



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Ensembles unter der Lupe

Dr. Barbara Früh

Deutscher Wetterdienst

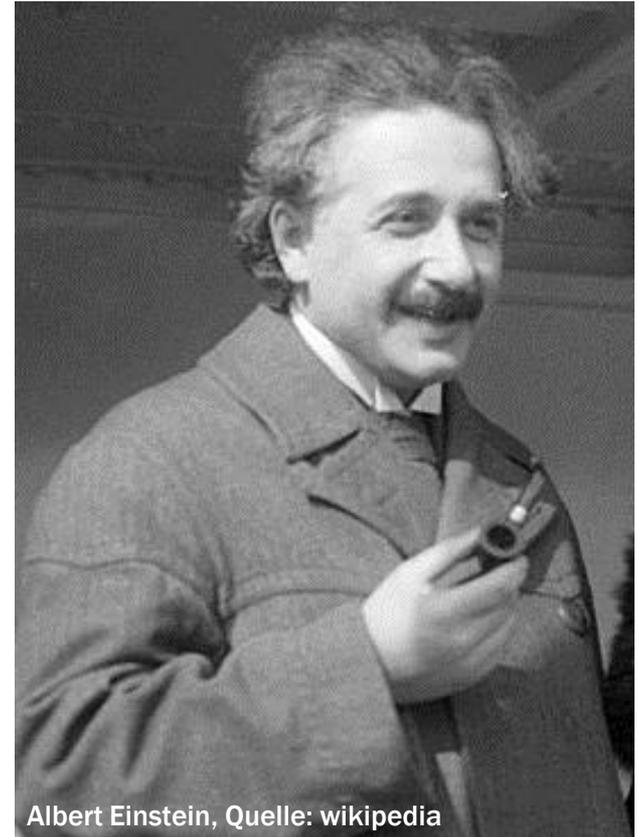
Abschluss-Veranstaltung des Verbundprojekts ReKliEs-De
Wiesbaden - 07. Dezember 2017



Motivation

„Mehr als die **Vergangenheit**
interessiert mich die **Zukunft**,
denn in ihr gedenke ich zu leben.“

(Albert Einstein)



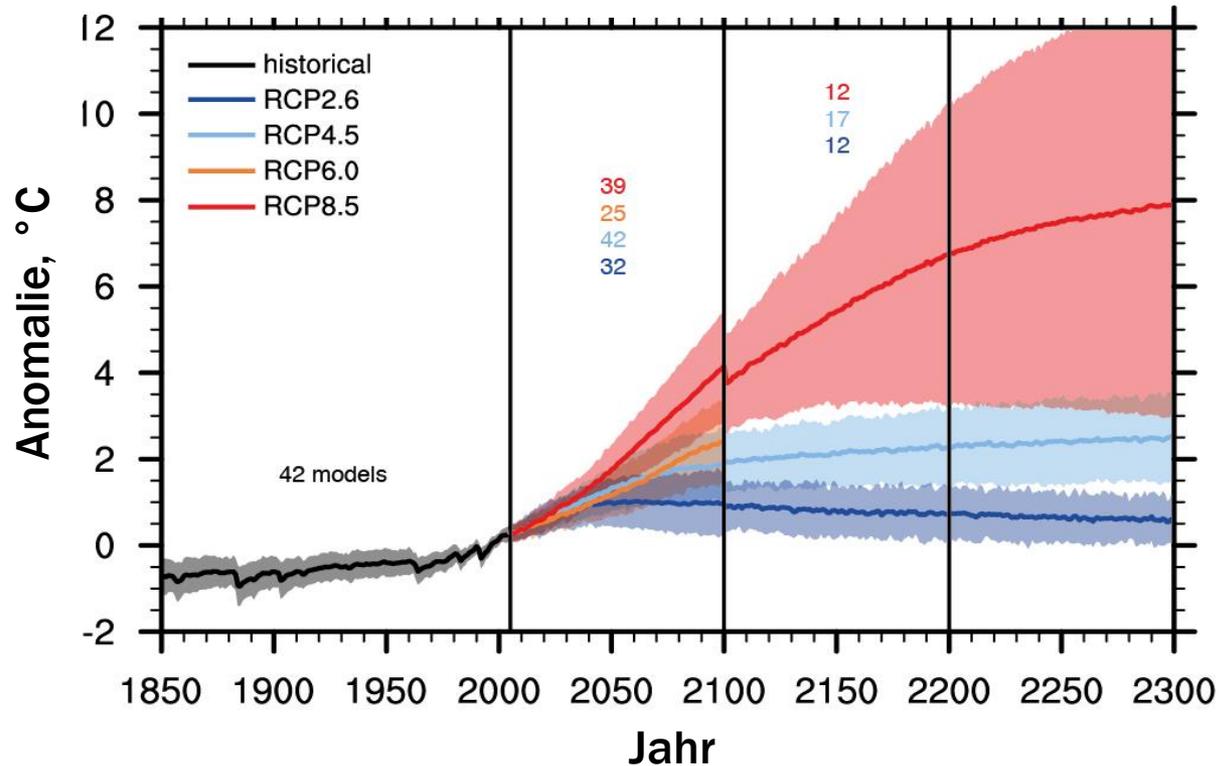
Albert Einstein, Quelle: wikipedia



Motivation

Aussagen über **zum erwartenden Klimatrend** → Klimamodell

Globale Erdoberflächentemperatur



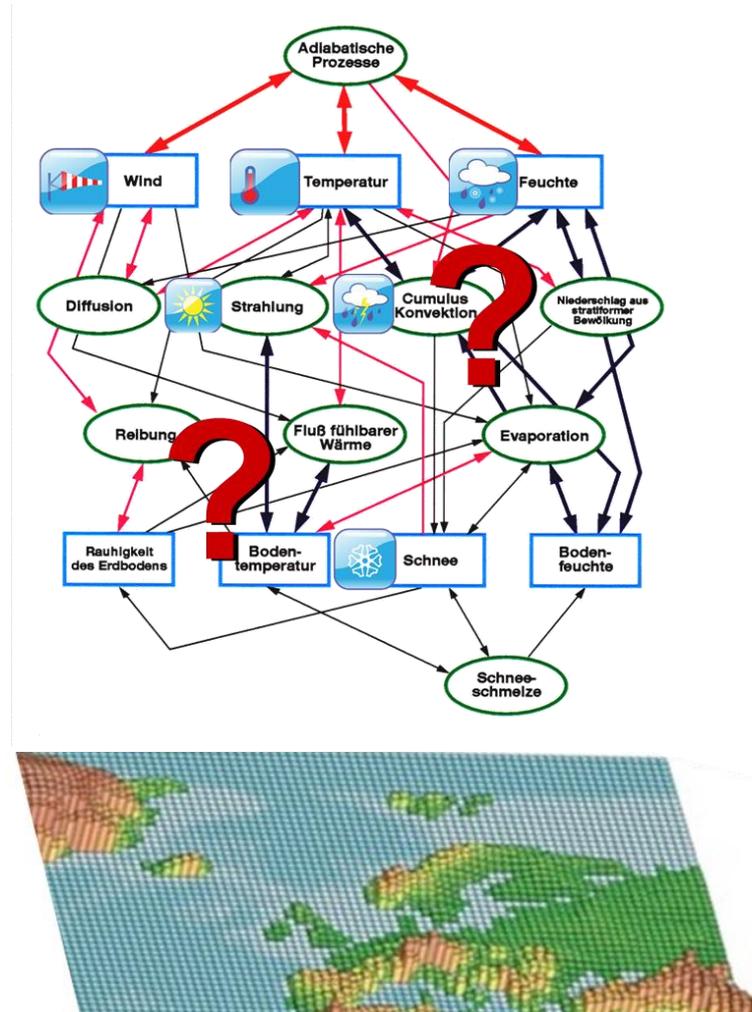
IPCC AR5, WG I, Abb. 12.5; Collins et al., 2013: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter12_FINAL.pdf

Klimamodelle sind nicht perfekt

„nur“ ein MODELL der Realität

- Vereinfachung der physikalischen Prozesse, Berechnung auf Gitter
- Grobmaschiges Beobachtungsnetz
- chaotisches Verhalten des Klimasystems
- mangelnde Kenntnis des Klimasystems
- zukünftige Entwicklung der THG-Emissionen ungewiss
- ...

➔ **Unsicherheit in den Simulationsergebnissen**



Überblick - zentrale Fragen des Vortrag

1

Wozu Ensembles?

2

Welche Klimaprojektionen bilden das Ensemble?

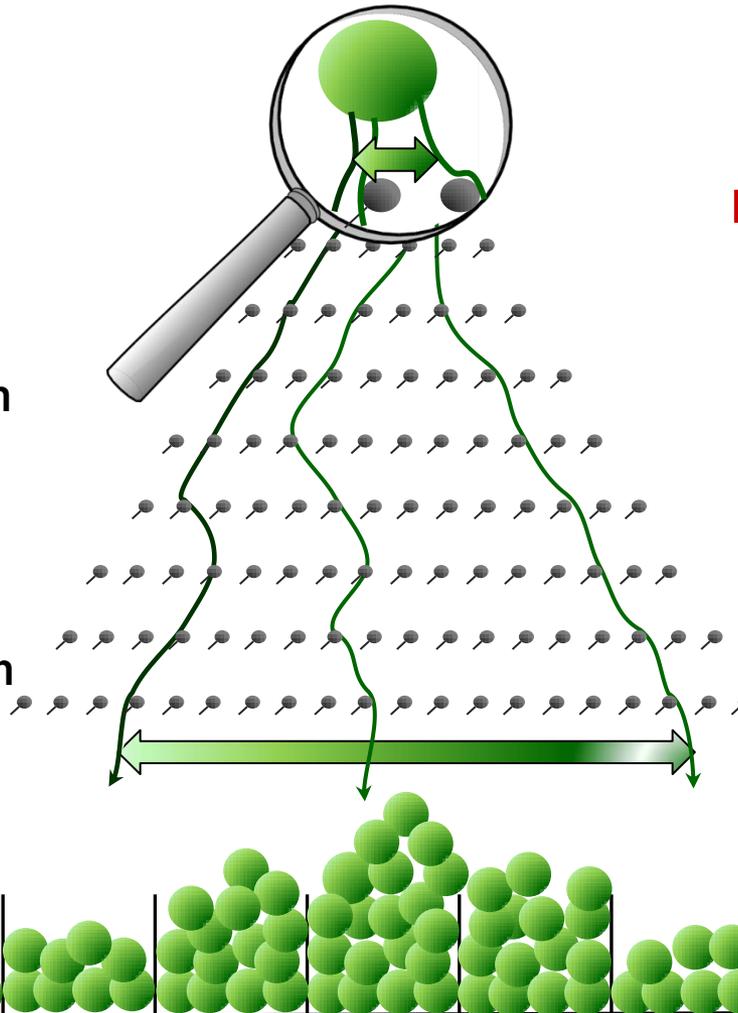
3

Ist Ensemble alles?

Wozu Ensembles?

Abschätzung der Unsicherheiten

- Grobmaschiges Beobachtungsnetz
- chaotisches Verhalten des Klimasystems
- kleine Änderung in Anfangsbedingungen
- große Änderungen im Resultat



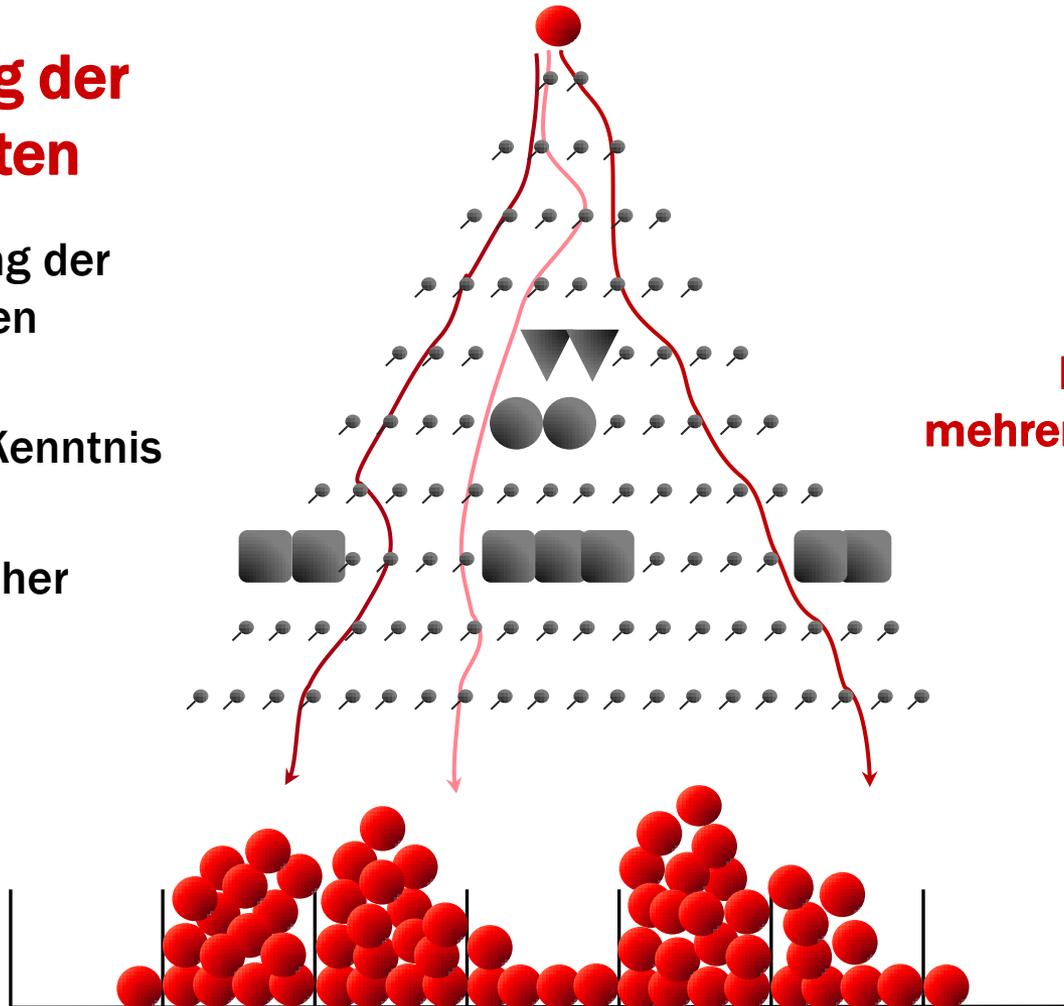
Ensemble durch Variation
des Anfangszustands

Häufiges Wiederholen
(Klima) erlaubt
statistische
Auswertung

Wozu Ensembles?

Abschätzung der Unsicherheiten

- Vereinfachung der physikalischen Prozesse
- mangelnde Kenntnis des Systems
- systematischer Einfluss



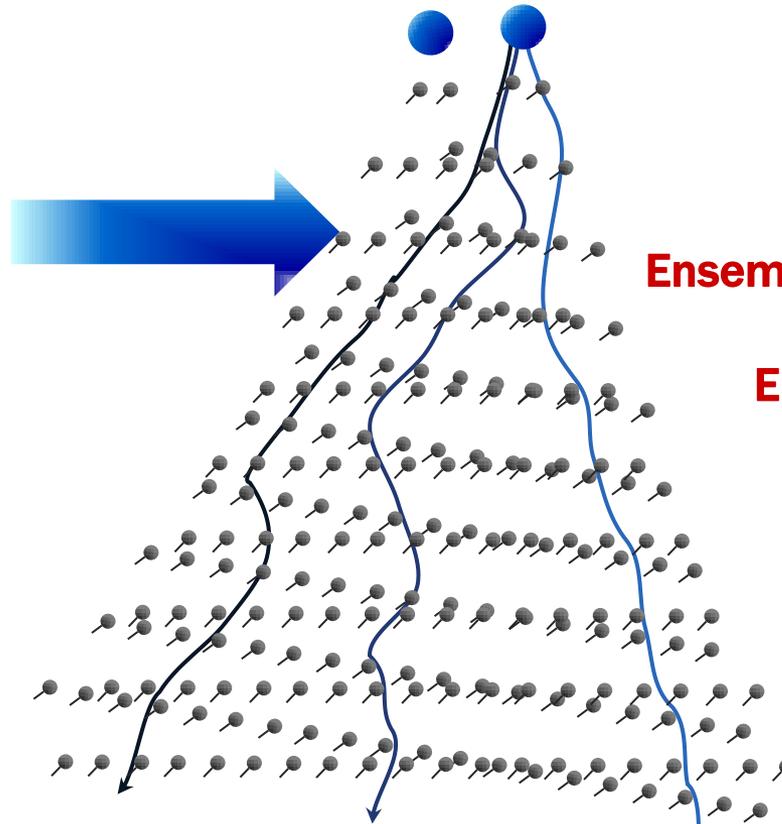
Ensemble durch Verwendung unterschiedlicher Modellphysik oder mehrerer Modelle (Multi-Modell Ensemble)

statistische Auswertung muss wohl überlegt sein
 → Bandbreite

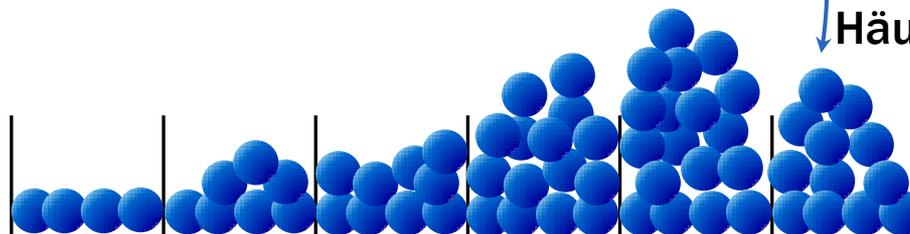
Wozu Ensembles?

Abschätzung der Unsicherheiten

- Zukünftige Entwicklung Treibhausgasemissionen nicht hinreichend bekannt



Ensemble durch Nutzung verschiedener Emissionsszenarien



Häufiges Wiederholen (Klima) erlaubt statistische Auswertung

Take-home messages - Wozu Ensembles?

Klimamodelle stellen ein Modell der Realität dar

1. Aleatorische Komponente:

- Grobmaschiges Beobachtungsnetz
- Komplexität, Nichtlinearitäten und Instabilitäten des Klimasystems
 - ➔ Ensemble durch Variation des Anfangszustand

2. Epistemische Komponente:

- Vereinfachung der physikalischen Prozesse
- Aktueller Forschungsstand zum Klimasystem
 - ➔ Ensemble durch Verwendung unterschiedlicher Konfigurationen eines Modells oder mehrerer verschiedener Modelle (Multi-Modell Ensemble)
- Zukünftige Entwicklung des THG-Emissionen
 - ➔ Ensemble durch Nutzung verschiedener Emissionsszenarien

Überblick - zentrale Fragen des Vortrag

1

Wozu Ensembles?

2

Welche Klimaprojektionen bilden das Ensemble?

3

Ist Ensemble alles?

Welche Klimaprojektionen bilden das Ensemble?

ReKliEs-De Ensemble

2071-2100 (RCP8.5) vs.
 1971-2000

mittlere Jahrestemperatur &
 mittlerer Jahresniederschlag

Flächenmittel Deutschland +
 benachbarte
 Flusseinzugsgebiete

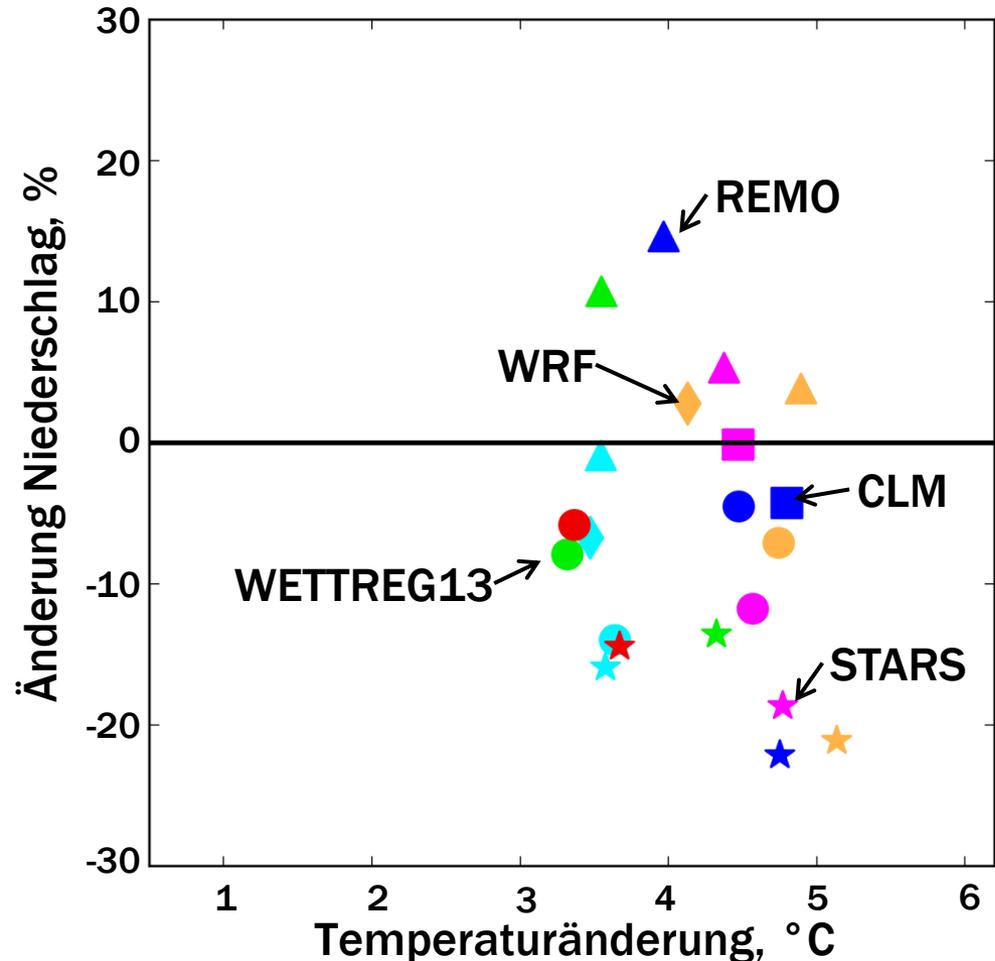
gefüllt = ReKliEs-De

dynam. +10

statist. +12

gleiche Farbe = gleiches GCM

gleiche Form = gleiches RCM



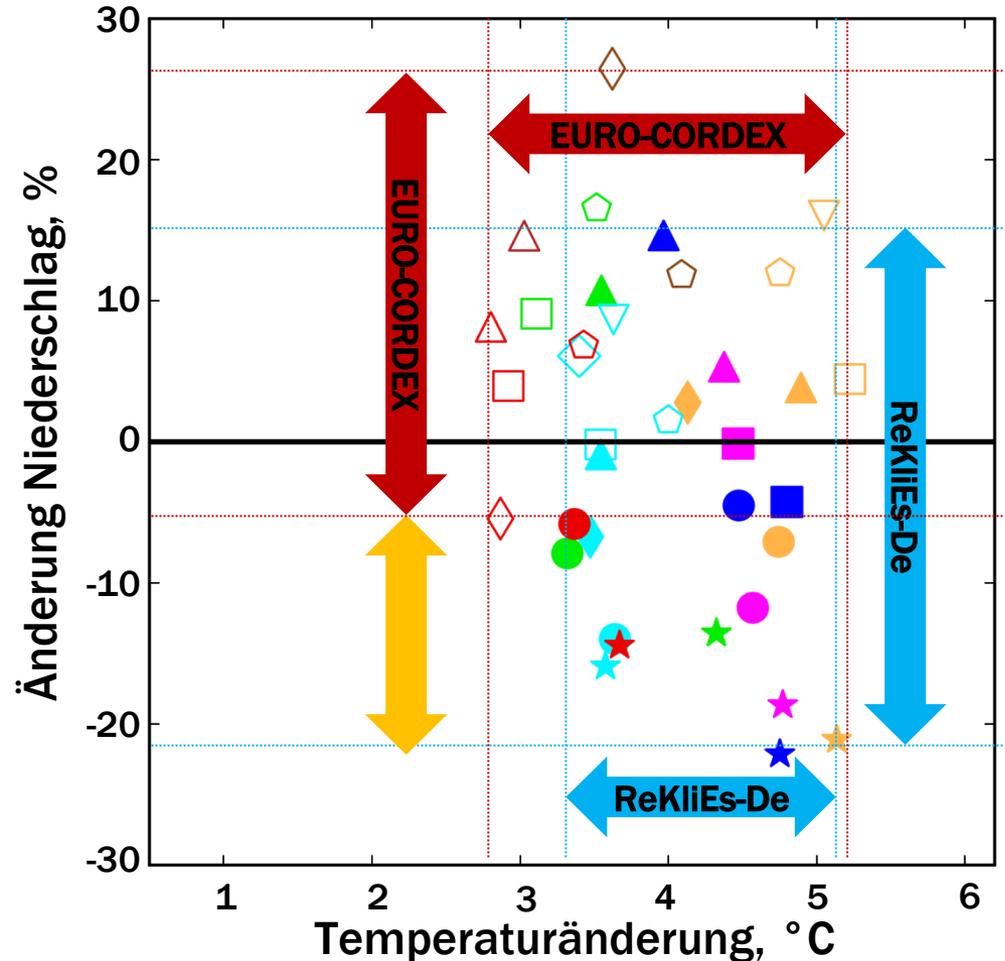
Erkenntnisgewinn durch ReKliEs-De

ReKliEs-De Ensemble
 + EURO-CORDEX

2071-2100 (RCP8.5) vs.
 1971-2000

Flächenmittel Deutschland +
 benachbarte
 Flusseinzugsgebiete

gefüllt = ReKliEs-De		
dynam. +10	statist. +12	
ungefüllt = CORDEX		
dynam. 22	statist. 0	
gleiche Farbe = gleiches GCM		
gleiche Form = gleiches RCM		



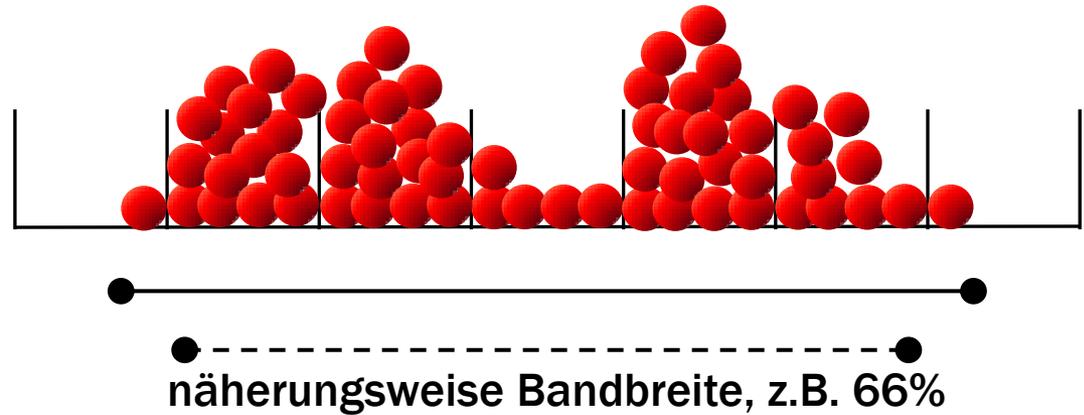
Take-home messages – Erkenntnisgewinn durch ReKliEs-De

- **Bandbreite Änderungssignal mittlere Jahrestemperatur ...**
 - ... für Weiter-wie-bisher Szenario (RCP8.5)
 - 2071 – 2100 Bandbreite des vorhandenen Ergebnisses bestätigt
 - 2021 – 2050 Bandbreite von $0,7^{\circ}\text{C}$ - $2,2^{\circ}\text{C}$ auf $0,7^{\circ}\text{C}$ - $2,5^{\circ}\text{C}$ vergrößert
- für andere Temperaturbezogene Änderungssignale (z.B. **heiße Tage**) wird die Bandbreite durch ReKliEs-De ebenfalls erweitert
- **Bandbreite Änderungssignal mittlerer Jahresniederschlag ...**
 - ... für Weiter-wie-bisher Szenario (RCP8.5)
 - Bandbreite wird von -5% – $+27\%$ auf -22% – $+27\%$ erweitert
 - im Wesentlichen durch statische Methoden, aber auch dynamische RCMs
- Andere Niederschlagsbezogene Änderungssignale (z.B. Starkregenereignisse) werden in ähnlicher Weise erweitert

Ist das Ensemble robust?

→ Ensemble robust, wenn
Bandbreite robust

→ Bandbreite robust, wenn
mit weniger Ensemble-
Mitgliedern Bandbreite
näherungsweise erhalten
bleibt



Take-home messages – Robustheit

- mittlere Jahrestemperatur ist bereits bei kleinem zufällig gewählten Teil-Ensemble (9 Mitglieder) robust
 - Mittlerer Jahresniederschlag benötigt bereits fast das gesamte in ReKliEs-De ausgewertete Ensemble (32 Mitglieder)
 - Für seltene Ereignisse oder solche mit großer Variabilität vergrößert sich die Bandbreite des Ensembles mit zunehmender Anzahl Klimaprojektionen
- Abhängig von der Klimakennzahl ist das vorhandene Ensemble ausreichend groß oder bedarf zusätzlicher Klimaprojektionen
- Bei **vorhandenem Ensemble** lässt sich feststellen, ob ein zufälliges Teil-Ensemble gereicht hätten die Bandbreite zu erreichen

Lässt sich das Ensemble reduzieren?

Ziel: möglichst kleines Ensemble bei möglichst Beibehaltung der Bandbreite

- Auswahl möglichst **unähnlicher Klimaprojektionen** → wenig Informationsverlust
- **Ähnlichkeit über Korrelation** der Simulationsergebnisse definiert
- bei **Auswahl der Zielvariablen multivariate** Berücksichtigung wichtiger Parameter (Temperatur, Niederschlag, Feuchte, Strahlung...) mit regionaler und jahreszeitlicher Differenzierung

DWD Vorschlag zur Reduktion des Ensemble

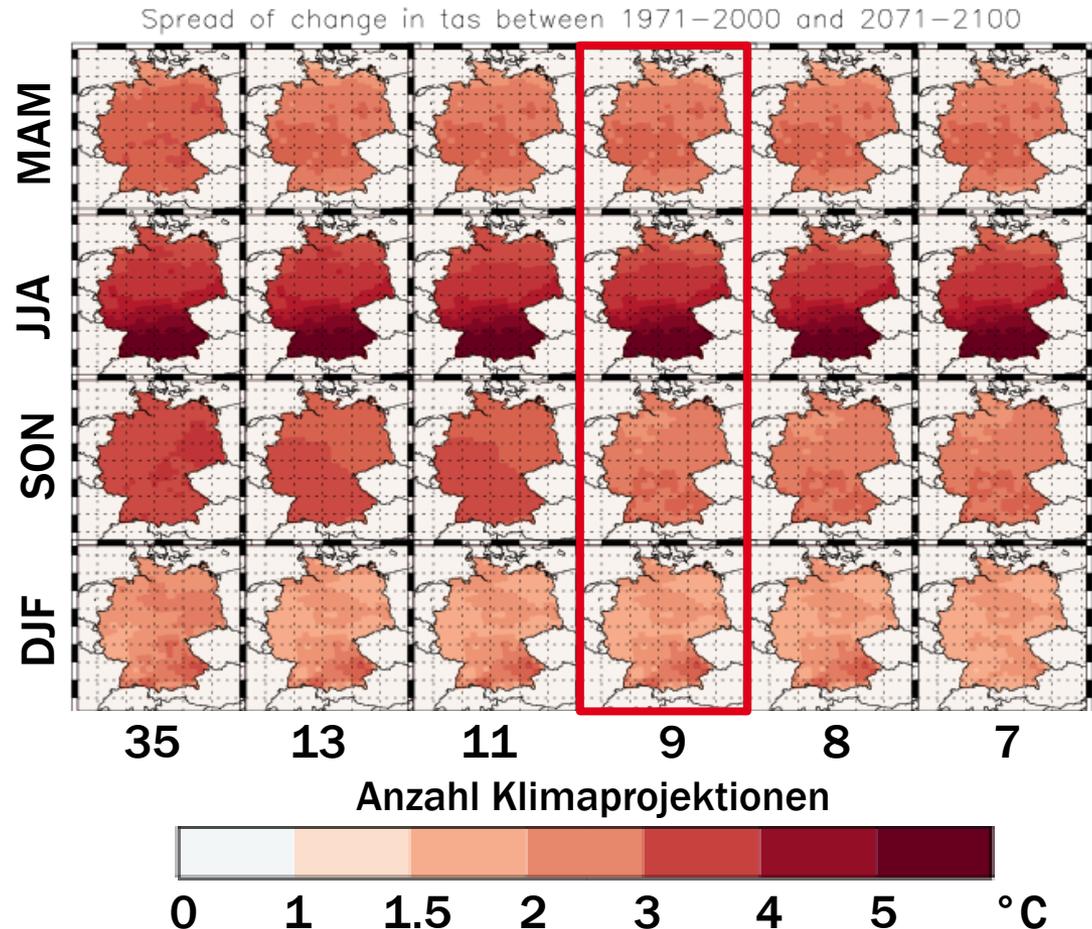
- ReKliEs-De + EURO-CORDEX Ensemble → 35 Projektionen
- Reduktion auf Kernensemble mit 9 Klimaprojektionen zeigt mehr als **93% der Bandbreite** des vollen Ensembles

Klimasignal	nahe Zukunft	ferne Zukunft
	9 CPs	9 CPs
Temperatur	80.2%	94.1%
Niederschlag	87.5%	93.5%
Starkniederschlag	83.3%	94.6%
Windgeschwindigkeit	85.1%	90.6%
gesamt	84.0%	93.2%

Verringerung der Bandbreite bei der Reduktion

Klimaänderungssignal 2071-2100 (RCP8.5) zu 1971-2000 Temperatur

- Bandbreite des Klimaänderungssignals der **Temperatur** für die ferne Zukunft
- Bandbreite sinkt mit zunehmender Anzahl ausgeschlossener Klimaprojektionen



Take-home messages – Lässt sich das Ensemble reduzieren?

- vorhandenes Ensemble auf Teil-Ensemble von 9 Mitgliedern reduzierbar bei Erhaltung von mehr als 93% der Bandbreite
 - Genaue Spezifikation der Konfiguration dieses DWD Vorschlags in Diskussion mit Nutzern
 - Erläuterung und Anwendung der Methode auf das EURO-CORDEX Ensemble Dalelane et al., 2017; Early online release
<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JAMC-D-17-0141.1>
- ➔ **Identifikation eines Teil-Ensembles, welches die Bandbreite des vollständigen Ensembles näherungsweise beschreibt**

Überblick - zentrale Fragen des Vortrag

1

Wozu Ensembles?

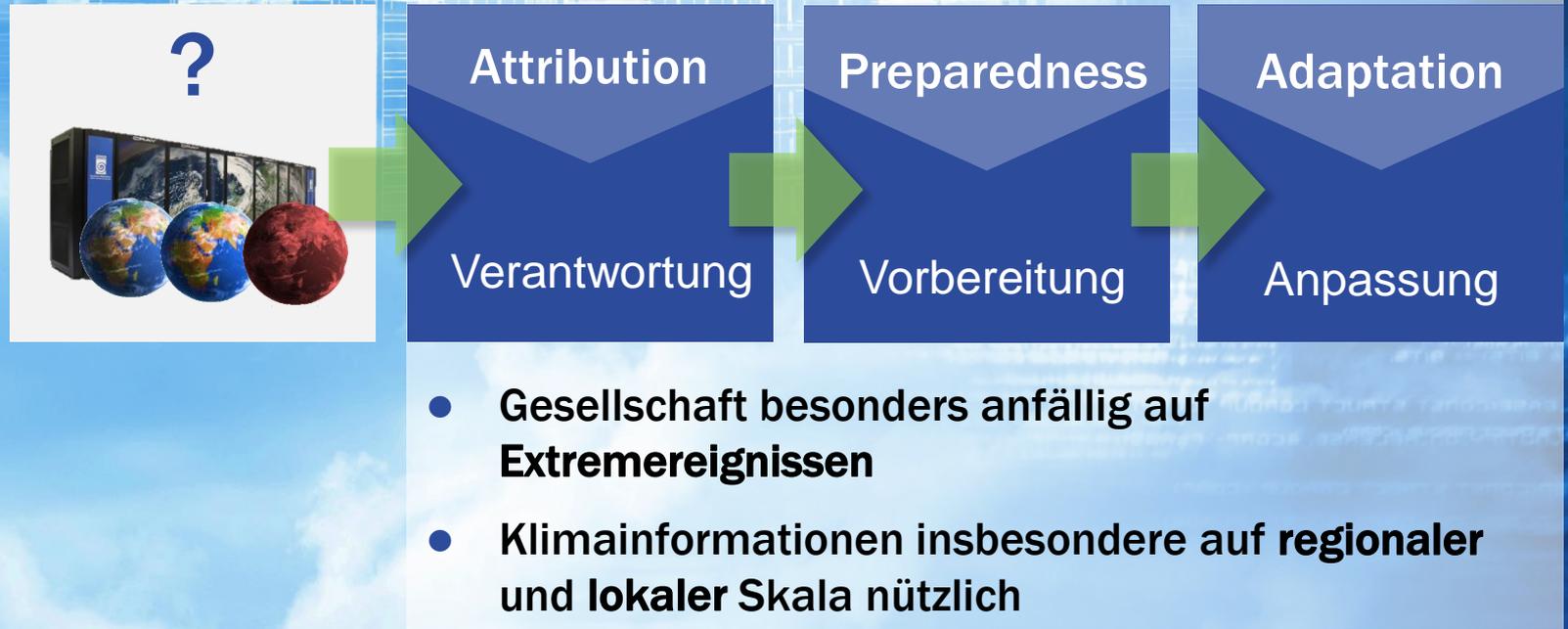
2

Welche Klimaprojektionen bilden das Ensemble?

3

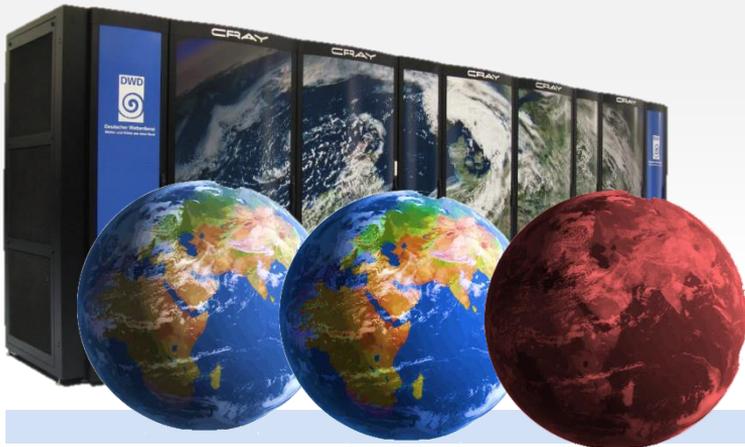
Ist Ensemble alles?

Ist Ensemble alles?



Konkurrierende Lösungsansätze in der Klimaforschung

... bei gegebener Verfügbarkeit von Rechnerressourcen



Abwägung

- ? größeres Ensemble?
- ? Komplexeres RCM
(mehr Komponenten online gekoppelt)?
- ? höhere Auflösung?

→ abhängig von der Fragestellung

***Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!!!***

FRAGEN?

***Kontakt:
Barbara.Frueh@dwd.de***

