

Klimafolgenforschung in Potsdam

RD1

EARTH SYSTEM ANALYSIS

Atmosphere, Ocean, Ice Sheet & Vegetation



Multi-sector Impacts and Climate Extremes

CLIMATE IMPACTS AND VULNERABILITIES

RD2



RD3

SUSTAINABLE SOLUTIONS

Global Adaption Strategies, Policy Assessment



Complex Networks and Visualization

TRANSDISCIPLINARY CONCEPTS & METHODS

RD4

Klimawandel:

1. Potsdam:

(a) Zeitreihen, Verteilungen, saisonale Vorhersagbarkeit

2. Europa:

(a) Zirkulationsänderungen, Großwetterlagen und Extremwetter

3. Global:

(a) Ursachen, Kippelemente, Jetstream, Modellierung

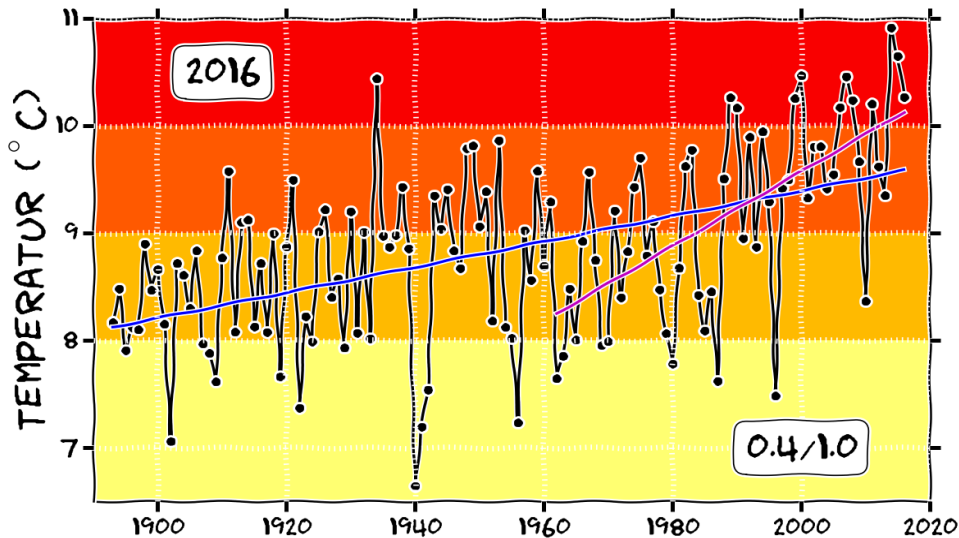
4. Deutschland:

(a) Daten und regionale Klimamodellensembles

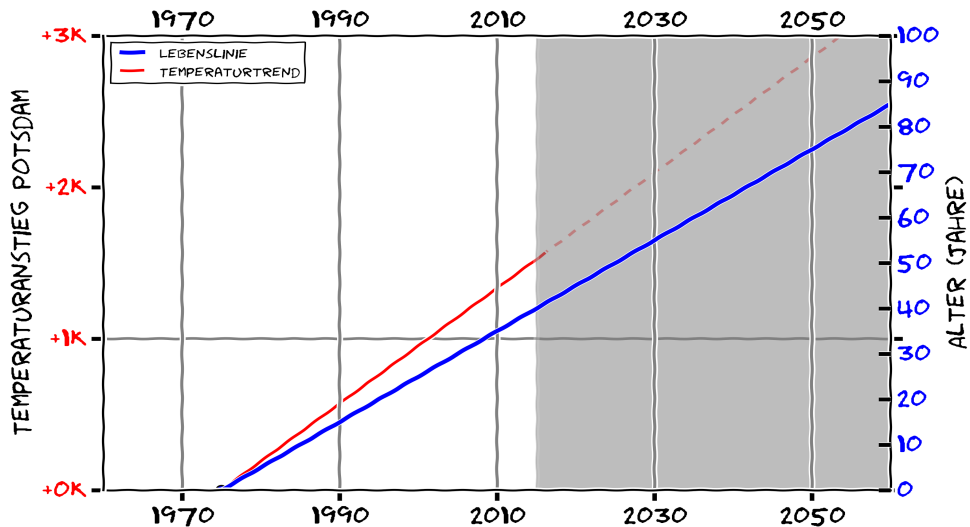
5. Folgen:

(a) Gesundheit, Landwirtschaft, Verkehr, Bildung

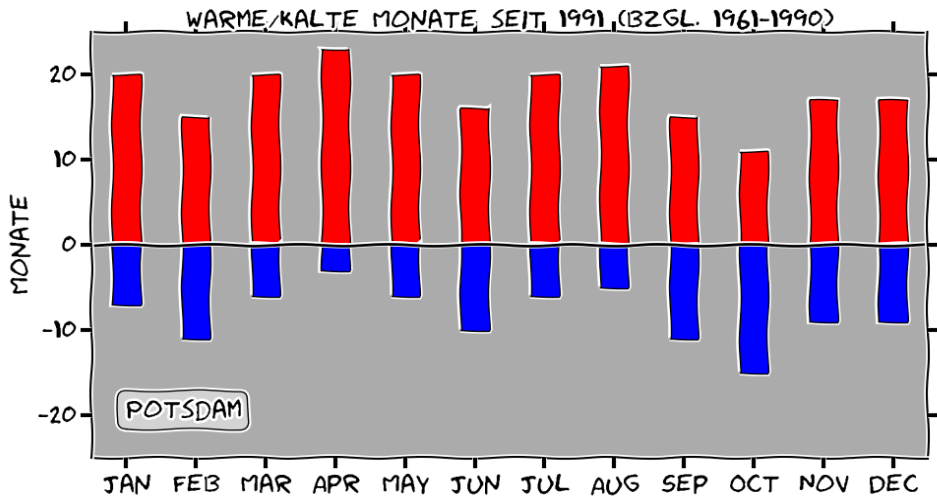
Potsdam: Zeitreihen



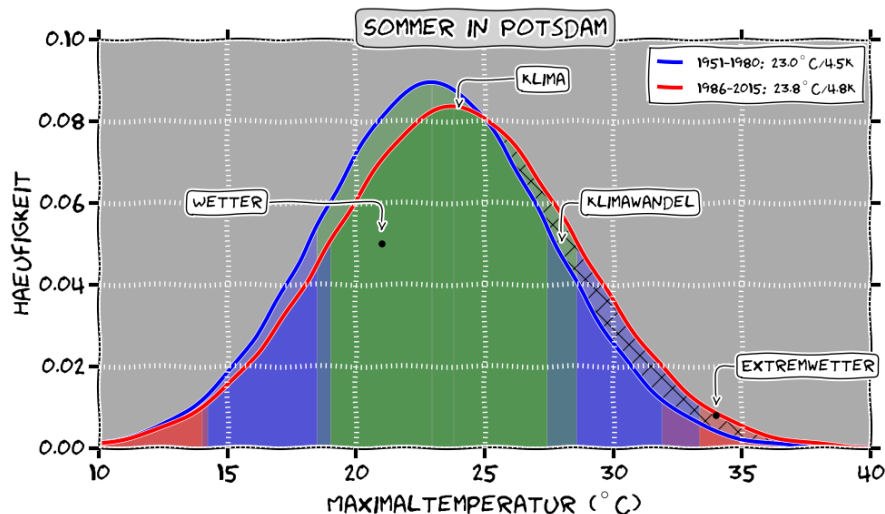
Potsdam: Lebenslinie



Potsdam: Zeitreihen



Potsdam: Verteilung



Streckung der Häufigkeitsverteilung!

Potsdam: T-zeitreihen → Vorhersagbarkeit → Zirkulationsänderung

Klimawandel

↗ thermodynamisch

↘ dynamisch

↗ komplexe Methoden

→

↘ **sais. Vorhersagbarkeit**



sais. Vorhersagbarkeit

↗ Zielgröße

↗ Sommermitteltemperatur

→

↘ Hitzetage

↘

Prädiktoren

↗

Variabilität (σ): Spätwinter

→

↘

Mittelwert (m): Frühjahr

ERSTE DIFFERENZEN

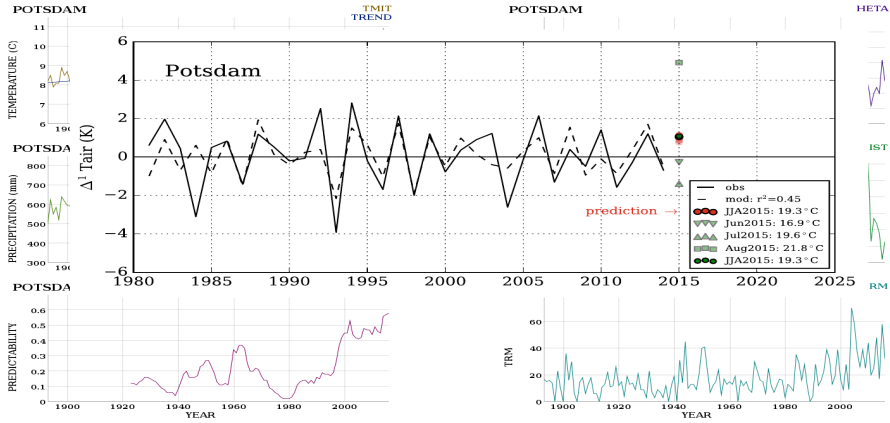
Δ^1



Potsdam: Regressionsmodell für Vorhersagbarkeit

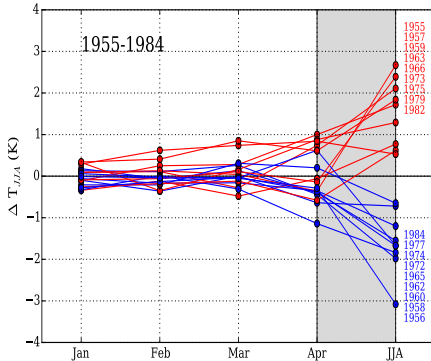
$$T_{JJA} = const + a \cdot \sigma(T_{Jan}) + b \cdot \sigma(T_{Feb}) + c \cdot \sigma(T_{Mar}) + d \cdot \sigma(T_{Apr}) + e \cdot m(T_{Apr}) + err$$

Local Climate Monitoring: Potsdam



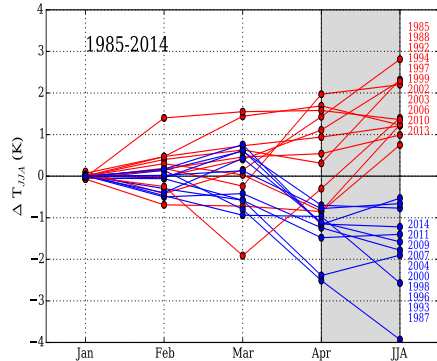
Potsdam: Vorhersagbarkeit

Vergangenheit:



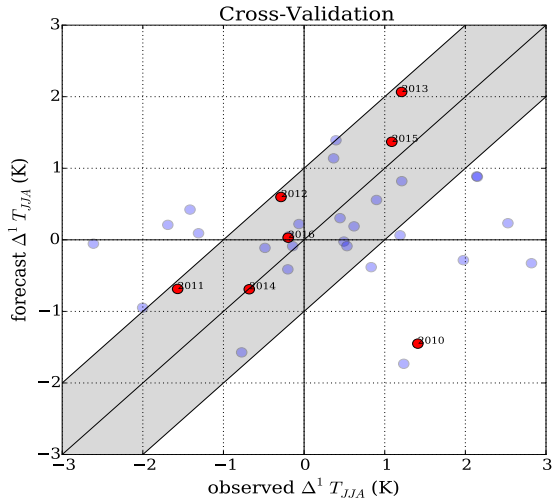
niedrige Beiträge

Gegenwart:

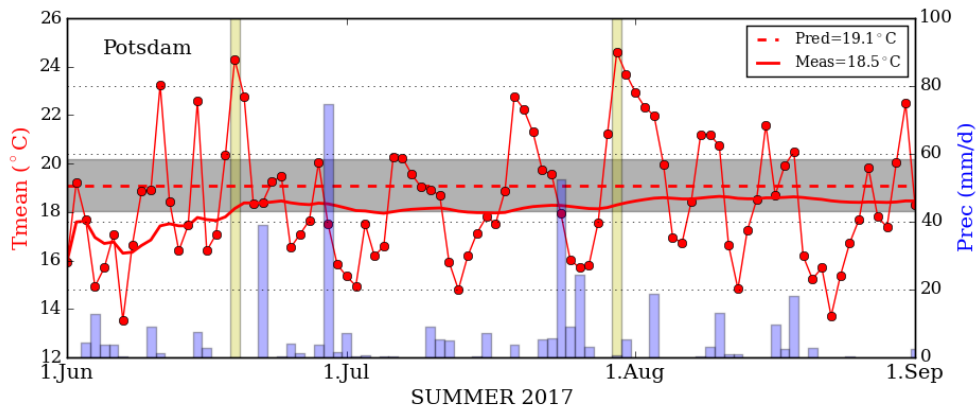


große Beiträge

Potsdam: Vorhersagegüte

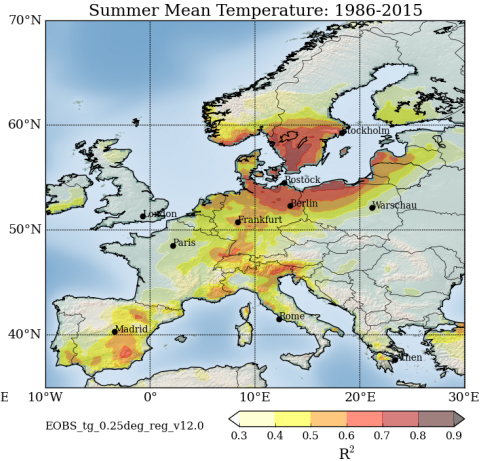
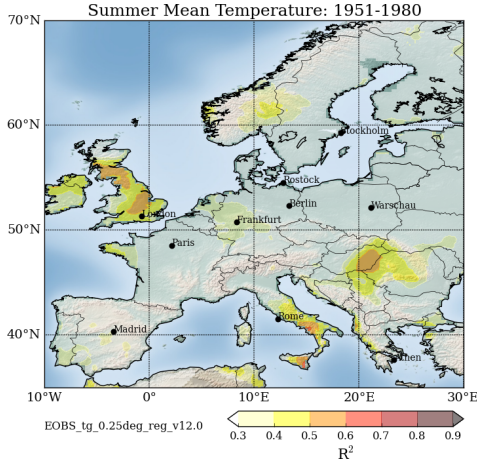


Potsdam: Sommer 2017



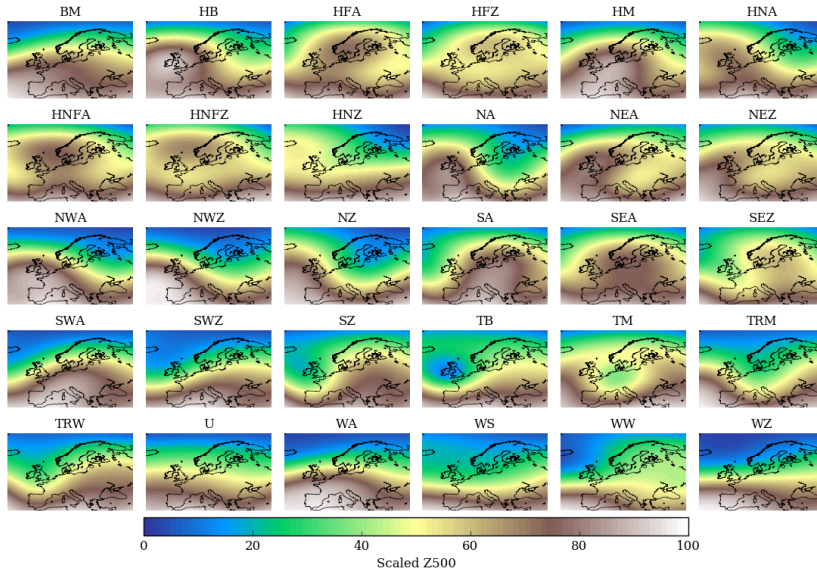
SMT2017: Vorhersage (19.1°C) Beobachtet (18.5°C)

Europa: Vorhersagbarkeit

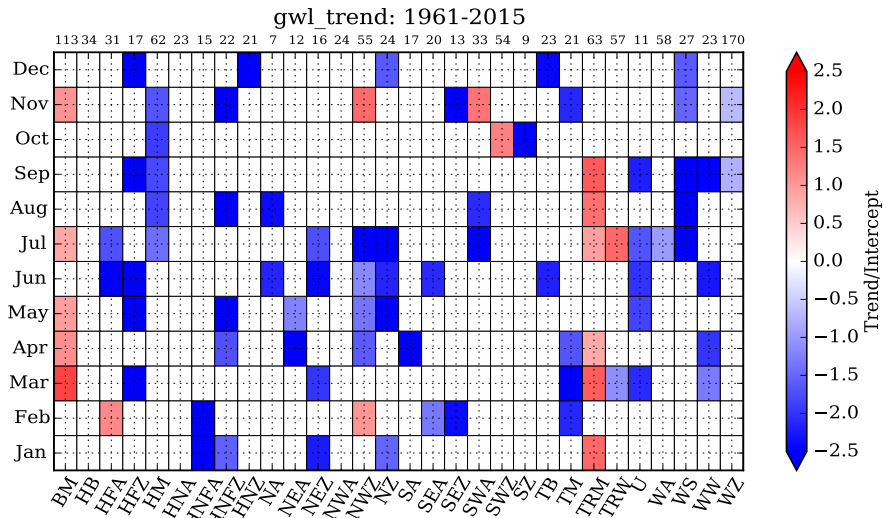


Gegenwärtig hohe Vorhersagbarkeit: Ursache Zirkulationsänderungen?

Europa: Großwetterlagen (Formen)

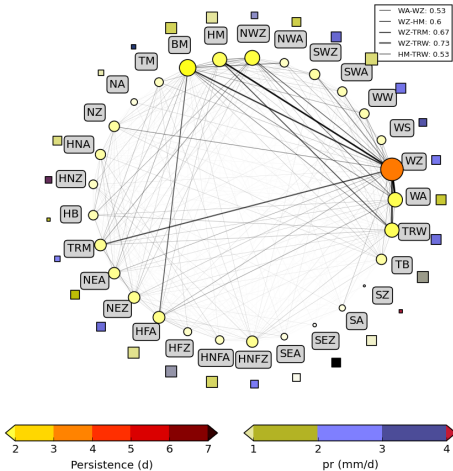


Europa: Großwetterlagen (Trends)

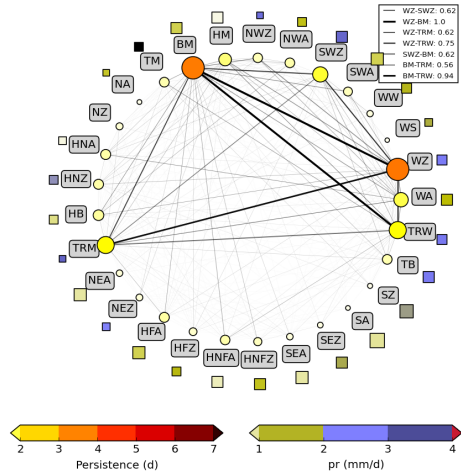


Europa: Großwetterlagen (Sequenzen)

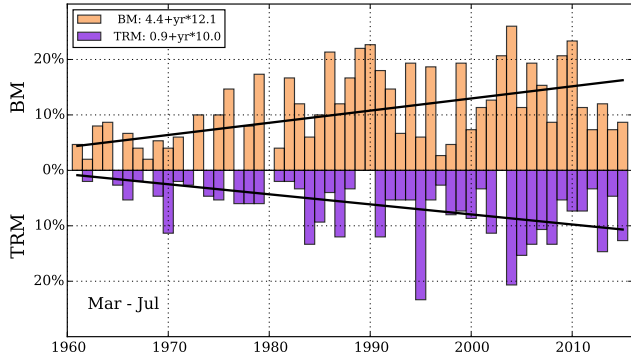
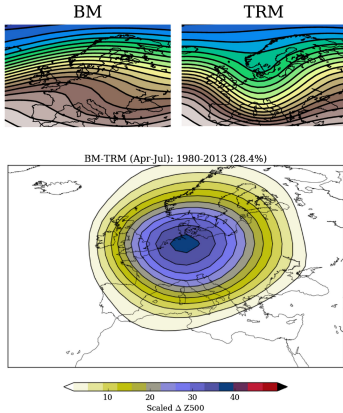
Sequence of European Weather-Types between 1951-1980 (Apr-Aug)



Sequence of European Weather-Types between 1987-2016 (Apr-Aug)



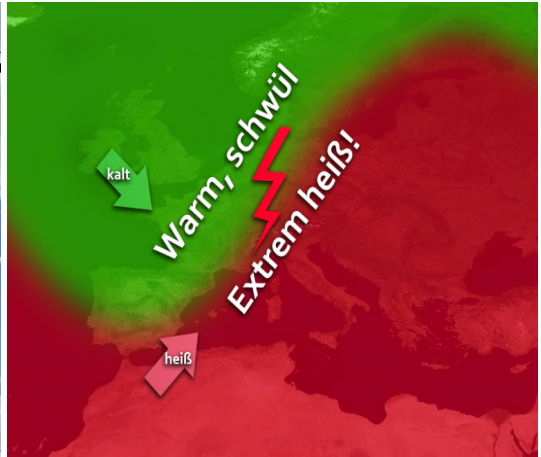
Europa: Neue Dominante Großwetterlagen



Blockierende Wetterlagen (BM): Begünstigen Hitzewellen im Sommer

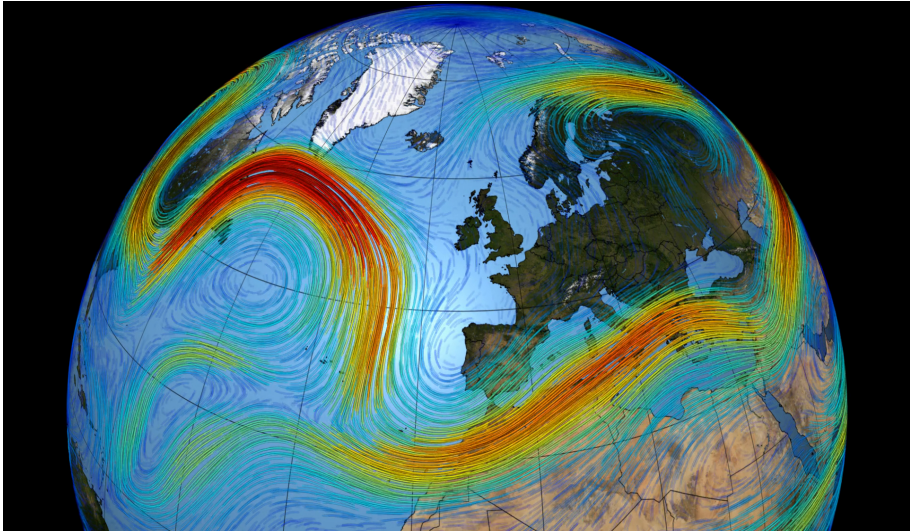
Trog über Mitteleuropa (TRM): Begünstigt Starkregen und Überschwemmungen

Europa: Negativer Nebeneffekt



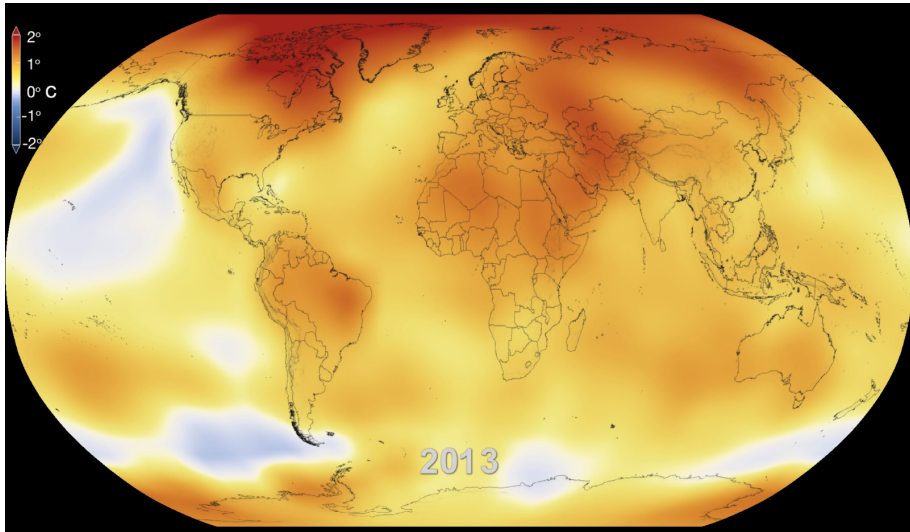
Häufigere Wetterextreme in den Sommermonaten!

Global: Jetstream



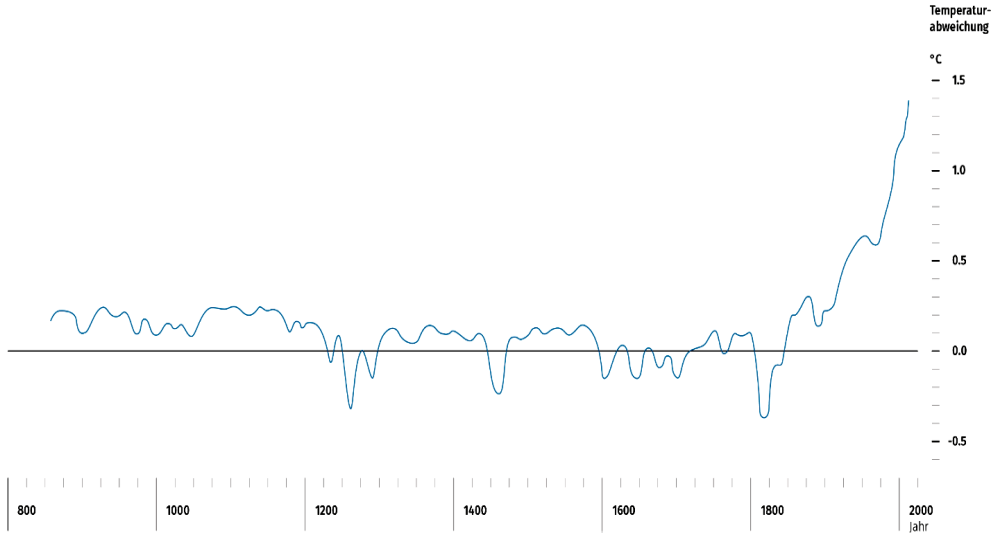
Beeinflusst durch Temperaturkontraste zw. Pol/Äquator sowie Land/Ozean!

Global: Temperaturentwicklung



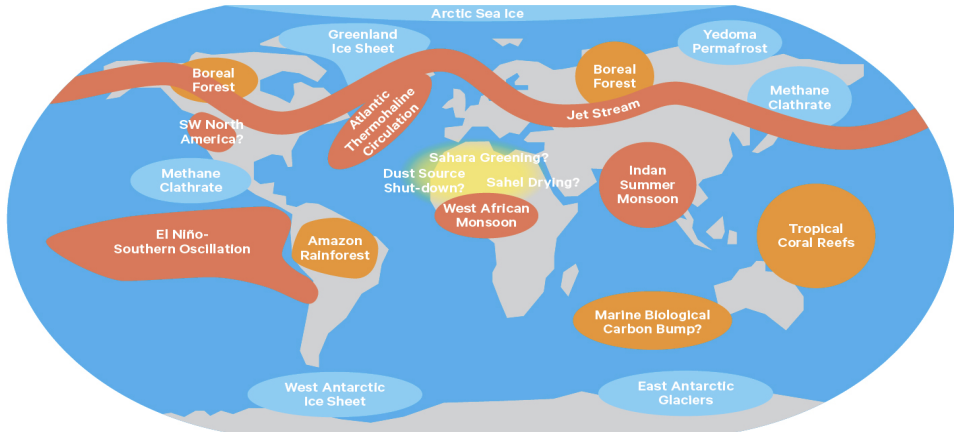
Stärkere Erwärmung der Arktis und Kontinente gegenüber dem Rest der Welt.

Global: Temperaturentwicklung



Evidenz: (1) physikalische Grundprinzipien (2) Klimamodellsimulationen (3) Beobachtungsdaten

Global: Kippelemente im Klimasystem



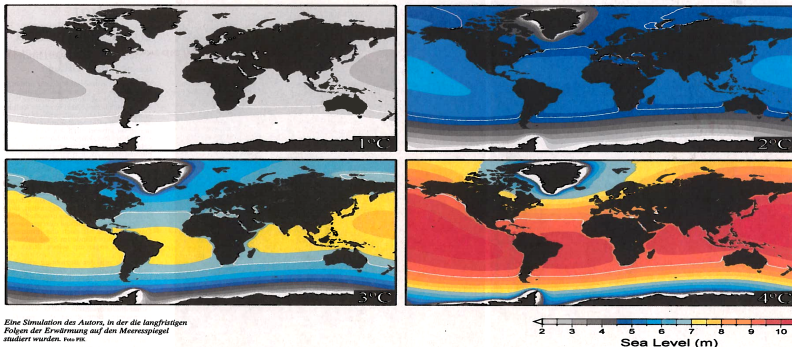
Cryosphere Entities



Circulation Patterns



Biosphere Components



Eine Simulation des Autors, in der die langfristigen Folgen der Erwärmung auf den Meeresspiegel studiert wurden. **VON RIX**

Der Meeresspiegel steigt, langsam, aber unerbittlich. Und immer schneller. Der vom Menschen mit seinem Ausstoß an Treibhausgasen verursachte Klimawandel heizt auch die Ozeane auf – die Wassermassen dehnen sich dadurch aus, und die Eismassen an den Polen drohen zu schmelzen. Ohne Emissionsreduktionen stiege der Meeresspiegel letztlich um mehr als fünfzig 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. Müssen 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 Riesensystemen auf der Antarktis verhindert werden.

Von Anders Levermann

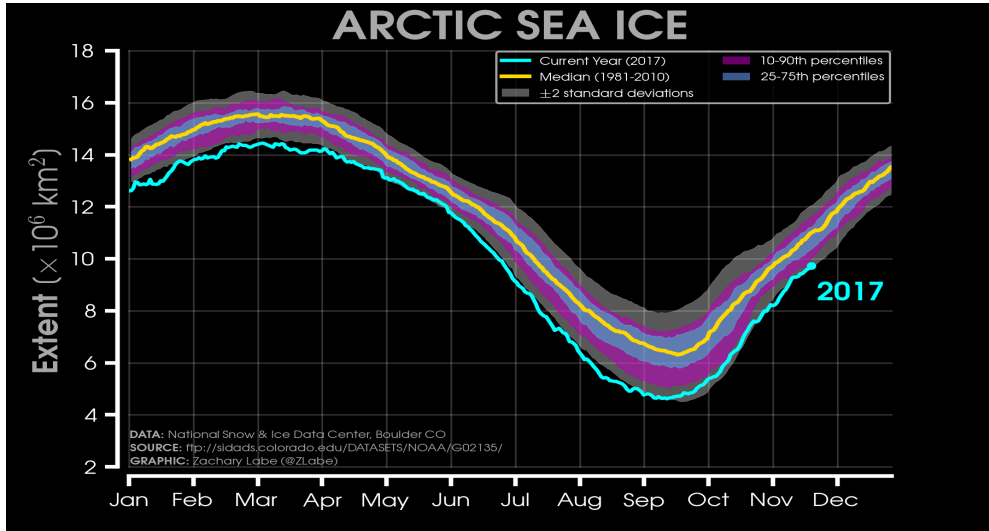
ten bewegendes Teil im gesamten Klimasystem der Erde. Der Wasserkreislauf in der Atmosphäre ist hier viel langsamer als etwa in der Sahara, wo Hitze zu starker Verdunstung und einem immensen Wasserkreislauf führen würde. Und: Die Antarktis ist die windigste Region der Erde. Auch wenn es enorme technologische Anforderungen brauchte, 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: Seine Sache. Jemandem bezahlt das Geld, und irgendjemand anderer bekommt es. Ein Projekt dieser Größenordnung müsste von den Industrieländern bezahlt werden, die den Klimawandel verur-

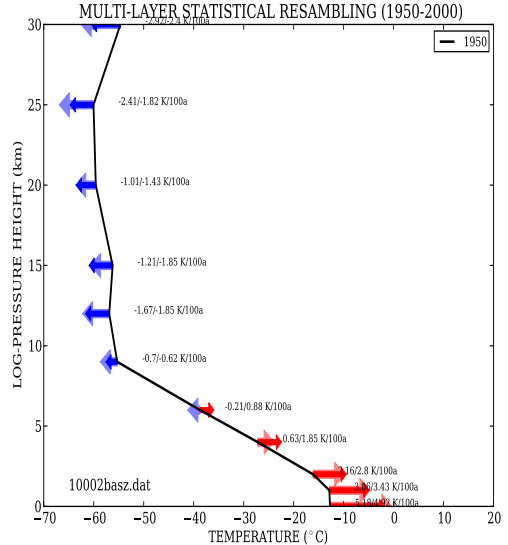
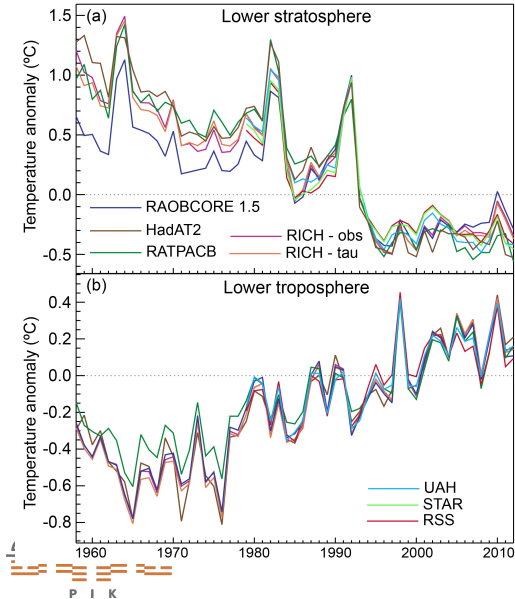
Exopessimismus

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 erdähnlichen Lebensräumen. Eine vermeintliche Sensation jagte die nächste. Trappist-1: der Zwergstern mit den sieben Planeten, LHS 1140 b: der „vielversprechendste“ Kandidat für Leben im All, Proxima Centauri: Planetensystem unseres nächsten Nachbarn und schließlich Ross 128 b: neue Hoffnung für erdähnliche Lebensfreundlichkeit. Doch dann wird man in der aktuellen Ausgabe des Journals „Nature“ mit der Einschätzung eines professionellen Planetenjagers 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 jagten 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 ins Meer ausgewaschen werden. Die Kombination von Wasser und Land ist also vonnöten oder ganz allgemein gesagt: die richtige Chemie. Die allerdings wird sich kaum erschließend 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 bezweifelten laut „Nature“, dass wir fremdes Leben vor 2030 finden werden. Aber – so will man einwenden – vielleicht gibt es ja doch schon viel früher fremdes Leben in unserem eigenen Sonnensystem zu entdecken. Mühsam mühen wir uns, die Planeten mit Teleskopen zu durchleuchten. Der Mars zum Beispiel: Da gibt es ja Geröll zur Genüge. Und über flüssiges Wasser wurde in den vergangenen Jahren angesichts dunkel erscheinender Rillen und Linien im Marsrand auch spekuliert. Doch hier kommt gleich die nächste Enttäuschung: Die Spuren weisen wohl doch nicht auf Wasser, sondern auf fließendes Sand hin, wie Forscher um Colin M. Dundas in „Nature Geoscience“ berichten. Die Steigungen der Dünen, bei denen die Flussspuren en-

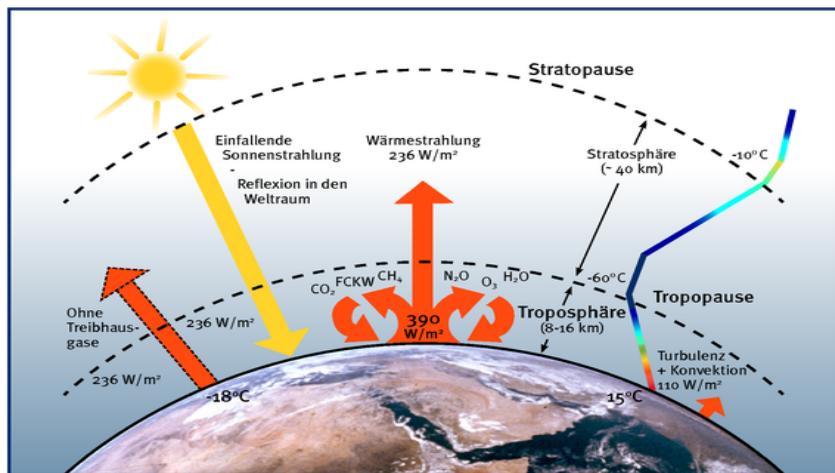
Global: Arktische Meereis (Jahresgang)



Global: Temperatur in der Troposphäre/Stratosphäre (Trends)

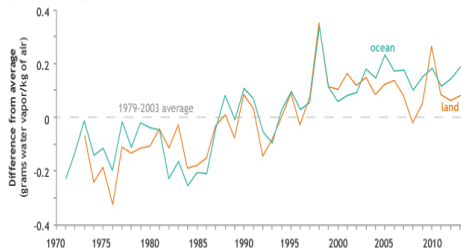


Der Treibhauseffekt

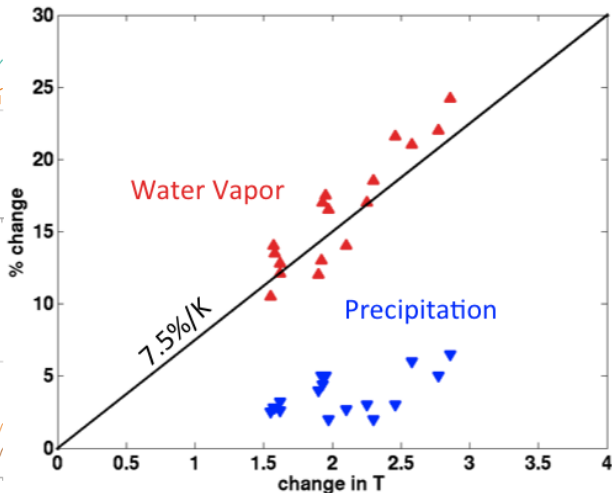
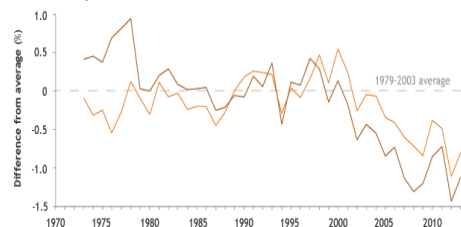


Global: Spezifische Luftfeuchte & Relative Luftfeuchte (Trends)

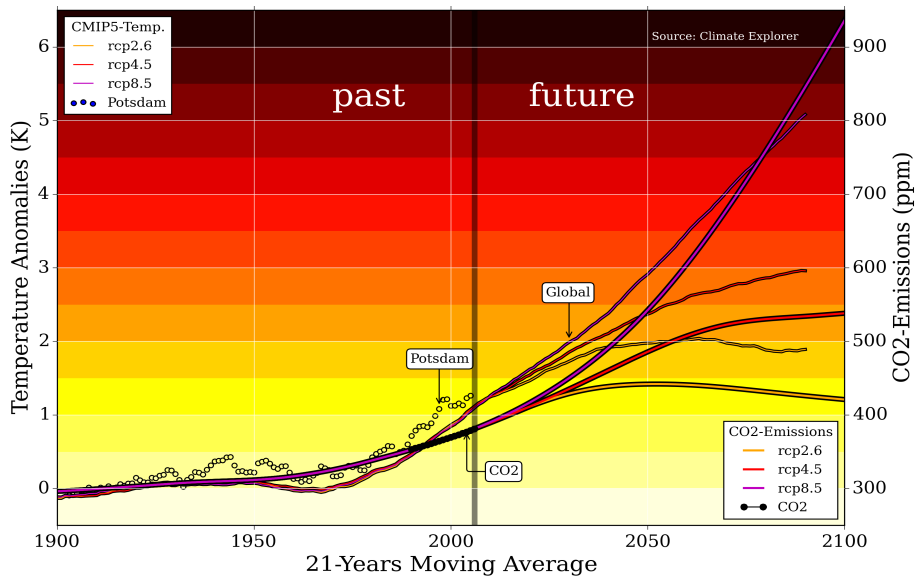
Specific humidity over land and ocean



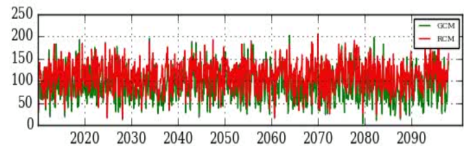
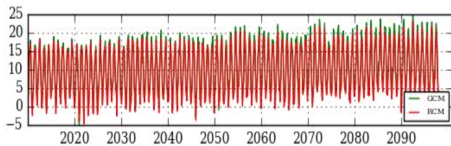
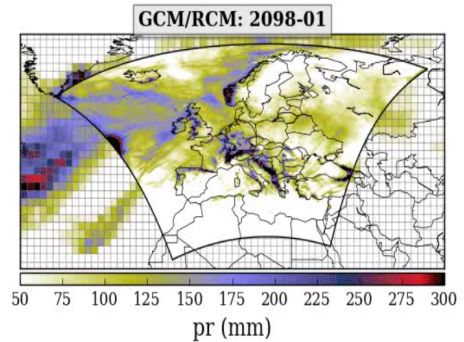
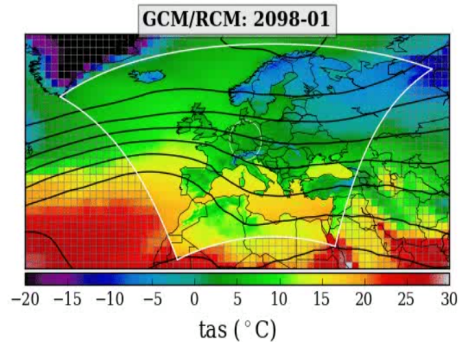
Relative humidity over land



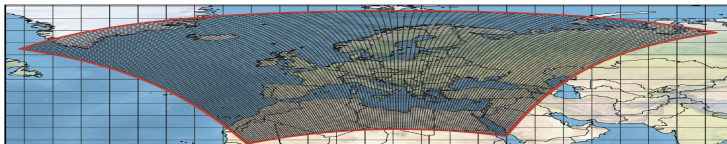
Global: Emissionen & Globale Mitteltemperatur



Global: Klimamodelle

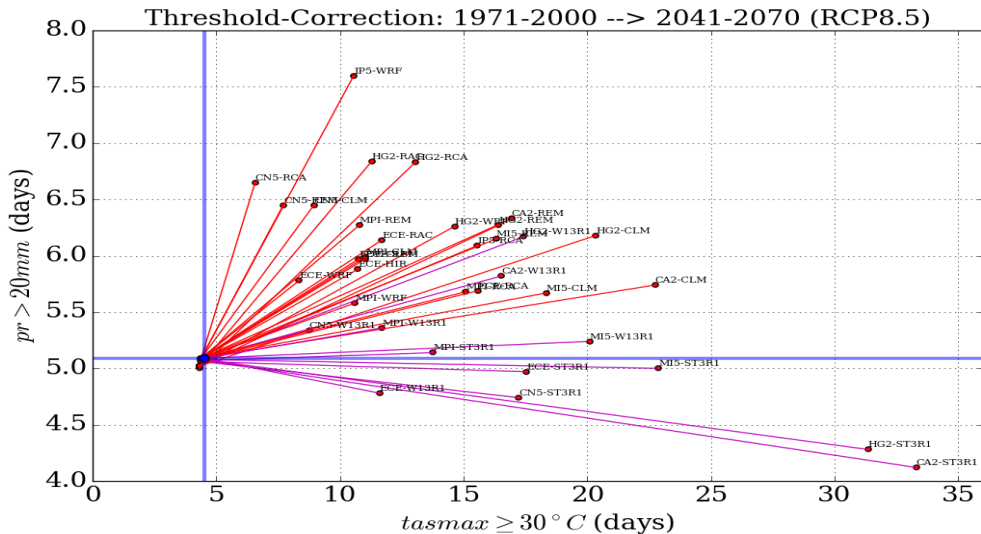


Europa: Ensembles

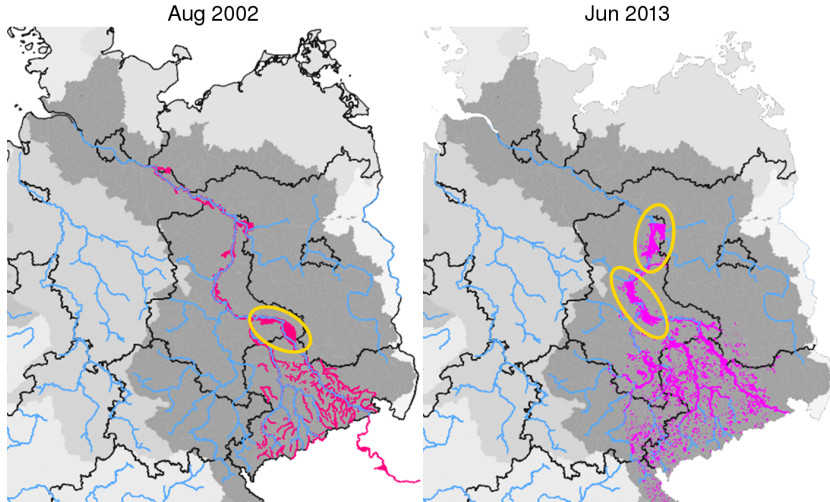


RCM + RCP	CCLM	REMO	WRF	WR'13	STARS	RCA4	RACMO	HIRHAM5
EC-EARTH RCP2.6	EURO-CORDEX				ReKliEs-De	EURO-CORDEX	EURO-CORDEX	EURO-CORDEX
HadGEM2-ES RCP2.6					ReKliEs-De		EURO-CORDEX	
MPI-ESM-LR RCP2.6	ReKliEs-De	EURO-CORDEX	ReKliEs-De	ReKliEs-De	ReKliEs-De			
MPI-ESM-LR RCP8.5	EURO-CORDEX	EURO-CORDEX	EURO-CORDEX	ReKliEs-De	ReKliEs-De	EURO-CORDEX		
CNRM-CM5 RCP8.5	EURO-CORDEX	ReKliEs-De		ReKliEs-De	ReKliEs-De	EURO-CORDEX		
HadGEM2-ES RCP8.5	EURO-CORDEX	ReKliEs-De	ReKliEs-De	ReKliEs-De	ReKliEs-De	EURO-CORDEX	EURO-CORDEX	
EC-EARTH RCP8.5	EURO-CORDEX	ReKliEs-De	ReKliEs-De	ReKliEs-De	ReKliEs-De	EURO-CORDEX	EURO-CORDEX	EURO-CORDEX
Can-ESM2 RCP8.5	ReKliEs-De	ReKliEs-De		ReKliEs-De	ReKliEs-De			
MIROC5 RCP8.5	ReKliEs-De	ReKliEs-De	ReKliEs-De	ReKliEs-De	ReKliEs-De			
IPSL-CM5A RCP8.5			EURO-CORDEX			EURO-CORDEX		

Deutschland: Starkregen und Hitze

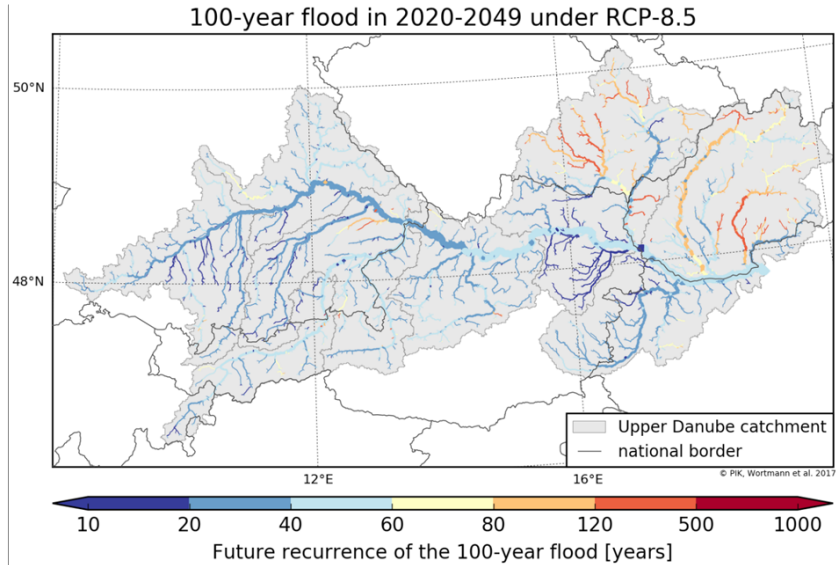


Deutschland: Flusshochwasser (2002 & 2013)



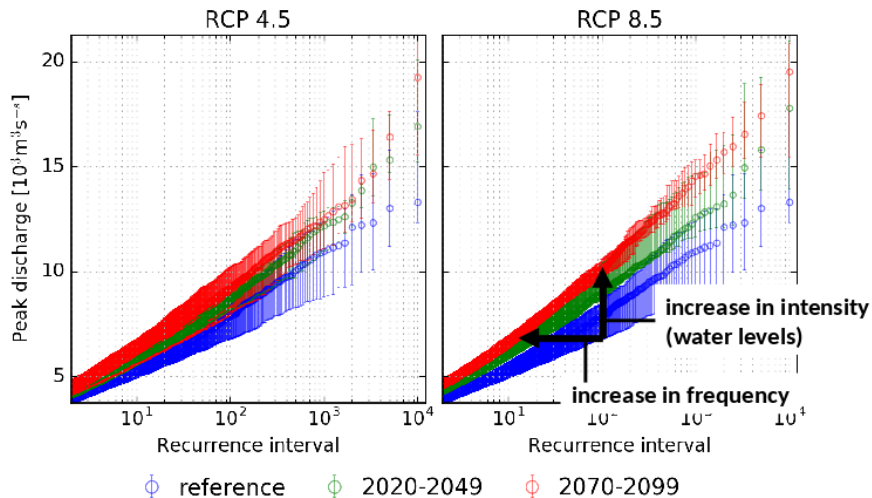
Conrath et al. (2014)

Deutschland: Klimasignal Flusshochwasser (Donau)

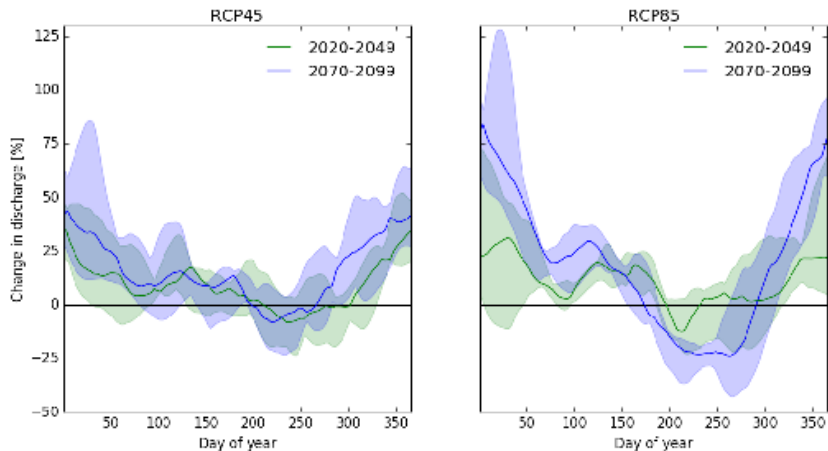


Deutschland: Flusshochwasser (Wiederkehrzeiten)

Achleiten (Danube)



Deutschland: Hoch- und Niedrigwasser



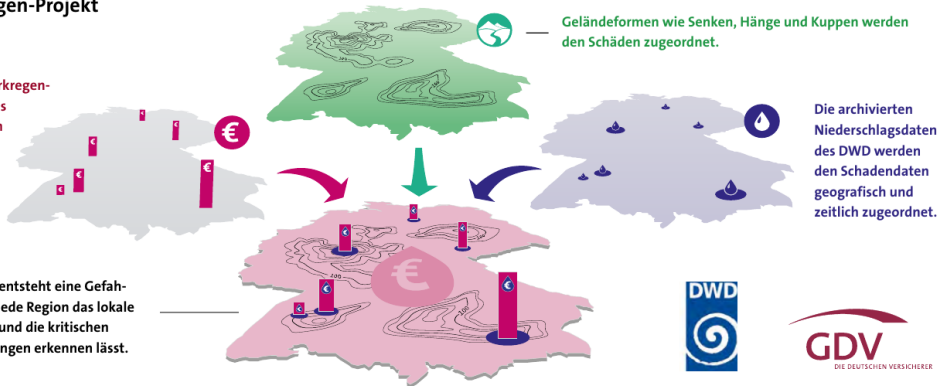
Auch Niedrigwasser und Trockenheit kann zunehmen!

Deutschland: Starkregen (Gefahrenkarte)

Das Starkregen-Projekt

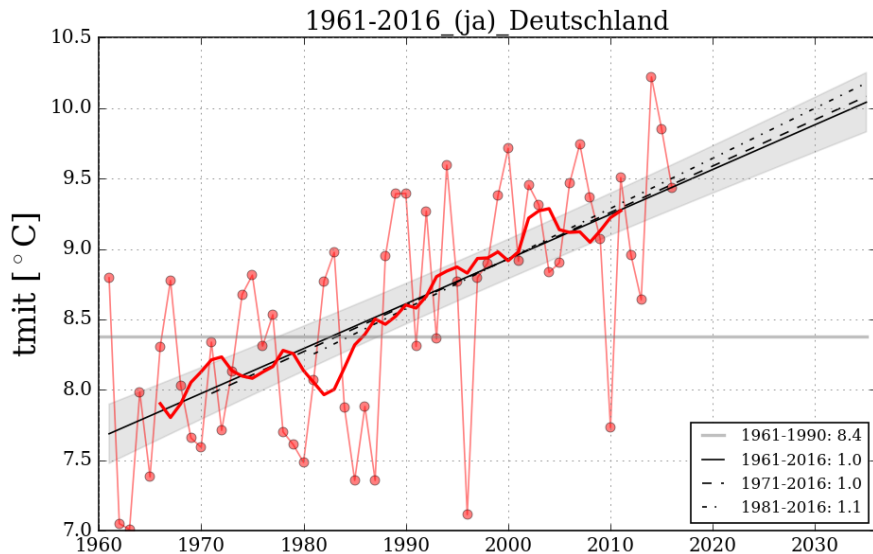
Bundesweite Starkregen-Schadendaten aus 13 Jahren werden zu jedem Datum regional kumuliert dargestellt.

Ziel: Im Ergebnis entsteht eine Gefahrenkarte, die für jede Region das lokale Starkregenrisiko und die kritischen Niederschlagsmengen erkennen lässt.

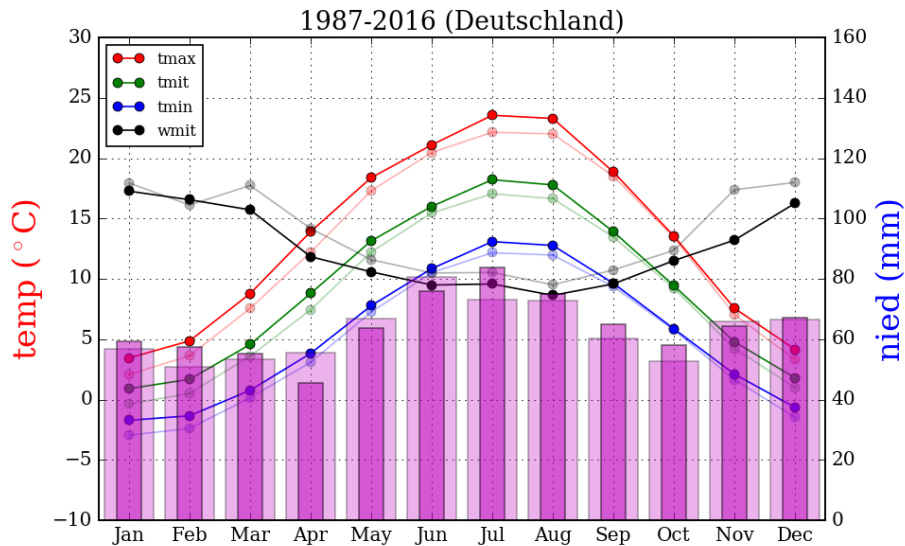


Bewertungsgrundlage für Elementarversicherungen!

Deutschland: Jahresmitteltemperatur

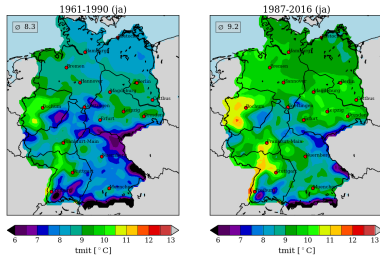


Deutschland: Klimadiagramm

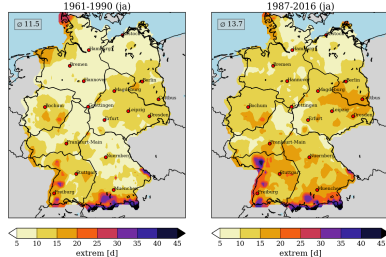
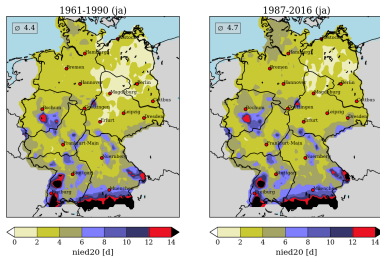
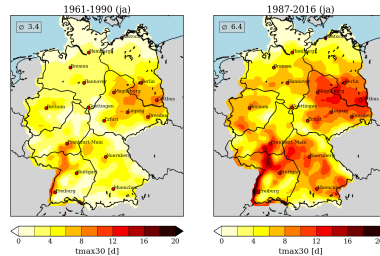


Deutschland: Klimakennzahlen

Jahresmitteltemperatur

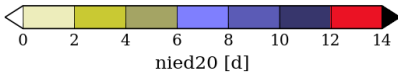
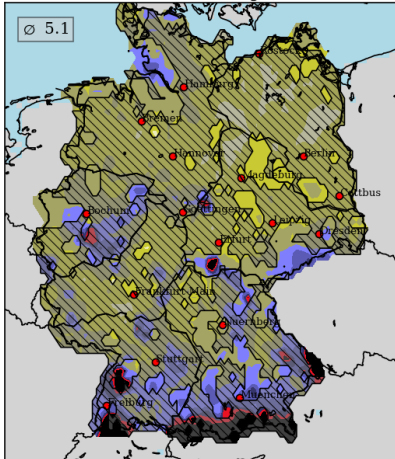


Hitzetage

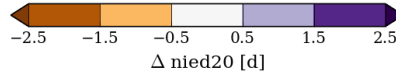
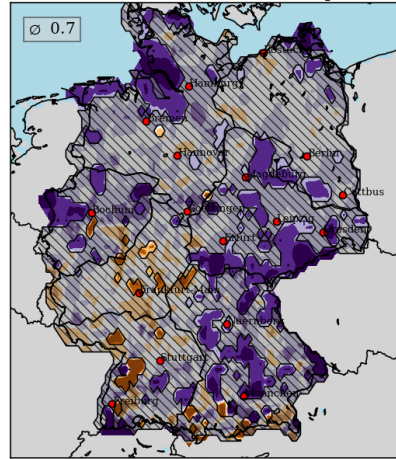


Deutschland: Starkregentage

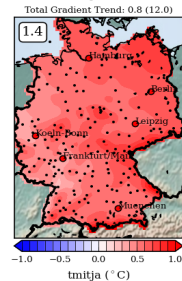
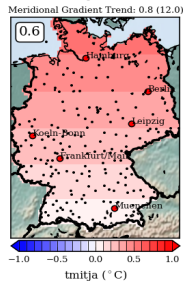
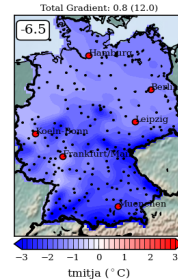
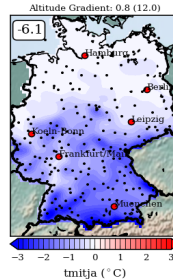
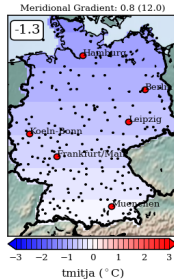
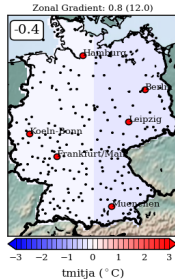
2021-2050 (ja)



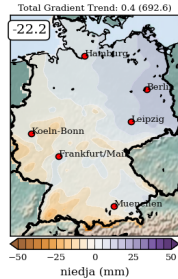
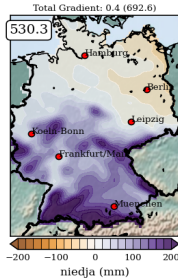
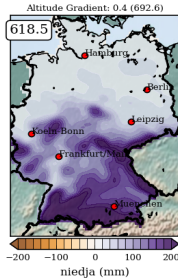
2021-2050 -- 1961-1990 (ja)



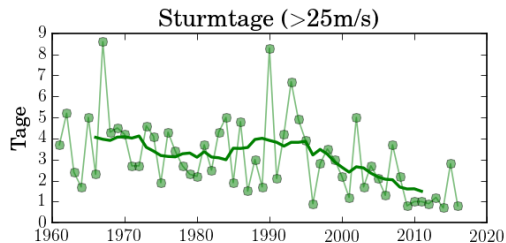
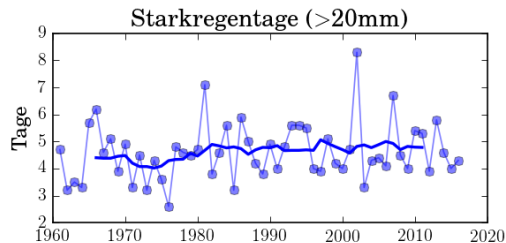
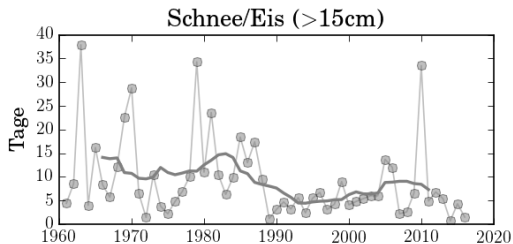
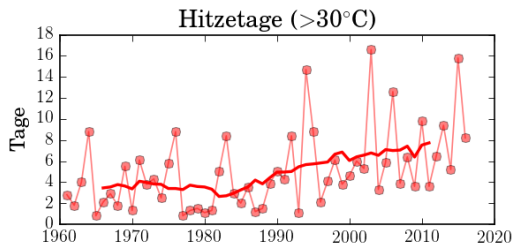
Deutschland: Regionale Unterschiede (Temperatur)



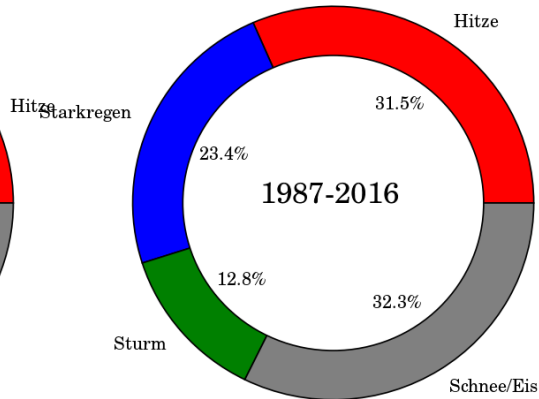
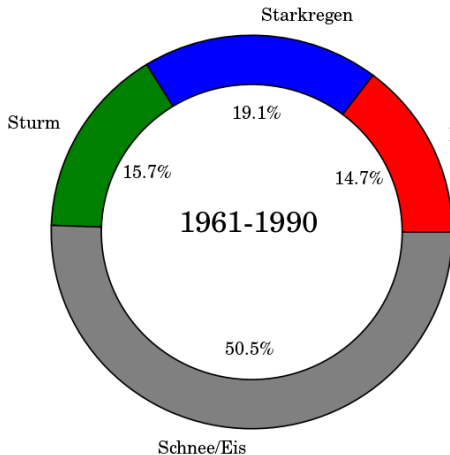
Deutschland: Regionale Unterschiede (Niederschlag)



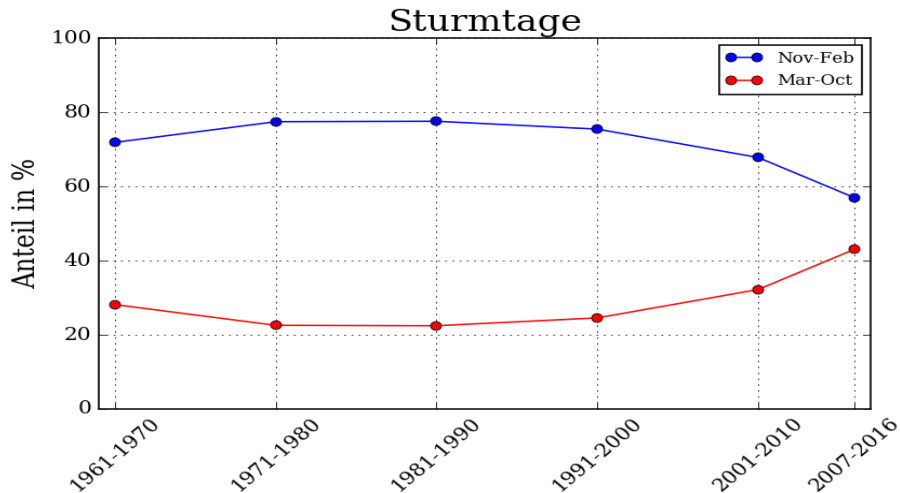
Deutschland: Extremwettertage



Deutschland: Extremwettertage

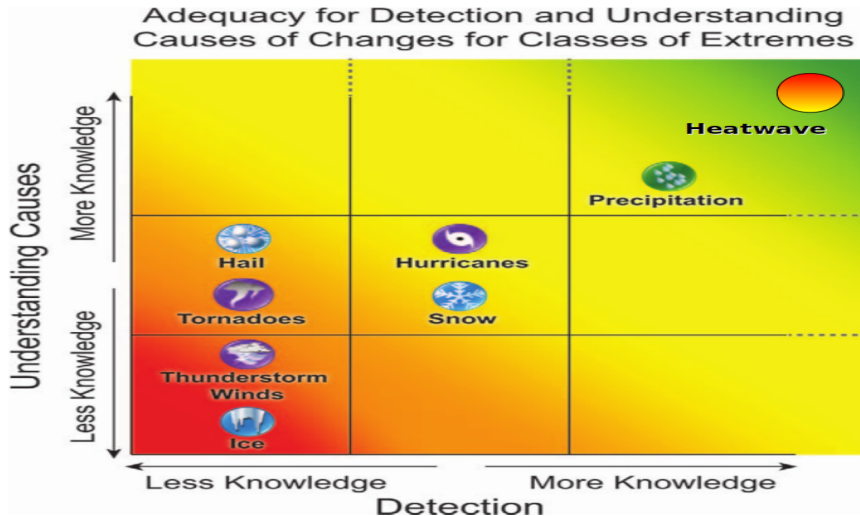


Deutschland: Sturmtage



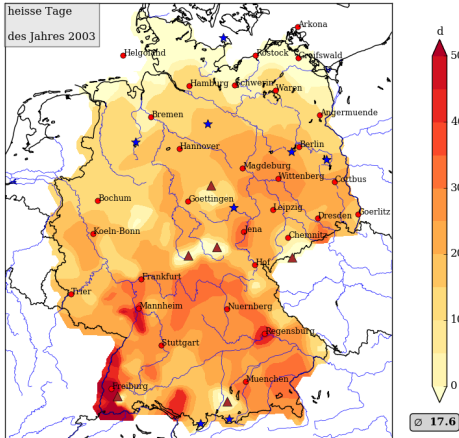
Änderung der Sturmsaison!

Extrem: Kenntnisstand

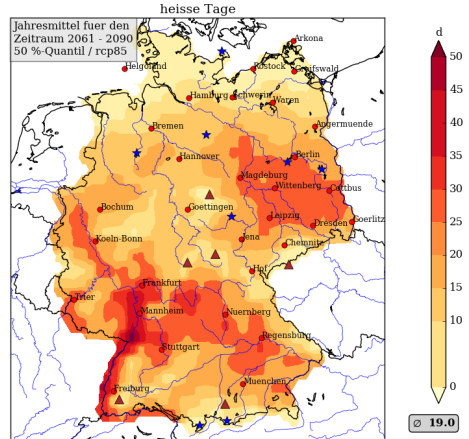


Folgen: Gesundheit

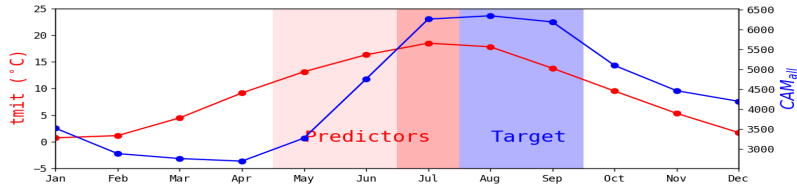
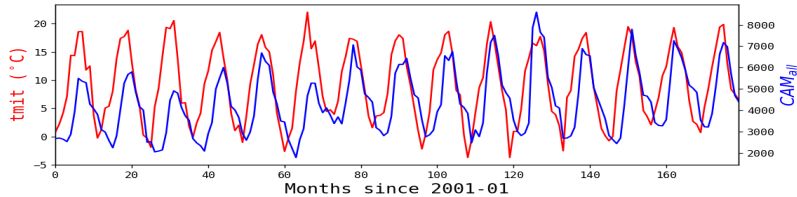
Gegenwart: Extrem



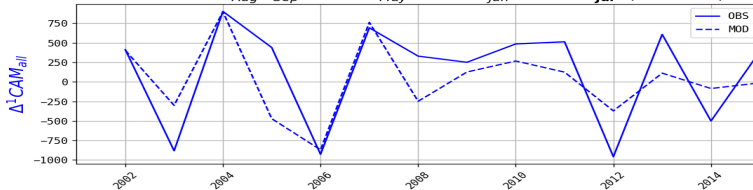
Zukunft: Normal



Folgen: Gesundheit (Infektionskrankheiten)



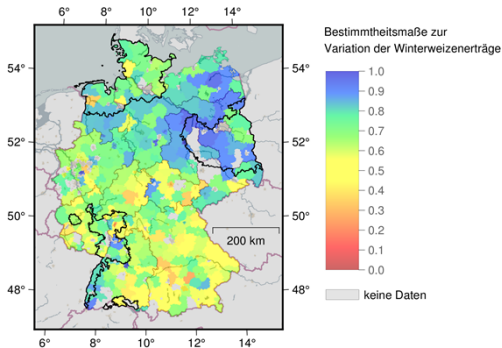
$$\text{Model: } \Delta^1 ID_{Aug-Sep} = a \cdot \Delta^1 T_{May} + b \cdot \Delta^1 T_{Jun} + c \cdot \Delta^1 T_{Jul} \quad (R^2=0.54)$$



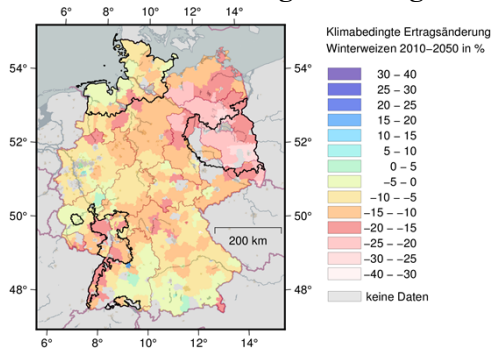
Folgen: Landwirtschaft

Klimabedingte Ertragsschwankungen (ohne CO_2 Düngeneffekt)

Bestimmtheitsmaß



klimabed. Ertragsänderung

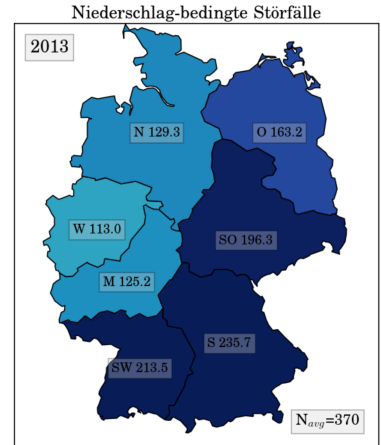
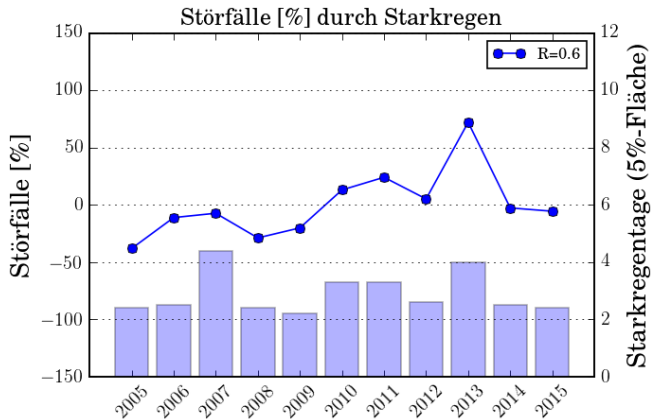


Winterweizen



Ertrag Winterweizen (Strahlung_{Mai–Jul}, Verdunstung_{Nov–Apr}, Verdunstung_{Mai–Jul}, Niederschlag_{Nov–Apr}, Anbaufläche, Düngepreisindex)

Folgen: Deutsche Bahn



KlimafolgenOnline-Bildung

