



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

MeteoSchweiz

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Das Klima der Alpen im 21. Jahrhundert

Regionale Klimaprojektionen und ihre Unsicherheiten

Sven Kotlarski¹ Andreas Gobiet² Prisco Frei^{1,3} Jan Rajczak³

¹Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz

²Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ZAMG, Graz

³Eidgenössische Technische Hochschule ETH, Zürich

Dank an
Iris Feigenwinter Ana Casanueva Moritz Pickl





Übersicht





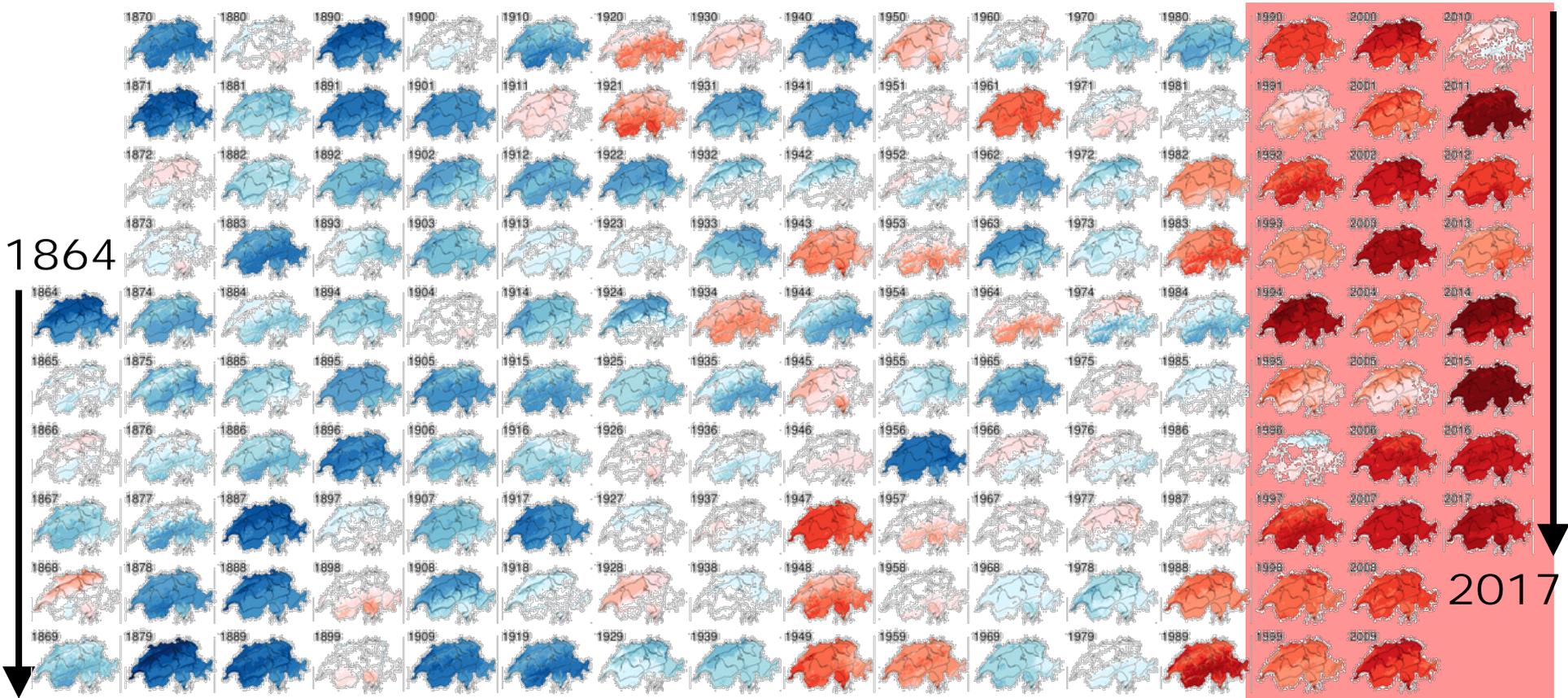
Übersicht

Regionale Klimaprojektionen
Grundlagen

Temperatureentwicklung Schweiz

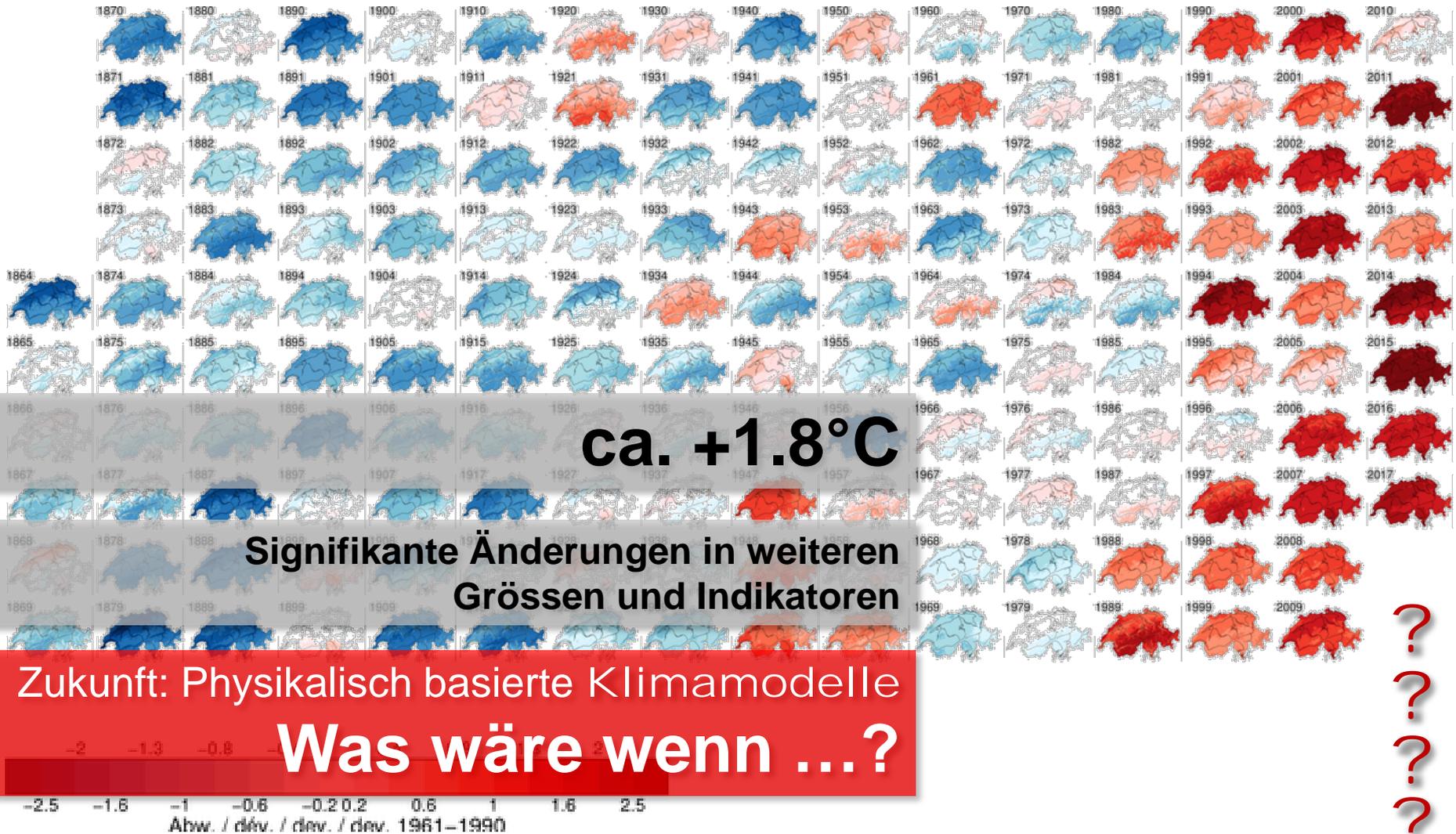
Jährliche Anomalien [°C] gegenüber 1961-1990

18 der 20
wärmsten Jahre



Temperaturentwicklung Schweiz

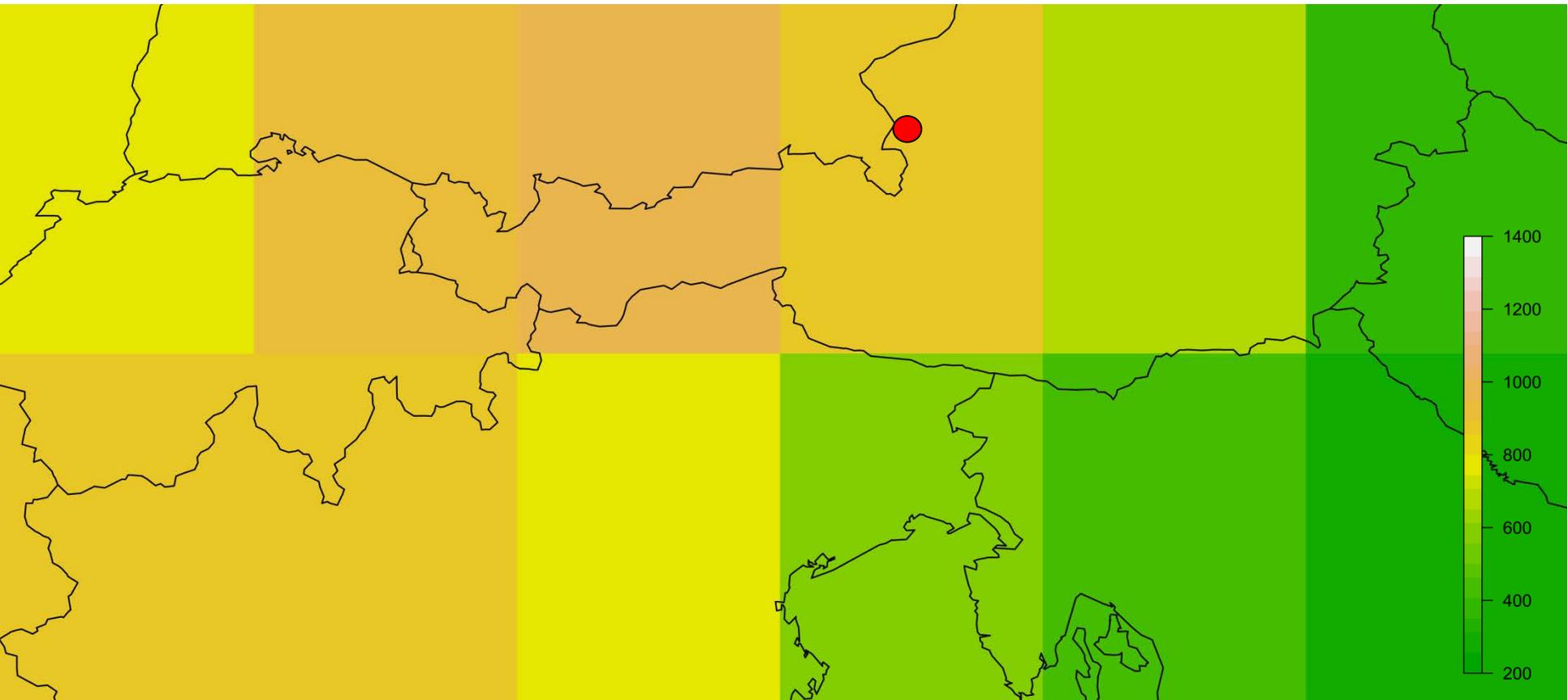
Jährliche Anomalien [°C] gegenüber 1961-1990



grundlegende Prozesse: **global**



Modellorographie MPI-ESM-LR, 1.875°

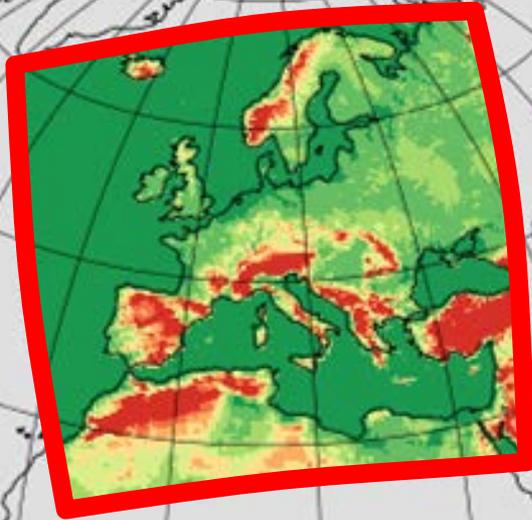


Grobe räumliche Auflösung (Rechenzeit!)

Klima im alpinen Raum? Extreme?



Regionale Klimamodelle als «Lupe»



**Globale Klimamodelle als
Randantrieb (*Nestung*):
Regionale
Klimaprojektionen**

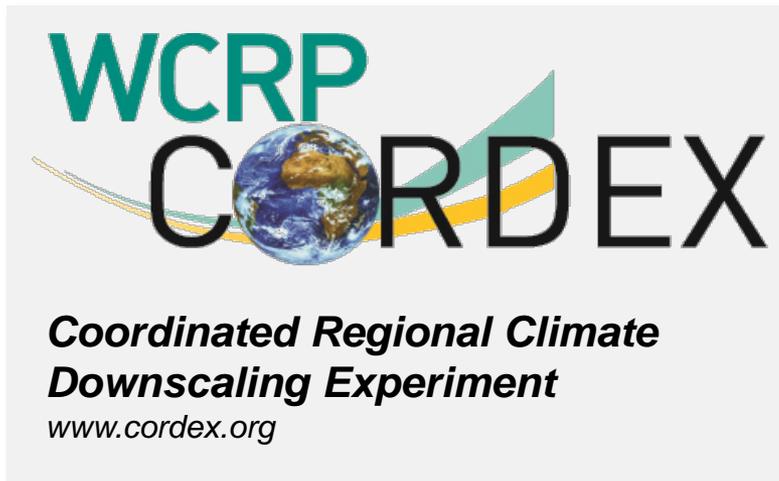
räumliche Auflösung
10 - 50 km



Projektions-Unsicherheiten

Unsicherheiten durch **Modellwahl, Modellsetup**
Treibhausgasszenario, interne Klimavariabilität etc.

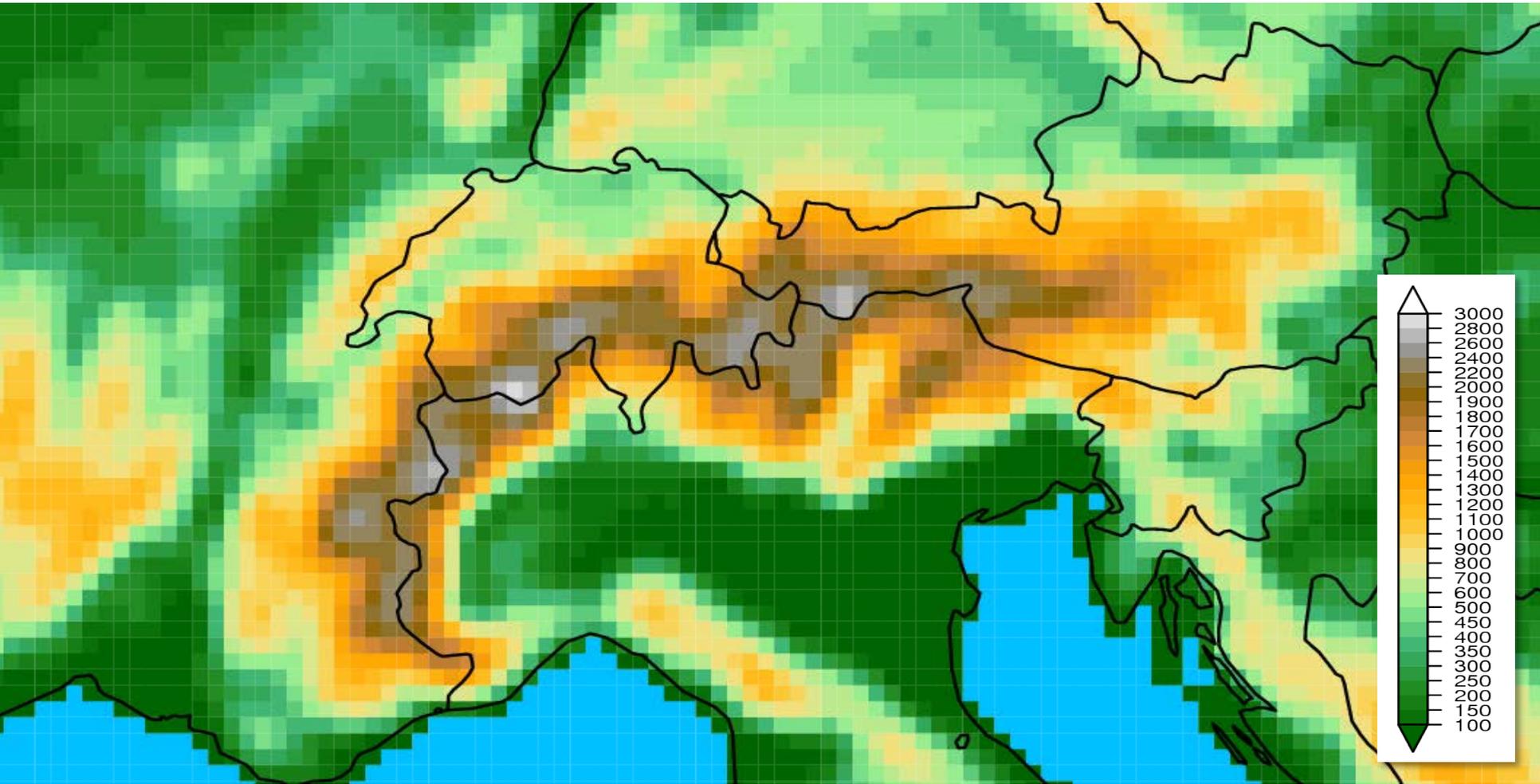
➔ Beschreibung durch
grosse koordinierte Modellensemble



- **EURO-CORDEX:** Europäischer Ableger www.euro-cordex.net
- >**100** regionale Klimaszenarien für Europa auf 12 und 50 km Auflösung
- **Drei Treibhausgaszenarien:** **RCP2.6**, **RCP4.5**, **RCP8.5**
- Frei verfügbar (*ESGF*)
- Grundlage ÖKS15, CH2018

Grundlage dieses Vortrags...

Alpenorographie EURO-CORDEX 12 km





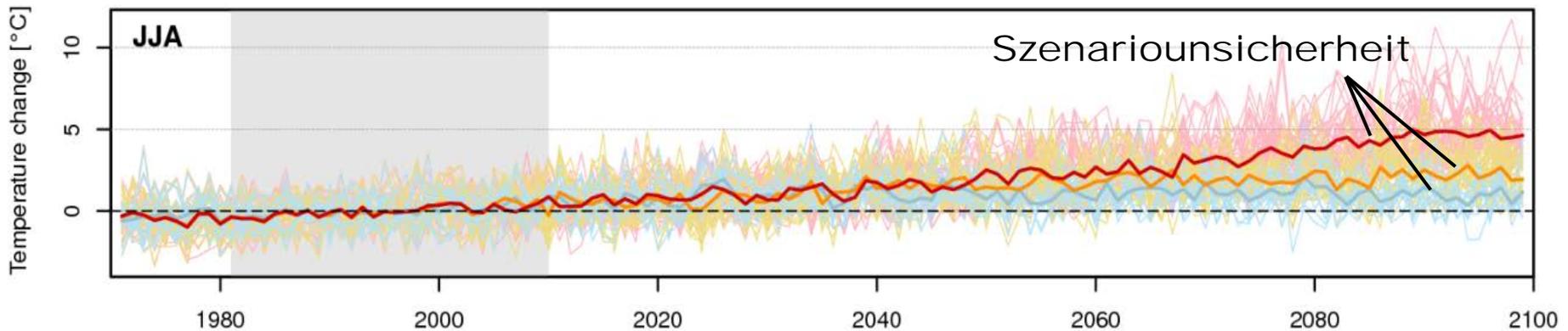
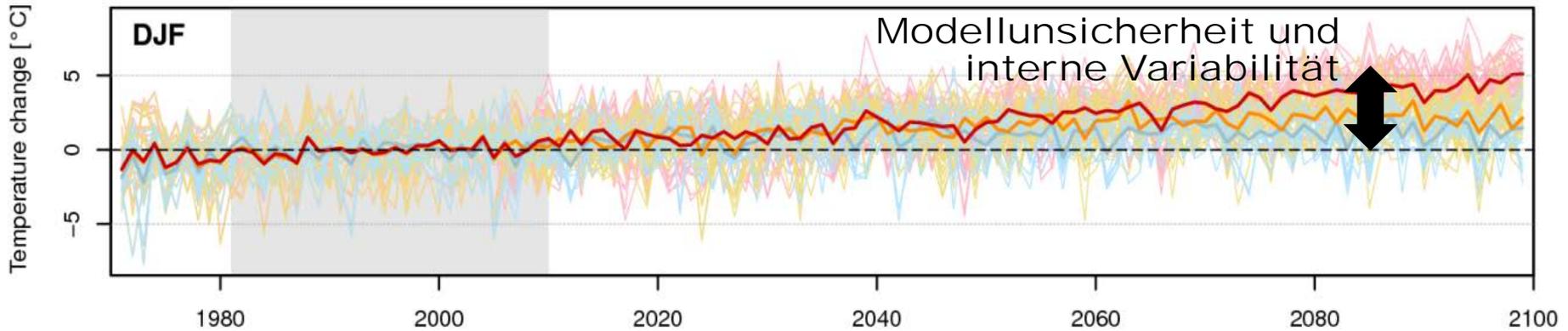
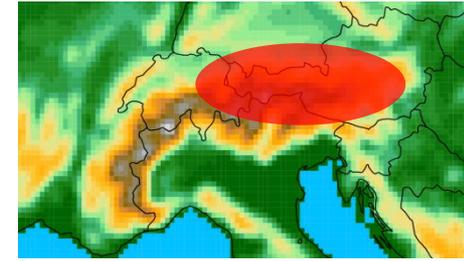
Übersicht

Klimaprojektionen Alpenraum Ausgewählte Ergebnisse

Regionale Klimaprojektionen
Grundlagen



Temperaturänderung Alpen Nord-Ost Gegenüber 1981-2010



— RCP26 — RCP45 — RCP85



Temperaturänderung

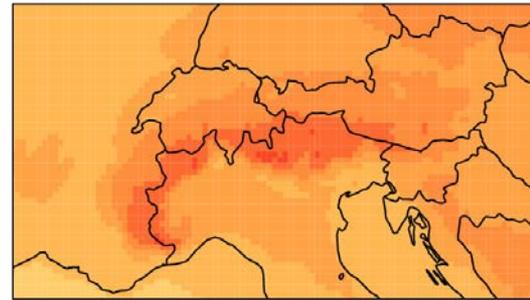
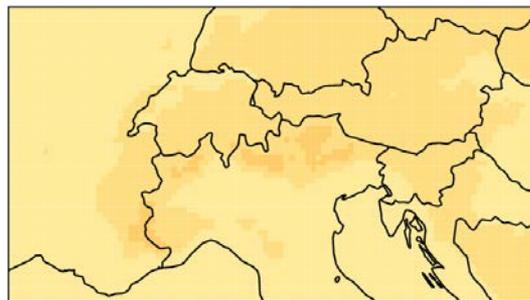
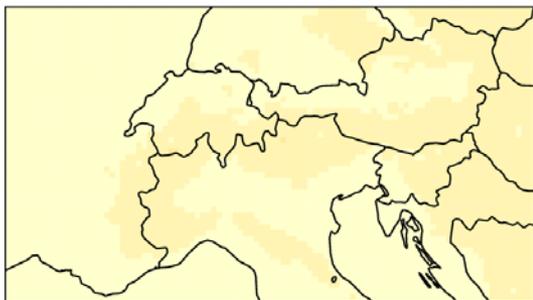
2070-2099 gegenüber 1981-2010, **Ensemble-Mittelwert**

RCP 2.6

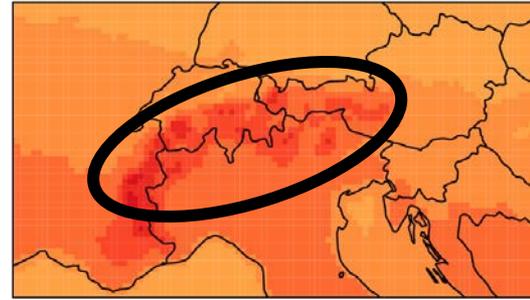
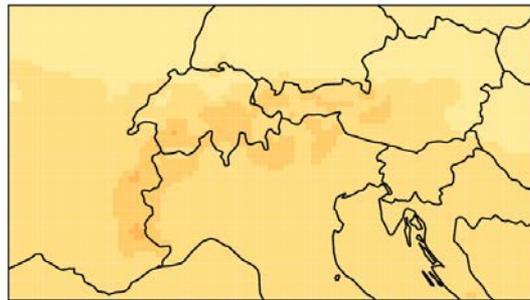
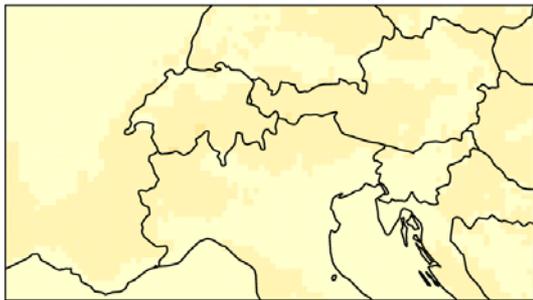
RCP 4.5

RCP 8.5

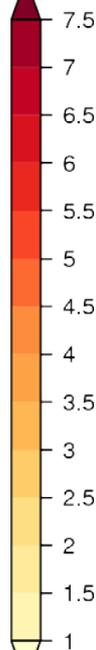
DJF



JJA



[°C]



Starke Erwärmung in
mittleren bis grossen Höhen
Regionale Schnee-Albedo Rückkoppelung?



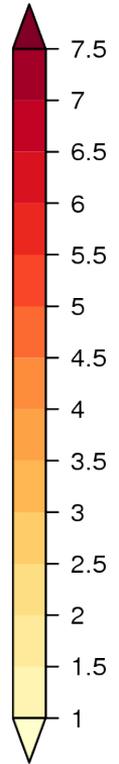
Temperaturänderung

2070-2099 gegenüber 1981-2010, RCP8.5

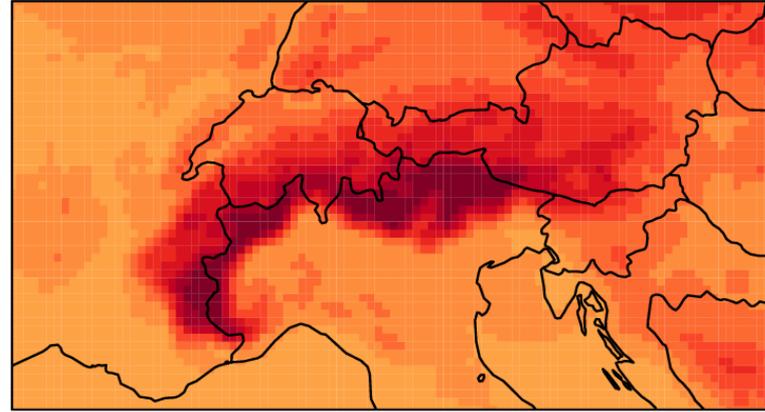
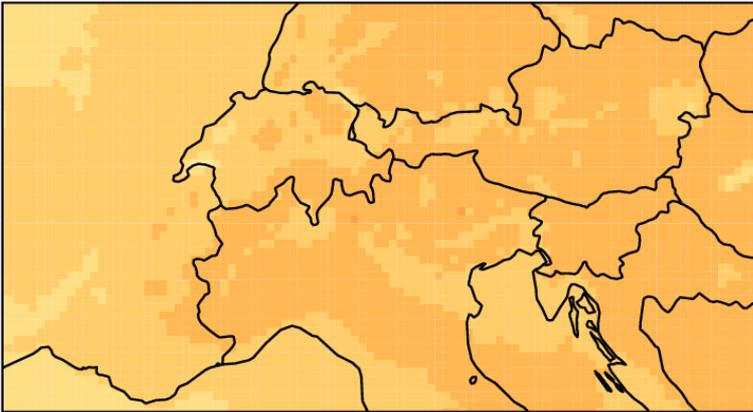
Ensemble Minimum

Ensemble Maximum

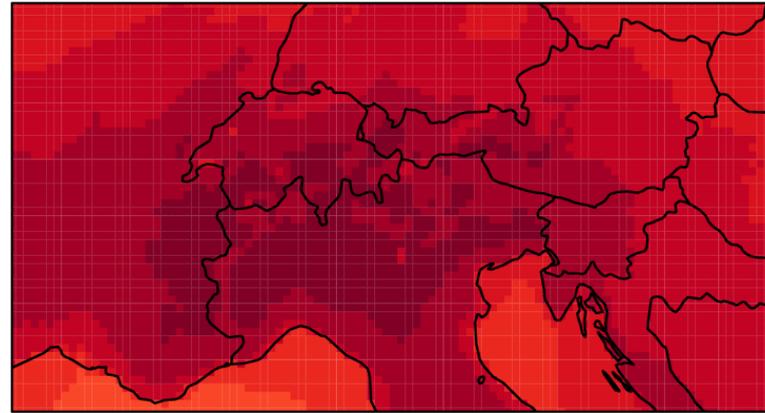
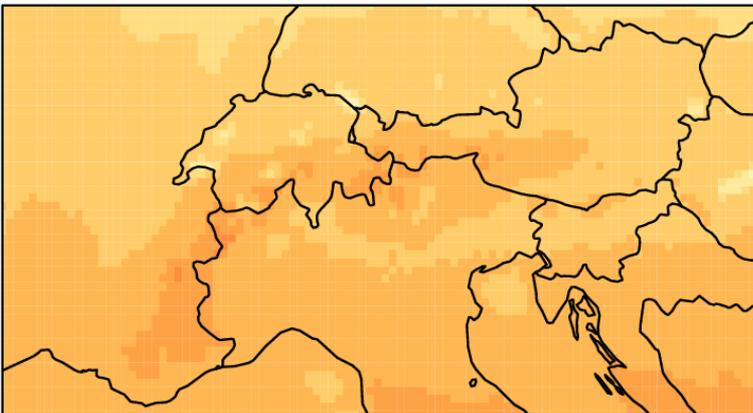
[°C]



DJF



JJA



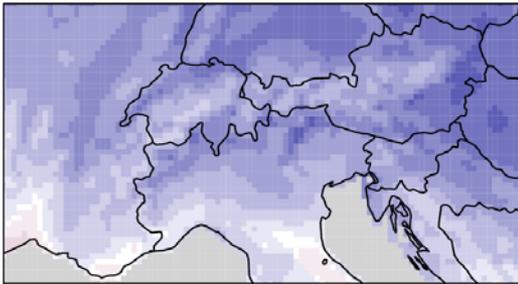
Modellunsicherheit ist zwingend zu berücksichtigen!



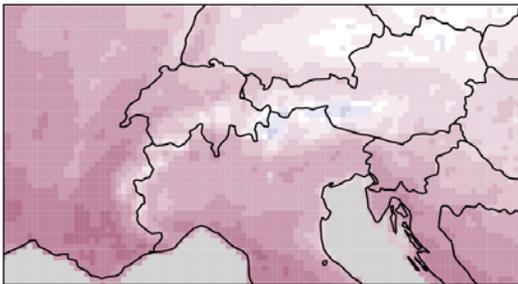
Niederschlagsänderung 2070-2099 gegenüber 1981-2010, RCP8.5

Ensemble Mittelwert

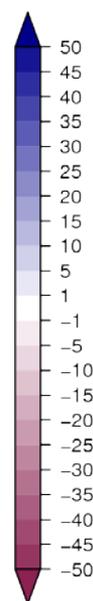
DJF



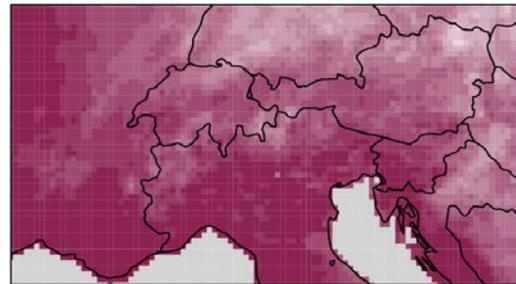
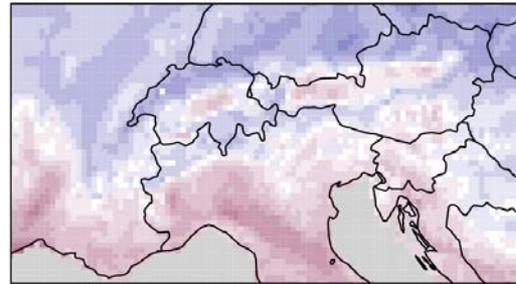
JJA



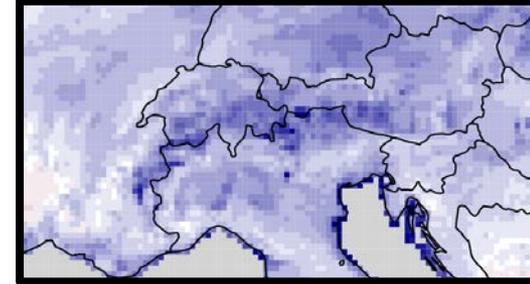
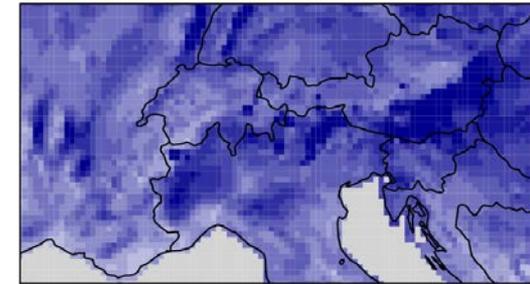
[%]



Ensemble Minimum



Ensemble Maximum



«Neu»: Sommerliche
Niederschlagszunahmen
möglich

Zunahme von Niederschlagsextremen auch im Sommer (Rajczak et al., JGR, 2017)

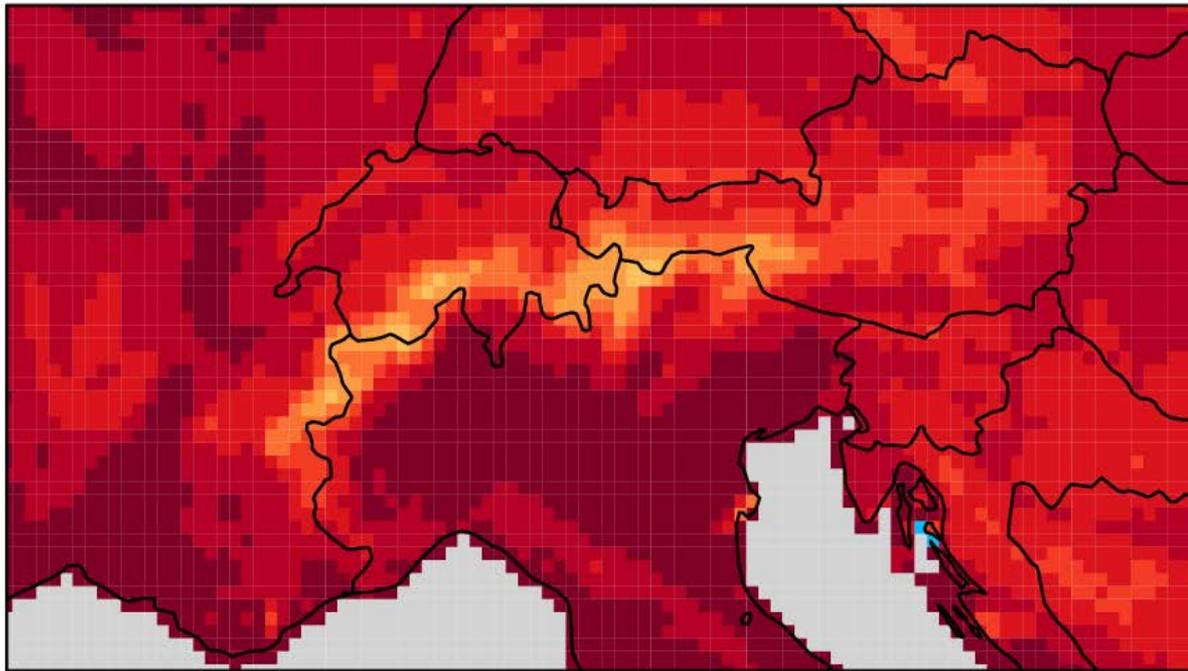
Deutliche Reduktion des Schneefalls. Leichte Zunahme in grossen Höhen im Zentralwinter möglich (Frei et al., The Cryosphere, 2018)

Ähnliche Muster aber kleinere Signale für RCP2.6 und RCP4.5

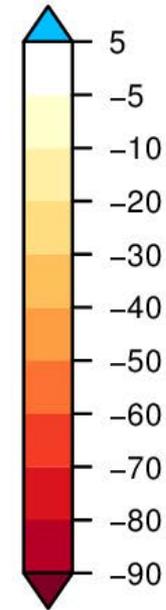


Szenarien Schneebedeckung

RCP8.5, mittleres SWE Sep-Mai, 2070-2099 gegenüber 1981-2010



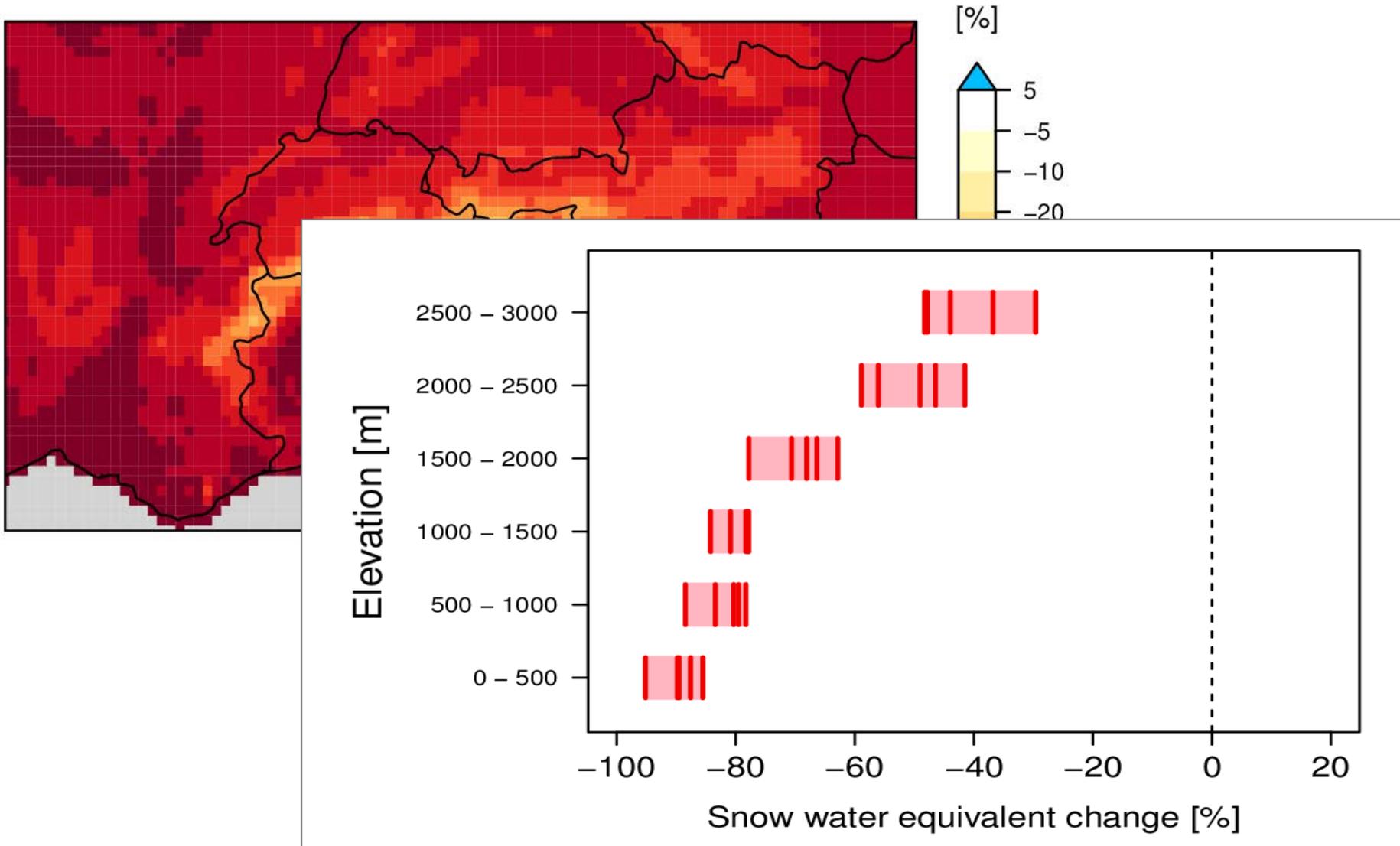
[%]





Szenarien Schneebedeckung

RCP8.5, mittleres SWE Sep-Mai, 2070-2099 gegenüber 1981-2010



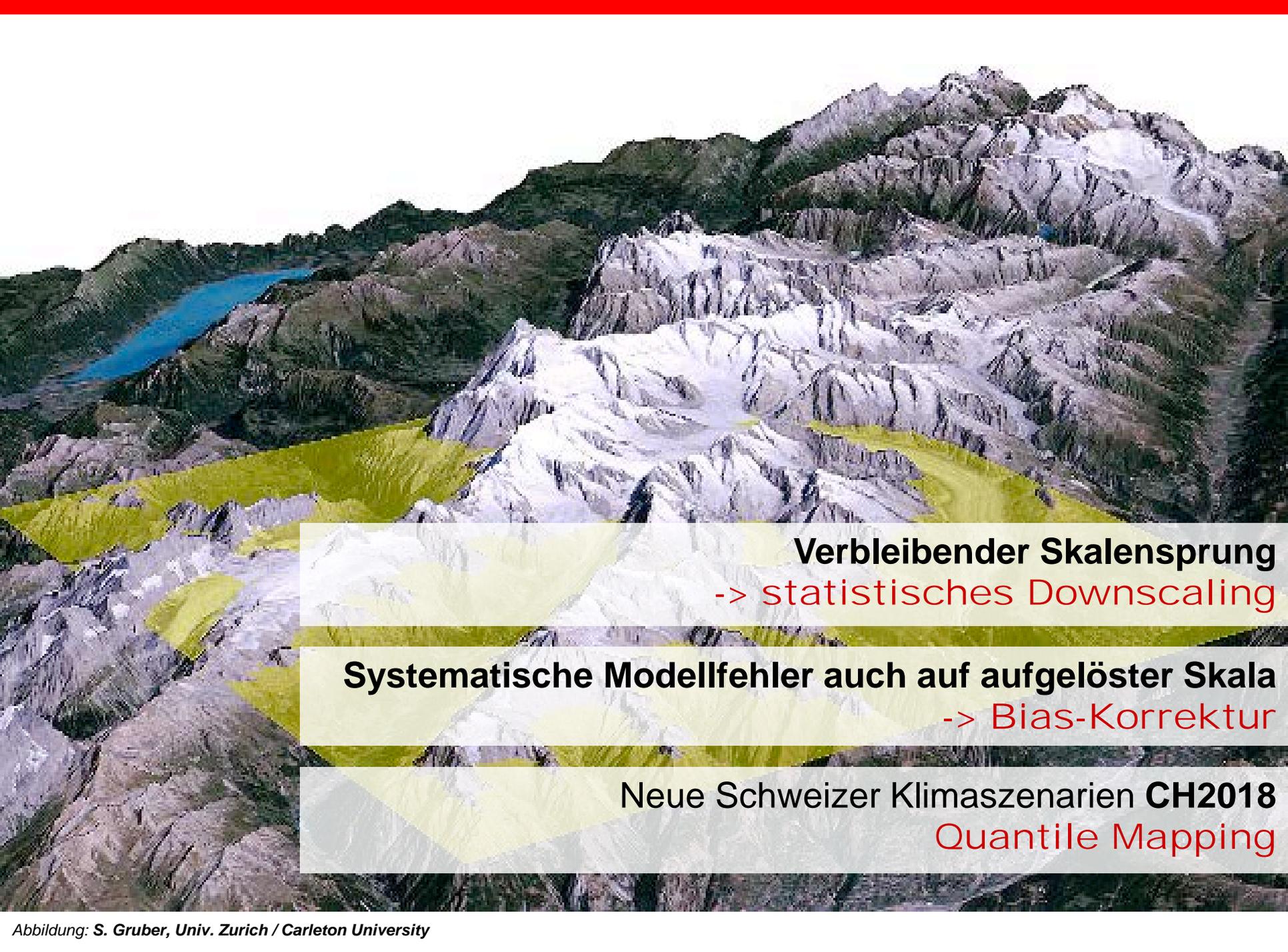


Übersicht

Klimaimpakts auf lokaler Skala
Nachbearbeitung
Sind Klimamodelldaten direkt nutzbar?

Klimaprojektionen Alpenraum
Ausgewählte Ergebnisse

Regionale Klimaprojektionen
Grundlagen



Verbleibender Skalensprung
-> statistisches Downscaling

Systematische Modellfehler auch auf aufgelöster Skala
-> Bias-Korrektur

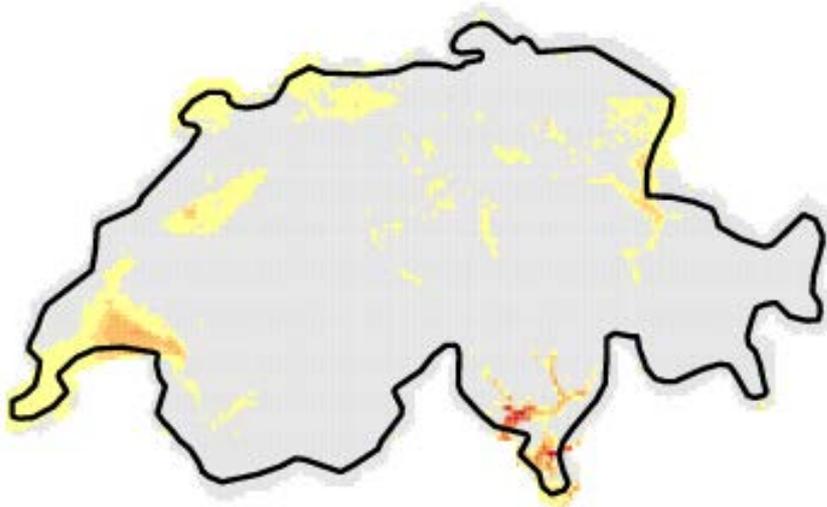
Neue Schweizer Klimaszenarien **CH2018**
Quantile Mapping



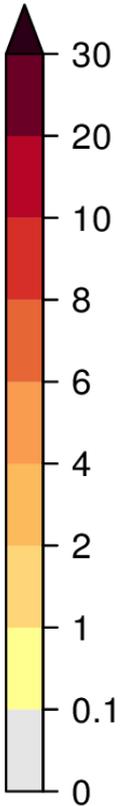
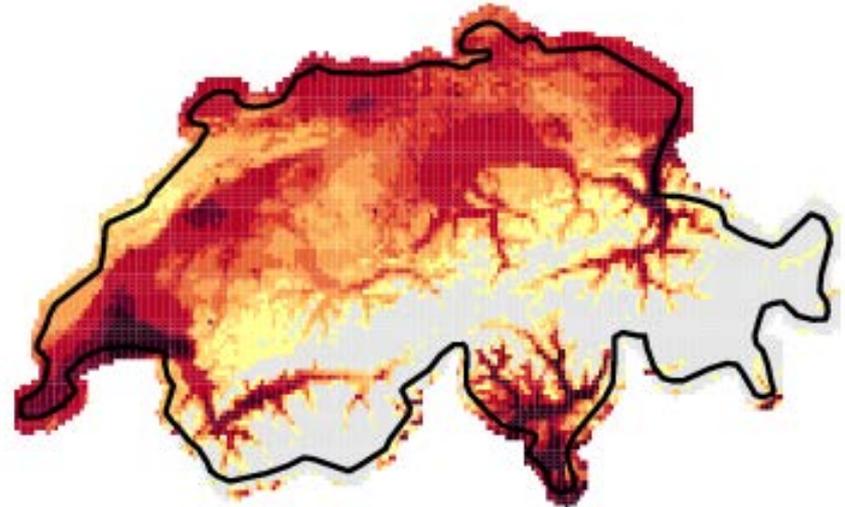
Hitzestress

Anzahl Tropennächte ($T_{\min} > 20^{\circ}\text{C}$) pro Jahr, **RCP8.5**, Ensemble median

1981 - 2010



2070 - 2099





Temperatur- und Niederschlagsjahresgang Zürich

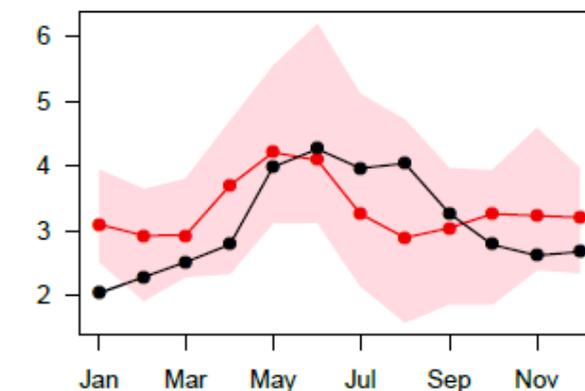
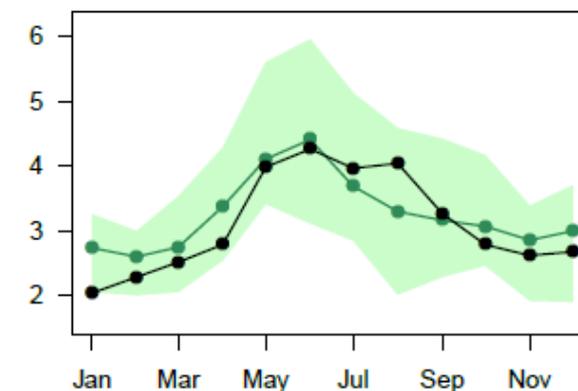
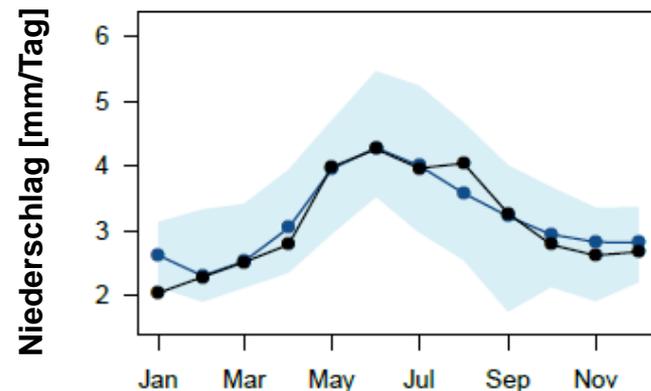
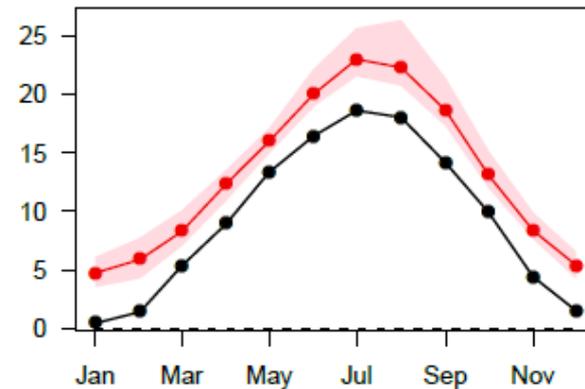
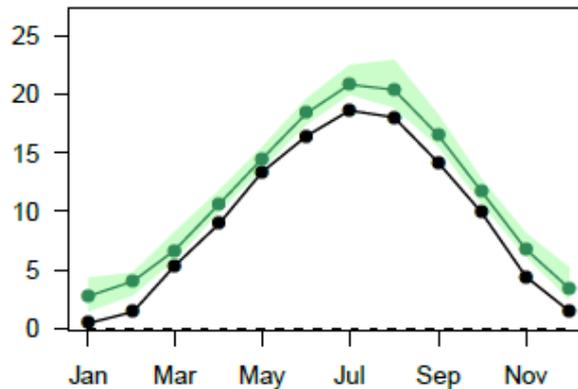
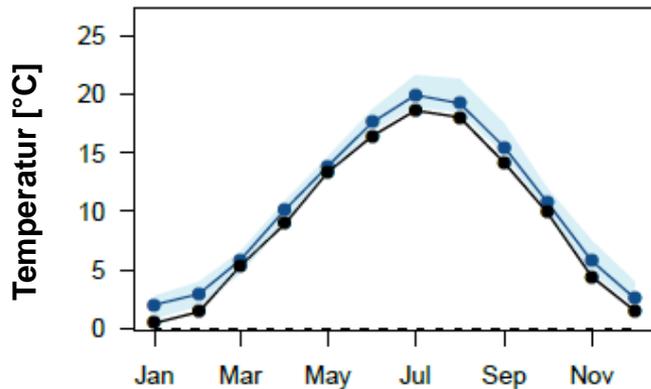
Heute (1981-2010) und Zukunft (2070-2099)



RCP2.6

RCP4.5

RCP8.5



—●— heutiges Klima

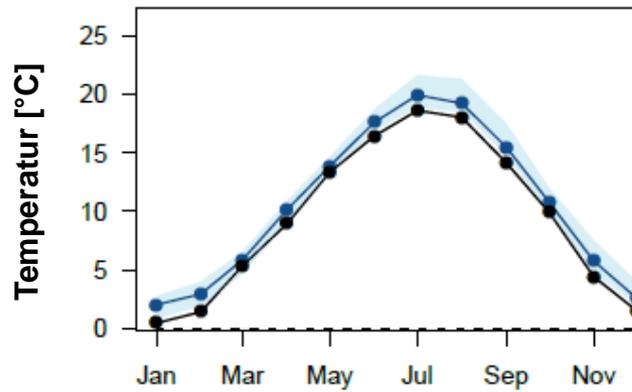


Temperatur- und Niederschlagsjahresgang Zürich

Heute (1981-2010) und Zukunft (2070-2099)



RCP2.6



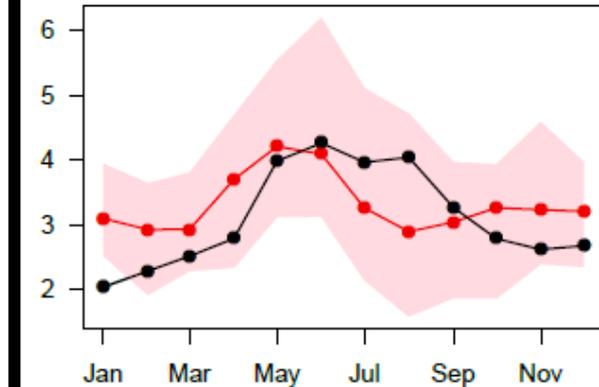
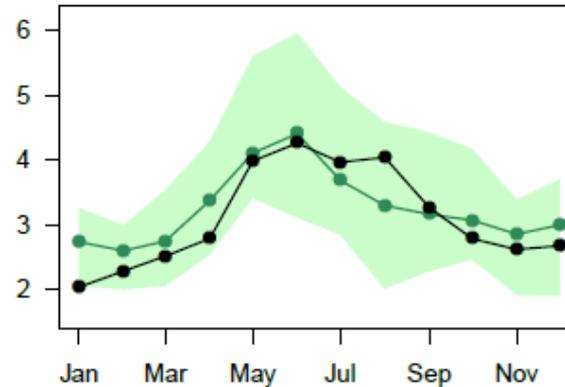
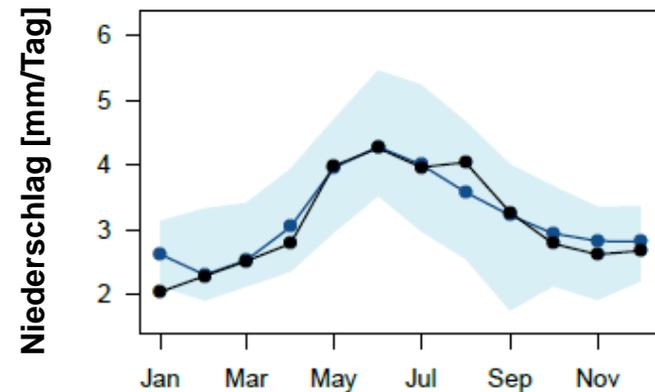
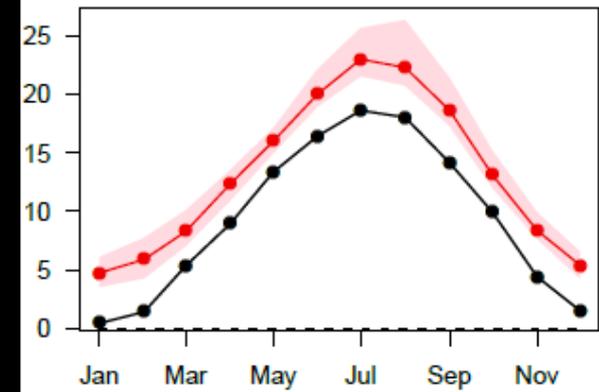
Klimaanaloge

Wohin geht die Reise?

z.B. Dahinden et al, ERL, 2017

Kriterium: Maximale Ähnlichkeit der vier saisonalen Mittelwerte von Temperatur und Niederschlag (Ensemble Median)

RCP8.5



—●— heutiges Klima

2600 mögliche Analoge...



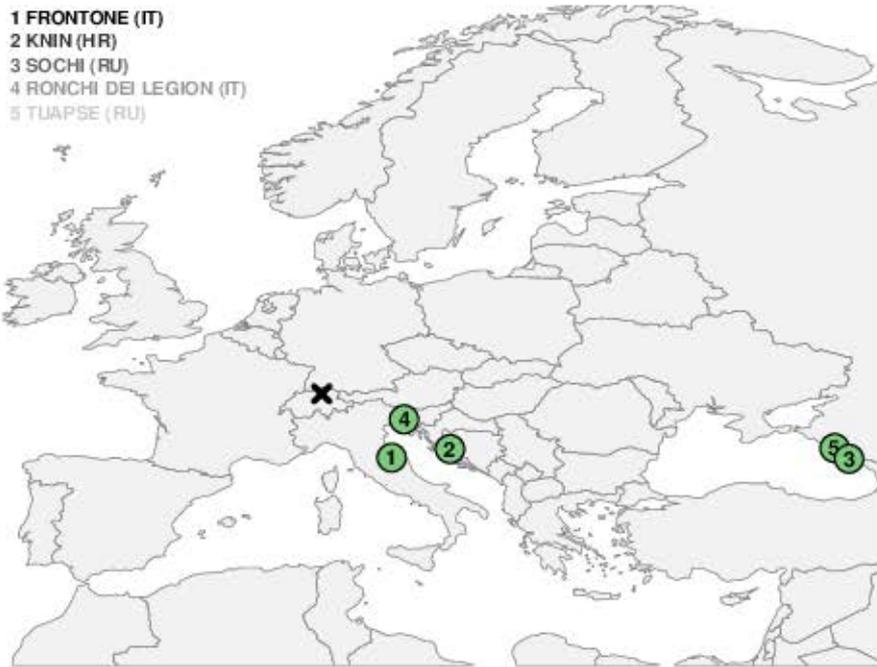


Klimaanaloge Alpenraum

RCP8.5, Ende 21. Jahrhundert, Kriterien: Temperatur und Niederschlag

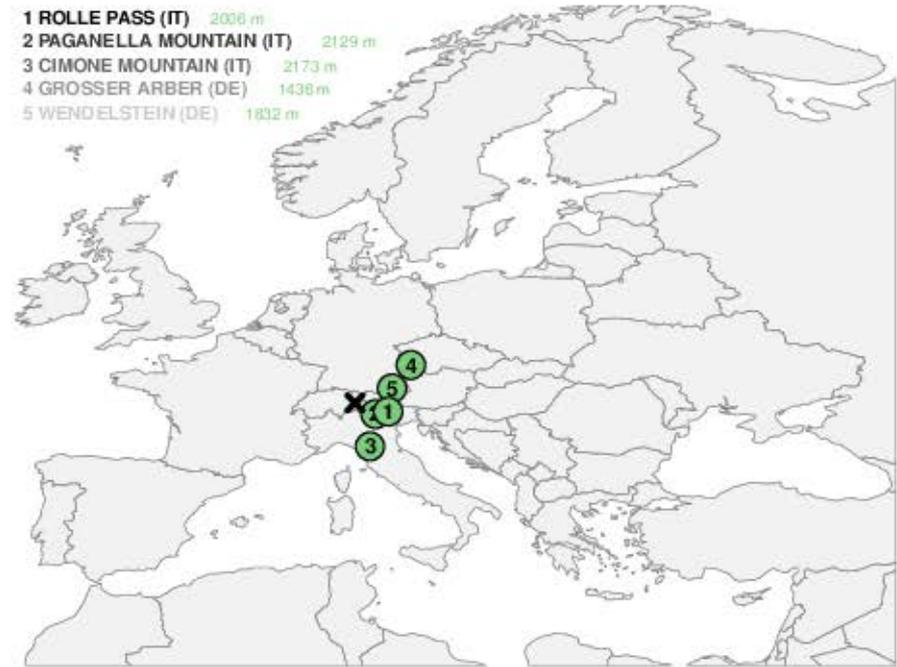
Zurich/Fluntern

- 1 FRONTONE (IT)
- 2 KNIN (HR)
- 3 SOCHI (RU)
- 4 RONCHI DEI LEGION (IT)
- 5 TUAPSE (RU)



Weissfluhjoch 2691 m

- 1 ROLLE PASS (IT) 2006 m
- 2 PAGANELLA MOUNTAIN (IT) 2129 m
- 3 CIMONE MOUNTAIN (IT) 2173 m
- 4 GROSSER ARBER (DE) 1438 m
- 5 WENDELSTEIN (DE) 1832 m



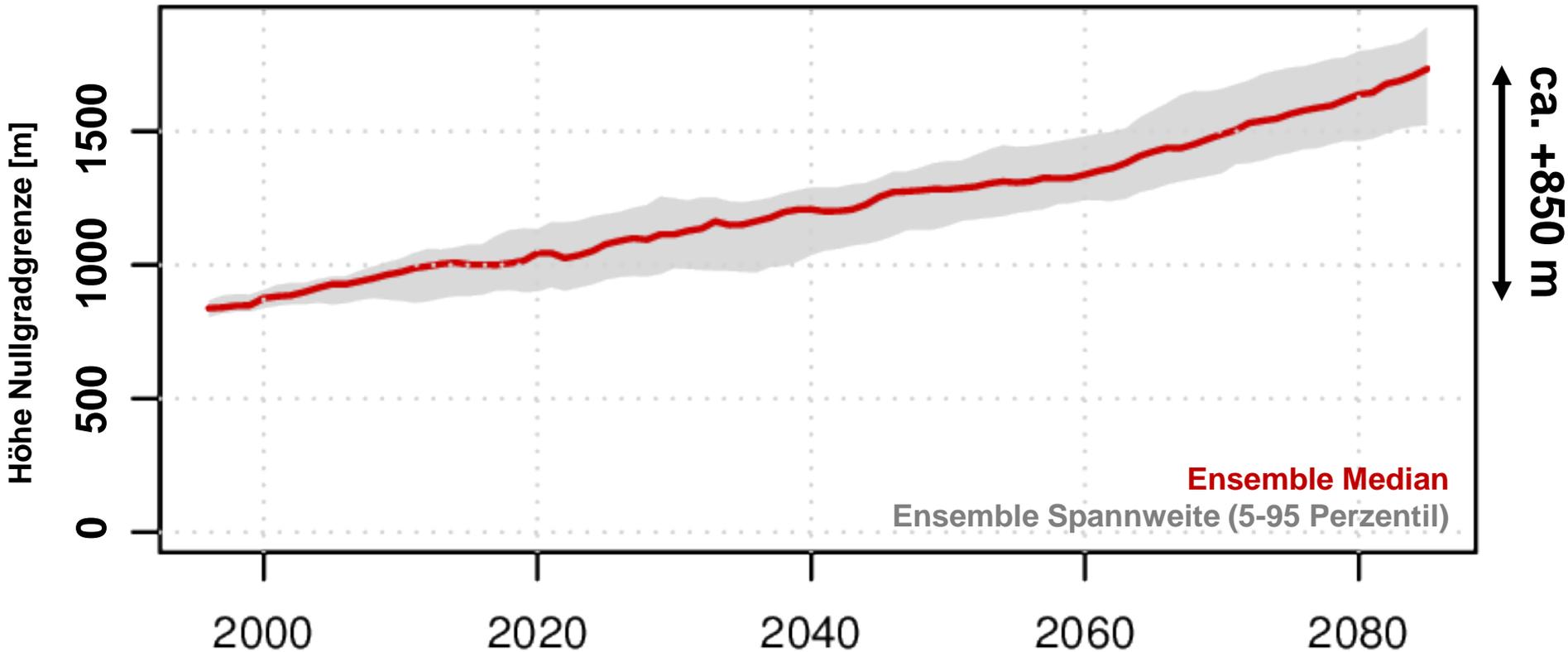
Gipfelregionen:

Analoge finden sich oft im Alpenraum selbst, jedoch in tieferen Lagen



Verschiebung Nullgradgrenze

Mittlere winterliche Nullgradgrenze, RCP8.5





Übersicht

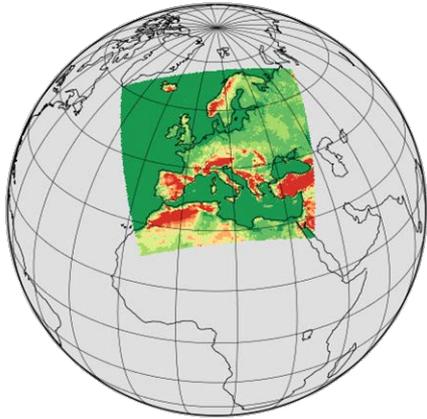


Zusammenfassung & Ausblick

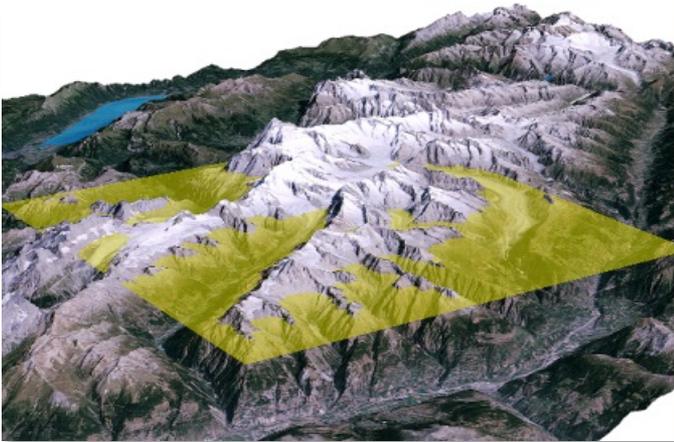
Klimaimpacts auf lokaler Skala
Nachbearbeitung

Klimaprojektionen Alpenraum
Ausgewählte Ergebnisse

Regionale Klimaprojektionen
Grundlagen



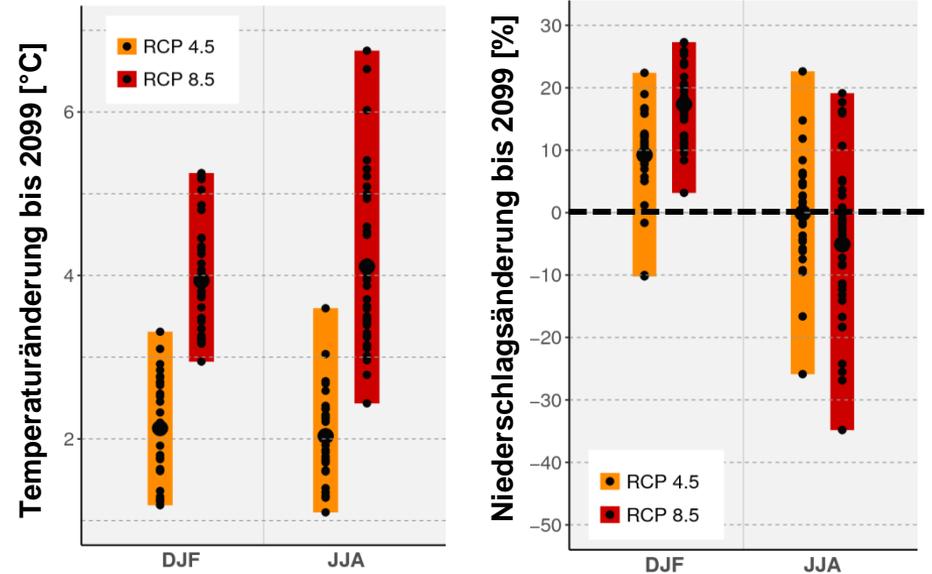
Regionale Klimamodelle als Werkzeuge zu Klima- und Klimafolgenforschung im Alpenraum



Nachbearbeitung (Downscaling, Fehlerkorrektur)

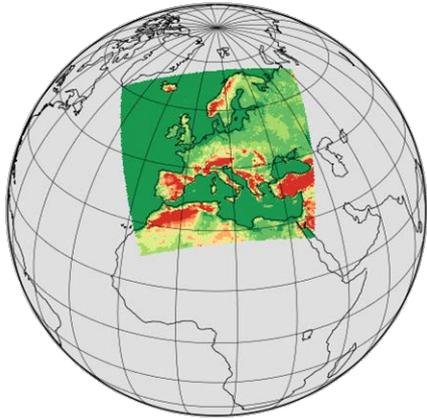
Modellensemble quantifizieren Projektionsunsicherheiten

Alpen Nord-Ost



Klima der (Vor-)Alpen wandert südwärts
Gipfellagen «nach unten»

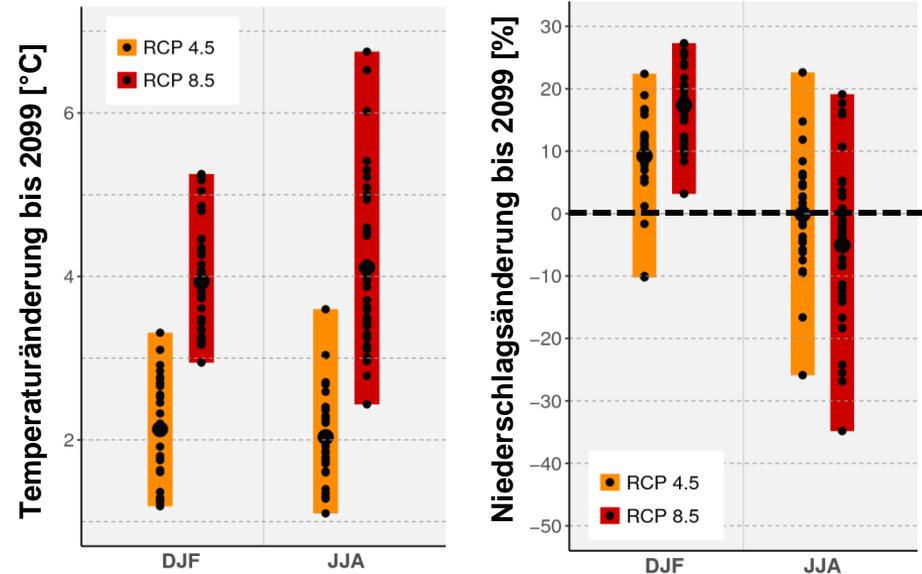




Regionale
Klimamodelle
als Werkzeuge zu
Klima- und
Klimafolgenforschung
im Alpenraum

Modellensemble quantifizieren Projektionsunsicherheiten

Alpen Nord-Ost



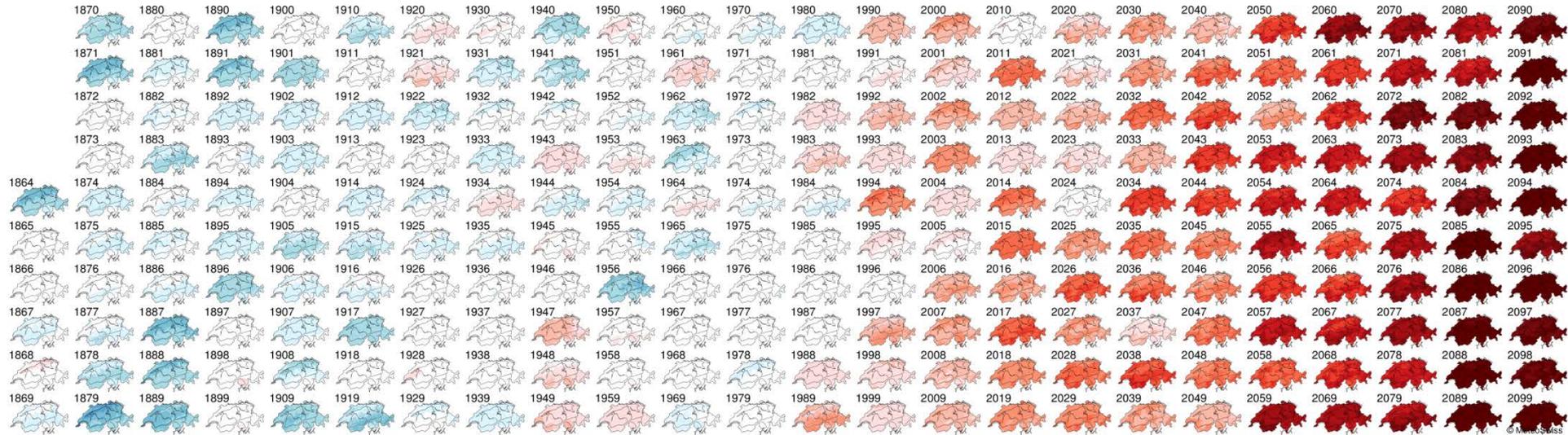
Ausblick

- Konvektionsauflösende Szenarien auf der km-Skala
- Statistische Nachbearbeitung, inklusive Ensemblereduktion
- Nutzerschnittstellen
- Koordinierte Szenarien für den Alpenraum (DACH etc.)
- ...



1864

2099



Vielen Dank!

sven.kotlarski@meteoswiss.ch