

# Wissenschaftliche Grundlagen des Klimawandels

## Herausforderungen im Umgang mit Klimarisiken

P. Hoffmann



FB: Klimaresilienz / AG: Hydroklimatische Risiken

# Potsdam Institut für Klimafolgenforschung

Page 2 of 84





# Telegrafenberg, Wissenschaftspark



## Forschungsabteilungen



### Erdsystemanalyse

Ozeane, Atmosphäre und Biosphäre in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft

MEHR...



### Klimaresilienz

Klimafolgen und Anpassung

MEHR...



### Transformationspfade

Klimarisiken und Nachhaltige Entwicklung

MEHR...



### Komplexitätsforschung

Maschinelles Lernen, Nichtlineare Methoden und Entscheidungsstrategien

MEHR...

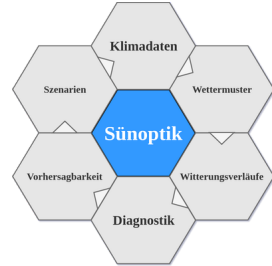
## Portrait



## Werdegang

1991-1995	Berufsausbildung Prozessleitelektroniker
1995-1999	Zivildient Berufspraxis
1999-2005	Meteorologiestudium Universität Leipzig
2005-2012	wissenschaftlicher Mitarbeiter Institut für Meteorologie Universität Leipzig
2012-heute	Wissenschaftler am PIK FB: Klimaresilienz AG: Hydroklimat. Risiken

## Forschung



## Projekte

- (1) regionale Klimaensembles
- (2) Infektionskrankheiten
- (3) Tourismus
- (4) Deutsche Bahn

# Personen

Gründungsdirektor  
Schellnhuber



Klimaphysiker  
“Selbstverbrennung”

Direktoren  
Edenhofer



Klimaökonom  
“CO2-Preis”

Direktoren  
Rocktröm



Klimaphysiker  
“Planetare Grenzen”

Leiter: Erdsystemanalyse  
Rahmstorf



Klimaphysiker  
“Golfstrom”

**Entwicklung von Lösungen für eine sichere und gerechte Klimazukunft**

# Organisationen

WMO



Weltorganisation f. Meteorologie

IPCC



Weltklimarat

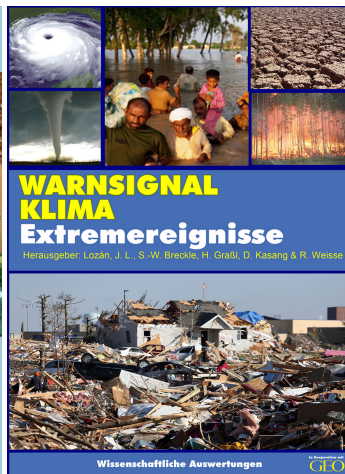


COP



Vereinte Nation

# Buchreihe seit Anfang der 90er Jahren



# Contents

<b>1 Grundlagen</b>	<b>9</b>
1.1 Grundgesetze . . . . .	10
1.2 Statistik . . . . .	12
1.3 Klimatologie . . . . .	16
<b>2 Diagnose</b>	<b>25</b>
2.1 Messdaten . . . . .	26
2.2 Klimaindikatoren . . . . .	35
2.3 Phänomene . . . . .	42
<b>3 Prognose</b>	<b>49</b>
3.1 Szenarien . . . . .	50
3.2 Modelldaten . . . . .	51
3.3 Klimafolgen . . . . .	63
<b>4 Therapie</b>	<b>72</b>
4.1 Herausforderungen . . . . .	73

# Klimawandel

**Eine Summe physikalischer Naturgesetze**

## 1.1. Grundgesetze

1. Physikalische Grundgesetze der Wärmelehre und Mechanik gelten überall auf der Erde
2. Sie können rasant ablaufen: Minuten-Stunden-Tage (z.B. Wetter)
3. Sie können in Superzeitlupe ablaufen: Jahrzehnte-Jahrhunderte (z.B. Klimawandel)
4. Sie können durch andere Faktoren überlagert werden: Jahreszeiten-Jahre (z.B. Anomalien)
5. Sie können wiederkehrend sein: Tagesgang, Jahresgang, Jährlichkeit
6. Klimatische Einflussfaktoren:
  - (a) Strahlungsenergie der Sonne
  - (b) Erdbahnparameter
  - (c) Zusammensetzung der Atmosphäre
  - (d) Reflexionseigenschaften der Oberfläche
  - (e) Biosphäre

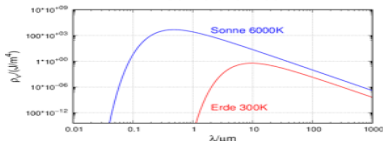


# Grundgesetze

## Stefan-Boltzman Gesetz

$$P = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

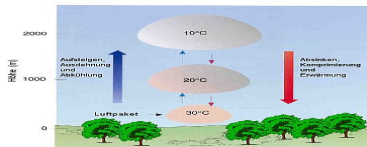
Sonne und Erde



Die thermisch abgestrahlte Leistung eines idealen schwarzen Körpers hängt von seiner Temperatur ab.

## 1. Hauptsatz der Thermodynamik

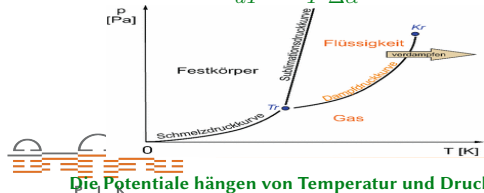
$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$



Energieerhaltung: Die Änderung der inneren Energie eines geschlossenen Systems ist gleich der Summe der Änderung der Wärme und der Änderung der Arbeit.

## Clausius-Clapeyron

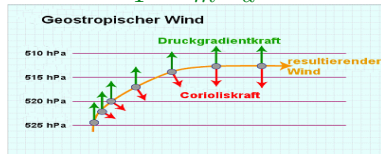
$$\frac{dp_s}{dT} = \frac{l}{T \cdot \Delta \alpha}$$



Die Potentiale hängen von Temperatur und Druck ab.

## 2. Newtonsche Axiom

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$



Kraft ist proportional zur Beschleunigung.

# Klimawandel

Die sich ändernde Statistik es Wetters

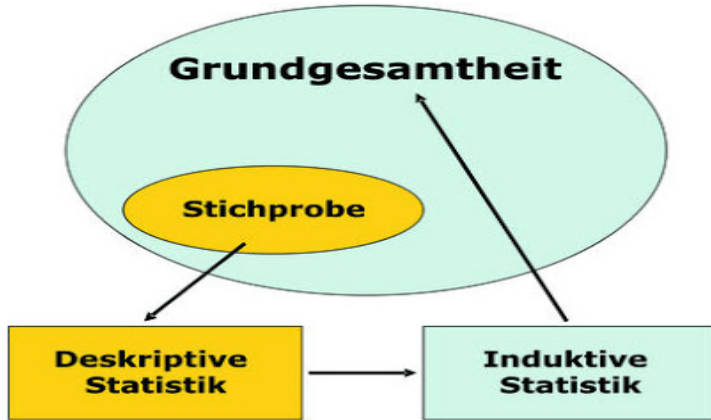
# Wetter - Klima - Klimawandel

# Ein Experiment



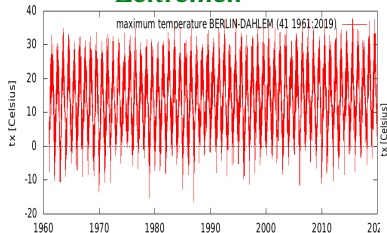
<https://www.youtube.com/watch?v=5rCk3iGgmks>

## Problemstellung

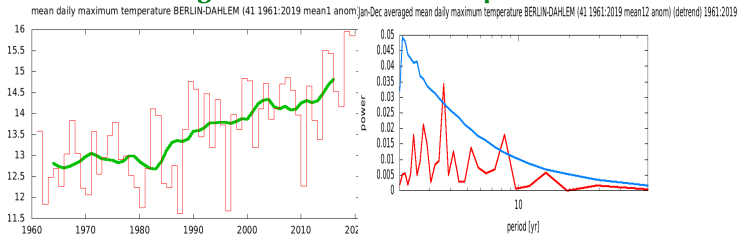


# Empirische Methoden

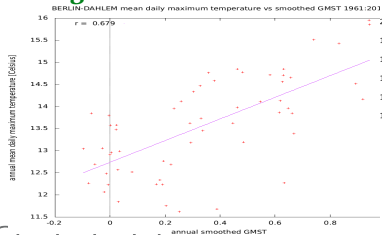
## Zeitreihen



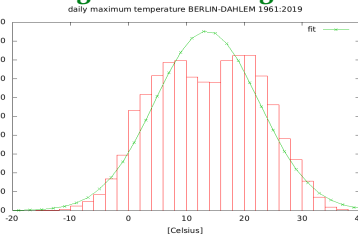
## Filterung



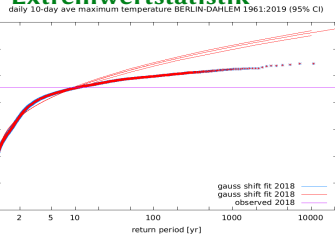
## Regression/Korrelation



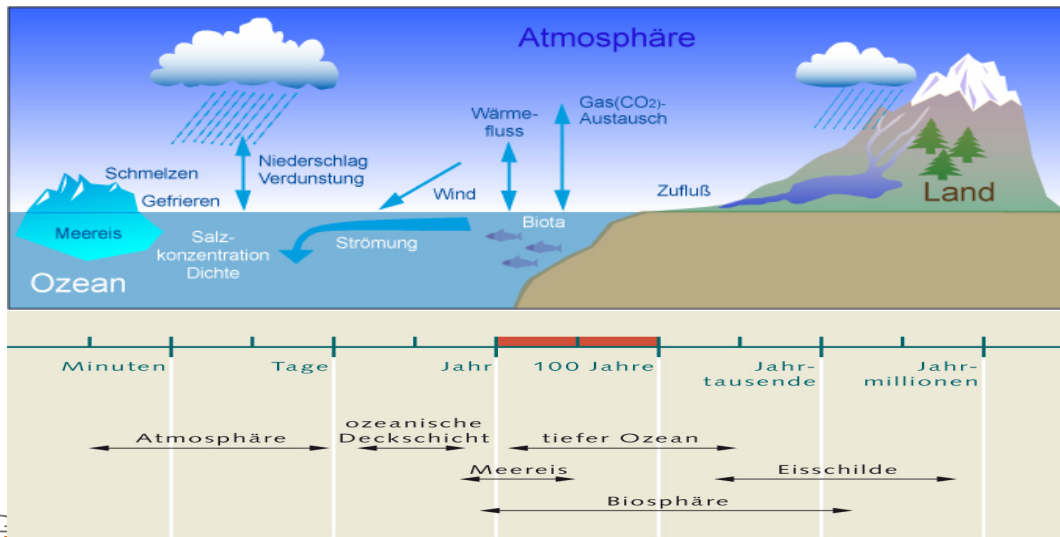
## Häufigkeitsverteilungen



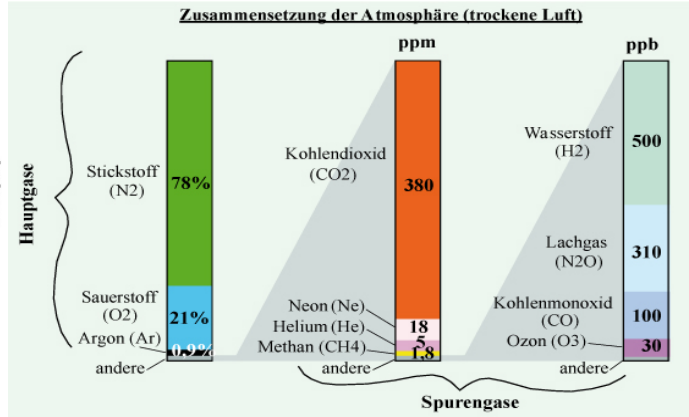
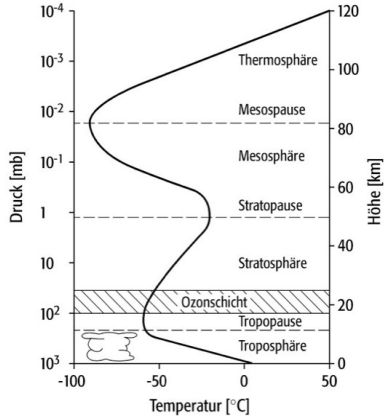
## Extremwertstatistik



## 1.3. Klimatologie

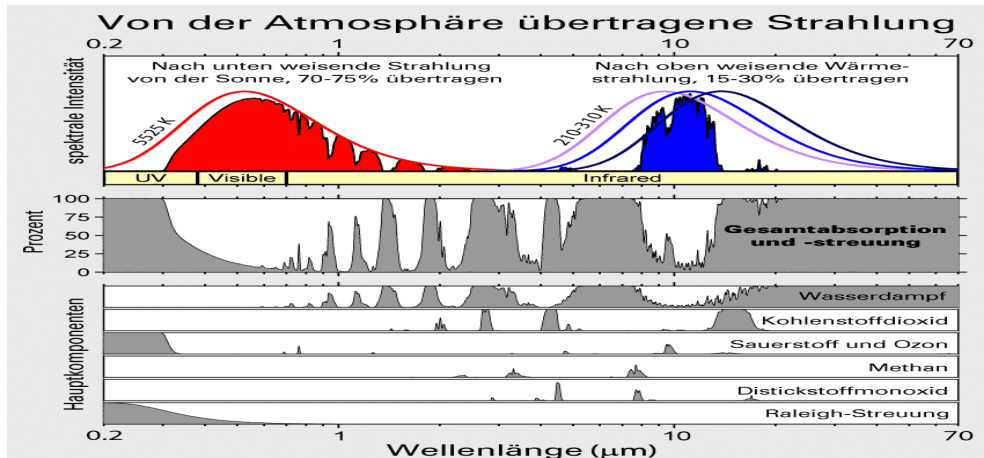


## Schichtung und Zusammensetzung der Atmosphäre



**Der Anteil von Kohlendioxid in der Atmosphäre beträgt ca. 0.04% (Tendenz steigend)**

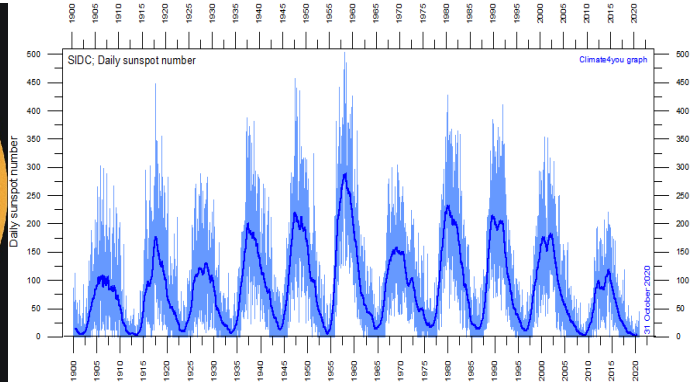
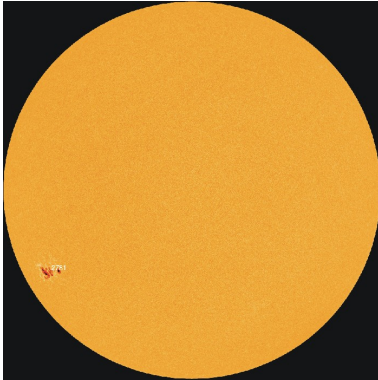
## Transmissionseigenschaften der Atmosphäre



Kohlendioxid & Wasserdampf besitzen Absorptionbanden im langwelligen Spektralbereich.

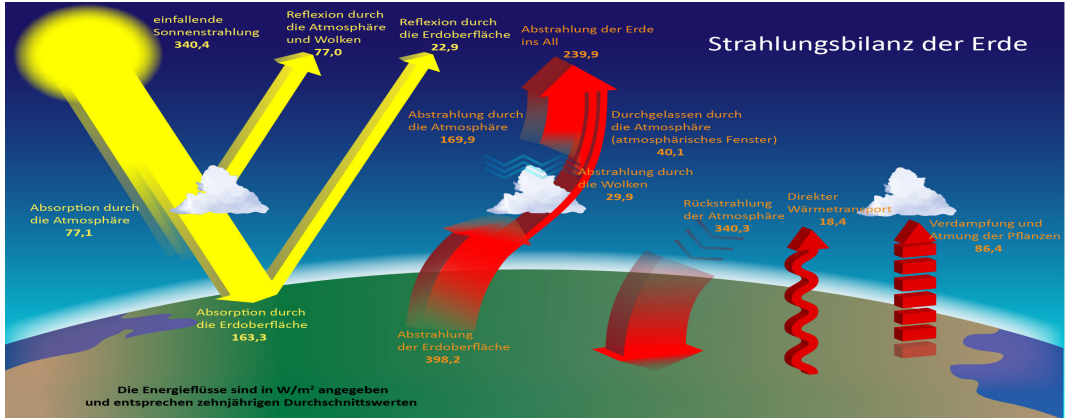


## Sonnenfleckenzyklus



**Sie Sonne strahlt im sichtbaren Bereich mit einer konstanten Leistung von  $1367 \text{ W/m}^2$ .  
Langfristige Schwankungen betragen ca. 0.1%.**

# Strahlungsbilanz der Erde



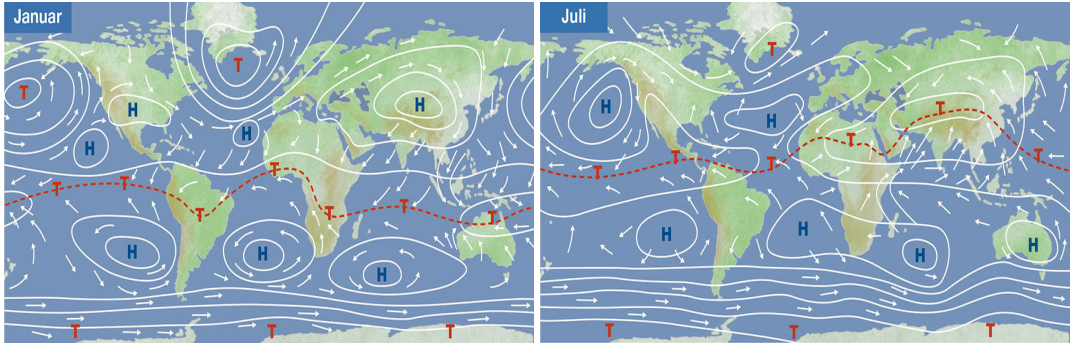
kurzwellig - langwellig - fühlbar - latent  
 Atmosphärische Gegenstrahlung = Treibhauseffekt

## Rechnung:

<b>kurzwellig</b>	$W/m^2$	$W/m^2$	<b>langwellig</b>	$W/m^2$	$W/m^2$
einfallende Solarstrahlung		+340.4	Abstrahlung ins Weltall		-398.2
Absorption in Atmosphäre	-77.1	+263.3	fühlbarer Wärmetransport	-18.4	-416.6
Reflexion an Wolken	-77.0	+186.3	latenter Wärmetransport	-86.4	-503.0
Reflexion an Erdoberfläche	-22.9	+163.4	$\sum_{lang}$		-503.0
$\sum_{kurz}$		+163.3			

<b>kurzwellig - langwellig</b>	$W/m^2$	$W/m^2$
$\sum_{lang}$		-503.0
$\sum_{kurz}$		+163.3
$\sum_{kurz} - \sum_{lang}$		-339.7
<b>atmosph. Gegenstrahlung</b>		-339.7

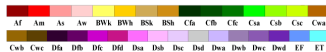
# Windsysteme



**Vorherrschende Windsysteme bestimmen die jahreszeitlichen Wetterbedingungen.**

- Für Europa sind die Luftdruckbedingungen über dem Nordatlantik wetterbestimmend -

updated with CRU TS 2.1 temperature and VASclimO v1.1 precipitation data 1951 to 2000

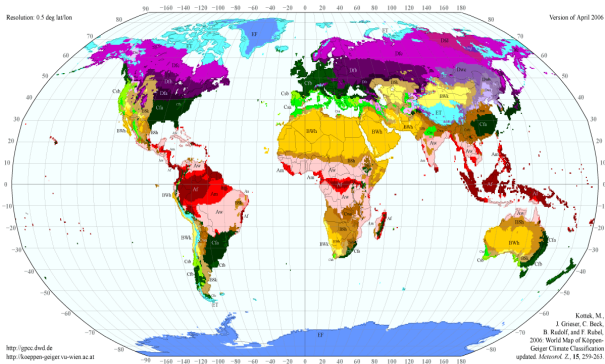


A: equatorial  
B: arid  
C: warm temperate  
D: snow  
E: polar

W: desert  
S: steppe  
f: fully humid  
s: summer dry  
w: winter dry  
m: monsoonal

h: hot arid  
k: cold arid  
a: hot summer  
b: warm summer  
c: cool summer  
d: extremely continental

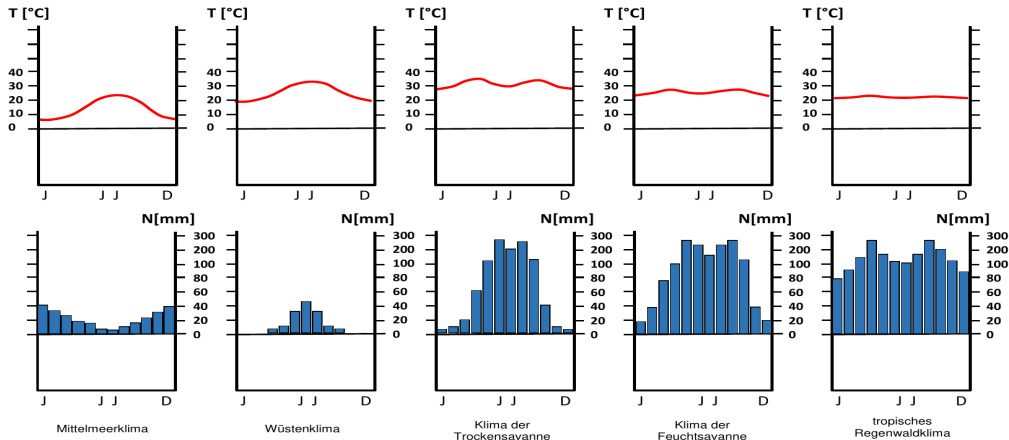
F: polar frost  
T: polar tundra



**Klimazonen lassen sich nach den mittleren Temperatur- und Niederschlagsbed. einteilen.**

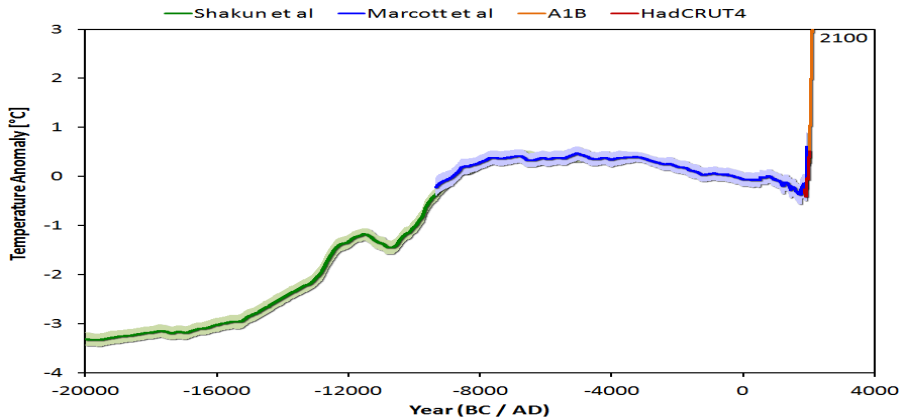


# Jahresgänge



Klimate sind durch charakteristische Jahresgänge von Temperatur und Niederschlag gekennzeichnet.

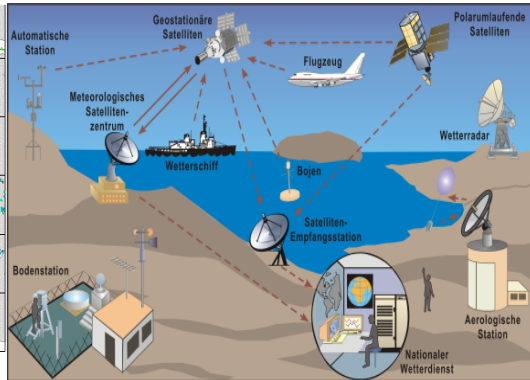
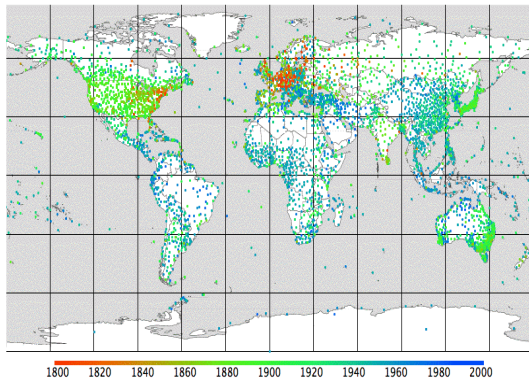
## 2. Diagnose



Temperaturentwicklung seit der letzten **Eiszeit** über das **Holozän** zum **Anthropozän**.  
(hockey stick graph)



## 2.1. Messdaten



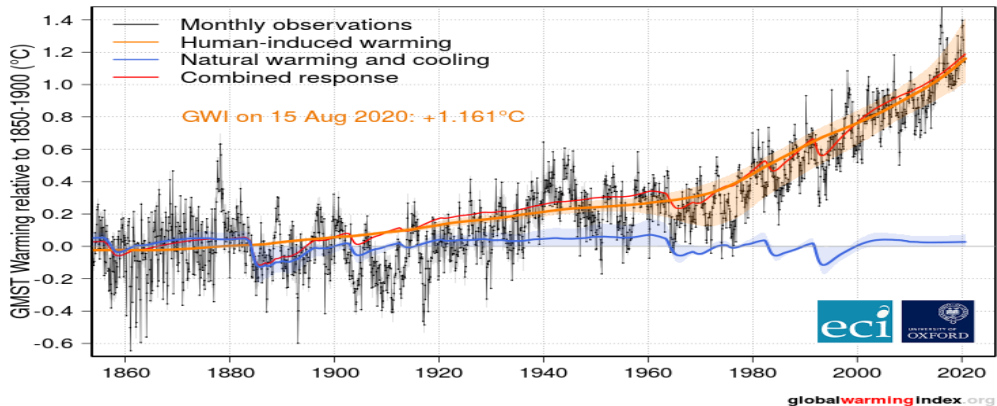
**Lange meteorologische Stationsmessreihen seit ca. 1900**

**Fernerkundungsdaten mittels Satellit seit ca. 1979**



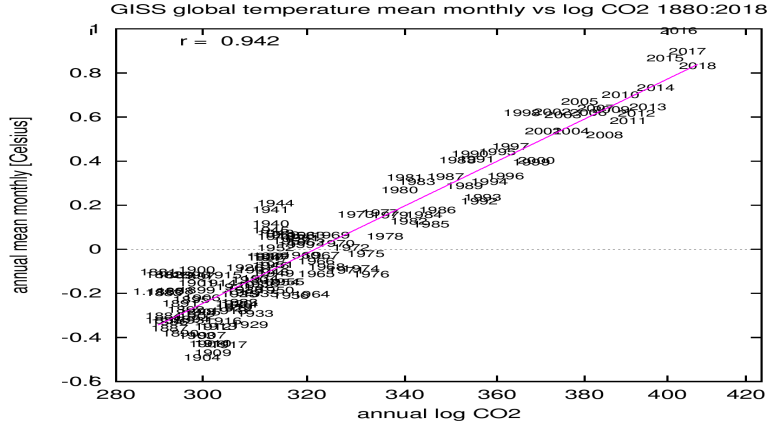
## Global Warming Index

**Global Warming Index (aggregate observations) - updated to Aug 2020**



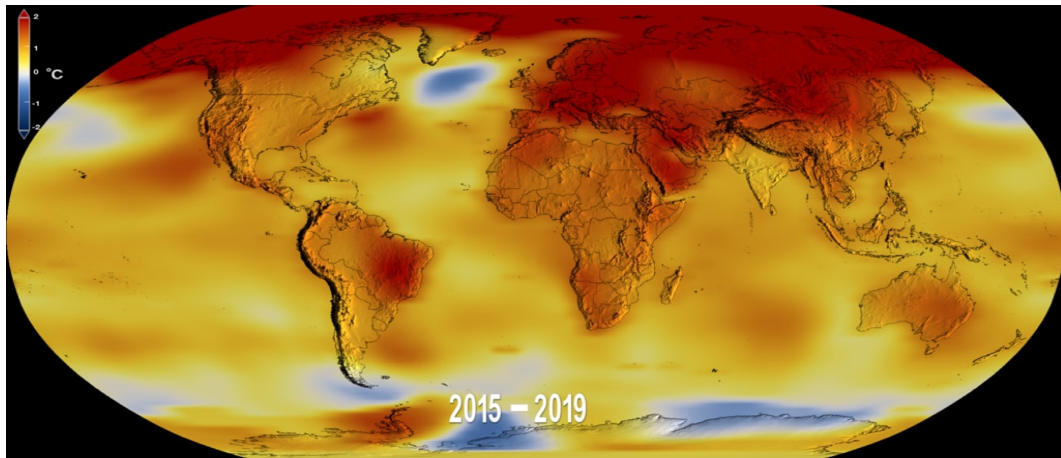
**Aktuell beträgt die globale Erwärmung +1.16°C gegenüber 1850-1900.**

## Globale Mitteltemperatur über CO2 Konzentration



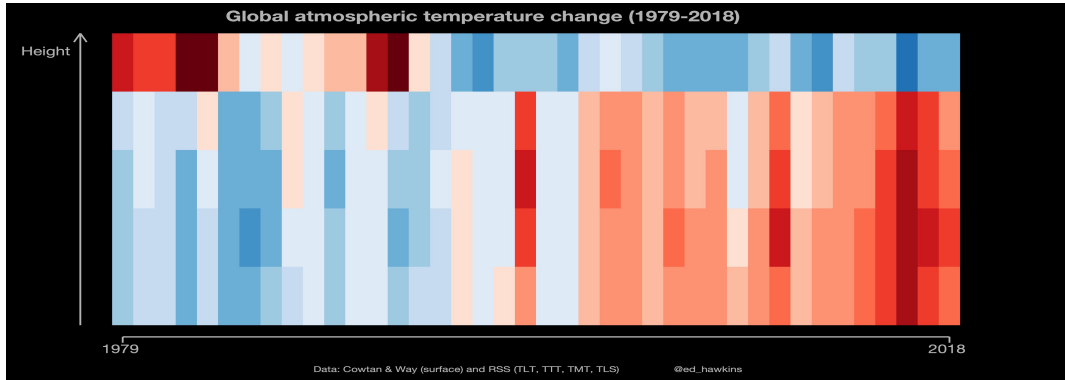
Zusammenhang zwischen beobachteter Temperaturentwicklung und CO2 Konzentration

## Temperaturanomalie: 2015-2019 vs. 1951-1980



**Kontinente der NH und die Arktis erwärmen sich stärker als im globalen Durchschnitt.**

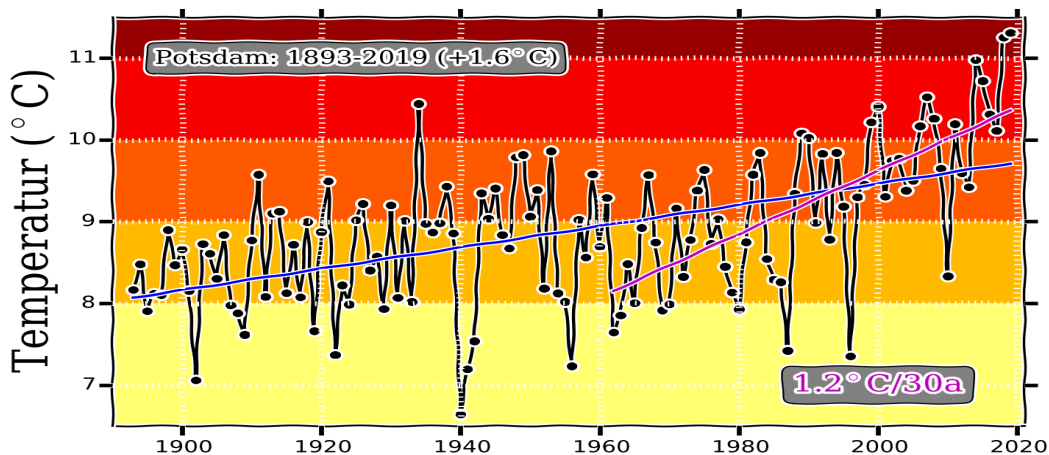
## Signatur des Treibhauseffekts



**Troposphärische Erwärmung - Stratosphärische Abkühlung**

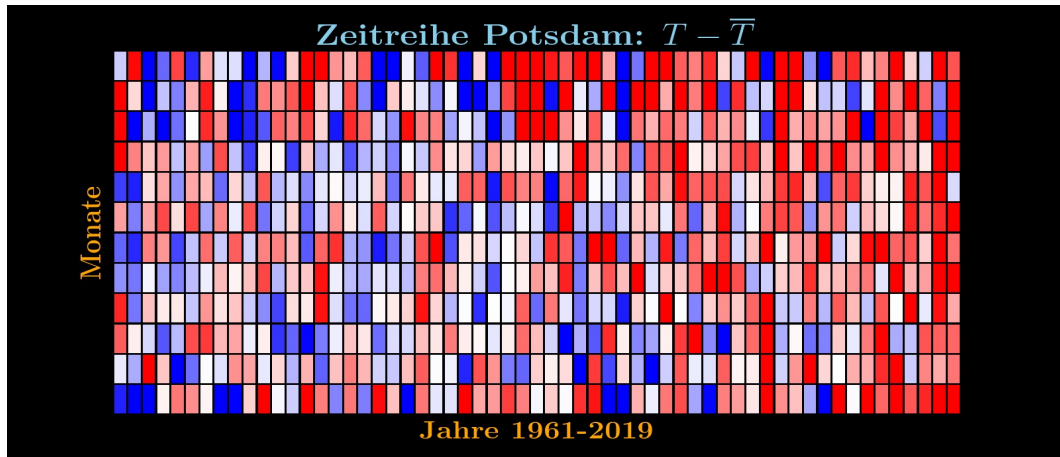
© ad\_hawkins

## Jahresmitteltemperatur 1893-2019: Potsdam



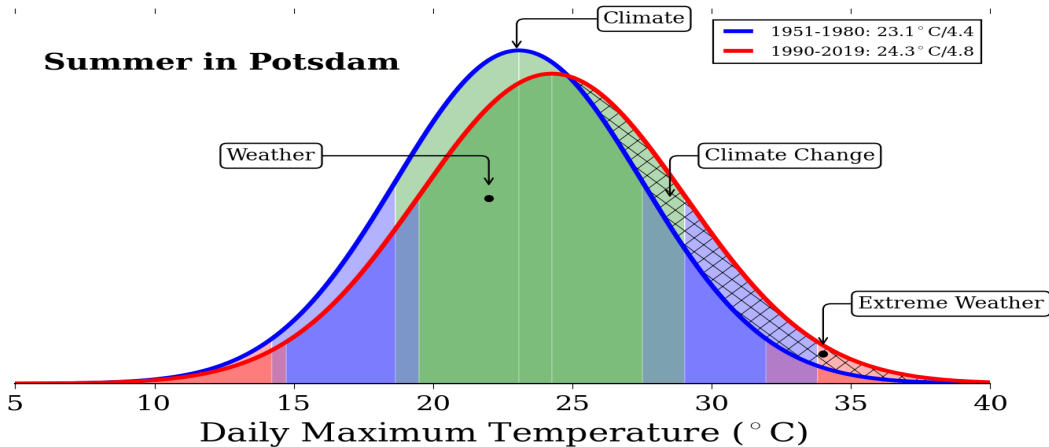
Der Anstieg seit den 60er Jahren bis heute beträgt +1.2°C pro 30 Jahre.

## Temperaturanomalien: Potsdam



Monatsmittel der Temperatur fallen heute immer häufiger zu mild aus.

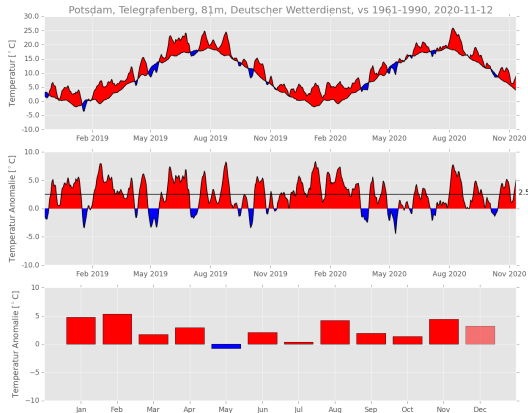
## Gaussverteilung: Potsdam (Sommer)



**Die Wahrscheinlichkeit für Hitzeextreme hat sich bereits vergrößert.**

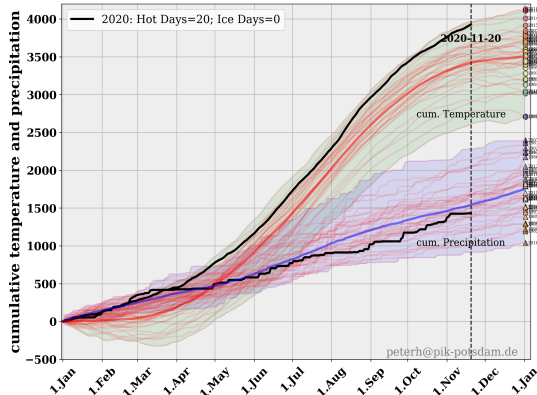
# Aktuelle Witterungsverläufe & Anomalien: Potsdam

## Anomalien



## Kumulativ

### Climate Station Potsdam: 1981-2019



Aktuelle Witterungsverläufe und Anomalien erlauben die Einordnung mit vergangenen Jahren.



## 2.2. Klimaindikatoren

# Charakterisierung meteorologischer Ereignisse

## Häufigkeit

Anzahl der Tage über einem vorgegebenen Schwellwert

## Andauer

Anzahl aufeinanderfolgender Tage über einem vorgegebenen Schwellwert

## Intensität

Wert für die Seltenheit eines Ereignisses

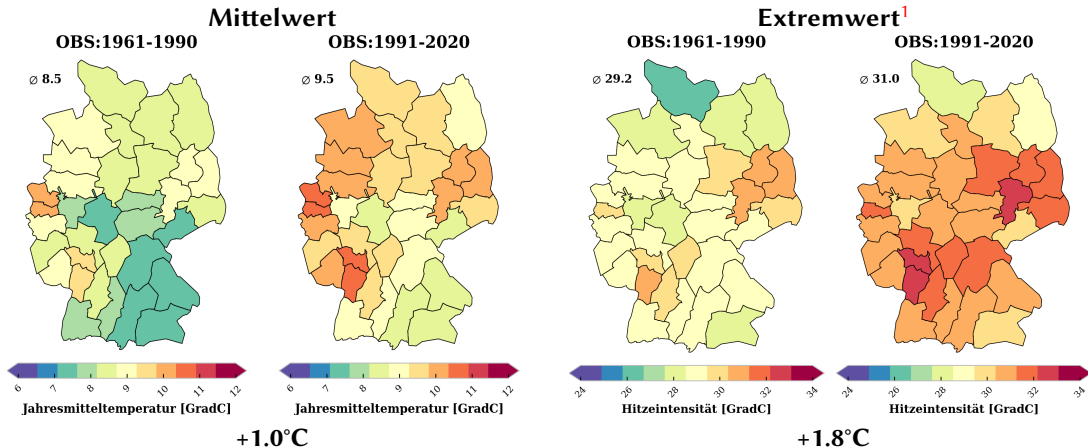
## Variabilität

Jahr-zu-Jahr bzw. dekadische Variabilität

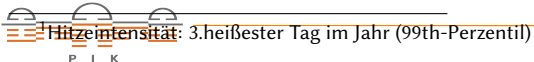
## Jährlichkeit

Wiederkehrperioden z.B. Hochwasser

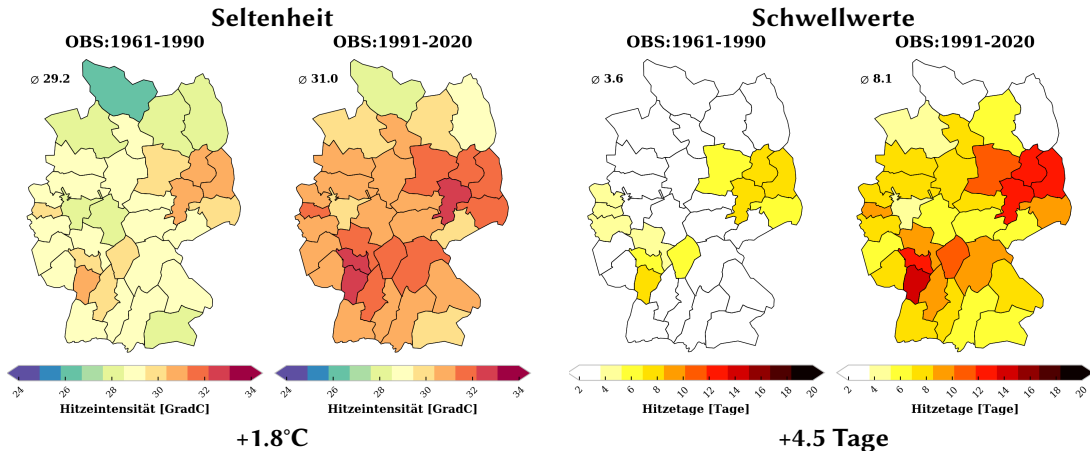
## Mittelwerte vs Extremwerte



**Extreme ändern sich stärker als Mittelwerte!**

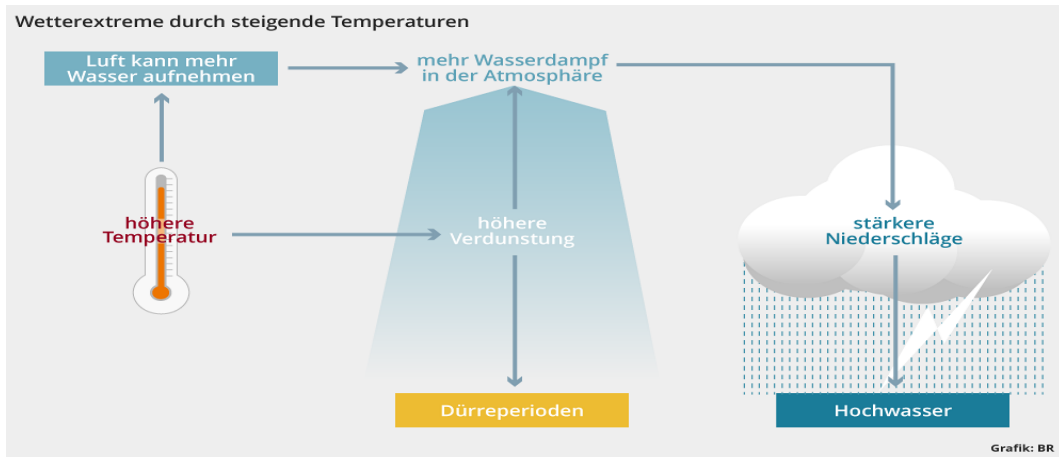


## Schwellwerte vs Seltenheit



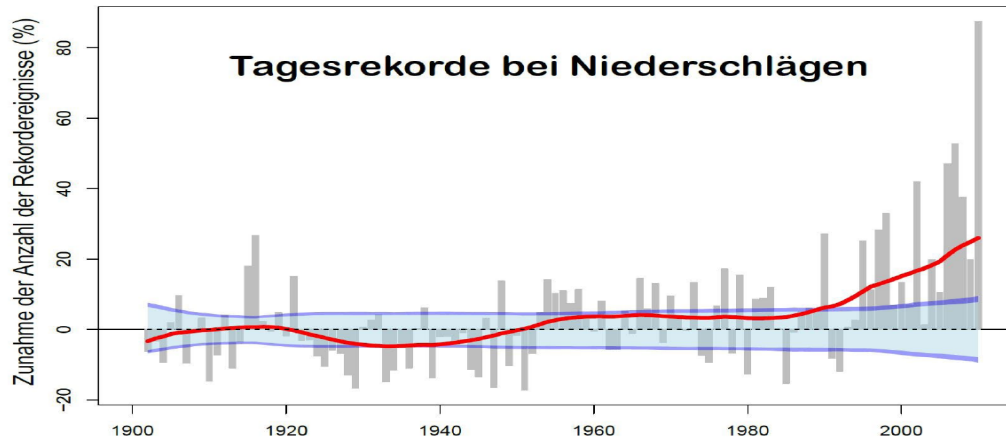
**Der 3. heißeste Tag im Jahr ist um 1.8°C wärmer geworden.**  
**Die Anzahl der Hitzetage ( $T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$ ) haben sich verdoppelt.**

## Verdunstung und Starkregen



Mit steigenden Temperaturen steigt die Hemmschwelle für flächendeckenden Landregen.

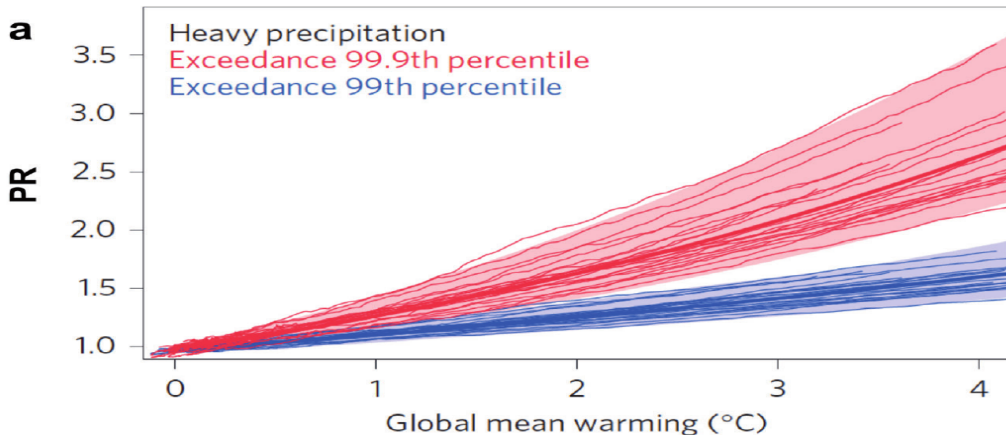
## Niederschlagsrekorde



**Weltweit nehmen Rekordniederschläge zu.**



## Starkregen unter Klimawandel

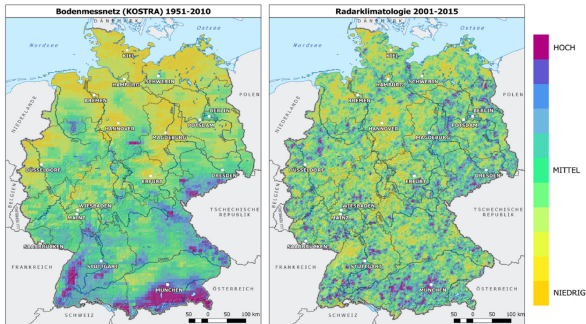


Änderung von Starkregen in Abhängigkeit vom globalen Temperaturanstieg.

# Lokaler Starkregen

Vergleich Extremwert-Auswertung Statistischer Niederschlag in Deutschland  
D=1h T=20a

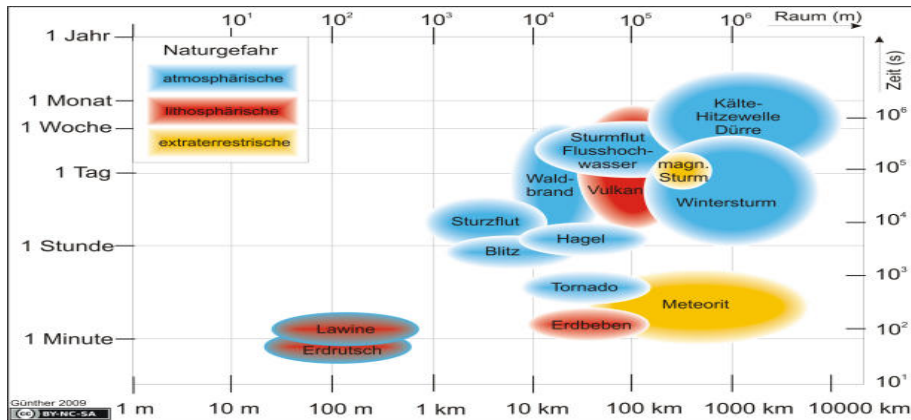
Gebasisdaten: © Geobasis-DE/IG 2014  
Klimadaten und Darstellung: © DWD 2016



kann überall auftreten und intensiver ausfallen

## 2.3. Phänomene

### Skalen der Naturgefahren



räumliche und zeitliche Charakterisierung von meteorologischen Naturgefahren



# Meteorologische Ereignisse

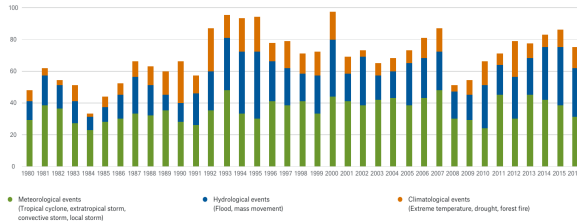
NatCatSERVICE

Munich RE 

## Number of events

Relevant weather-related loss events  
in Europe 1980 - 2016

Number



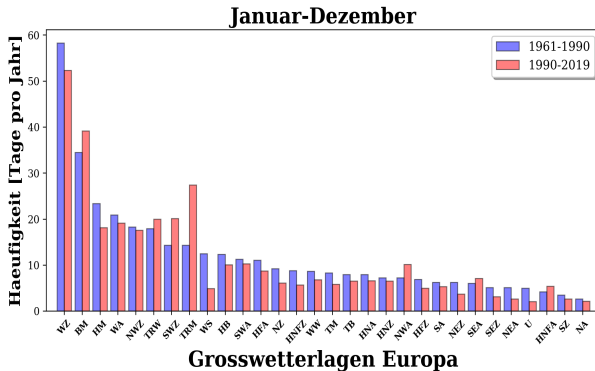
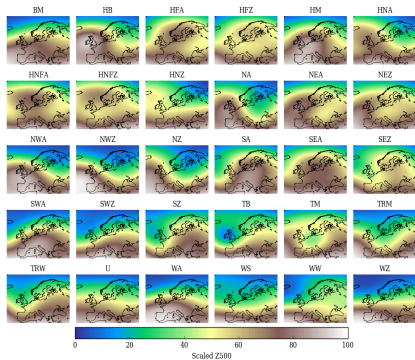
Accounted events have caused at least one fatality and/or produced normalised losses  $\geq$  US\$ 100k, 300k, 1m, or 3m (depending on the assigned World Bank income group of the affected country).



Hitzewellen/Dürren - Überschwemmungen - Stürme

# Großwetterlagen über Europa

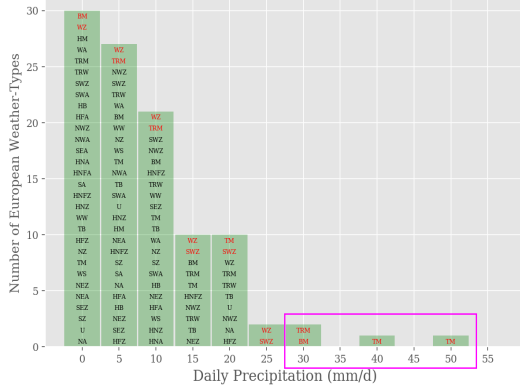
Großwetterlagen sind wiederkehrende Zirkulationsmuster über einer best. Region.



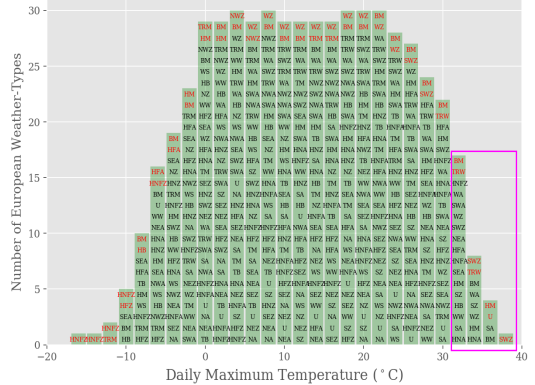
Neue dominate Wetterlagen begünstigen (1) Hitze/Trockenheit (BM) und (2) Starkregen (TRM).

# Kritikalität von Wetterlagen

Dynamical Drivers for local Precipitation Distribution (1987-2016)



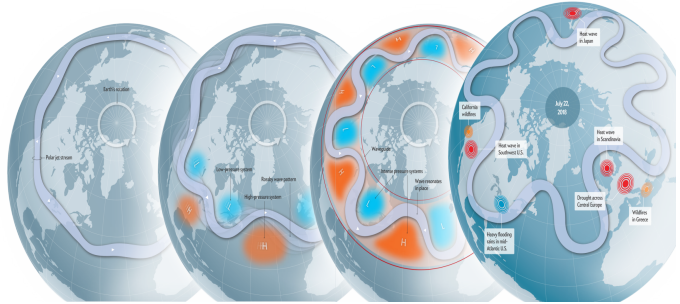
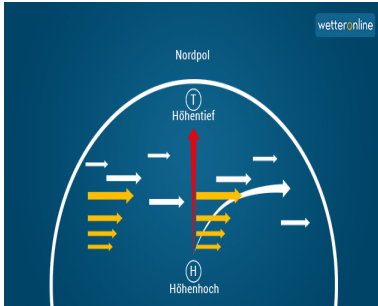
Dynamical Drivers for local Temperature Distribution (1987-2016)



**Nur wenige Kandidaten von Zirkulationsmustern begünstigen Starkregen bzw. Hitzewellen.**

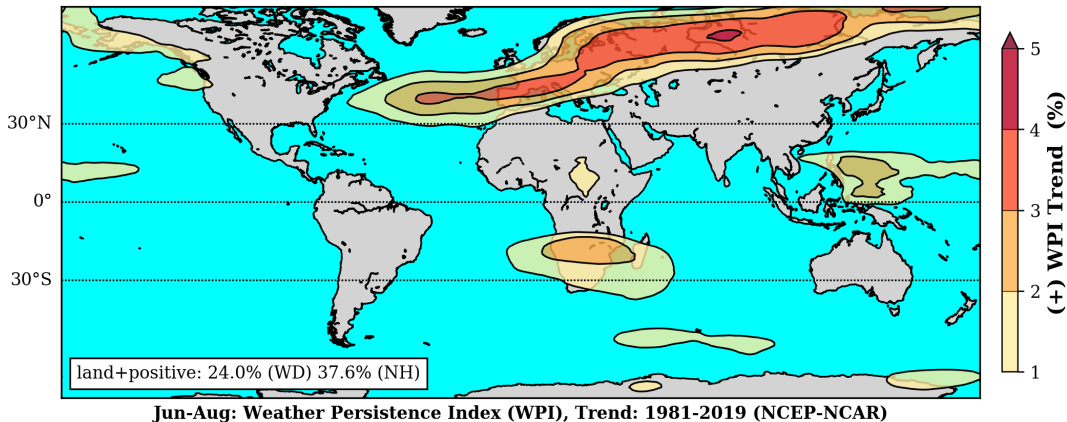
## Jetstream & Wettermuster (Tipping point)

Starke Kontraste zwischen Pol und Equator begünstigen einen starken Westwindjet.



Verlangsamt sich dieser, können Hoch- und Tiefs länger an Ort und Stelle verweilen.  
**Folge: mehrere Extreme zeitgleich an verschiedenen Orten**

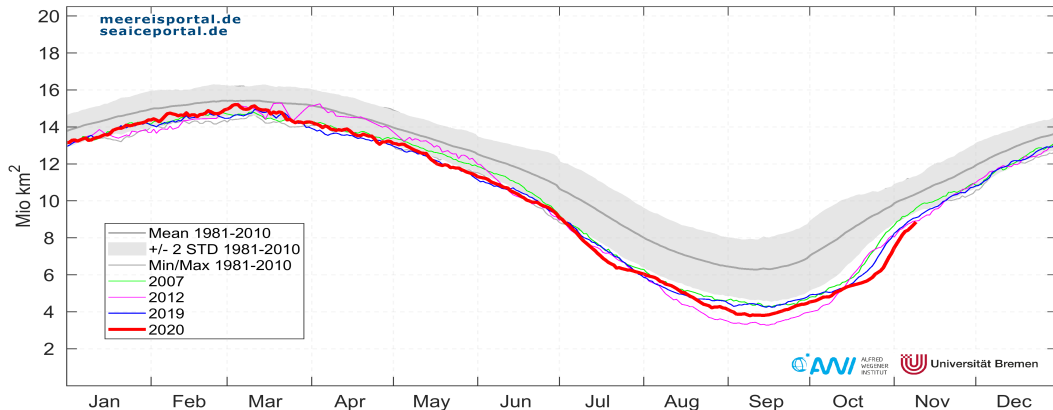
## Persistenz von Wettermustern



Die Ähnlichkeit von aufeinanderfolgenden Wettermustern nimmt über der NH zu.

## Arktische Meereisausdehnung (Tipping point)

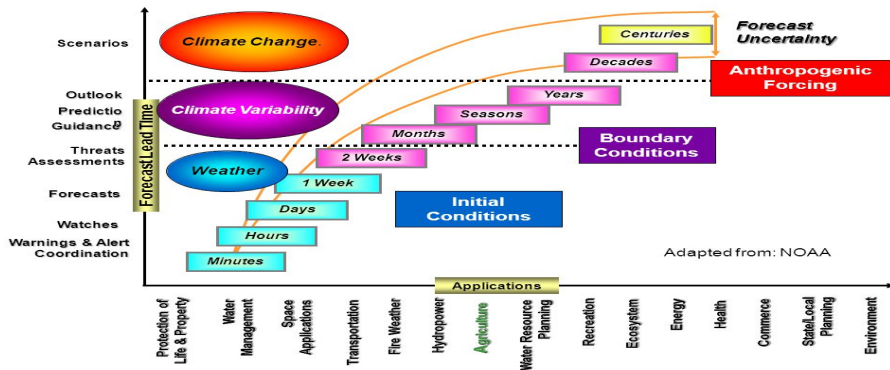
Arctic sea ice extent (Sea ice concentration >15%) 2020/11/09: 8.85 mio km<sup>2</sup>



**Bereits in naher Zukunft wird die Arktische Meereis im Sommer ganz verschwunden sein.**

### 3. Prognose

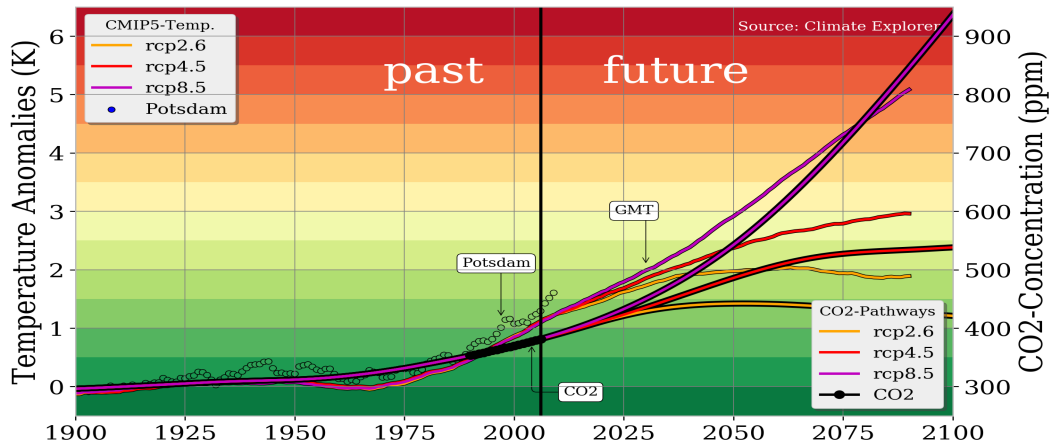
A Seamless Prediction Framework



© NOAA

Wetter (Anfangsbedingungen) - Klimavariabilität (Randbedingungen) - Klimawandel (Strahlungsbilanz)

### 3.1. Szenarien



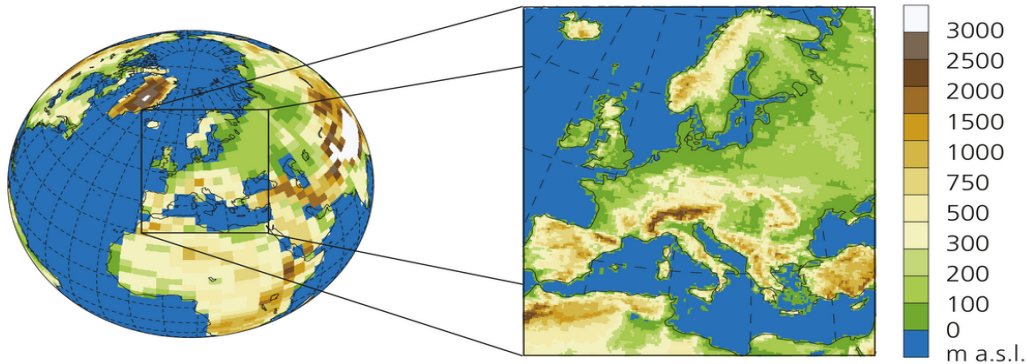
mögliche Emissionspfade und dazugehörige Entwicklungen der globalen Mitteltemperatur



## 3.2. Modelldaten

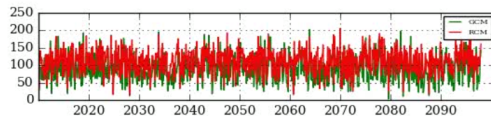
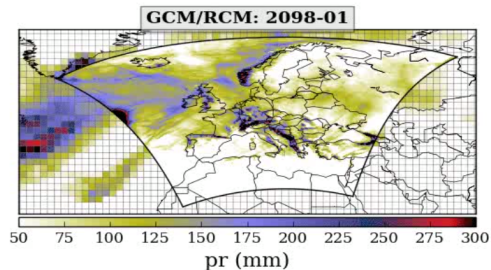
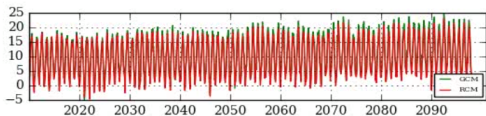
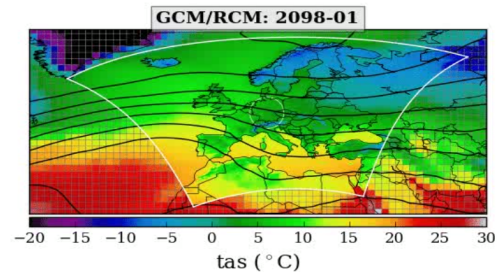
Global Climate Model

Regional Climate Model  
(EURO-CORDEX)



**Regionalisierung globaler Klimasimulationen für Großregionen wie Europa.**

# Klimasimulationen und Regionalisierung



**Regionale Klimamodelle bekommen an den Rändern Informationen der Globalmodelle.**

# Regionale Klimaensembles für Deutschland

## Hitzetage: $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$

su30: (1971-2000,  $sw=30^{\circ}\text{C}$ ,  $n=4.5\text{d}$ ,  $\text{perc}=98.80^{th}$ )

	ECE	CN5	CA2	MP1	HG2	MP2	EC2	EC1	IP5	MI5
WRF	1.5			2.3	4.4				3.0	
CLM	1.2	1.8	5.1	0.7	6.1					4.4
HIR	0.1									
RAC	0.7				4.3		0.7	0.9		
REM	1.4	1.5	1.4	3.2	4.6	3.4				3.9
W13	7.7	7.5	8.2	8.3	7.9					7.4
ST3	5.3	4.6	4.9	5.4	4.7					4.9
RCA	1.2	2.7		1.2	6.5				2.0	

## Starkregentage: $\text{Nied} > 20\text{mm}$

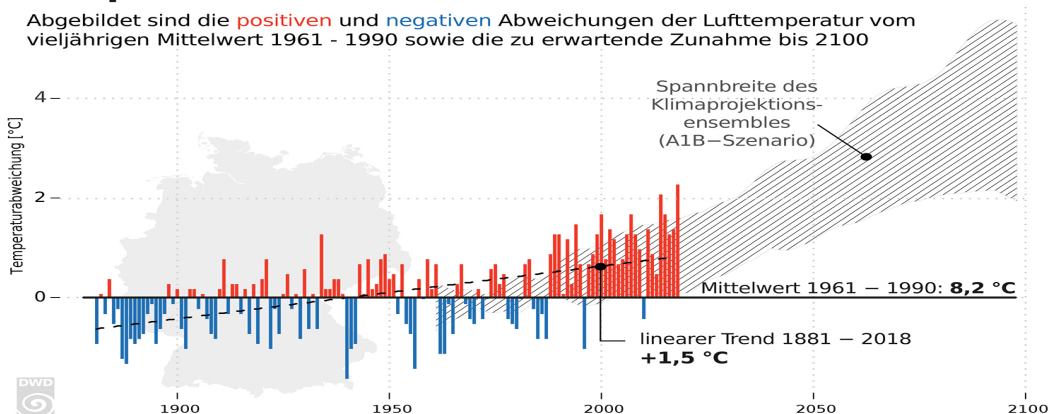
r20mm: (1971-2000,  $sw=20\text{mm}$ ,  $n=5.1\text{d}$ ,  $\text{perc}=98.61^{th}$ )

	ECE	CN5	CA2	MP1	HG2	MP2	EC2	EC1	IP5	MI5
WRF	7.2			8.3	6.9				7.9	
CLM	5.9	6.5	4.3	8.0	4.8					5.7
HIR	8.2									
RAC	4.2				4.5		4.0	4.2		
REM	5.6	6.8	6.4	5.9	5.5	5.8				6.2
W13	3.7	4.3	4.3	3.8	4.3					3.7
ST3	5.1	5.2	5.0	5.1	5.1					5.1
RCA	6.1	6.7		7.8	5.3				6.8	

**Klimamodelle simulieren mögliches Wetter und haben folglich einen Fehler zu Beobachtungen.**

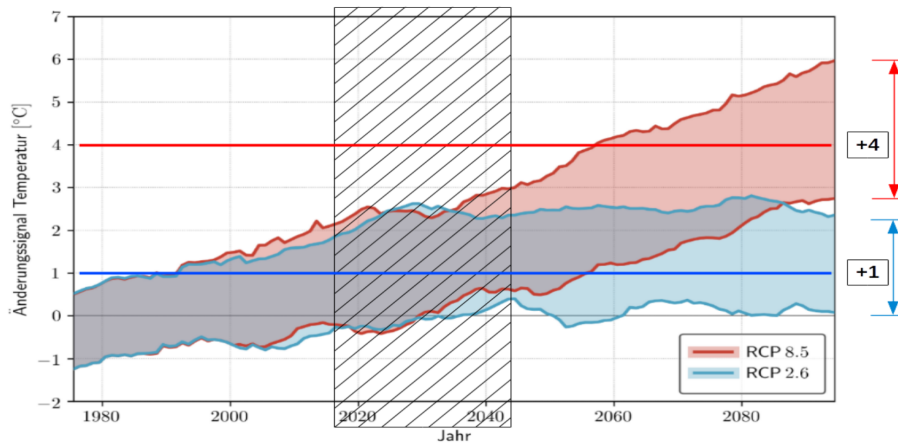
## Temperaturverlauf in Deutschland seit 1881

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



2018 [www.dwd.de/klima](http://www.dwd.de/klima) | Quelle: DWD

## Jahresmitteltemperatur: Deutschland

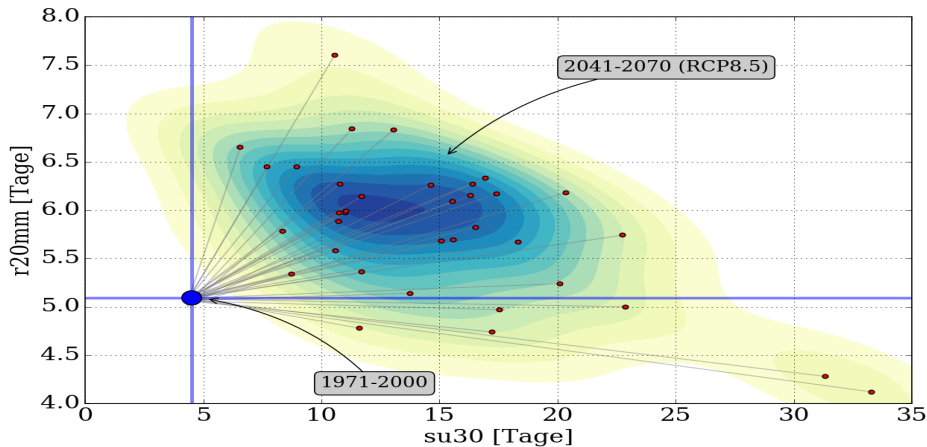


## Klimaparameter: Deutschland

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

2071-2100 vs 1971-2000

## Extreme: Deutschland

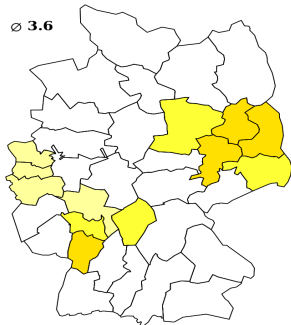


**Entwicklung Starkregentage über Hitzetage - hohe Richtungseinigkeit**

## Hitzetage<sup>2</sup>: Deutschland

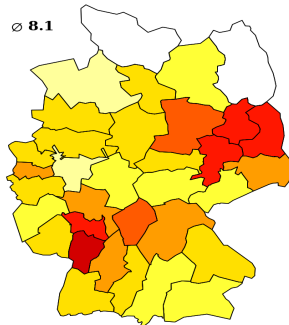
OBS:1961-1990

Ø 3.6



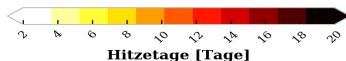
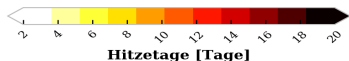
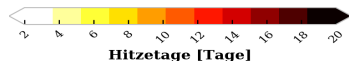
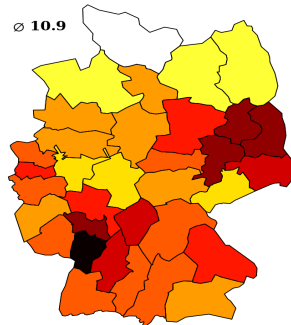
OBS:1991-2020

Ø 8.1



RCP85:2031-2060

Ø 10.9



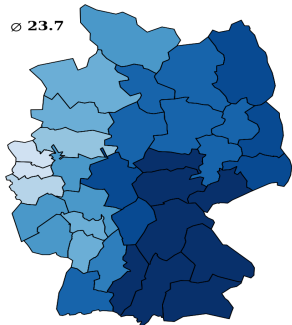
Die Anzahl der Hitzetage haben sich bereits verdoppelt und werden weiter ansteigen.



# Eistage<sup>3</sup>: Deutschland

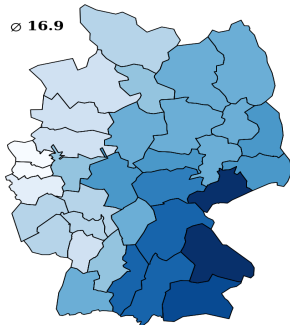
**OBS:1961-1990**

Ø 23.7



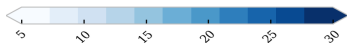
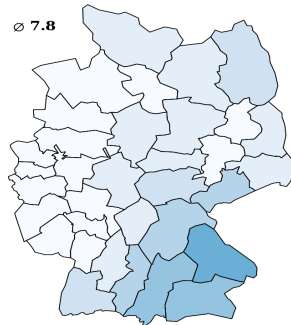
**OBS:1991-2020**

Ø 16.9

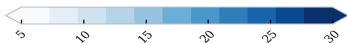


**RCP85:2031-2060**

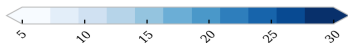
Ø 7.8



Eistage [Tage]



Eistage [Tage]



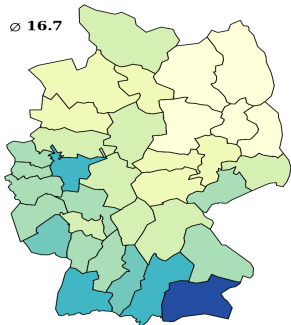
Eistage [Tage]

**Tage mit Dauerfrost haben bereits deutlich abgenommen und werden sich weiter reduzieren.**

# Regenintensität<sup>4</sup>: Deutschland

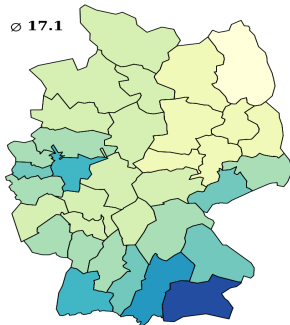
**OBS:1961-1990**

Ø 16.7



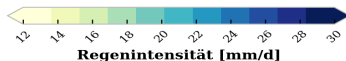
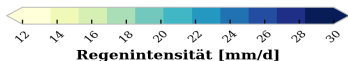
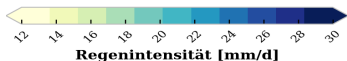
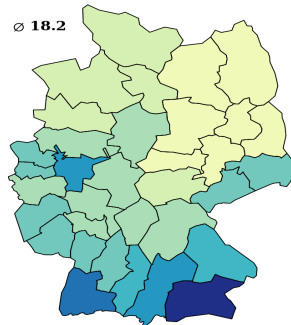
**OBS:1991-2020**

Ø 17.1



**RCP85:2031-2060**

Ø 18.2

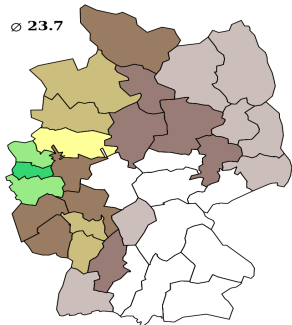


**An Tage mit Potential für Starkregen erhöht sich die Neigung zu intensiveren Regenmengen, deutschlandweit.**

# Eisregen<sup>5</sup>: Deutschland

**OBS:1961-1990**

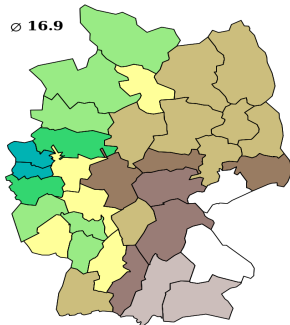
Ø 23.7



Eisregen [mm]

**OBS:1991-2020**

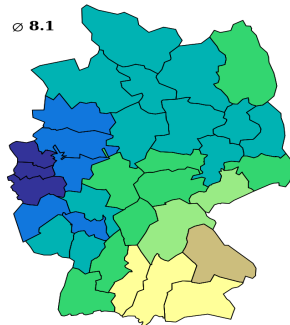
Ø 16.9



Eisregen [mm]

**RCP85:2031-2060**

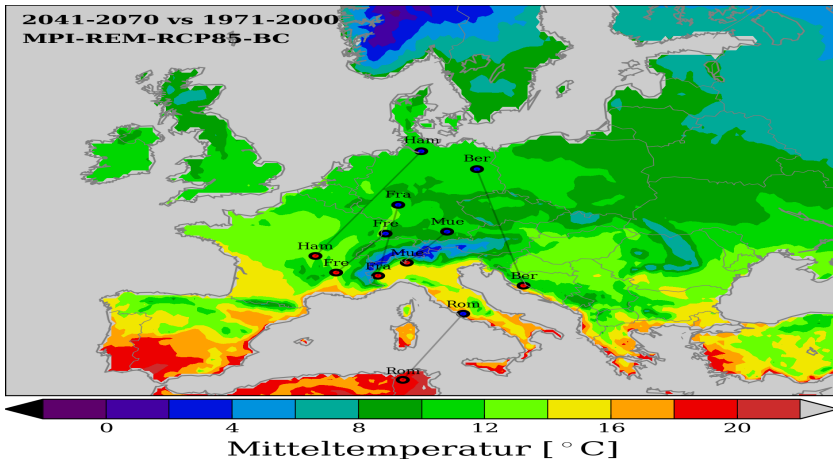
Ø 8.1



Eisregen [mm]

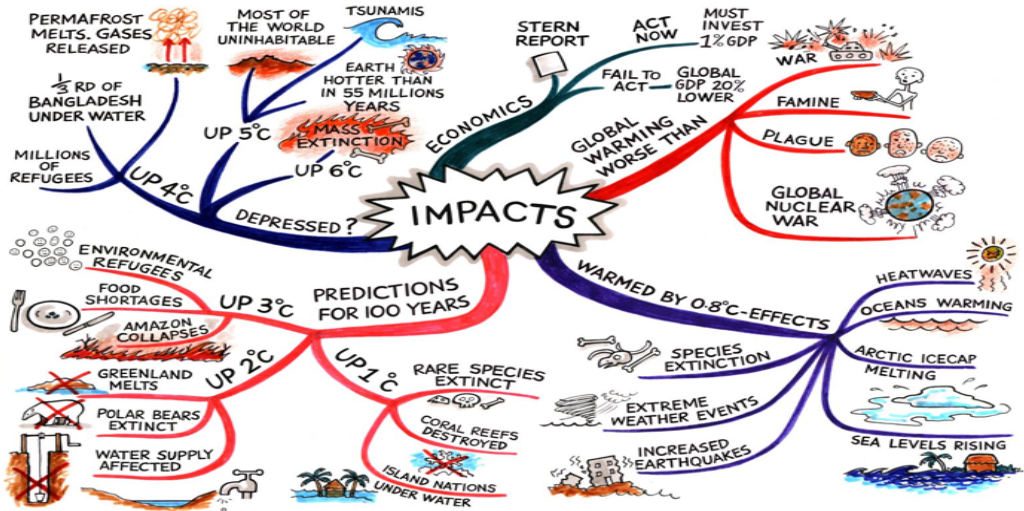
**Die Bedingungen für eine natürliche Winterlandschaft schrumpft weiter.**

## Klimatische Verschiebungen

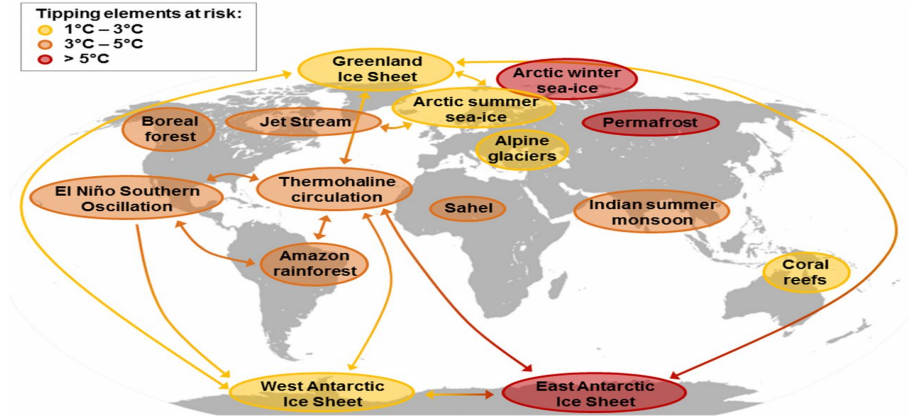


Das zukünftige Klima von Berlin könnte in einigen Jahrzehnten dem gegenwärtigen Klima im nördlichen Mittelmeerraum entsprechen.

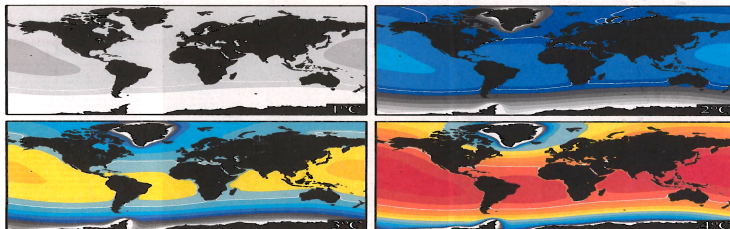
### 3.3. Klimafolgen



# Kippelement im Klimasystem



Selbst bei einer Begrenzung der Erderwärmung auf unter 2 Grad, können einige Kippelemente ihren Zustand verlieren.



Eine Simulation des Autors, in der die langfristigen Folgen der Erwärmung auf den Meeresspiegel studiert wurden. Foto: rtt

Der Meeresspiegel steigt, langsam, aber unerbittlich. Und immer schneller. Der vom Menschen mit seinem Ausstoß an Treibhausgasen verursachte Klimawandel bedroht auch die Ozeane auf – die Wassermassen dehnen sich dadurch aus, und die Eismassen an den Polen drohen zu schmelzen. Ohne Emissionsreduktionen stieg der Meeresspiegel letztlich um mehr als fünf Meter. Aber selbst wenn die Staaten der Welt das Pariser Klimaabkommen einhalten und die globale Erwärmung wie von allen beschlossen auf „deutlich unter zwei Grad“ begrenzen, würde dies über die Jahrhunderte die Ozeane um mehr als fünf Meter steigen lassen. Mehr als 300 Millionen Menschen leben derzeit in Gebieten, die weniger als fünf Meter über dem Meeresspiegel liegen. Mößen wir

## Warum nicht das Meer wegpumpen?

Geht der Klimawandel weiter wie bisher, sind alle Küstenmetropolen bedroht – unumkehrbar. Ein Pegelanstieg um fünf Meter könnte dann vielleicht nur mit Riesensumpen auf der Antarktis verhindert werden.

Von Anders Levermann

ten bewegende Teil im gesamten Klimasystem der Erde. Der Wasserkreislauf in der Atmosphäre ist hier viel langsamer als etwa in der Sahara, wo Hitze zu starker Verdunstung und einem immensen Wasserkreislauf führen würde. Und: Die Antarktis ist die windigste Region der Erde. Auch wenn es enorme technologische Anstrengungen bräuhete, um tatsächlich Windkraftanlagen für die Antarktis zu bauen, so könnte man den für das Wegpumpen des Meeresspiegels nötigen Strom wahrscheinlich mit erneuerbaren Energien lokal bereitstellen. Ist das nicht alles viel zu teuer? Mit den wirtschaftlichen Kosten ist es immer so eine Sache. Irigendjemand bezahlt das Geld, und irgendjemand anderer bekommt es. Ein Projekt dieser Größenordnung müßte von den Industrieländern bezahlt werden, die den Klimawandel verursachen.

## Exopessimismus

Es ist ein Wechselbad der Gefühle, dem diejenigen momentan ausgesetzt sind, die von der baldigen Entdeckung außerirdischen Lebens träumen. Unbestreitbar. Das Jahr 2017 war eines der Superlative für die Suche nach irdischen Lebensformen. Eine vermeintliche Sensation jagte die nächste. Trappist-1, der Zwergstern mit den sieben Planeten, LIES 1140 b: der „vielversprechendste“ Kandidat für Leben im All, Proxima Centauri: Planetensystem unseres nächsten Nachbarn und schließlich Ross 128 b: neues Hoffnung für irdische Lebensfreundlichkeit. Doch dann wird man in der aktuellen Ausgabe des Journals „Nature“ mit der Einschätzung eines professionellen Planetenjügers konfrontiert (doi: 10.1038/nature.2017.23023). „Steve Desch kann die Zukunft der Exoplanetenforschung sehen, und sie ist nicht schön.“ Wir hatten das Gegenteil erwartet, doch der Grund für diese niederschmetternde Analyse ist simpel: Vielleicht jagen wir mit unserer aktuellen Fixierung auf die Suche nach flüssigem Wasser im All einer völlig falschen Idee hinterher. Denn Wasser allein mag für die Entstehung von Leben zu wenig sein. Leben – wie wir es kennen – braucht Nährstoffe, die wiederum aus Gestein im Meer ausgetrennt werden. Die Kombination von Wasser und Land ist also vornehmlich oder ganz allgemein gesagt: die richtige Chemie. Die allerdings wird sich kaum erschöpfend anhand der Studien planetarer Atmosphären bestimmen lassen, wie sie von 2019 an mit dem James-Webb-Weltraumteleskop möglich sein werden. Und was nun? Wir müssen uns wohl gedulden, wenn wir den Astronomen Glauben schenken. Die meisten Teilnehmer der jüngsten Exoplanetenkonferenz betonen laut „Nature“, dass wir fremdes Leben vor 2050 finden werden. Aber – so will man einwenden – vielleicht gibt es ja doch schon viel früher fremdes Leben in unserem eigenen Sonnensystem zu entdecken. Primitive zumindest. Der Mars zum Beispiel. Da gibt es ja Gerüchte zur Genüge. Und über flüssiges Wasser wurde in den vergangenen Jahren angesichts dunkler eisiger Rillen und Linien im Marsand noch spekuliert. Doch hier kommt gleich die nächste Enttäuschung: Die Spuren weisen wohl doch nicht auf Wasser, sondern auf fließenden Sand hin, wie Forscher um Colin M. Dundas in „Nature Geoscience“ berichten. Die Steigungen der Dünen, bei denen die Flusssuren en-

© FAZ

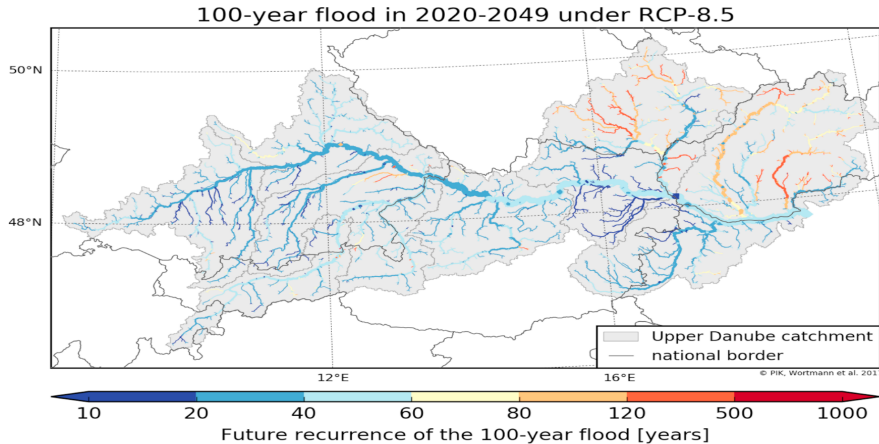
Selbst bei einer Stabilisierung der Erderwärmung auf unter 2° würde langfristig der Meeresspiegelanstieg um ca. 5 m steigen.

## Betroffenen Sektoren

1. Gesundheit (z.B. Hitzestress, Allergien, Infektionskrankheiten)
2. Biodiversität (z.B. Lebensrythmus von Tieren und Pflanzen)
3. Wasserhaushalt (z.B. Grundwasserneubildung)
4. Landwirtschaft (z.B. Schadorganismen, Spätfrost)
5. Wald- und Forstwirtschaft (z.B. Vegetationsperioden, Biomasseproduktion, Trockenstress)
6. Boden (z.B. Bodenwasserhaushalt, Funktionalität)
7. Verkehr (z.B. Schifffahrt, Emissionsminderung, Extremereignisse)
8. Städte (z.B. thermische Belastung, Starkniederschläge)
9. Tourismus (z.B. Angebot und Nachfrage)
10. Infrastrukturen (z.B. Thermisch Kraftwerke m. Kühlung, Wasserversorgung)

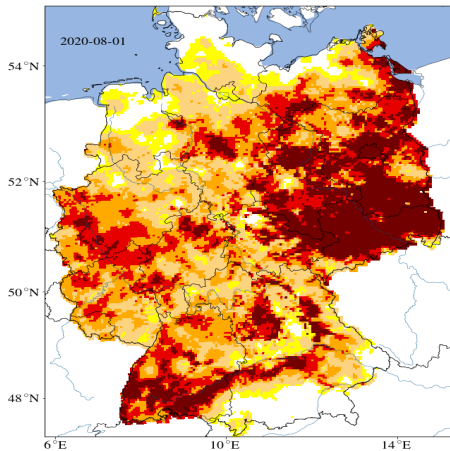


## Flusshochwasser: Bsp. Donau



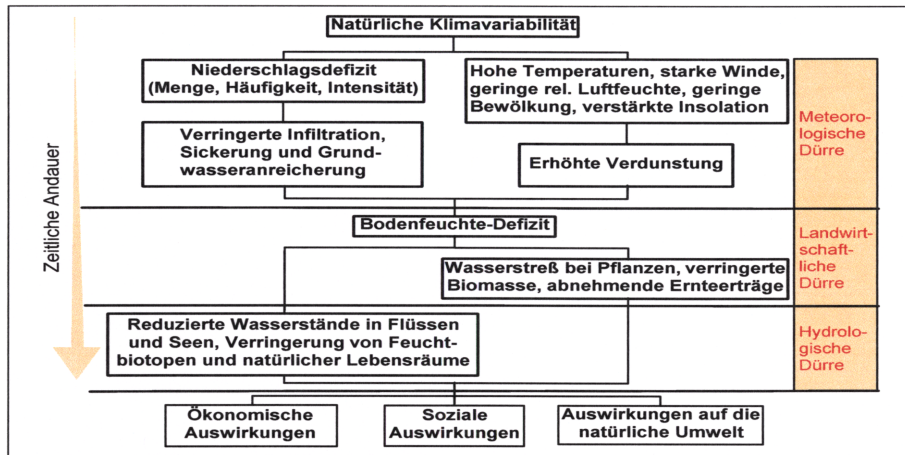
Bereits in naher Zukunft werden sich Wiederkehrzeiten von 100 jährigen Ereignissen verkürzen.

## Dürre & Waldsterben



**Langanhaltende Hochdruckwetterlagen führen zu einem Bodenfeuchtedefizit und Trockenstress.**

# Dürrearten und Auswirkungen



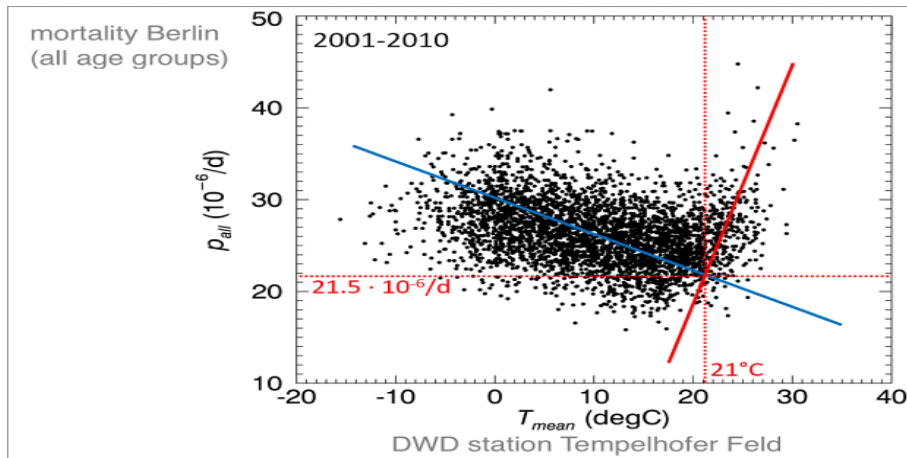
Je schwerer der Dürregrad je stärker die sozialen/ökonomischen Auswirkungen.

## Migration

**Umweltbedingte Migration ist in landwirtschaftlich geprägten Ländern mit mittlerem Einkommen am stärksten ausgeprägt.**

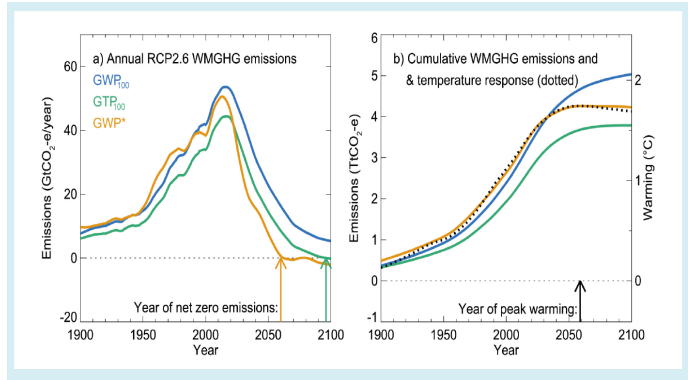


## Mortalität: Bsp. Berlin



Sterbefälle je 1 Mio. Einwohner über der Tagesmitteltemperatur

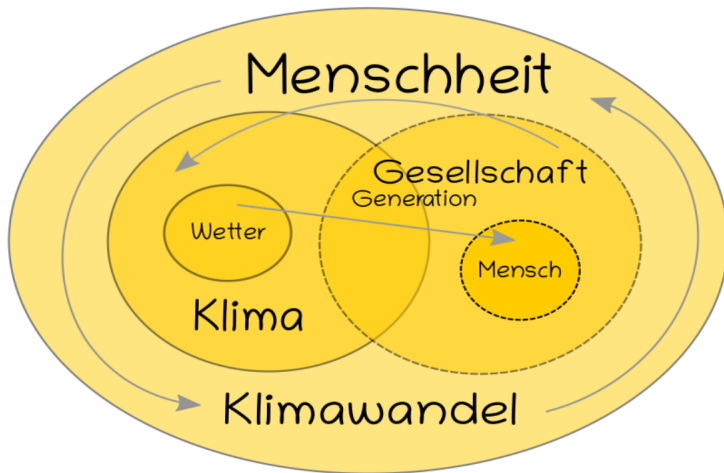
## 4. Therapie



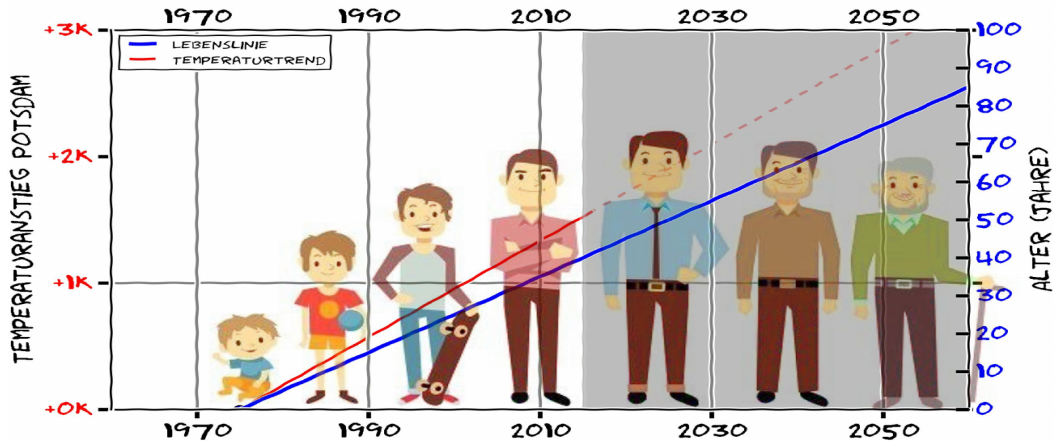
**Begrenzung der Erderwärmung auf 1.5 Grad gegenüber vorindustriell.**

© IPCC 1.5°C Report

## 4.1. Herausforderungen



## Zeitraffer des Wandels



Innerhalb eines heutigen Menschenlebens wird die Temperatur um 3 Grad ansteigen.



## Die Welt von Heute

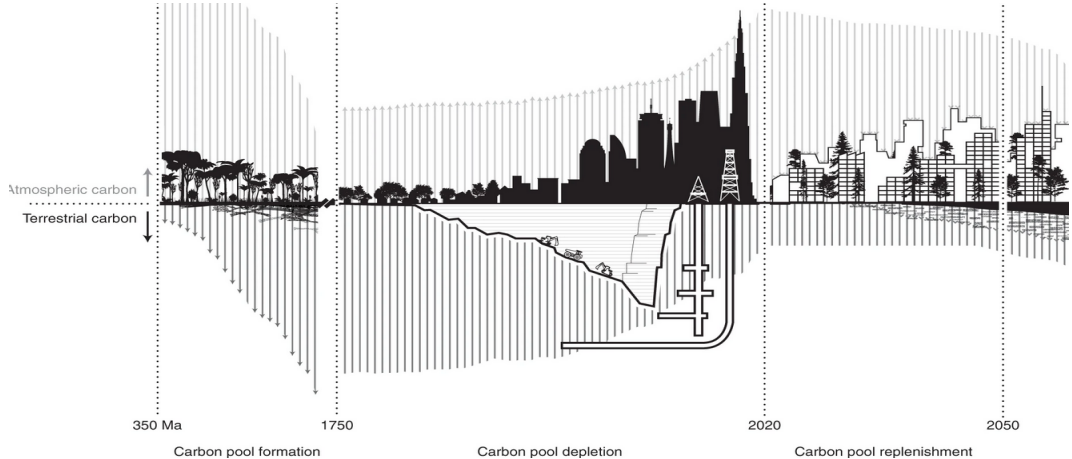


Die Welt von heute ist näher zusammengerückt (Klimate/Kulturen durch Handel/Tourismus).



## Chancen und Risiken

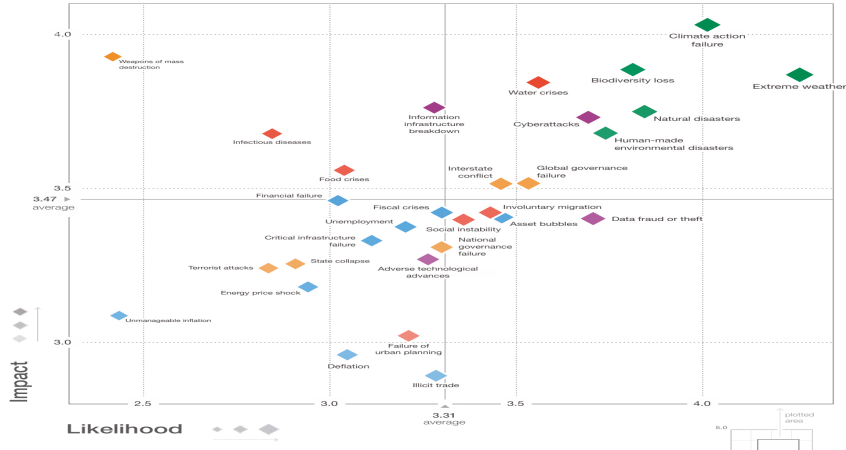
## Gebäude als Kohlenstoffsенке



**Im fossilen Zeitalter wurde massiv Kohlenstoff aus dem Boden in die Atmosphäre umgelagert.**



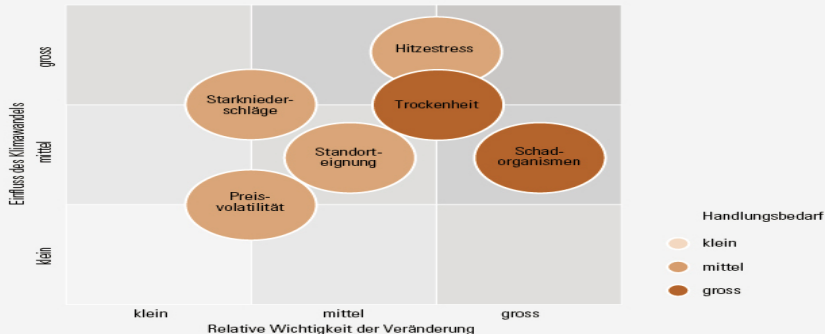
# Bewertung globaler Risiken



**Umweltfaktoren haben den stärksten Impact auf die Ökonomie (z.B. Extremwetter)**

# Klimaanpassungsmatrix: Bsp. Landwirtschaft

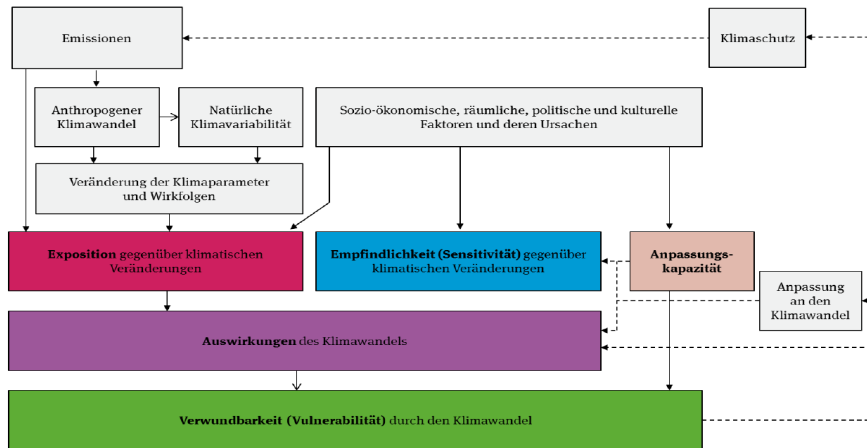
**Sektor Landwirtschaft** Beurteilung der relevanten Bereiche bezüglich Einfluss des Klimawandels, relativer Wichtigkeit der Veränderungen und des klimabedingten Handlungsbedarfs.



Zu Handlungsfeldern für die Anpassung werden nur solche Bereiche, die in allen drei Dimensionen (Einfluss des Klimawandels, Relative Wichtigkeit der Veränderung und Handlungsbedarf) als mittel oder gross eingestuft sind.

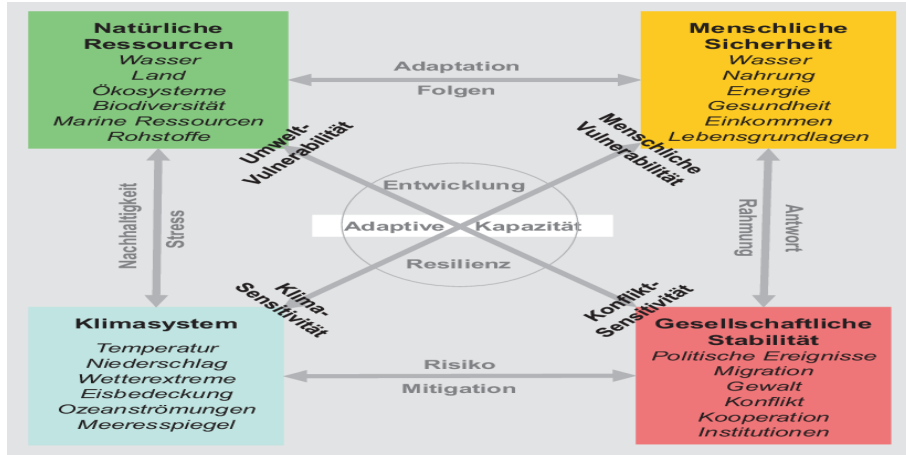
Quelle: BAFU

# Vulnerabilitätskonzept



## Klimaschutz (abmildern der Veränderung) und Anpassung an den Klimawandel

# Wirkungskette und Wechselwirkung zw. Klima und Gesellschaft



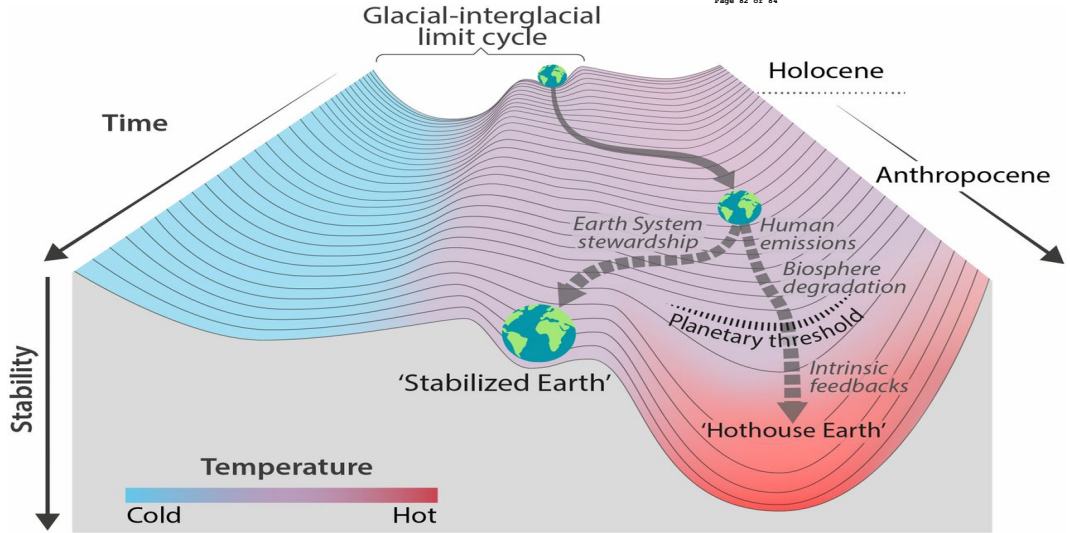
Klimasystem: (1) Natürliche Ressourcen (2) Gesellschaftliche Stabilität (Menschliche Sicherheit)

# Fazit

1. Klimawandel ist mehr als eine zeitlich begrenzte Krise
2. Begrenzung des Klimawandels erfordert eine gesellschaftliche Transformation
3. der Gestaltungsprozess hängt von den jetzigen Generationen ab
4. Klimawandelfolgen sind generationsübergreifend wegen der Trägheit des Klimasystems
5. Anpassungen an eine bis zu 4 Grad wärmere Welt (Heißzeit) wäre enorm teuer

---

**positive Visionen, gemeinschaftliches Denken, Vorbilder und mutiges Handeln**





# Wissenswertes

<https://www.ncdc.noaa.gov/cag/>

<https://www.springer.com/de/book/9783662503966>

<https://www.klimafolgenonline-bildung.de/>

<https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/>

<https://climate.copernicus.eu/climate-bulletins>

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung>

<https://www.ipcc.ch/sr15/>

<https://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/>

<https://www.klimafakten.de/>

<https://www.globalwarmingindex.org/>

[http://blogs.reading.ac.uk/climate-lab-book/files/2020/05/spiral\\_2020\\_large.gif](http://blogs.reading.ac.uk/climate-lab-book/files/2020/05/spiral_2020_large.gif)

<https://germanwatch.org/de/17307>

State of Climate

Klimawandel Deutschland

Klimafolgenonline

Deutscher Klimaatlas

Copernicus

Klimafolgenanpassung

IPCC Report 1.5 Grad

Warnsignal Klima

Klimafakten

Global Warming Index

Climate Spiral

Climate Risk Index

# Climate Explorer: Explorative Analyse von Klimadaten via Internet



WORLD  
METEOROLOGICAL  
ORGANIZATION  
Weather - Climate - Water

European Climate Assessment & Dataset KNMI

Climate Explorer

[Help](#) | [News](#) | [About](#) | [World weather](#) | [Effects of El Niño](#) | [Seasonal forecasts](#) | [Climate Change Atlas](#)

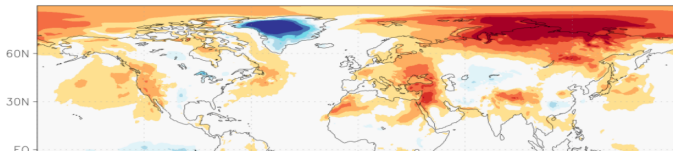
Home — Monthly overview world weather: temperature (2m height, world) anomaly September 2020

## Monthly overview world weather

temperature (2m height, world) anomaly September 2020

Navigation		
<a href="#">this month last year</a>	w.r.t. 1981-2010	this month next year
<a href="#">previous month</a>	<a href="#">observed values</a>	next month

temperature (2m height, world) anomaly [K] September 2020, w.r.t. 1981-2010 (Source: ERA5 reanalysis, ECMWF analysis).



### Time scale

- > Month
- > Season
- > Half year
- > Year

### World maps

- > sea-level pressure (northern hemisphere)
- > temperature (2m height, world)
- > sea surface temperature
- > snow cover (northern hemisphere)
- > sea ice concentration (Arctic)
- > sea ice concentration (Antarctic)
- > precipitation (rain gauges)
- > precipitation (satellite)
- > ozone (northern hemisphere)
- > ozone (southern hemisphere)