Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment* eds Houghton, J.T., B.A. Callander & S.K. Varney. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 69–95. (1992).
- Matei, D., J. Baehr, J.H. Jungclaus, H. Haak, W. A. Müller und J. Marotzke: Multi-year prediction of the Atlantic Meridional Overturning Circulation at 26.5°N. *Science*, 06.01.2012.
- Meehl, Gerald A., and Coauthors: Decadal Prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 90, 1467–1485, doi: 10.1175/2009BAMS2778.1, 2009.
- Meinshausen, M., S. J. Smith, K. V. Calvin, J. S. Daniel, M. Kainuma, J.-F. Lamarque, K. Matsumoto, S. A. Montzka, S. C. B. Raper, K. Riahi, A. M. Thomson, G. J. M. Velders and D. van Vuuren: The RCP Greenhouse Gas Concentrations and their Extension from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109,. DOI:10.1007/s10584-011-0156-z, 2011.



# Literatur

- Moss R, Babiker M, Brinkman S, Calvo E, Carter T, Edmonds J, Elgizouli I, Emori S, Erda L, Hibbard KA et al.: Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132 pp., 2008.
- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK et al.: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463:747–756, 2010.
- Nakicenovic, N. et al. Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK. (2000).
- Riahi K, Krey V, Rao S, Chirkov V, Fischer G, Kolp P, Kindermann G, Nakicenovic N, Rafai P: RCP-8.5: exploring the consequence of high emission trajectories. *Climatic Change*, 109, 2011.
- Roeckner, E., M. A. Giorgetta, T. Crüger, M. Esch und J. Pongratz: Historical and future anthropogenic emission pathways derived from coupled climate-carbon cycle simulations. *Climatic Change*, DOI 10.1007/s10584-010-9886-6, (2010).
- Taylor, K.E., R.J. Stouffer, G.A. Meehl: An Overview of CMIP5 and the experiment design.” *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1, 2011.
- Van Vuuren DP, Edmonds J, Thomson A, Riahi K, Kainuma M, Matsui T, Hurtt GC, Lamarque J-F, Meinshausen M, Smith S et al.: Representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109, 5-31, 2011a.





# Literatur

Van Vuuren DP, Stehfest E, Den Elzen MGJ, Deetman S, Hof A, Isaac M, Klein Goldewijk K, Kram T, Mendoza Beltran A, Oostenrijk R et al.: RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature change below 2°C. *Climatic Change*, 109, 95-116, 2011b.

