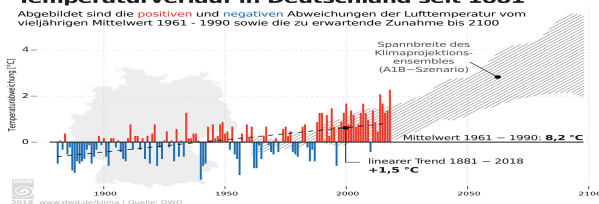


# Regionaler Klimawandel in Europa, Deutschland und vor Ort:

## Diagnose, Prognose & Folgen

### 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

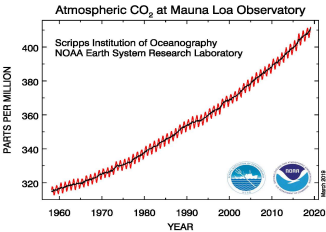


P. Hoffmann

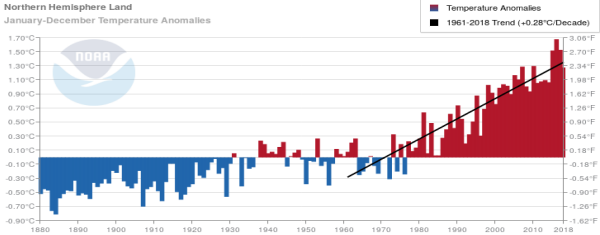
# Die Welt von heute



CO2 - Konzentration

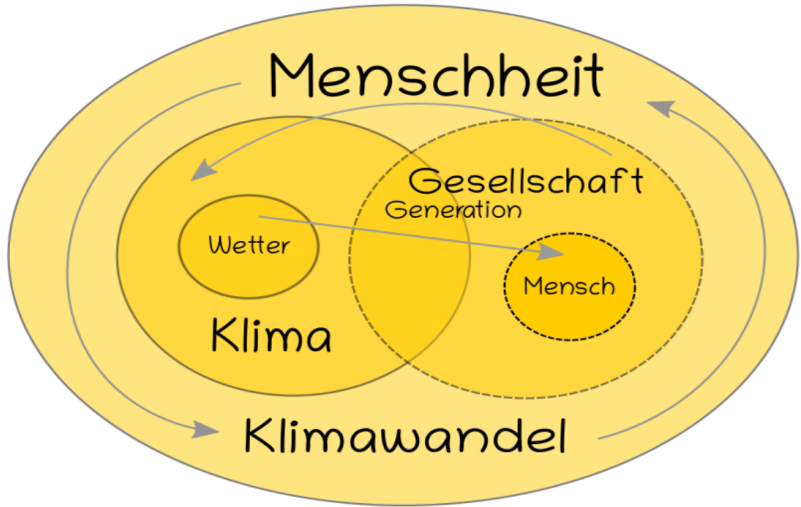


Temperatur Kontinente Nordhemisphäre



# Problematik

Mensch - Gesellschaft - Menschheit



Wetter - Klima - Klimawandel

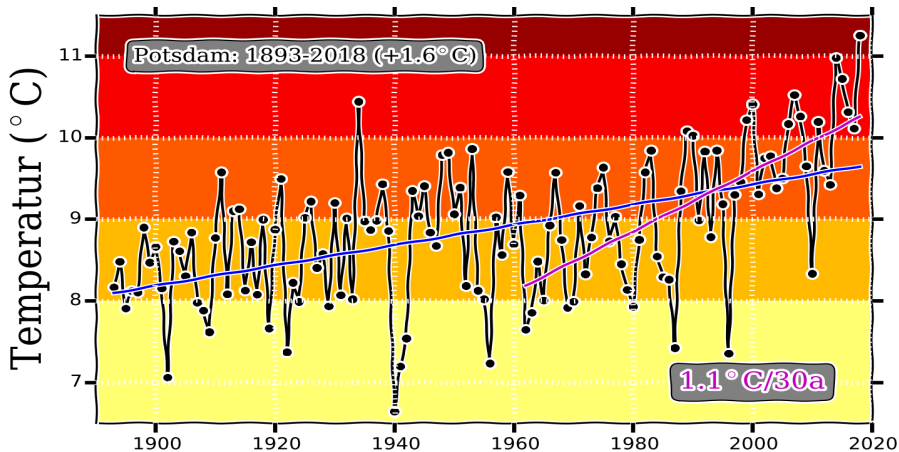
# Part I

# Diagnose



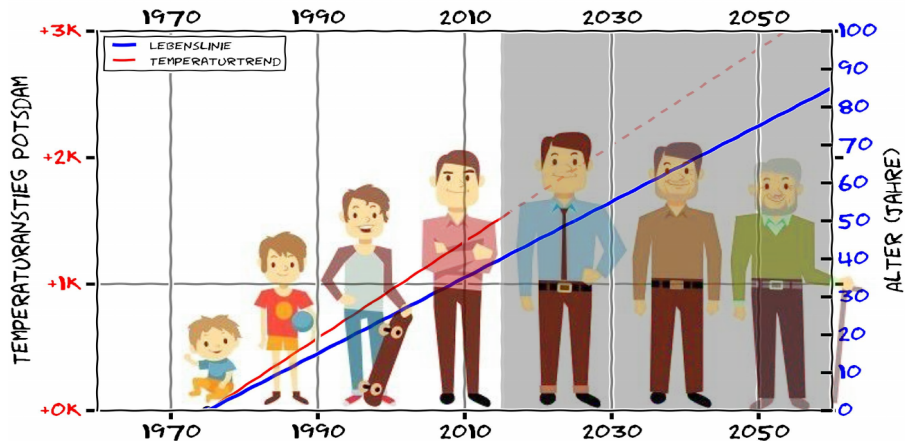


# 1. Vor Ort: Jahresmitteltemperatur in Potsdam



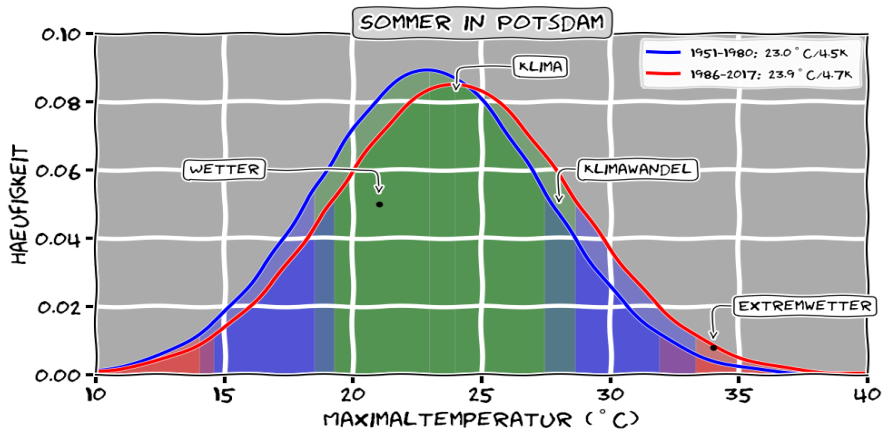
1893-2018: +1.6 $^{\circ}\text{C}$  und 1961-2018: +1.1 $^{\circ}\text{C}$  pro 30 Jahre

## 1.1. Lebenslinie



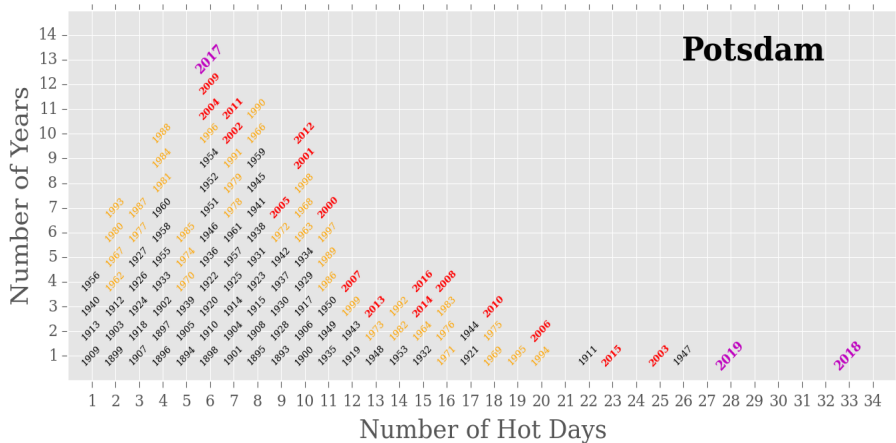
Seit meinem Geburtsjahr 1975 ist es mit  $1^\circ$  pro 30 Jahre um  $1.4^\circ\text{C}$  wärmer geworden! **Wenn ich 75 bin (2050), werden es dann  $3^\circ$  mehr sein!**

## 1.2. Häufigkeitsverteilung der Sommertemperaturen



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

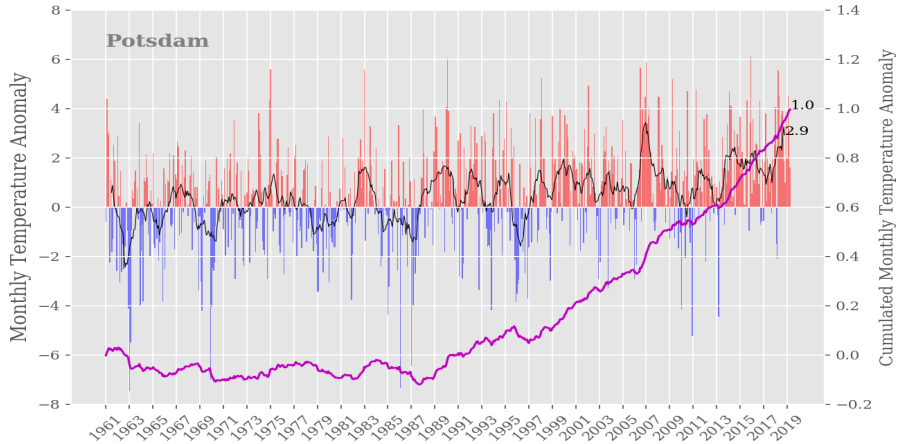
### 1.3. Verteilung der Hitzetage



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

**Häufung extremer Jahre**

## 1.4. Kumulierte Anomalien

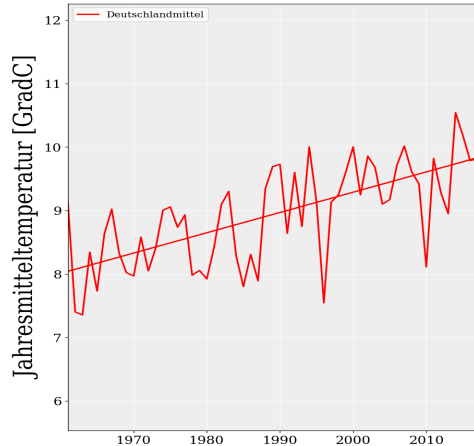
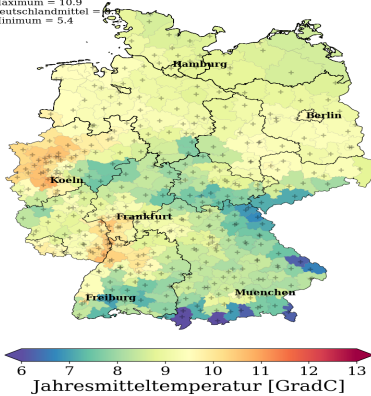


**Monatsmittel fallen heute häufiger wärmer aus als noch in den 70er Jahren.  
Folge, die Summe über alle Anomalien steigt an!**

## 2. Deutschland: Jahresmitteltemperatur

Beobachtung\_Jahresmitteltemperatur\_1961-2017\_Zeitreihe

Maximum = 10.9  
Deutschlandmittel = 9.8  
Minimum = 5.4

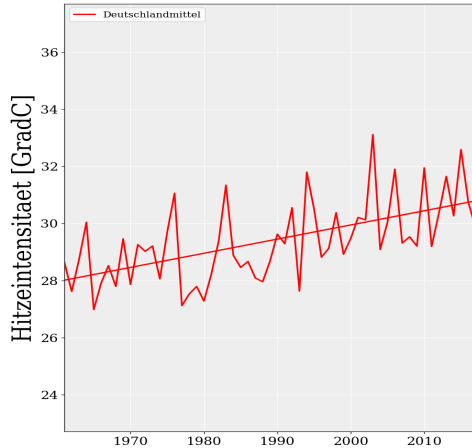
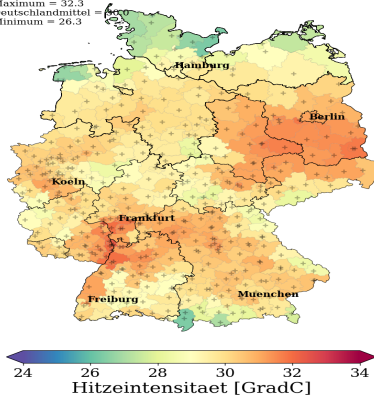


1961: 8.1°C und 2017: 9.8°C ( $\Delta = +1.7^\circ\text{C}$ )

## 2.1. Deutschland: Hitzeintensität

Beobachtung\_Hitzeintensitaet\_1961-2017\_Zeitreihe

Maximum = 32.3  
Deutschlandmittel = 29.0  
Minimum = 26.3



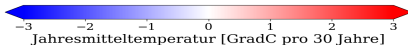
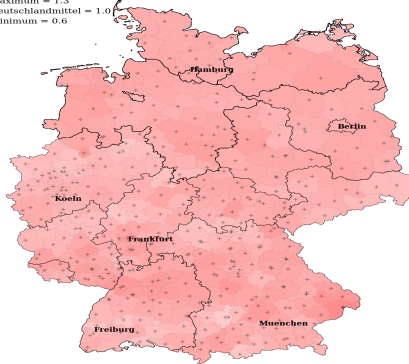
**3. heißeste Tag im Jahr: 1961: 28.0°C und 2017: 30.8°C ( $\Delta = +2.8^\circ\text{C}$ )**

**Extreme nehmen stärker zu als Mittelwerte!**

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

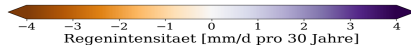
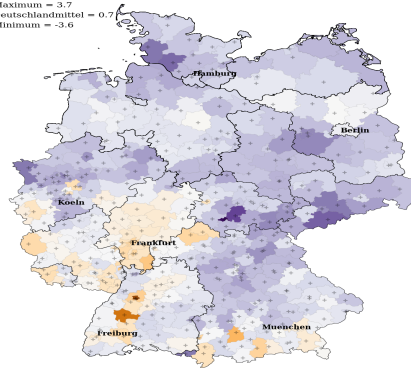
Beobachtung\_Jahresmitteltemperatur\_1961-2017\_Trend

Maximum = 1.3  
Deutschlandmittel = 1.0  
Minimum = 0.6



Beobachtung\_Regenintensitaet\_1961-2017\_Trend

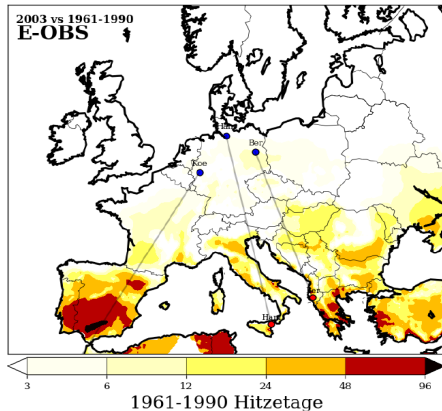
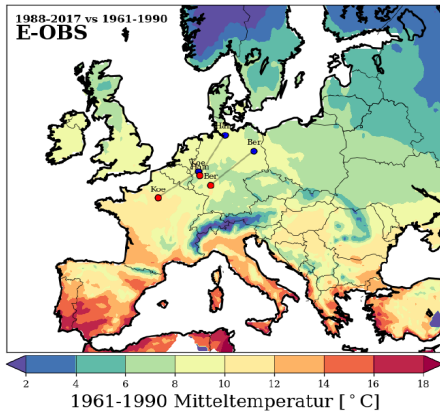
Maximum = 3.7  
Deutschlandmittel = 0.7  
Minimum = -3.6



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

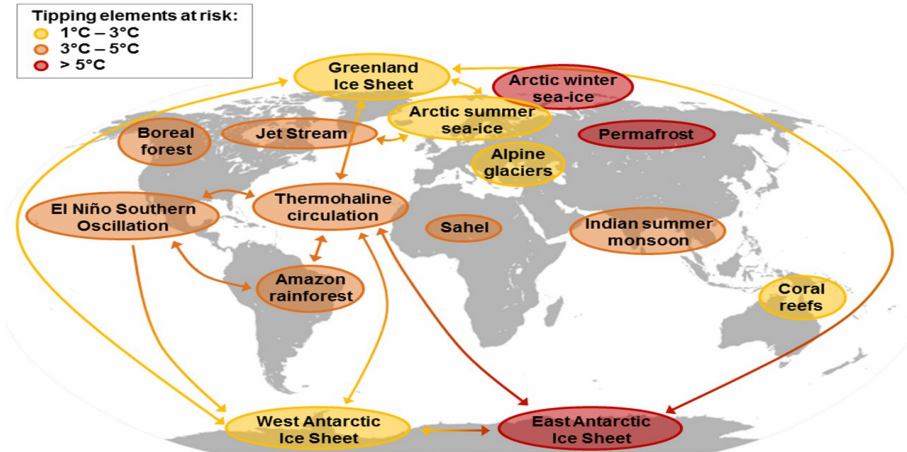


## 2.3. Deutschland: Verschiebungen



**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!**

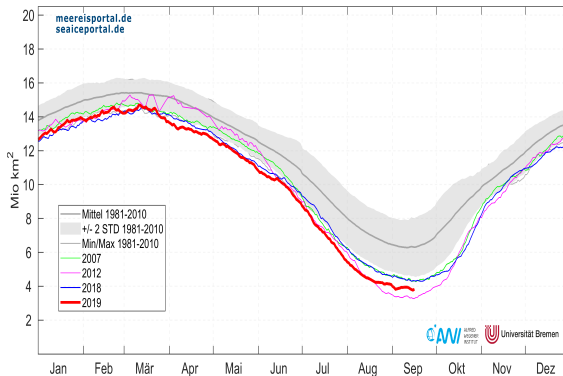
### 3. Kippelemente im Klimasystem



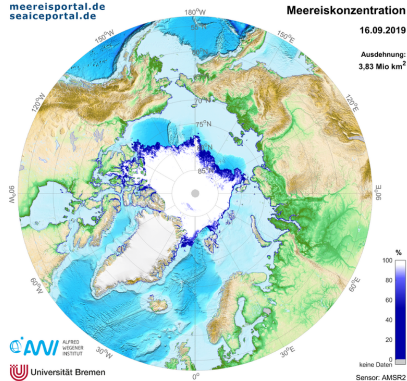
Selbst bei einer Stabilisierung des Klimas unter 2 Grad, wird sich z.B. die Klimadynamik verändern, Gletscher schmelzen und der Meeresspiegel ansteigen.

## 3.1. Arktisches Meereis

Meereis-Ausdehnung Arktis (Meereiskonzentration >15%) 16.09.2019: 3.83 Mio km<sup>2</sup>

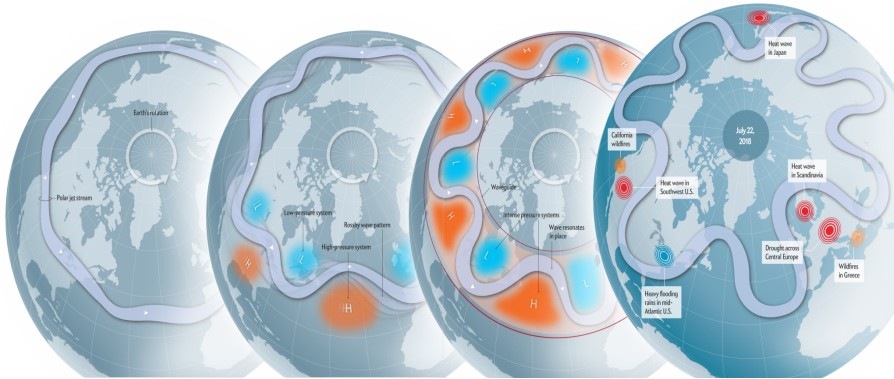


meereisportal.de  
seaiceportal.de



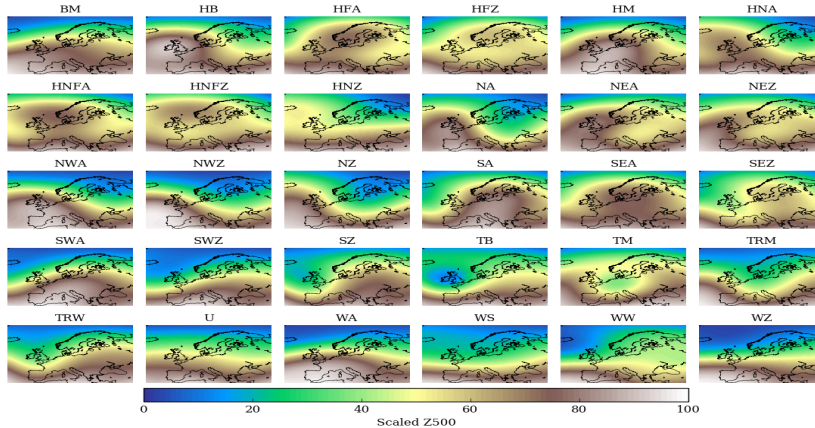
**Die sommerliche Meereis-Ausdehnung der Arktis schwindet! In 30 Jahren könnte die Arktis im Sommer (Aug-Sep) eisfrei sein.**

## 3.2. Jetstream



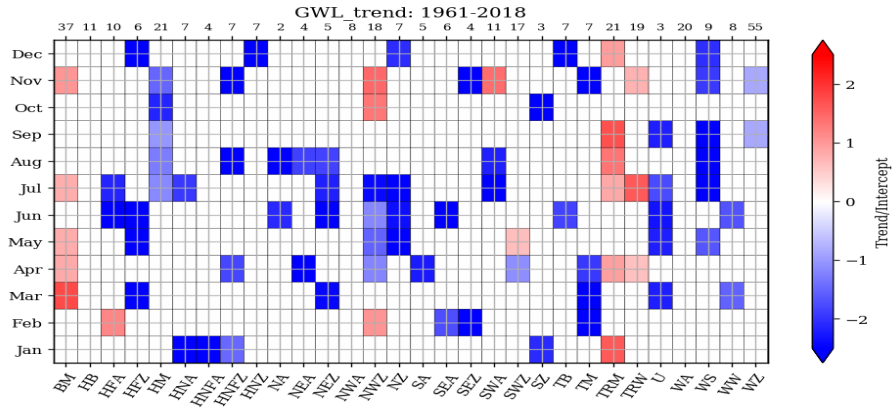
**Riesenwellen im Jetstream können unter Klimawandel häufiger stehenbleiben. Aus den ersten sonnigen Tagen kann sich dann eine Hitzewelle aufbauen oder aus dem ersehnten Regen eine Hochwassersituation entstehen. Und das an mehreren Orten gleichzeitig!**

## 4. Großwetterlagen über Europa: Formen



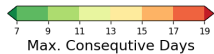
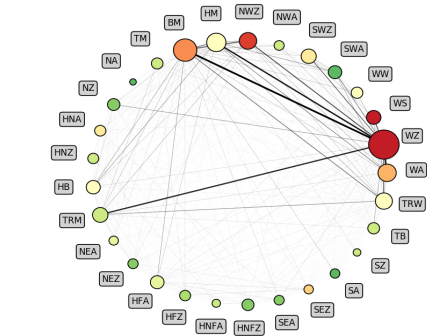
30 Typen beschreiben die Form der Zirkulation bzw. Luftdruckkonstellationen: **z.B. HM (Hoch über Mitteleuropa), TM (Tief über Mitteleuropa).**

## 4.1. Großwetterlagen über Europa: Trends

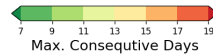
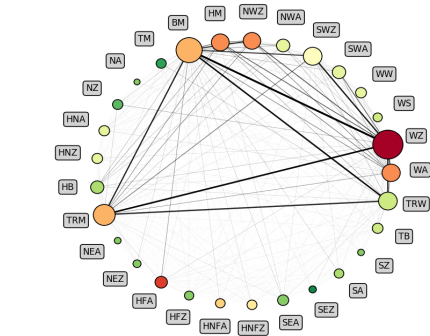


Viele der Großwetterlagentypen zeigen keinen signifikanten Trend oder eher abnehmend. Jedoch zwei Typen mit starkem Kontrast zueinander (BM & TRM) zeigen vor allem im Sommerhalbjahr stärkere Dominanz.

## 4.2. Großwetterlagen über Europa: Sequenzen



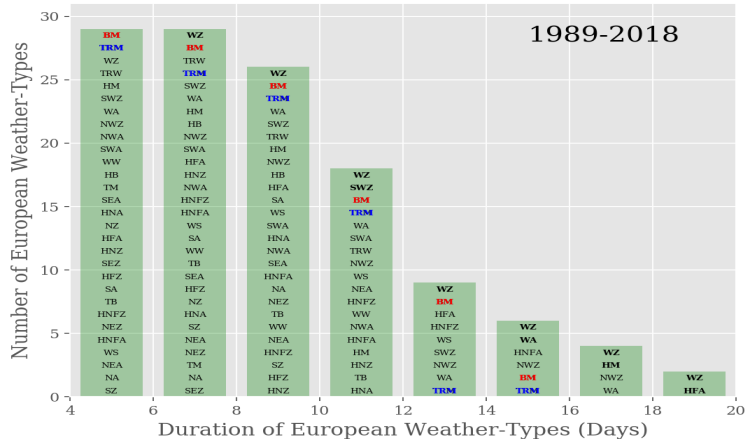
1961-1990



1989-2018

**Neue dominierende Wetteragentypen und Abfolgen!**

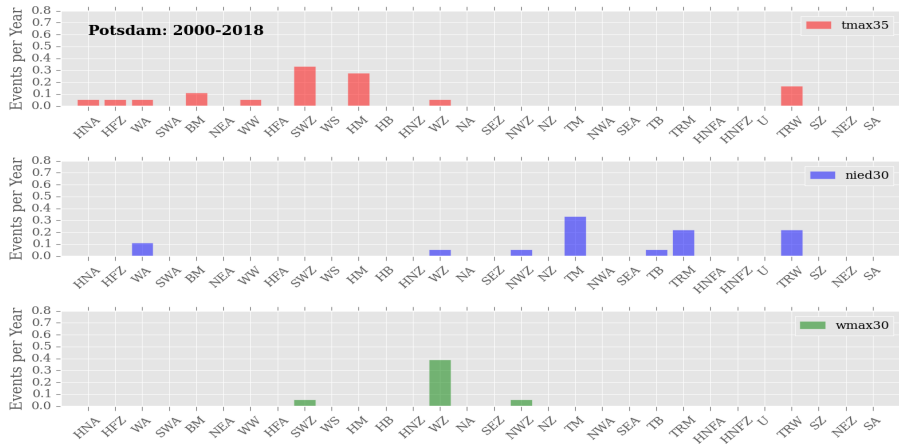
## 4.3. Großwetterlagen über Europa: Andauern



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

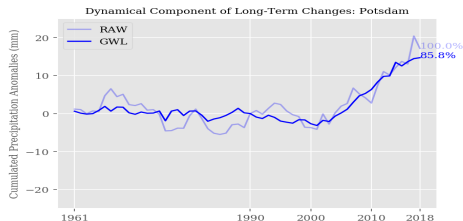
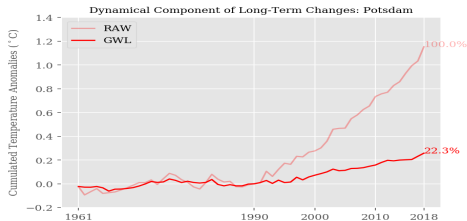


## 4.4. Großwetterlagen und Extreme



**Zuordnung von lokalem Extremwetter zu Großwetterlagen: Hitze (SWZ, HM, TRW), Starkregen (TM, TRM, TRW), Sturm (WZ).**

# 5. Dynamische Veränderungen

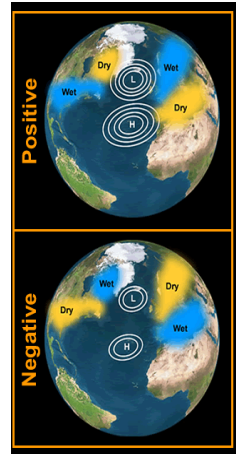
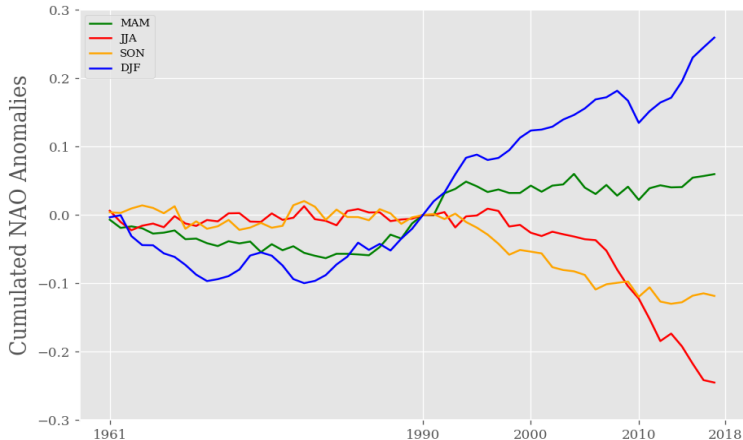


Long term monthly mean Weather-Type Characteristics: Temperatur (°C)																								
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Jan	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-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

Long term monthly mean Weather-Type Characteristics: Precipitation (mm/d)																									
	JAN												FEB												
	SA	SW	SH	NA	NS	SS	SN	SA	SW	SH	NA	NS	SS	SN	SA	SW	SH	NA	NS	SS	SN	SA	SW	SH	
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	

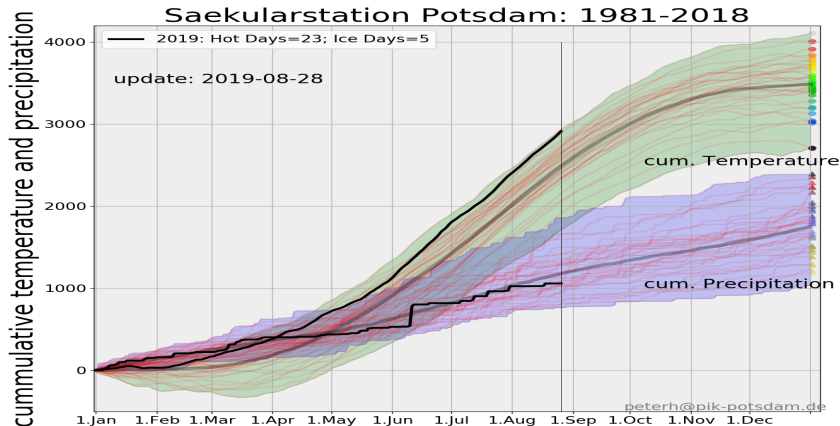
Anteil der dynamischen Veränderungen an beobachteten Trends von jahreszeitlichen Temperaturen und Niederschlagssummen.

## 5.1. Dynamische Veränderungen: Nordatlantische Oszillation



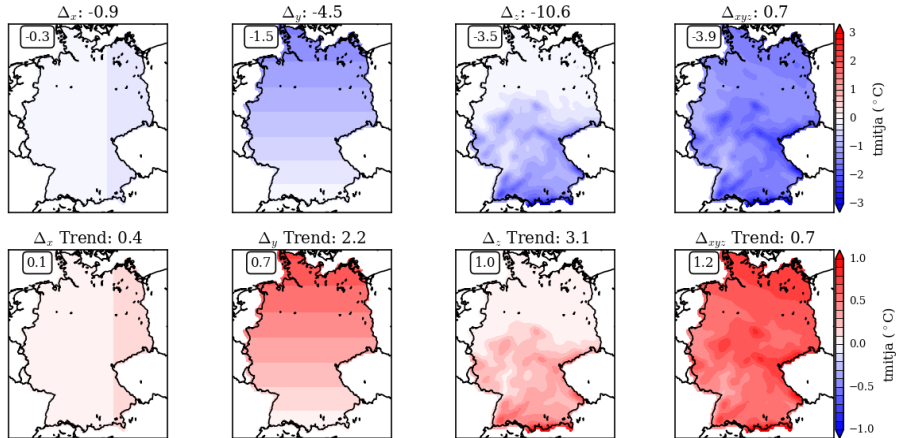
**Vor allem im Sommer dominiert häufiger die negative Phase der NAO. Diese ist assoziiert mit extremeren Großwetterlagen über Europa.**

## 6. Witterungsverläufe



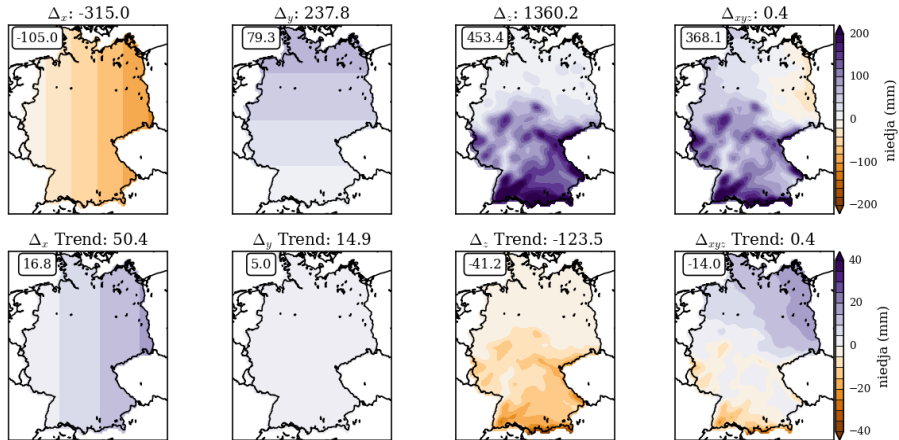
**Aktuelle Summenverläufe von Temperatur und Niederschlag im Vergleich zu anderen Jahren. *Bessere Einordnung der aktuellen Situation.***

## 7. Regionale Unterschiede: Jahresmitteltemperatur



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

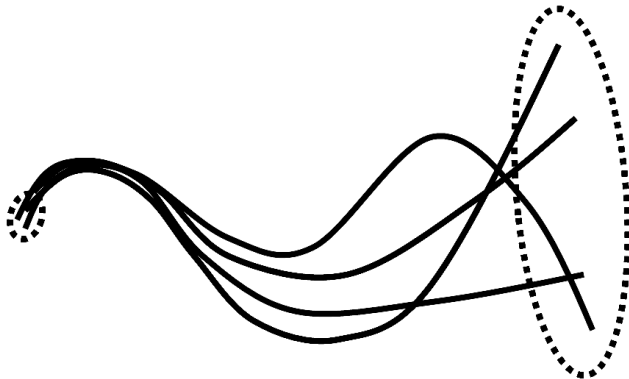
## 7.1. Regionale Unterschiede: Jahresniederschlag



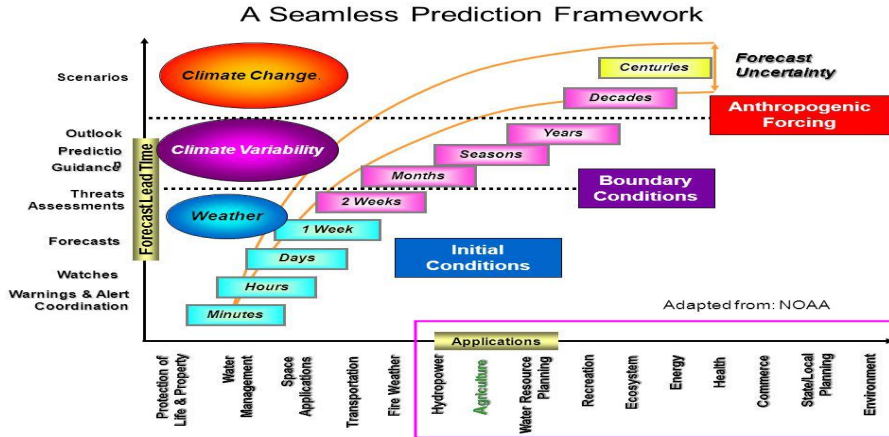
Zerlegung der Jahreswerte nach Himmelsrichtungen (longitude, latitude, altitude): **Osten trockener als Westen, aber wird nicht noch trockener!**

## Part II

# Prognose



## 8. Eine nahtlose Vorhersagekette



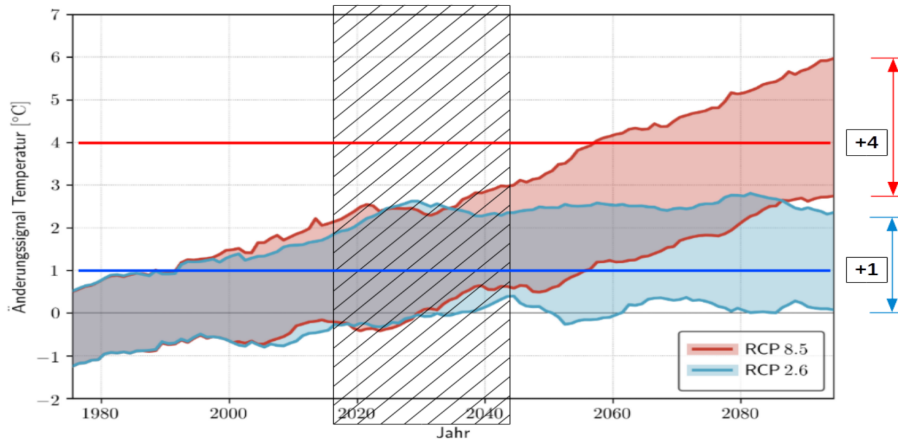
**Vorhersage von Wetter, Klimavariabilität, Klimawandel -  
Planungshorizonte**



## 9. Regionale Klimamodellsimulation: 1961-2100



## 10. Klimaprojektionen für Deutschland

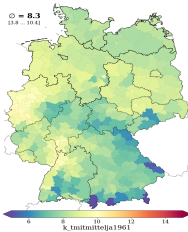


**Klimaschutz (+1°C) oder Weiter-wie-bisher (+4°C).**

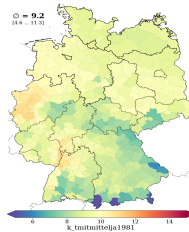
# 10.1. Klimaprojektionen für Deutschland: Karten

Jahresmitteltemperatur

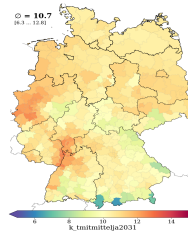
1961-1990



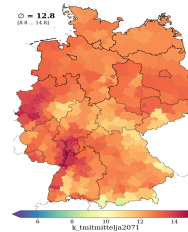
1981-2010



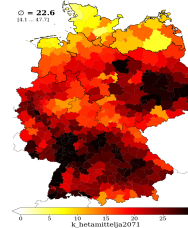
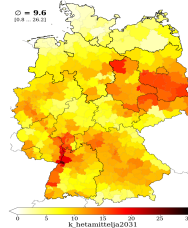
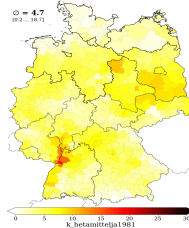
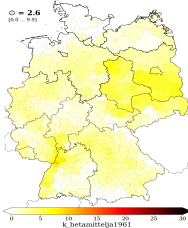
2031-2060



2071-2100



Hitzetage



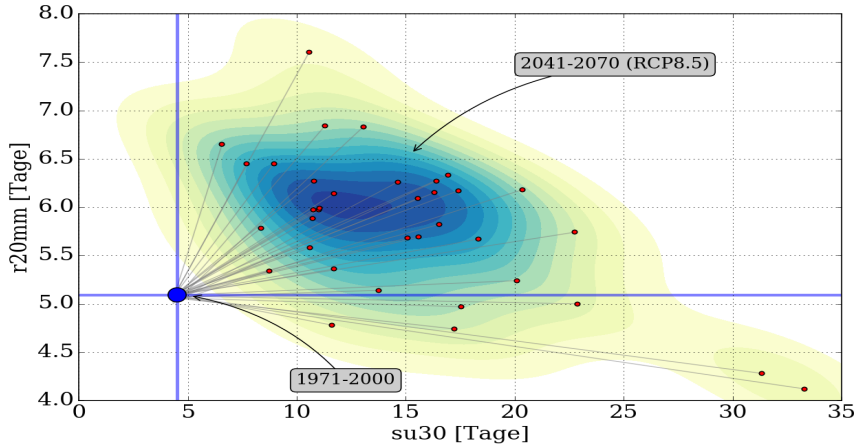
8.3°C / 2.6 d

+0.9°C / +2.1 d

+2.4°C / +7.0 d

+4.5°C / +20.0 d

## 10.2. Klimaprojektionen für Deutschland: Extreme



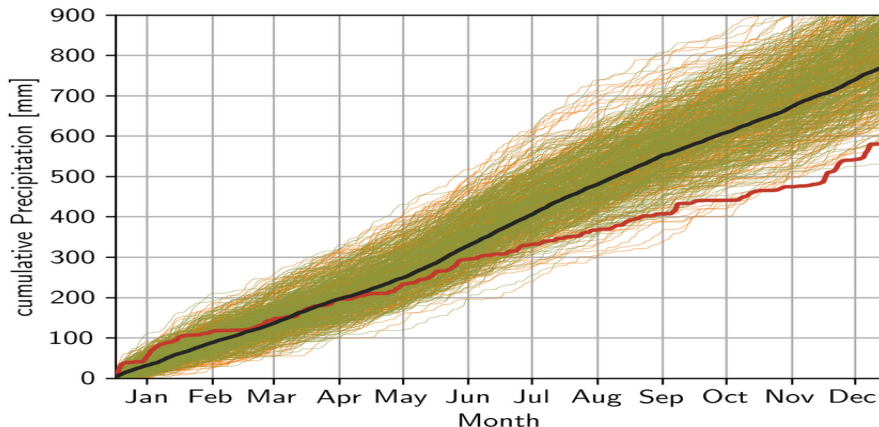
**Anzahl der Starkregentage über der Anzahl der Hitzetage.**  
**Richtungseinigkeit und Ausprägungsunsicherheit**

### 10.3. 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**

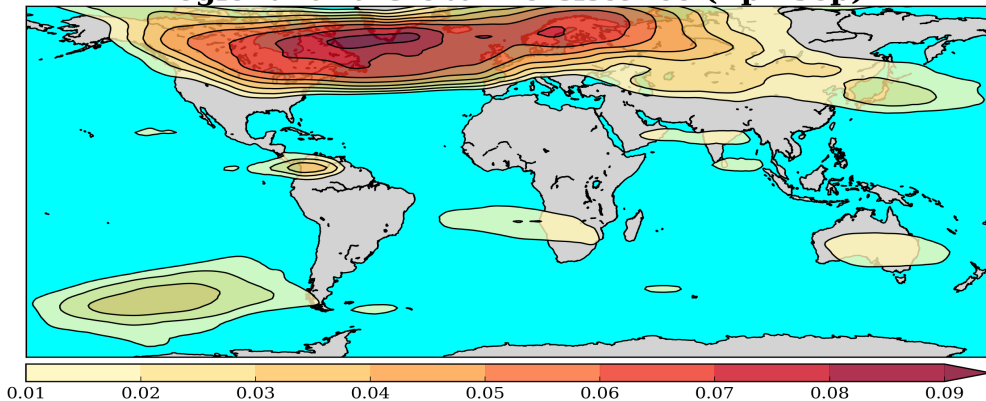
## 10.4. Mögliche Unterschätzung von Extreme in Modellen



Das Trockenjahr 2018 scheint auch in regionalen Klimamodellsimulationen für Deutschland ein ungewöhnliches Jahr zu sein. **Unterschätzung?**

## 10.5. Sommerhalbjahr 2018: Persistenz

### Regional and Global Persistence (Apr-Sep)



### $\Delta$ Similarity 2018 vs 1981-2018

Die sommerliche Hitze und Trockenheit in Europa 2018 wurde durch langandauernde Wetterlagen über dem Nordatlantik begünstigt. **Dynamik ist eine große Quelle von Modellunsicherheiten!**

# Part III

## Folgen





## 11. Sektoren

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

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

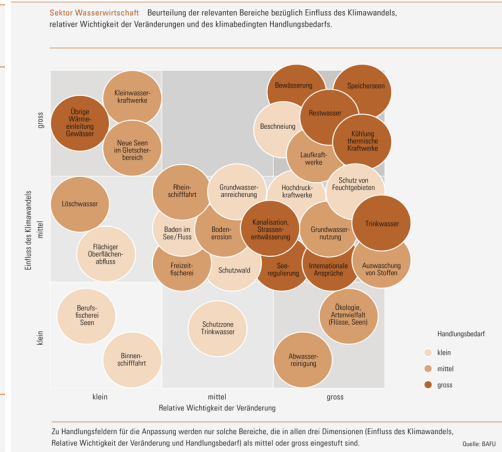
**Forst:** Trockenstress, Waldbrandrisiko, Biomasseproduktion

**Tourismus:** Sommertage, Badetage, Extremwettertage

**Gesundheit:** Schwüle, Hitzetage (Mortalität, Hitzestress, Arbeitsproduktivität)

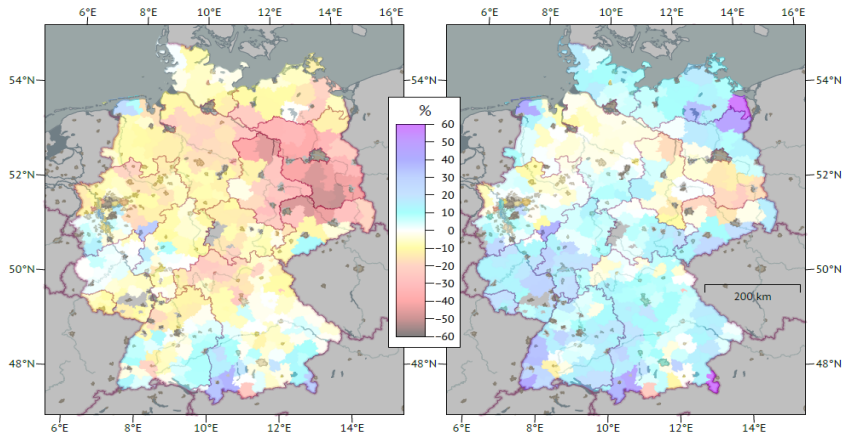
**Energie:** Photovoltaikpotential (Windkraftpotential, Wasserkraftpotential)

## 11.1. klimabedingter Handlungsbedarf für Anpassung



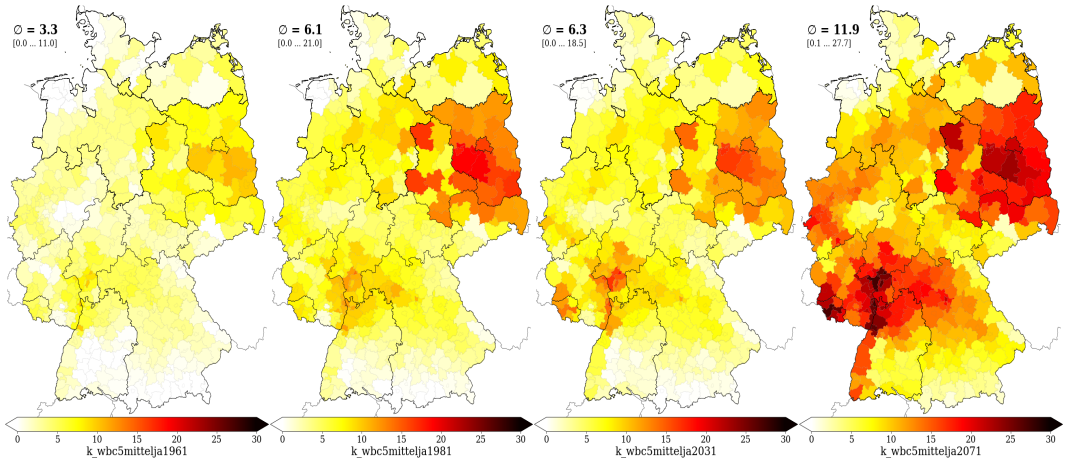
### Einfluss und Wichtigkeit des Klimawandels je Sektor Handlungsbedarf?

## 11.2. Witterungsbedingte Ertragsprognose Winterweizen: 2018



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

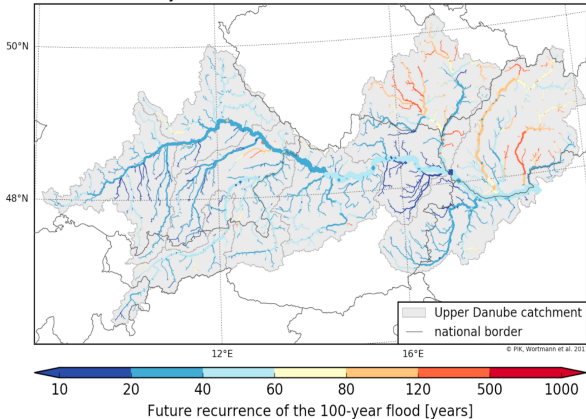
## 11.3. Waldbrandrisiko (Stufe 5)



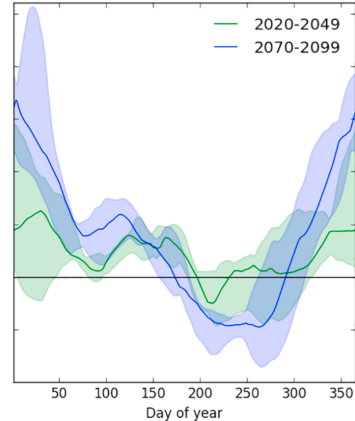
**Entwicklung der Anzahl der Tage mit höchster Waldbrandgefahr von 1961-1990 (3.3 Tage) bis 2071-2100 (11.9 Tage): schwacher Klimaschutz**

## 11.4. Hoch- und Niedrigwasser: Donau

100-year flood in 2020-2049 under RCP-8.5

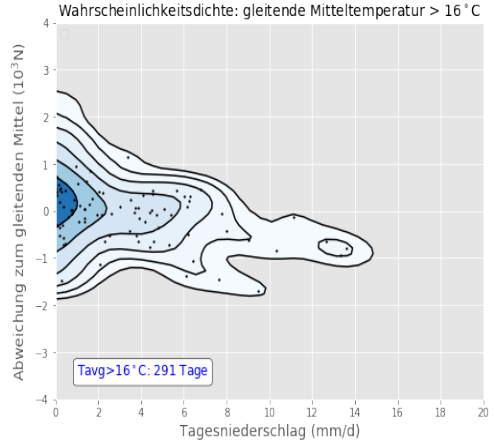
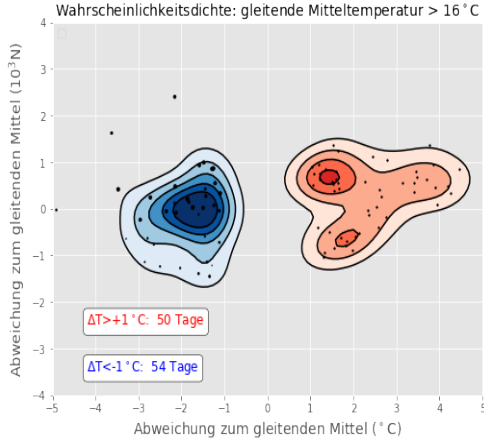


RCP85



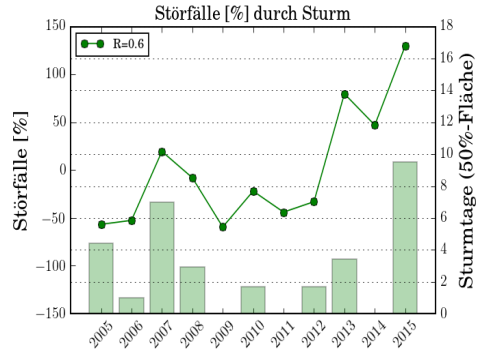
**Bislang 100-jährige Hochwässer verkürzen sich auf 30-jährige bei gleichzeitiger Zunahme von sommerlichen Niedrigwasser Bedingungen.**

## 11.5. Tourismus: Fallbeispiel Sant-Peter-Ording



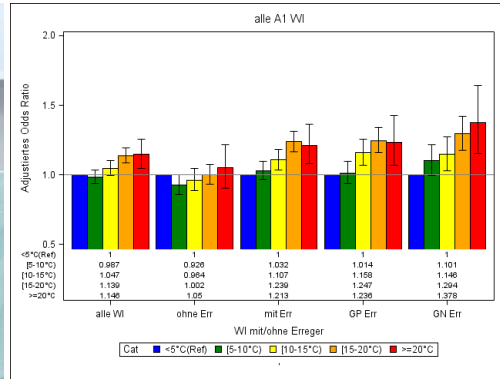
**Reaktion der touristischen Nachfrage auf Witterungsschwankungen:**  
**+4°C ca. +500 Übernachtungen / 10 mm Regen ca. -500 Übernachtungen**

## 11.6. Infrastruktur & Mobilität: Deutsche Bahn



**Zusammenhangsanalyse zwischen Sturmereignissen und Betriebsstörungen bei der Deutschen Bahn von 2005-2015: **Oktober 2017 dann zwei frühe Herbstürme nach feuchten Sommerhalbjahr!****

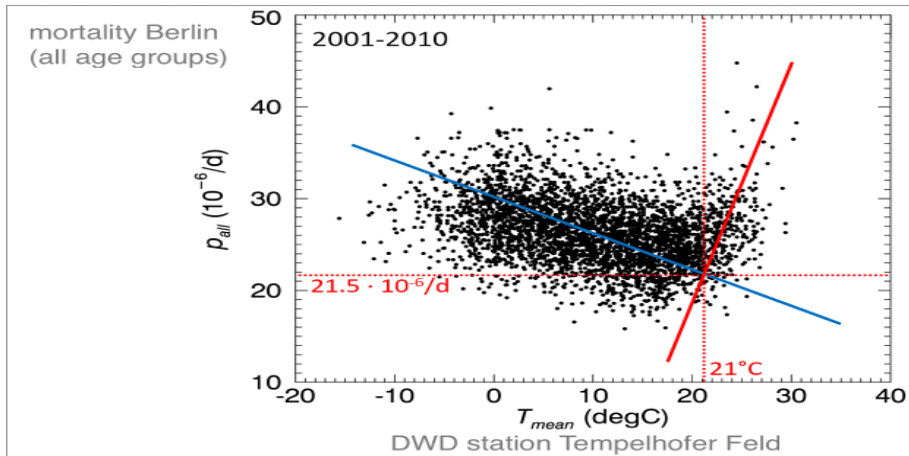
## 11.7. Wundinfektionen



**Oberflächliche Wundkomplikationen sind assoziiert mit höheren Temperaturen. (Deutsche Ärzteblatt, 2019)**



## 11.8. Hitzetote



Mortalität in Berlin in Abhängigkeit von der Tagesmitteltemperatur: **Je milder desto weniger & je heißer desto mehr Tote.**

**KlimafolgenOnline**

**Sektor Tourismus**

Anzahl der Sommertage  
RCP 8.5/GCM temp mittel/STARS

Mittel von 2031 bis 2060

10 30 50 70 90 110 4

Erklärung Sektor Diagramme

Anzahl der Sommertage  
... beschreibt, in wie vielen Tagen des Jahres, die maximale Temperatur  $\geq 25^{\circ}\text{C}$  ist.

[mehr...](#)

Klimawissen Bedienung Lehrer

Ort oder PLZ

10-jährig  
30-jährig  
Jahr  
Frühjahr  
Sommer  
Herbst  
Winter

starker Klimaschutz (RCP 2.6)  
schwacher Klimaschutz (RCP 8.5)

Städte  
Gebiete  
Flüsse

Gebirge  
Wälder

Tipp: Mit einem Mausklick auf ein Gebiet können Sie Tabellen und Diagramme dazu abrufen.

1901 10 20 30 40 50 60 70 80 90 1000 10 20 30 40 50 60 70 80 90 2100

Differenz

wetteronline

Kontakt Impressum

# Part IV

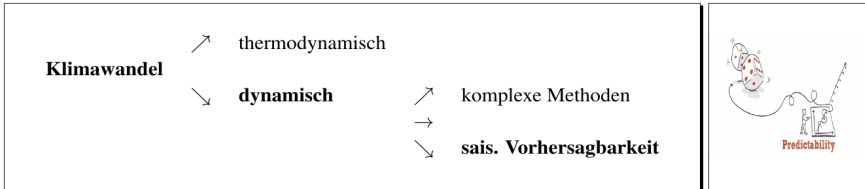
# Ende



# Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

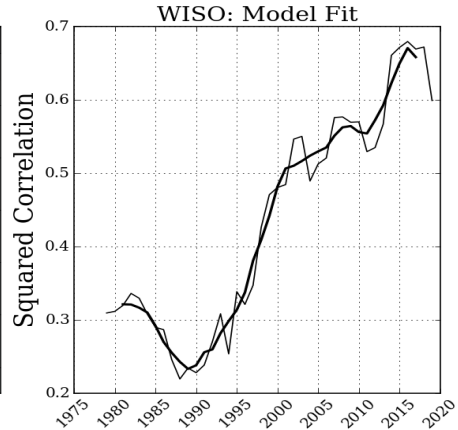
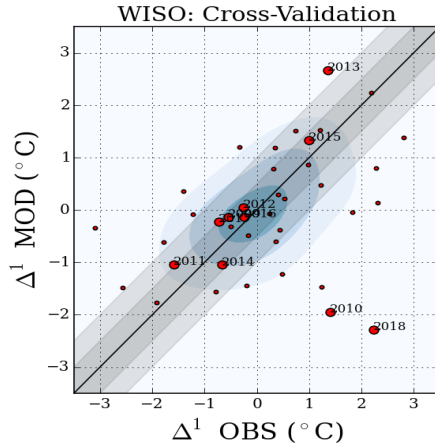


## 12. Saisonale Vorhersagbarkeit



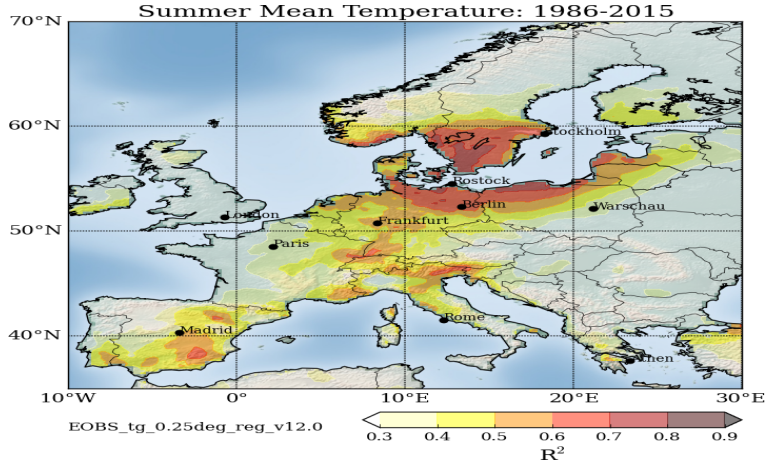
**Diagnostisches Tool zur Identifikation von Zirkulationsänderungen. (Verhalten der Jahreszeiten zueinander).**

## 12.1. Saisonale Vorheragbarkeit: Validierung



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

## 12.2. Saisonale Vorheragbarkeit: Muster

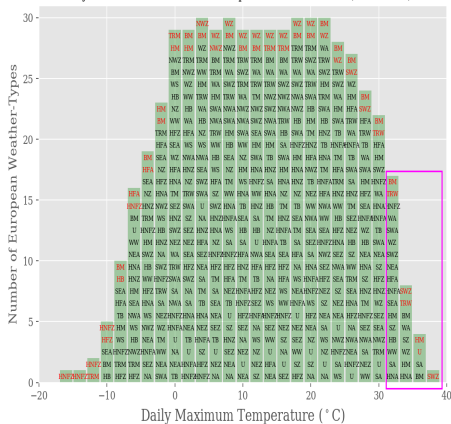


**Diese Veränderung ist vor allem über dem Ostseeraum stark ausgeprägt.  
Grund dafür sind neue dominierende Wetterlagen.**

## 12.3. Großwetterlagen über Europa: Extreme

### Temperatur

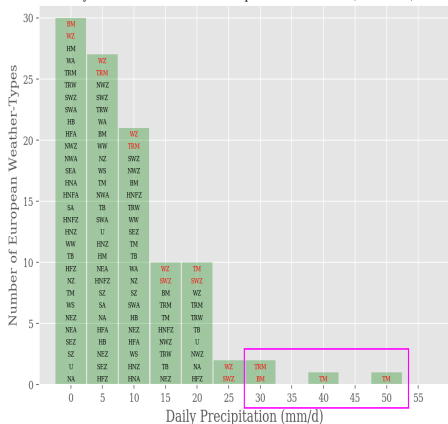
Dynamical Drivers for local Temperature Distribution (1987-2016)



**SWZ, HM, BM, TRW, SZ**

### Niederschlag

Dynamical Drivers for local Precipitation Distribution (1987-2016)



**TRM, TM, SWZ**

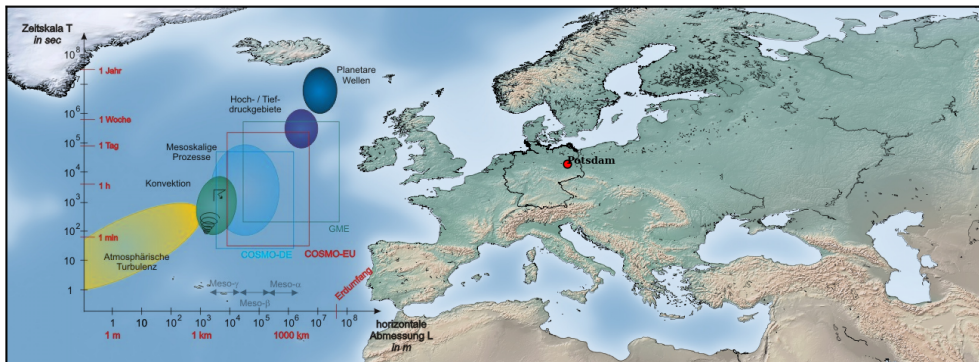
## 12.4. Die 10 wärmsten Jahre

	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)



# Räumliche und zeitliche Skalen von Mustern



**Potsdam - Deutschland - Europa**  
**Wetter - Klima - Klimawandel**  
**Jetstream - Wettermuster - Extreme**  
**Kindheit - Erwachsen - Alter**  
**gestern - heute - morgen**