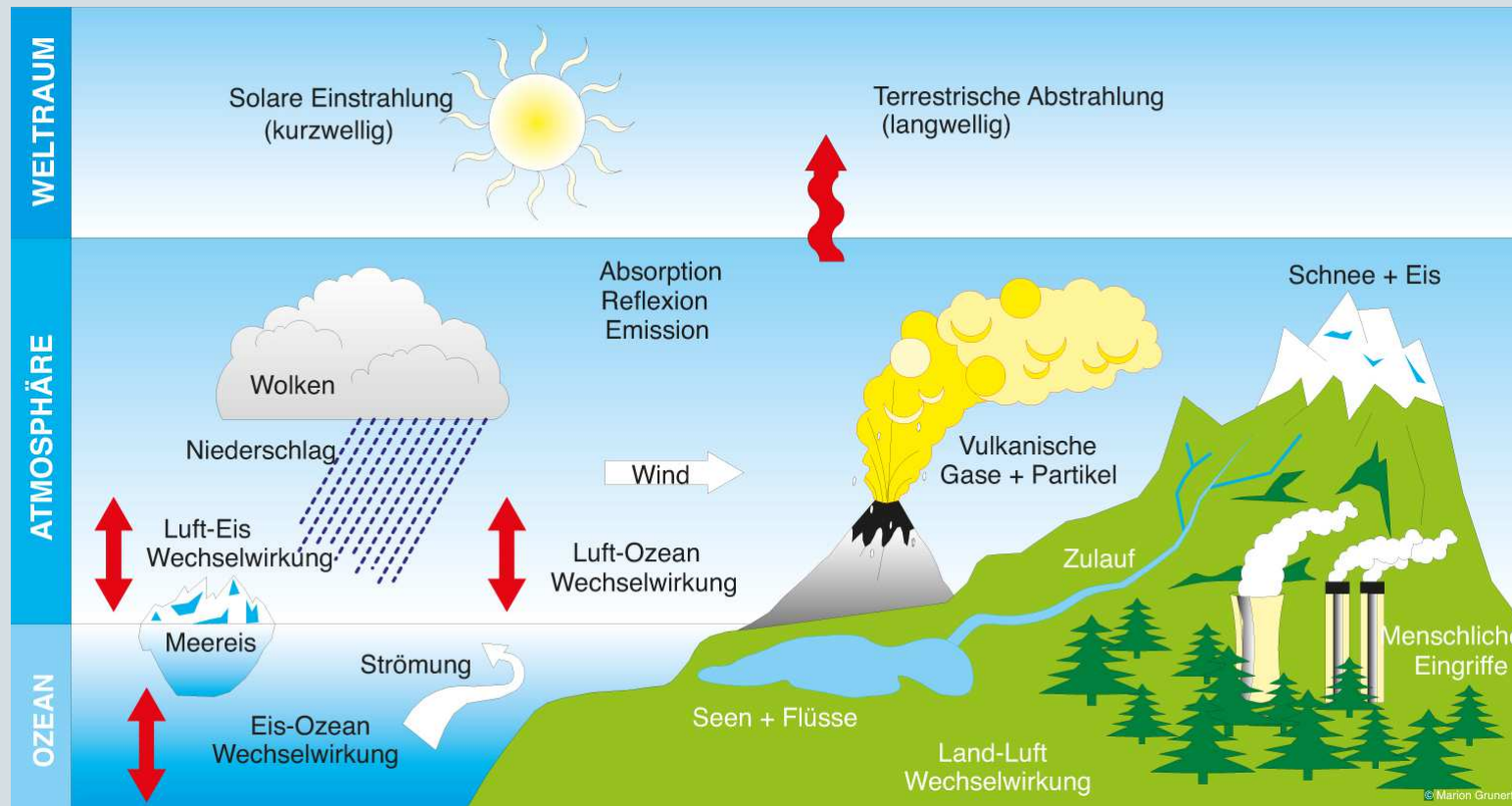




Globaler Klimawandel und extreme Wetterereignisse in Deutschland

Dr. Andreas Walter
Deutscher Wetterdienst

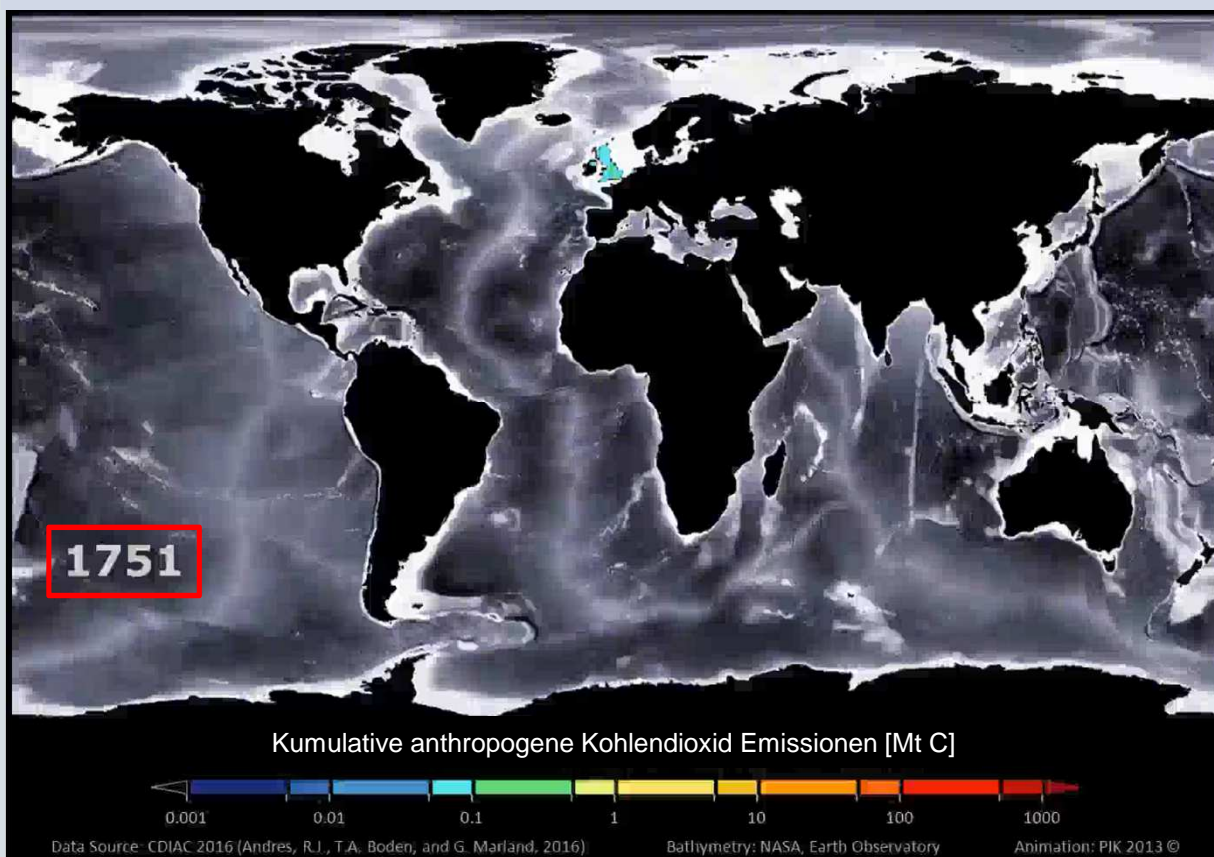
Das Klimasystem



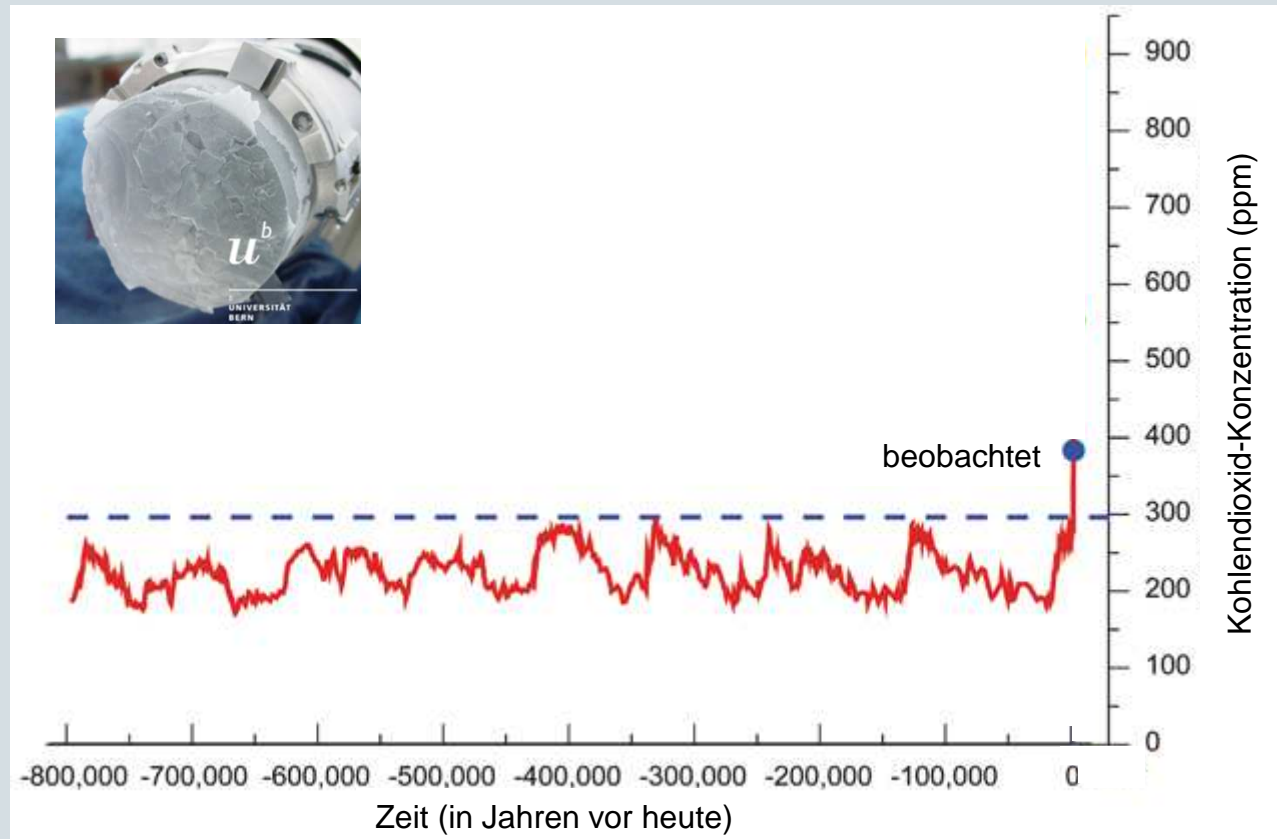
Quelle: Max Planck Institut für Meteorologie



→ globale CO₂ - Emissionen



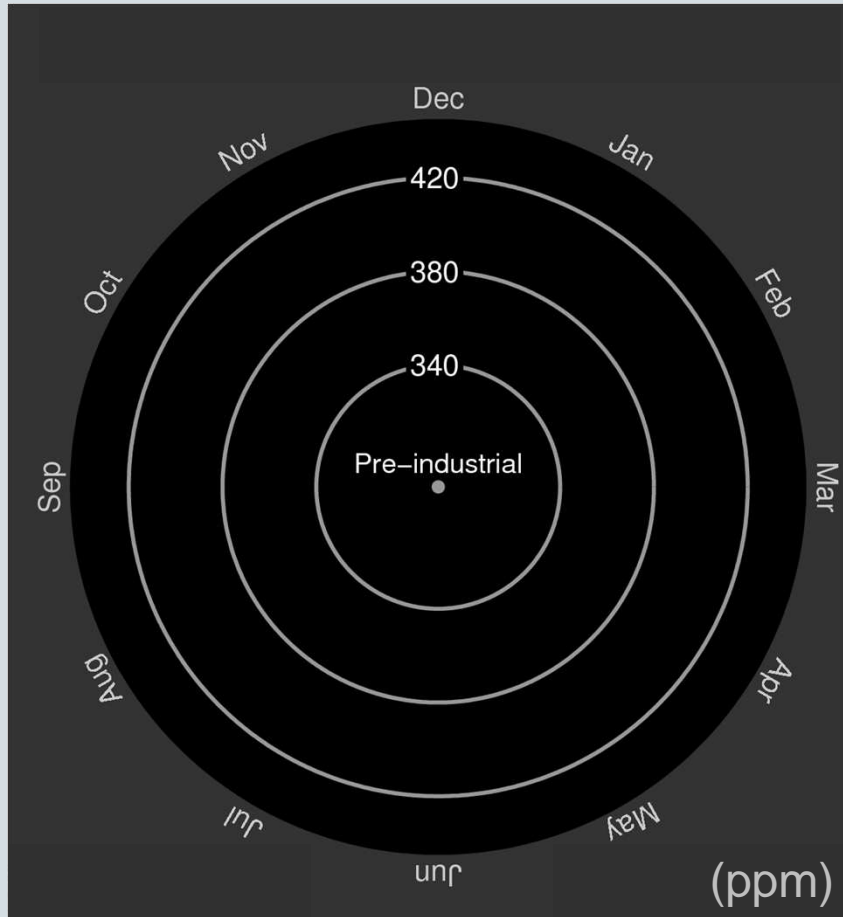
→ globale CO₂ - Emissionen



Quelle: Lüthi et al., Tans, IIASA



atmosphärische CO₂ - Konzentration

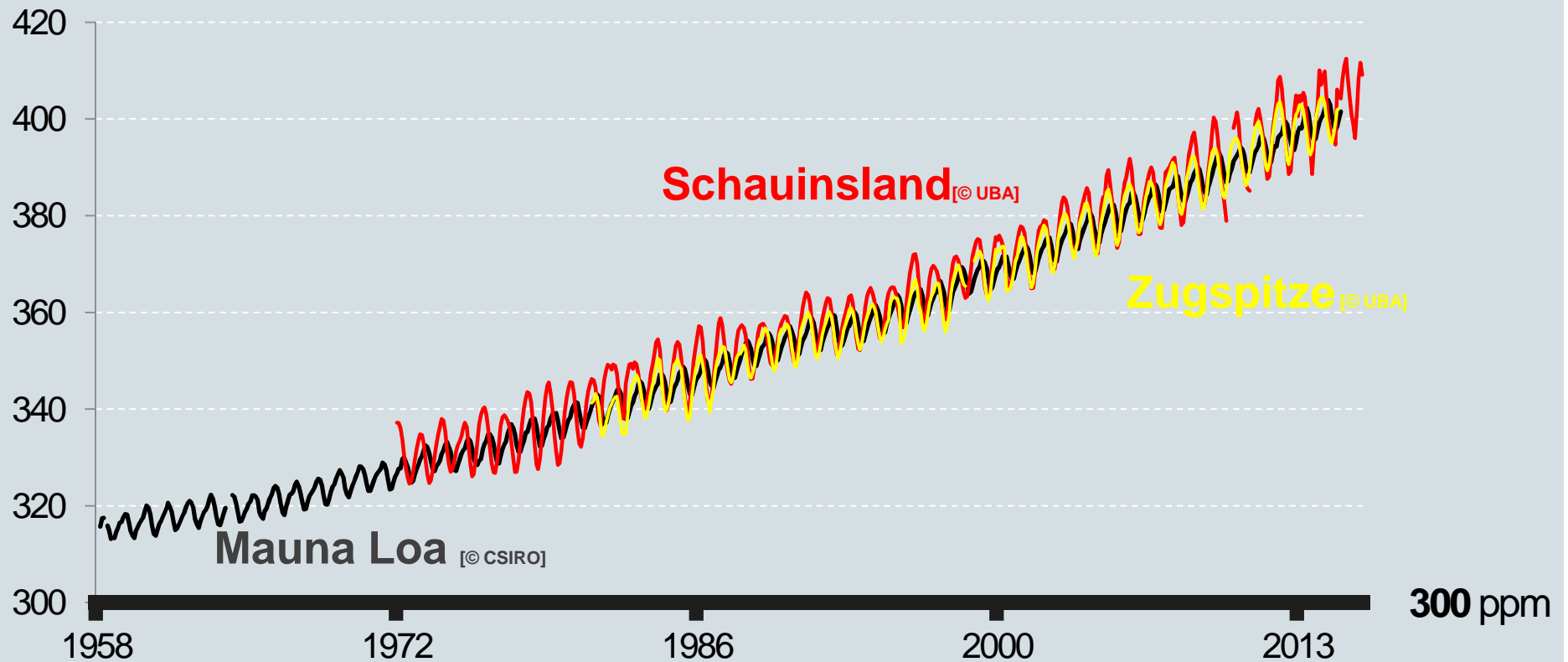


Quelle: Ed Hawkins

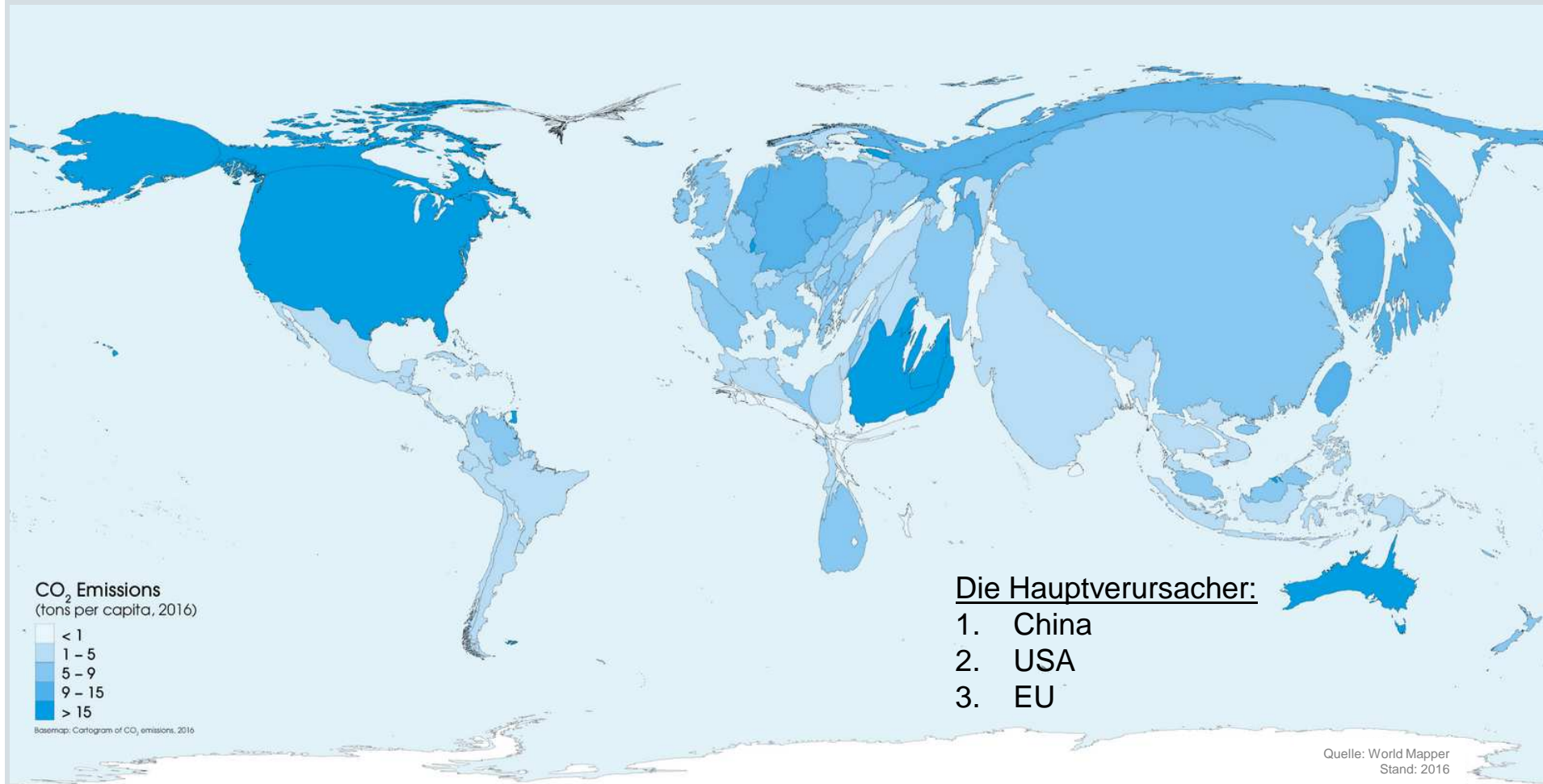


Entwicklung der atm. CO₂-Konzentration

CO₂-Messungen in ppm

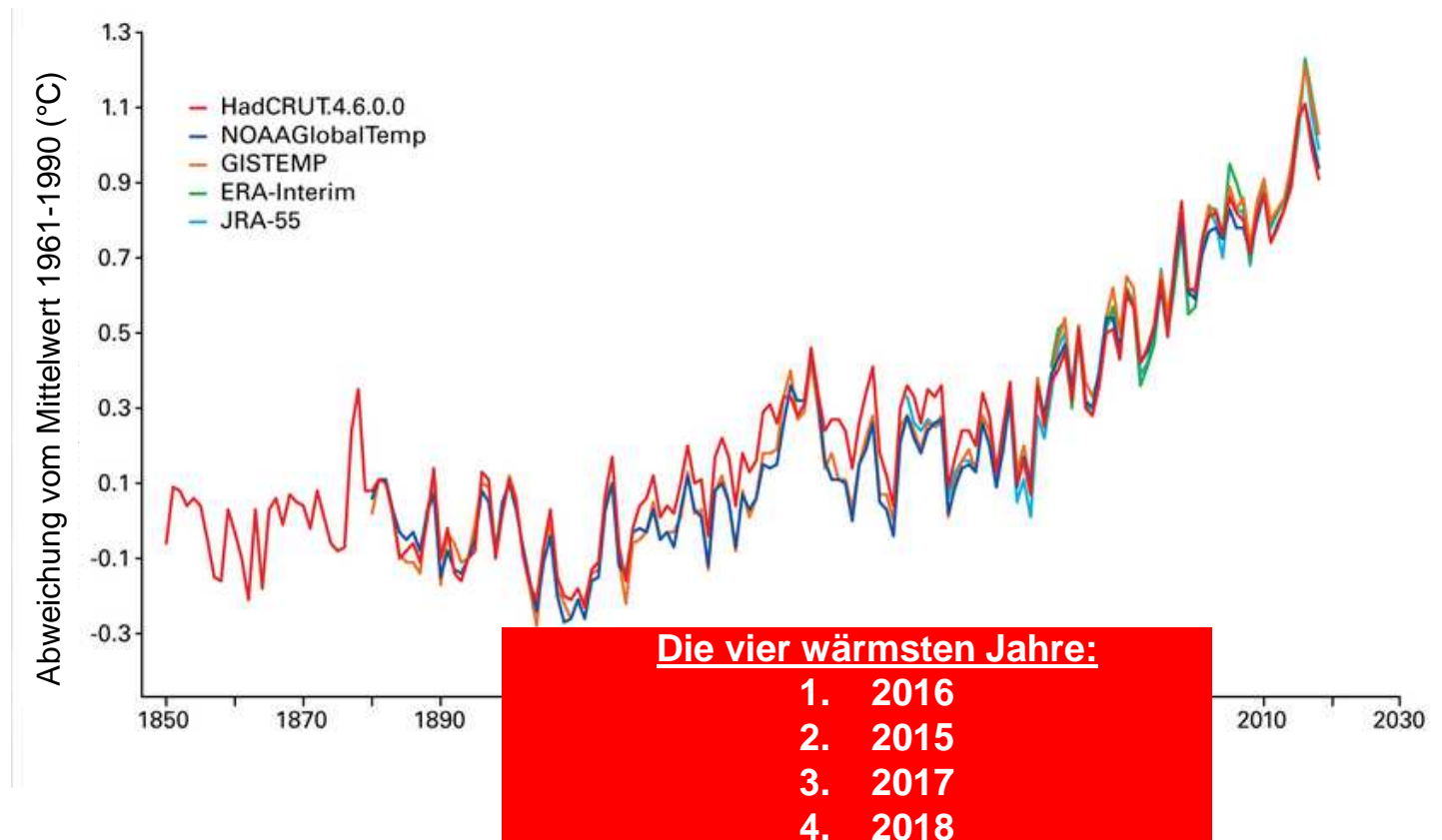


CO₂-Emissionen nach Ländern



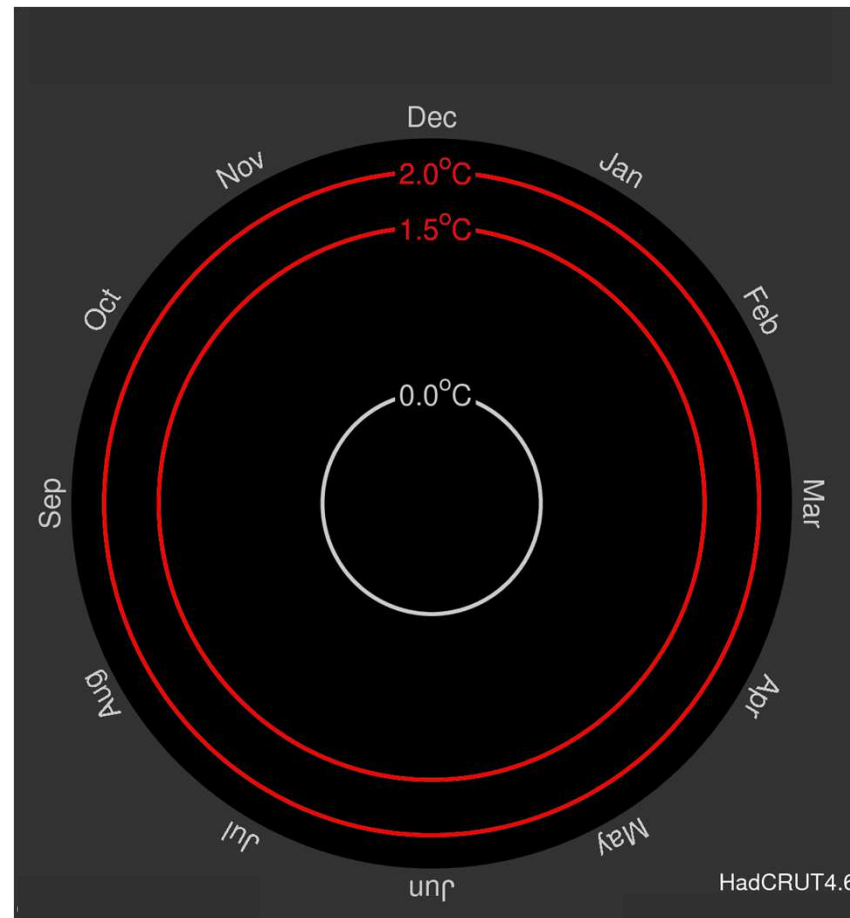
Abweichungen der globalen Jahresmitteltemperatur

1850 bis 2018 von der Klimareferenzperiode 1850 bis 1900



Abweichungen der globalen Jahresmitteltemperatur

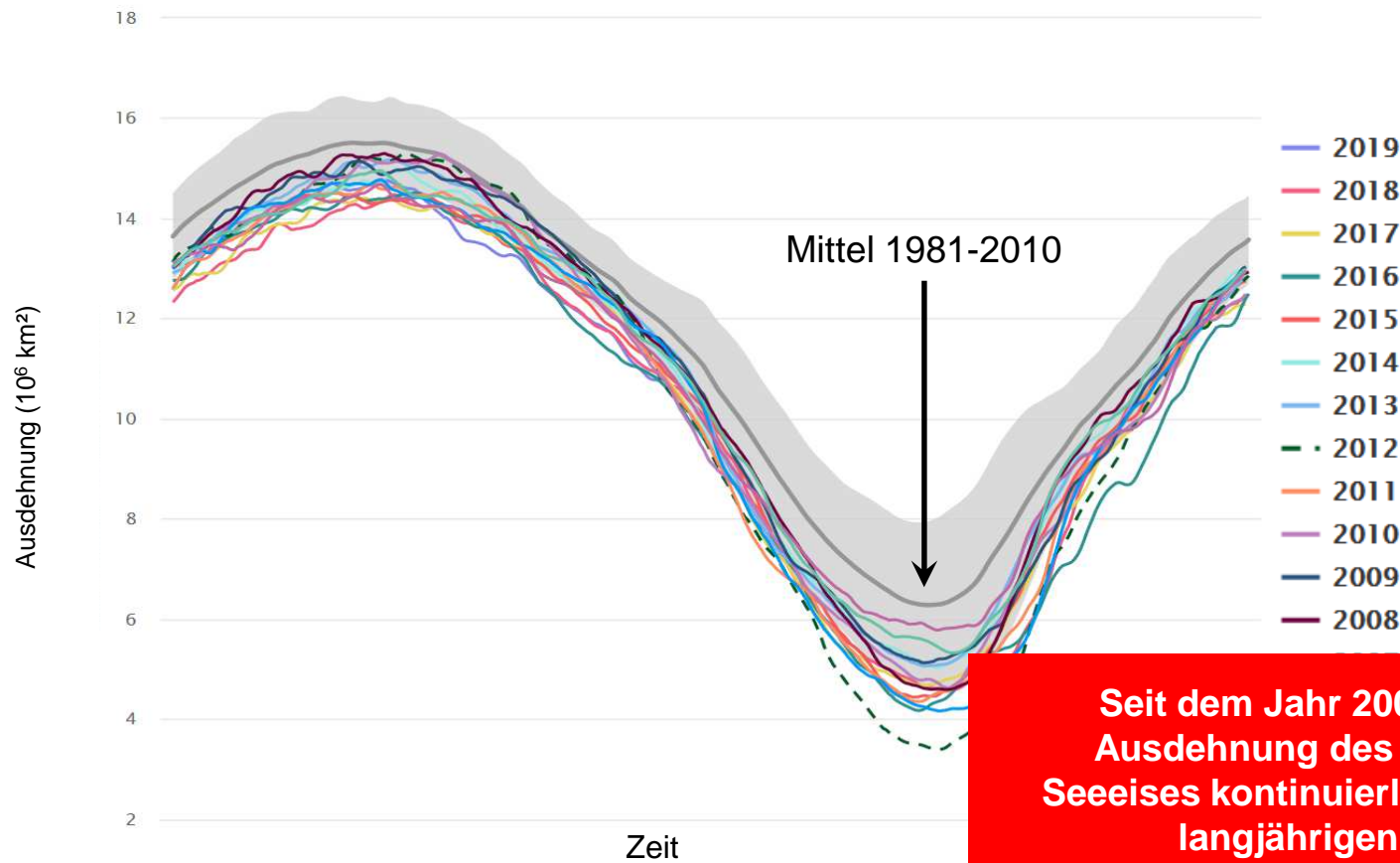
Baseline 1850 - 1900





Ausdehnung arktisches Seeeis

Im Vergleich zur Referenzperiode 1981 bis 2010



Seit dem Jahr 2002 liegt die Ausdehnung des arktischen Seeises kontinuierlich unter dem langjährigen Mittel



Veränderungen von Schlüsselvariablen des Klimasystems

Indikator	Zeit	Wert	Bemerkung
Globale Temperatur *	2018 (jährl. Mittelwert)	0.98 K \pm 0.12 K	2016, 2015, 2017, 2018 die vier wärmsten Jahre
Ozeanischer Wärmeinhalt **	2018 (jährl. Mittelwert)	+ 12.8 (700 m) + 18.2 (2000 m)	höchste gemessene Werte
CO ₂ (ppm, atm. Konzentration)	2018	405.5 \pm 0.1 ppm	höchste gemessene Konzentration
Meeresspiegelanstieg	seit 1993	+ 78 mm	höchster gemessener Wert
Ausdehnung arktisches Seeis	gegenüber 1981-2010	September: -27.7%	höchste gemessene Abnahme

Roger Revelle* in der New York Times im Jahr 1957

** Ozeanograph und Klimatologe (1909-1991)*

A large green circle containing a white double quote symbol (””).

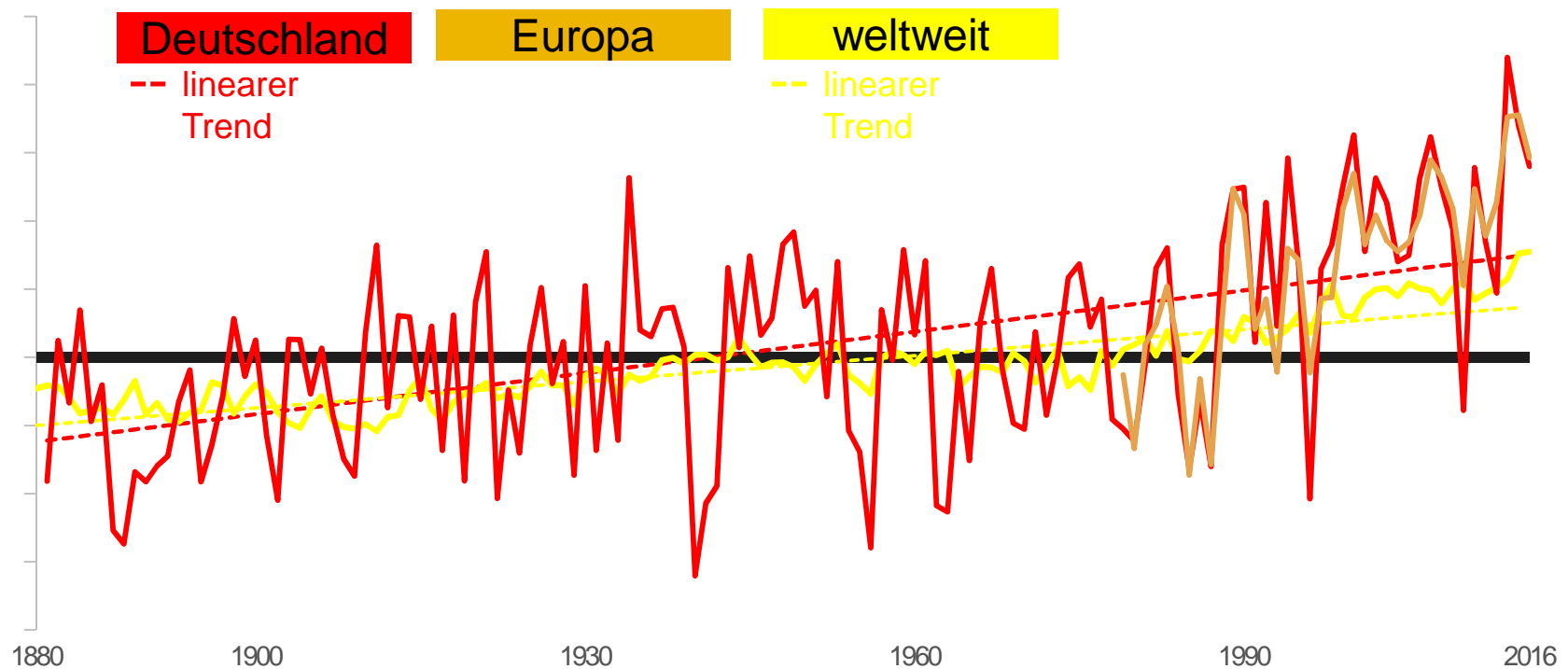
”

Die Menschen führen momentan ein großangelegtes geophysikalisches Experiment aus, das so weder in der Vergangenheit hätte passieren können noch in der Zukunft wiederholt werden kann.

Quelle: ucsdnews.ucsd.edu

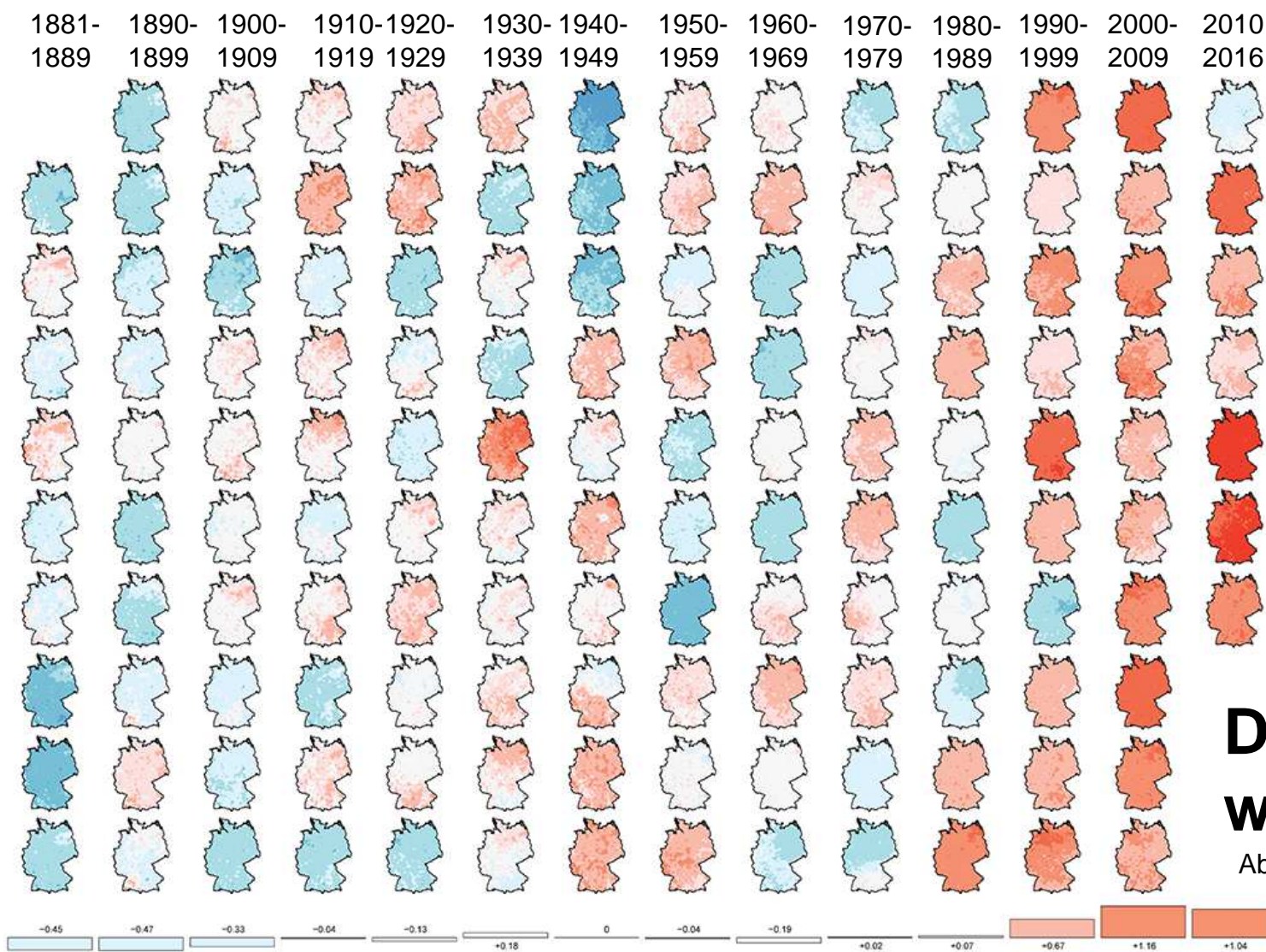
Erwärmung in Deutschland stärker als weltweit

Abweichung der Jahresmitteltemperatur seit 1881 gegenüber der Bezugsperiode 1961 – 1990 in °C



Klima

Deutschland



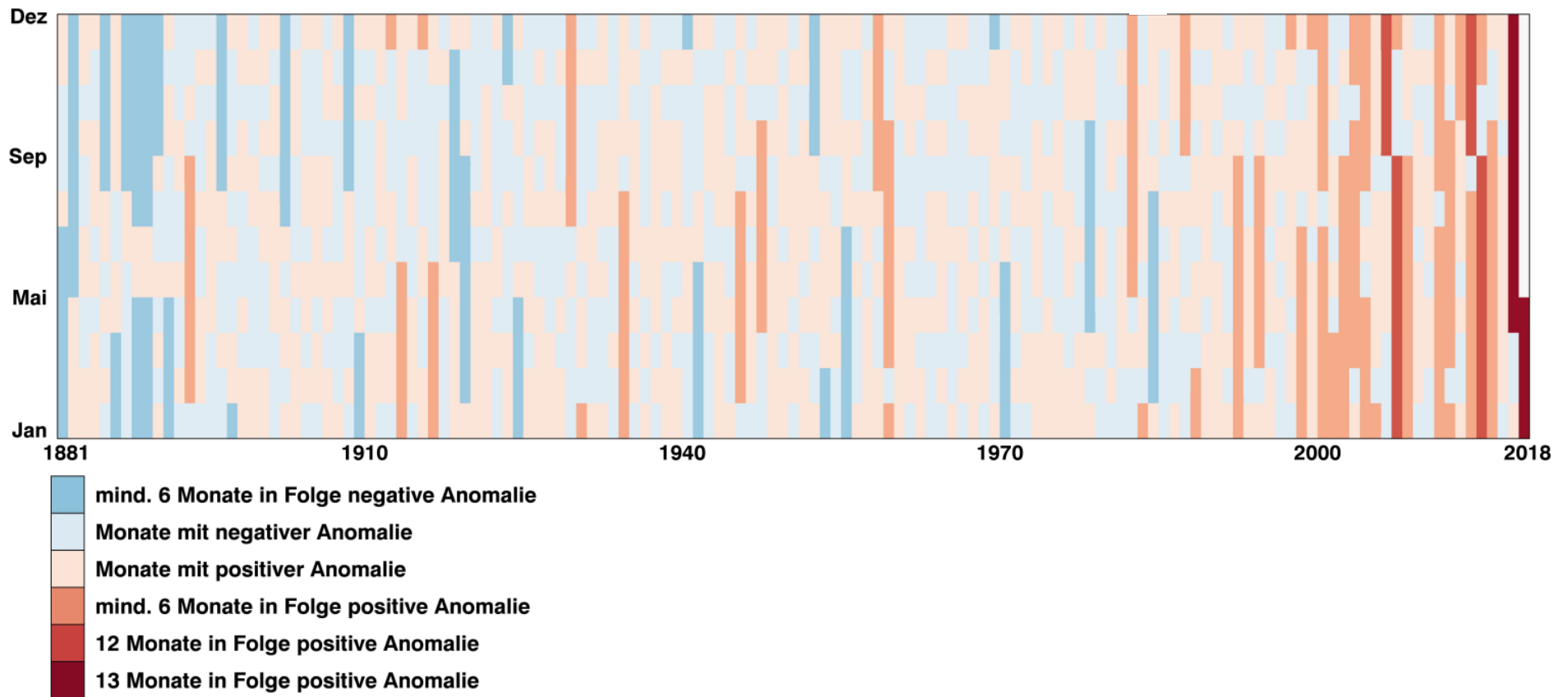
Deutschland wird wärmer

Abweichung zu 1961 - 1990



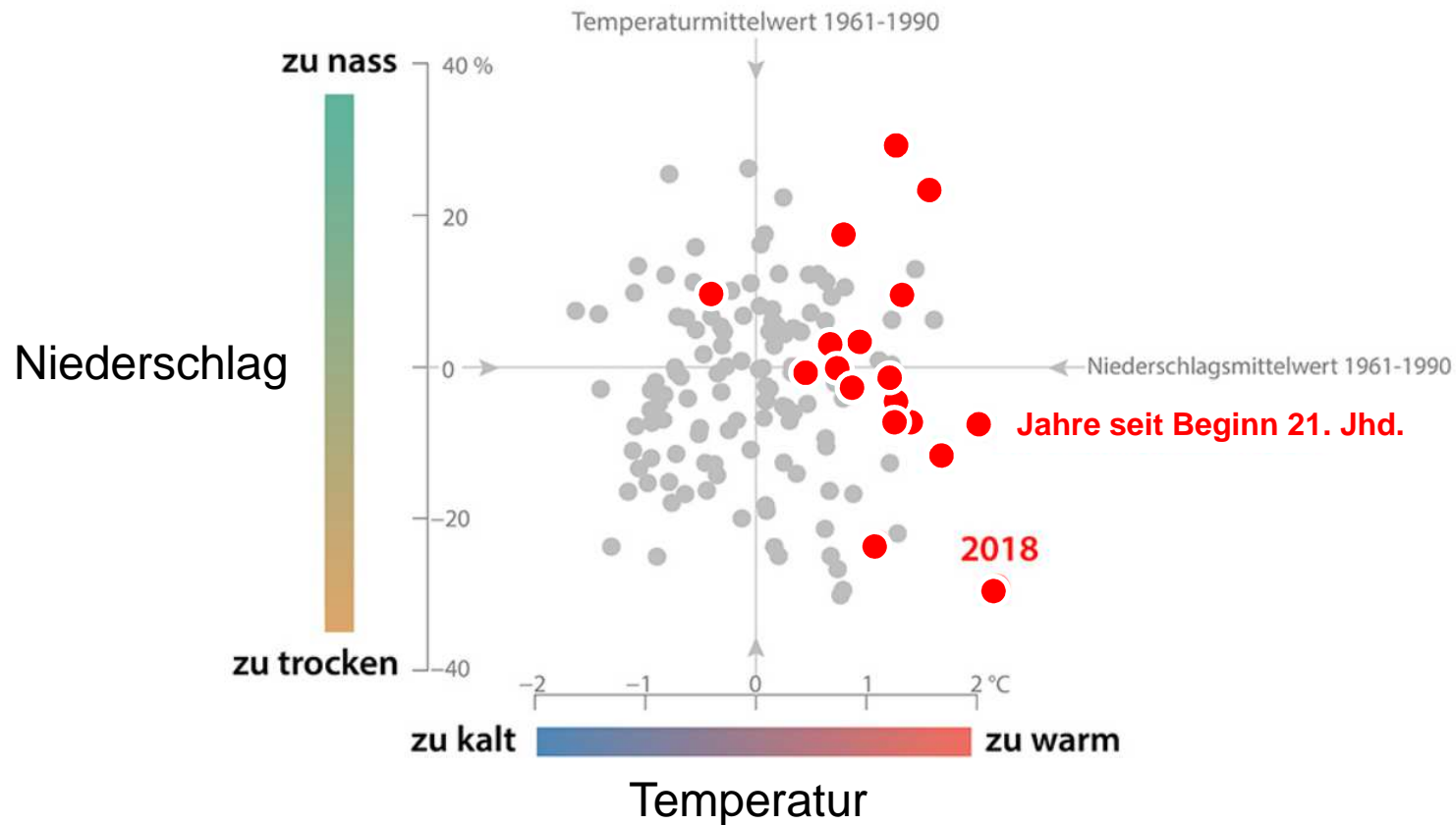
Deutschland im Klimawandel

Abweichung zu 1961 - 1990



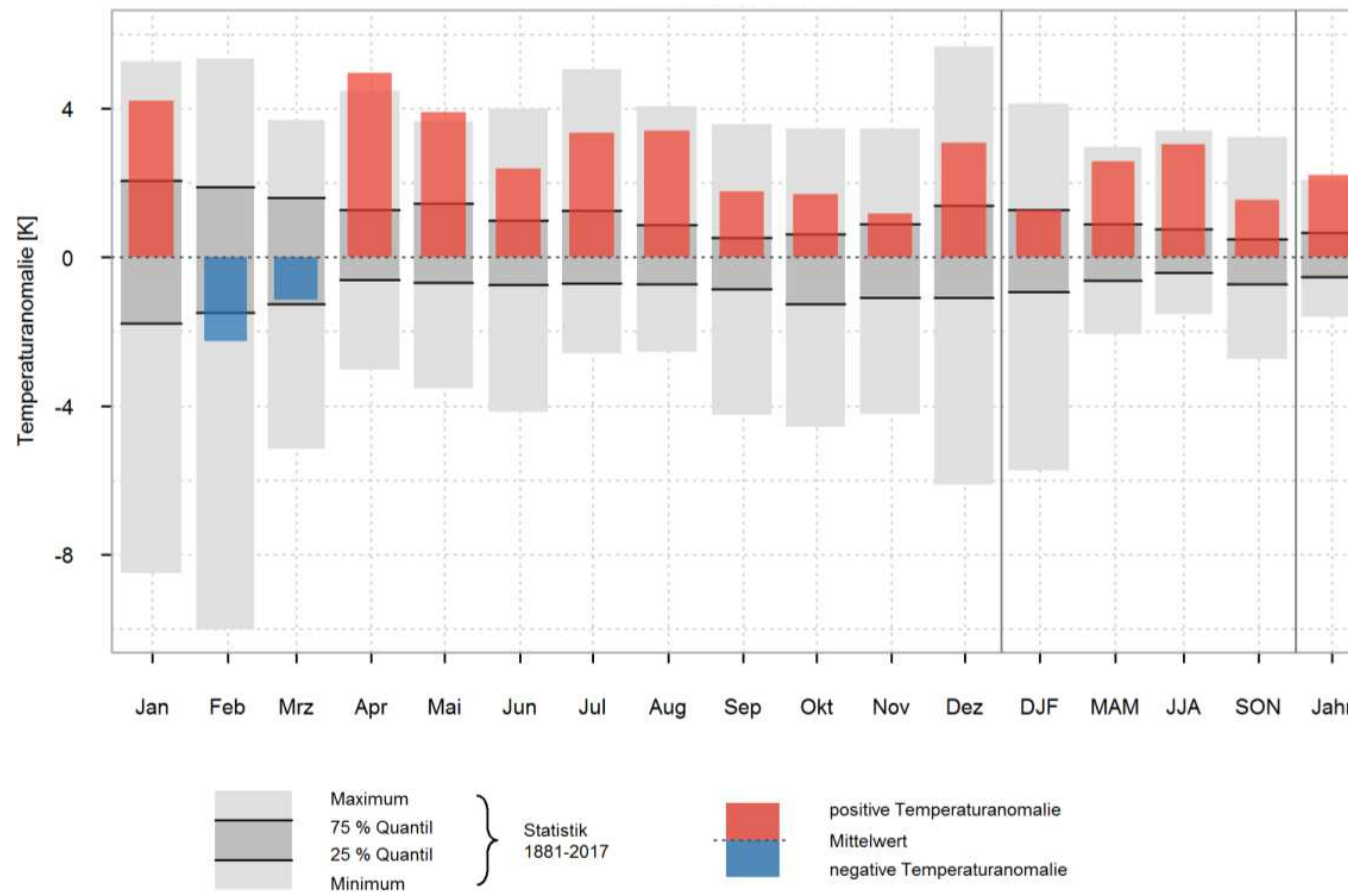
Deutschland im Klimawandel

Abweichung zu 1961 - 1990



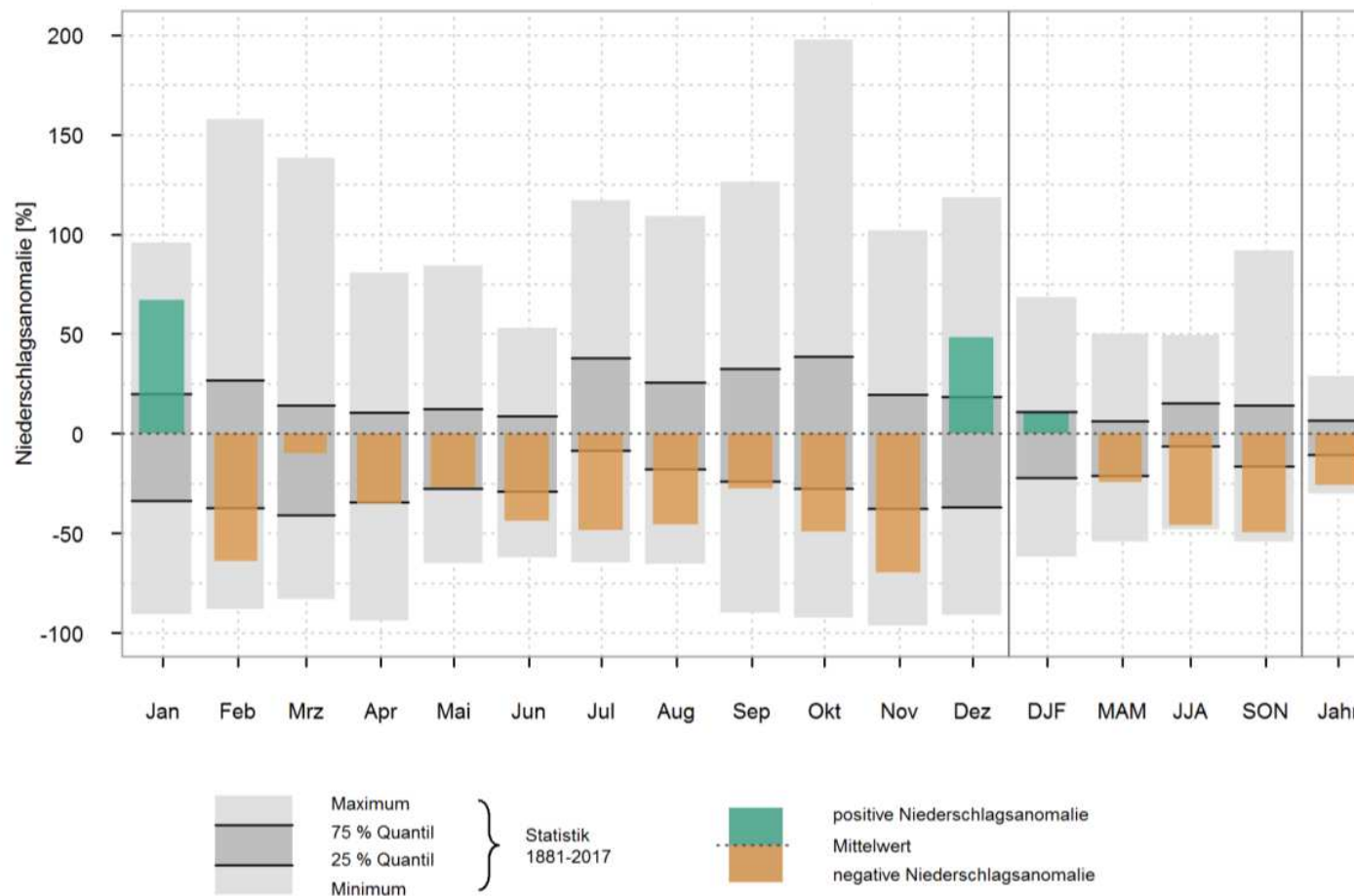
Deutschland im Klimawandel - 2018

Abweichung zu 1961 bis 1990 - Temperatur



Deutschland im Klimawandel - 2018

Abweichung zu 1961 bis 1990 - Niederschlag





Änderung der Anzahl an Sommertagen

1959 - 1968

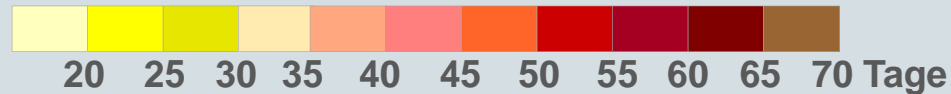
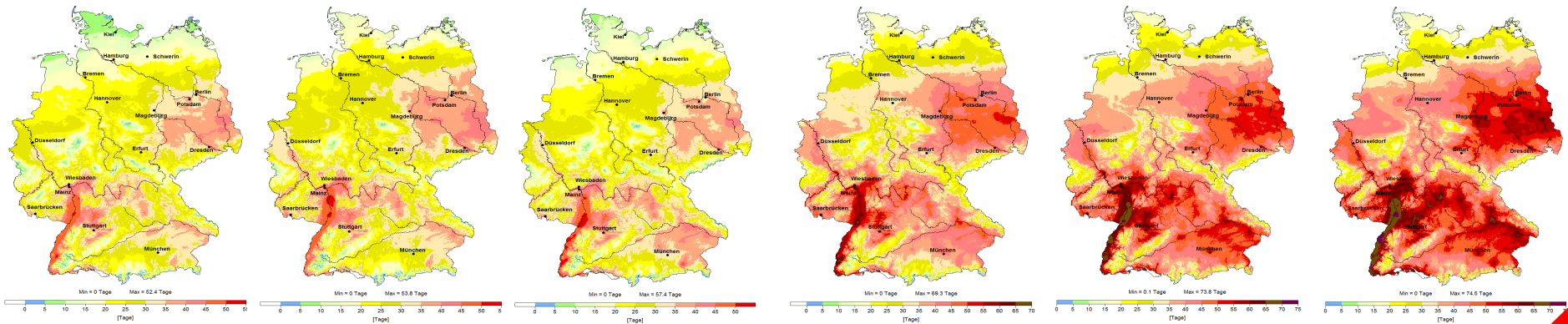
1969 - 1978

1979 - 1988

1989 - 1998

1999 - 2008

2009 - 2018



Sommertag: $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$

deutliche Zunahme an Sommertagen





Änderung der Anzahl heißer Tage

1959 - 1968

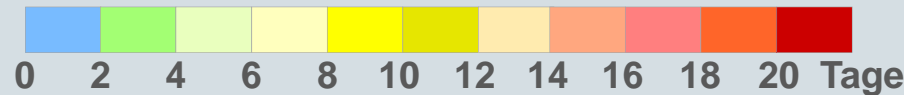
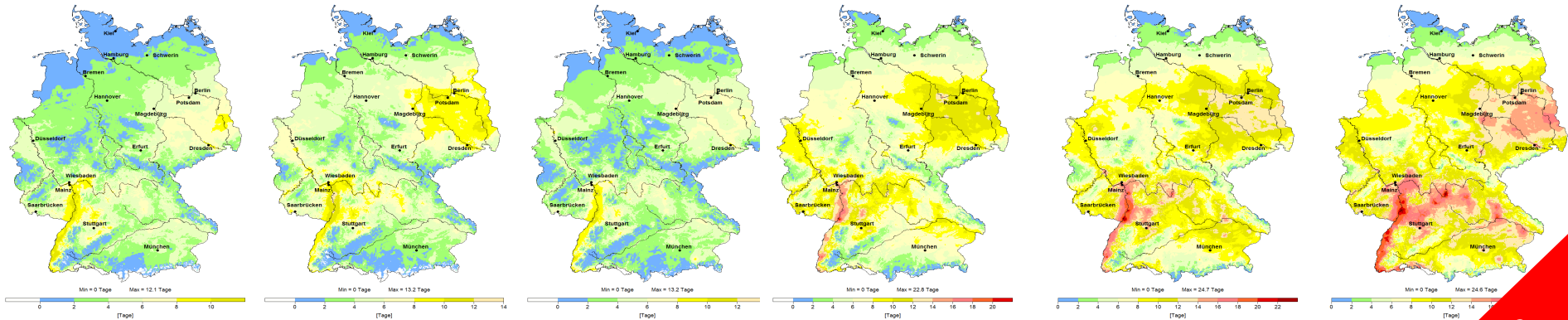
1969 - 1978

1979 - 1988

1989 - 1998

1999 - 2008

2009 - 2018



heißer Tag: $T_{max} \geq 30^{\circ}C$

deutlich mehr heiße Tage





Änderung der Anzahl Frosttage

1959 - 1968

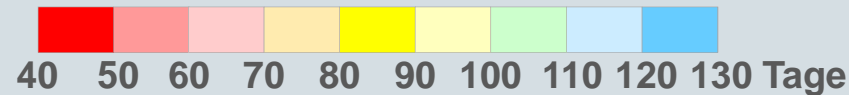
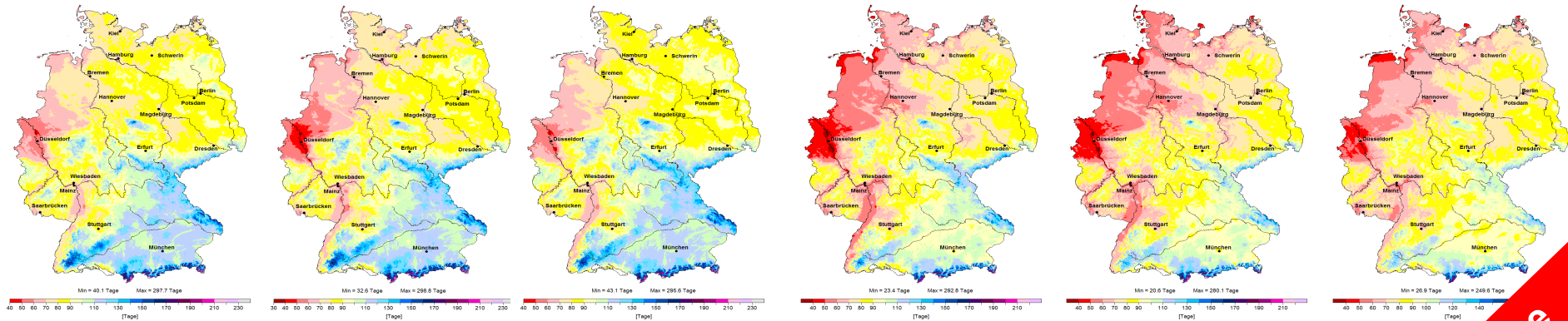
1969 - 1978

1979 - 1988

1989 - 1998

1999 - 2008

2009 - 2018



Frosttag: $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$

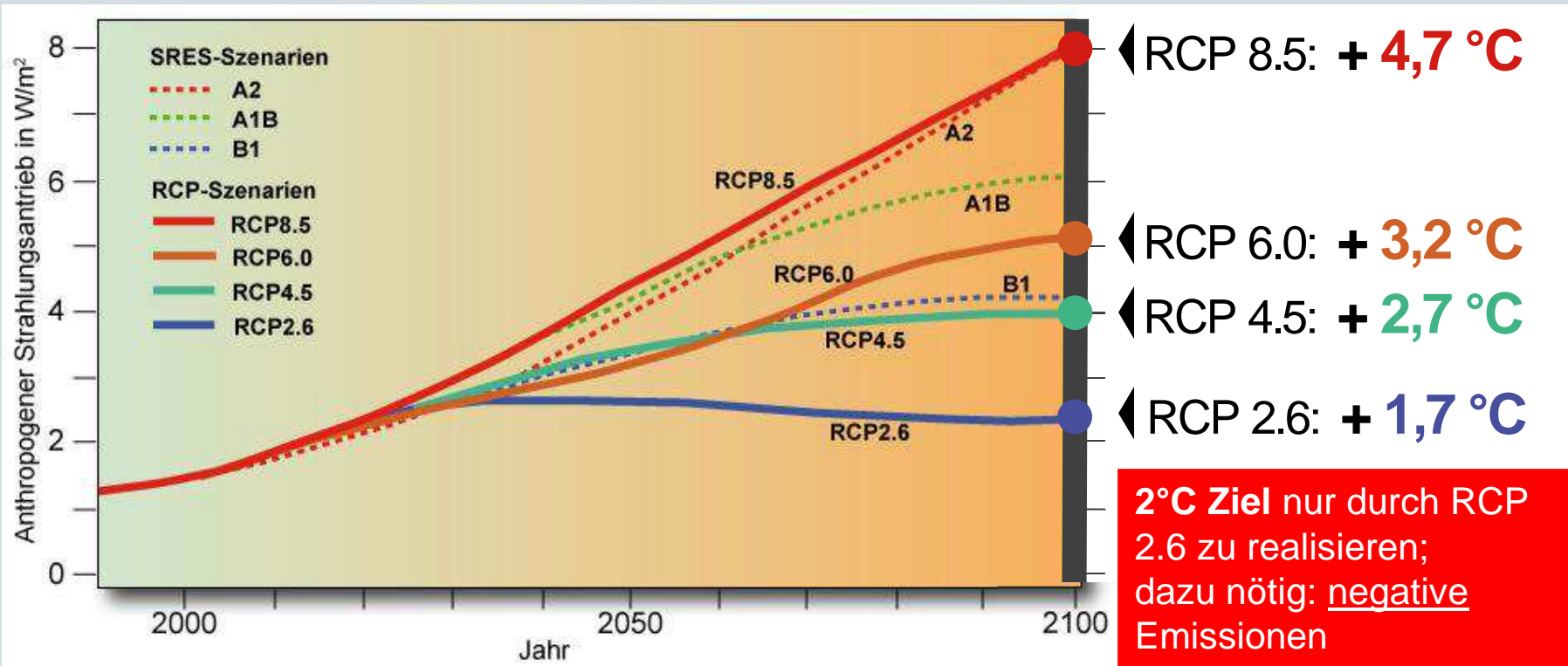
deutlich weniger Forsttage



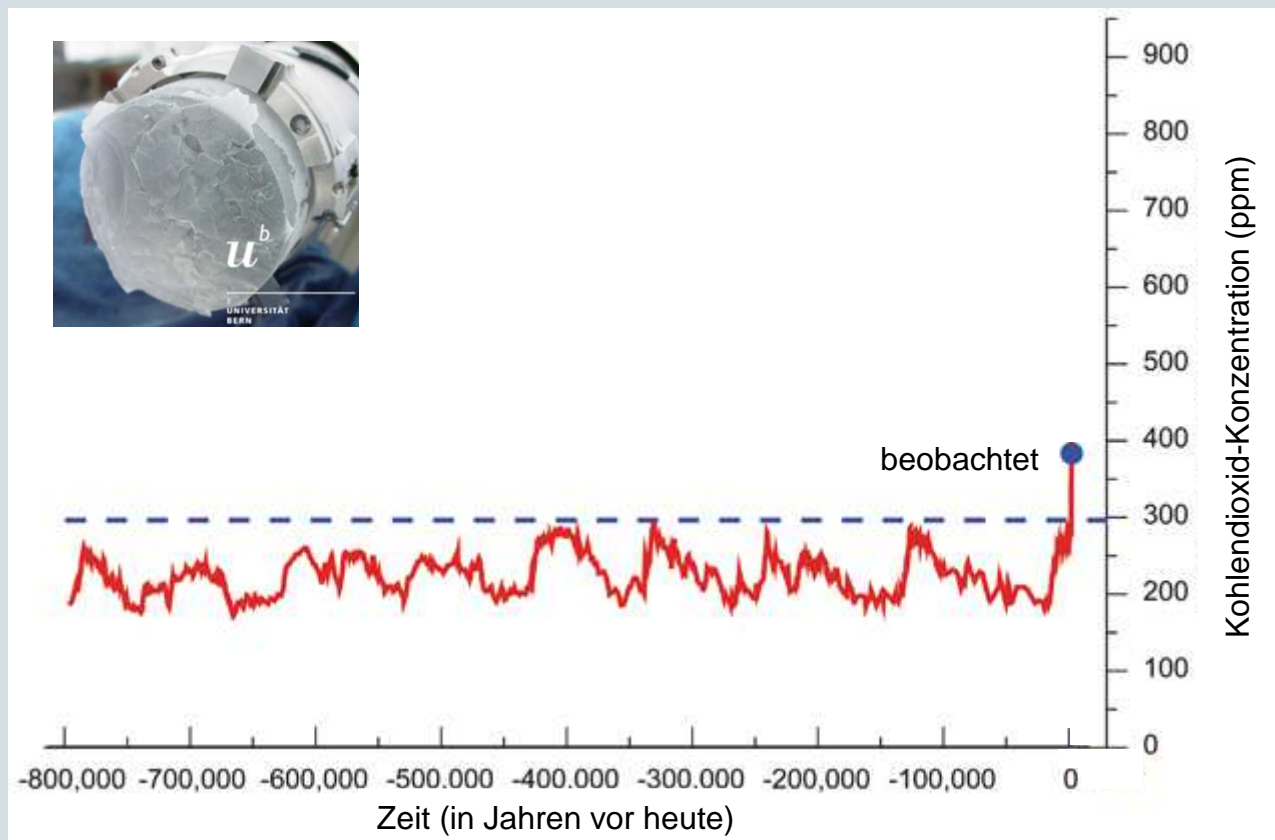
Die künftigen CO₂-Emissionen sind entscheidend

SRES und RCP-Szenarien im Vergleich

Änderung der Globalen Temperatur



→ globale CO₂ - Emissionen



Quelle: Lüthi et al., Tans, IIASA



Klimaprojektionen

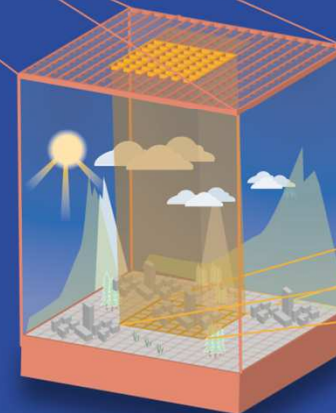
Globale
Zukunftsszenarien



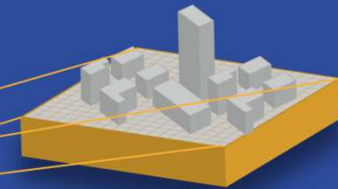
Globale
Klimamodelle



Regionale
Klimamodelle



Wirkmodelle



Räumliche Auflösung

200 km x 200 km

12 km x 12 km

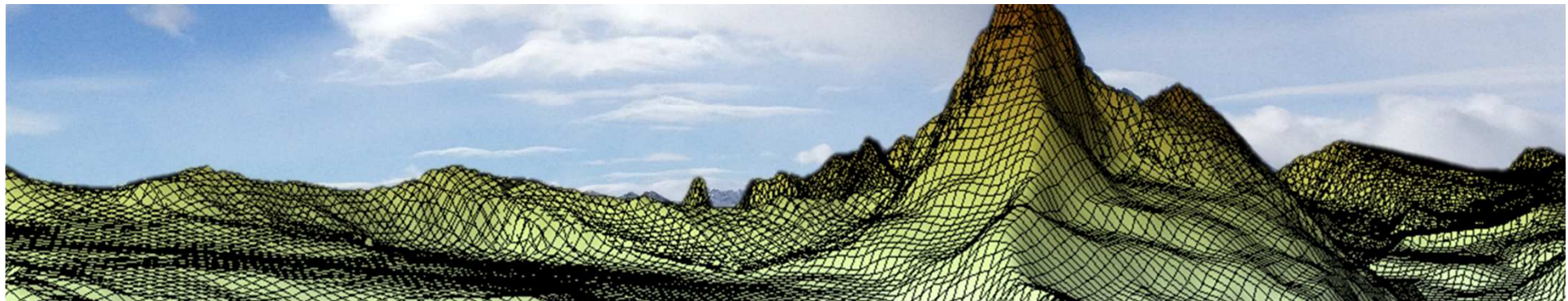
100 m x 100 m



Grenzen der Vorhersage

Kleinräumige Ereignisse sind nur schwer zu projizieren

Was bedeutet horizontale Auflösung?



Kleinräumige Ereignisse sind nur schwer zu projizieren

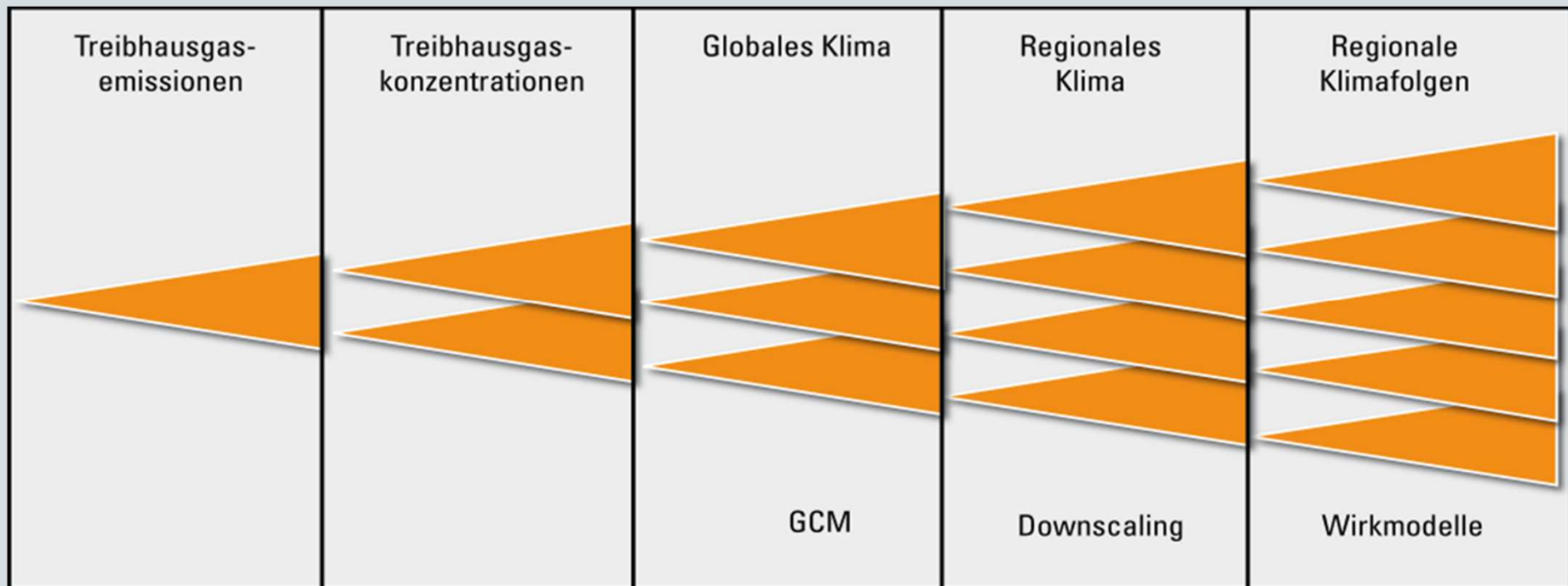
Was bedeutet horizontale Auflösung?



- $\Delta x = 2200 \text{ m}$

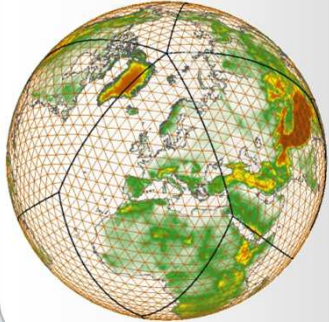


➔ Abschätzung von Unsicherheiten

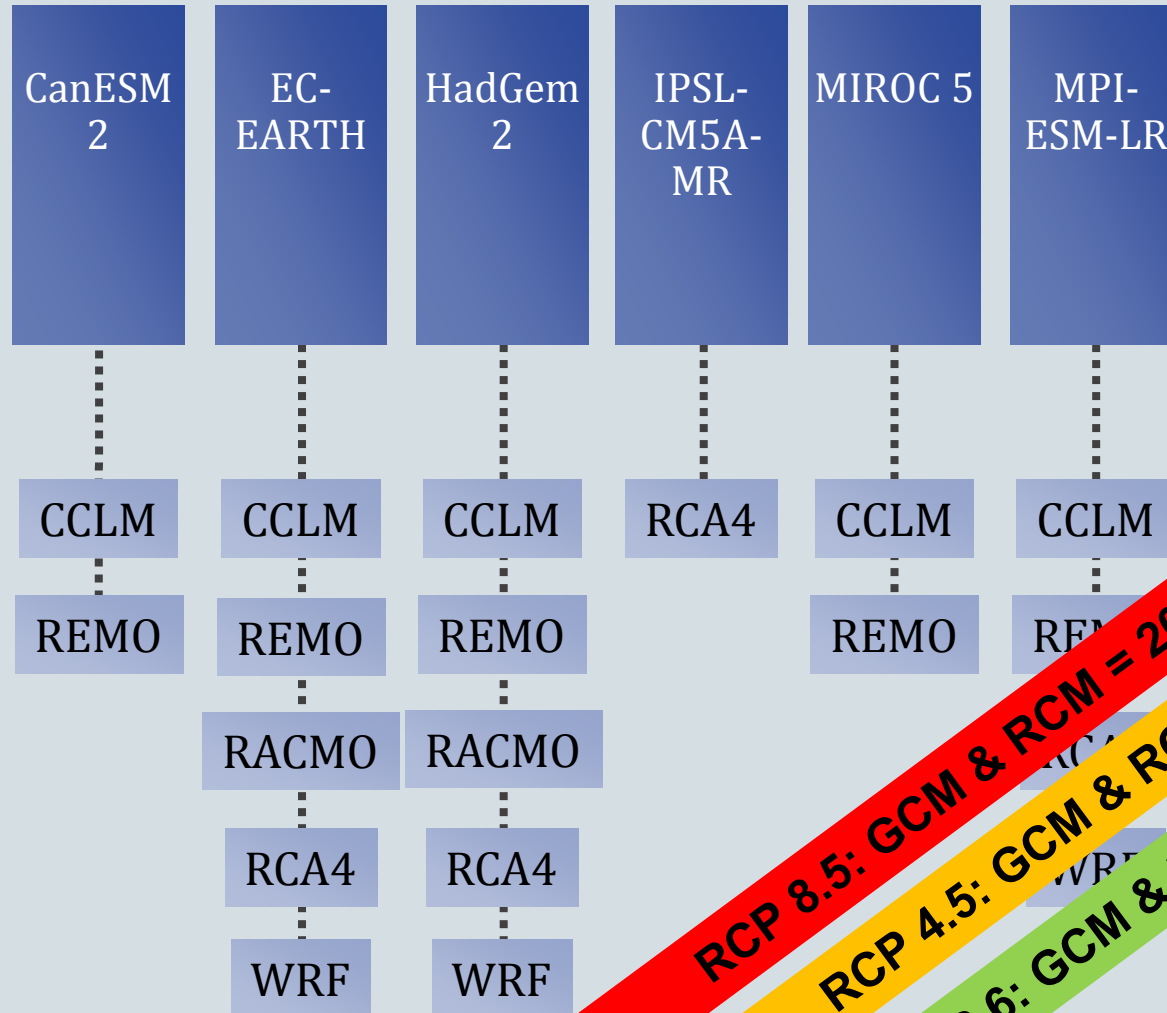


Übergang zum Multi-Modell-Ensemble

Globale Modelle



Regionale Modelle



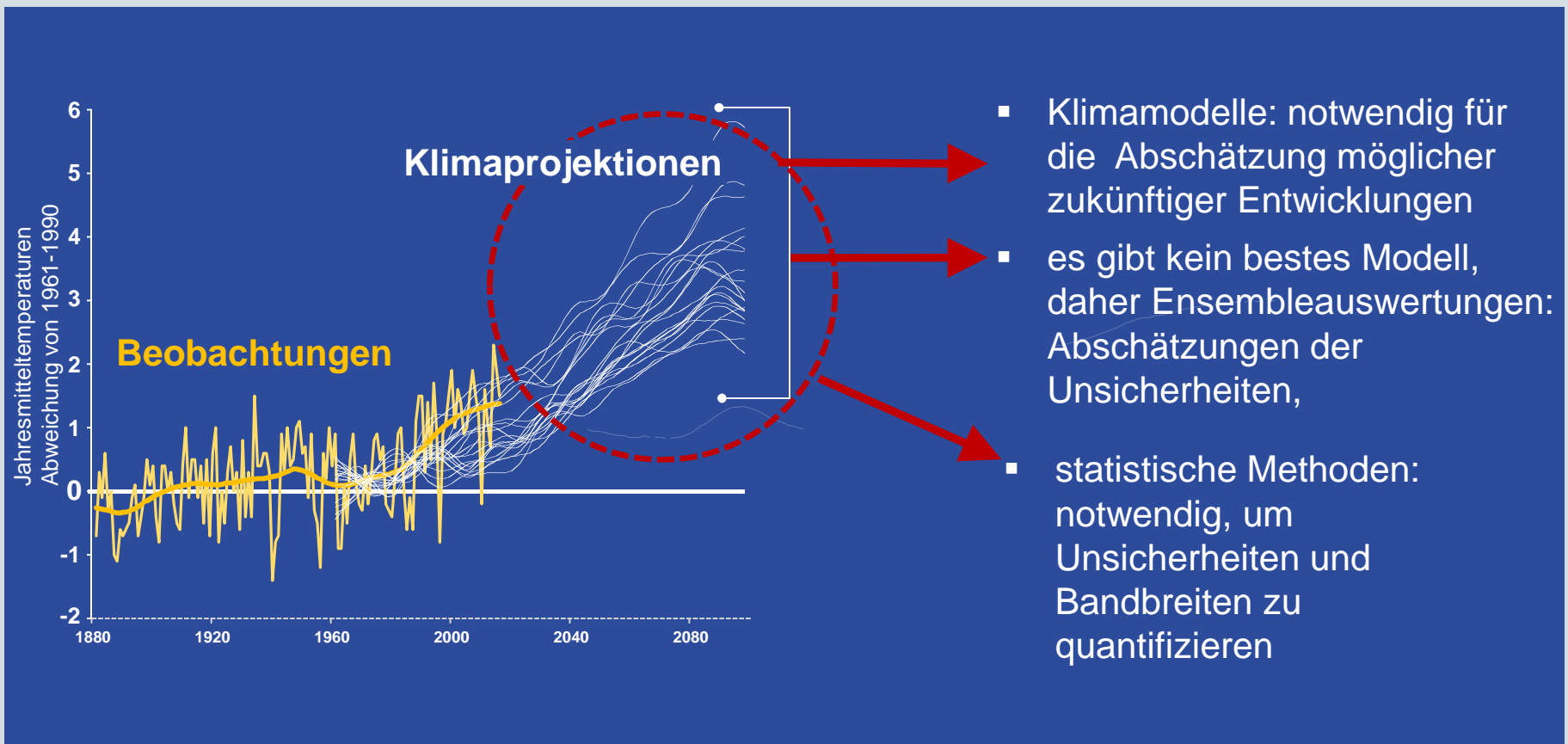
RCP 8.5: GCM & RCM = 20

RCP 4.5: GCM & RCM = 12

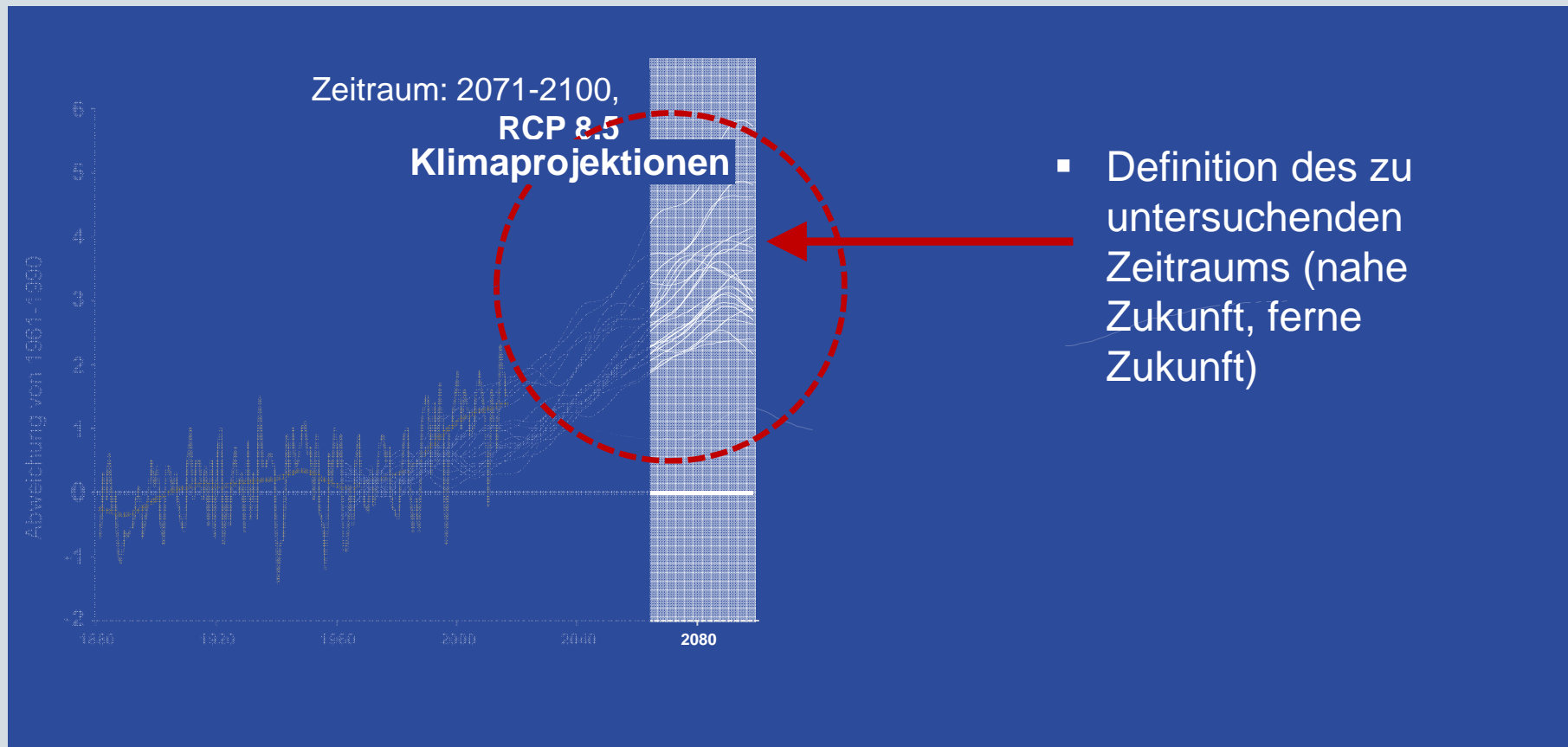
RCP 2.6: GCM & RCM = 11



➔ Auswertung von Klimaprojektionsensembles

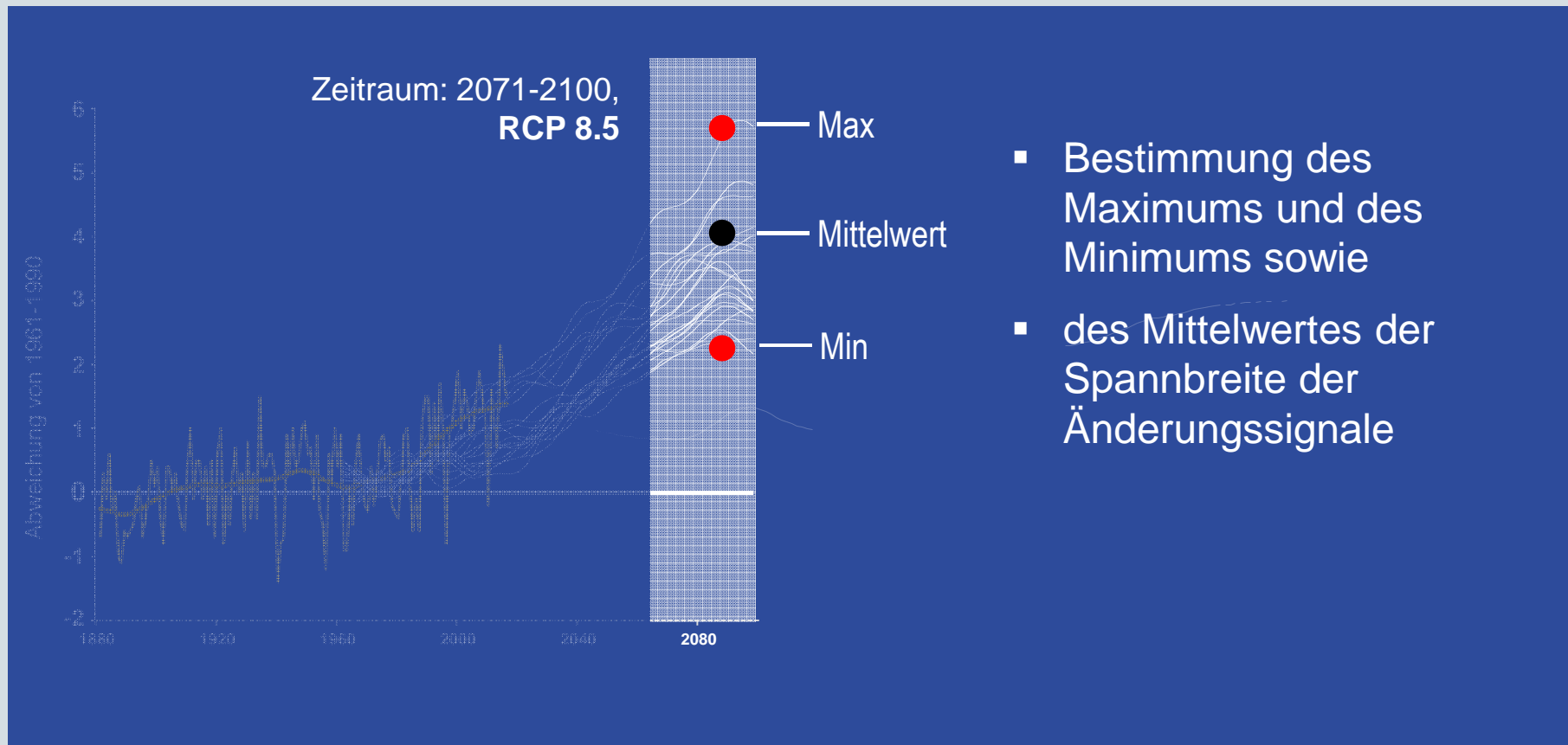


➔ Auswertung von Klimaprojektionsensembles



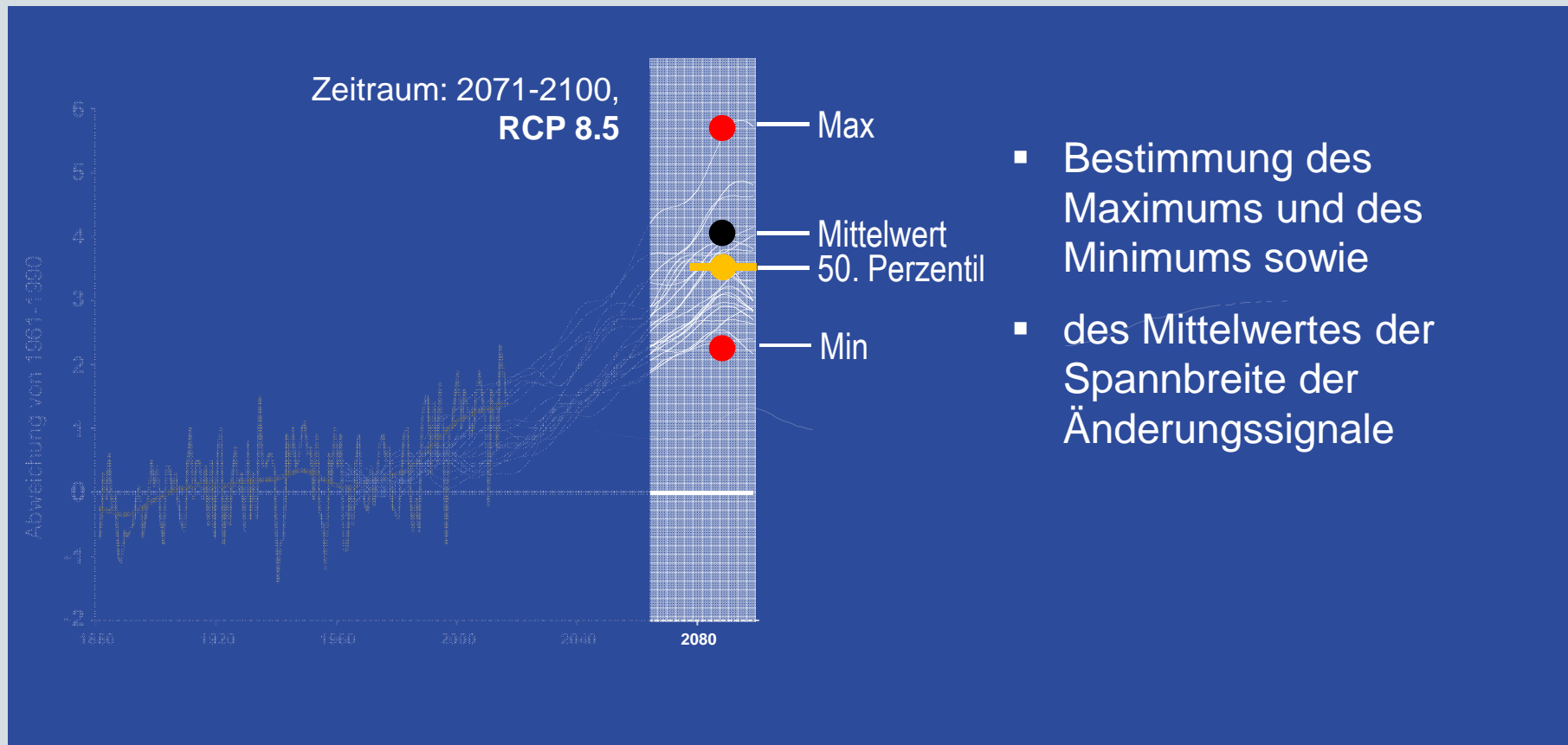


Auswertung von Klimaprojektionsensembles

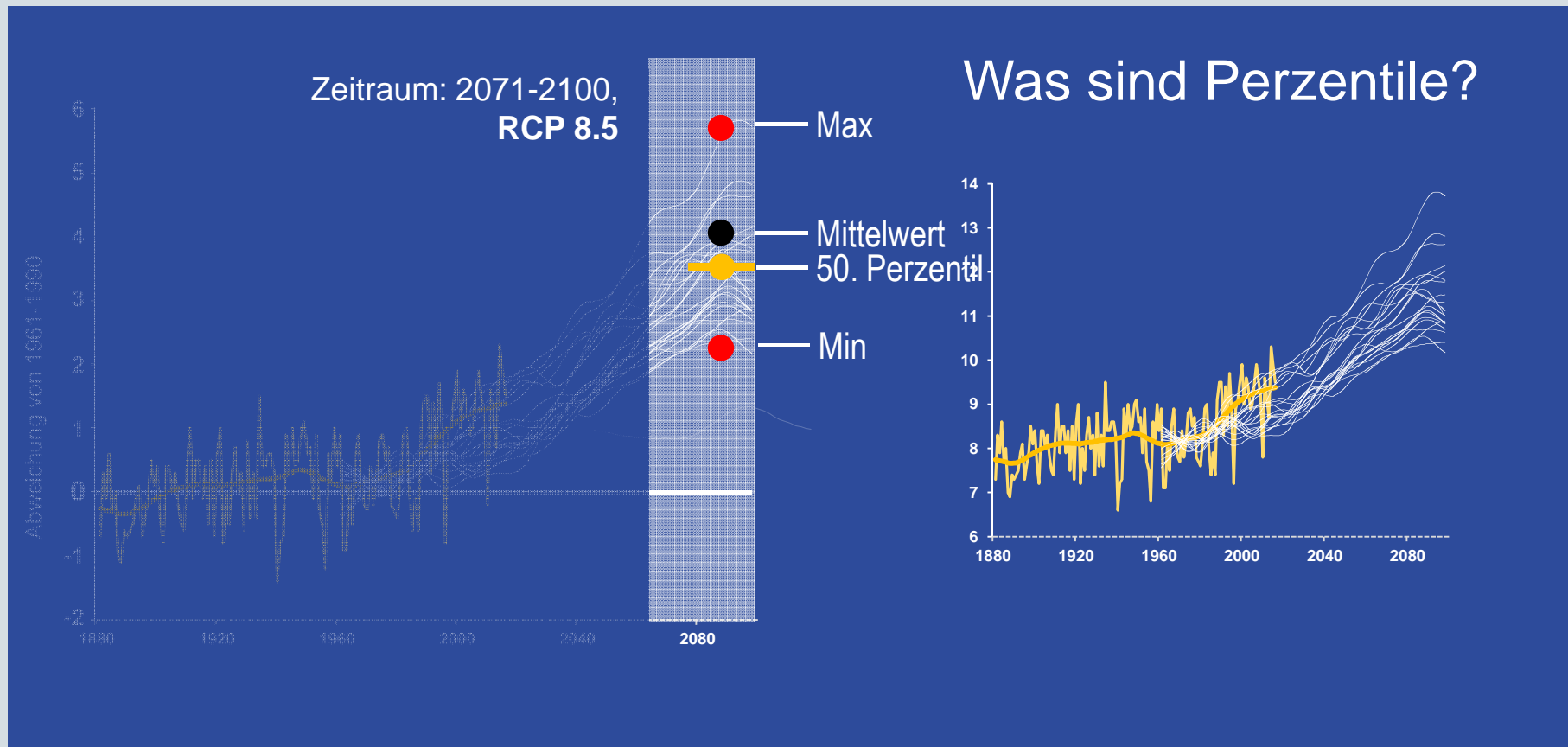




Auswertung von Klimaprojektionsensembles

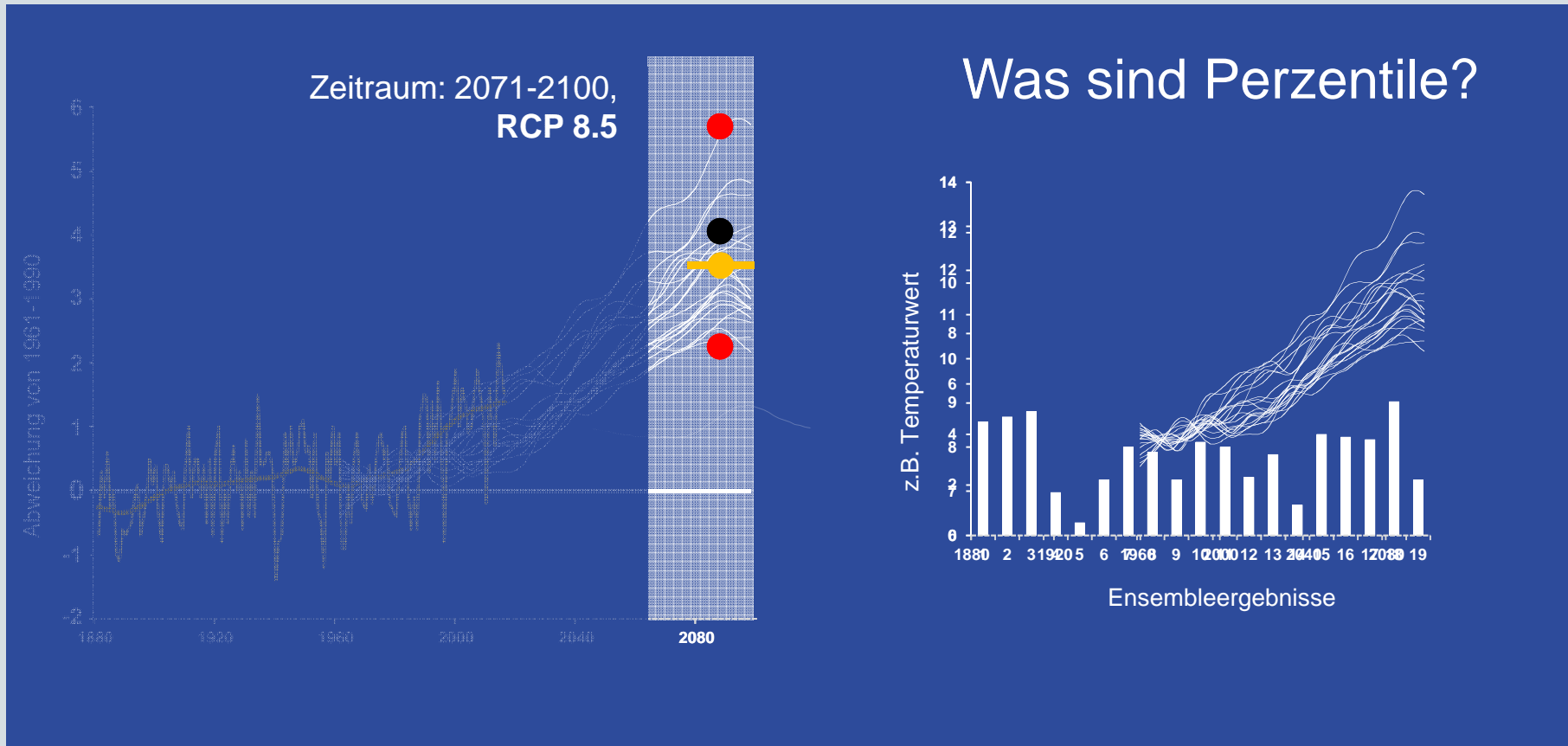


➔ Auswertung von Klimaprojektionsensembles



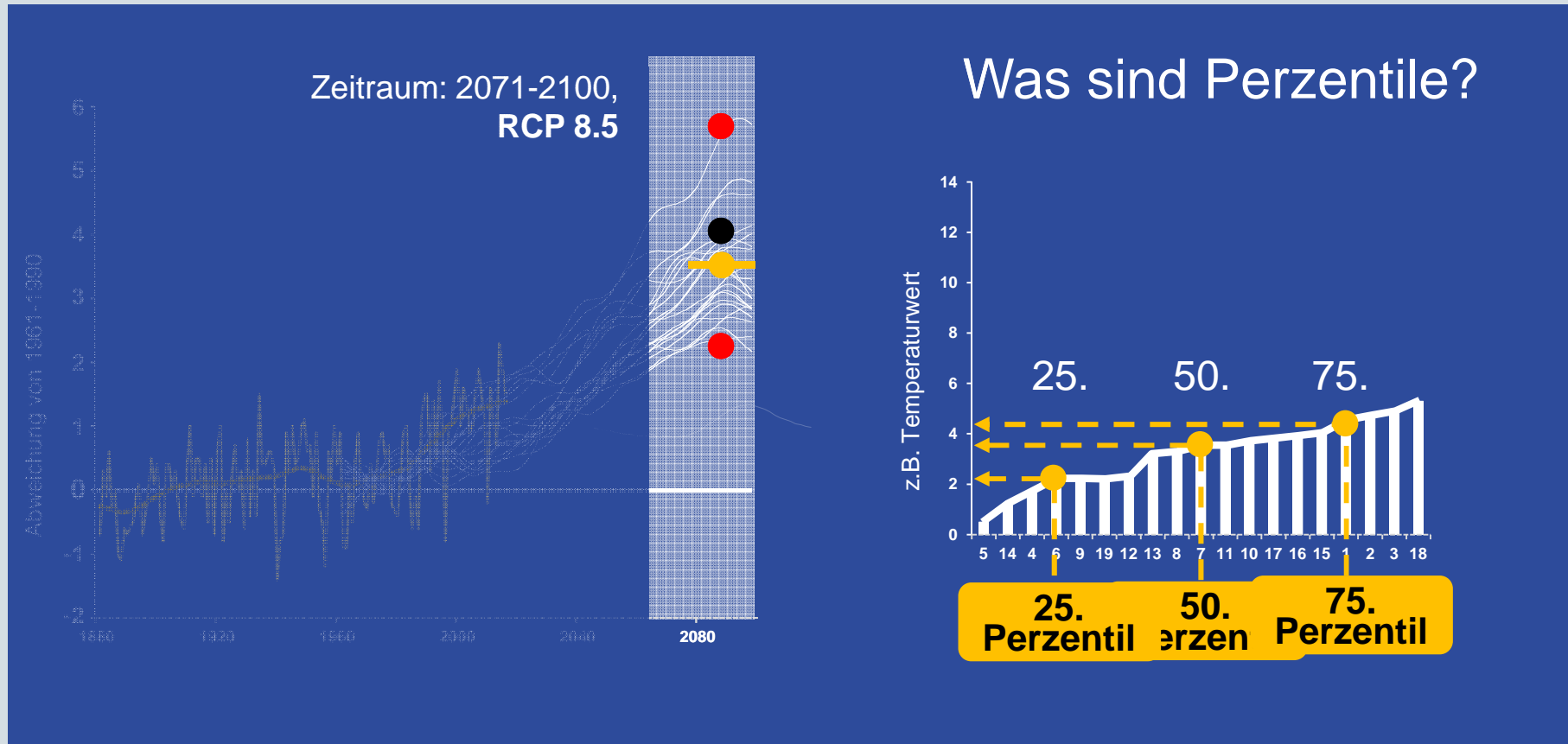


Auswertung von Klimaprojektionsensembles



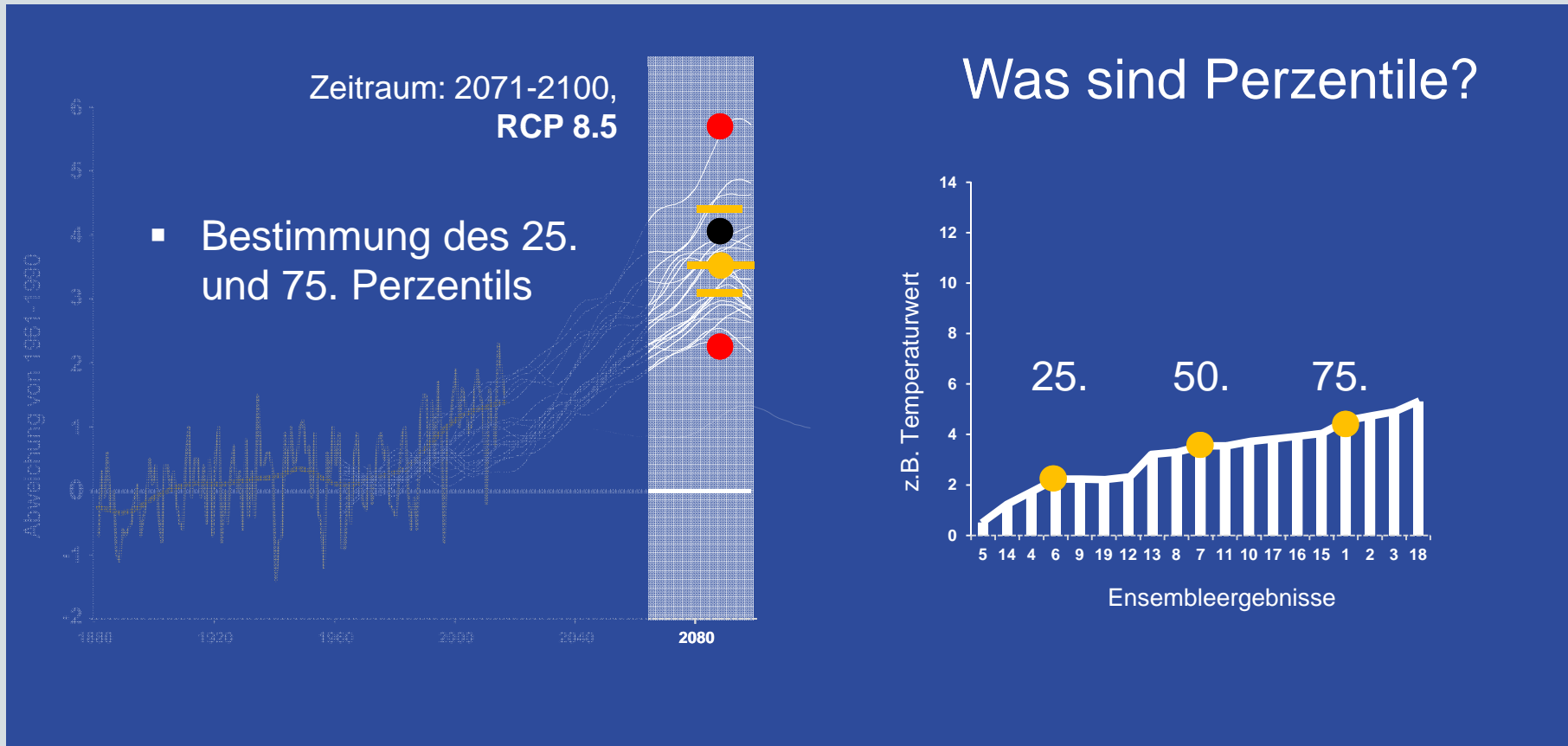


Auswertung von Klimaprojektionsensembles





Auswertung von Klimaprojektionsensembles

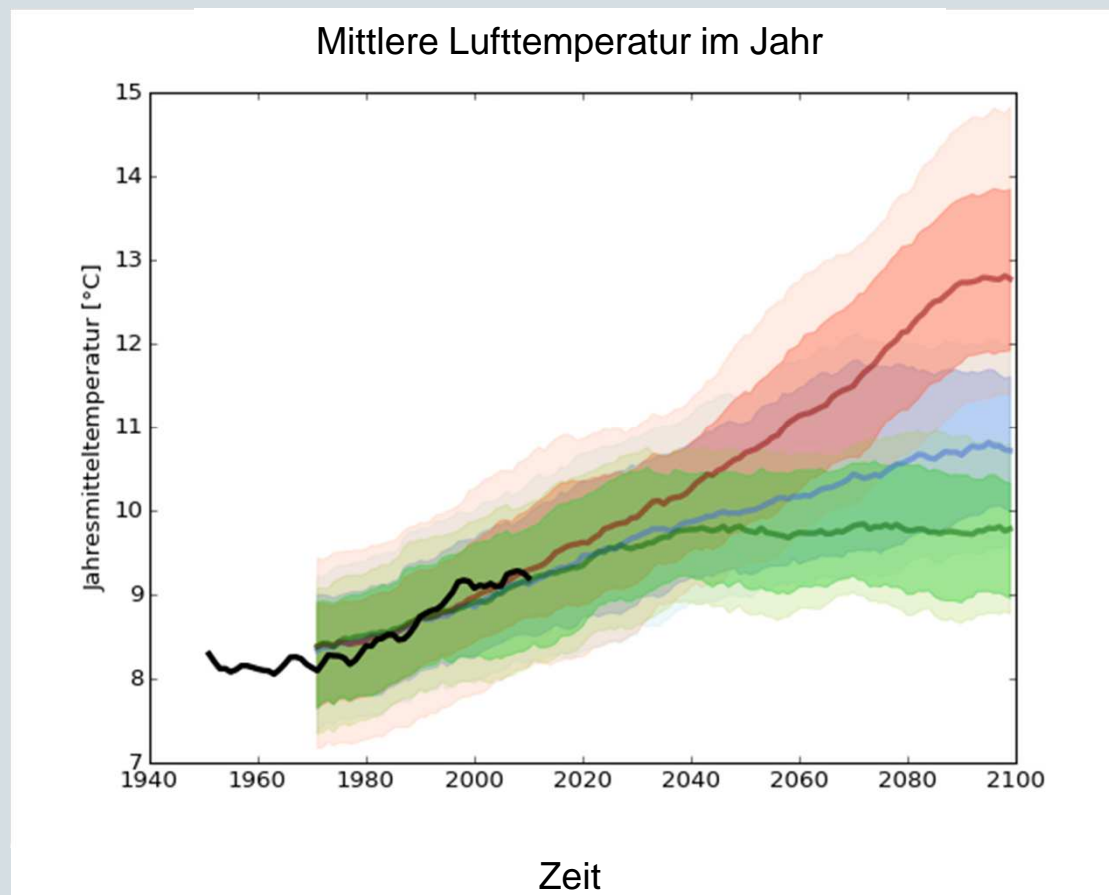




Temperatur

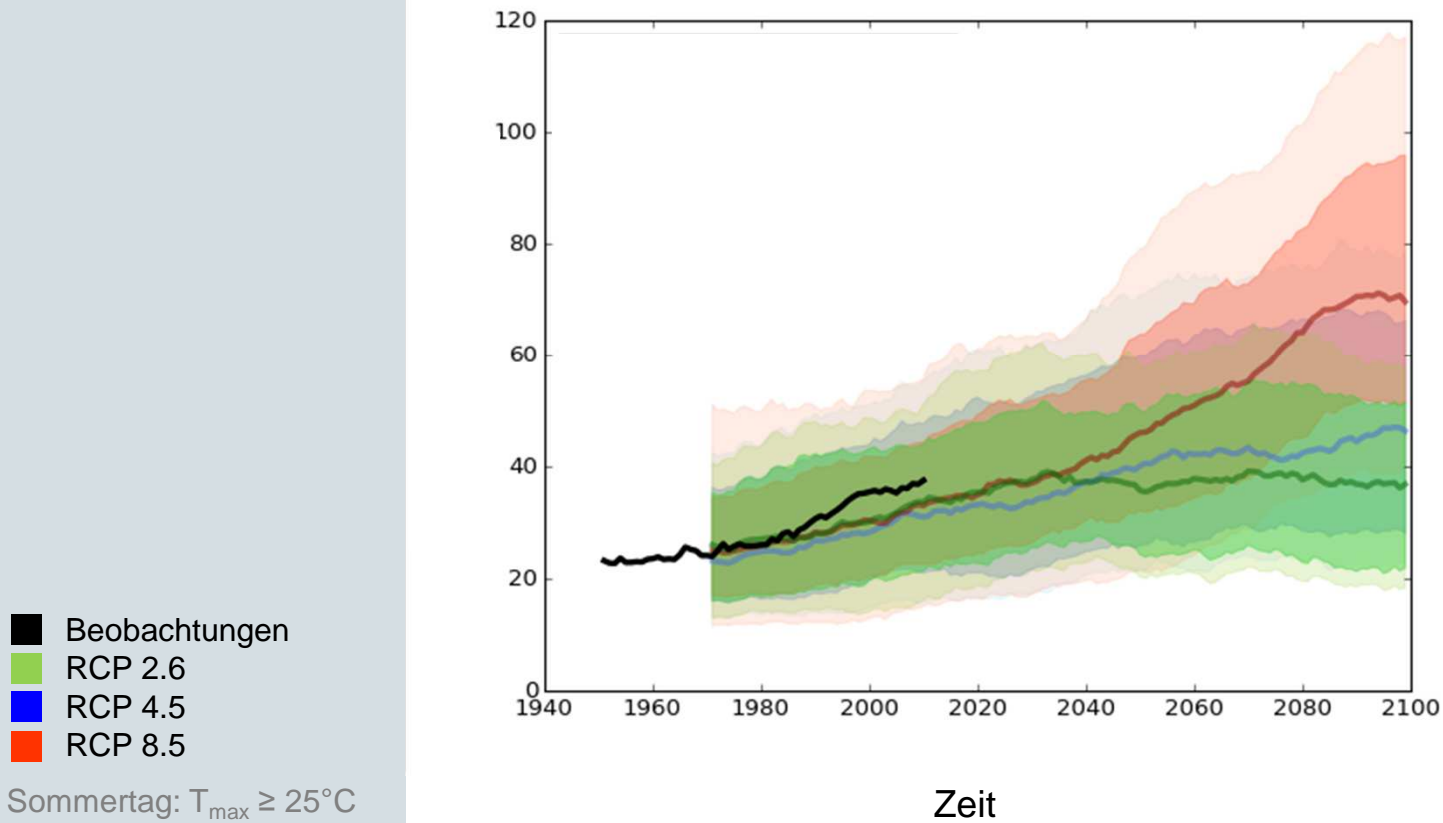


➔ Klimaprojektionen für Deutschland



➔ Klimaprojektionen für Deutschland

Anzahl an Sommertagen im Jahr

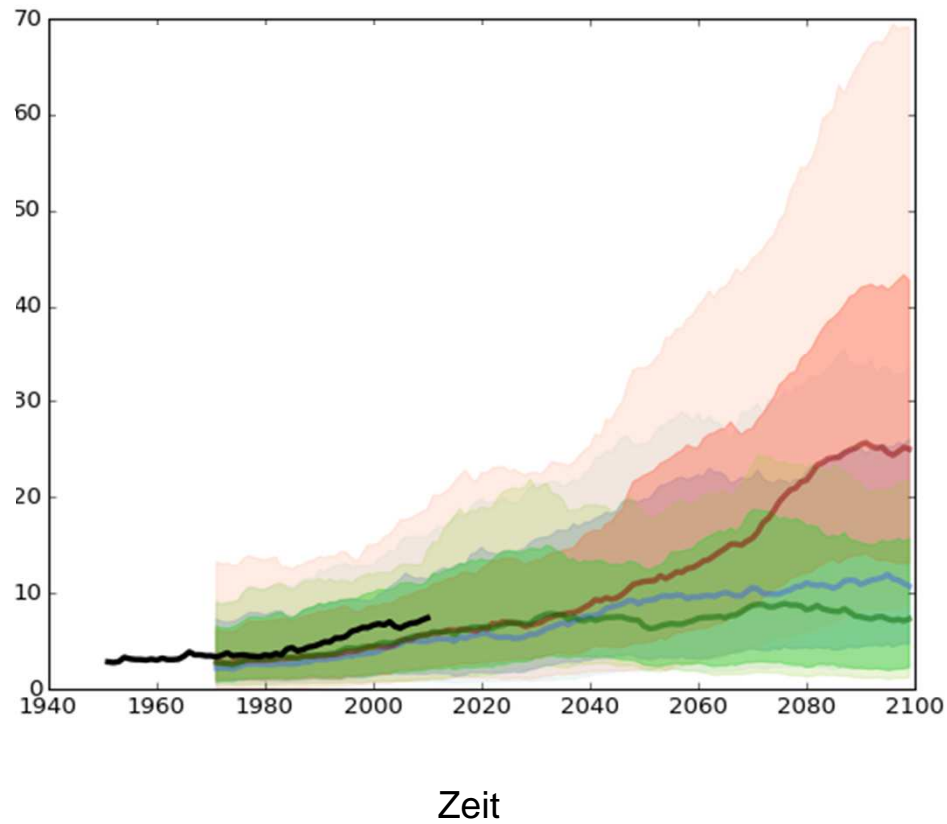


➔ Klimaprojektionen für Deutschland

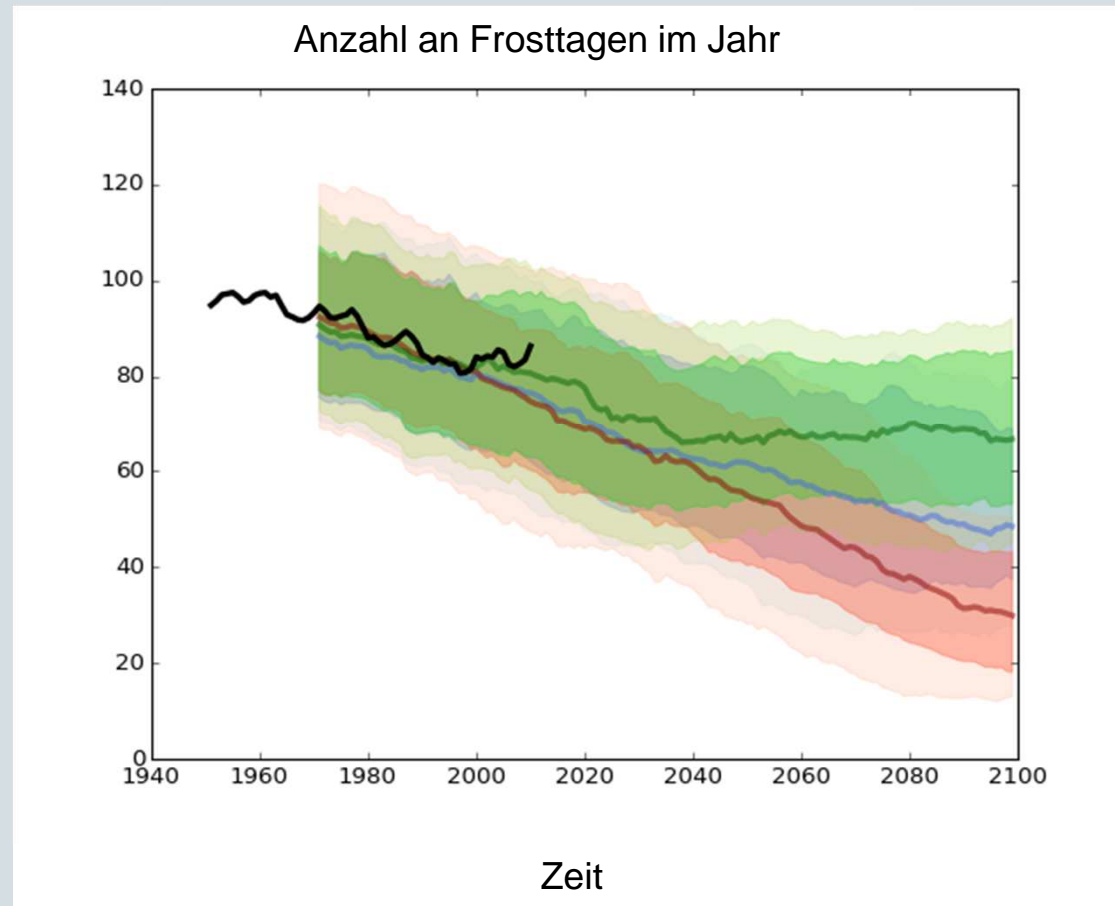
Anzahl an heißen Tagen im Jahr

- Beobachtungen
- RCP 2.6
- RCP 4.5
- RCP 8.5

heißer Tag: $T_{max} \geq 30^{\circ}C$



➔ Klimaprojektionen für Deutschland

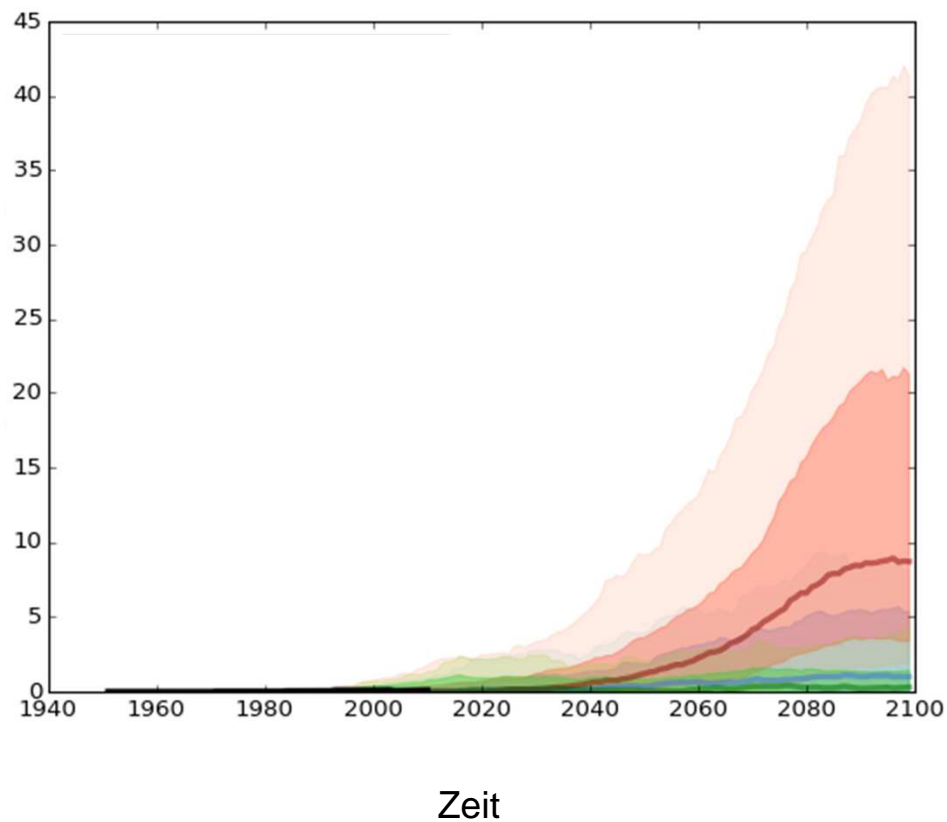


➔ Klimaprojektionen für Deutschland

Anzahl an tropischen Nächten im Jahr

- Beobachtungen
- RCP 2.6
- RCP 4.5
- RCP 8.5

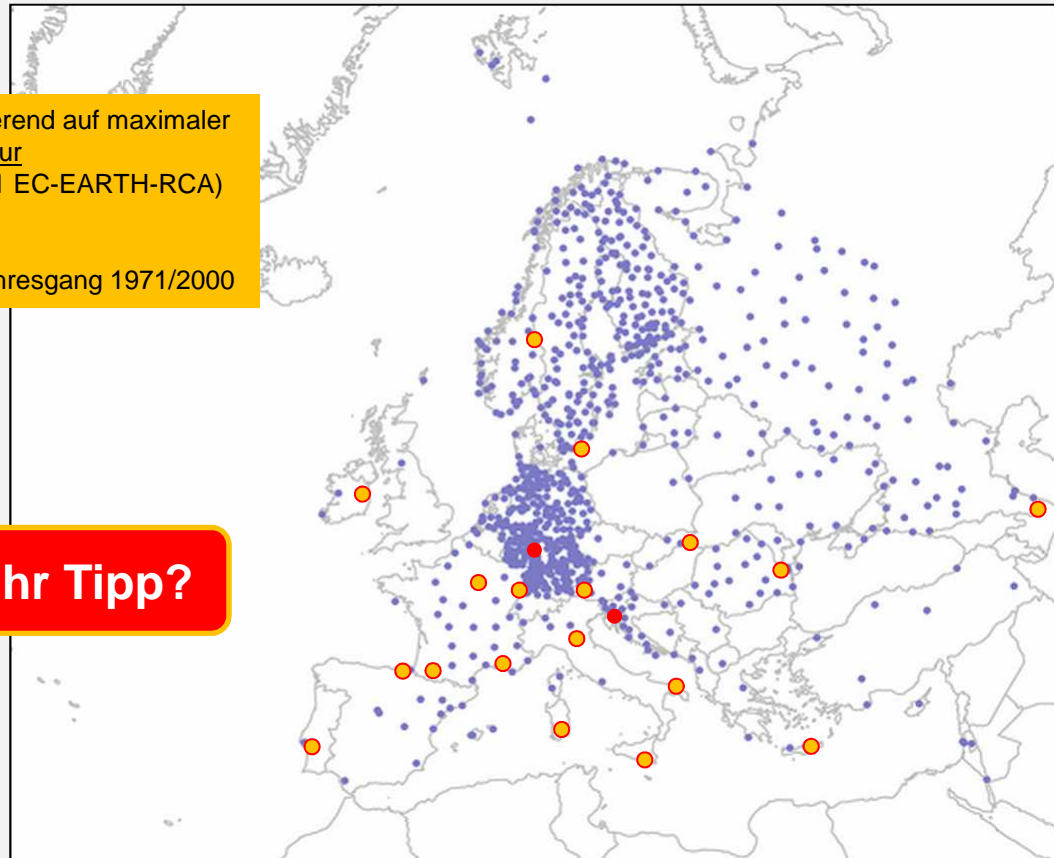
Trop. Nacht: $T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$



Welcher Ort hat heute ein ähnliches Klima wie Frankfurt am Main in der Zukunft (2071/2100)?

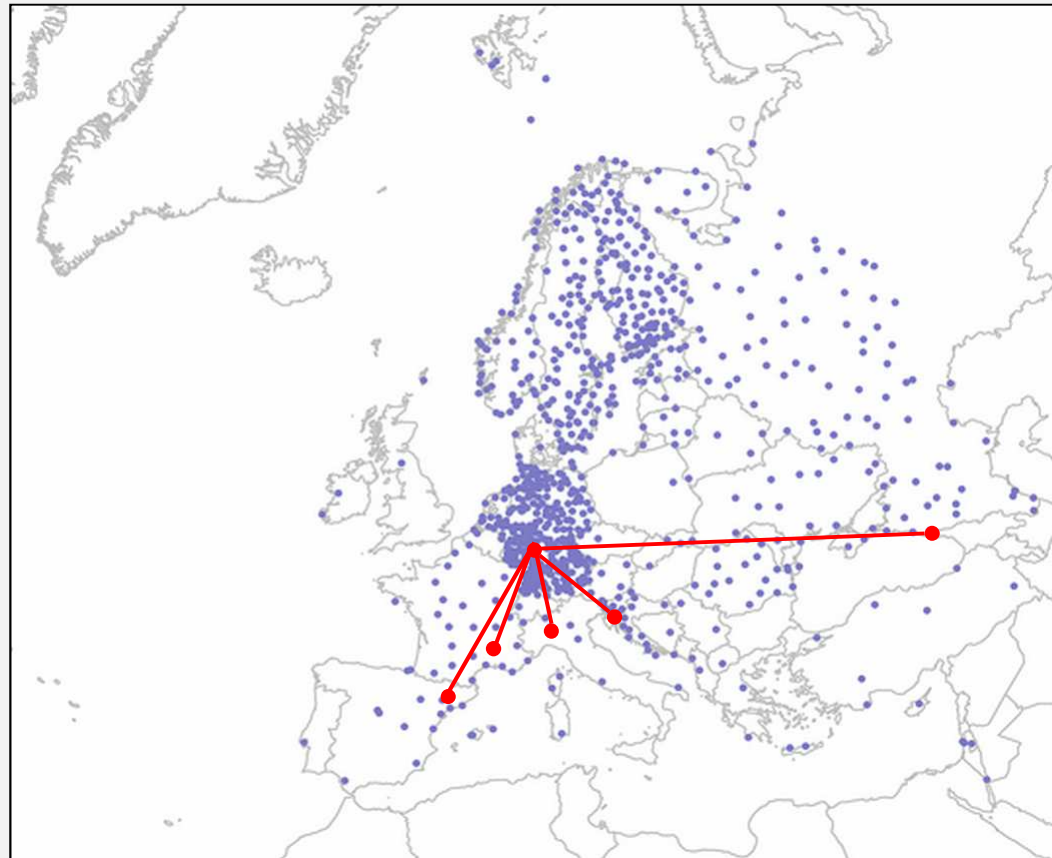
- Beispielanwendung basierend auf maximaler Ähnlichkeit der Temperatur
- eine Modellkette (EUR-11 EC-EARTH-RCA) für RCP 8.5
- 879 Analoge möglich
- bezogen auf mittleren Jahresgang 1971/2000

Was ist Ihr Tipp?



Rijeka
ca. 680 km südöstlich

Welcher Ort hat heute ein ähnliches Klima wie Frankfurt am Main in der Zukunft (2071/2100)?



Die fünf besten Analoge:

1. Rijeka
2. Mailand
3. Montelimar
4. Lleida
5. Tuapse

RCP 8.5; nur Temperatur

F. Dahinden (submitted, ETH Zürich, MeteoSwiss)
Umsetzung: A. Kreis (DWD)



Niederschlag

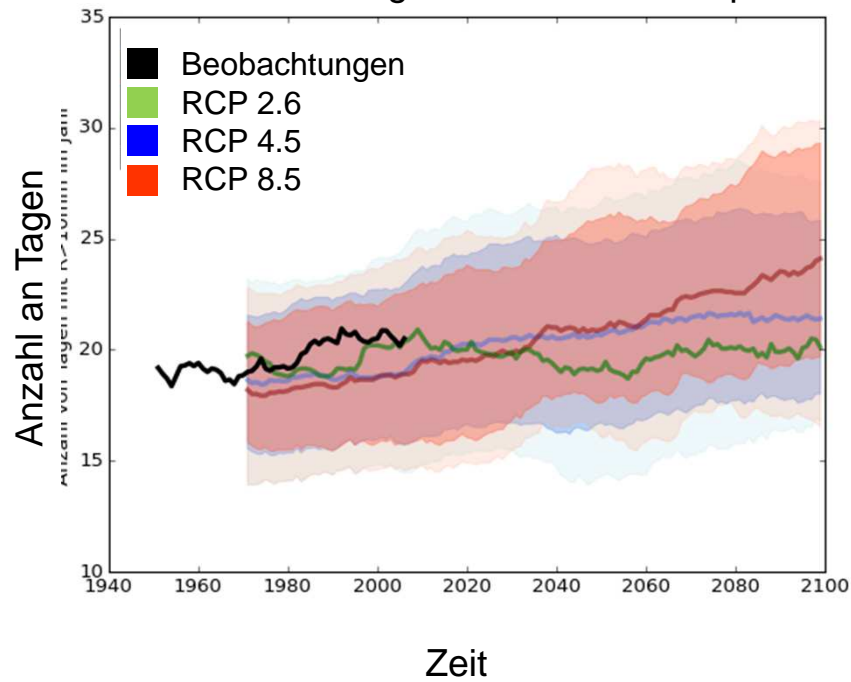




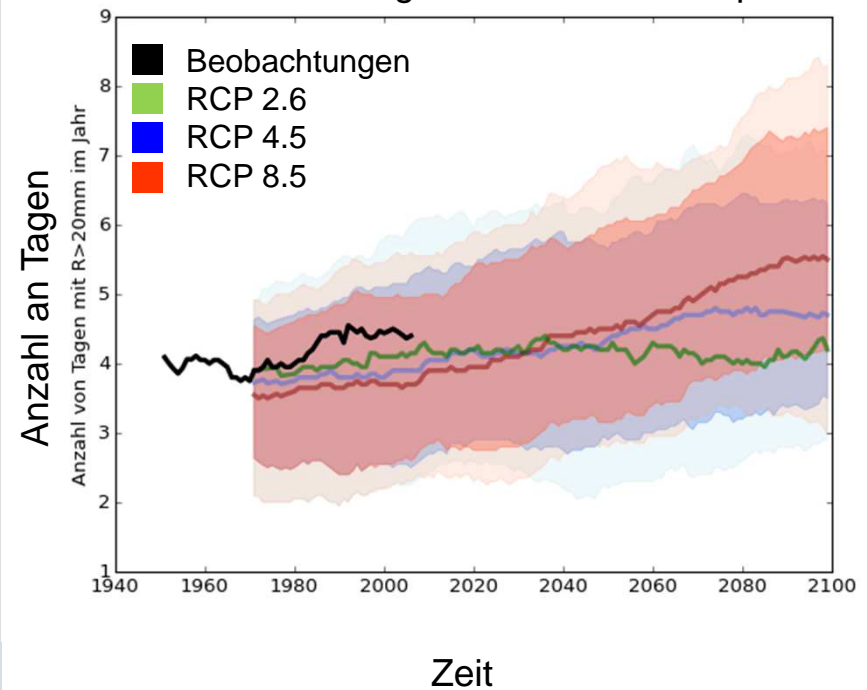
Klimaprojektionen für Deutschland

Niederschlagsverhalten

Anzahl an Tagen mit RR > 10mm pro Jahr



Anzahl an Tagen mit RR > 20mm pro Jahr



Wetterlagen verändern sich im Klimawandel

- ➔ Wetterlagen bestimmen den Witterungsverlauf
- ➔ Bei bestimmten Wetterlagen erhöht sich das Risiko von meteorologischen Extremereignissen
- ➔ Die zukünftige Veränderung der Wetterlagen kann abgeschätzt werden



Wetterlagen Klimaprojektionen



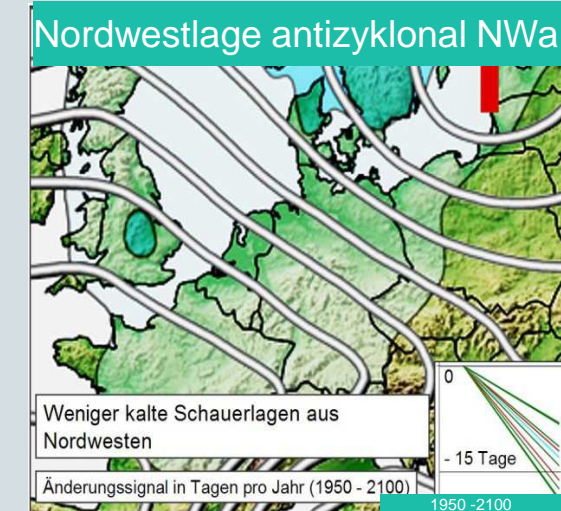
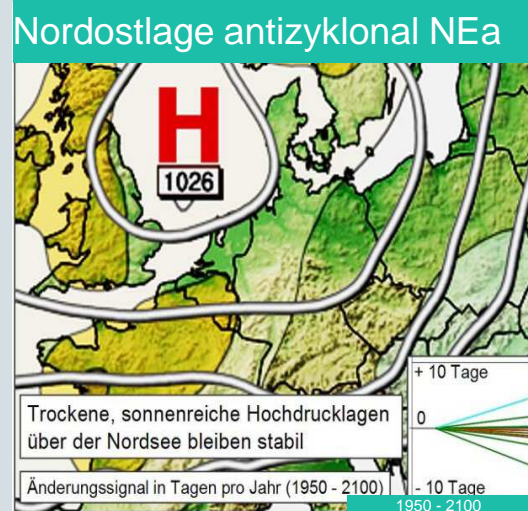
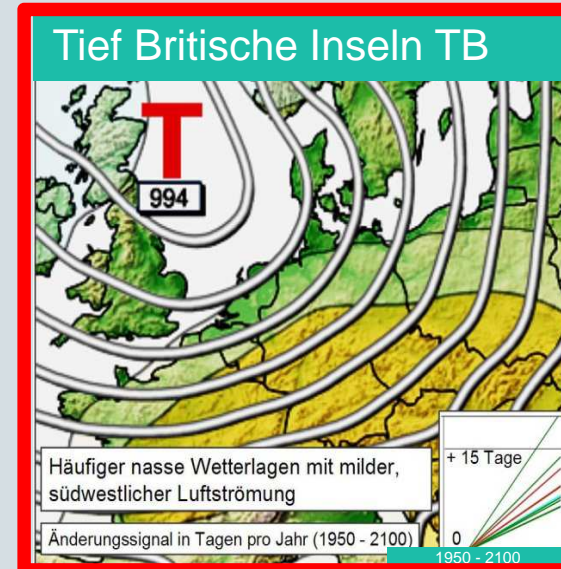
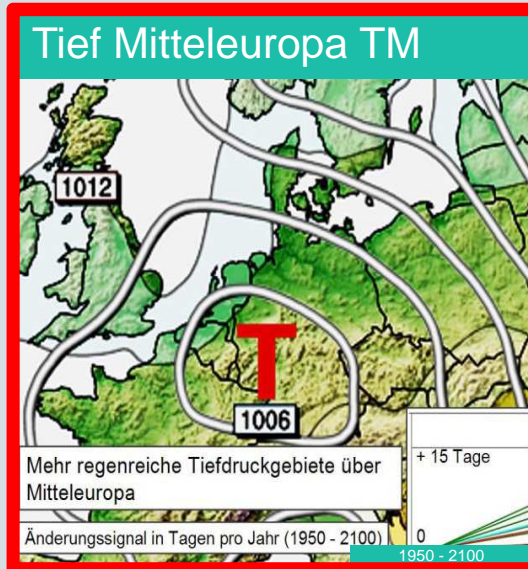
Änderungssignale
Wetterlagen
Modellensemble



Aktuell im FOKUS

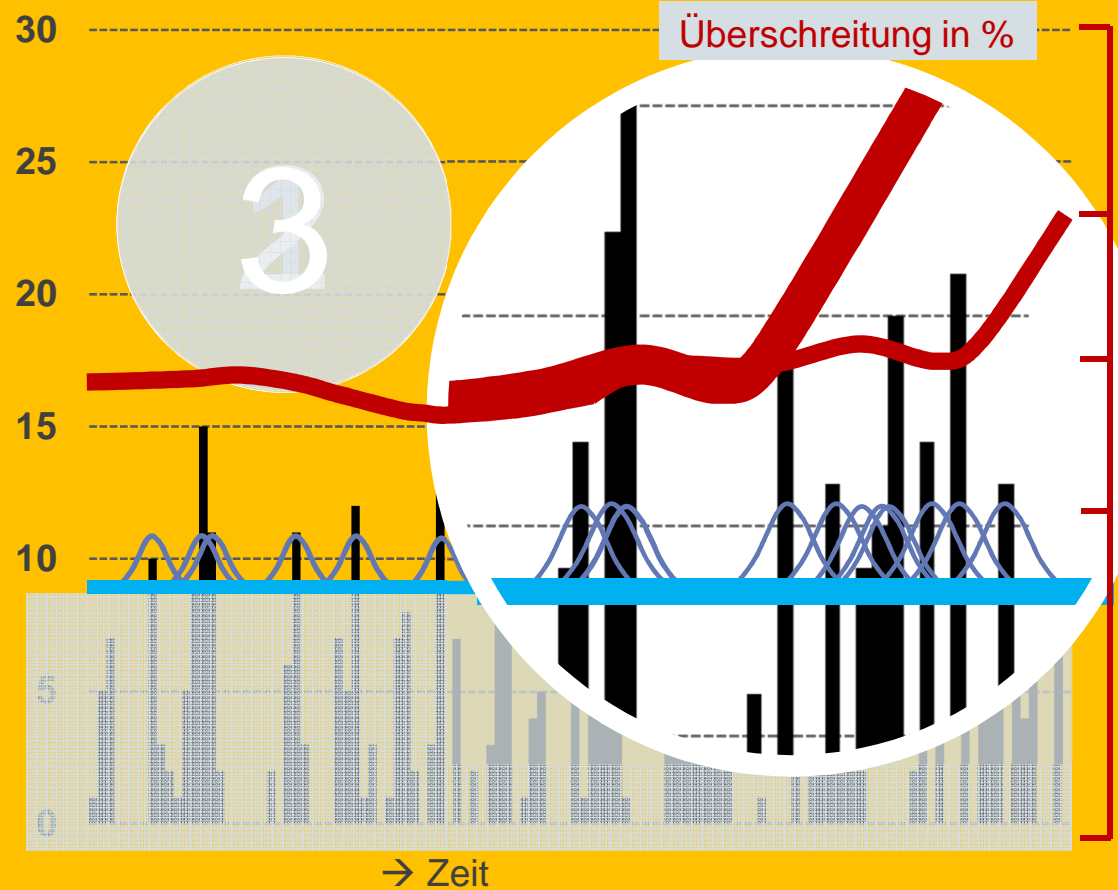
→ Tief Mitteleuropa (TM)

→ Tief Britische Inseln (TB)



➔ Kernschätzerverfahren

Ereignisse
Zuweisung zeitlich
müssen keinem
gewählten Kern
absoluten
Einfallswahrscheinlichkeit
Zeitpunktige
Schwankungen
Schwellwert X
→ sogenannte
Kernhäufigkeit





Starkregen

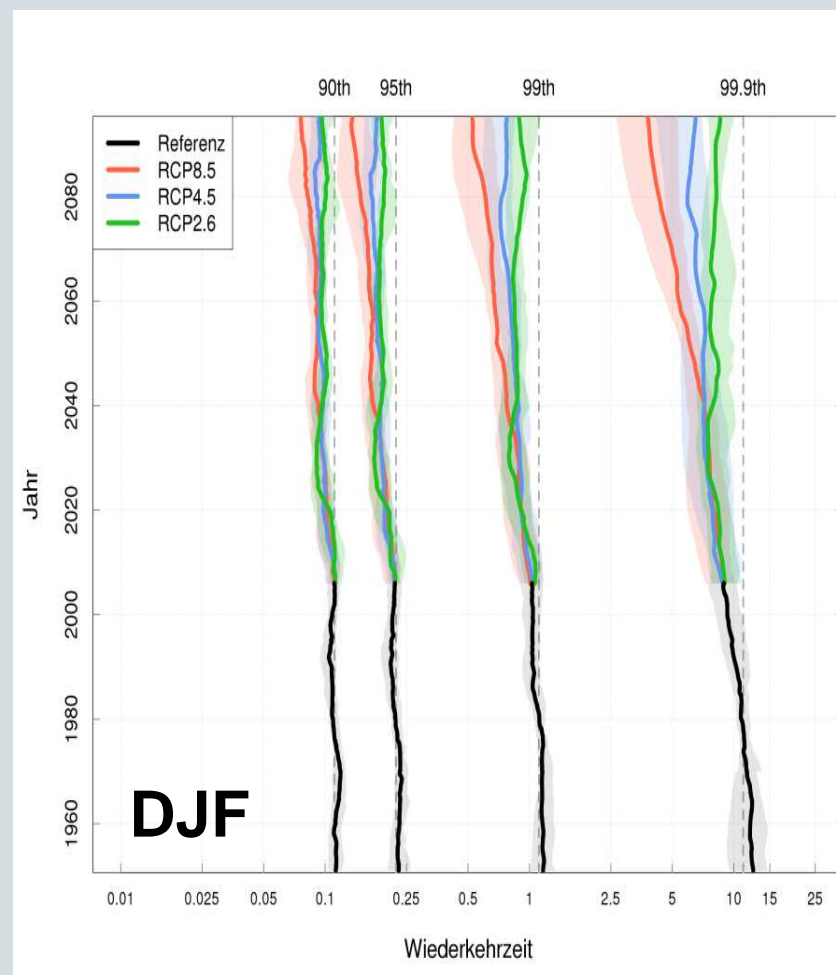
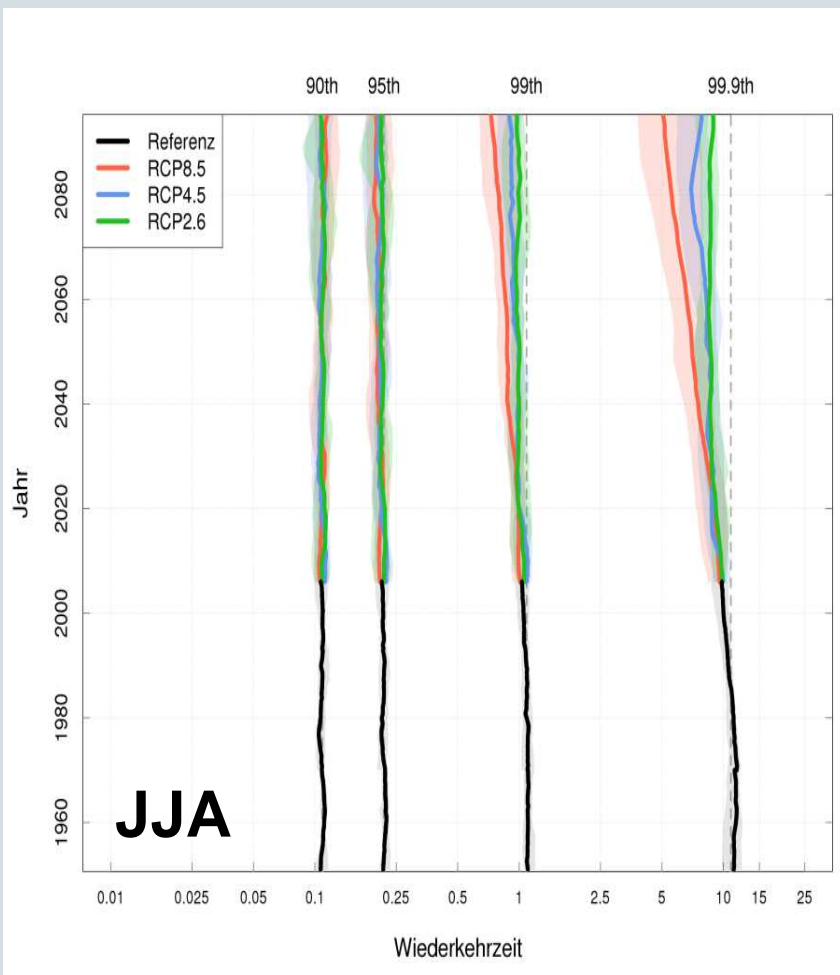
Beobachtungen

Projektionen





Starkniederschlag





Starkregen

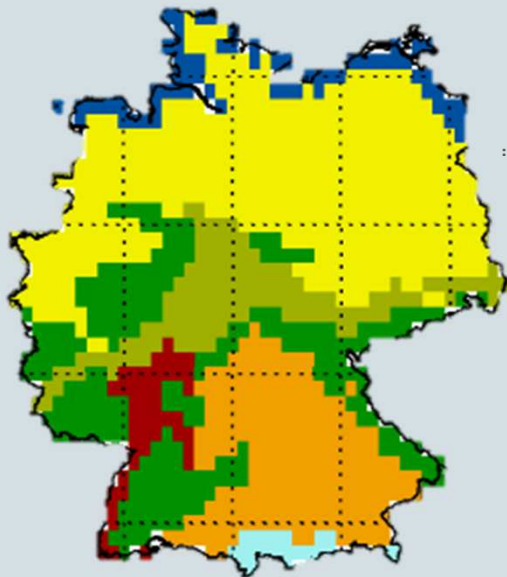
Beobachtungen: 1951- 2005
Projektionen: 1961-2100
SRES A1B-ECHAM5-CLM



Temperatur

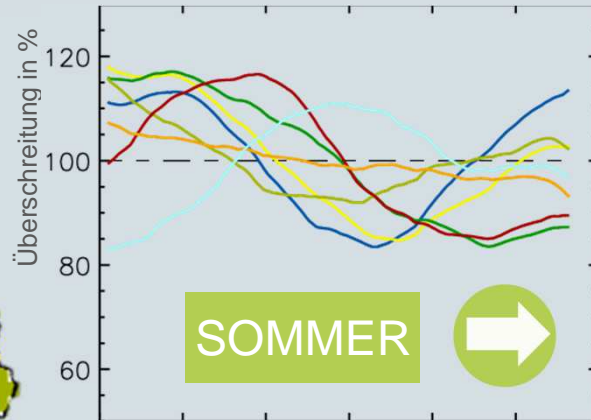


Sturm



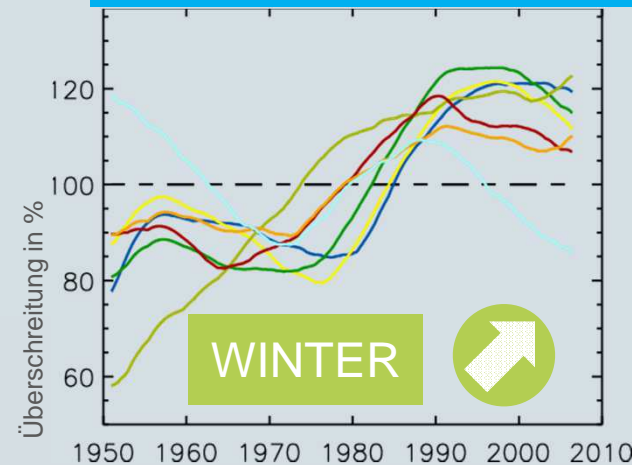
Überschreitungshäufigkeiten des 99. Perzentil für die Sommer- und Wintermonate für 7 Naturräume (Farben entsprechen der Kartendarstellung)

Tages-Niederschlagextreme



Kein eindeutiger Trend, große regionale Unterschiede

BEOBACHTUNGEN



Zunahme extremer Niederschläge für ganz Deutschland, Ausnahme Alpenrand





Starkregen

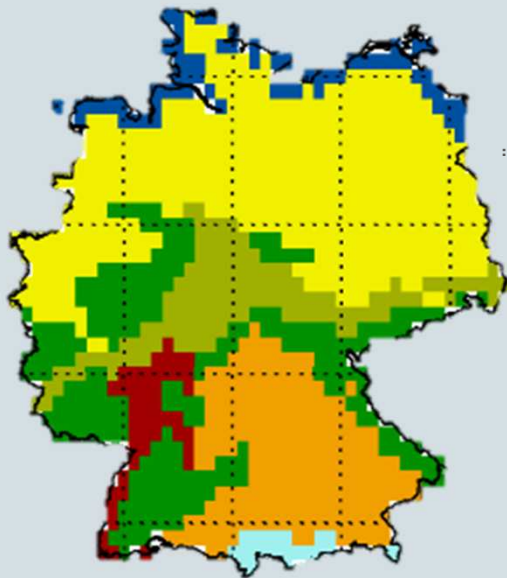


Temperatur



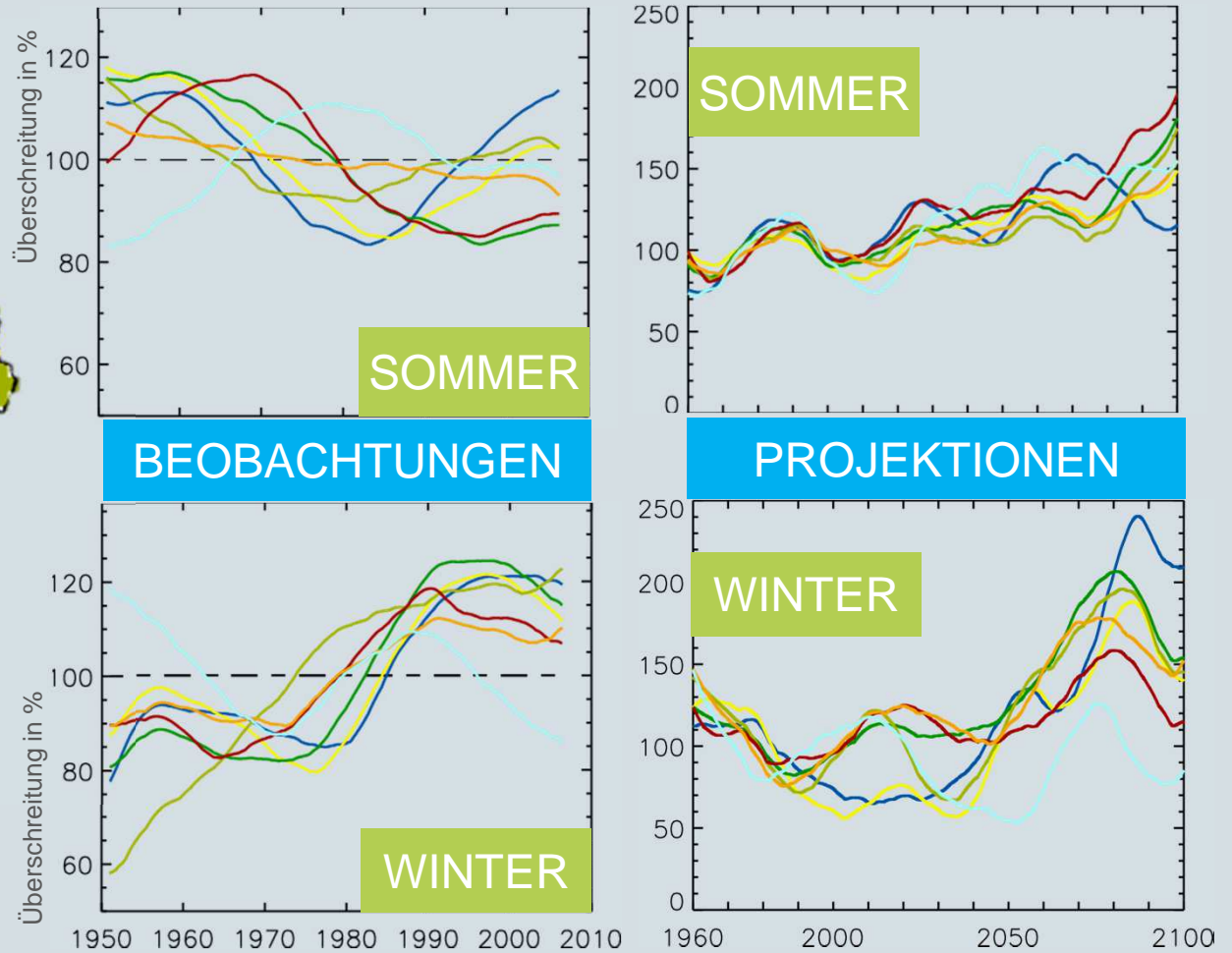
Sturm

Beobachtungen: 1951- 2005
Projektionen: 1961-2100
SRES A1B-ECHAM5-CLM



Überschreitungshäufigkeiten des 99. Perzentil für die Sommer- und Wintermonate für 7 Naturräume (Farben entsprechen der Kartendarstellung)

Tages-Niederschlagextreme





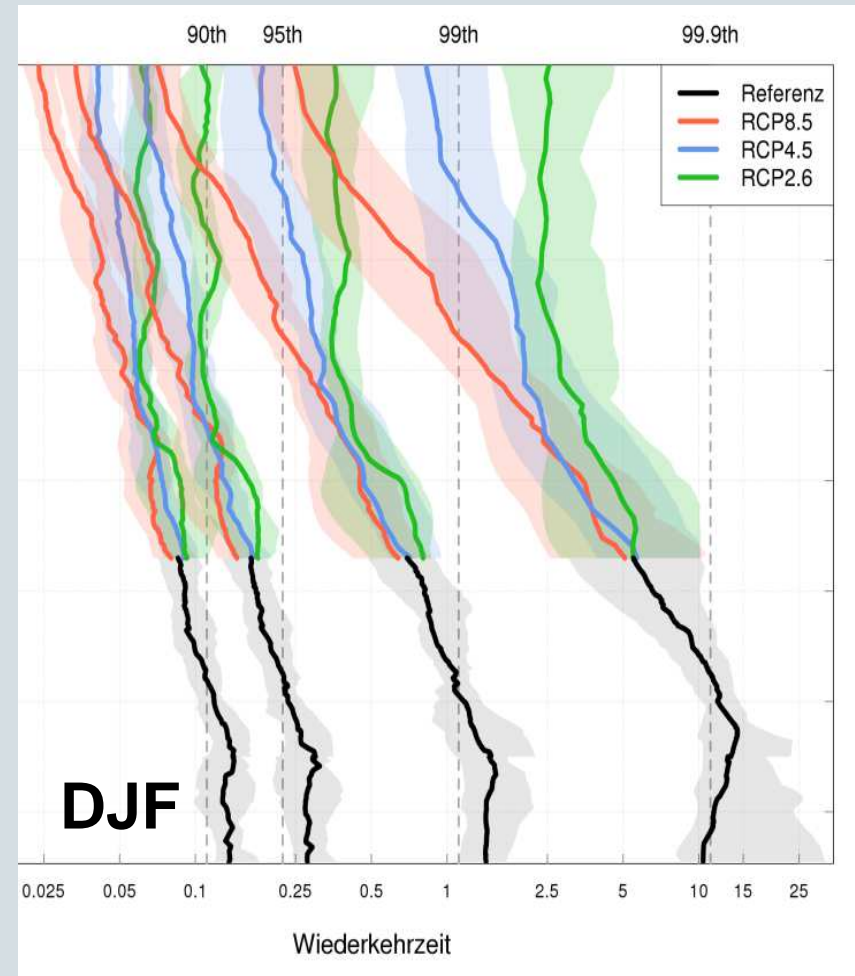
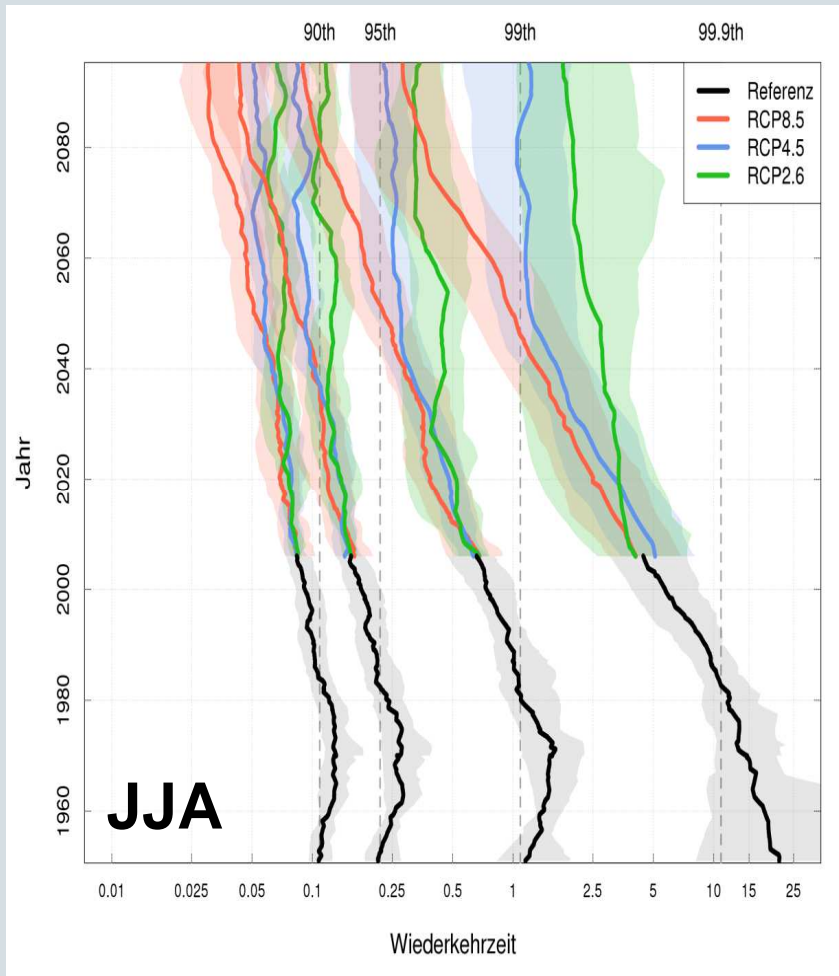
Temperatur

Projektionen





Maximumtemperatur





Starkregen

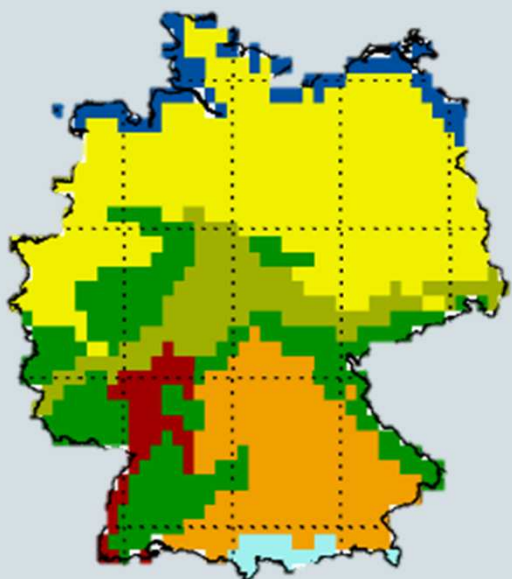


Temperatur



Sturm

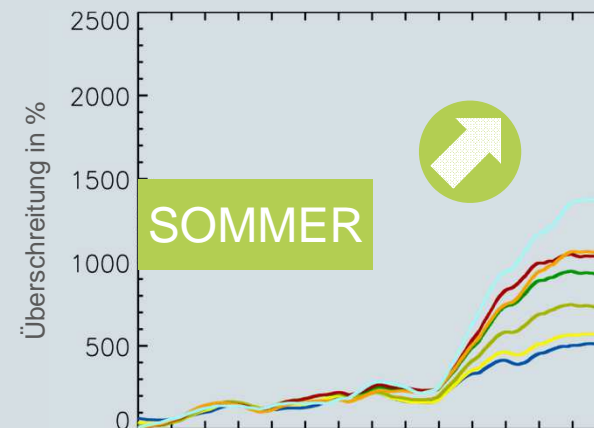
Projektionen: 1961-2100
SRES A1B-ECHAM5-CLM



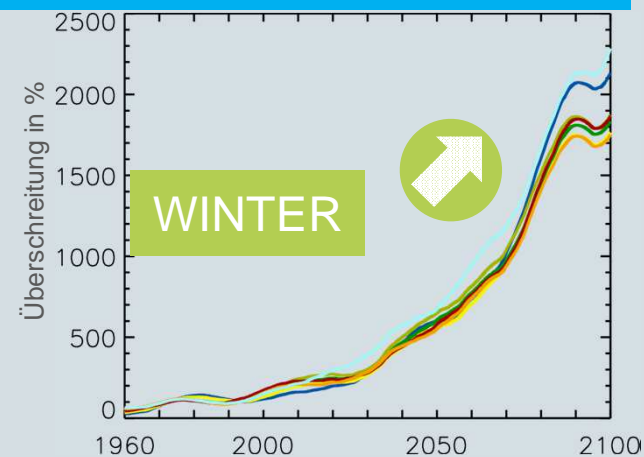
Überschreitungshäufigkeiten des 99. Perzentil für die Sommer- und Wintermonate für 7 Naturräume (Farben entsprechen der Kartendarstellung)

Temperaturextreme

Insbesondere nach 2050 Zunahme um das 5- bis 10-fache der Häufigkeiten



PROJEKTIONEN



Kontinuierliche Zunahme um das bis zu 20-fache der Häufigkeiten



Attribution von Extremereignissen

Zusammenhang von Extremereignissen und Klimawandel



Bisher: Ein einzelnes Ereignis lässt sich nicht eindeutig auf den Klimawandel zurückführen.



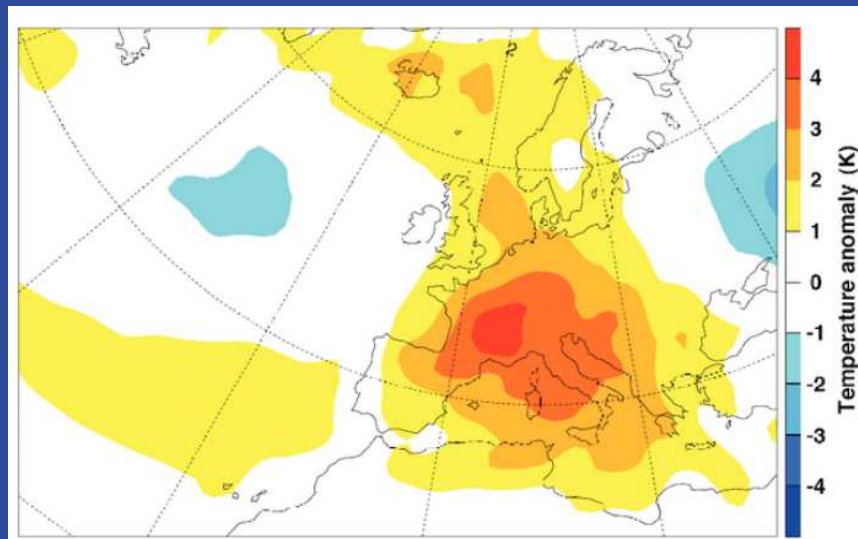
Heute: Vergleich Welt im Klimawandel und Welt ohne Klimawandel.
(Beobachtungen und Nutzung von Klimamodellen)

**Beispiel Hitzewelle
Sommer 2003**

Attribution von Extremereignissen

Zusammenhang von Extremereignissen und Klimawandel

Hitzesommer 2003



Statistische Einordnung

Quelle: Schär et al., 2004



Sturm

Projektionen





Starkregen

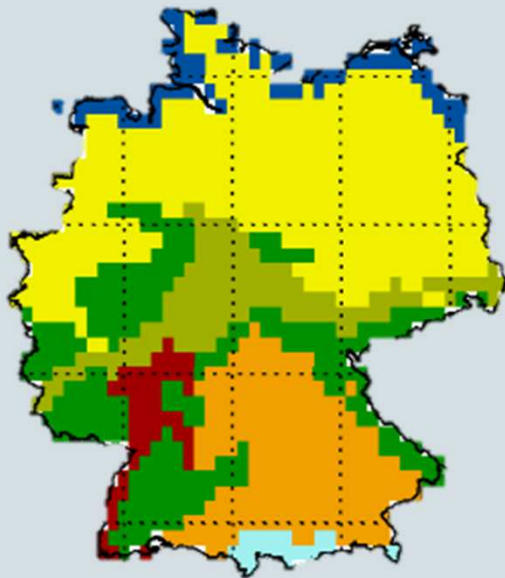


Temperatur



Sturm

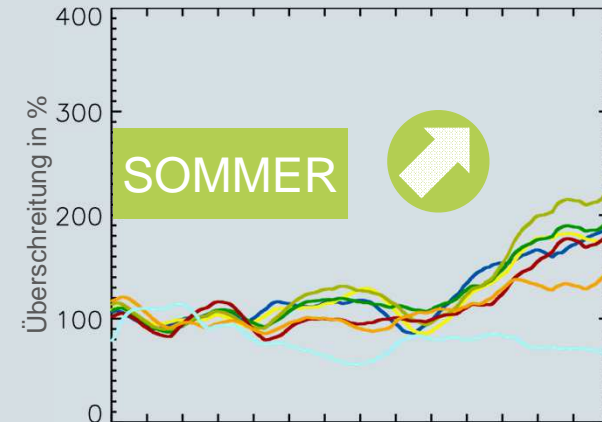
Projektionen: 1961-2100
SRES A1B-ECHAM5-CLM



Überschreitungshäufigkeiten des 99. Perzentil für die Sommer- und Wintermonate für 7 Naturräume (Farben entsprechen der Kartendarstellung)

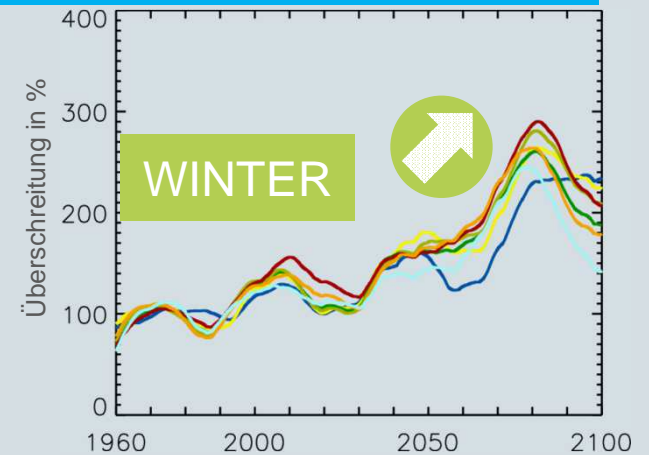
Windextreme

Deutschlandweit
Zunahme um 1,5- bis
2-fache, Ausnahme
Alpenraum



PROJEKTIONEN

Deutschlandweit
Zunahme um das
2- bis 2,5-fache,
regional
unterschiedlich



Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel



- **Der Klimawandel ist Realität** und wird sich im 21. Jahrhundert noch verstärken
- Auswirkungen des Klimawandels sind bereits jetzt **in Deutschland zu beobachteten**
- Die verfügbaren Klimamodelle lassen ein **Fortschreiten der globalen Erwärmung** als sehr wahrscheinlich annehmen
- Die Auswirkungen sich ändernder Parameter sind im Einzelnen jedoch noch mit **Unsicherheiten** behaftet
- Vermehrtes Auftreten von **Extremereignissen wahrscheinlich**
- **Anpassung an zu erwartende Auswirkungen des Klimawandels - auch unter Unsicherheiten - unerlässlich**



Albert Einstein:

Die gewaltigen Probleme
unserer Zeit können nicht
mit derselben Denkart
gelöst werden, welche jene
Probleme hervorgebracht
hat.

Vielen Dank!