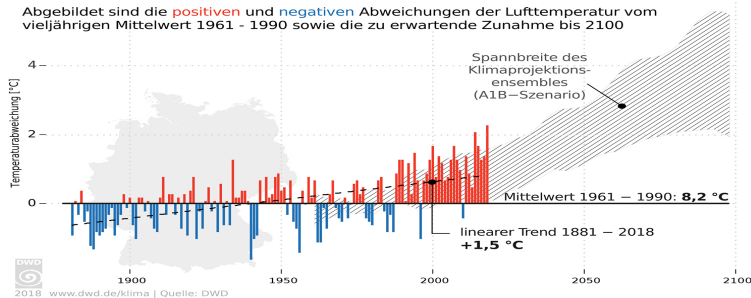


Klimawandel in Deutschland

Diagnose, Prognose & Prävention

Temperaturverlauf in Deutschland seit 1881

Abgebildet sind die **positiven** und **negativen** Abweichungen der Lufttemperatur vom vieljährigen Mittelwert 1961 - 1990 sowie die zu erwartende Zunahme bis 2100

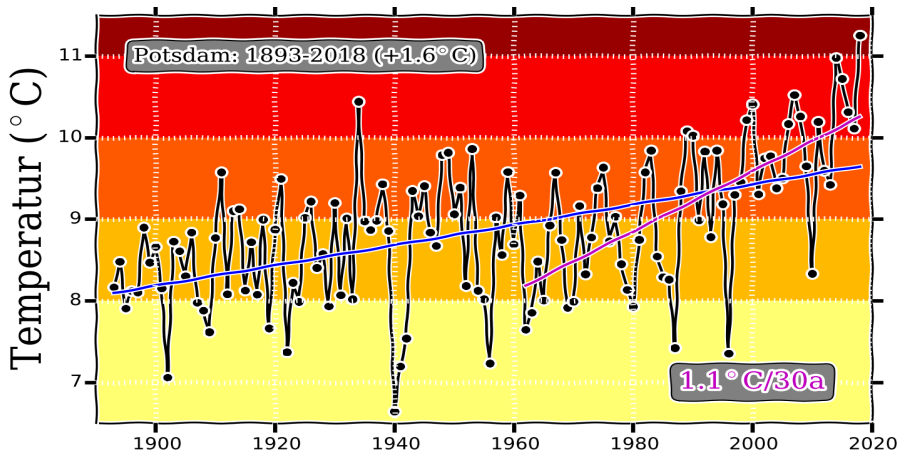


Part I

Diagnose

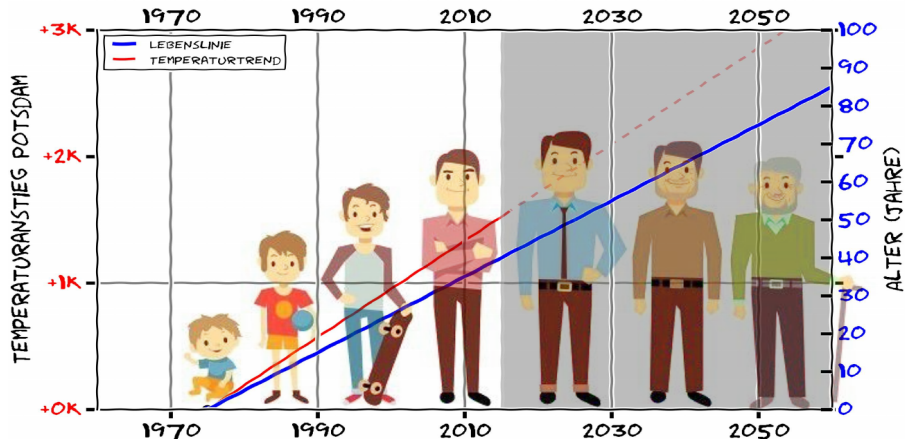


1. Vor Ort: Jahresmitteltemperatur in Potsdam



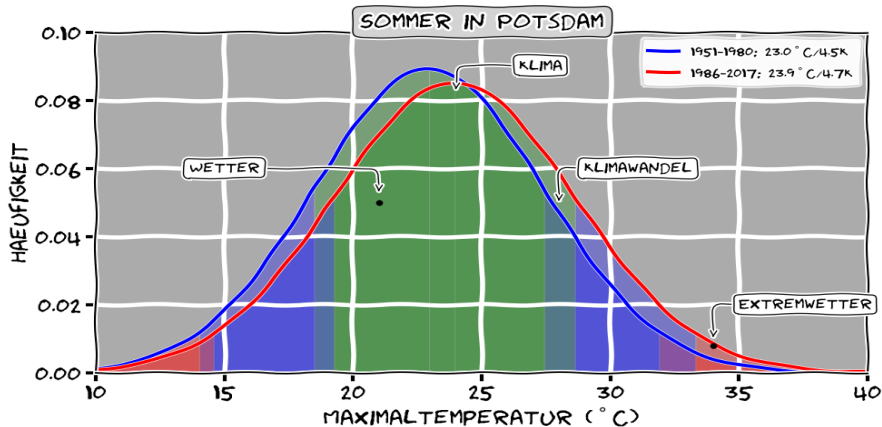
1893-2018: +1.6°C und 1961-2018: +1.1°C pro 30 Jahre

1.1. Lebenslinie



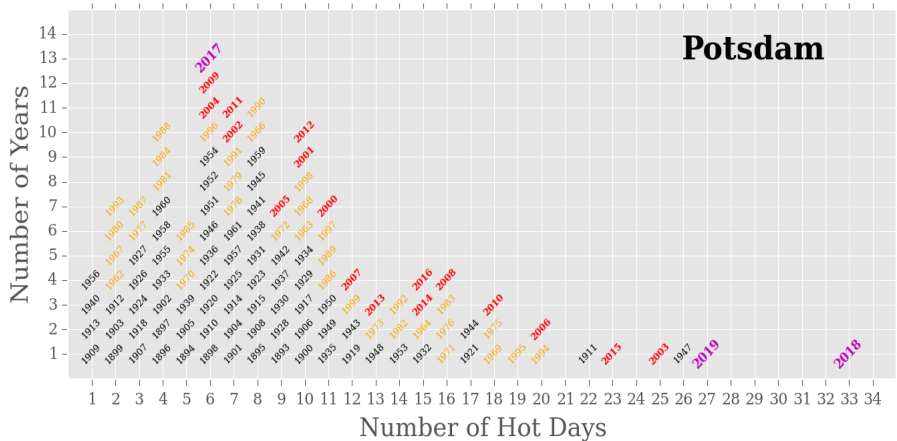
Seit meinem Geburtsjahr 1975 ist es mit 1° pro 30 Jahre um 1.4°C wärmer geworden! **Wenn ich 75 bin (2050), werden es dann 3° mehr sein!**

1.2. Häufigkeitsverteilung der Sommertemperaturen



Die Verteilung verschiebt sich zu höheren Temperaturen und wird breiter.
(Achterbahn Sommer!)

1.3. Verteilung der Hitzetage



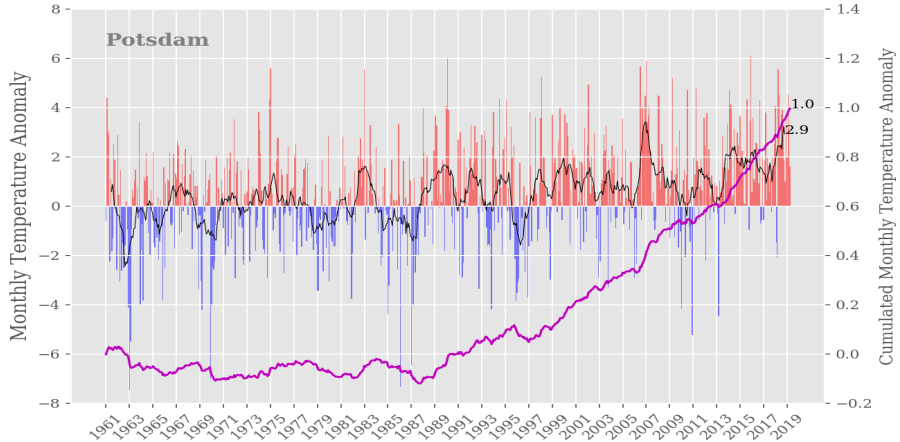
Die Jahre 2003, 1947, 2019 und 2018 zählten bislang die meisten Hitzetage.
Häufung extremer Jahre

1.4. Die 10 wärmsten Jahre

	CO2	Global	Nordhemisphäre	Europa	Deutschland	Potsdam
1	2017	2016	2016	2014	2014	2014
2	2016	2015	2015	2015	2015	2015
3	2015	2017	2017	2016	2000	2007
4	2014	2014	2007	2007	2007	1934
5	2013	2010	2010	2017	1994	2000
6	2012	2013	2005	2008	2011	2016
7	2011	2005	2014	2000	2002	2008
8	2010	2009	2013	2011	1934	1999
9	2009	1998	2002	1989	2006	2011
10	2008	2012	2011	1999	1999	2006

Die wärmsten Jahre in Deutschland müssen nicht auch global die wärmsten sein. (jedoch ohne 2018)

1.5. Kumulierte Anomalien

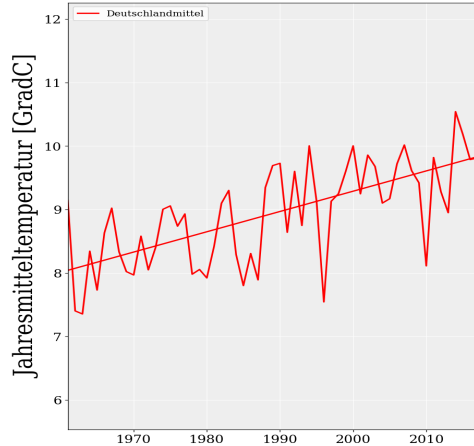
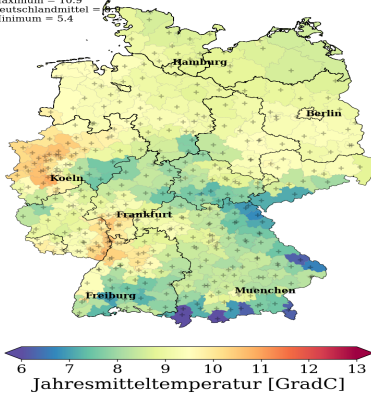


**Monatsmittel fallen heute häufiger wärmer aus als noch in den 70er Jahren.
Folge, die Summe über alle Anomalien steigt an!**

2. Deutschland: Jahresmitteltemperatur

Beobachtung_Jahresmitteltemperatur_1961-2017_Zeitreihe

Maximum = 10.9
Deutschlandmittel = 8.9
Minimum = 5.4

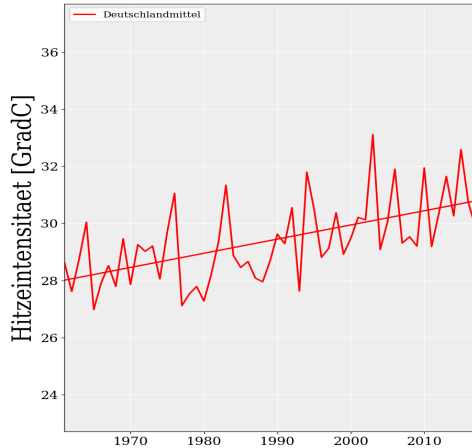
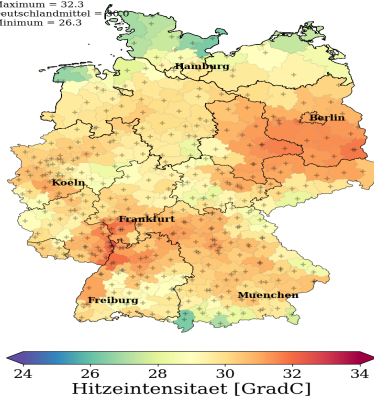


1961: 8.1°C und 2017: 9.8°C ($\Delta = +1.7^\circ\text{C}$)

2.1. Deutschland: Hitzeintensität

Beobachtung_Hitzeintensitaet_1961-2017_Zeitreihe

Maximum = 32.3
Deutschlandmittel = 28.0
Minimum = 26.3



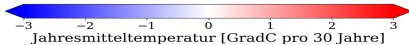
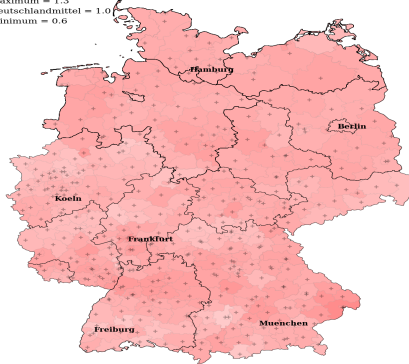
3. heißeste Tag im Jahr: 1961: 28.0°C und 2017: 30.8°C ($\Delta = +2.8^\circ\text{C}$)

Extreme nehmen stärker zu als Mittelwerte!

2.2. Deutschland: $\Delta I / \Delta T$

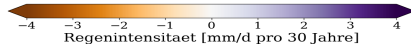
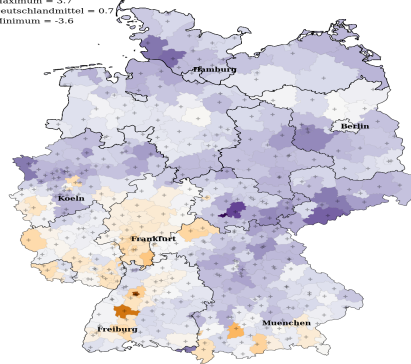
Beobachtung_Jahresmitteltemperatur_1961-2017_Trend

Maximum = 1.3
Deutschlandmittel = 1.0
Minimum = 0.6



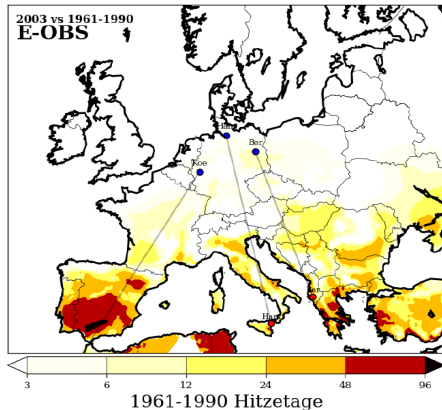
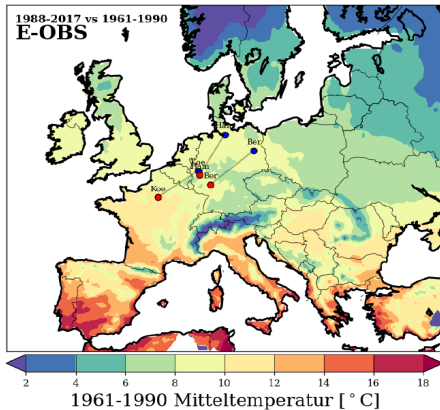
Beobachtung_Regenintensitaet_1961-2017_Trend

Maximum = 3.7
Deutschlandmittel = 0.7
Minimum = -3.6



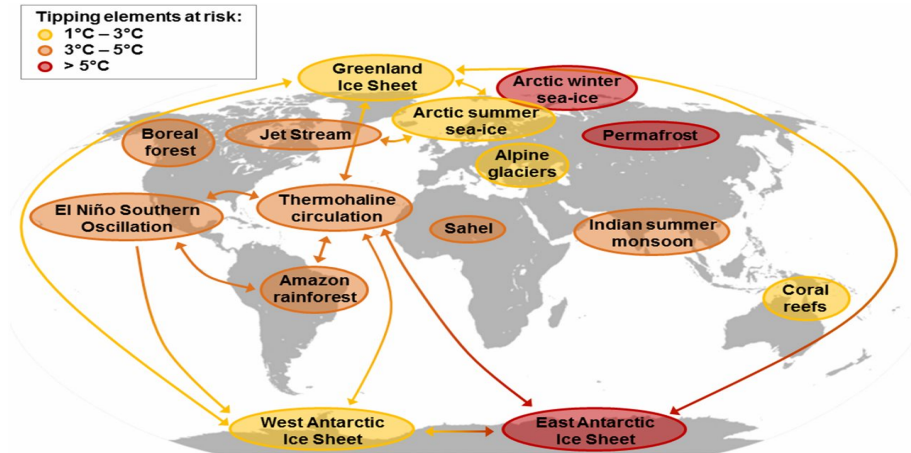
Pro 1°C Erwärmung bis zu 7% intensiverer Regen
Einzelereignisse können Intensiver ausfallen!

2.3. Deutschland: Verschiebungen



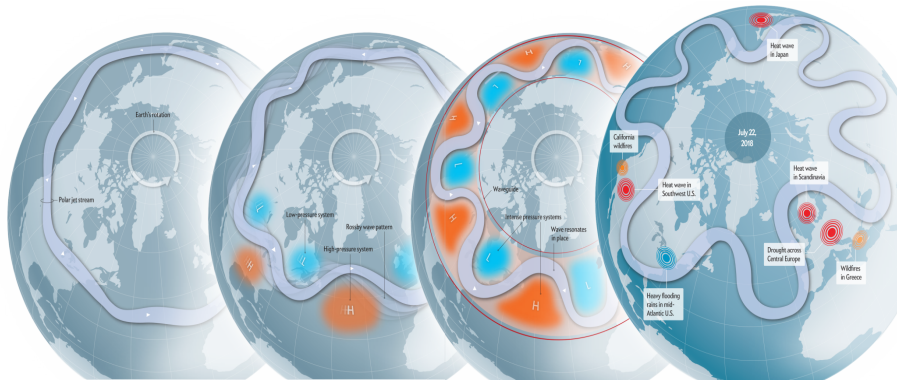
**Das heutige Klima von Berlin, entspricht dem Klima von Freiburg in den 70ern.
Die Sommer 2003 in Deutschland entsprach in etwa einem mittleren Sommer in
der Mittelmeerregion in den 80ern!**

3. Kippelemente im Klimasystem



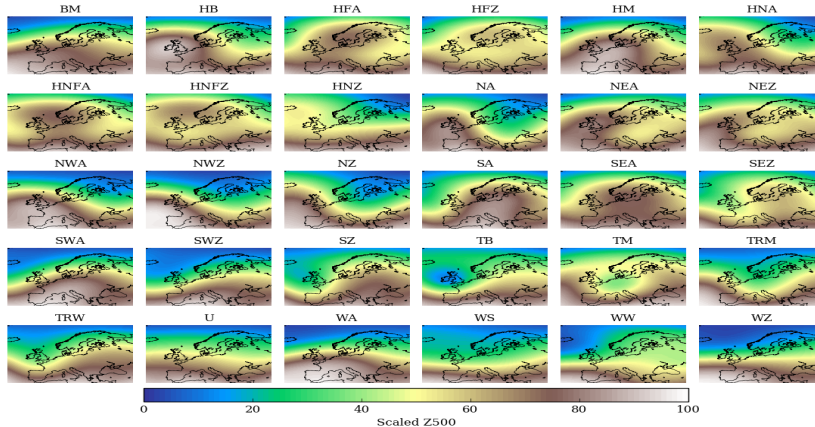
Selbst bei einer Stabilisierung des Klimas unter 2 Grad, wird sich z.B. die Klimadynamik verändern, Gletscher schmelzen und der Meeresspiegel ansteigen.

4. Jetstream



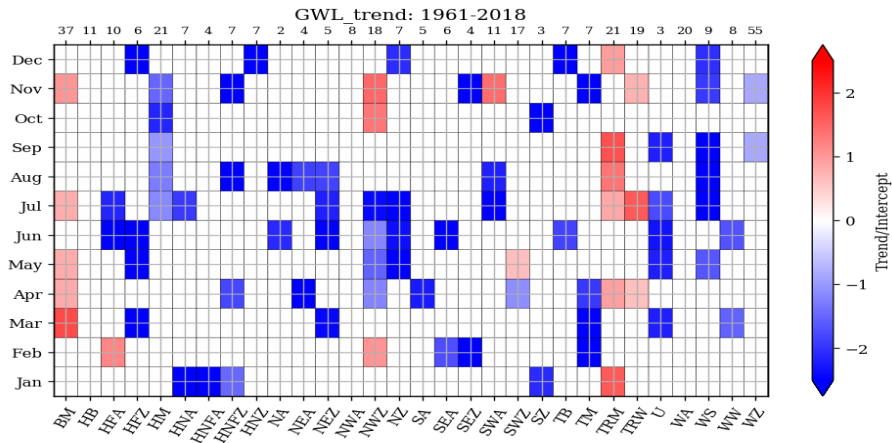
Riesenwellen im Jetstream können unter Klimawandel häufiger stehenbleiben. Aus den ersten sonnigen Tagen kann sich dann eine Hitzewelle aufbauen oder aus dem ersehnten Regen eine Hochwassersituation entstehen.

5. Großwetterlagen über Europa: Formen



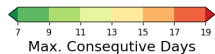
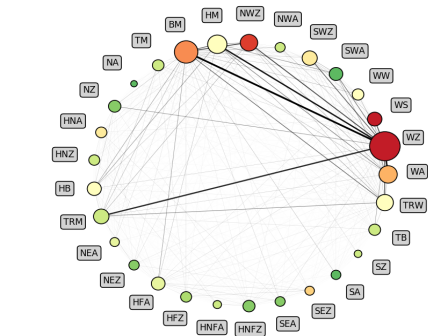
30 Typen beschreiben die Form der Zirkulation bzw. Luftdruckkonstellationen: **z.B. HM (Hoch über Mitteleuropa), TM (Tief über Mitteleuropa).**

5.1. Großwetterlagen über Europa: Trends

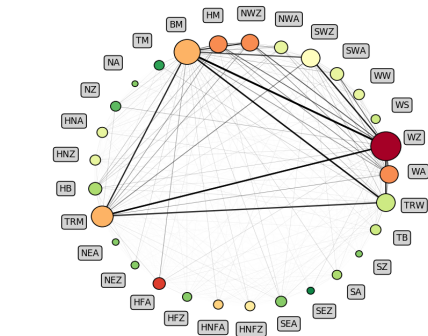


Viele der Großwetterlagentypen zeigen keinen signifikanten Trend oder eher abnehmend. Jedoch zwei Typen mit starkem Kontrast zueinander (BM & TRM) zeigen vor allem im Sommerhalbjahr stärkere Dominanz.

5.2. Großwetterlagen über Europa: Sequenzen



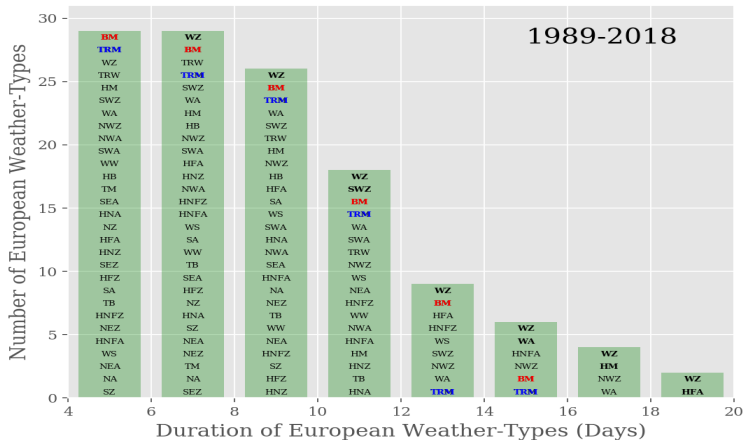
1961-1990



1989-2018

Neue dominierende Wetterlagentypen und Abfolgen!

5.3. Großwetterlagen über Europa: Andauern

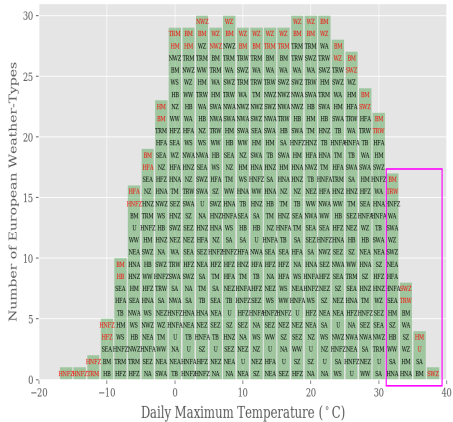


Westwind Wetterlagen (WZ) sind die häufigsten und die am längsten anhalten können.
Hält BM länger an droht eine Hitzewelle. Hält TRM länger an Dauerregen.

5.4. Großwetterlagen über Europa: Extreme

Temperatur

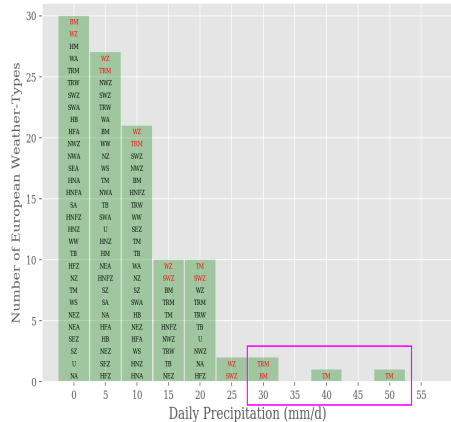
Dynamical Drivers for local Temperature Distribution (1987-2016)



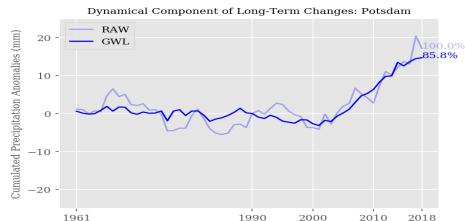
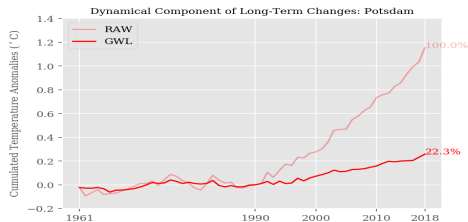
SWZ, HM, BM, TRW, SZ

Niederschlag

Dynamical Drivers for local Precipitation Distribution (1987-2016)

**TRM, TM, SWZ**

6. Dynamische Veränderungen



Long-term monthly mean Weather-Type Characteristics: Temperatur (°C)

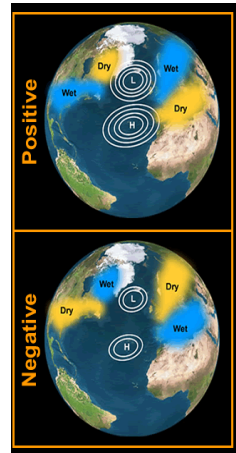
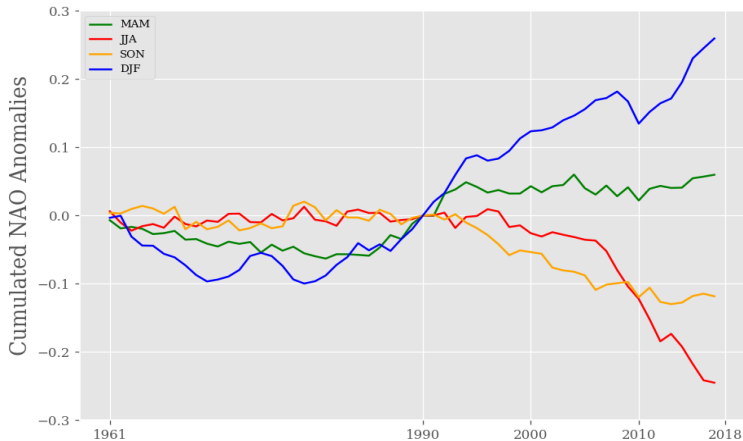
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
JAN	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0
FEB	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0
MAR	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0
APR	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0
MAY	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0
JUN	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0
JUL	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0
AUG	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0
SEP	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0
OCT	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0
NOV	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0
DEC	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0

Long-term monthly mean Weather-Type Characteristics: Precipitation (mm/d)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
JAN	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
FEB	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
MAR	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
APR	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
MAY	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
JUN	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
JUL	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
AUG	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
SEP	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
OCT	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
NOV	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
DEC	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

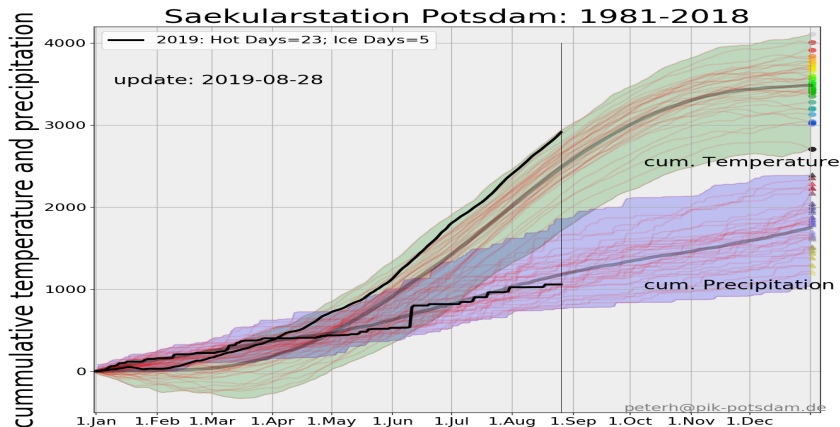
Anteil der dynamischen Veränderungen an beobachteten Trends von jahreszeitlichen Temperaturen und Niederschlagssummen.

6.1. Dynamische Veränderungen: Nordatlantische Oszillation



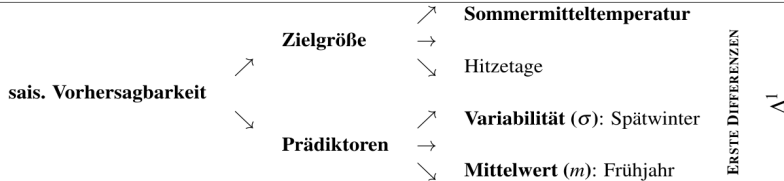
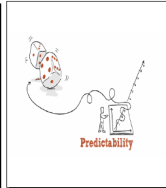
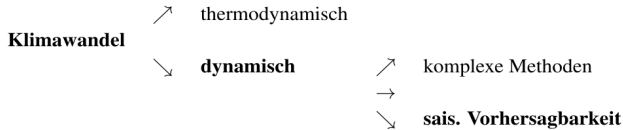
Vor allem im Sommer dominiert häufiger die negative Phase der NAO. Diese ist assoziiert mit extremeren Großwetterlagen über Europa.

7. Witterungsverläufe



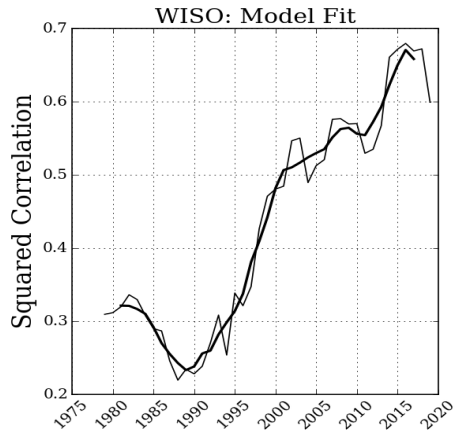
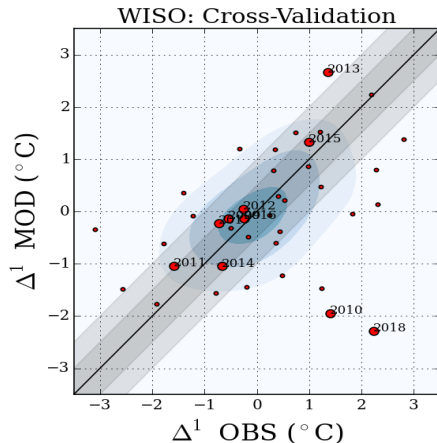
Aktuelle Summenverläufe von Temperatur und Niederschlag im Vergleich zu anderen Jahren. *Bessere Einordnung der aktuellen Situation.*

8. Saisonale Vorhersagbarkeit



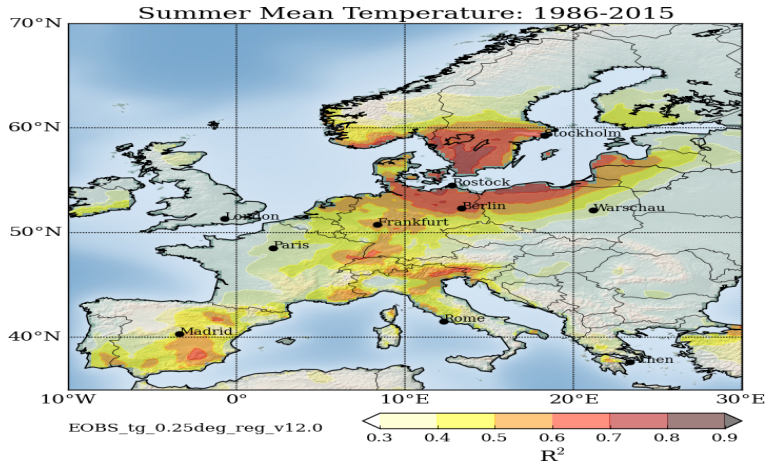
Diagnostisches Tool zur Identifikation von Zirkulationsänderungen. (Verhalten der Jahreszeiten zueinander).

8.1. Saisonale Vorheragbarkeit: Validierung



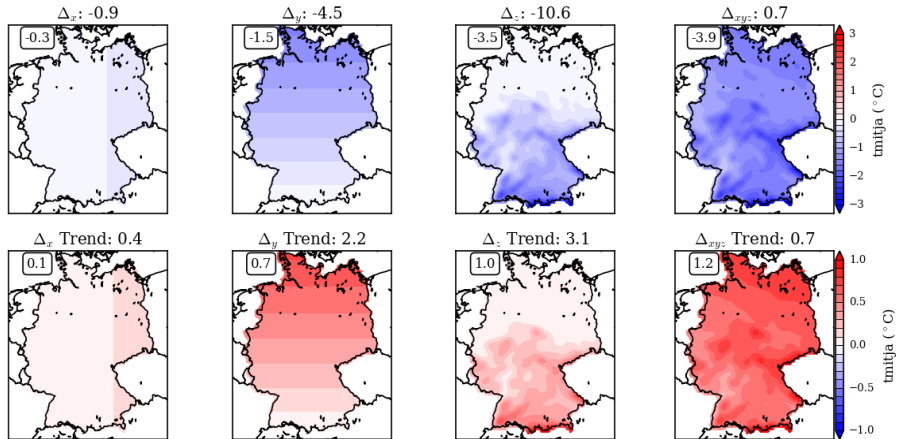
In den letzten Jahrzehnten hat sich der Zusammenhang zwischen der Winternvariabilität und der Sommermitteltemperatur fast sprunghaft verändert.

8.2. Saisonale Vorheragbarkeit: Muster



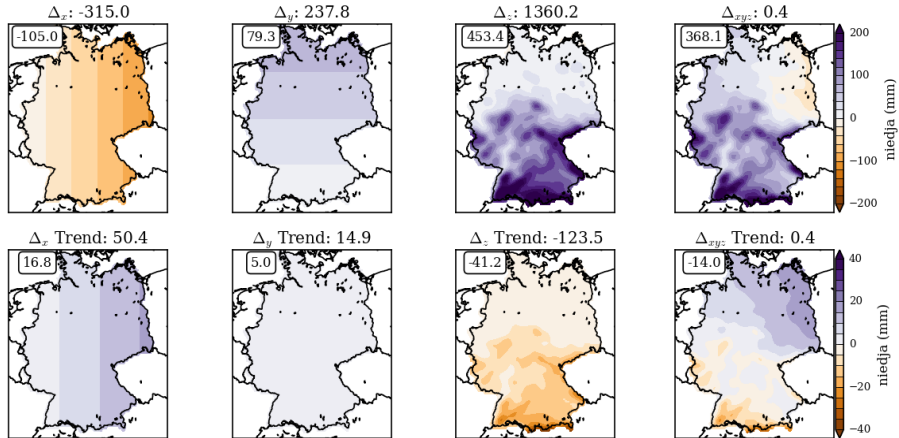
**Diese Veränderung ist vor allem über dem Ostseeraum stark ausgeprägt.
Grund dafür sind neue dominierende Wetterlagen.**

9. Regionale Unterschiede: Jahresmitteltemperatur



Zerlegung der Jahreswerte nach Himmelsrichtungen (longitude, latitude, altitude): **Norden kühler als Süden, aber erwärmt sich stärker.**

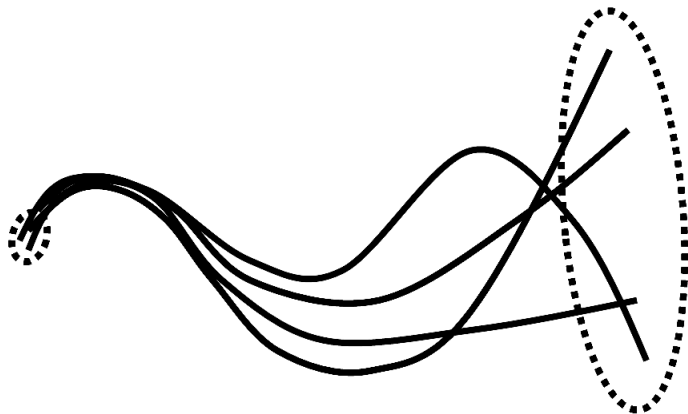
9.1. Regionale Unterschiede: Jahresniederschlag



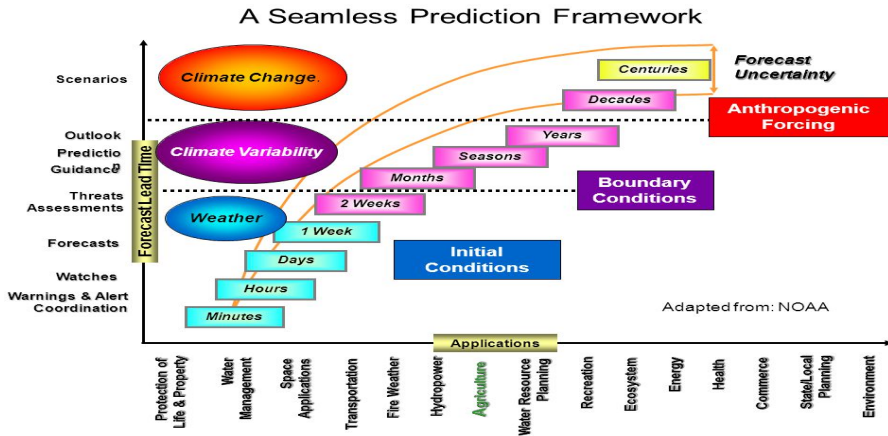
Zerlegung der Jahreswerte nach Himmelsrichtungen (longitude, latitude, altitude): **Osten trockener als Westen, aber wird nicht noch trockener!**

Part II

Prognose



10. Eine nahtlose Vorhersagekette

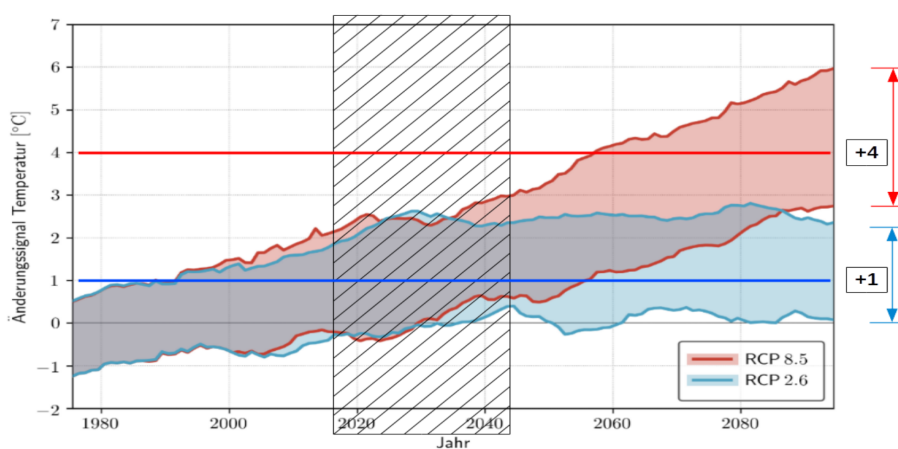


Vorhersage von Wetter, Klimavariabilität, Klimawandel

11. Regionale Klimamodellsimulation: 1961-2100



12. Klimaprojektionen für Deutschland

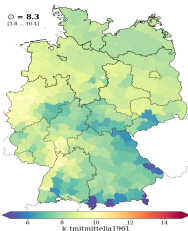


Klimaschutz (+1°C) oder Weiter-wie-bisher (+4°C).

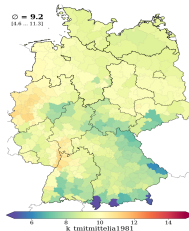
12.1. Klimaprojektionen für Deutschland: Karten

Jahresmitteltemperatur

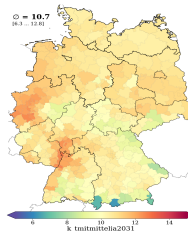
1961-1990



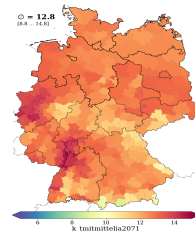
1981-2010



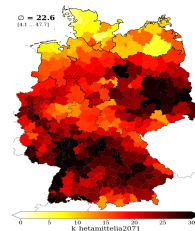
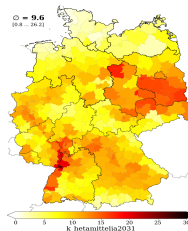
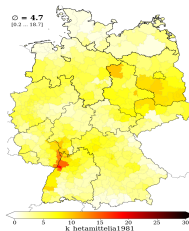
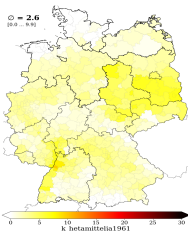
2031-2060



2071-2100



Hitzetage



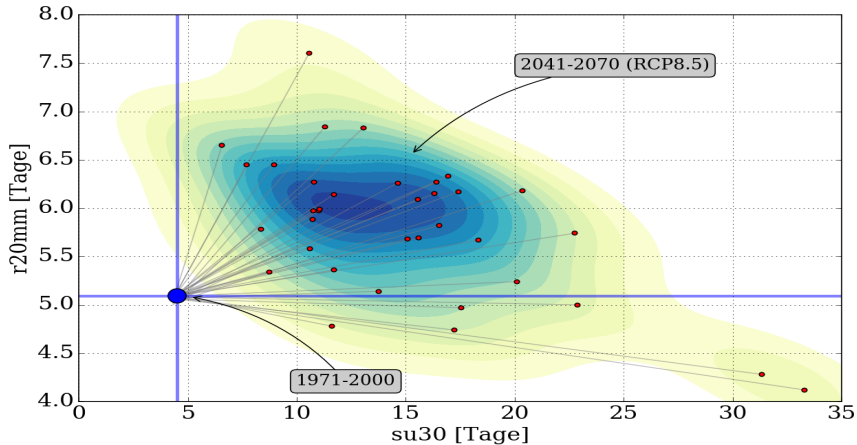
8.3°C / 2.6 d

+0.9°C / +2.1 d

+2.4°C / +7.0 d

+4.5°C / +20.0 d

12.2. Klimaprojektionen für Deutschland: Extreme



Anzahl der Starkregentage über der Anzahl der Hitzetage.
Richtungseinigkeit und Ausprägungsunsicherheit

12.3. Klimaprojektionen für Deutschland: 2071-2100 vs 1971-2000

Klimaparameter	“Ist”	“Klimaschutz”	“Weiter-wie-bisher”
Jahresmitteltemperatur	8.0°C	+1.0°C	+3.8°C
Hitzetage	4.3 Tage	+3.7 Tage	+19.4 Tage
Eistage	24.8 Tage	-7.2 Tage	-18.9 Tage
Starkregentage	4.9 Tage	+0.3 Tage	+1.1 Tage
Länge d. Wachstumsperiode	247 Tage	+21 Tage	+67 Tage
Trockentage	236 Tage	+1.7 Tage	+9.1 Tage
Sommerniederschlag	2.9 mm/d	-3.8 %	-12.6 %
Extremniederschlag	55.5 mm/d	+ 5.4 mm/d	+33.6 mm/d

Klimaindikatoren: 4-fach Hitzetage, kaum noch Eistage, 2 Monate längere Wachstumsperiode, mehr Trockentage, Intensiverer Starkregen

Part III

Prävention



13. Klimafolgen: Sektoren

Wasser: Hoch- und Niedrigwasser, Grundwasserneubildung, Gesamtabfluss, Bodenfeuchte, Wasserbilanz (Pegel, Jährlichkeiten)

Agrar: witterungsbedingte Ertragsschwankungen, Spätfrost, Wein, Winterweizen, Silomais

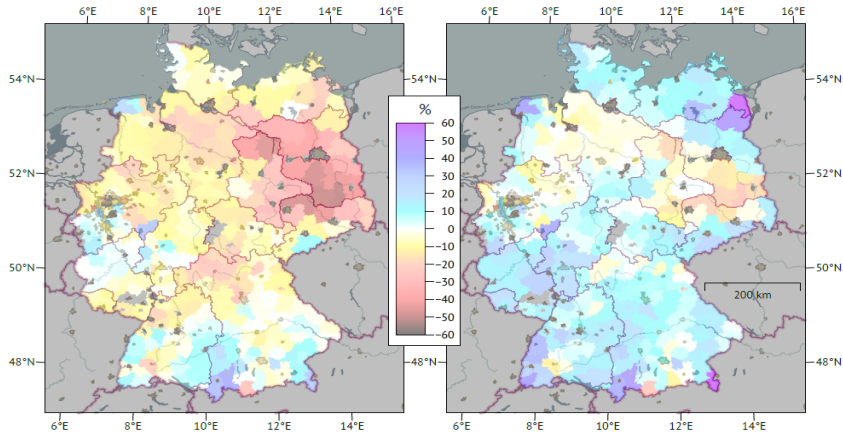
Forst: Trockenstress, Waldbrandrisiko, Biomasseproduktion

Tourismus: Sommertage, Badetage, Extremwettertage

Gesundheit: Schwüle, Hitzetage (Mortalität)

Energie: Photovoltaikpotential (Windkraftpotential, Wasserkraftpotential)

14. Witterungsbedingte Ertragsprognose: 2018



Vergleich: 2018 gegenüber langjährigem Mittel (links) und gegenüber 2003 (rechts)

Part IV
Ende



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!