



# **Methoden, Möglichkeiten und Grenzen der regionalen Klimamodellierung**

Daniela Jacob

Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

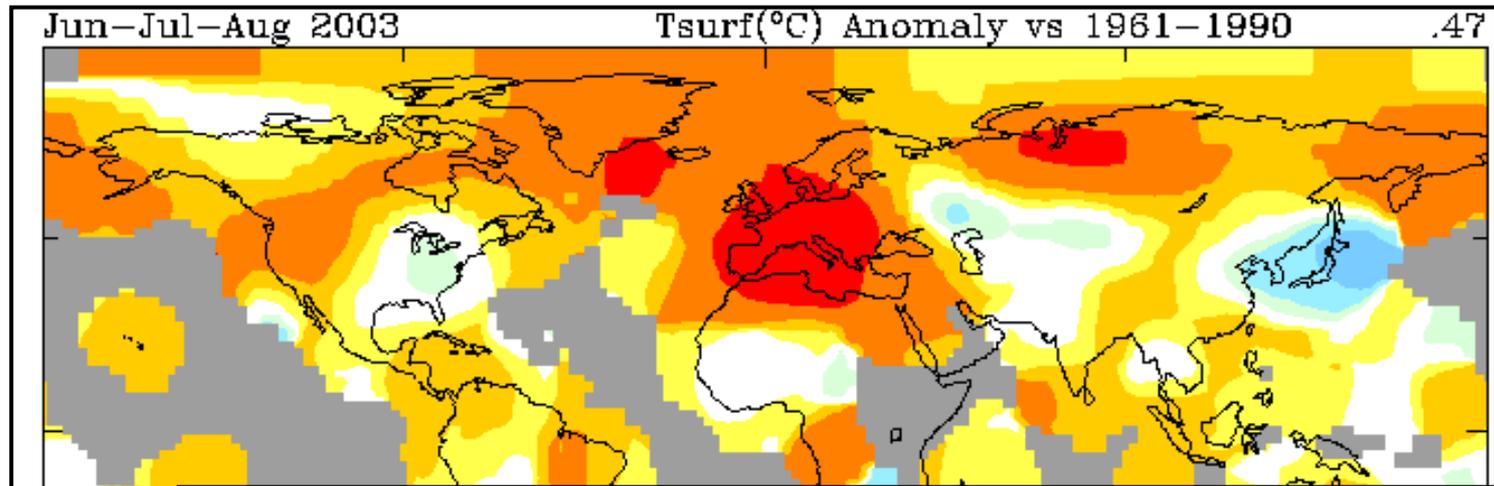




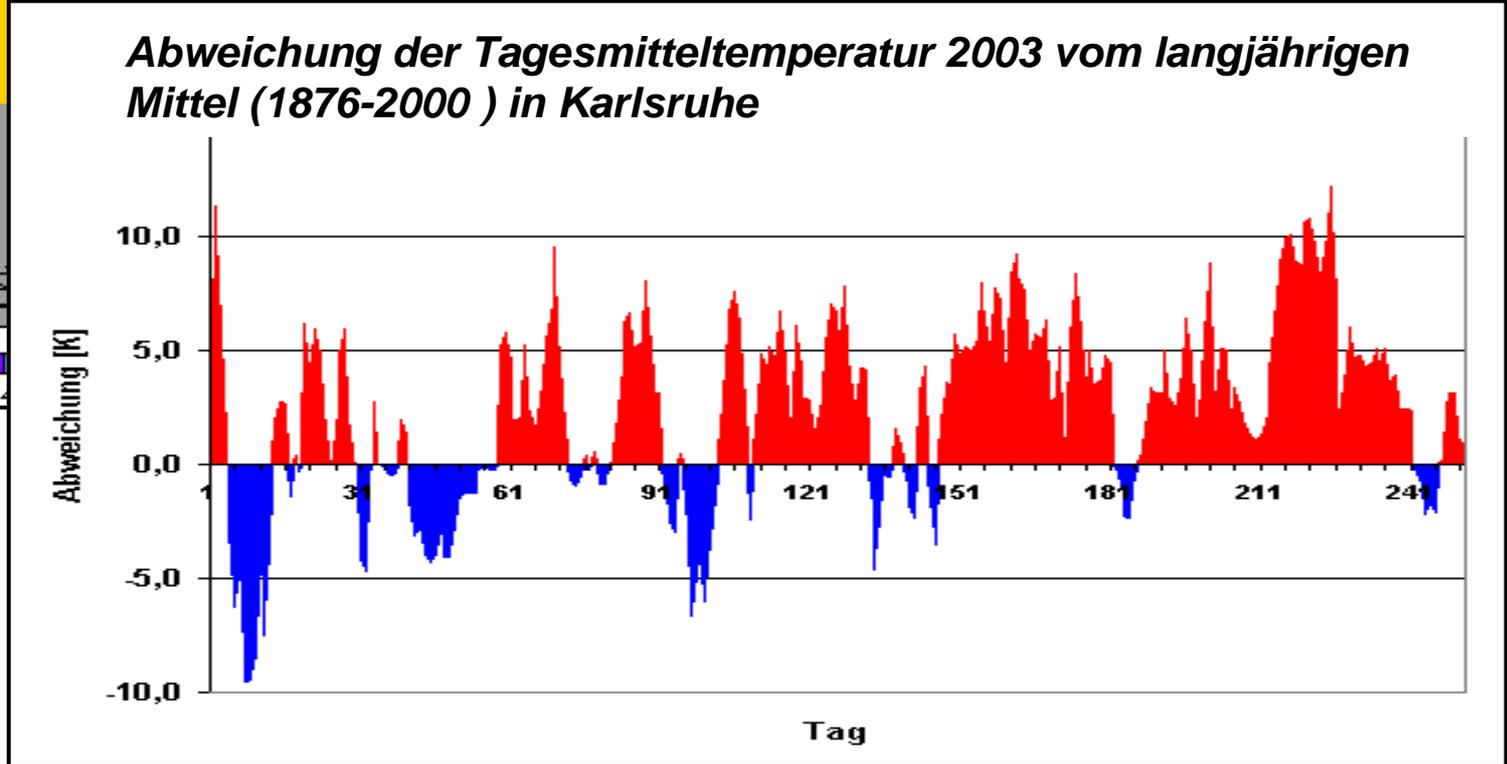
- **Beobachtete Klimaänderung**
- Methoden (statistisch, dynamisch)
- Unsicherheiten und Bandbreiten
- Zusammenfassung und Ausblick



# Sommer 2003: Hitzewelle in Europa



**Abweichung der Tagesmitteltemperatur 2003 vom langjährigen Mittel (1876-2000) in Karlsruhe**



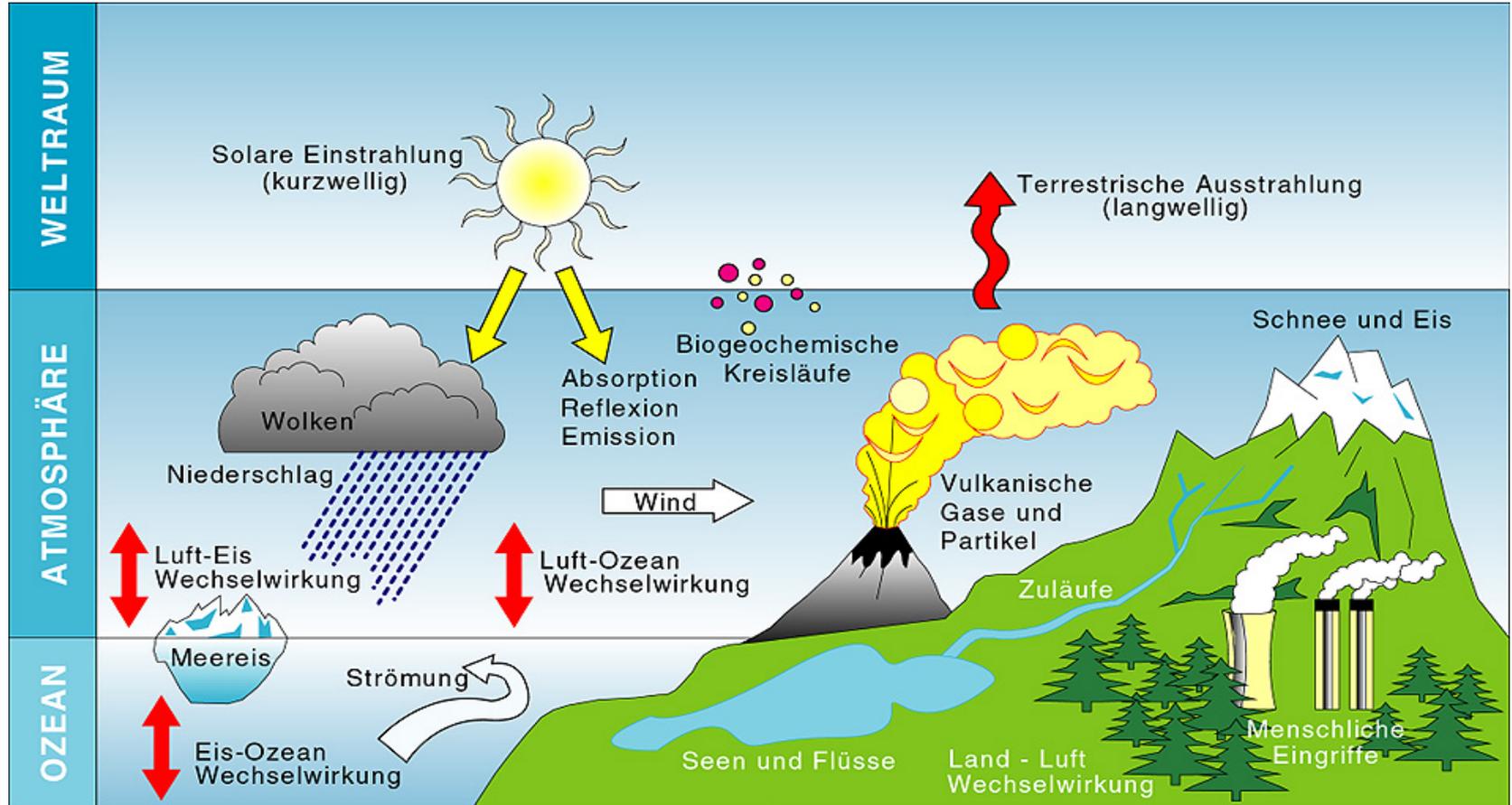
source: Nasa Goddard Institute for Space Studies; Inst. f. Meteorologie und Klimaforschung, Univ. Karlsruhe





- Beobachtete Klimaänderung
- **Methoden (statistisch, dynamisch)**
- Unsicherheiten und Bandbreiten
- Zusammenfassung und Ausblick

# Das physikalische Klimasystem





## Statistische Methoden:

**z.B. Wetterlagenorientierte Regionalisierungsmethode, STAR**

Datenquellen: Beobachtungen für das Klima der Jetztzeit, Änderungstrends aus Globalmodellen

Verknüpfung der Klimaänderungstrends mit den Beobachtungen, d.h. heutiges beobachtetes Klima ist Kontrollklima

liefern häufig auch Stationswerte (+)

wenig Rechenzeitverbrauch (+)

Darstellung von noch nicht beobachteten extremen Ereignissen schwierig, (-)

Wechselwirkungen bleiben unberücksichtigt (-)

(liefert nicht alle notwendigen Datensätze für Folgemodelle (-))



## Dynamische Methoden:

3-dimensionale nicht-lineare Strömungsmodelle, z.B. **CLM, REMO**

explizite Berechnung von Wetterabläufen, die dann über längere Zeiten gemittelt das Klima beschreiben

Klimaänderungstrends kommen teilweise aus den Globalmodellen und können durch regionale Charakteristika modifiziert werden

Wechselwirkungen werden berücksichtigt (+)

neue Extrema können auftreten (+)

liefert konsistente Datensätze für Folgemodelle (+)

sehr Rechenzeit intensiv (-)

keine Punktwerte, sondern Rasterwerte (-)

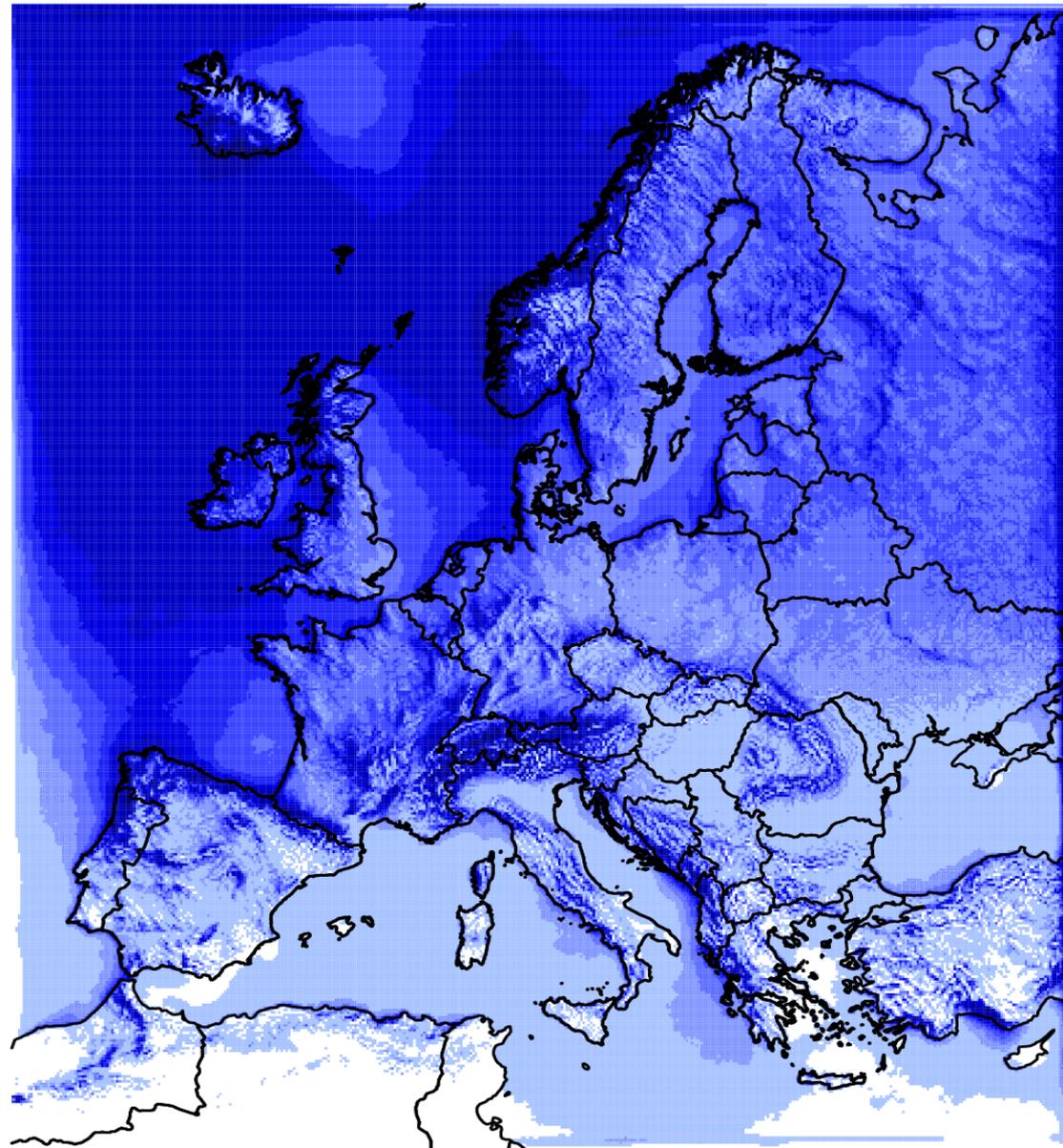
Kontrollklima kann von Beobachtungen abweichen (z.B. durch interne Variabilitäten (ausgelöst durch nicht-lineare Prozesse) und Güte globaler und regionaler Modelle) (-)



Niederschlag [mm/Jahr]

Vorläufige Ergebnisse

1995 – 2005: e029003 10km

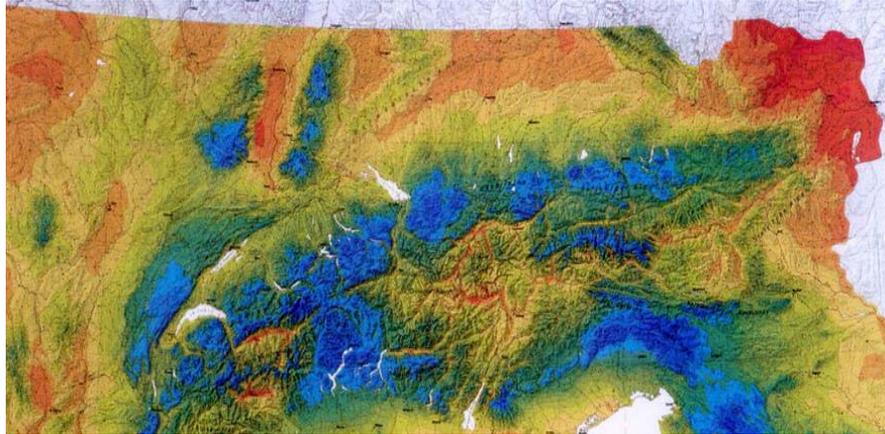




# Jahresniederschlagsmenge

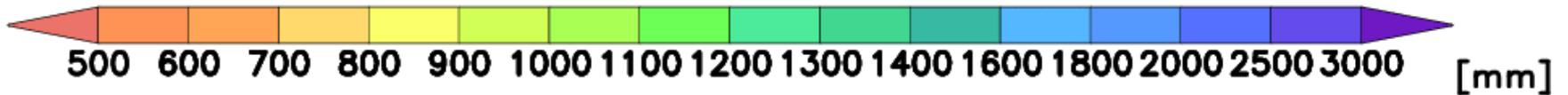
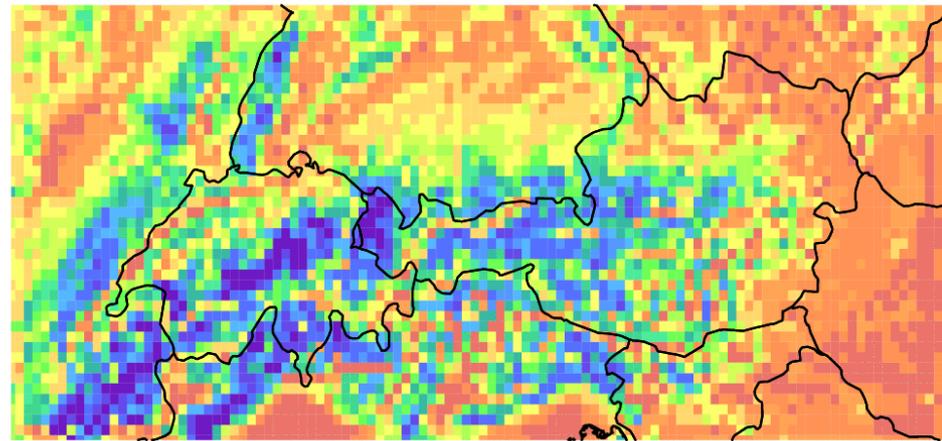
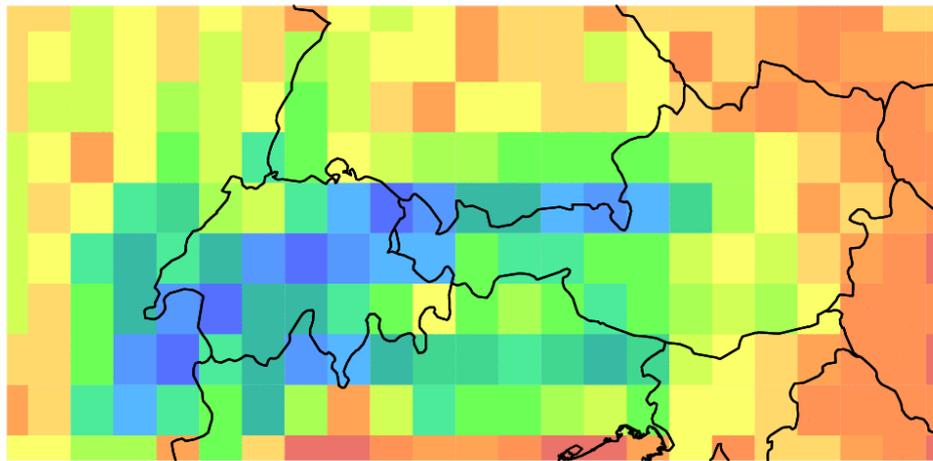


## Observations ETH Zürich (1971-90)



REMO 0.44° (1979-1990)

REMO 0.088° (1979-1990)





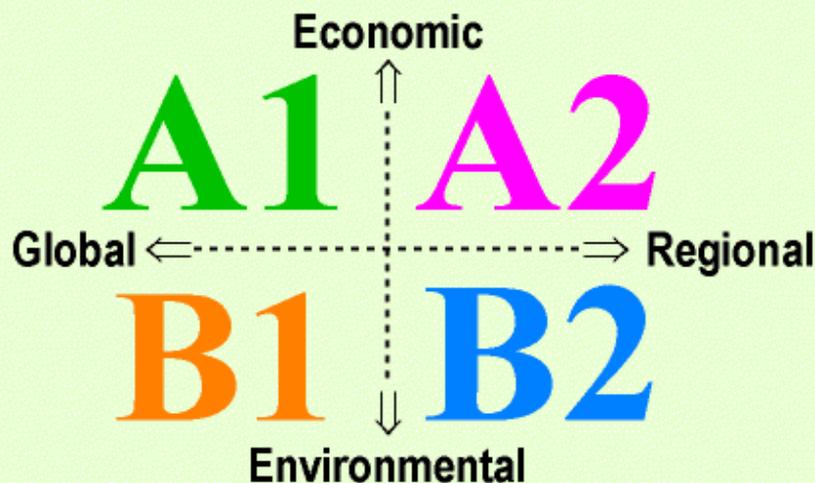
- Beobachtete Klimaänderung
- Methoden (statistisch, dynamisch)
- **Unsicherheiten und Bandbreiten**
- Zusammenfassung und Ausblick



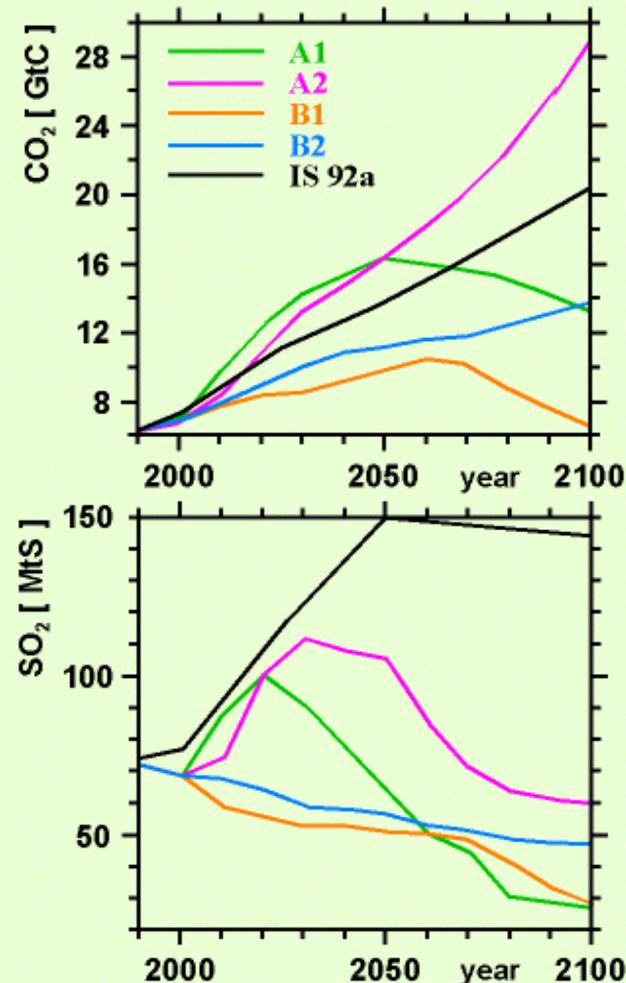
- **Emissionsszenarien (→ IPCC SRES und mehr)**
- **Interne Variabilität im GCM (ENSEMBLES: Ensemblekalkulationen, *perturbed physics*, Beobachtungen)**
- **Viele GCMs (ENSEMBLES: Multimodelansatz)**
- **Viele GCMS → ein RCM (ENSEMBLES: GCM-RCM-Matrix, Beobachtungen)**
- **Ein GCM → viele RCMs (PRUDENCE, Multimodel)**
- **Ein GCM → ein RCM (ENSEMBLES: interne Var., Ensemblekalkulationen)**
- **Viele GCMs/RCMs → hydrol. Modelle (KLIWAS)**

# A New Set of IPCC Emissions Scenarios (SRES Scenarios)

- A1** A world of rapid economic growth and rapid introduction of new and more efficient technology.
- A2** A very heterogeneous world with an emphasis on family values and local traditions.
- B1** A world of "dematerialization" and introduction of clean technologies.
- B2** A world with an emphasis on local solutions to economic and environmental sustainability.
- IS 92a** "business as usual" scenario (1992).



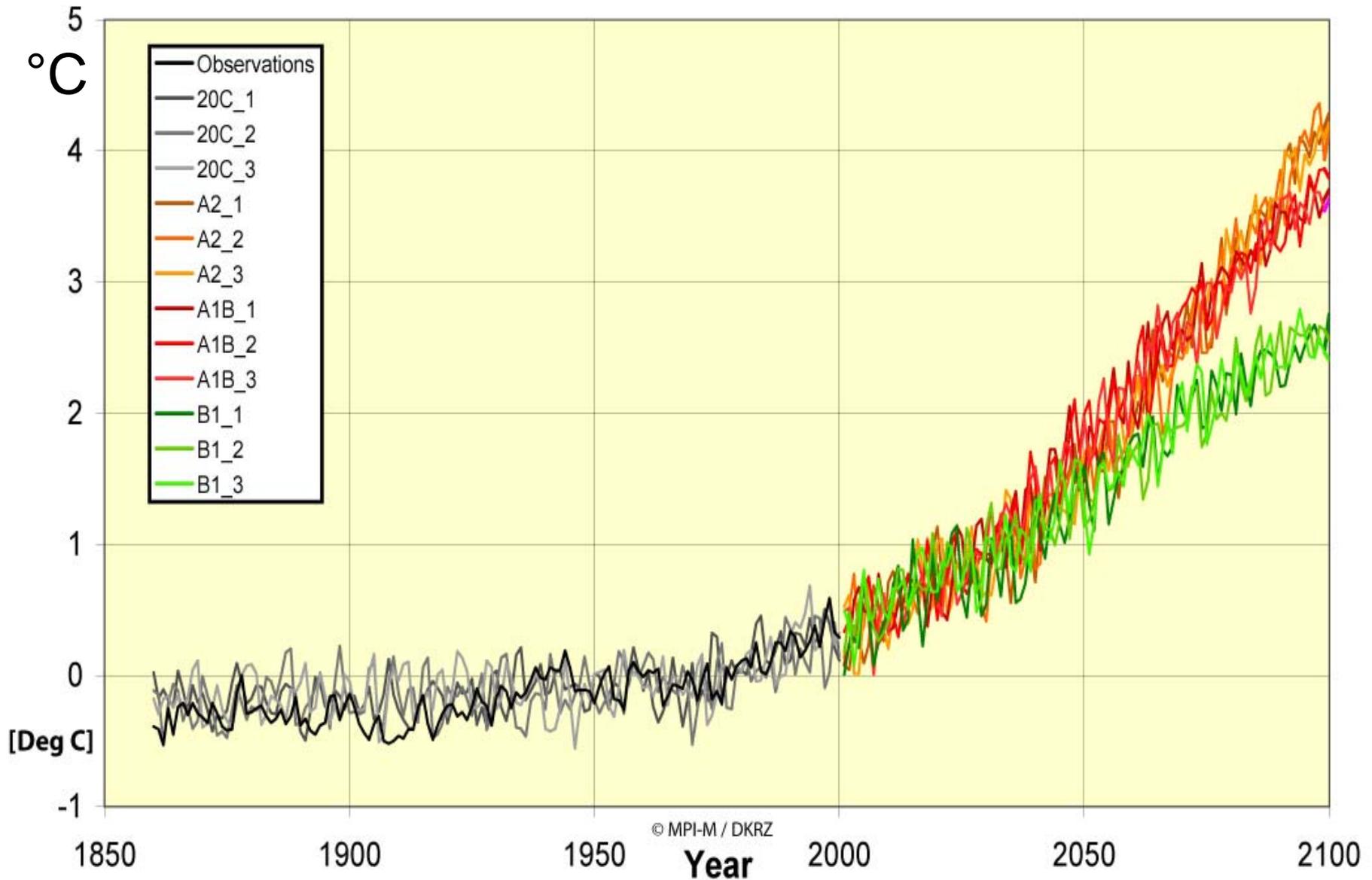
## CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> emissions





- Emissionsszenarien (→ IPCC und mehr)
- **Interne Variabilität im GCM (ENSEMBLES: Ensemblekalkulationen, *perturbed physics*, Beobachtungen)**
- Viele GCMs (ENSEMBLES: Multimodelansatz)
- Viele GCMs → ein RCM (ENSEMBLES: GCM-RCM-Matrix, Beobachtungen)
- Ein GCM → viele RCMs (PRUDENCE, Multimodel)
- Ein GCM → ein RCM (ENSEMBLES: interne Var., Ensemblekalkulationen)
- Viele GCMs/RCMs → hydrol. Modelle (KLIWAS)

# Temp. Änderungen, 3 'Realisationen' pro Szenarium





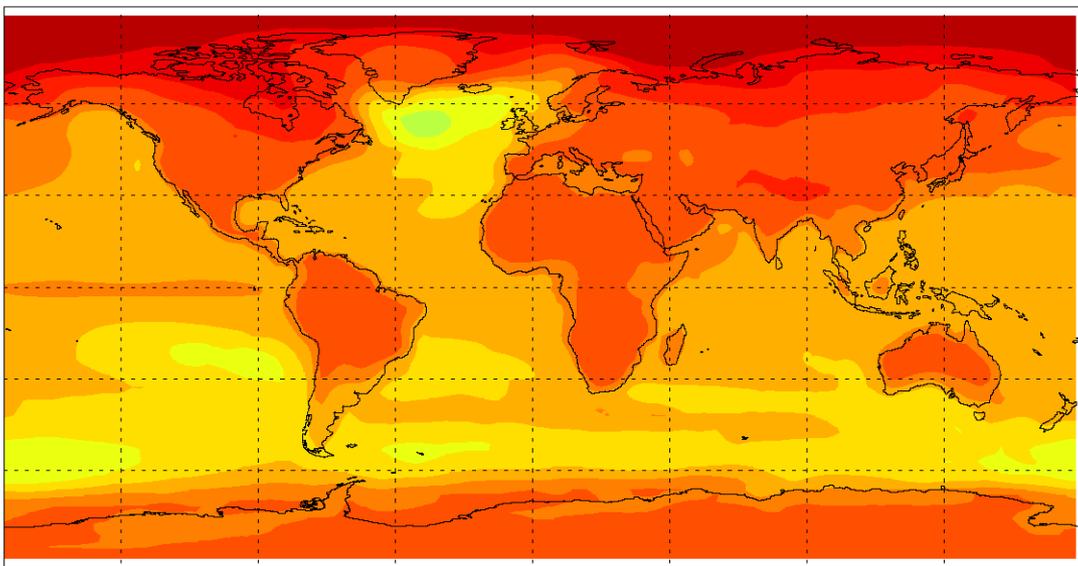
- Emissionsszenarien (→ IPCC und mehr)
- Interne Variabilität im GCM (ENSEMBLES: Ensemblekalkulationen, *perturbed physics*, Beobachtungen)
- **Viele GCMs (ENSEMBLES: Multimodelansatz)**
- Viele GCMs → ein RCM (ENSEMBLES: GCM-RCM-Matrix, Beobachtungen)
- Ein GCM → viele RCMs (PRUDENCE, Multimodel)
- Ein GCM → ein RCM (ENSEMBLES: interne Var., Ensemblekalkulationen)
- Viele GCMs/RCMs → hydrol. Modelle (KLIWAS)



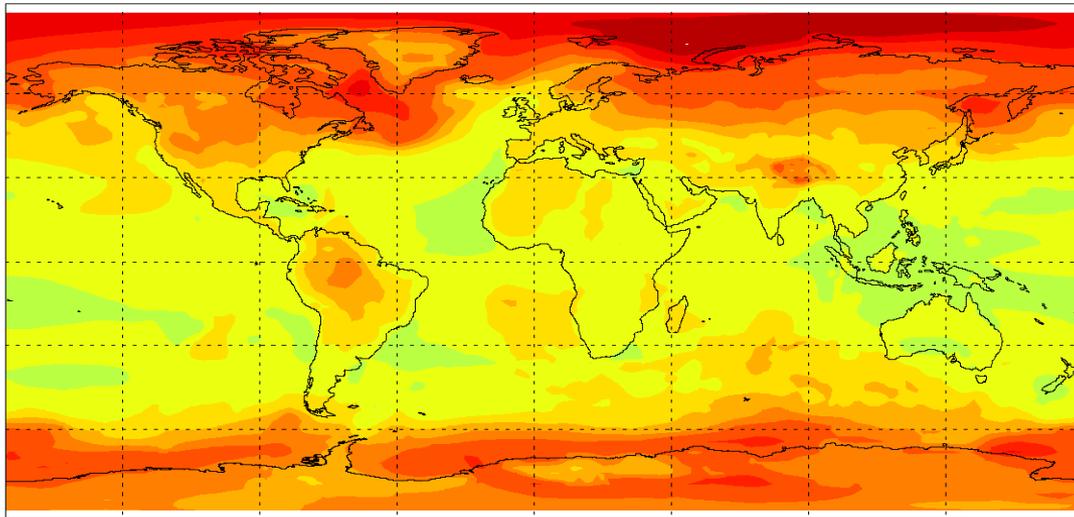
**A1B**

**T - Änderung  
(2080-2099) -  
(1980-1999)**

**Ensemble-Mittel**



°C



**Standard Abw.**

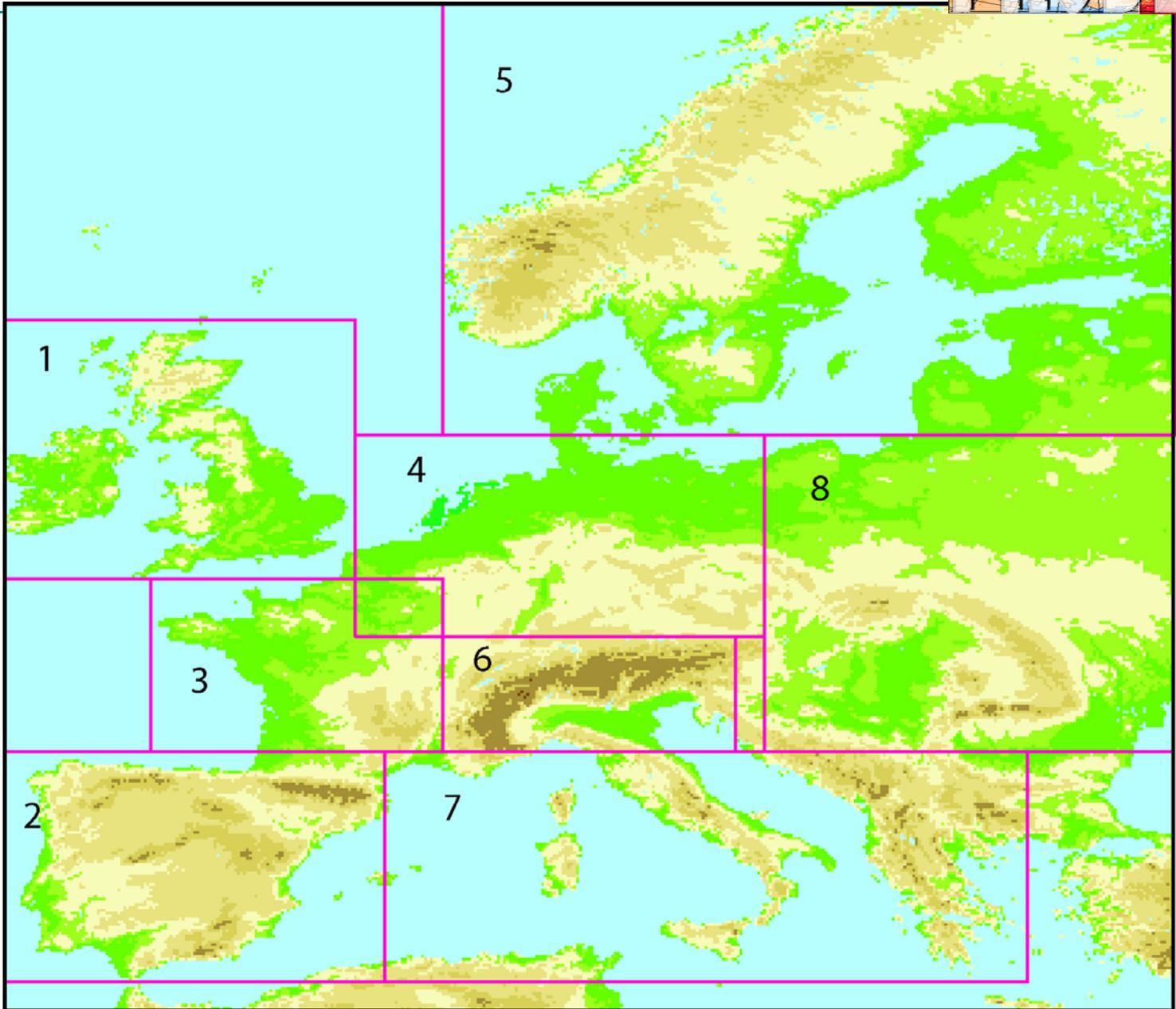


°C



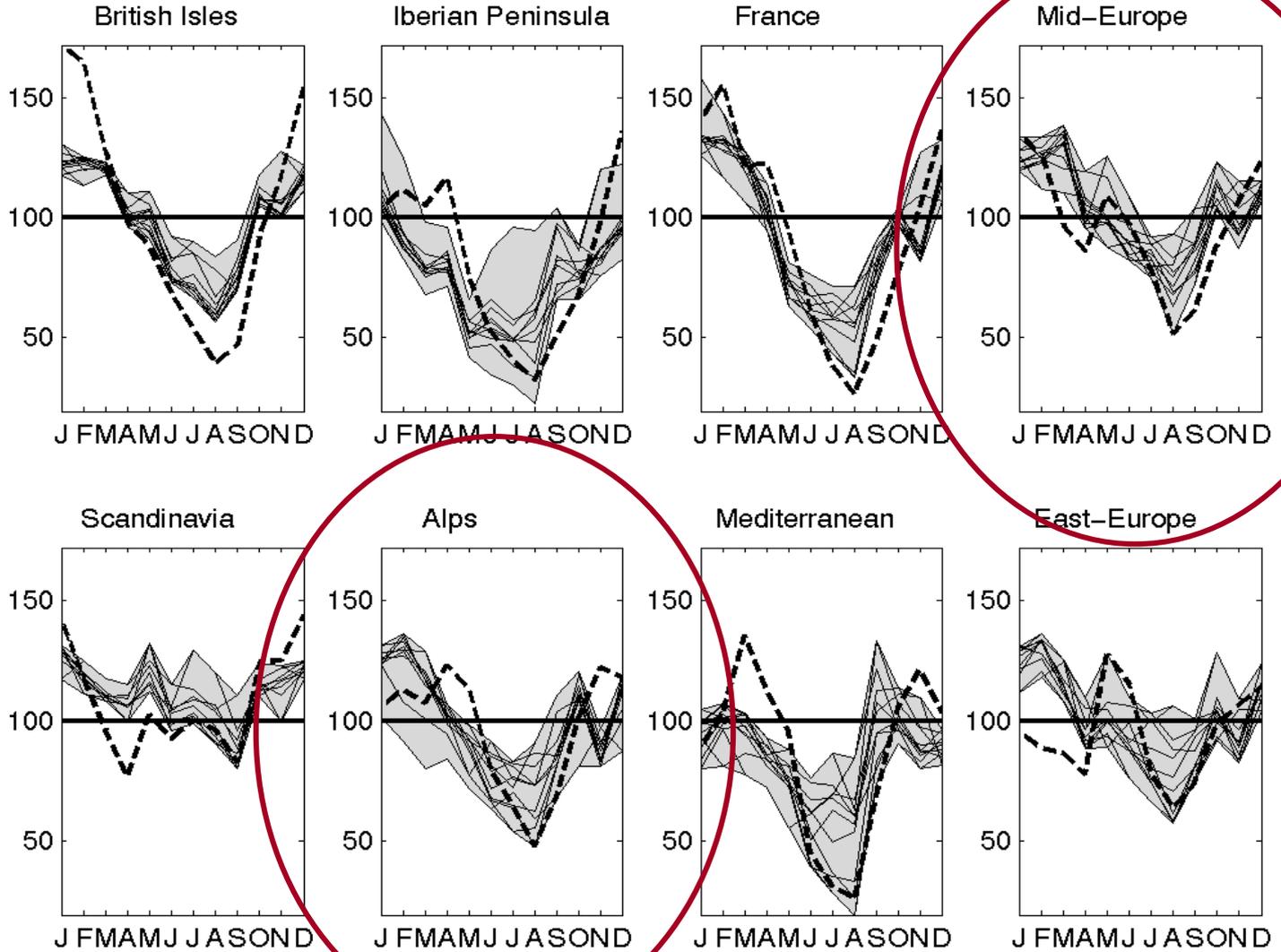
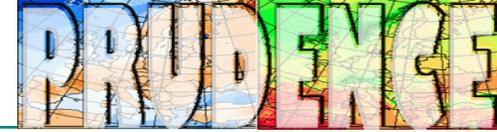


- Emissionsszenarien (→ IPCC und mehr)
- Interne Variabilität im GCM (ENSEMBLES: Ensemblekalkulationen, *perturbed physics*, Beobachtungen)
- Viele GCMs (ENSEMBLES: Multimodelansatz)
- Viele GCMs → ein RCM (ENSEMBLES: GCM-RCM-Matrix, Beobachtungen)
- **Ein GCM → viele RCMs (PRUDENCE, Multimodel)**
- Ein GCM → ein RCM (ENSEMBLES: interne Var., Ensemblekalkulationen)
- Viele GCMs/RCMs → hydrol. Modelle (KLIWAS)





# PRUDENCE: Signal im Niederschlag 2071-2100 minus 1961-1990, A2





- Emissionsszenarien (→ IPCC und mehr)
- Interne Variabilität im GCM (ENSEMBLES: Ensemblekalkulationen, *perturbed physics*, Beobachtungen)
- Viele GCMs (ENSEMBLES: Multimodelansatz)
- **Viele GCMS → ein RCM (ENSEMBLES: GCM-RCM-Matrix, Beobachtungen)**
- Ein GCM → viele RCMs (*PRUDENCE*, Multimodel)
- Ein GCM → ein RCM (ENSEMBLES: interne Var., Ensemblekalkulationen)
- Viele GCMs/RCMs → hydrol. Modelle (KLIWAS)



Global model Regional model	METO-HC	MPIMET	IPSL	CNRM	NERSC	CGCM3	Total number
<b>METO-HC</b>	1950-2100***	1950-2100					4
<b>MPIMET</b>		1950-2100	1950-2050*				2
<b>CNRM</b>				1950-2050			1
<b>DMI</b>		1950-2050*		1950-2100			2
<b>ETH</b>	1950-2050						1
<b>KNMI</b>		1950-2100					1
<b>ICTP</b>		1950-2100					1
<b>SMHI</b>	1950-2050*	1950-2050* (50km)			1950-2100		3
<b>UCLM</b>	1950-2050						1
<b>C4I</b>	1950-2100*	1950-2050* (A2)					2
<b>GKSS**</b>			1950-2050*				1
<b>Met.No**</b>					1950-2050*		1
<b>CHMI**</b>				1950-2050*			1
<b>OURANOS**</b>						1950-2050*	1
<b>Total (1950-2050)</b>	7	7	2	3	2	1	22

\*: non-contractual runs

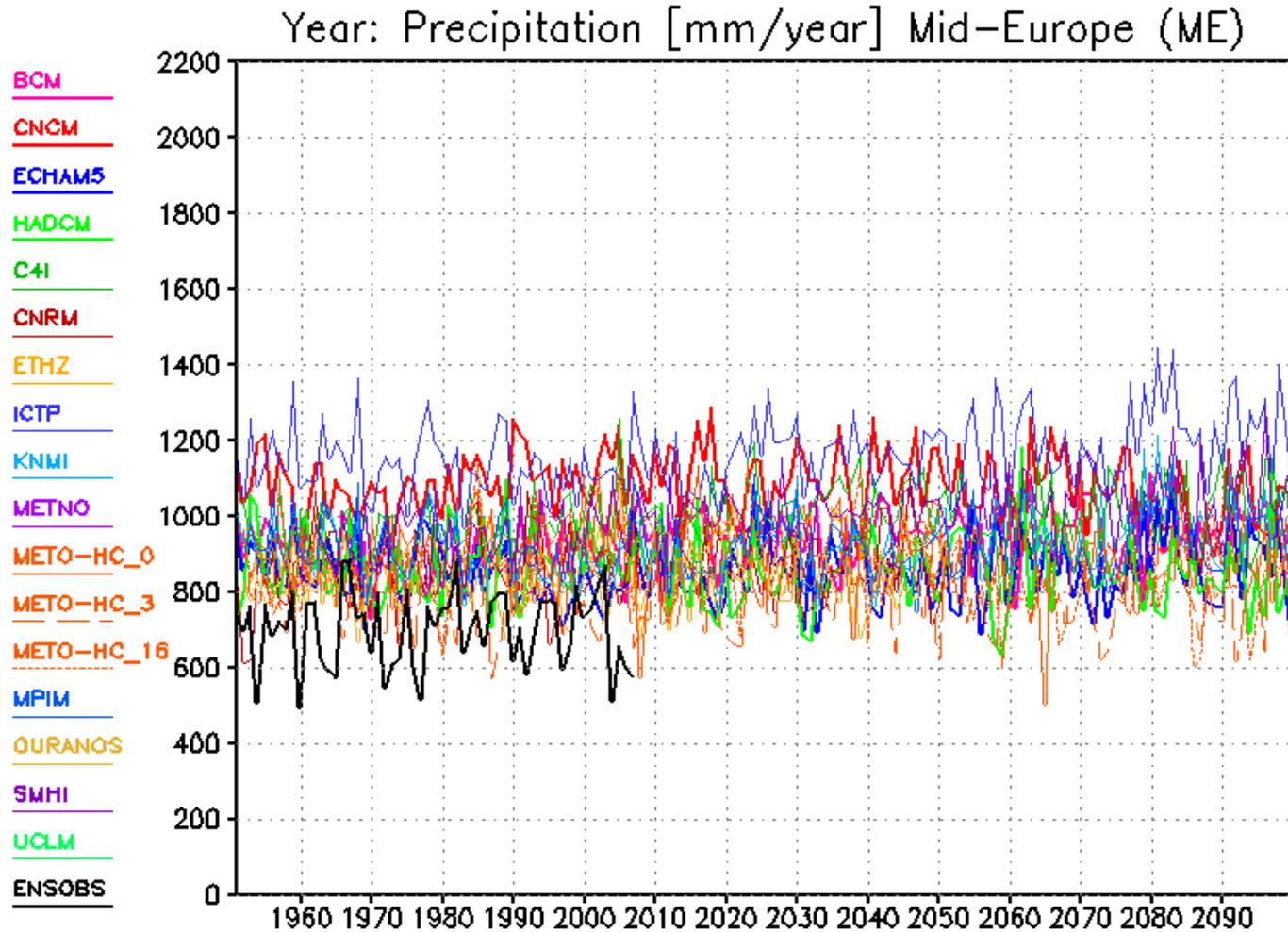
\*\* : affiliated partners without obligations

\*\*\*: 3 simulations with the perturbed physics METO-HC GCM





# Niederschlag (mm/Jahr) – Mitteleuropa (vorläufig)

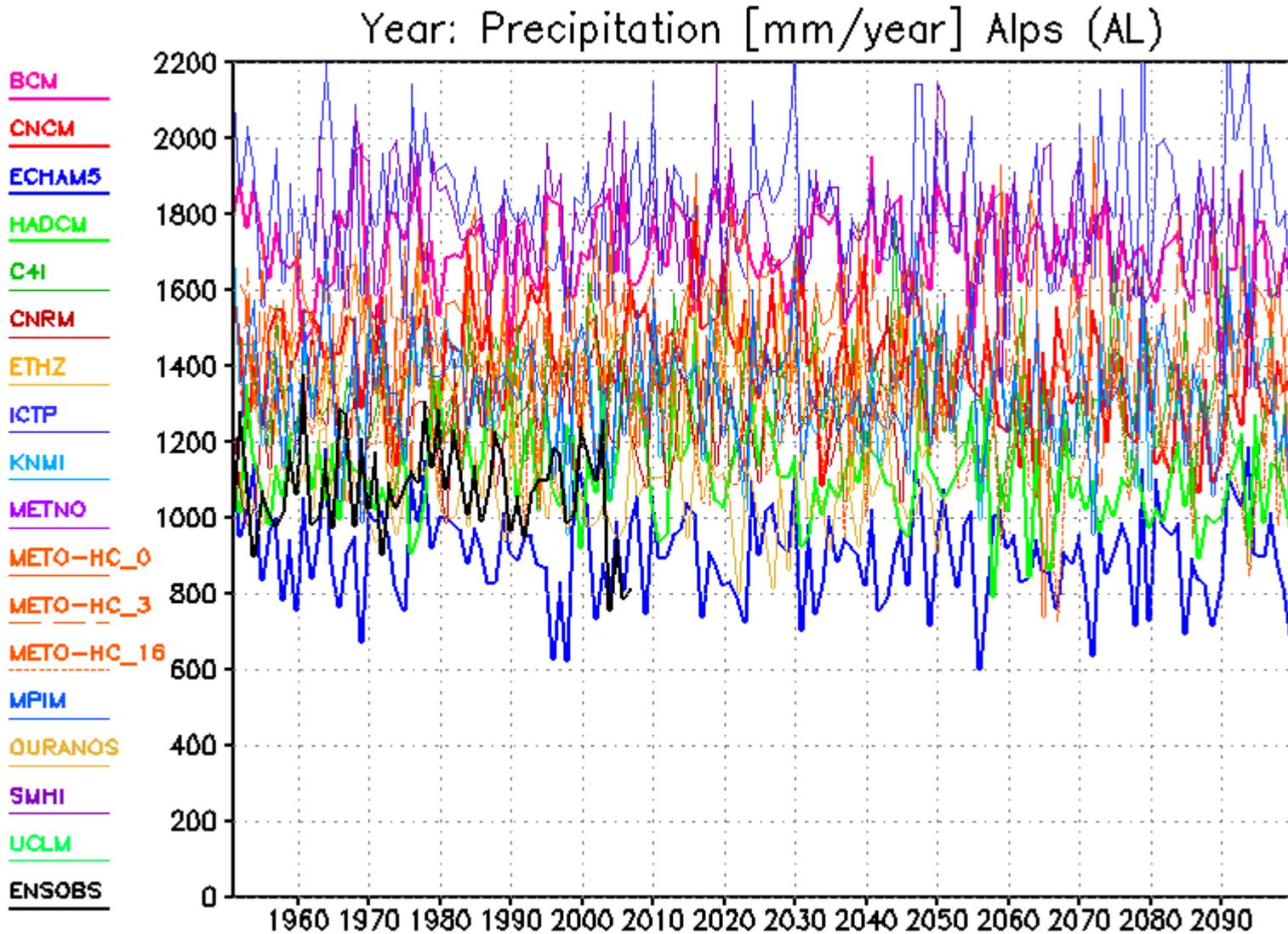


Quelle: Quick Look Analysis, ENSEMBLES Projekt, [www.ensembles-eu.org](http://www.ensembles-eu.org)





# Niederschlag (mm/Jahr) – Alpen (vorläufig)

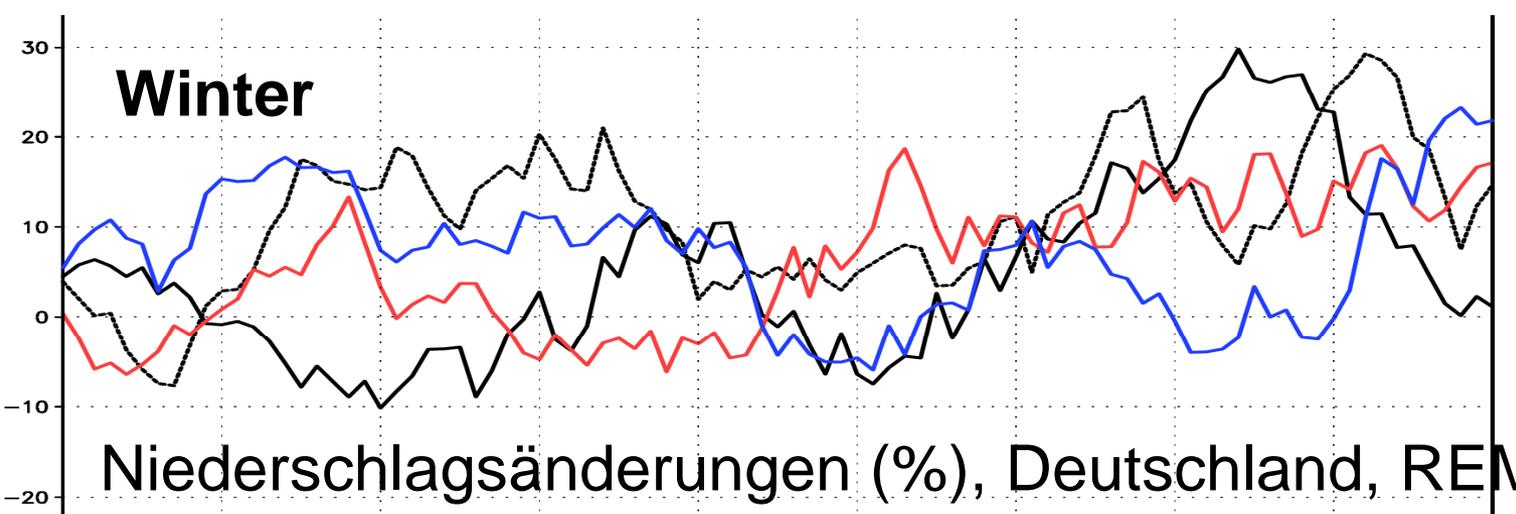
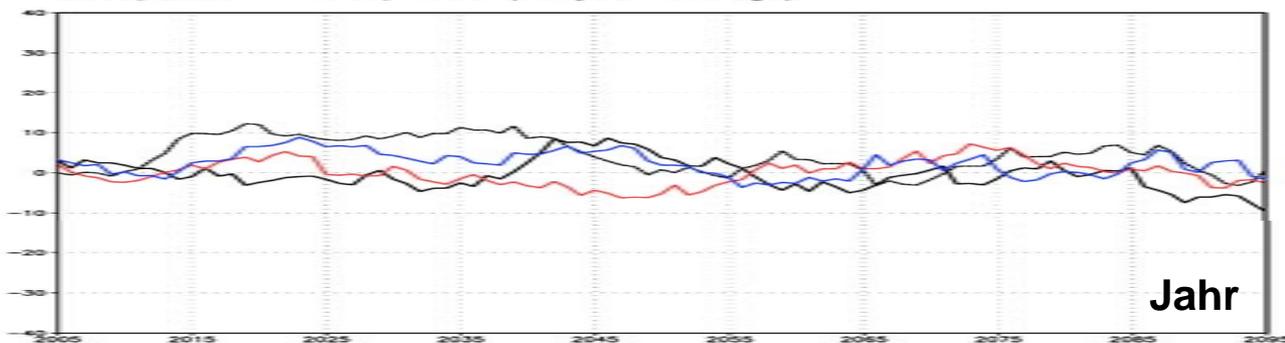
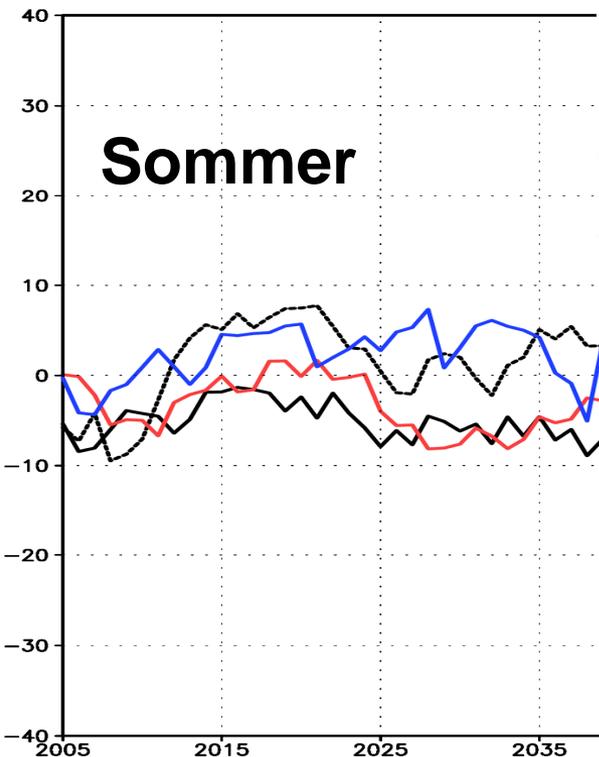




- Emissionsszenarien (→ IPCC und mehr)
- Interne Variabilität im GCM (ENSEMBLES: Ensemblekalkulationen, *perturbed physics*, Beobachtungen)
- Viele GCMs (ENSEMBLES: Multimodelansatz)
- Viele GCMs → ein RCM (ENSEMBLES: GCM-RCM-Matrix, Beobachtungen)
- Ein GCM → viele RCMs (*PRUDENCE*, Multimodel)
- Ein GCM → ein RCM (ENSEMBLES: interne Var., Ensemblekalkulationen)
- Viele GCMs/RCMs → hydrol. Modelle (KLIWAS)

pp-development [%] Germa  
2005/2095 - 1961/1990

pp-development [%] Germany  
2005/2095 - 1961/1990 (10 year average)



**A1B**  
**A1B\_BFG**-----  
**B1**  
**A2**

Niederschlagsänderungen (%), Deutschland, REMO, 10 km



- Emissionsszenarien (→ IPCC und mehr)
- Interne Variabilität im GCM (ENSEMBLES: Ensemblekalkulationen, *perturbed physics*, Beobachtungen)
- Viele GCMs (ENSEMBLES: Multimodelansatz)
- Viele GCMs → ein RCM (ENSEMBLES: GCM-RCM-Matrix, Beobachtungen)
- Ein GCM → viele RCMs (*PRUDENCE*, Multimodel)
- Ein GCM → ein RCM (ENSEMBLES: interne Var., Ensemblekalkulationen)
- **Viele GCMs/RCMs → hydrol. Modelle (KLIWAS)**



- **Gesamtunsicherheit wird von vielen einzelnen Beiträgen bestimmt, aber sie addieren sich nicht einfach – alle Beiträge werden untersucht!**
- **Multi-Modellansatz ist notwendig, ebenso wie die Berechnung vieler Realisationen!**
- **Regionale saisonale Trends erscheinen robust!**
- **Neue regionale Klimaszenarien im Rahmen des IPCC AR5 sind bereits in Planung (Europe ~10km).**
- **10km zu 1km: Wie fein muss die Modelauflösung sein?**
- **Entwicklung von *dynamischem downscaling* für saisonale und dekadische Vorhersagen als Grundlage für Anpassungsoptionen (MPIM in KLIWAS)**