



wege entstehen, indem wir sie gehen
paths emerge in that we walk them

Wegener Center
www.wegcenter.at



Regional and Local Climate Modeling Research Group

ReLoClim

Klimamodellierung im Alpenraum – neueste Entwicklungen am Wegener Center

H. Truhetz, A. Csáki, G. Heinrich, M. Jury, T. Mendlik, A. Prein, R. Ritter,
S. Tani, R. A. I. Wilcke, A. Gobiet

Wegener Center für Klima und Globalen Wandel (WEGC),
Karl-Franzens-Universität Graz (Uni Graz), Österreich

5. Österreichischer MeteorologInnentag @ Montfort – das Hotel, Feldkirch, 7. – 8. Nov. 2013

email: helmo.truhetz@uni-graz.at

Tel.: +43-316-380-8442

- 1. Evaluation von Regionalen Klimamodellen**
- 2. Statistisches Dowscaling und Korrekturmethode**
- 3. Unsicherheiten in Klimaprojektionen**

- Wegener **C**enter für Klima und Globalen Wandel (www.wegcenter.at)
- 2005 - 2012:
Forschungszentrum
- Seit 2013:
reguläres Institut der
Karl-Franzens-Universität



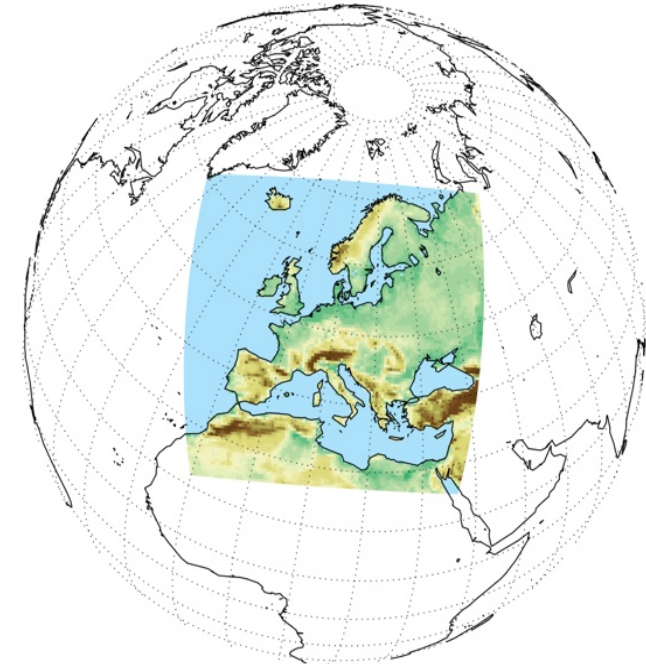
Forschungsbereiche: Klimawandel, Umweltwandel und Globaler Wandel

- Drei Forschungsgruppen und ein gemeinsamer Focus:
 - + Atmosphärenfernerkundung und Klimamonitoring (ARSCliSys)
 - + Regionale und Lokale Klimamodellierung und –analyse (ReLoClim)
 - + Ökonomik des Klima- und Umweltwandels (EconClim)
 - + Regionale Integrierte Modellierungen und Studien (RegIMOS)

Klimamodellierung in Europa – EURO-CORDEX

(Jacob et al., 2013)

- Gebiet: **Europa**
- Emissionsszenarien:
 - **RCP4.5, RCP8.5, RCP2.6**
- Antriebsdaten: CMIP5 (“**AR5 Modelle**”)
- Räumliche Auflösung: **12,5 km** (50 km)
- Zeitliche Auflösung: 24h, sub-tages Basis
- Periode: 1951 - 2100
- Ensemblegröße:
~40 (12,5 km), ~60 (50 km)
- Verfügbarkeit: Ende 2013 via Earth System Grid Federation (ESGF) esgf.org
- Weitere Informationen:
 - <http://euro-cordex.net>
 - Daniela Jacob (daniela.jacob@hzg.de), CSC
Andreas Gobiet (andreas.gobiet@uni-graz.at), WEGC



- 1. Evaluation von Regionalen Klimamodellen**
2. Statistisches Dowscaling und Korrekturmethode
3. Unsicherheiten in Klimaprojektionen

Evaluation von Regionalen Klimamodellen (RCMs)

- Zentrale Frage:
„Was bringt eine konvektions-erlaubende (<4 km) Auflösung im Alpenraum?“
- Bisher bekannt (z.B.):
- 25 km, 12,5 km, 10 km Auflösungen (ENSEMBLES, EURO-CORDEX, reclip:century) gut etabliert
- Saisonale Bias liegen z.B. zw. -3,2 K und +2,0 K (Temperatur), -45% und +95% (Niederschlag) (*Suklitsch et al., 2010*)
- Niederschlag-Bias im Sommer ist größer als natürliche Variabilität (*Truhetz et al., 2010*)
- Verbesserungen bei Temperaturverteilung, im Sommerniederschlag, bei Schneeverteilung sind zu erwarten (*Ban et al., 2011; Hohenegger et al., 2008; Kendon et al., 2012; Rasmussen et al., 2011*)
- Hohe Auflösungen werden bereits im operationellen Vorhersagebetrieb eingesetzt (z.B. MeteoSwiss: COSMO-2, COSMO-1)
- Evaluation schwierig, weil (1) „double penalty problem“, (2) Mangel an geeigneten Referenzdaten (hohe räumliche und zeitliche Auflösung)
- ➔ Untersuchung von Modellfehlern
auf Basis eines Multi-Modell-Ensembles mit verschiedenen Auflösungen
und Analysefeldern des Nowcasting Systems INCA als Referenzdatensatz

Evaluation von Regionalen Klimamodellen (RCMs)

- Versuchsaufbau:
- IFS (25 km) → D2 (10 km, Alpenraum)
- D2 (10 km) → D3 (3 km, Ostalpenraum)

*Integrated Forecasting System (IFS) des Europäischen Zentrums f. Mittelfristige Wettervorhersage (EZMW), 3h Auflösung



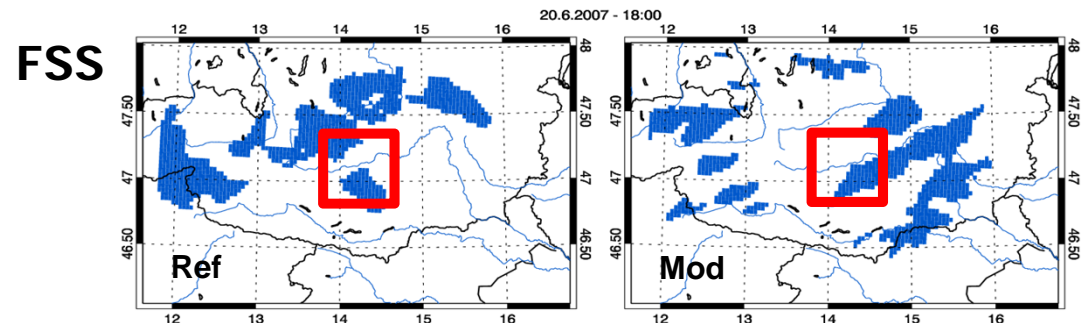
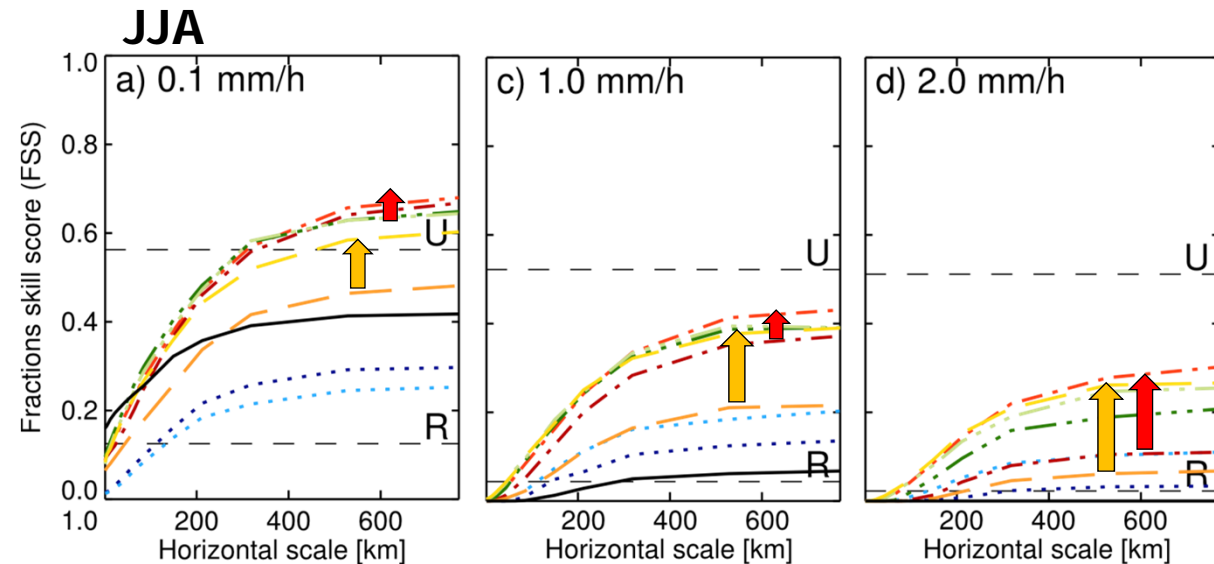
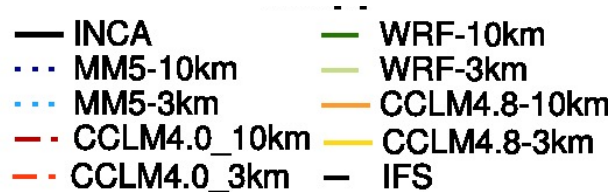
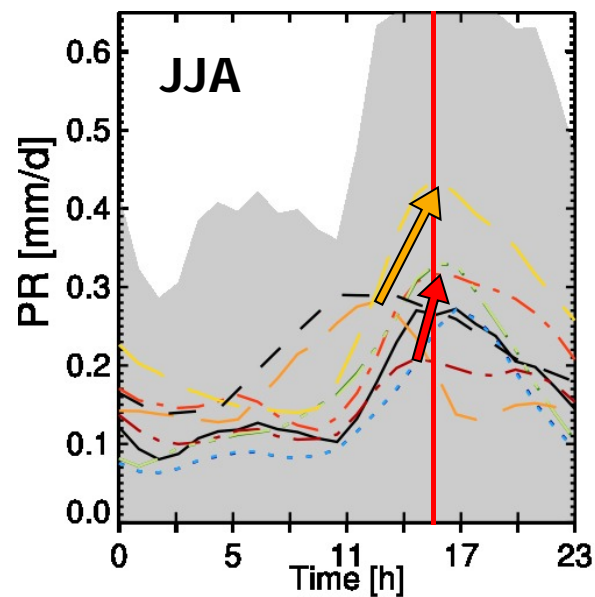
| Modelle | Institut | Acronym |
|-----------|-------------|----------------|
| CCLM 4.0 | WEGC | CCLM4.0 |
| CCLM 4.8 | BTU Cottbus | CCLM4.8 |
| WRF 2.2.1 | WEGC | WRF |
| MM5 3.7.4 | WEGC | MM5 |

- Perioden:
JJA 2007 und DJF 2007-08

- Referenzdaten: INCA (ZAMG; Haiden et al., 2011); Stundendaten mit 1 km Auflösung
- Klimaelemente: Temperatur, Niederschlag, Globalstrahlung
- Untersucht wurden:
Räumliche Verteilung, zeitliche Korrelation und Variabilität,
Tagesgänge, Häufigkeitsverteilungen, Bias,
Fractions Skill Score (FSS), Structure Amplitude Location (SAL)


Evaluation von Regionalen Klimamodellen (RCMs)

- Ausgewählte Ergebnisse (aus Prein et al., Clim. Dyn., 2013)



Evaluation von Regionalen Klimamodellen (RCMs)

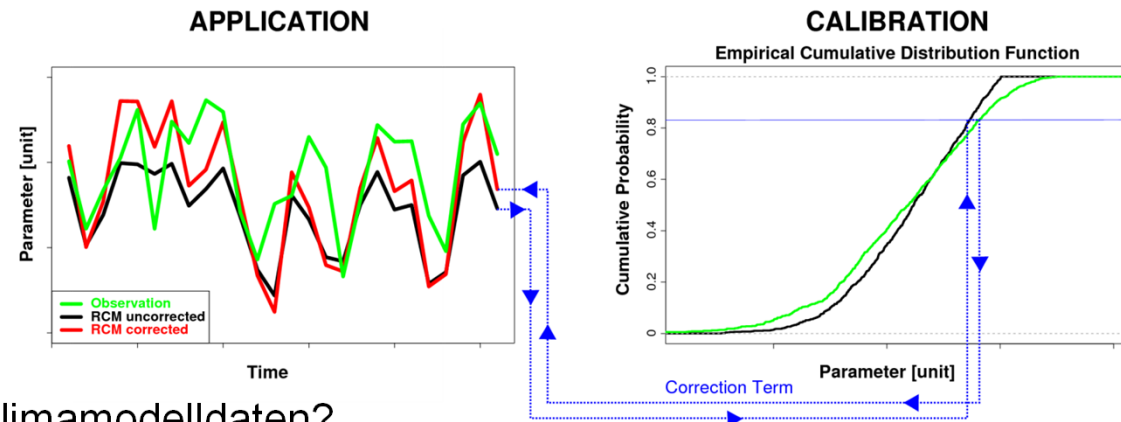
- Fazit (aus Prein et al., *Clim. Dyn.*, 2013)
- Verbesserungen im Tagesgang des Niederschlags gerade im Sommer
Zeitpunkt und Niederschlagsmenge
- Verbesserung kommt nicht aus höher aufgelöster Orographie, sondern aus verbesserter
Simulation der Prozesse in der Atmosphäre
→ Fehlerquelle: Konvektionsparametrisierung
- Extremniederschlagsereignisse werden realistischer
- Niederschlagsobjekte werden kleiner und realistischer
- Räumliche Struktur der Niederschlagsobjekte werden verbessert
- Globalstrahlung nimmt generell zu (im Mittel 14%)
→ Wolken werden kleiner und dichter, mehr solare Einstrahlung erreicht den Boden
- Saisonale Bias wird kaum verbessert
→ Korrekturen bei Impactanwendungen weiterhin erforderlich

Förderung:  Wissenschaftsfonds (FWF) aus den Projekten
NHCM-1 und **NHCM-2** (www.nhcm-2.eu)

1. Evaluation von Regionalen Klimamodellen
- 2. Statistisches Dowscaling und Korrekturmethode**
3. Unsicherheiten in Klimaprojektionen

Statistisches Downscaling und Korrekturmethoden

- Zentrale Frage: „Wie wirkt sich Quantile Mapping (QM) aus?“
- Bisher bekannt (z.B. *Thiemeßl et al., Int. J. Climatol., 2011; Thiemeßl et al., Clim. Change, 2011*):
- Bias und Häufigkeitsverteilungen von Klimamodelldaten werden „korrigiert“
- Klimaänderungssignale werden beeinflusst, aber wie?
- Welche Bedeutung haben Verletzungen der Stationaritätsbedingung?
- Probleme bei Schwellenwert-Indizes wurden festgestellt



- Beeinflusst QM ...
 - ... mittlere Abweichungen?
 - ... die zeitliche Struktur von Klimamodelldaten?
 - ... die physikalische Konsistenz zwischen verschiedenen Klimaelementen?
- ➔ Untersuchung der Eigenschaften von QM auf Basis eines Multi-Modell-Ensembles und einer Vielzahl von langen Beobachtungszeitreihen (Stationsdaten)
 - ➔ *Wilcke et al., Clim. Change, 2013*

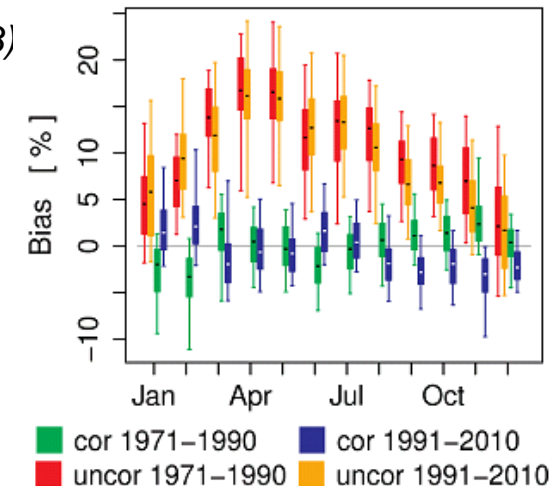
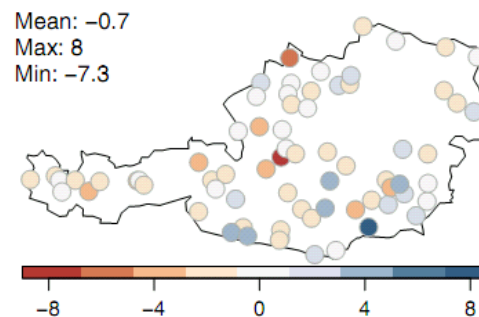
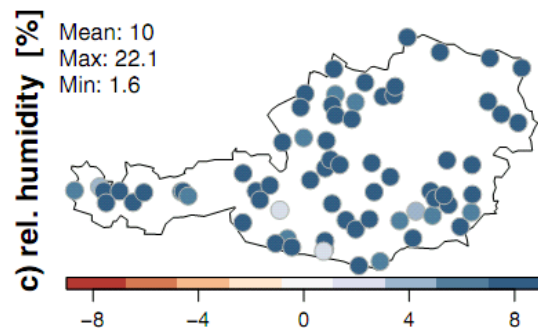
Statistisches Downscaling und Korrekturmethoden

- Untersuchungsgebiet: Österreich und Schweiz
- 40 bis 80 ausgewählte Stationen (ZAMG, MeteoSwiss)
- 4 ausgewählte regionale Klimamodelle aus ENSEMBLES angetrieben einem GCM und mit Re-Analysedaten (ERA-40)
- Zeitliche Auflösung: Tagesdaten
- Klimaelemente:
Temperatur (TAS), Niederschlag (PR),
rel. Luftfeuchtigkeit (HURS), Windgeschwindigkeit (WSS)
- Split-Sample-Ansatz, um Anwendung auf zukünftiges Klima zu simulieren
Kalibrierung: 1971 – 1990 (1961 – 1980)
Anwendung: 1991 – 2010 (1981 – 2000)
- Untersucht wurden:
Mittlere Abweichungen (Biases)
RMSE, Autokorrelation
Spearman Rangkorrelation

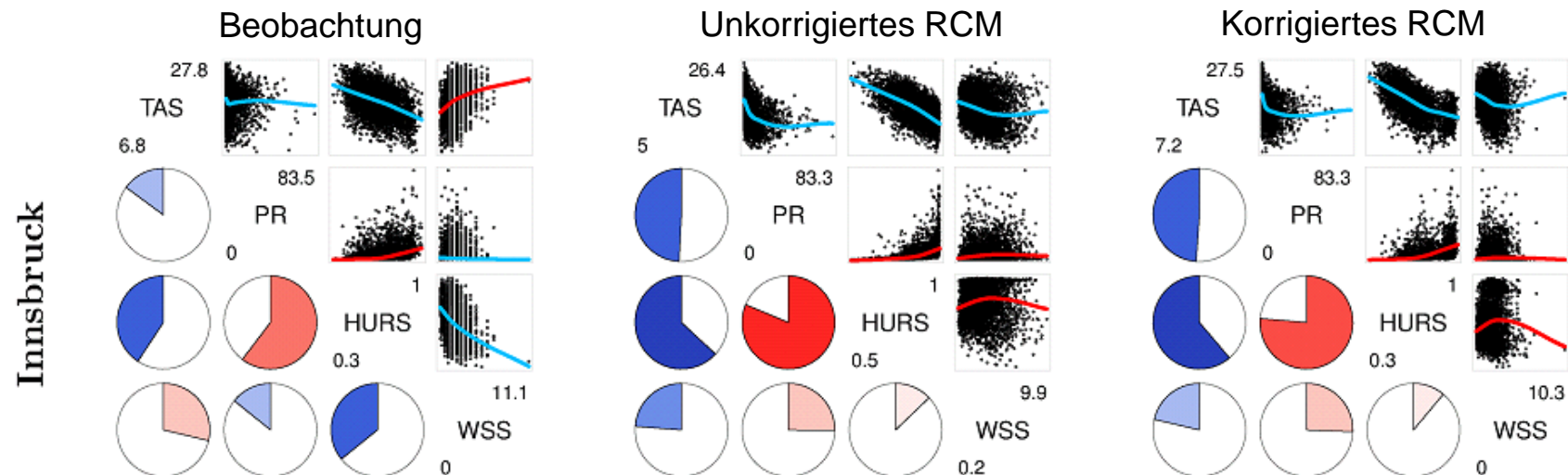
Statistisches Downscaling und Korrekturmethoden

- Ausgewählte Ergebnisse (aus Wilcke et al., *Clim. Change*, 2013)

Mittlerer Jahresbias, 1991 – 2010, GCM getriebenes RCM



Physikalische Konsistenz auf Tagesbasis: Sommer (JJA), 1971 – 2010, GCM getriebenes RCM



Statistisches Downscaling und Korrekturmethoden

- Fazit (aus Wilcke et al., *Clim. Change*, 2013)
- Jahres- und Monatsbias werden nahezu vollständig korrigiert
- ➔ Qualität der Beobachtungsdaten spielt eine wesentliche Rolle
- Verbesserungen auch bei Verletzung der Stationaritätsbedingung
- Zeitliche Struktur des RCMs bleibt erhalten
- Physikalische Konsistenz des RCMs bleibt erhalten, auch wenn starke Abweichungen zu Beobachtungsdaten bestehen
- ➔ Wahl der RCMs ist von großer Bedeutung („garbage in, garbage out“)

Förderung:



Austrian Climate Research Programme (ACRP) Projekte
CC-SNOW I, CC-SNOW II, DEUCALION

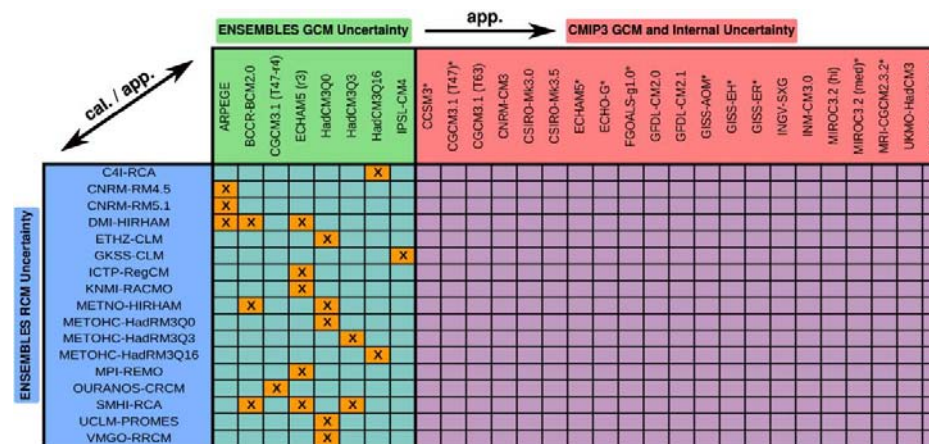


EU-FP7 Projekt IMPACT2C

1. Evaluation von Regionalen Klimamodellen
2. Statistisches Dowscaling und Korrekturmethode
3. **Unsicherheiten in Klimaprojektionen**

Unsicherheiten in Klimaprojektionen

- Zentrale Frage: „Wie wirkt sich eine begrenzte Auswahl an GCMs aus?“
- In ENSEMBLES wurden 10 von 22 Simulation (bis 2050) mit nur 2 GCMs durchgeführt, der Rest verteilt sich auf 6 GCMs. Insgesamt wurden 8 GCMs und 17 RCMs eingesetzt
- → GCM/RCM Matrix ist spärlich besetzt



- Fehlende GCM/RCM Kombinationen wurden in reclip:century 1 rekonstruiert:
→ Wahrscheinlichkeitsverteilungen saisonaler Klimaänderungssignale im Alpenraum ändern ihre Form und Breite (Heinrich und Gobiet, 2011)
- → Erweiterung der GCM/RCM Kombinationen auf das gesamte CMIP3 Ensemble (A1B)
Untersuchung der Auswirkung auf Klimaänderungssignale
→ Heinrich et al., Clim. Dyn., 2013

Unsicherheiten in Klimaprojektionen

- Annahme:
Mittlere (räumlich, saisonal) Klimaänderungssignale von RCMs sind dominiert von mittleren Klimaänderungssignalen der antreibenden GCMs
- ➔ Auffüllen und erweitern der ENSEMBLES Matrix wird möglich

- Additive Methoden

$$\Delta X_{ij} = \Delta X_{..} + (\Delta X_{i.} - \Delta X_{..}) + (\Delta X_{.j} - \Delta X_{..}) \quad (\text{Déqué et al., 2007})$$

$$\Delta X_{ij} = \Delta Y_j + \overline{DE} + \delta_{ij} \quad (\text{Heinrich et al., 2013})$$

| | GCM1 | GCM2 |
|------|------|------|
| RCM1 | X11 | X21 |
| RCM2 | X12 | ? |

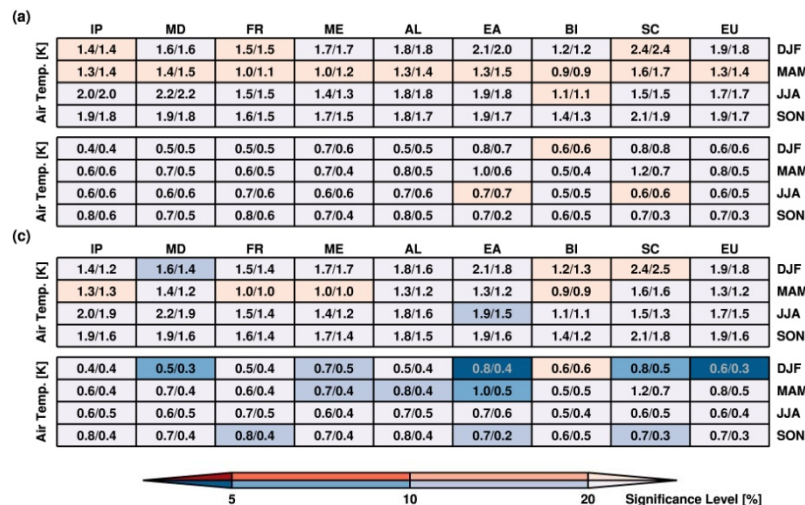
- Skalierungsmethoden

$$\Delta X_{ij} = \Delta Y_j \cdot \tilde{k} + \tilde{d} + \varepsilon_{ij} \quad (\text{Heinrich et al., 2013})$$

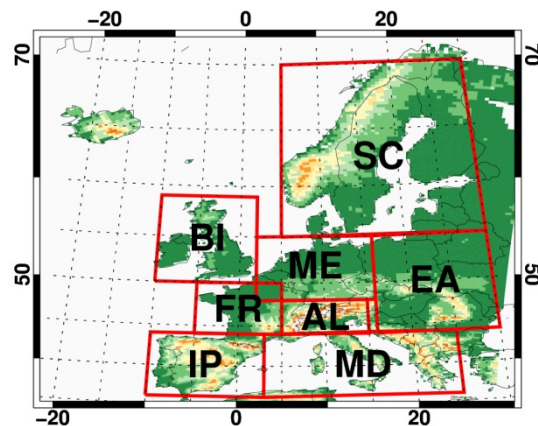
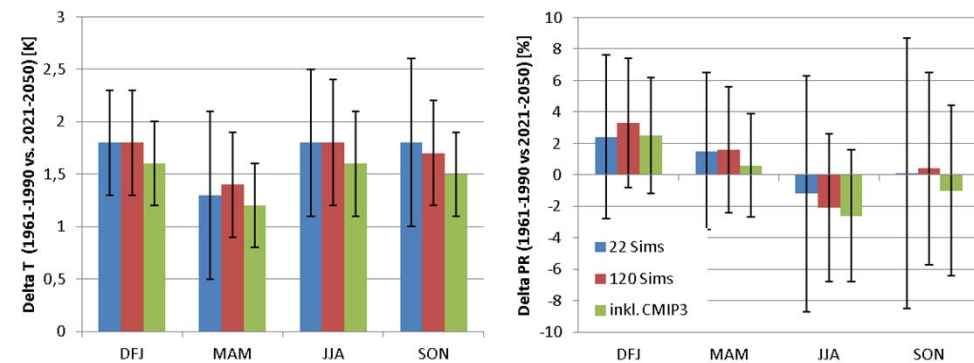
- 6 Methoden untersucht und anhand der ENSEMBLES Simulationen evaluiert und angewandt
- Perioden 1961-1990 und 2021-2050
- Klimaelemente: Temperatur, Niederschlag saisonal, gemittelt auf EU Regionen

Unsicherheiten in Klimaprojektionen

- Resultat (aus Heinrich et al., Clim. Dyn., 2013)



Saisonale Klimaänderung im Alpenraum (AL)



- Fazit:
- Klimaänderungssignale werden nicht signifikant verändert
- Bandbreiten werden tendenziell verringert
- ENSEMBLES unterschätzt Unsicherheiten nicht

Förderung:



ACRP Projekte reclip:century I/II

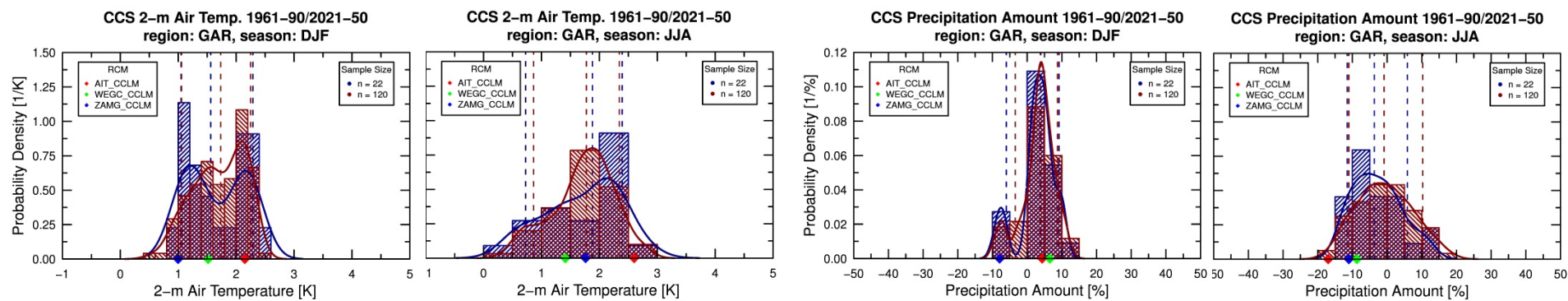
EU-FP7 Projekt ACQWA



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

FWF







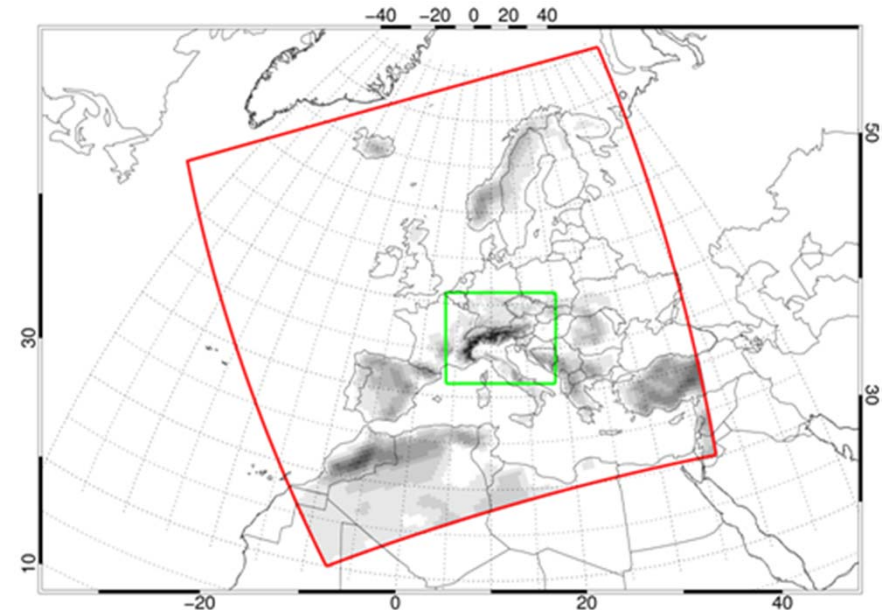
Weitere Projekte:

- ACQWA - Assessing Climate Impacts on the Quantity and Quality of Water (www.acqwa.ch)
 - Einsatz fortschrittlicher Modellierungstechniken zur Quantifizierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Hauptdeterminanten des Abflusses in alpinen Einzugsgebieten auf verschiedensten räumlichen und zeitlichen Skalen
- ARANGE – Advanced multifunctional forest management in European mountain ranges (www.arange-project.eu)
 - Bewertung von Klimaänderungseffekten auf die Leistung/Nutzen von Ökosysteme (Wälder) in Gebirgsregionen Europas
- IMPACT2C – Quantifying projected impacts under 2°C warming
 - Quantifizierung von Klimawandelimpacts, Vulnerabilitäten, Risiken und Kosten, sowie potentielle Maßnahmen zur Erreichung des 2°C Zieles im pan-europäischen Kontext.
- sowie weitere Projekte, finanziert durch das Austrian Climate Research Programme (ACRP)



Klimamodellierung im Alpenraum – reclip:century

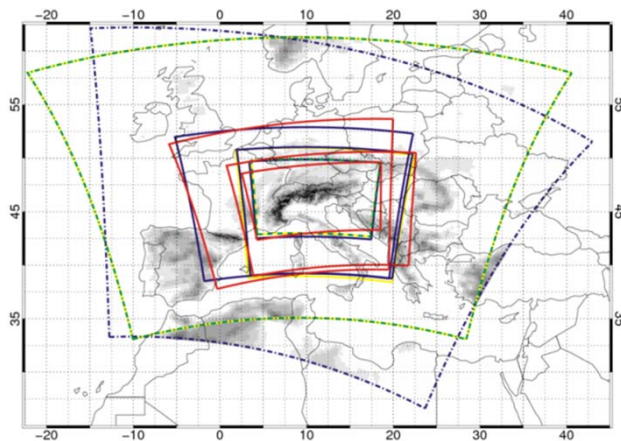
- Gebiet: **Alpenraum**
- Emissionsszenarien:
 - **SRES A1B, B1, A2**
- Antriebsdaten: CMIP3
- Räumliche Auflösung: **10 km**
- Zeitliche Auflösung: 24h, 1h
- Periode: 1951 - 2100
- Ensemblegröße: 3
(3 Emissionsszenarien, 2 GCMs, 1 RCM)
- Verfügbarkeit:
 - Online auf Anfrage
 - Frei zur nicht-kommerziellen Nutzung
- Weitere Informationen:
 - Wolfgang Loibl (wolfgang.loibl@ait.ac.at), AIT, <http://reclip.ait.ac.at>



Nicht-hydrostatische Klimamodellierung

NHCM-1

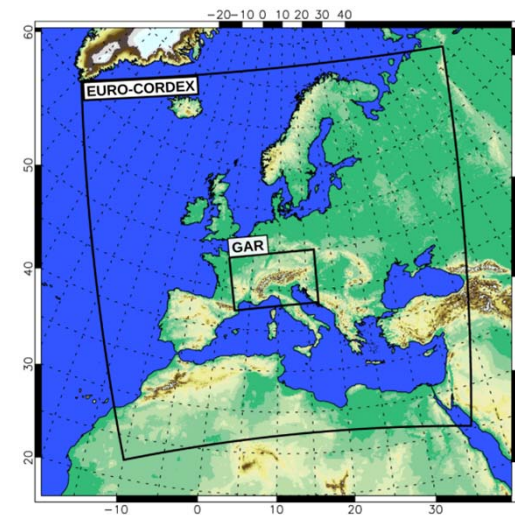
Gefördert vom Wissenschaftsfonds (FWF),
abgeschlossen 2010 (P19619-N10)



- Analyse der Fehlercharakteristika von hoch auflösenden RCMs
- Modelle: CCLM, MM5, WRF, REMO
- Auflösung: 10 km, (3 km, 1 km)
62 1-Jahres hindcasts (10 km; ERA-40)
35 2-Monats hindcasts (3 km, 1 km; IFS)
- Kooperation mit BTU Cottbus, MPI-Met

NHCM-2 (www.nhcm-2.eu)

Gefördert vom FWF (P24758-N29),
gestartet im Januar 2013

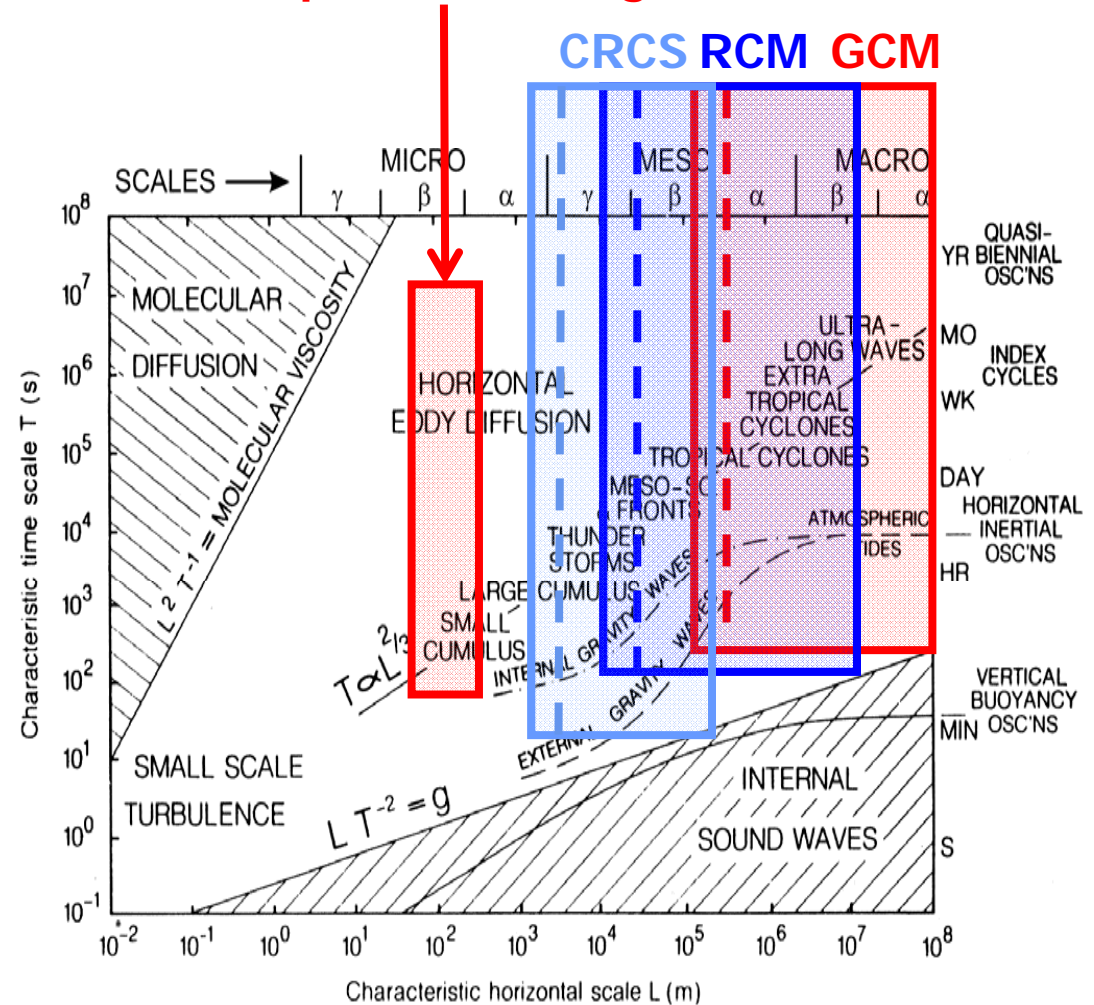


- Fehlercharakteristika für meso skalige Prozesse; Turbulenzparametrisierungen
- Modelle: CCLM, WRF, REMO-nh
- Auflösung: 3 km Alpenraum
4 20-Jahres hindcasts (ERA-Int)
~10 5-Jahres hindcasts (ERA-Int, IFS)
- Kooperation mit CSC, DWD, Leuphana

Atmosphärische Prozesse

- **>1000 km**
Globale Zirkulation,
gekoppelte Ozean/Atmosphäre
Oszillationen (z.B., Monsun, ENSO)
- **100 km bis 1000 km**
Rossbywellen,
Hoch-/Tiefdruck Systeme,
Hurrikane
- **10 km bis 100 km**
Frontsysteme, Gewitter,
Cumulus Nimbus
- **10 m bis 10 km**
Cumulus, Hangwinde,
lokale Zirkulationen, Turbulenz,
Tornados

Impaktforschung



(Orlanski, 1975; Barry and Carleton, 2001)

ReLoClim

(wegcenter.uni-graz.at)

Regionale und Lokale Klimamodellierung und -analyse

Forschungsfeld

RT#1: Regionale Klimaprozesse

- Erforschung regionaler Klimaprozesse im Alpenraum
- Klimamodellierung auf kleinen räumlichen Skalen
- Integration von beobachteten und modellierten Daten

RT#2: Regionale Klimaänderungen

- Erstellung hoch aufgelöster Klimaprojektionen für den Alpenraum
- Analyse von Unsicherheiten in Klimaprojektionen

RT#3: Schnittstelle zur Klimaimpactforschung

- Aufbereitung von Klimaprojektionen (post-processing von Klimamolldaten)
- Analyse von Unsicherheiten und deren Verkettung entlang der Modellierungsschiene

1. Einführung / Motivation
2. Fehlerkorrektur und Unsicherheiten
3. **Ausgewählte Resultate für den Alpenraum:
Mittlere Änderungen und Unsicherheitsbereiche**

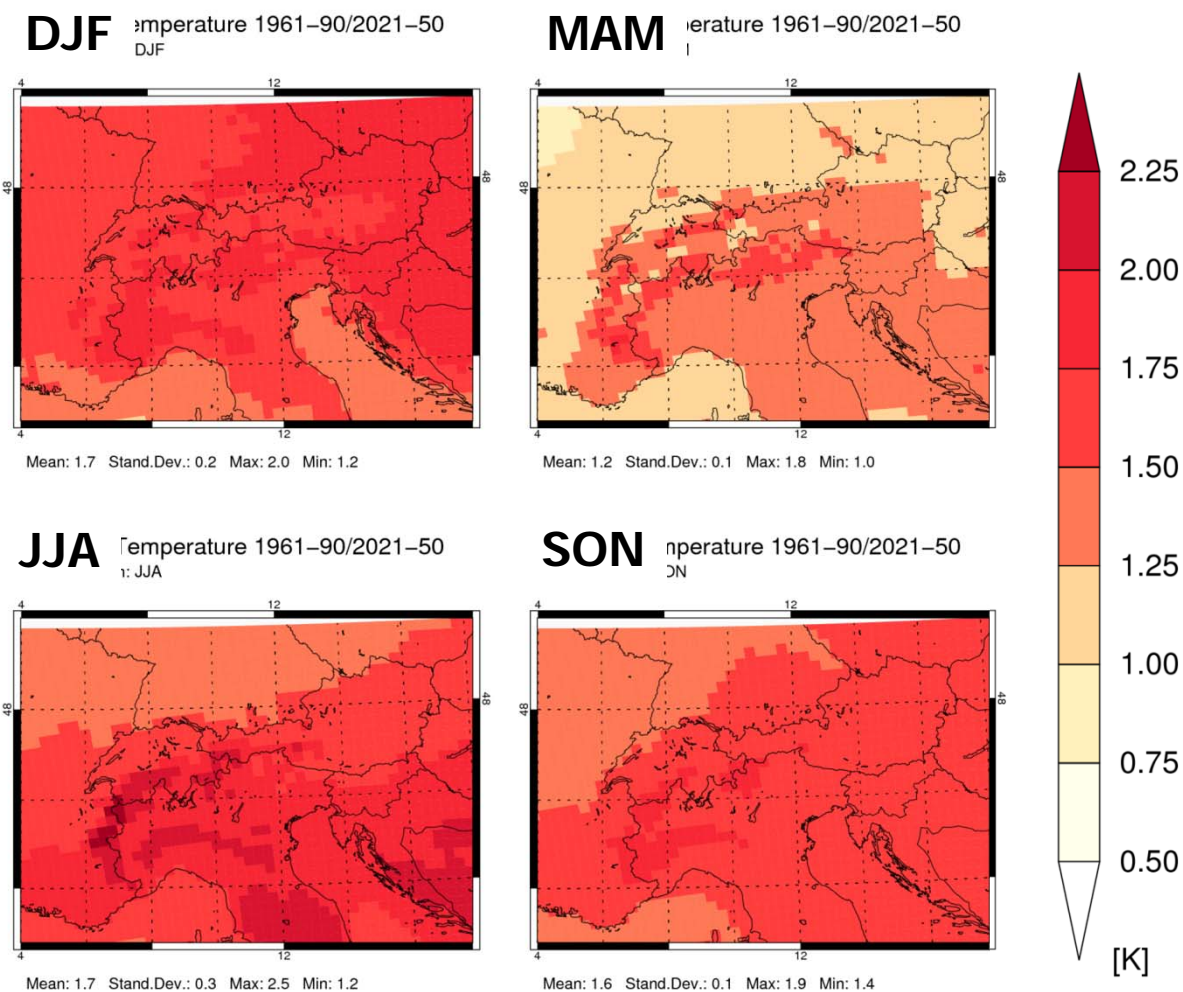
ENSEMBLES: Mittlere Temperaturänderung

Temperaturänderung

- 2021-2050 vs 1961-1990
- 21 Modelle
- Mittlere Änderung

Für Szenario A1B:
0.2 – 0.3 K pro Dekade
(saisonal abhängig)

Teilweise höher in
höheren Lagen



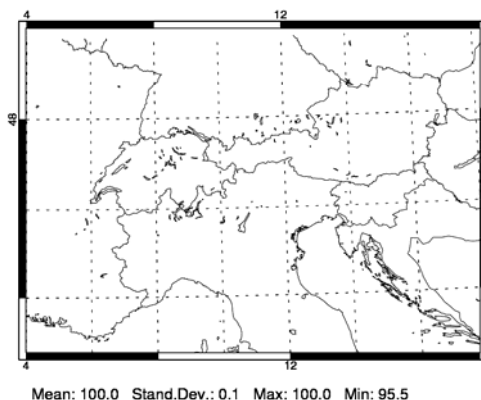
ENSEMBLES: Unsicherheit der Temperaturänderung

Temperaturänderung

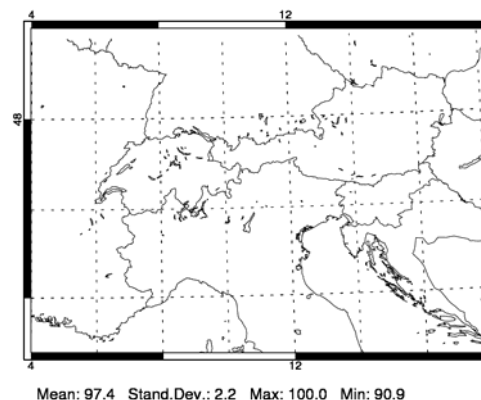
- 2021-2050 vs 1961-1990
- 21 Modelle
- Anzahl übereinstimmender Vorzeichenrichtungen

→ Hohe Übereinstimmung
Geringe Unsicherheit

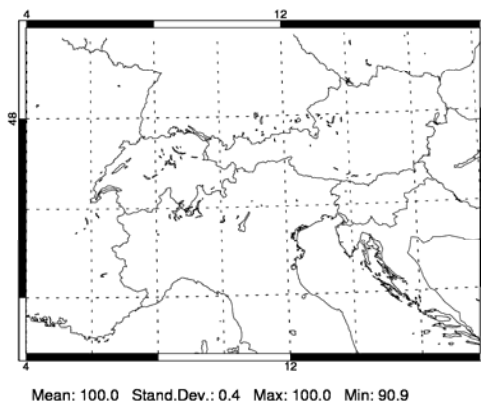
DJF Air Temp. 1961–90/2021–50
Accordance, season: DJF



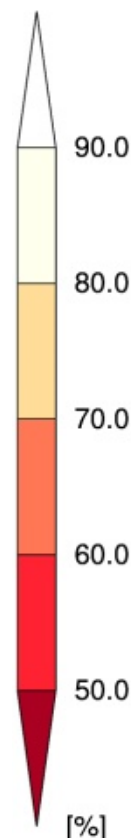
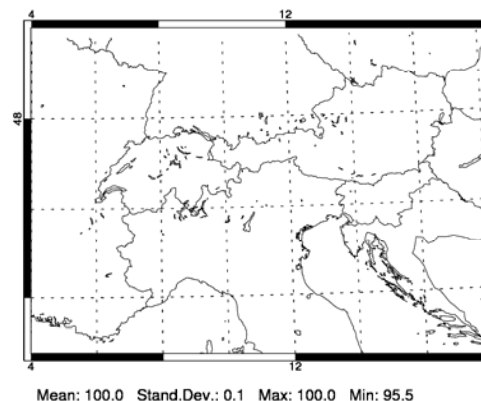
MAM Temp. 1961–90/2021–50
Accordance, season: MAM



JJA Air Temp. 1961–90/2021–50
Accordance, season: JJA



SON Air Temp. 1961–90/2021–50
Accordance, season: SON

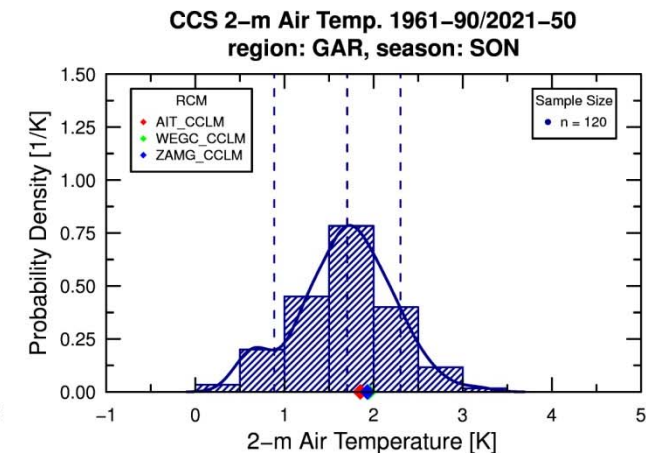
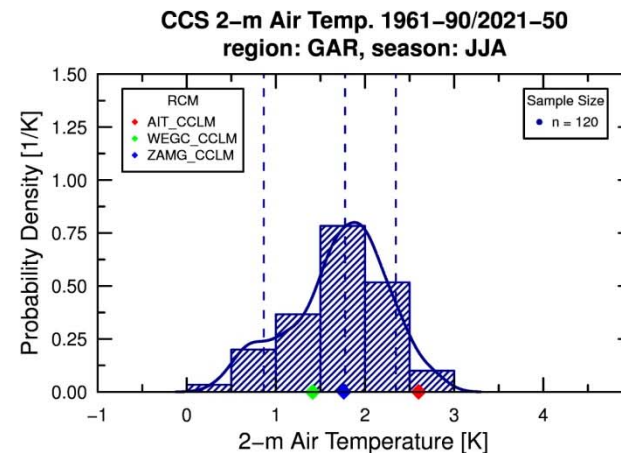
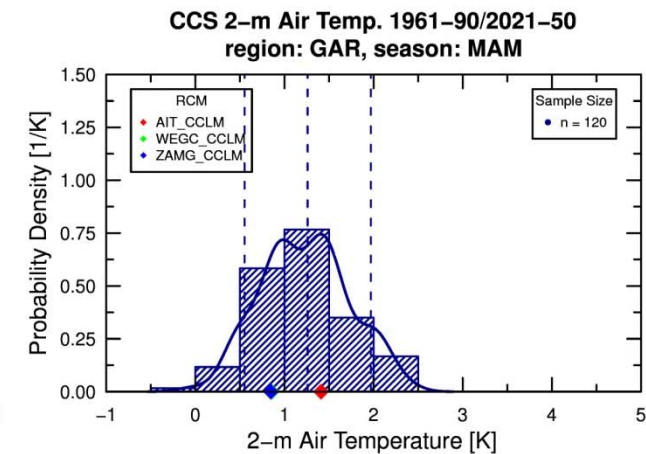
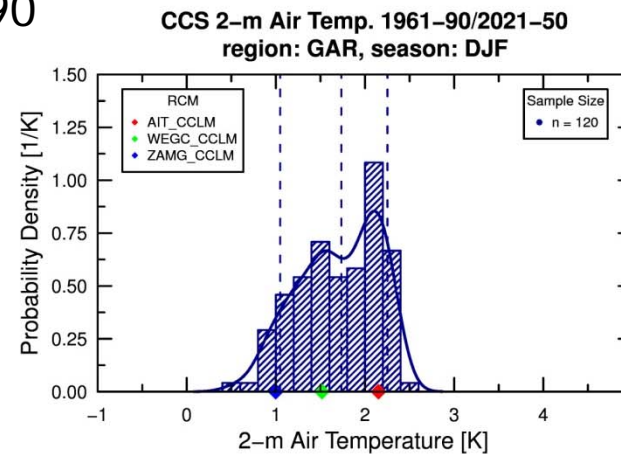
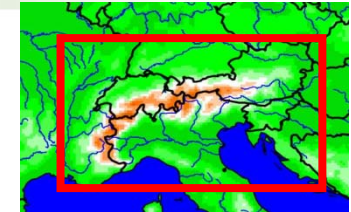


ENSEMBLES: Temperaturänderungen

Temperaturänderung

- 2021-2050 vs 1961-1990
- 21 Modelle
- Verteilungen

Q10-Q90 Bereich:
0.1 – 0.4 K pro Dekade

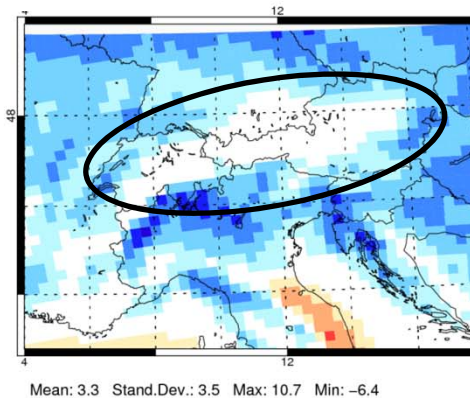


ENSEMBLES: Mittlere Niederschlagsänderung

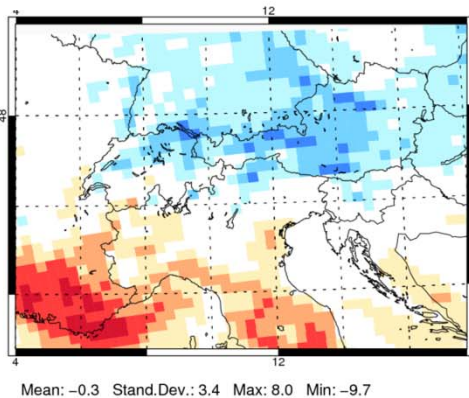
Niederschlagsänderung

- 2021-2050 vs 1961-1990
- 21 Modelle
- Mittlere Änderung

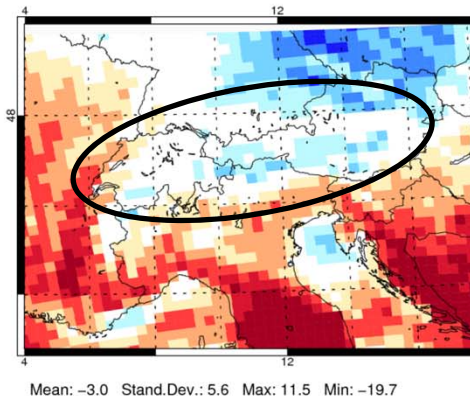
DJF on Amount 1961–90/2021–50
DJF



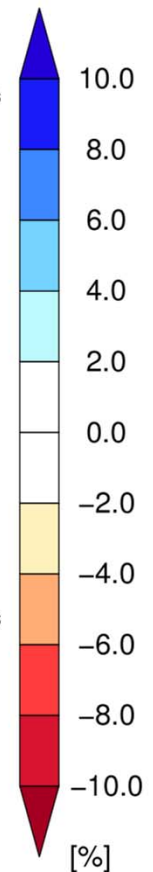
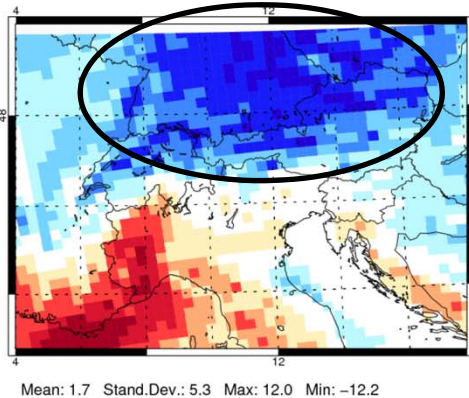
MAM Amount 1961–90/2021–50
MAM



JJA ition Amount 1961–90/2021–50
JJA



SON n Amount 1961–90/2021–50
SON



Keine Änderungen in
den Alpen?

Zunahmen >10%
nördl. d. Alpenhauptkammes?

ENSEMBLES: Unsicherheit der Niederschlagsänderung

Niederschlagsänderung

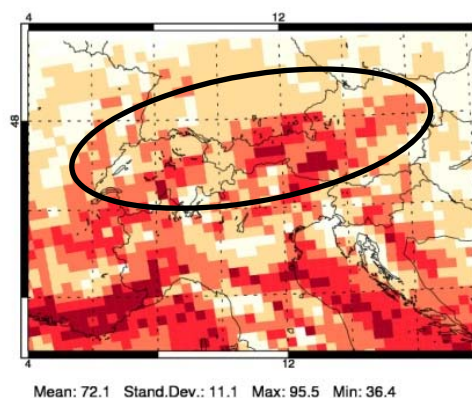
- 2021-2050 vs 1961-1990
- 21 Modelle
- Anzahl übereinstimmender Vorzeichenrichtungen

→ Geringe Übereinstimmung
Hohe Unsicherheit

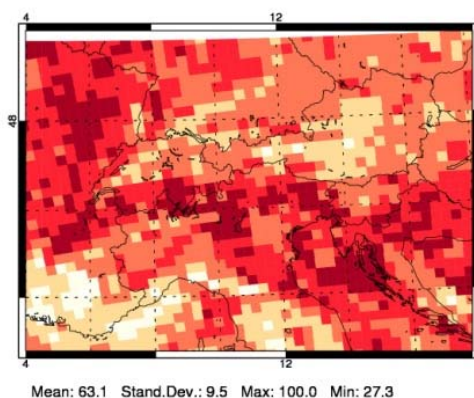
Zunahmen >10%
nördl. d. Alpenhauptkammes!



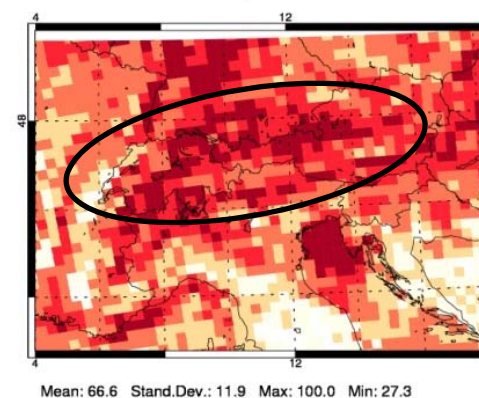
DJF Precipitation Amount 1961–90/2021–50
CCS Accordance, season: DJF



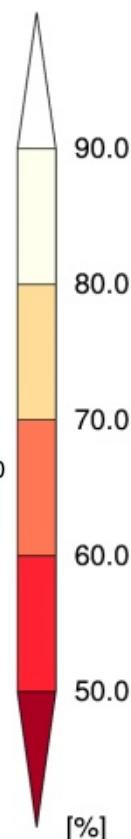
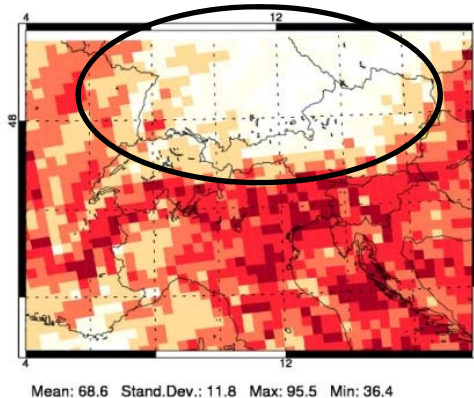
MAM Precipitation Amount 1961–90/2021–50
CCS Accordance, season: MAM



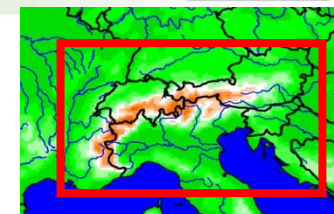
JJA Precipitation Amount 1961–90/2021–50
CCS Accordance, season: JJA



SON Precipitation Amount 1961–90/2021–50
CCS Accordance, season: SON

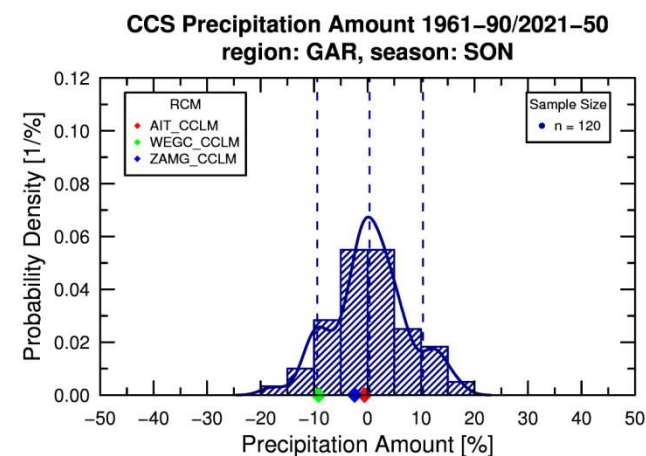
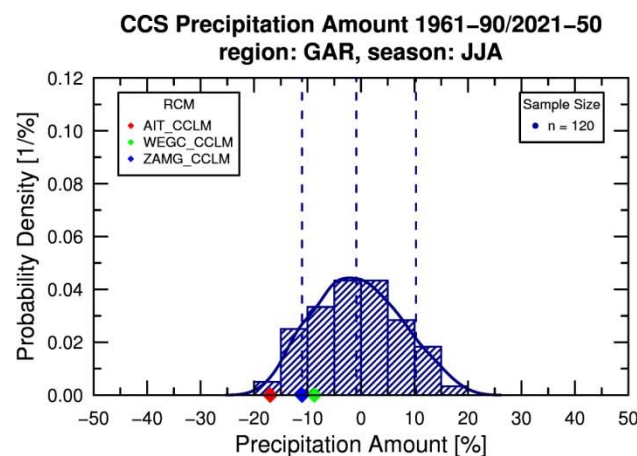
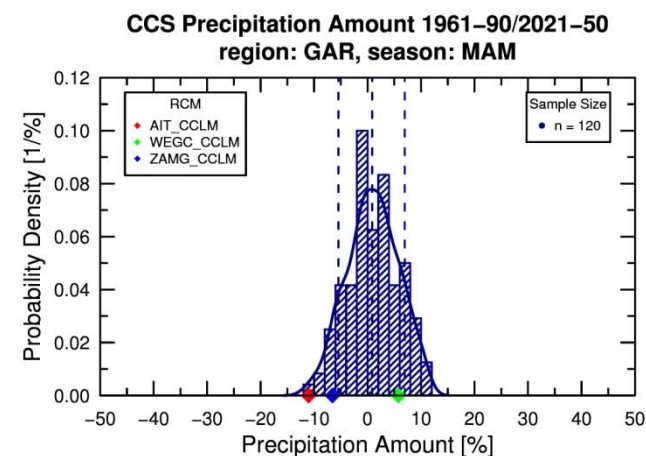
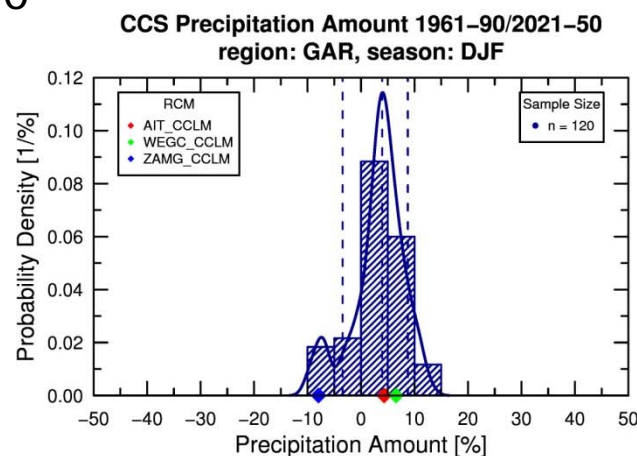


ENSEMBLES: Niederschlagsänderungen



Niederschlagsänderung

- 2021-2050 vs 1961-1990
- 21 Modelle
- Verteilungen



Q10-Q90 Bereich:
-10 bis +10 %
pro 60 Jahre

Fehlerfortpflanzung

Physikalische Grundprinzipien (z.B. Massenerhaltung)



Grundgleichungen (z.B. Kontinuitätsgleichung)



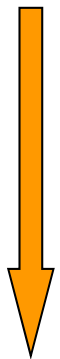
← Vereinfachungen, Reynolds Mittelung, Koordinatensystem, ... (Fehler)

Modellgleichungen + Parametrisierungen (bereits fehlerbehaftet)



← Diskretisierung (Fehler)

Diskrete Modellgleichungen + diskrete Parametrisierungen



← Anfangsbedingungen (Fehler)

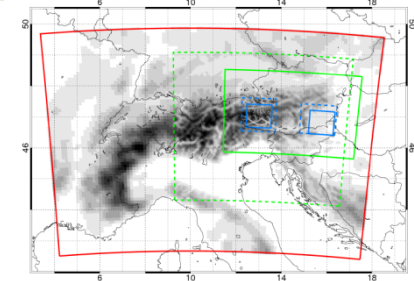
← Randbedingungen, Antriebsdaten (Fehler)

← Implementierung auf Computersystemen (Fehler)

Fehler-behaftete Lösung eines perfekten Problems (Grundgleichungen)

→ Abweichungen zu
Beobachtungsdaten

Annual (1999) cycles of monthly biases (domain averaged)



Models: CCLM REMO MM5 WRF

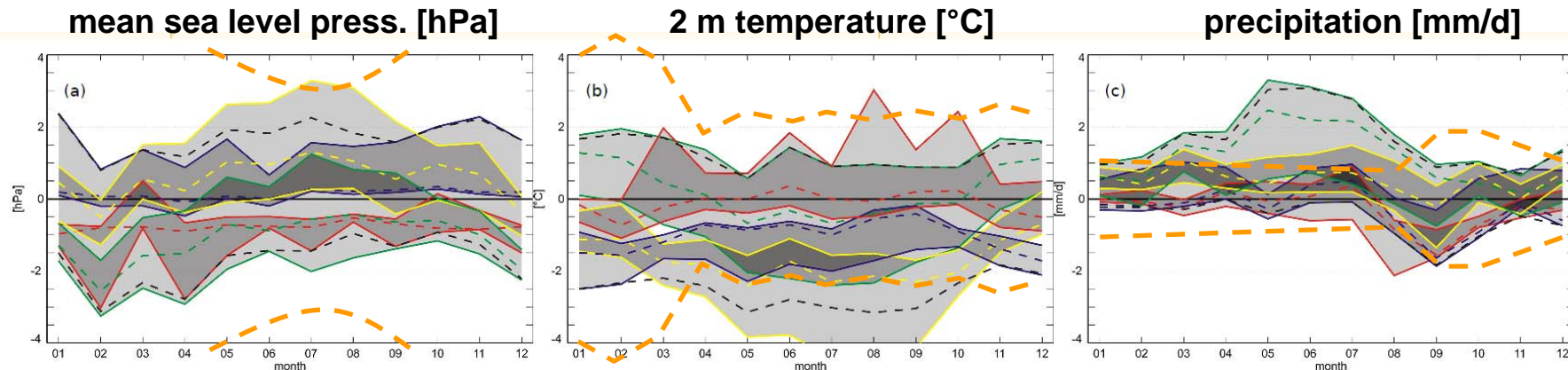


Figure 4: Annual cycles of biases of all 10 km sensitivity experiments. (a) Mean sea level pressure (evaluated against ERA-40), (b) 2m air temperature (E-OBS), (c) total precipitation amount (ETHZ). Colors correspond to the four models used in the study: blue = CCLM, red = REMO, yellow = MM5, green = WRF. Colored dashed lines show the median bias of each model, solid lines the 2.5 and 97.5 percentile. Grey shades annotate the 2-sigma interval. The darker the shade the more ensemble members share the same bias.

ERA-40
2 σ range: (3 – 10) hPa

E-OBS
(2 – 4.5) °C

ETHZ
(0.8 – 1.8) mm/d

(Suklitsch et al., 2010)

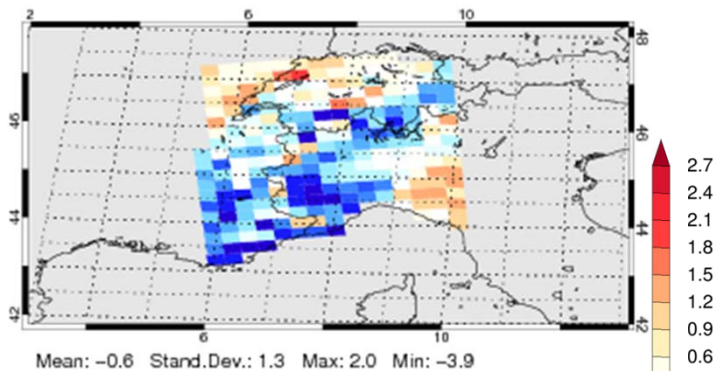
Model range

- (1) is smaller than natural variability for mean sea level press.,
- (2) has similar magnitude for temperature, and
- (3) is mostly larger for precipitation.

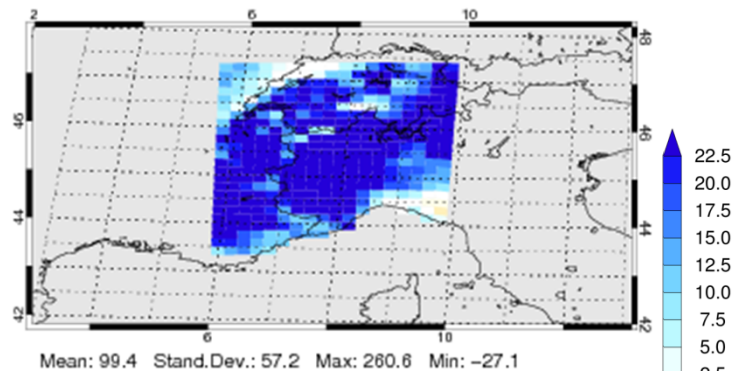
Fehlerausprägungen – Beispiel Westalpen

(Modell RegCM3 aus dem ENSEMBLES Datensatz)

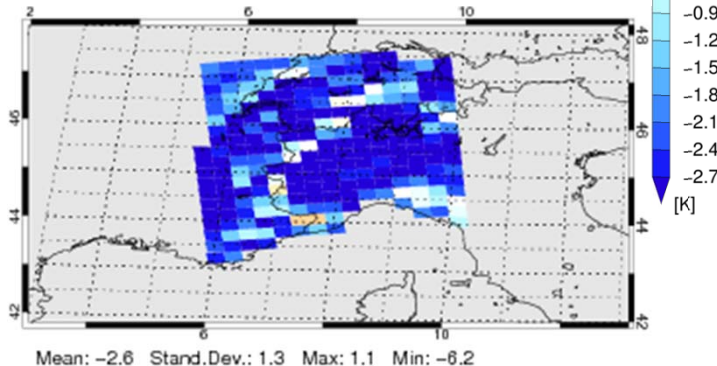
Temperatur Bias [K] Winter (DJF)



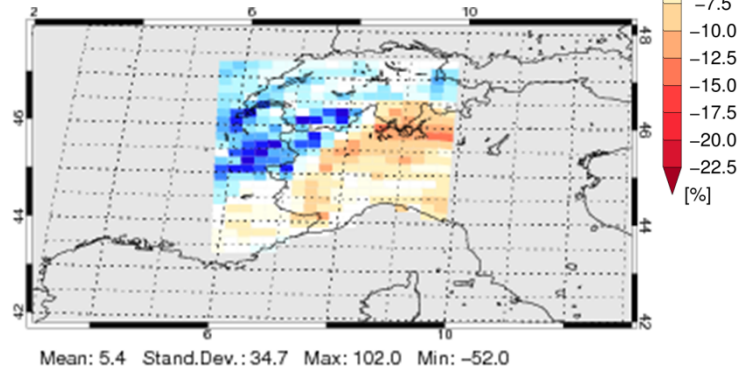
Niederschlag Bias [%] Winter (DJF)



Temperatur Bias Sommer (JJA)



Niederschlag Bias Winter (DJF)



Bias (regional-saisonal):
-6.3 K bis +2 K

Bias (regional-saisonal):
-50% bis +260%

RCM: RegCM3

Δx : ~25km

Referenz: E-OBS (v1)

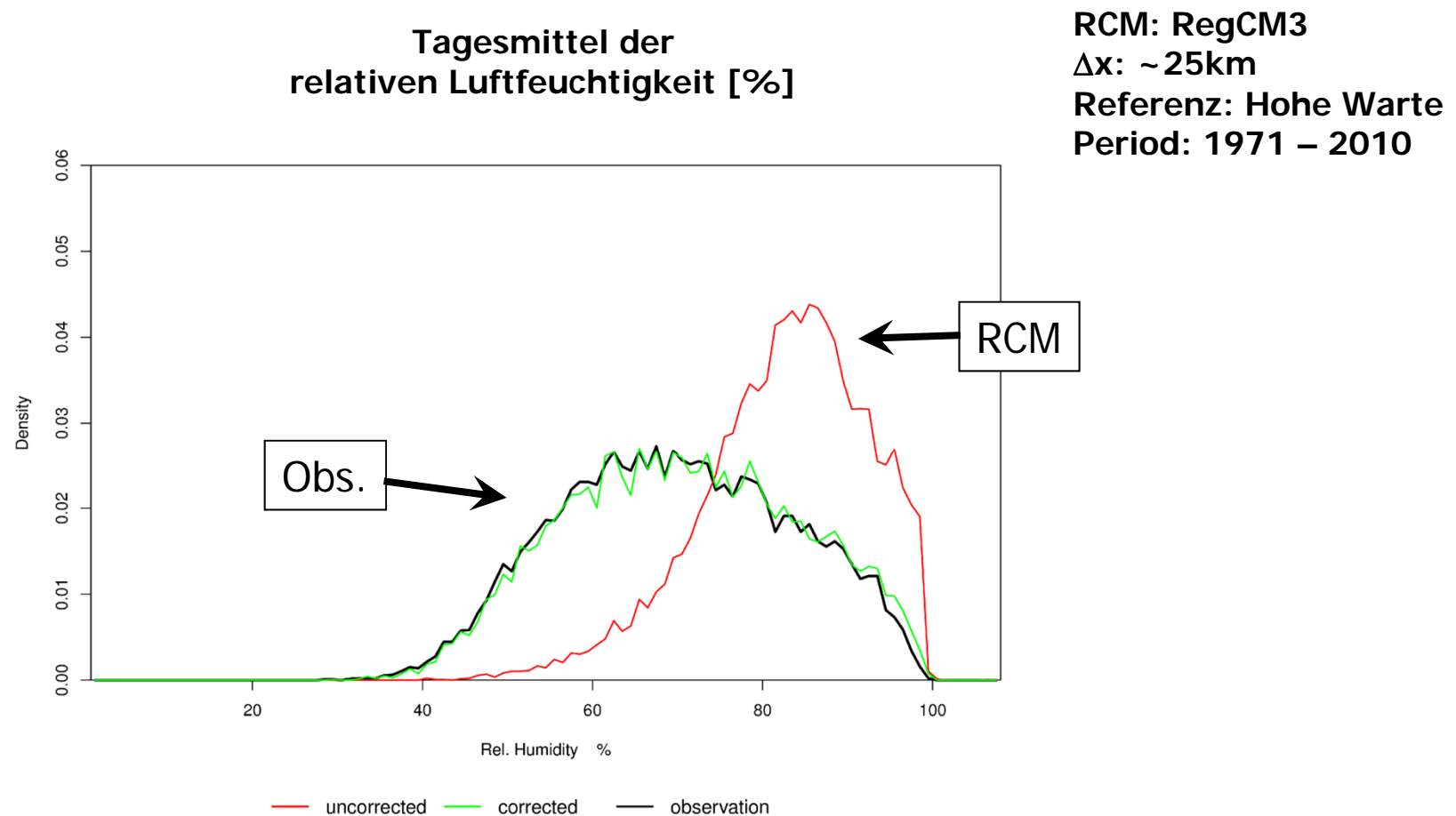
Periode: 1981 – 2000

EU FP7



www.acqwa.ch

Häufigkeitsverteilungen – Beispiel Wien Hohe Warte (Modell RegCM3 aus dem ENSEMBLES Datensatz)



(Fuchs, 2010)

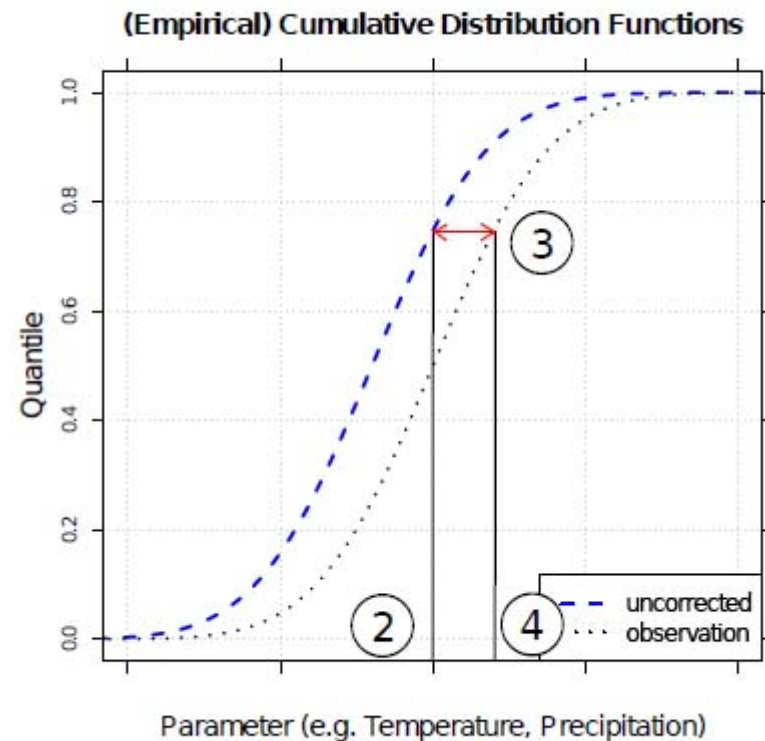
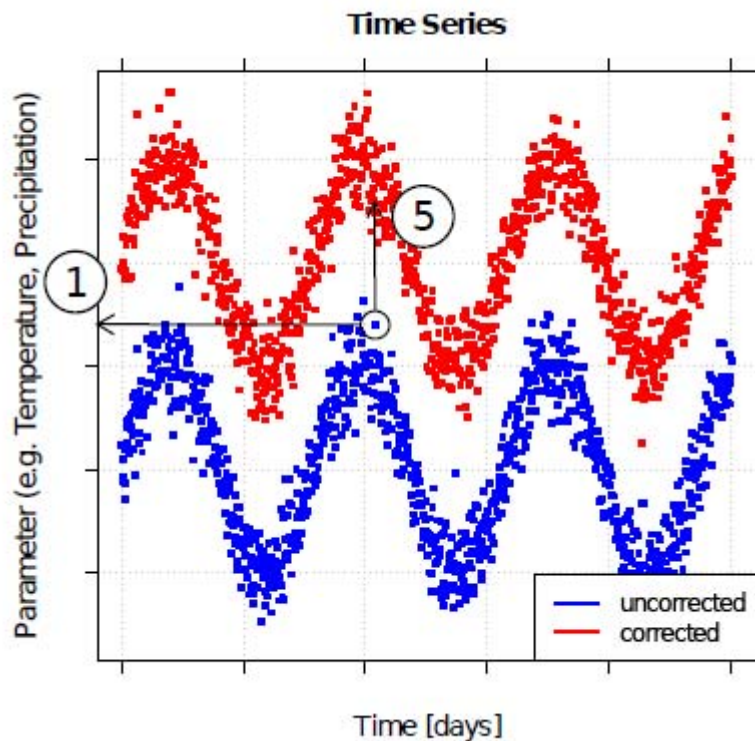
Quantile Mapping (QM)

$$Y_{t,i}^{\text{val}} = \text{ecdf}_{t,i}^{\text{obs,cal}^{-1}}(\text{ecdf}_{t,i}^{\text{mod,cal}}(X_{t,i}^{\text{val}}))$$

$X...$ *Prediktor*

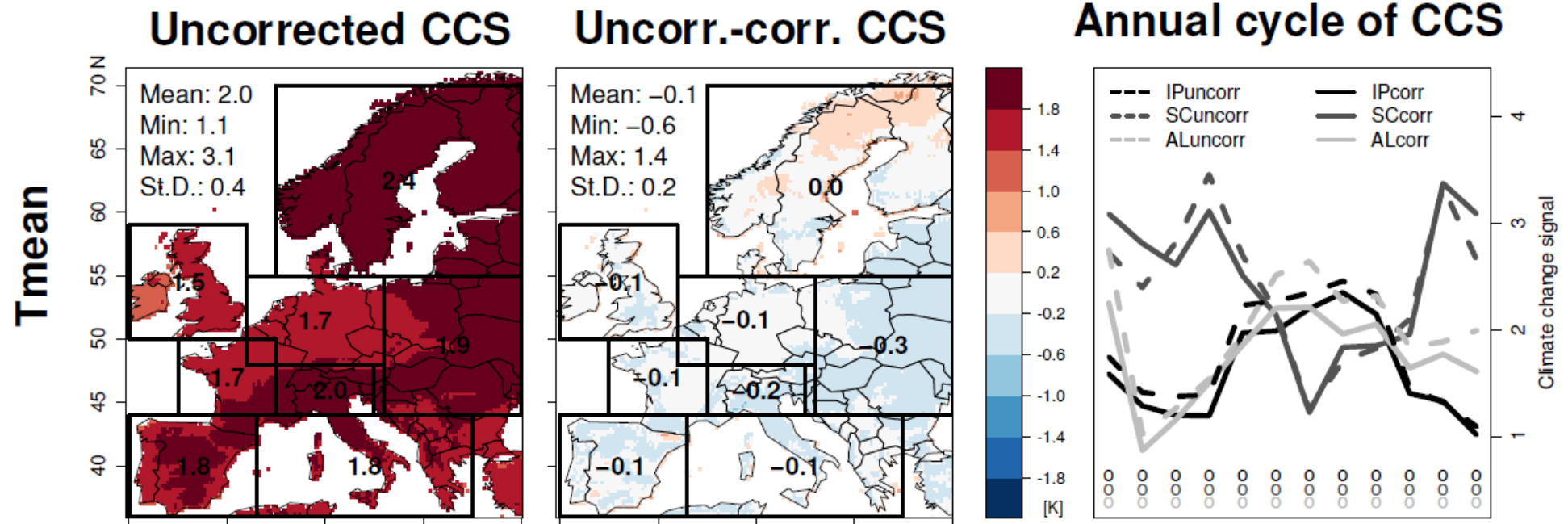
$Y...$ *Prediktant*

ecdf... empirische kumulative
Verteilungsfunktion



Beeinflussung des Klimaänderungssignals

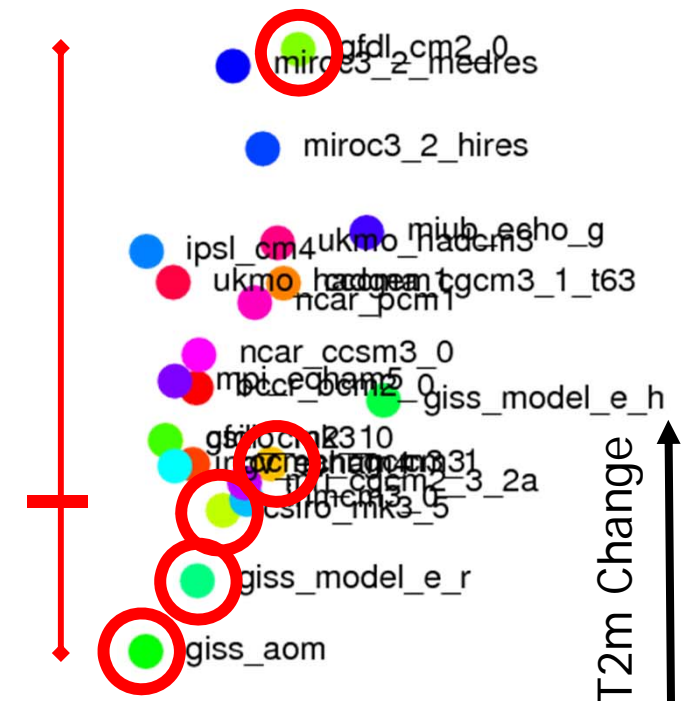
- Wenn der Modellfehler vom Betrag der betrachteten Größe abhängt
- Wenn die betrachtete Größe trendbehaftet ist
- Wirkt sich bei abgeleiteten Größen (z.B. Grenzwert-Indizes) besonders stark aus



(Thiemeßl et al., Clim. Change, 2011)

(Example: CMIP3-A1B over Europe)

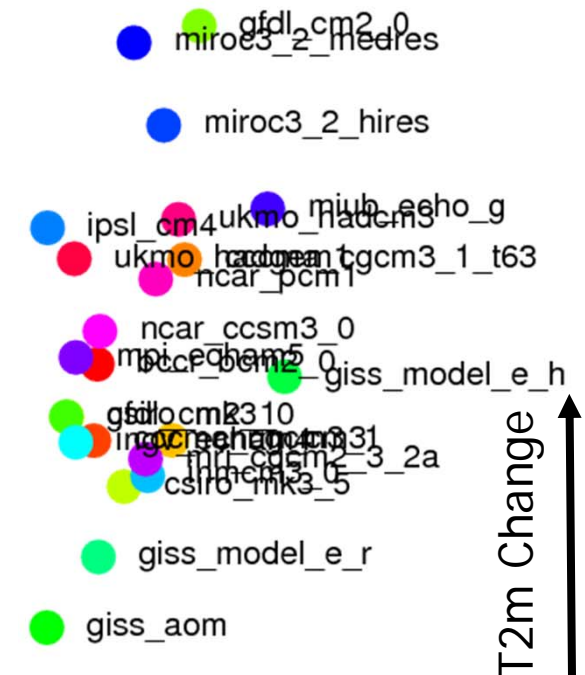
Avoid biases



(Example: CMIP3-A1B over Europe)

Scatter plot showing T2m Change (Y-axis) versus T2m Change (X-axis) for various climate models. The plot displays a positive correlation between the two variables. A red double-headed arrow on the left indicates the range of T2m Change. A black arrow on the right points upwards, indicating the direction of increasing T2m Change. The models are color-coded: blue for 'iap_fggoals1_0_g', green for 'giss_aom', and red for 'giss_model_e_r'. Other models include 'miroc3_2_medres', 'miroc3_2_hires', 'ipsl_cm4', 'ukmo_hadcm3', 'ncar_ccsm3_0', 'mpi_echam5', 'giss_model_e_h', 'giss_model_e_r', and 'giss_aom'.

(Example: CMIP3-A1B over Europe)



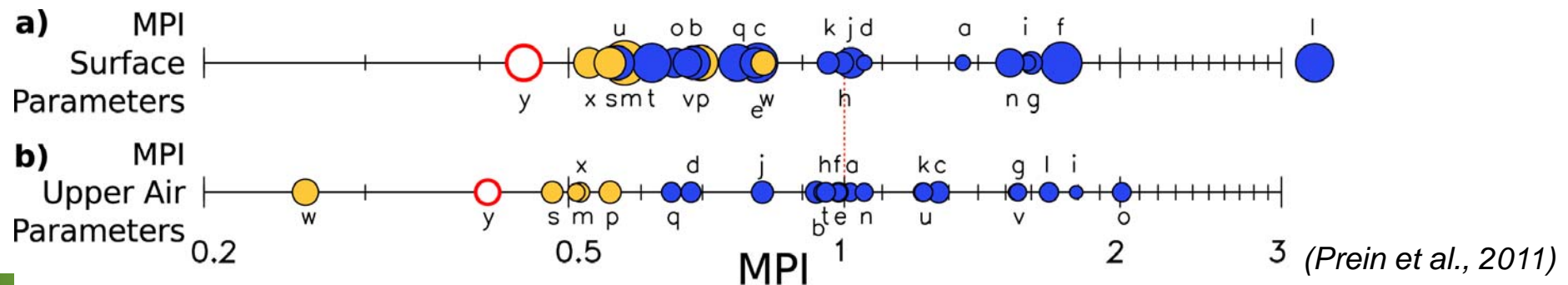
Unrealistic outlier?

How to work with uncertainty?

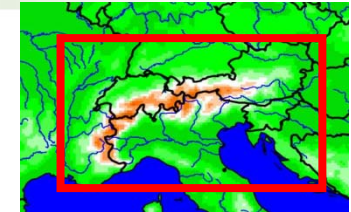
Climate Simulation Selection: Based on Model Evaluation (i.e., comparison with observations)

- Can indicate “unrealistic outliers” (together with process-oriented analyses).
 - Evaluation yields very different results, depending on the selected performance index.
 - But: Skill in simulating present-day climate relates only weakly to the magnitude of predicted change [e.g., Knutti et al., 2010]. Currently, no simple rule for selecting GCMs based on model performance is available.
- It's not wise to pick out “better” simulations based on evaluation results!

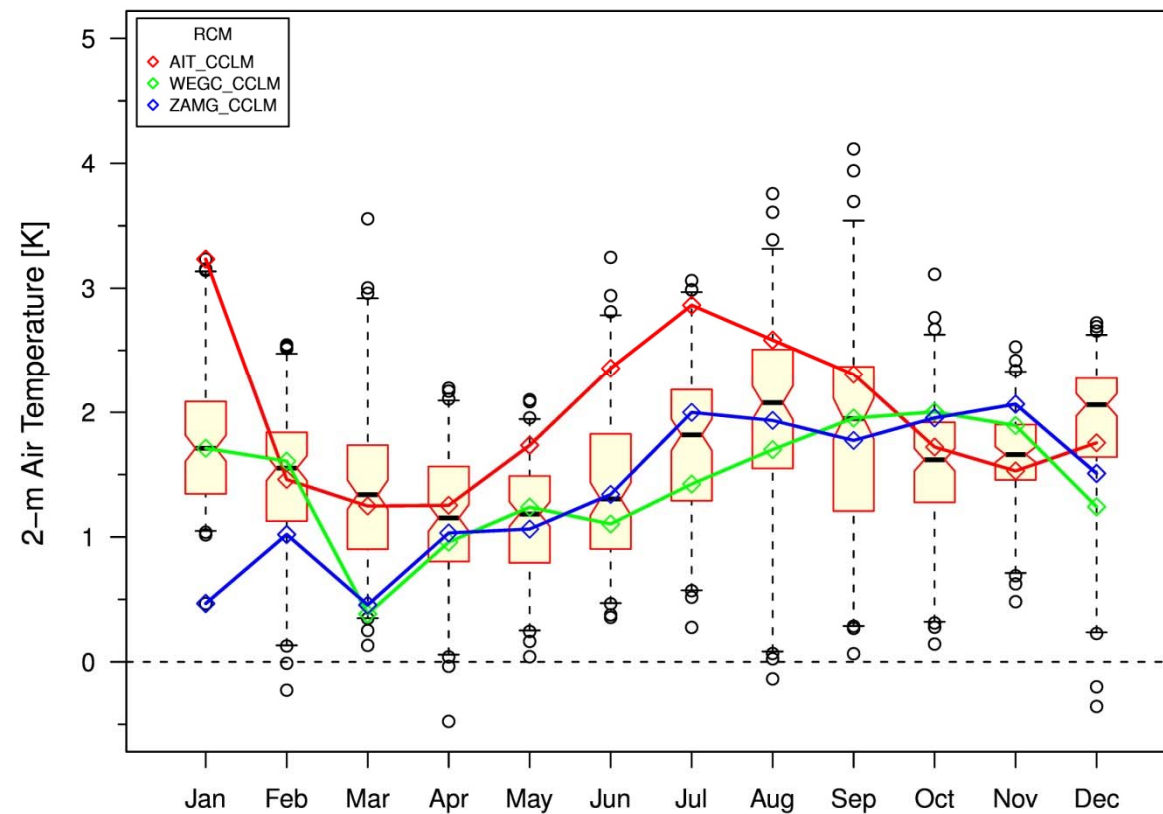
CMIP3 Model Performance Indices over Europe



ENSEMBLES: Temperature change GREATER ALPINE REGION



CCS 2-m Air Temperature 1961–90/2021–50
region: GAR



Strongest warming in
Aug/Sep and Dec/Jan
(uncertain)

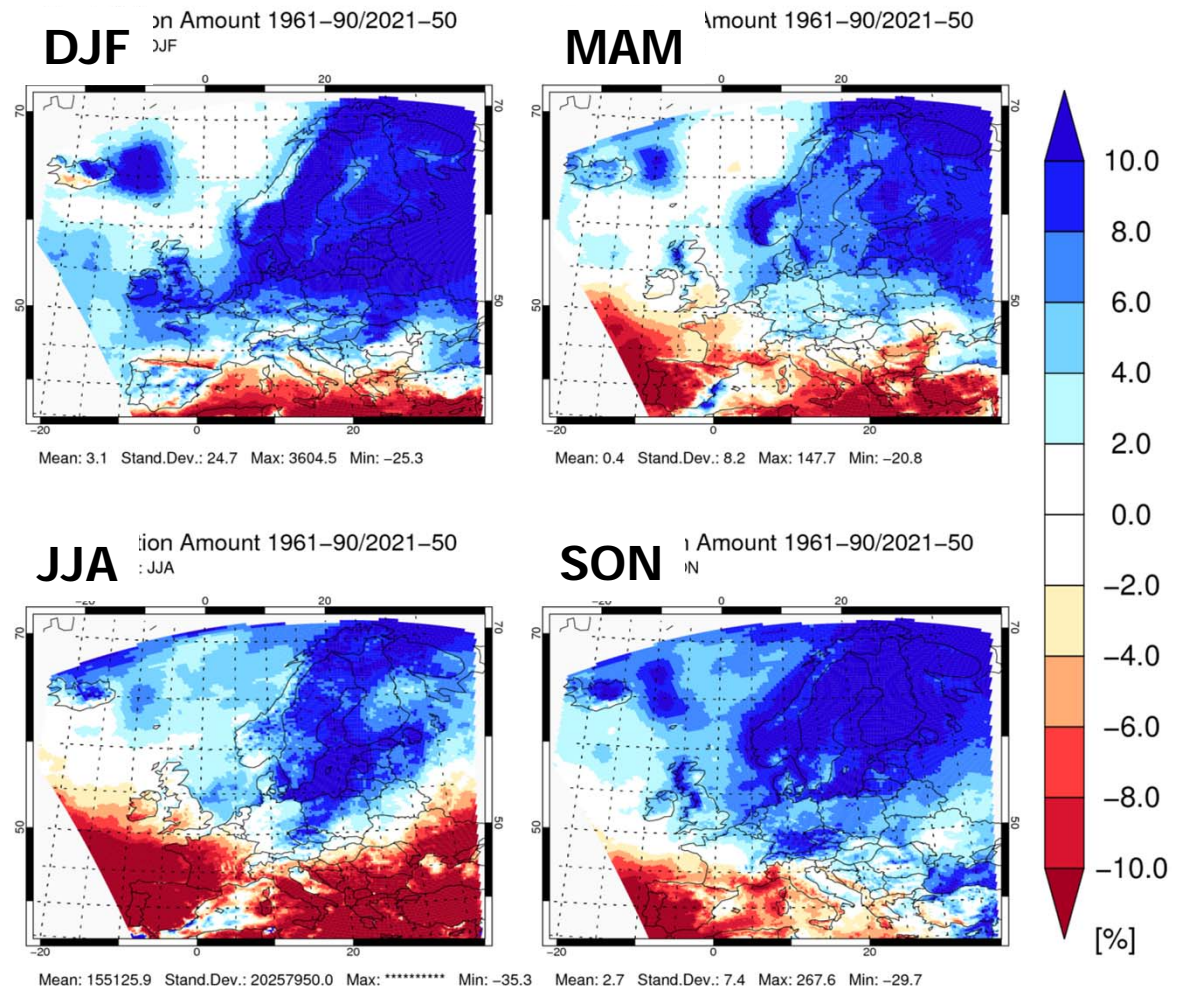
ENSEMBLES: Mean precipitation change

EUROPE

Precipitation change

- 2021-2050 vs 1961-1990
- 21 models
- mean change

North-south and
winter-summer gradient



ENSEMBLES: Uncertainty in precipitation change

EUROPE

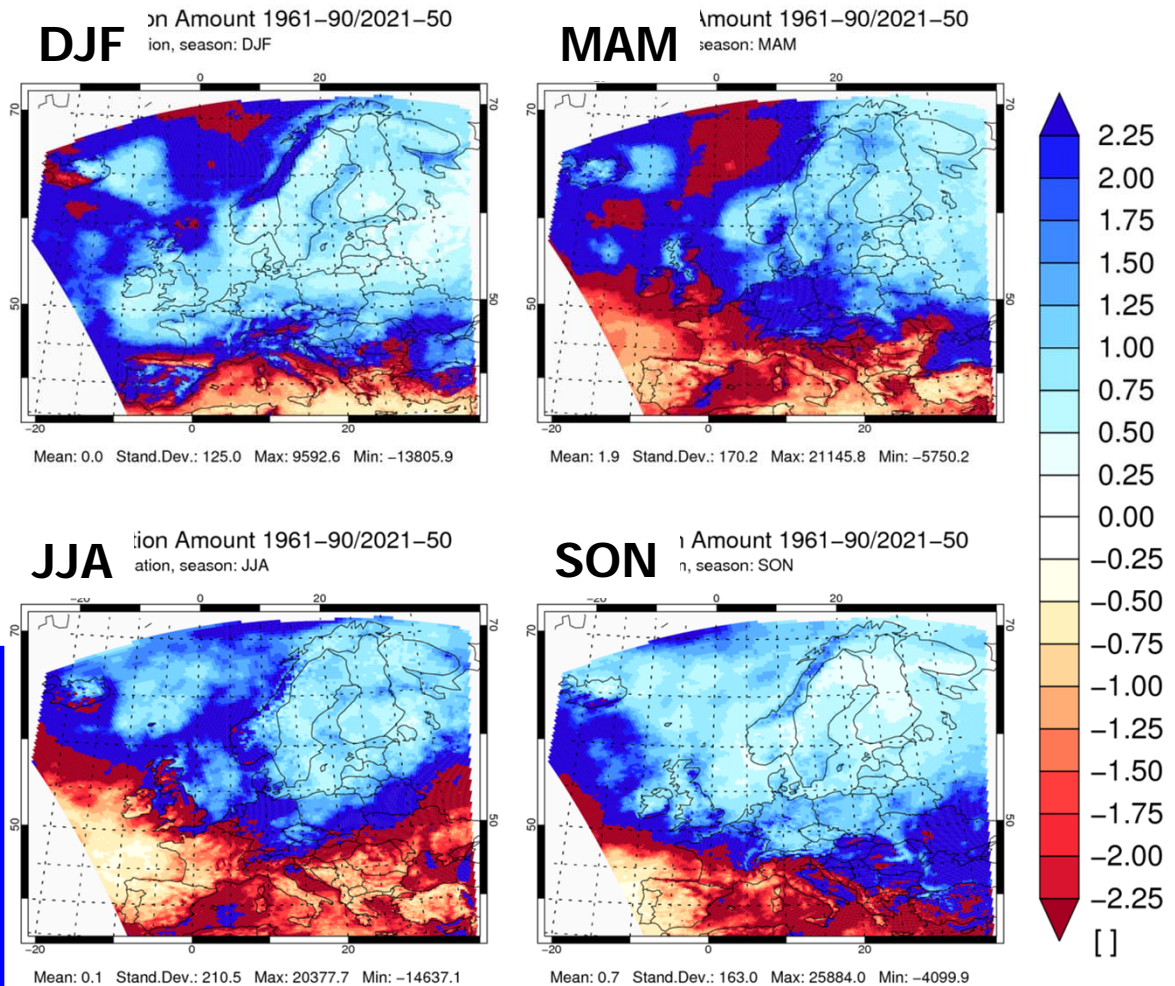
Precipitation uncertainty

- 2021-2050 vs 1961-1990
- 21 models
- coefficient of variation
(std. dev. / mean change)

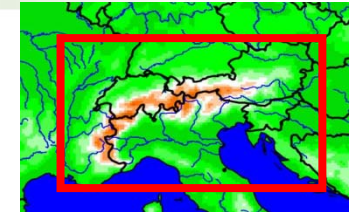
CV > 1 in most areas

CV < 1 only in few hot spots
in Scandinavia and S Europe

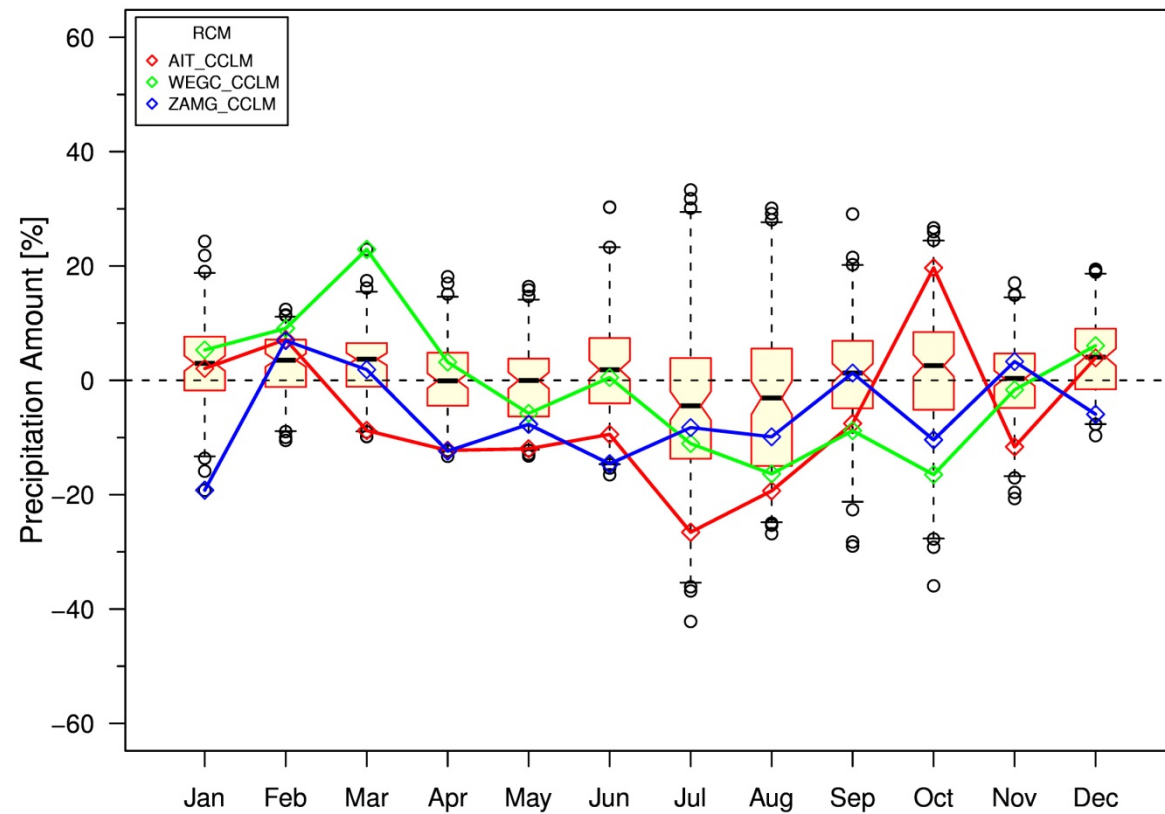
→ low confidence / high
uncertainty in most regions



ENSEMBLES: temp/precip change GREATER ALPINE REGION



CCS Precipitation Amount 1961–90/2021–50
region: GAR



Slight tendency of
increase in winter
and decrease in summer
(very uncertain)