

Klimawandel – Nehmen Wetterextreme zu?

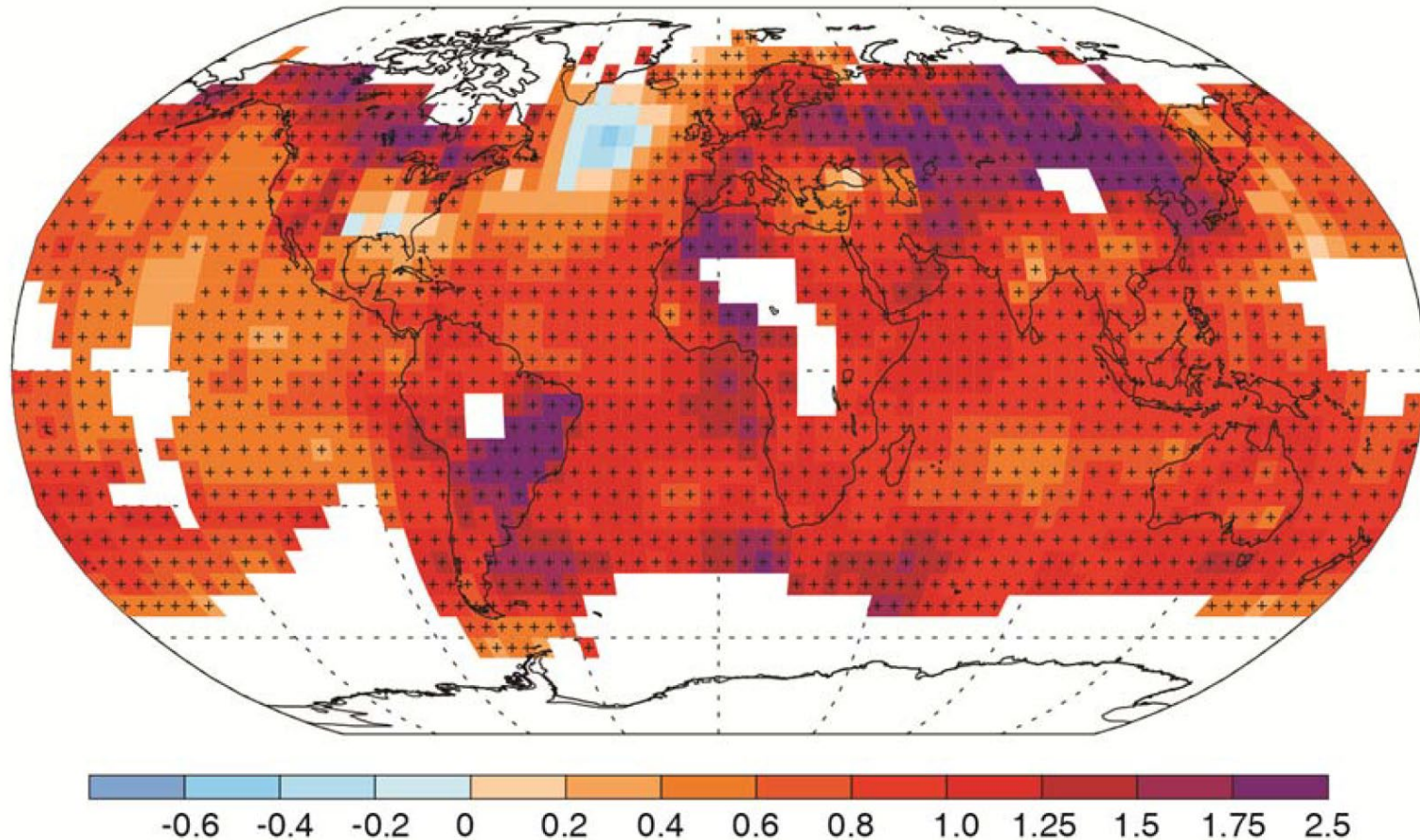
Dr. Katrin Nissen
Prof. Uwe Ulbrich
Dr. Edmund Meredith,
Prof. Henning Rust
Institut für Meteorologie
Freie Universität Berlin

Themen

- Klimawandel
 - Temperatur
 - (Extremer) Niederschlag
 - Fokus auf Deutschland/Europa
-
- 1. Teil: Beobachtete Trends
 - 2. Teil: Prognostizierte Änderungen

1. Teil: Beobachtungen

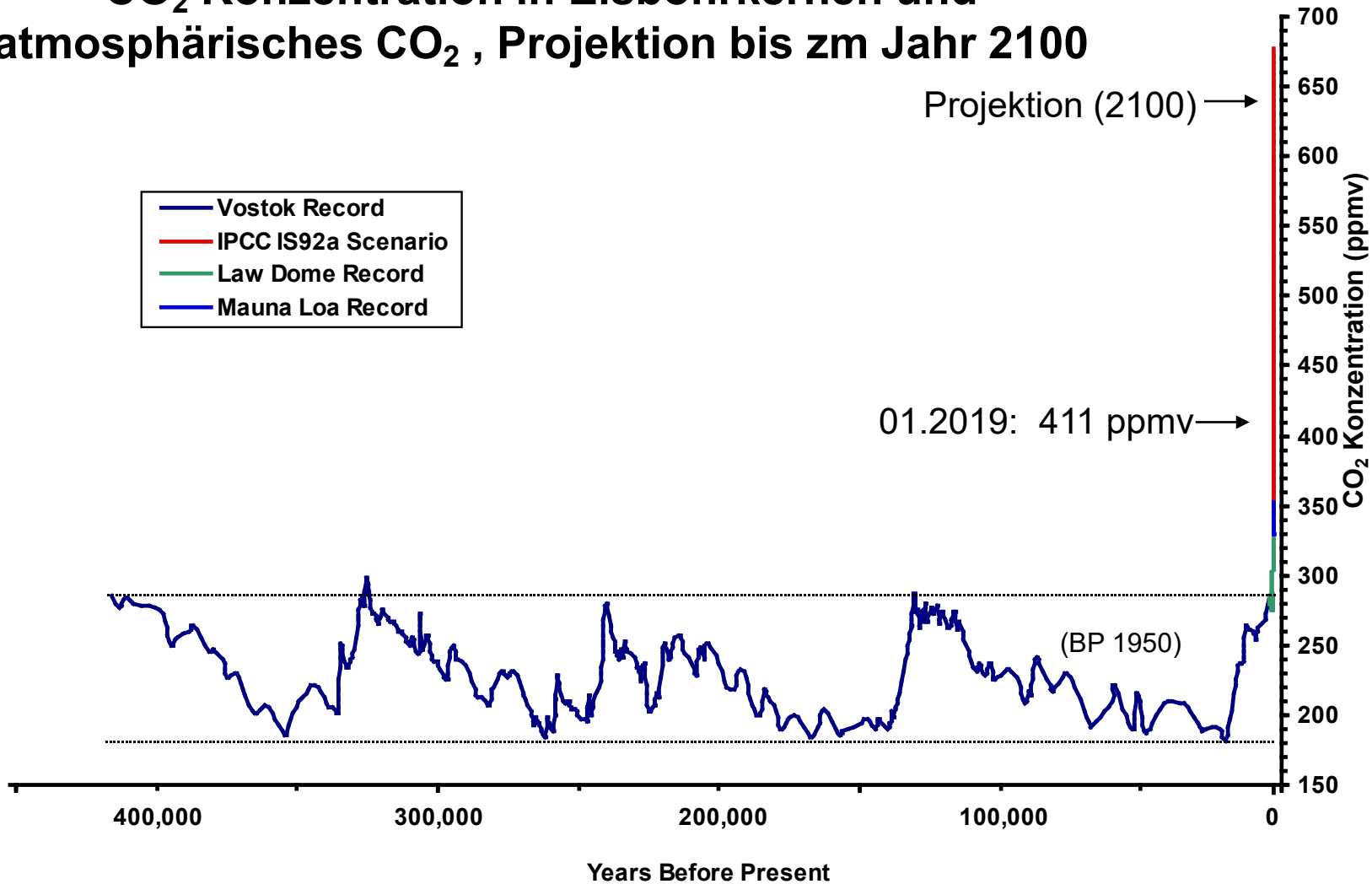
Beobachtete Änderungen der Bodentemperatur
1901–2012

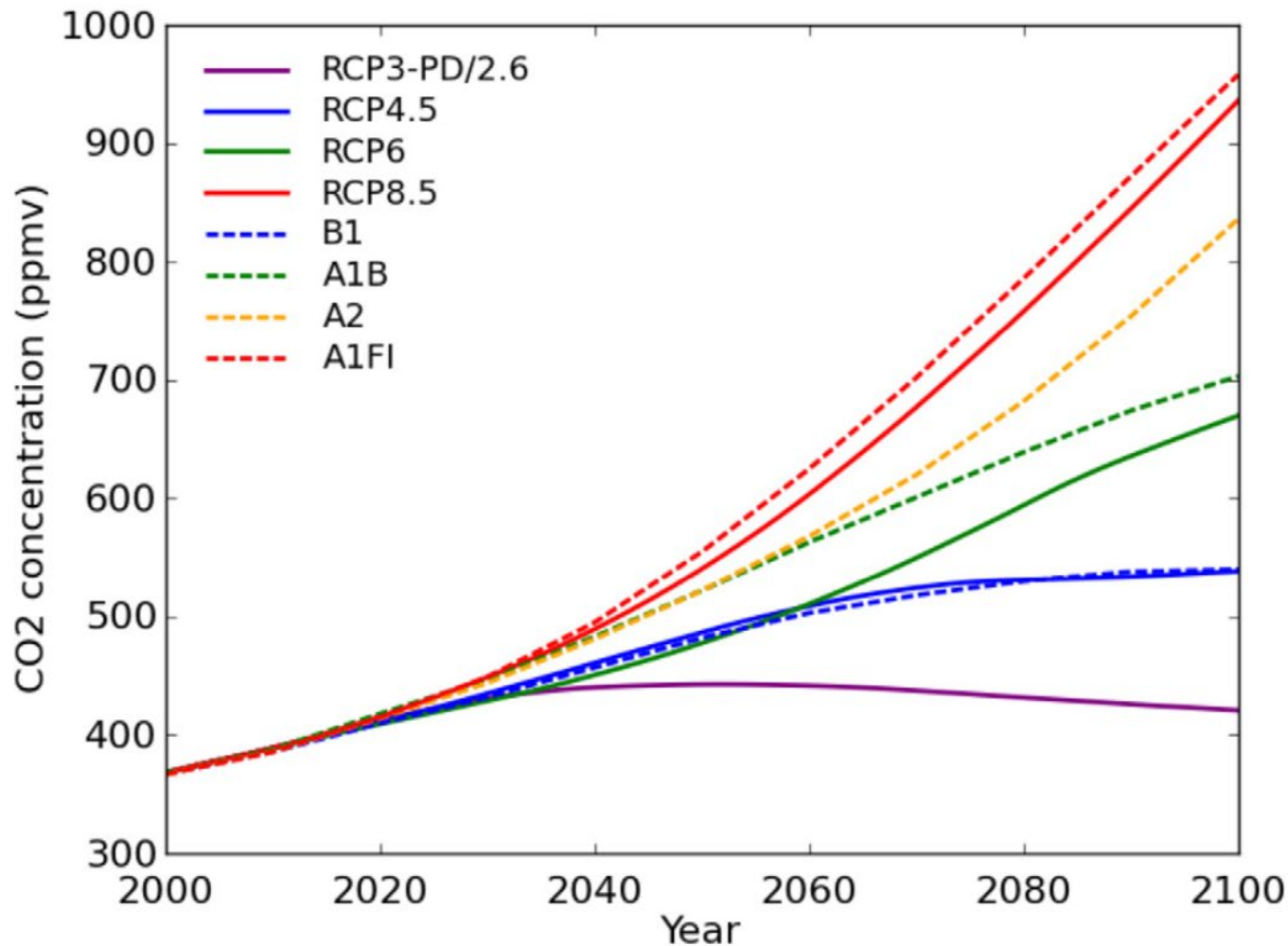


Quelle: IPCC 2013, Fig. SPM.1b

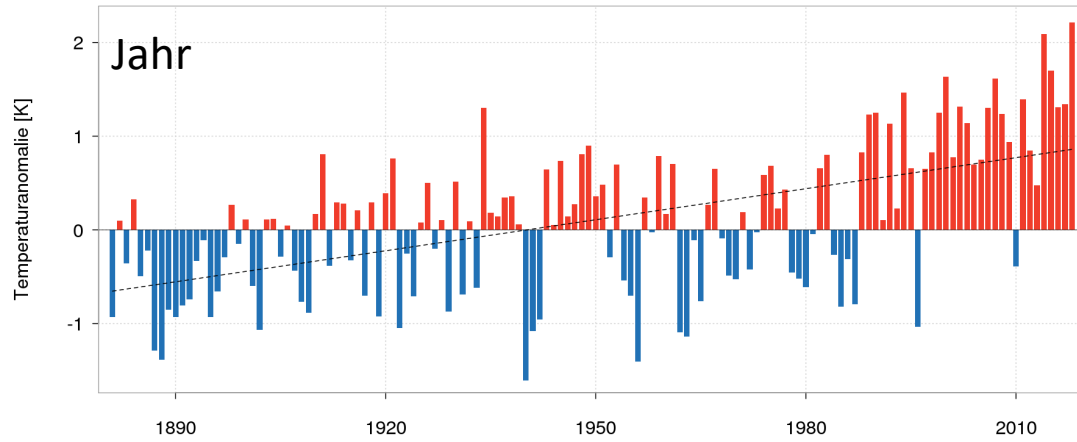


CO₂ Konzentration in Eisbohrkernen und atmosphärisches CO₂ , Projektion bis zum Jahr 2100



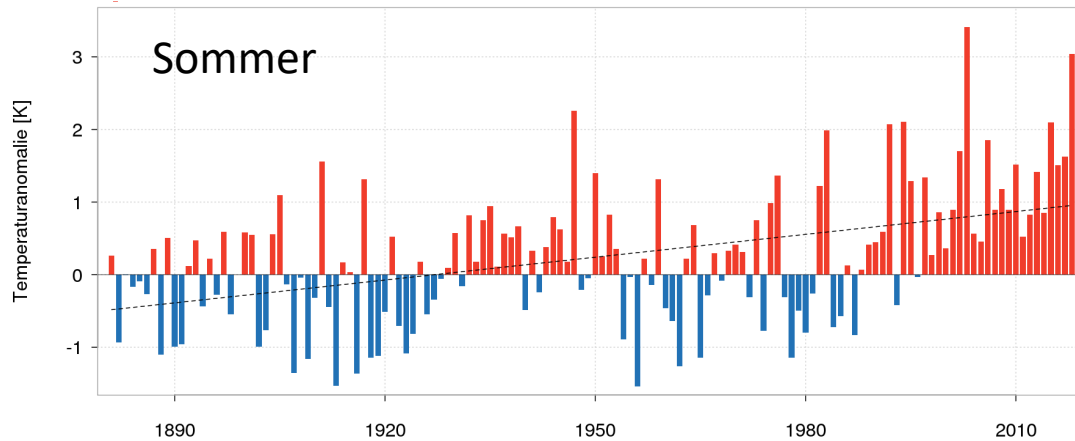


Quelle: Representative Concentration Pathways (RCPs) information paper ,
Australian Climate Change Science Program

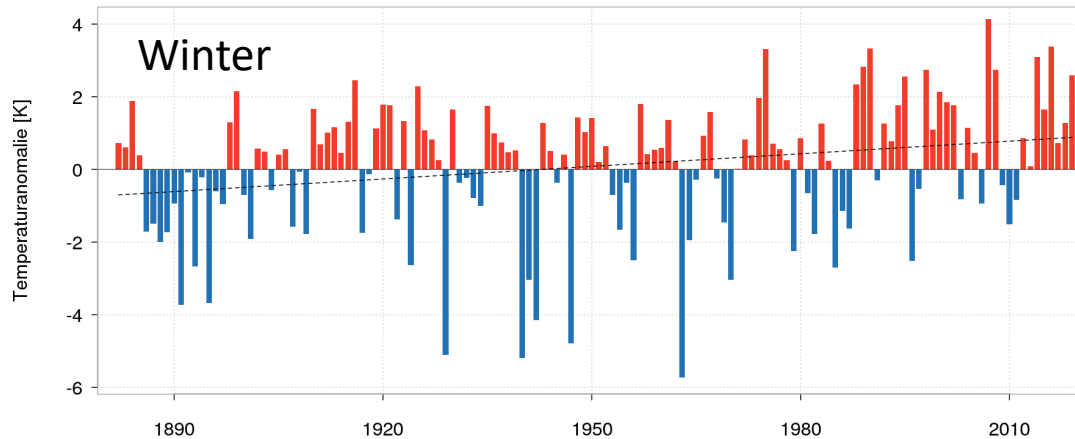


+1,5

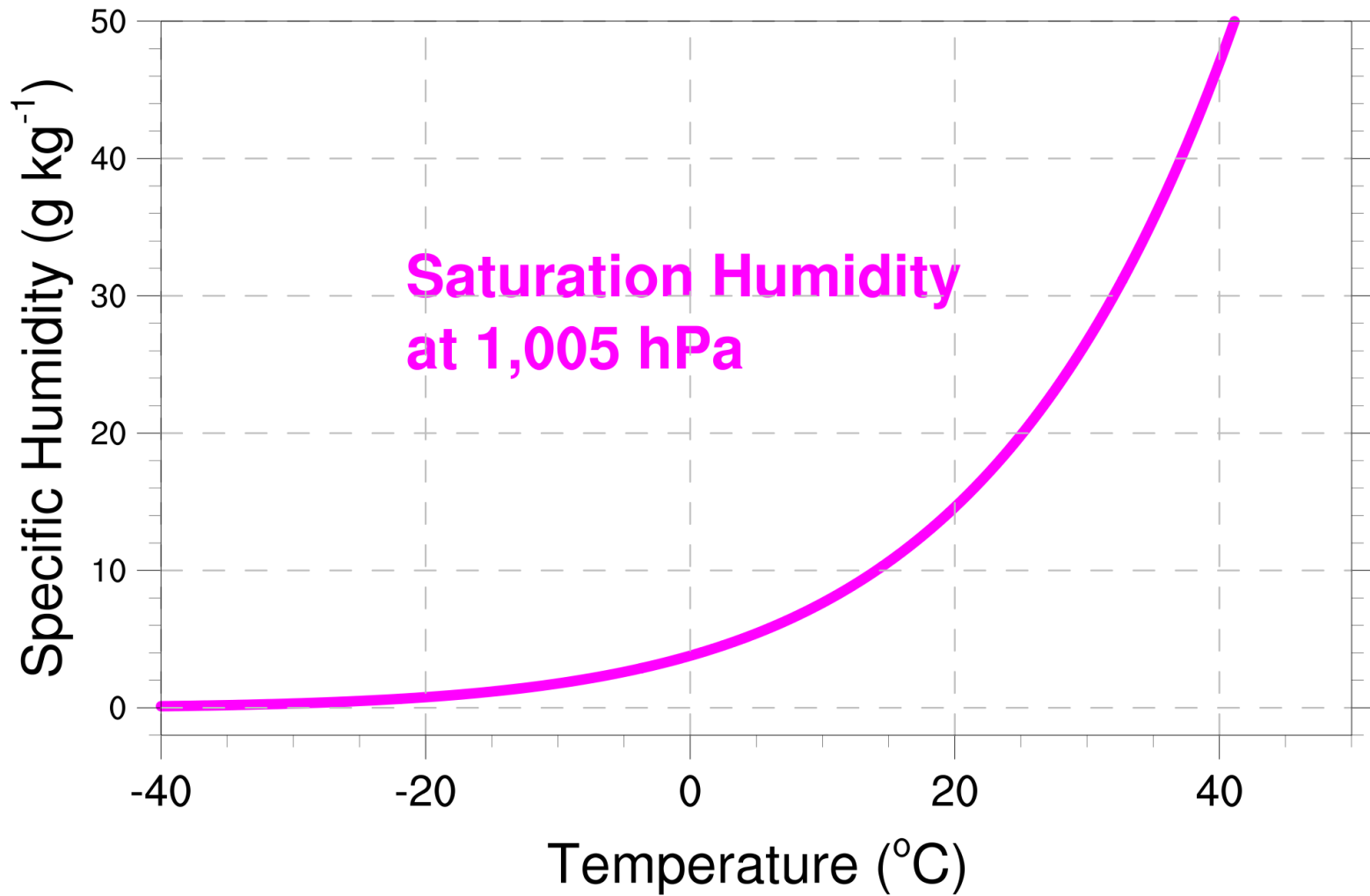
Temperatortrends in Deutschland



+1,4



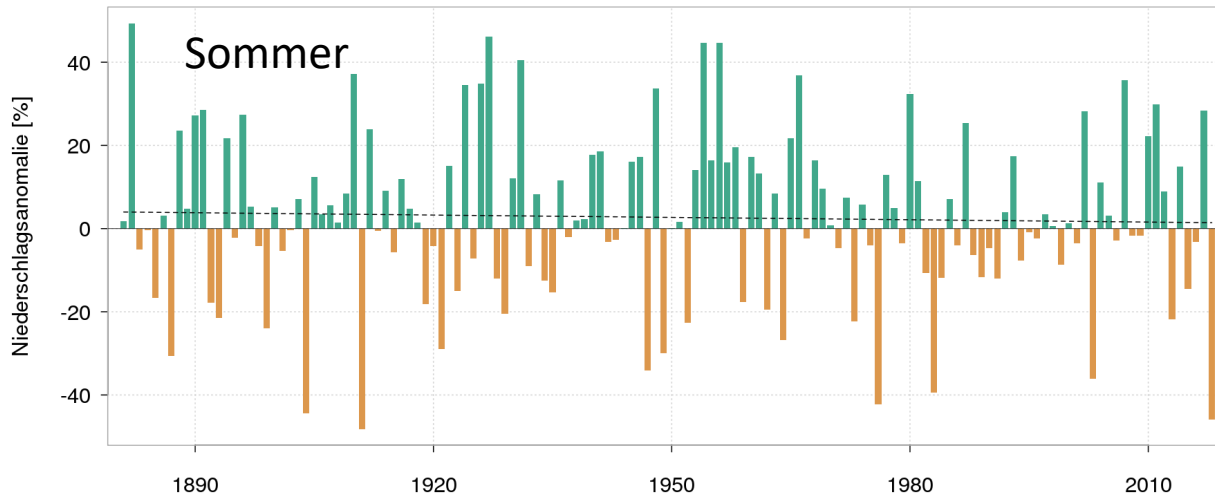
+1,5





Niederschlagsanomalie

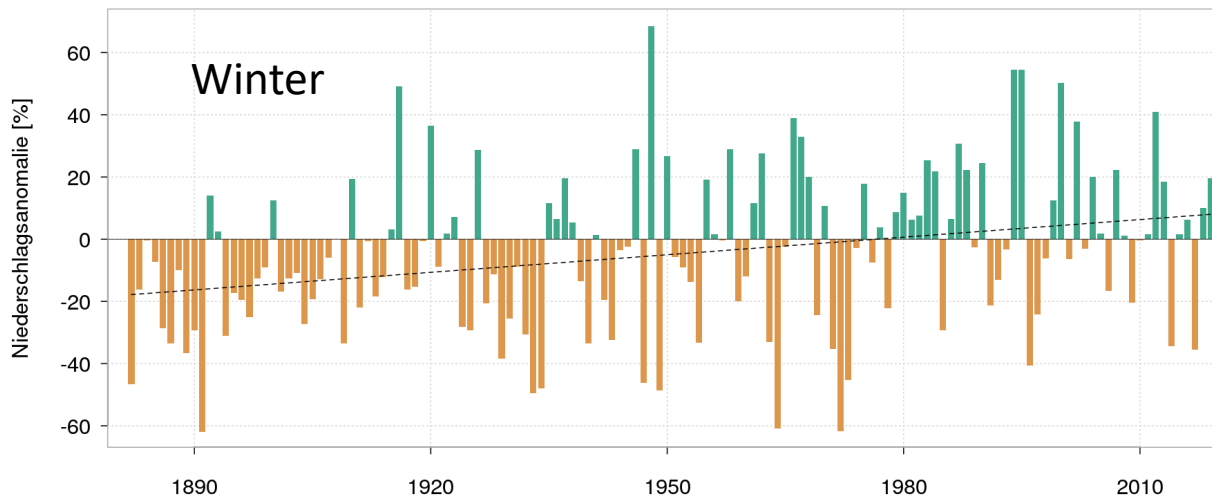
Deutschland Sommer
1881 - 2018
Referenzzeitraum 1961 - 1990



Trends im mittleren Niederschlag in Deutschland

Niederschlagsanomalie

Deutschland Winter
1882 - 2019
Referenzzeitraum 1961 - 1990



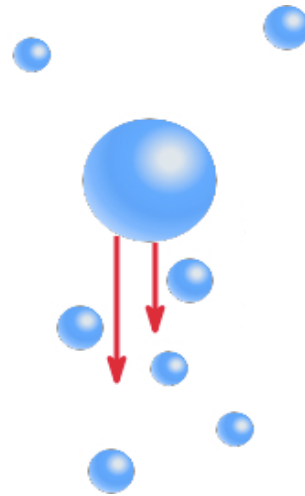
+45,3 mm

positive Anomalie
negative Anomalie

— vieljähriger Mittelwert (1961 - 1990): 180,7 mm
- - - linearer Trend (1882 - 2019): +45,3 mm

Niederschlag

kalte feuchte Luft
→ Kondensation



Niederschlag = Regen
Schnee
Graupel
Hagel

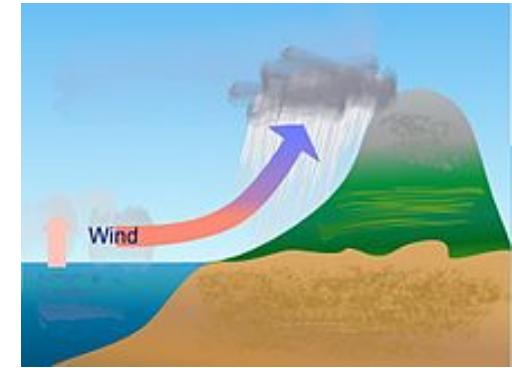


Verdunstung → warme feuchte Luft

Auslösende Prozesse

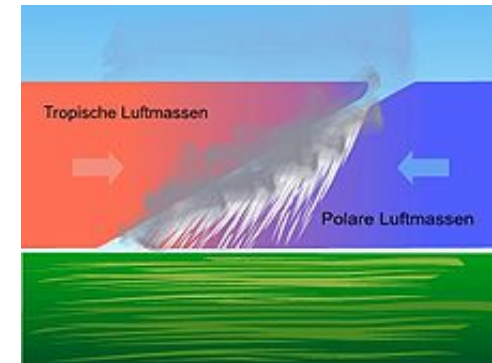
Orographisch:

- feuchte Luft steigt an Bergen auf
- Stationär



Fronten:

- warme und kalte Luftmassen treffen aufeinander (Fronten eines Tiefdruckgebiets)
- warme Luft muss aufsteigen
- großräumiger Niederschlag



Konvektiv:

- Sommer
- Luft wird von der Sonne erwärmt
- Verdunstung und Aufsteigen
- kleinräumig von kurzer Dauer



Abbildungen: Wikipedia

extremer Niederschlag

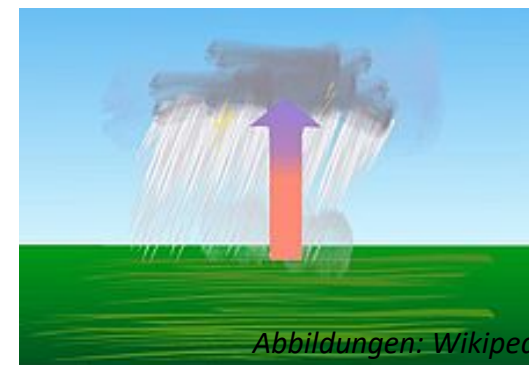
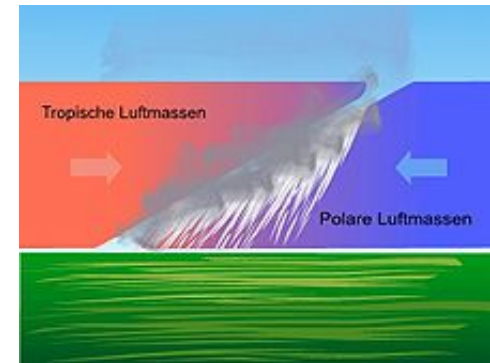
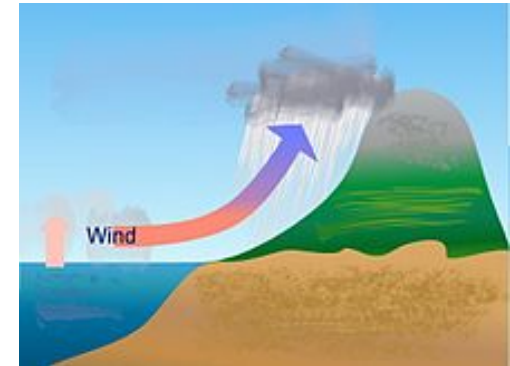
1: Hoher Feuchtegehalt

2a: schneller Aufstieg der Luftmassen

➡ hohe Intensität

2b: Stationäre Wetterlage und Feuchtekongruenz

➡ hohe Regenmenge



Abbildungen: Wikipedia

Extremer Niederschlag

Starkregen



Hochwasserkatastrophe in Bayern: Mit aller Macht rauschte die braune Hochwasser-Brühe durch Simbach am Inn. | Bildquelle: dpa

Simbach, 1. Juni 2016 Quelle: dpa/ Tagesschau.de

Dauerregen

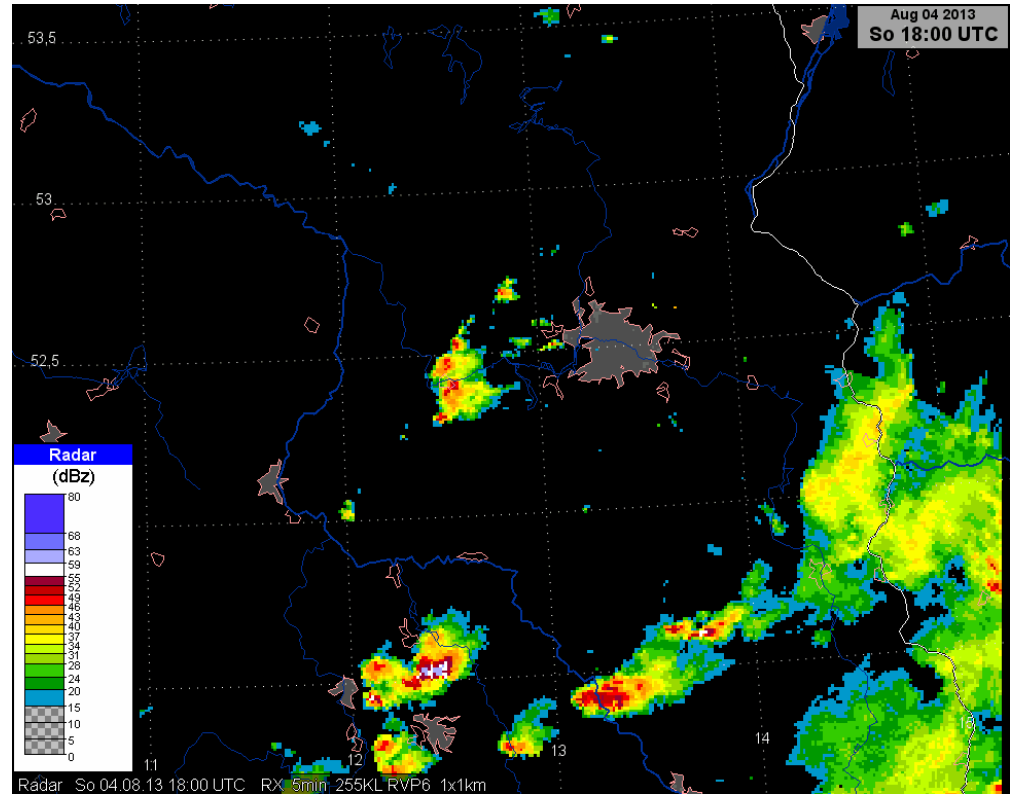


Quelle: Tagesspiegel-Beilage 10.8.2013



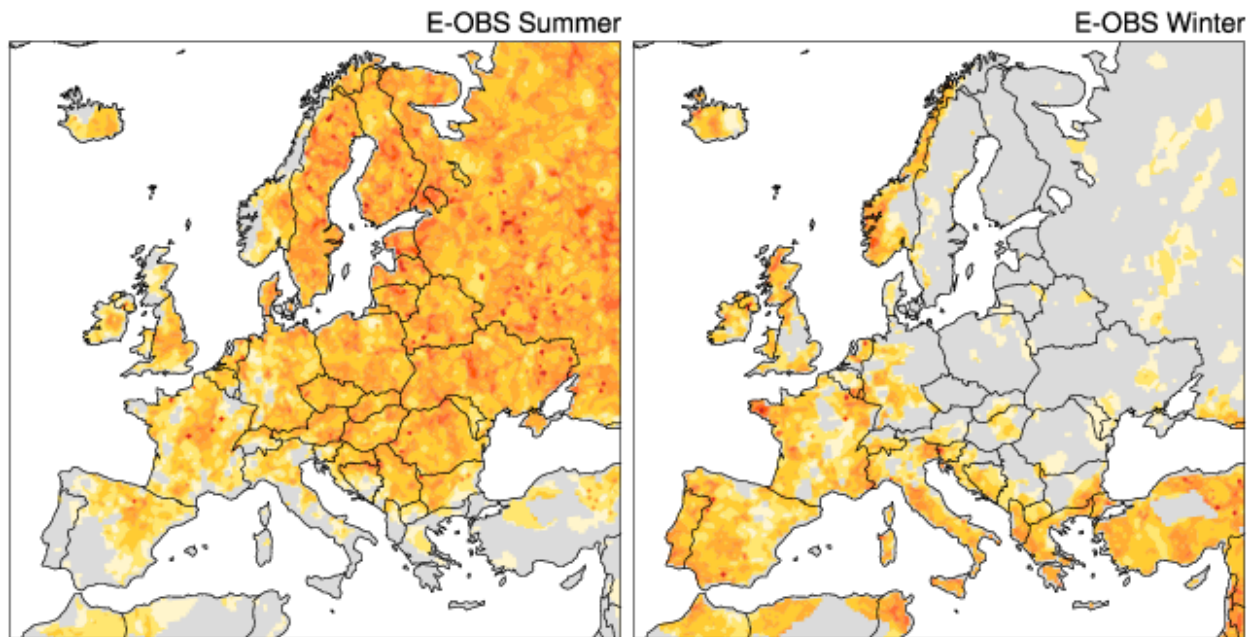
Weesenstein, August 2002

Berlin 4. August 2013





Sommer

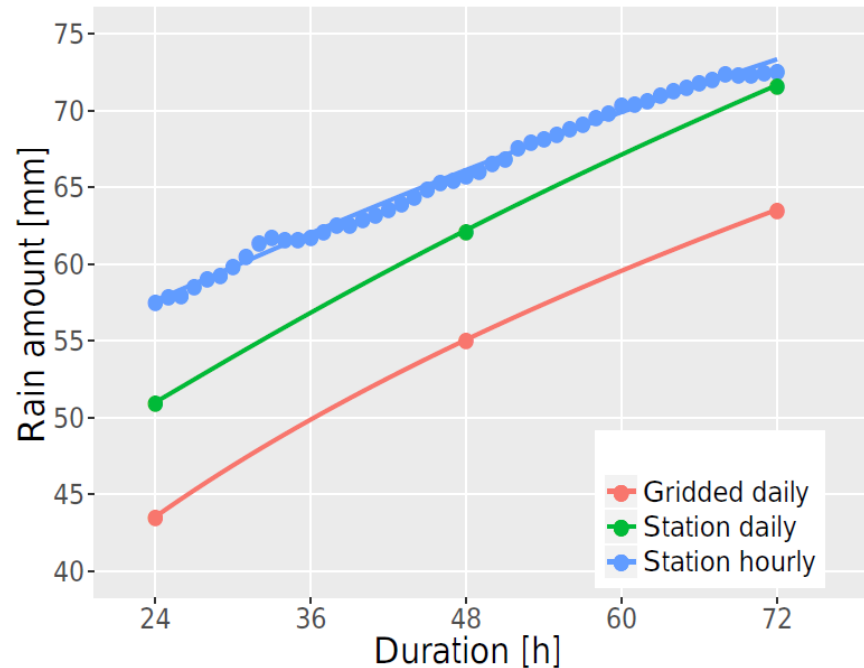
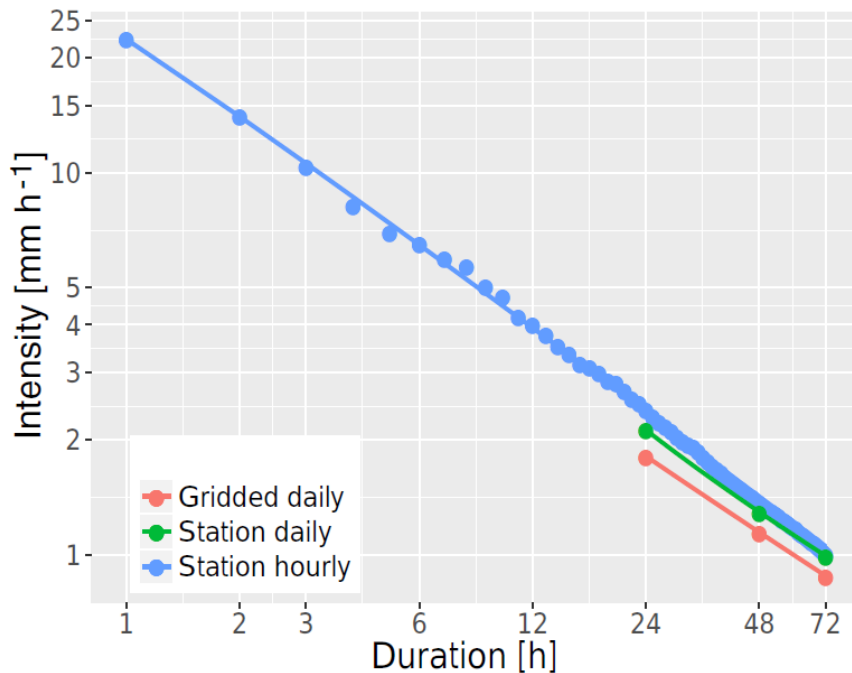


Winter

Anzahl Ereignisse pro Dekade, die den 10-Jährigen Wiederkehrwert übersteigen.
Dauerstufen 1-3 Tage. 1971-2000

Langzeitliche und sub-tägliche extreme Niederschläge

Extreme Niederschläge in Berlin-Dahlem 10-Jährige Wiederkehrperiode



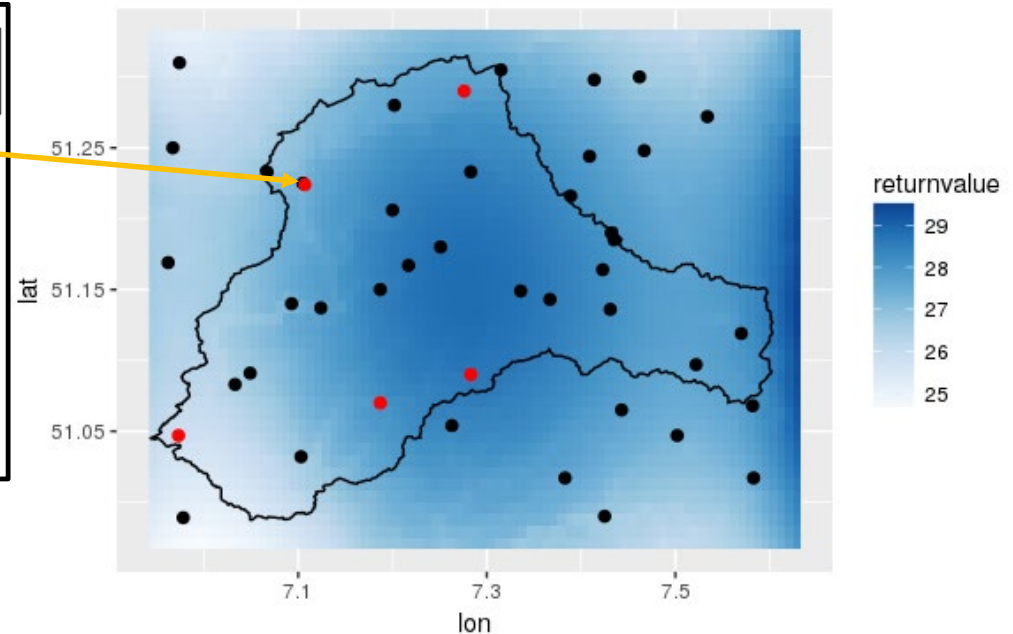
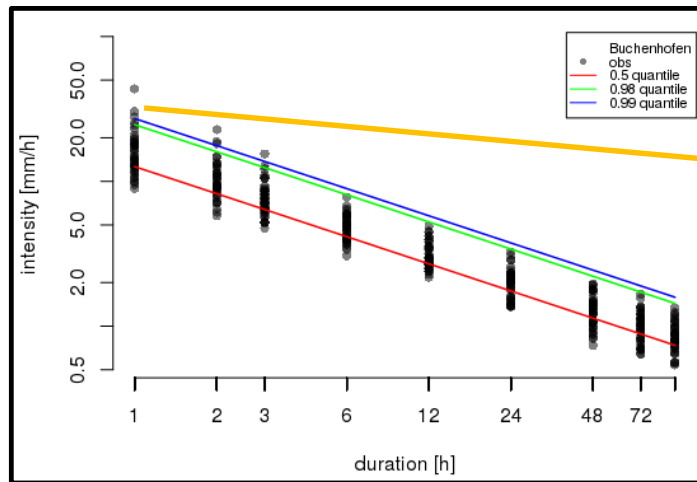
Station: Berlin Dahlem

Gridded: Nächster E-OBS-Gitterpunkt (25km-Gitter)

Aus: Nissen+Ulbrich, 2017

Neues Verfahren zur Schätzung zeitlich und räumlich konsistenter Bemessungsniederschläge (IDF Kurven)

100-jähriger Wiederkehrwert für stündlichen Niederschlag im Einzugsgebiet der Wupper



Daten:

- 40 Stationen mit täglichen Messungen
- 5 Stationen mit stündlichen Messungen

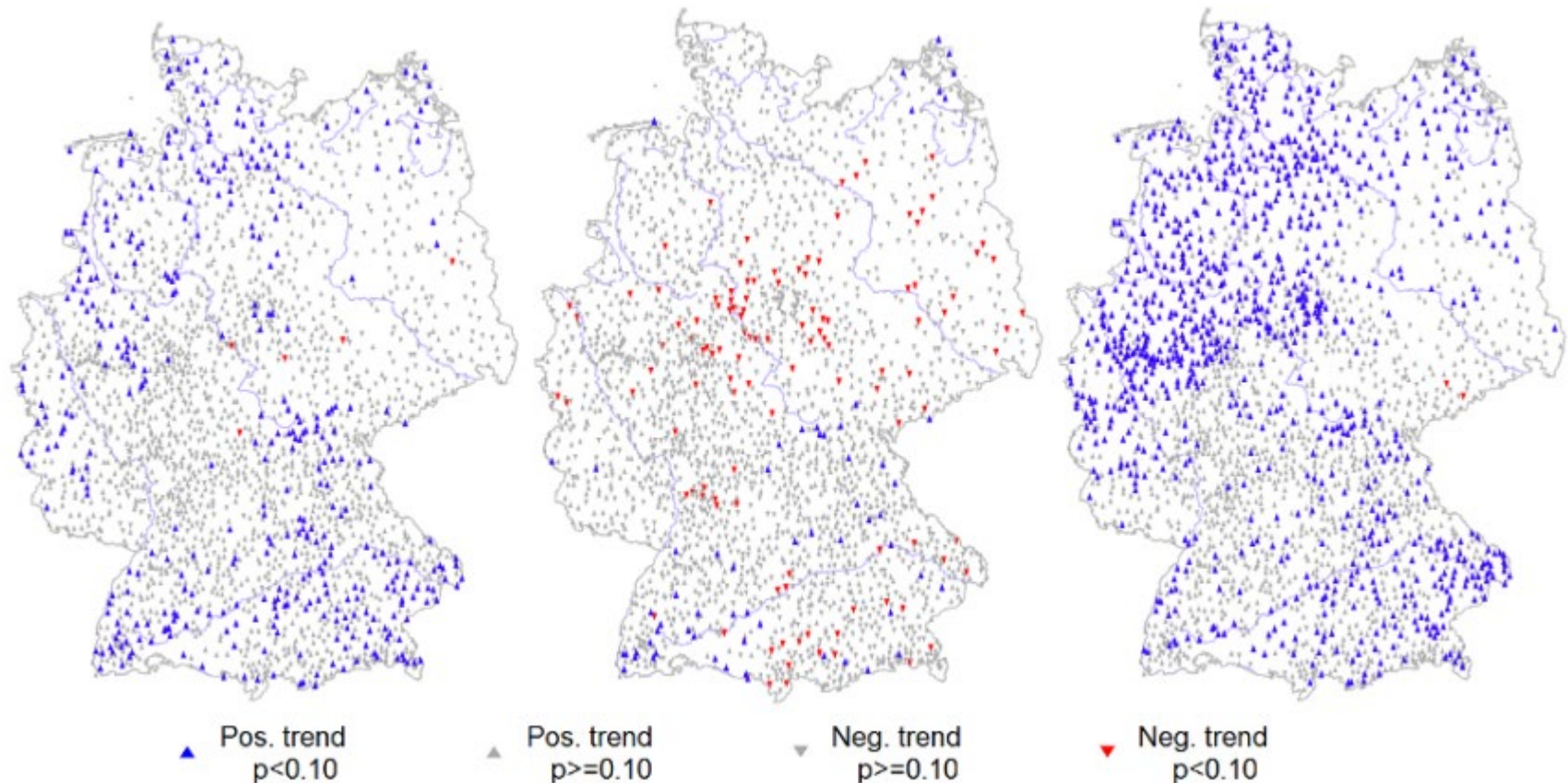
Nissen, Rust, Ulbrich 2018

Trends starker täglicher Niederschlag

Ganzes Jahr

Sommer

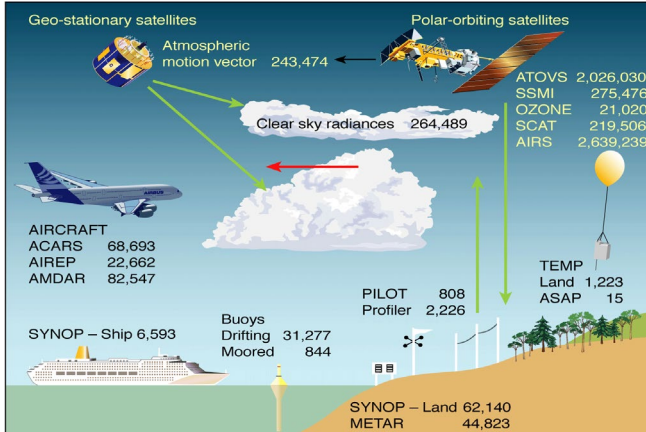
Winter



Trends im 90ten Perzentil der Niederschlagshöhen 1951-2006.

Quelle: Hattermann et al. 2013

2. Teil: Zukunftsszenarien

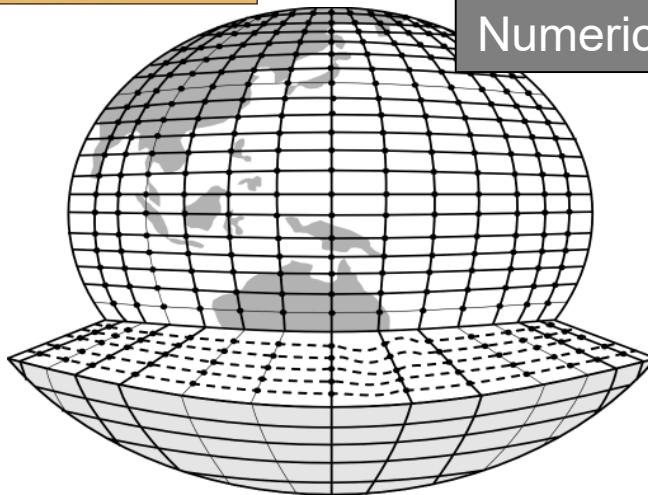


Observations:
Initial conditions



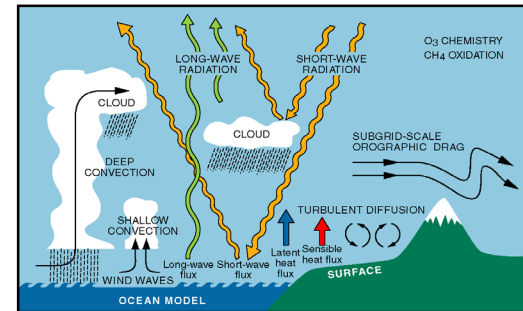
Computer

Numerical Model



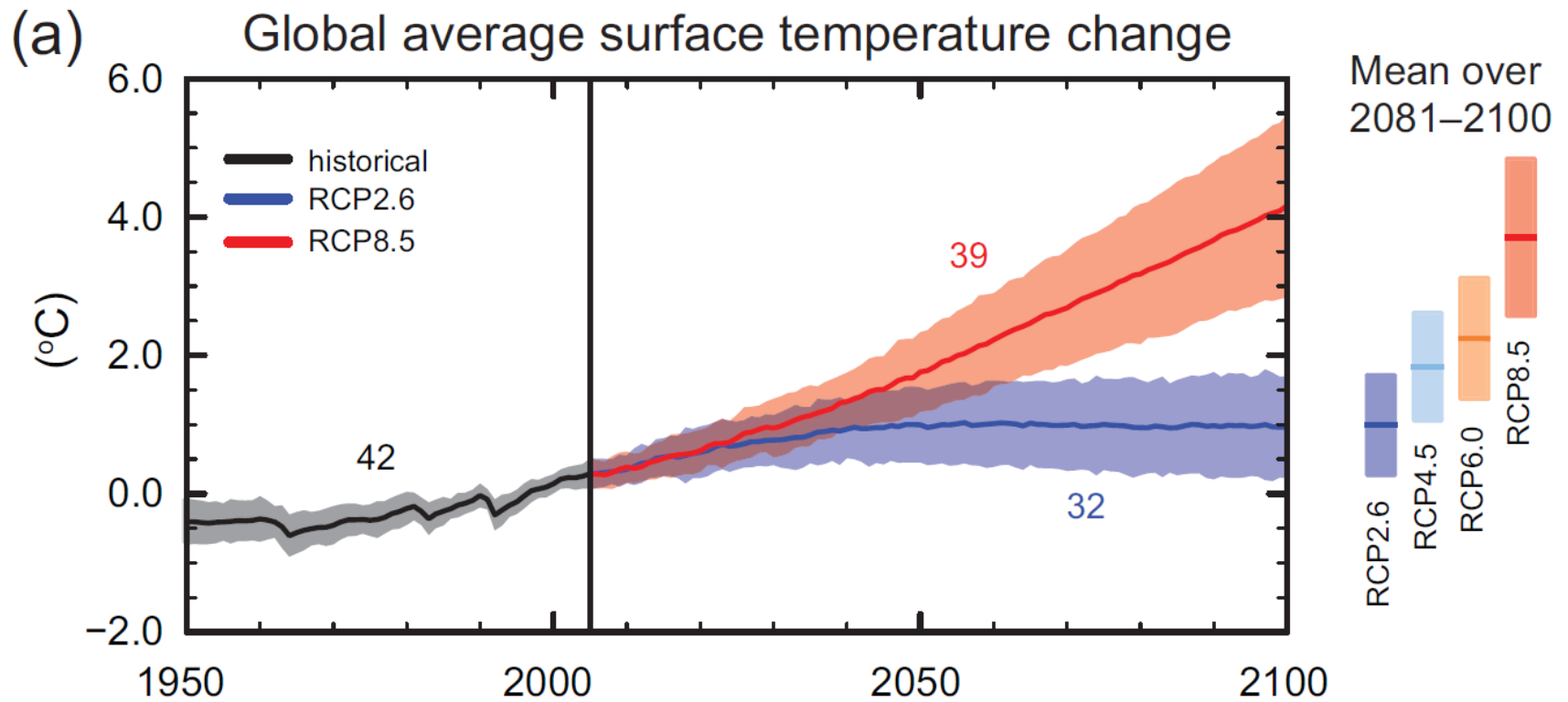
$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

Primitive Equations



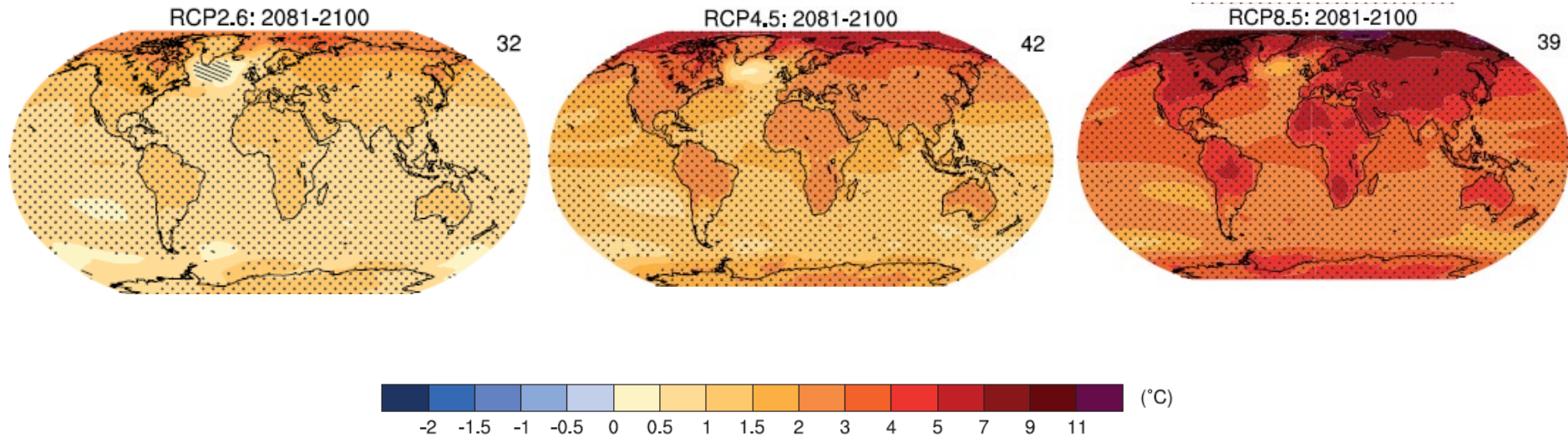
Parameterizations

Temperaturänderung



IPCC 2013
Figure SPM.7

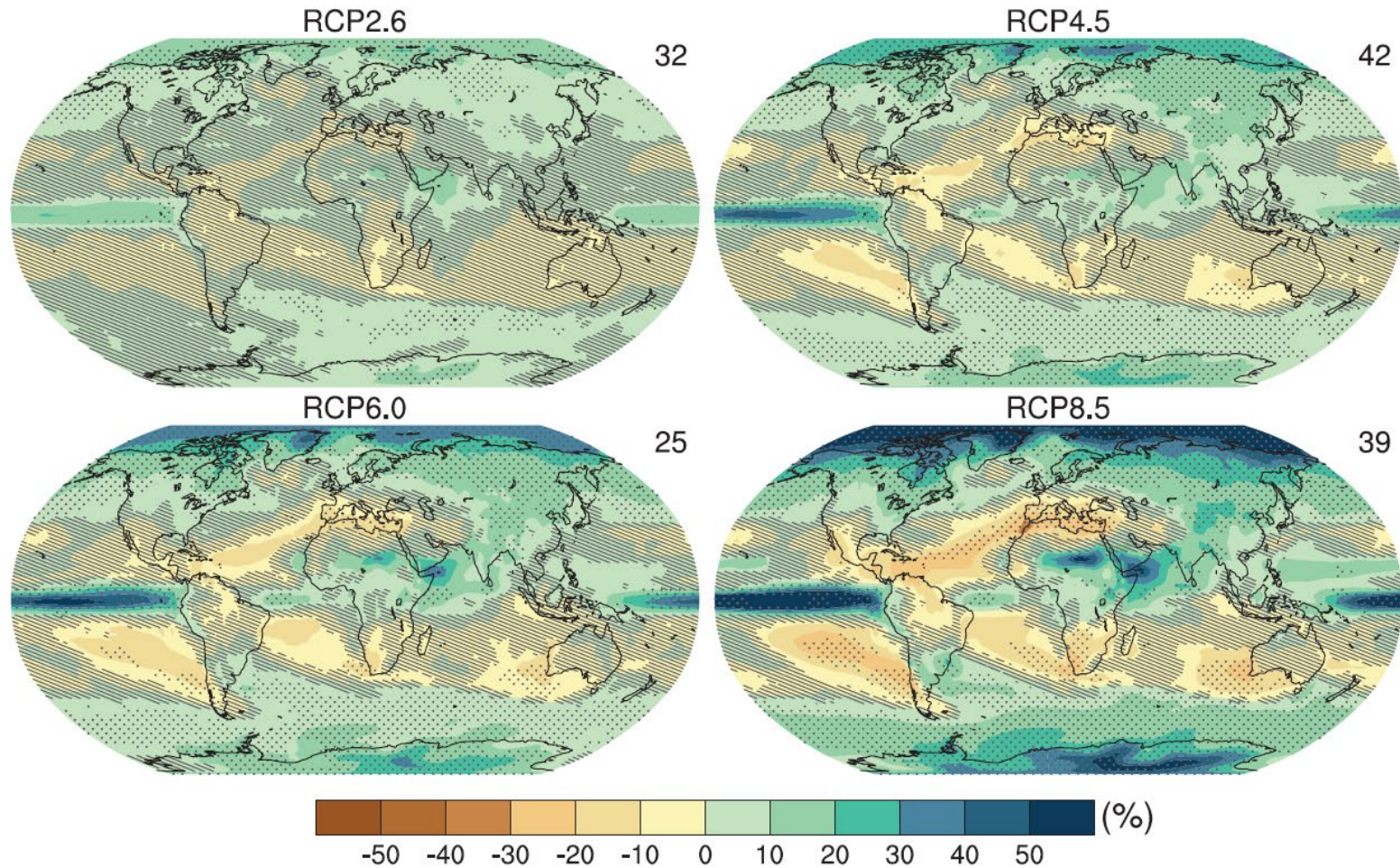
Szenario-Ergebnisse: Temperatursignale bis 2100



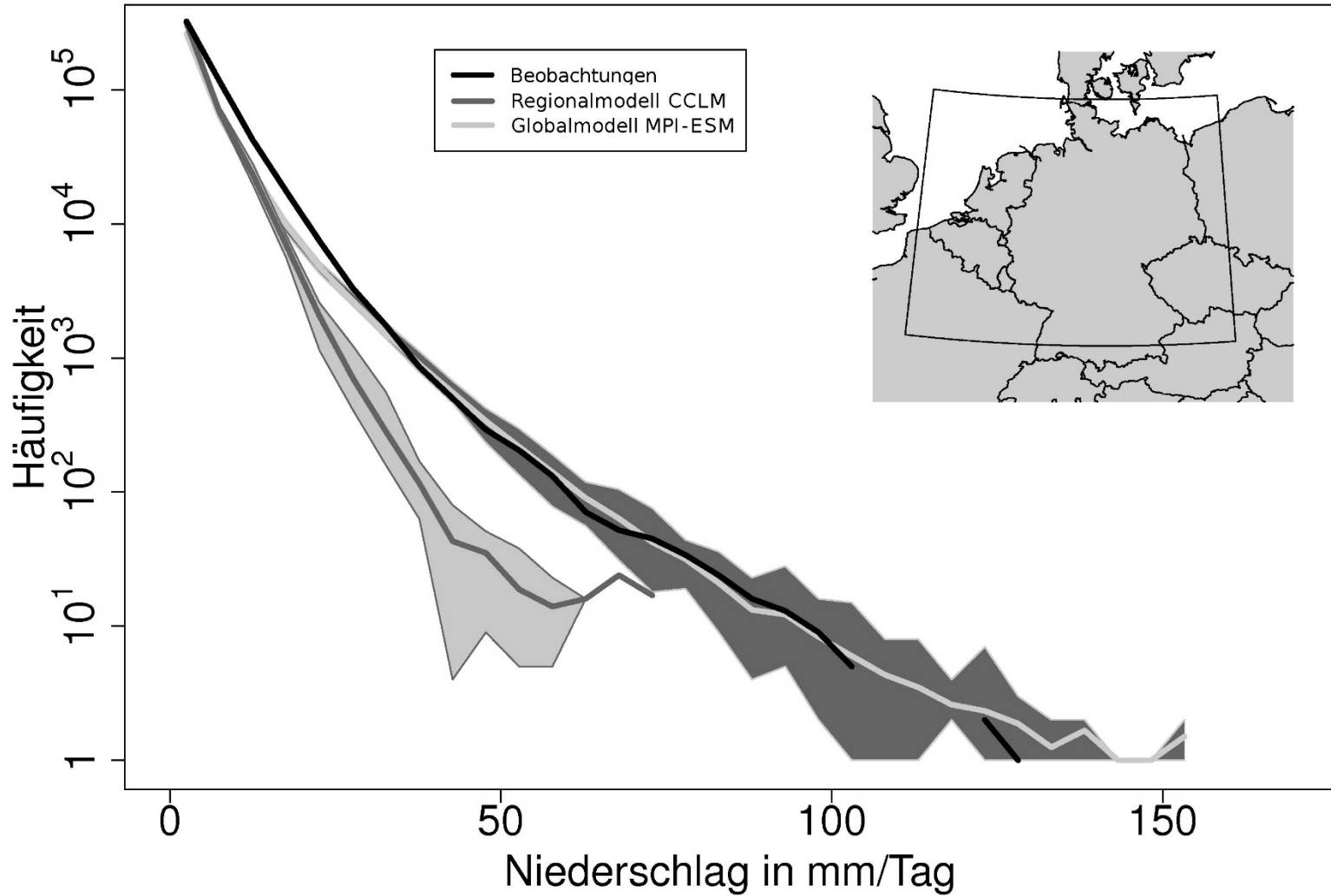
From IPCC 2013, Chapter 12, Fig. 12.11 Reference period: in simulations 1986-2005.
 Stippled areas: Simulated changes agree in sign for at least 90% of models used, and changes exceed 2*std.-deviation (97,5% of present day data)



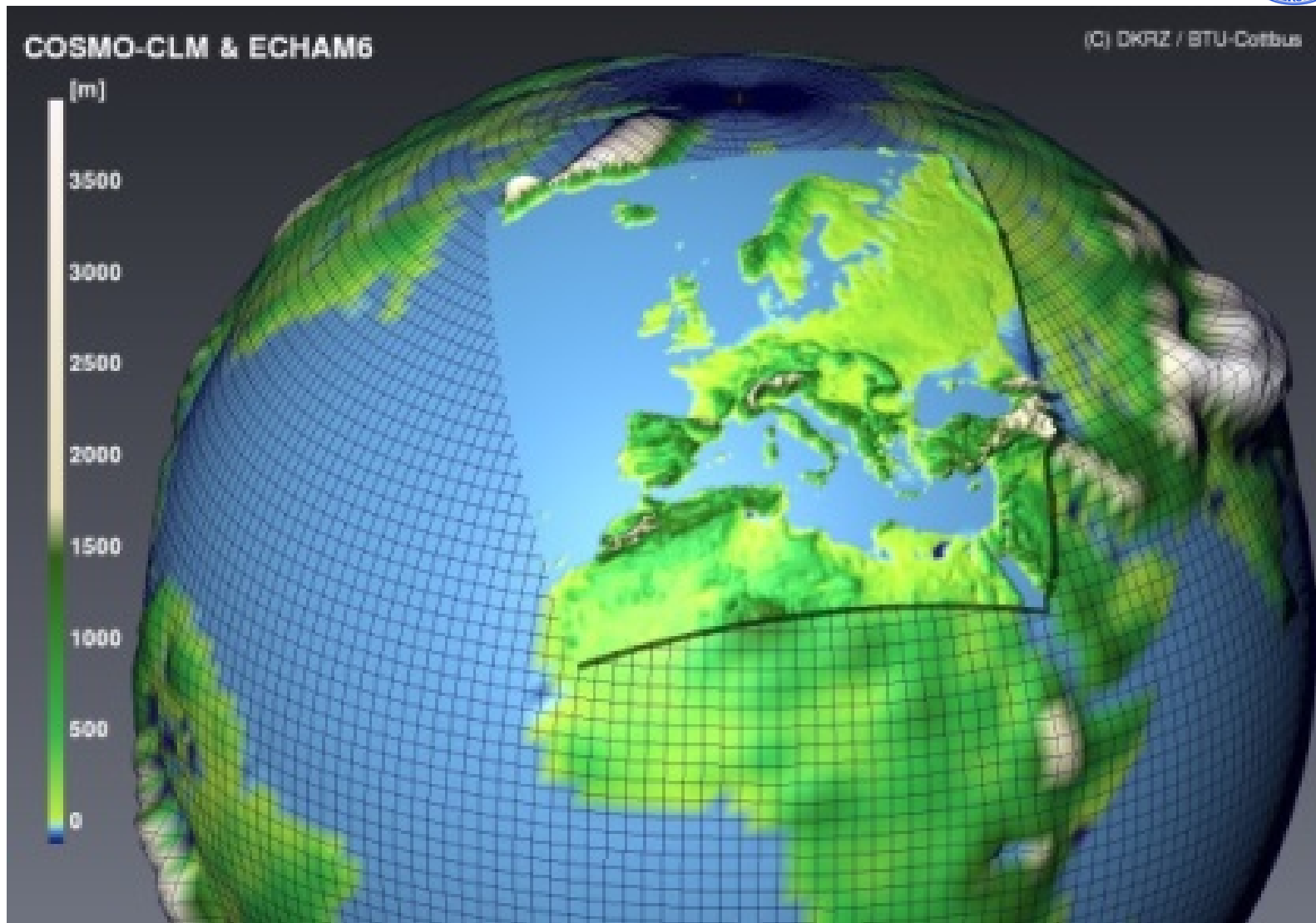
Annual mean precipitation change (2081-2100)



Quelle: IPCC AR5 WG1



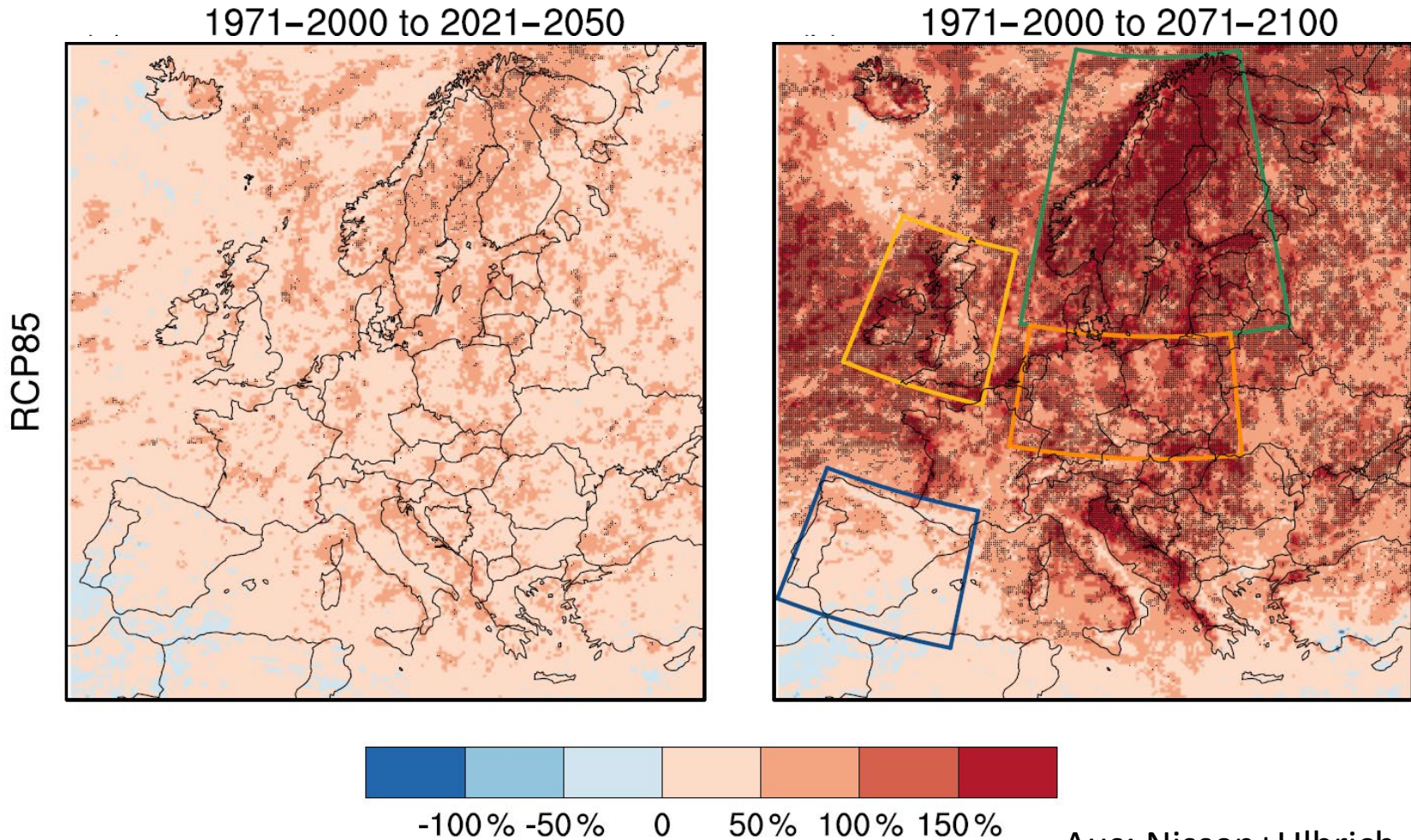
Quelle: „Klimawandel in Deutschland“ 2017
 Hrsg. Brasseur, Jacob, Schuck-Zöller



Betrachtetes Ensemble: Antrieb und zeitliche Auflösung

GCM	RCA4	RACMO22E	CCLM4-8-17	HIRHAM5	WRF331F
EC-EARTH	day, 3 h	day, 3 h	day	day	
HadGEM2	day, 3 h	day, 3 h	day		
MPI-ESM	day, 3 h		day		
CM5A-MR	day, 3 h				day
CNRM-CM5	day, 3 h		day		

Klimasignal der Häufigkeit ehemals 10-jähriger Ereignisse (Tages- und Mehrtagesereignisse)



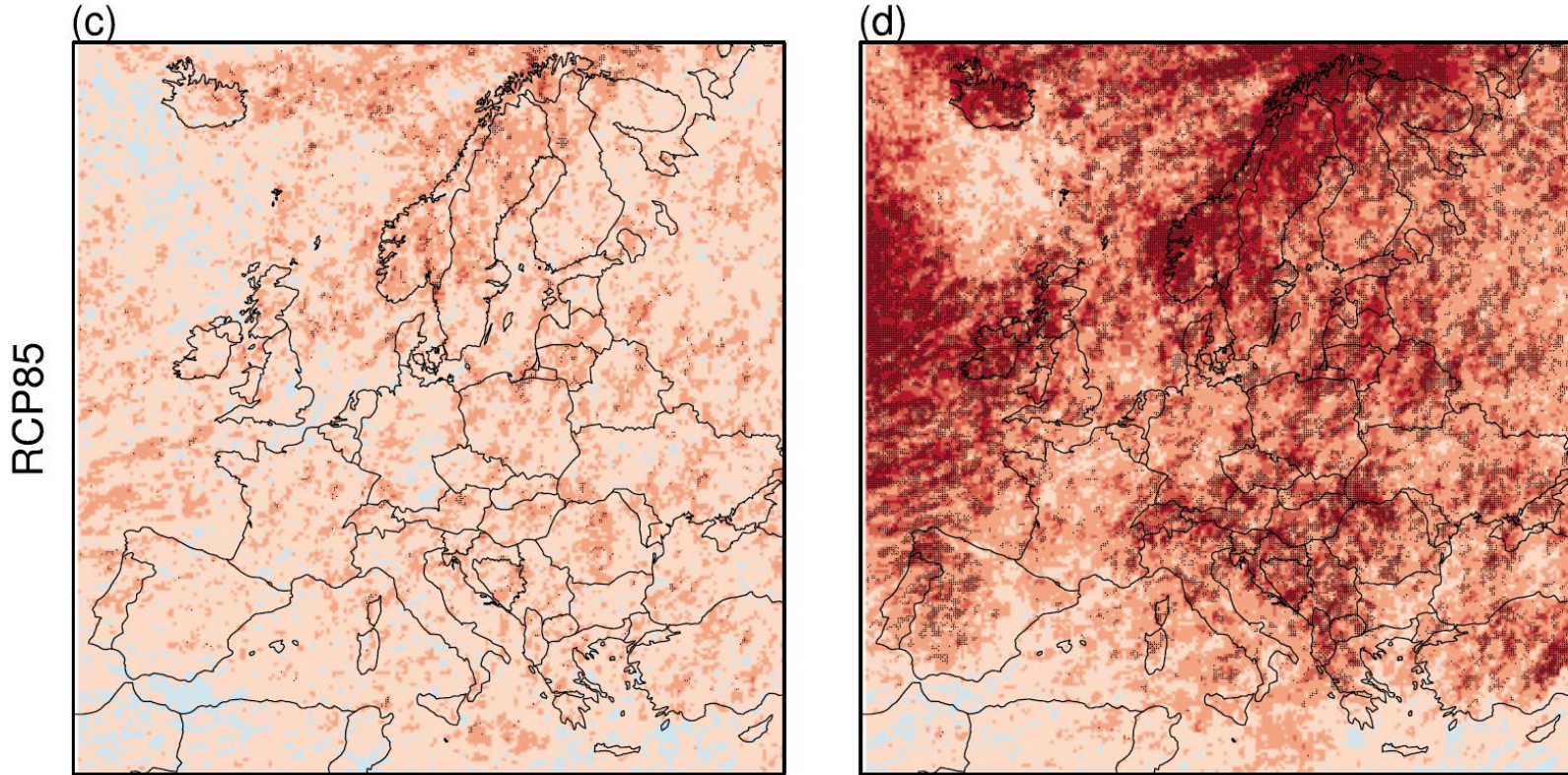
Aus: Nissen+Ulbrich, 2017



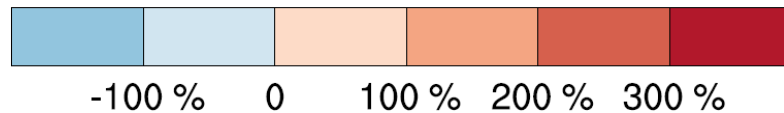
Klimasignal der Häufigkeit ehemals 10-jähriger Ereignisse

1971 – 2000 to 2021 - 2050 (sub-tächlich)

1971 – 2000 to 2071 - 2100



Relative change of number of events

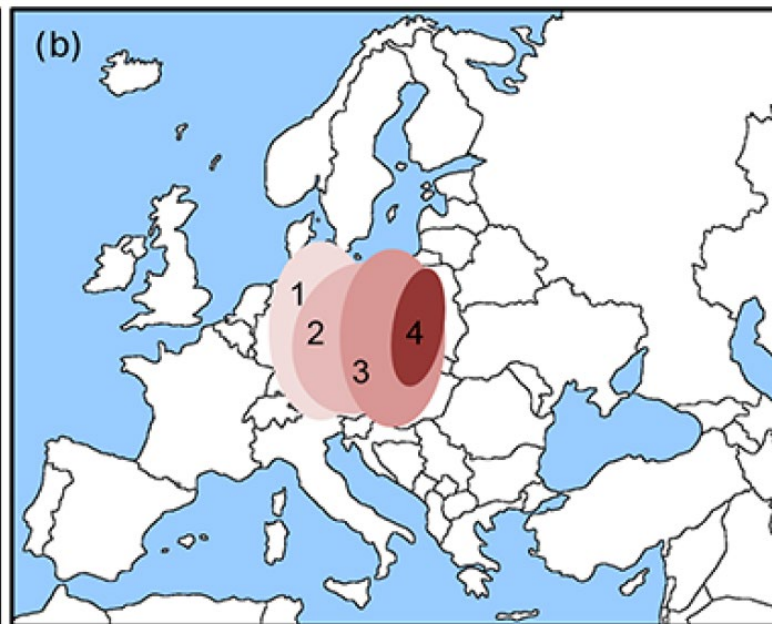


Aus: Nissen+Ulbrich, 2017

Definition von Ereignis-Gebieten und Dauern

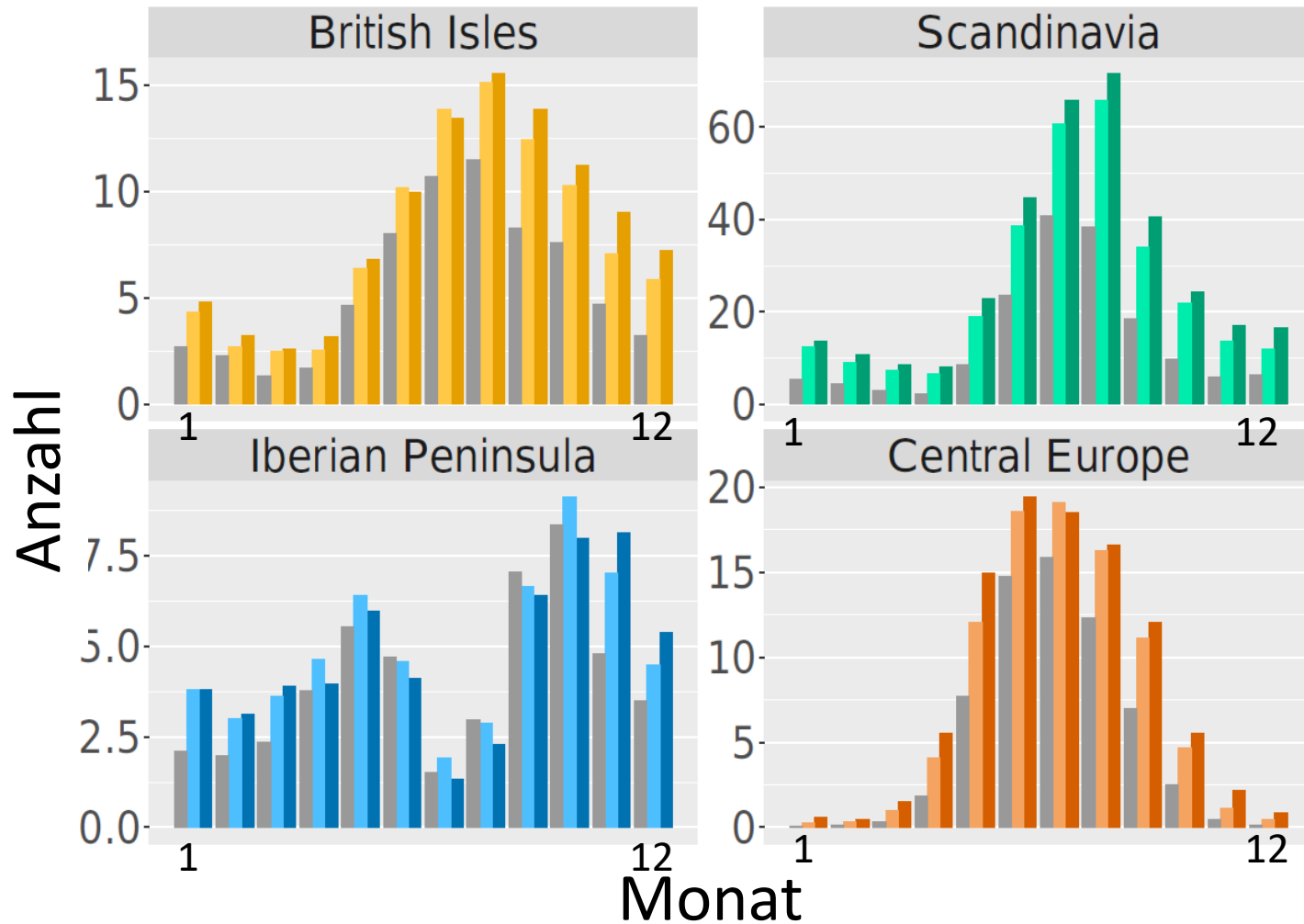
10-Jahres-Wiederkehrwerte, als Ereignis gerechnet

Zusammenhängende Gebiete werden räumlich und zeitlich „verfolgt“



Aus: Nissen+Ulbrich, 2017

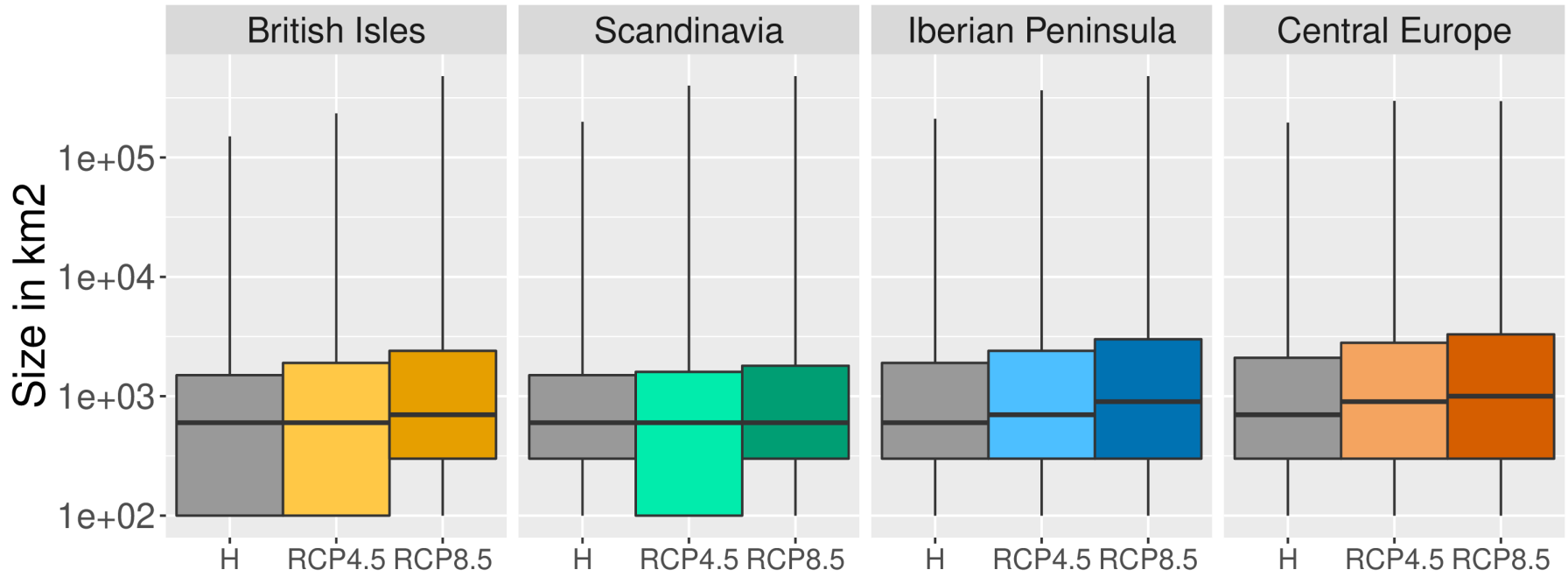
Klimasignal der Häufigkeit ehemals 10-jähriger Ereignisse (sub-täglich)



Aus: Nissen+Ulbrich, 2017



Klimasignal der Ausdehnung von **sub-täglichen** ehemals 10-jährigen Ereignissen



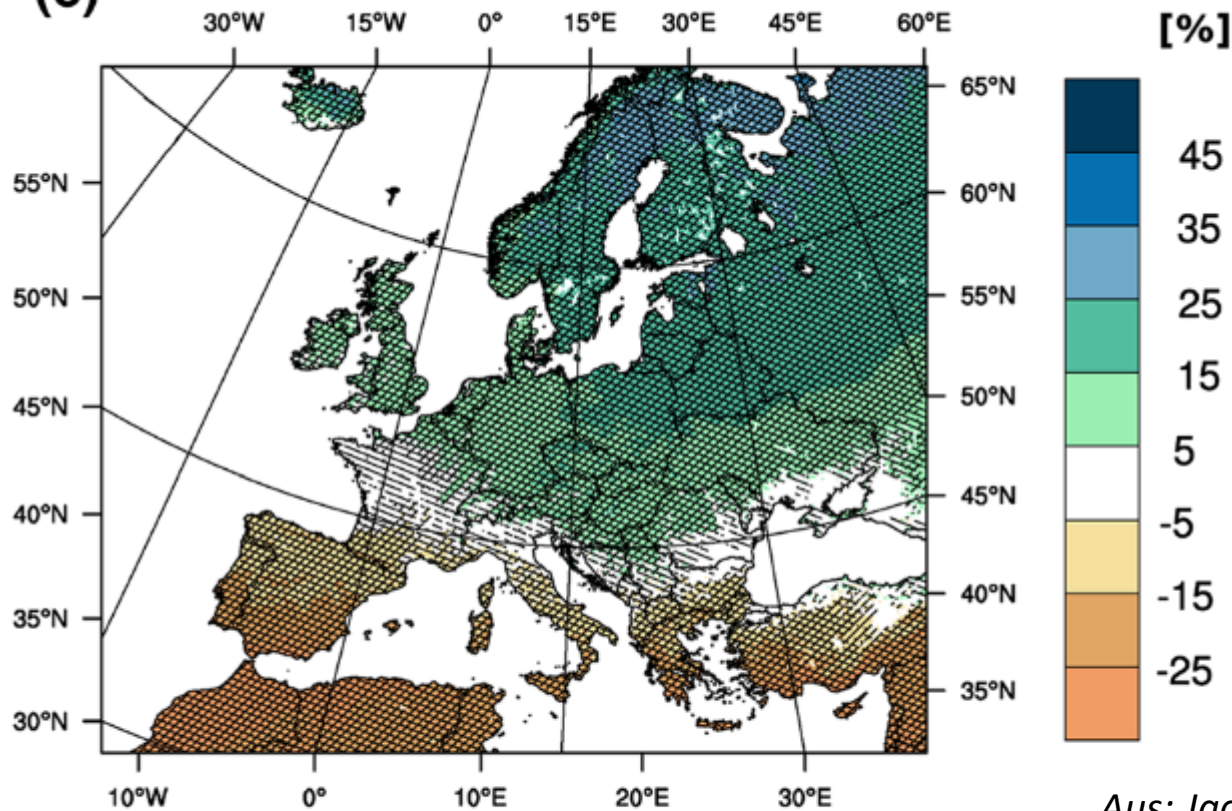
Angaben: Median, 75%-Quantil, Maximum

Aus: Nissen+Ulbrich, 2017

Klimasignal mittlerer Niederschlag

RCP85

(c)

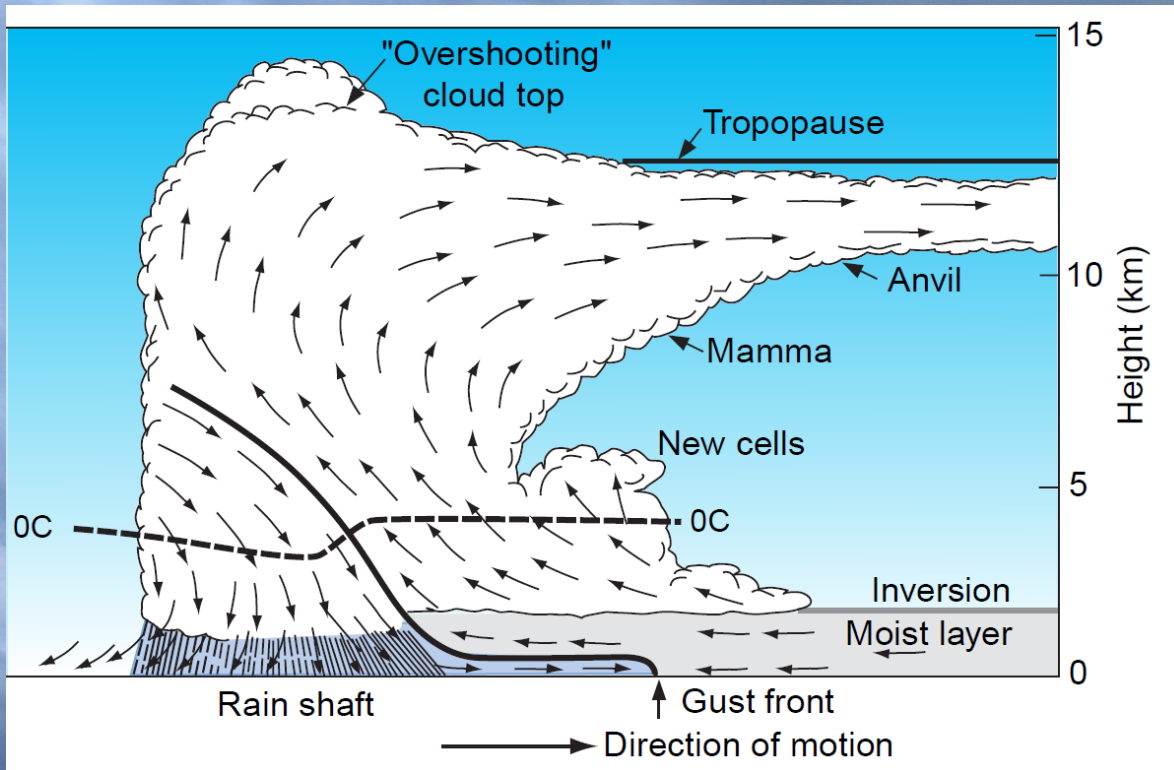


Änderung zwischen
1971-2000 und 2071-2100
EURO-Cordex Ensemble

Aus: Jacob et al. 2014

/: significant
\\: robust

Konvektive Extrema in Regionalmodellen ?

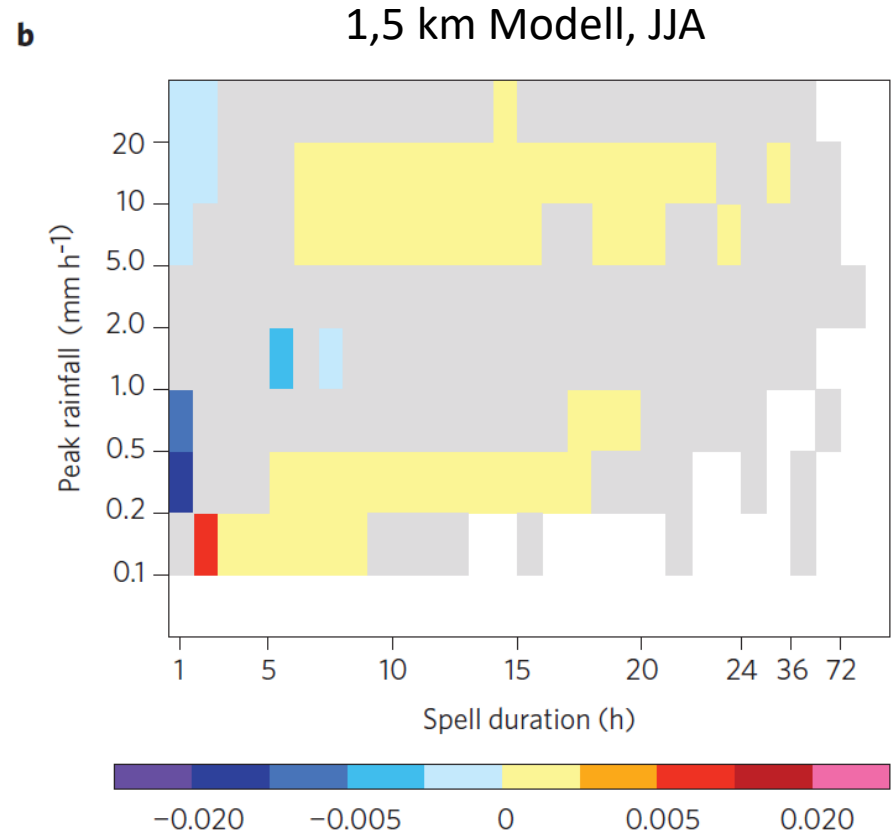
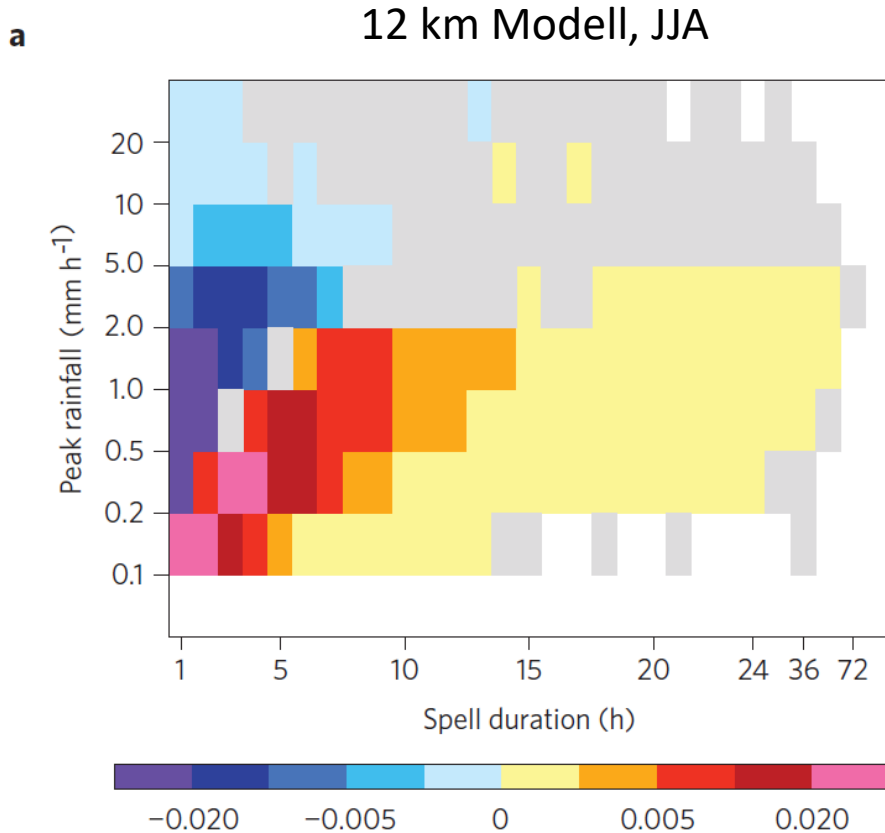


From: Wallace & Hobbs, Atmospheric Science. 2006

Picture: G. Myrcik, FU Berlin, 24.7.2009, 20:59 Uhr



Abweichung der Intensitäts-Häufigkeitsverteilung von Radarwerten



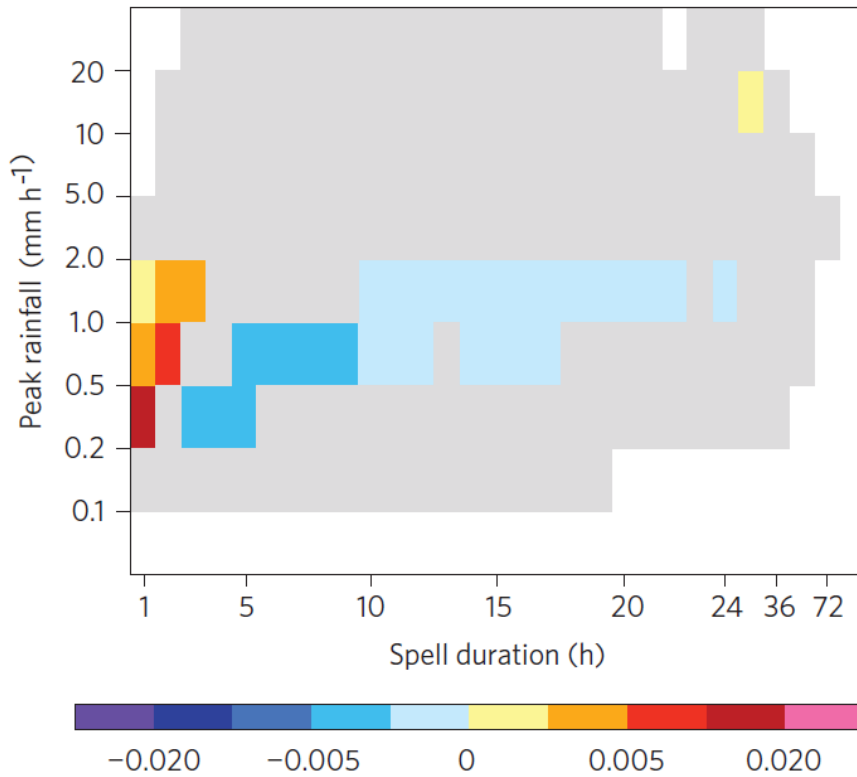
Region: England

Kendon et al., Nat.Clim.Ch., 2014

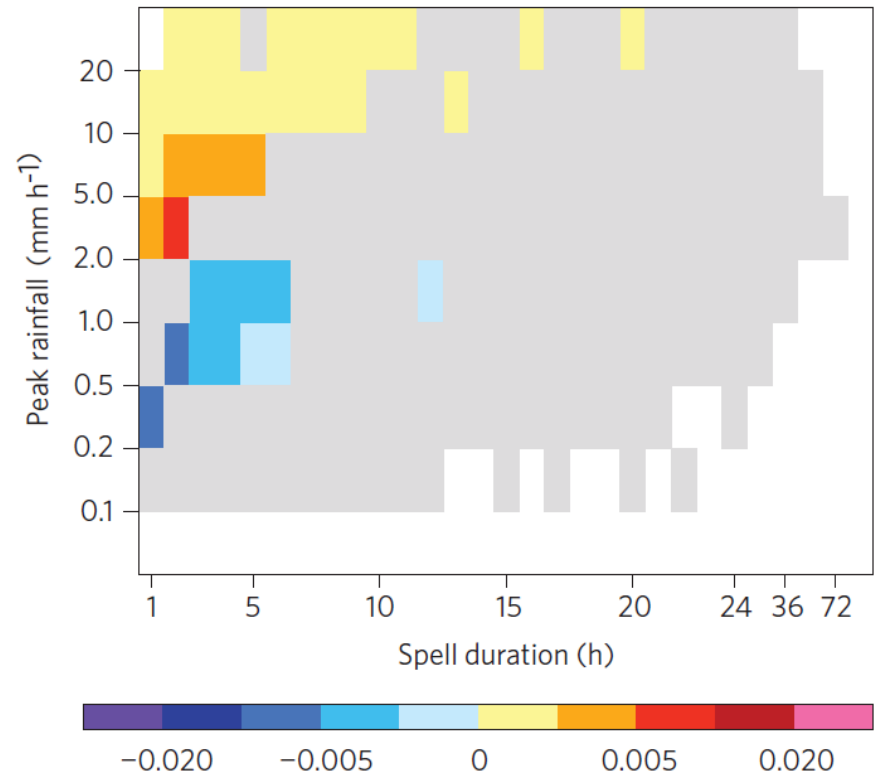


Klimasignal RCP8.5

c 12 km Auflösung, JJA



d 1,5 km Auflösung, JJA



Region: England

Kendon et al., Nat.Clim.Ch., 2014

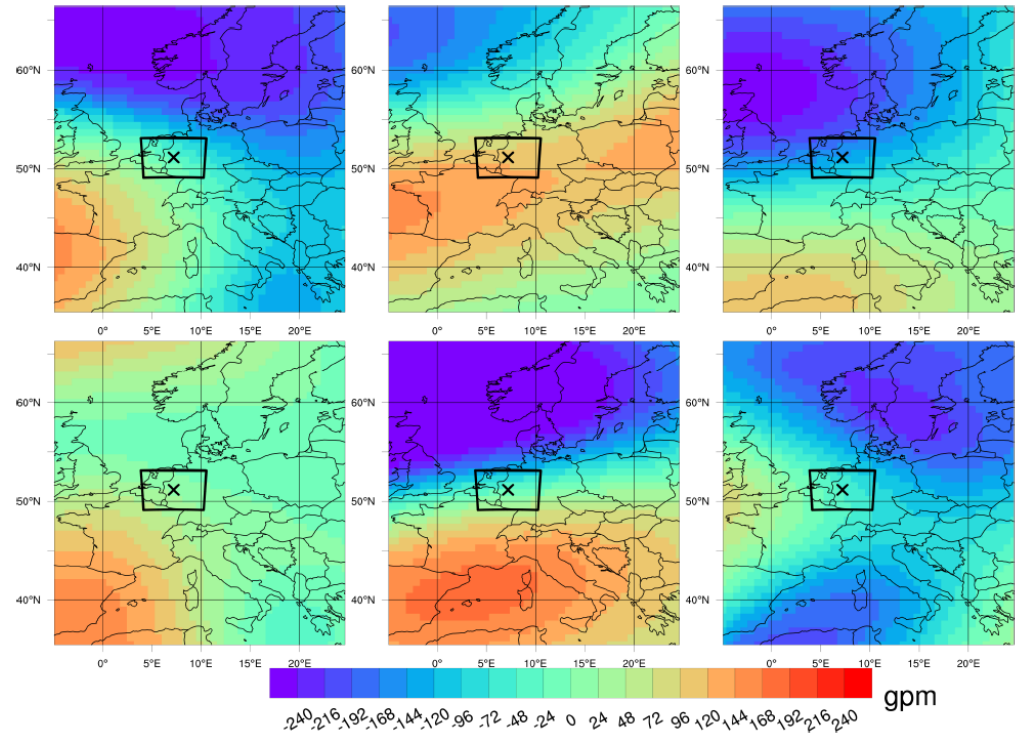
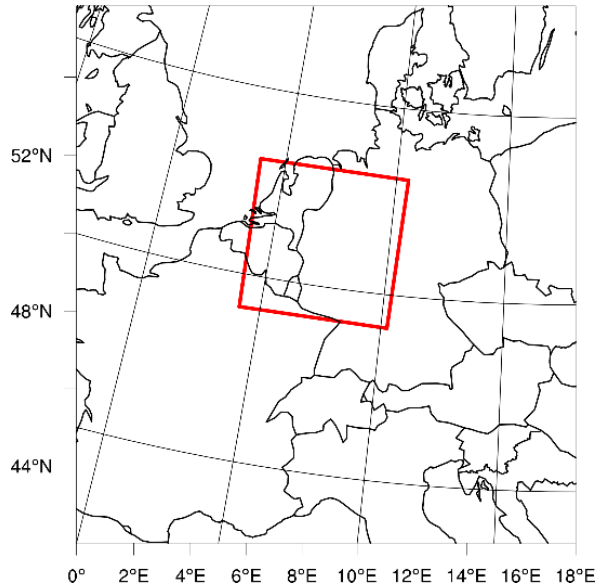
Problematik von Konvektions-auflösenden Simulationen: Rechenzeit und Speicherplatz



Berechnungen nur für potentiell extreme Tage durchführen

Definition potentiell extremer Tage (Winter)

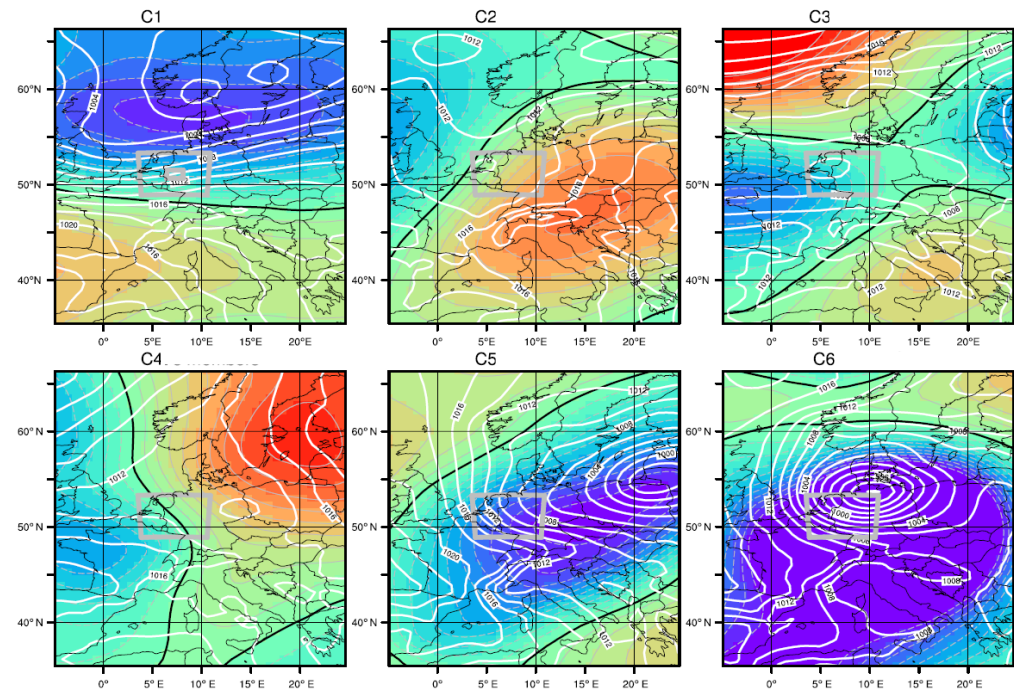
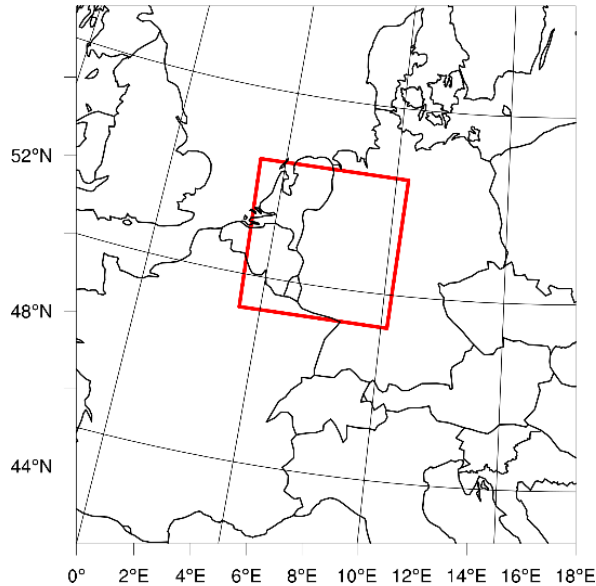
Clustering von Verteilungen des 500 hPa Geopotentials bei beobachteten Starkniederschlags-Ereignissen (99.9% Perzentil, pro Jahreszeit, Wupper-Einzugsgebiet, E-OBS 0.22°)



Meredith et al., HESS, 2018

Definition potentiell extremer Tage (Sommer)

Clustering von Verteilungen des 500 hPa Geopotentials bei beobachteten Starkniederschlags-Ereignissen (99.9% Perzentil, pro Jahreszeit, Wupper-Einzugsgebiet, E-OBS 0.22°)



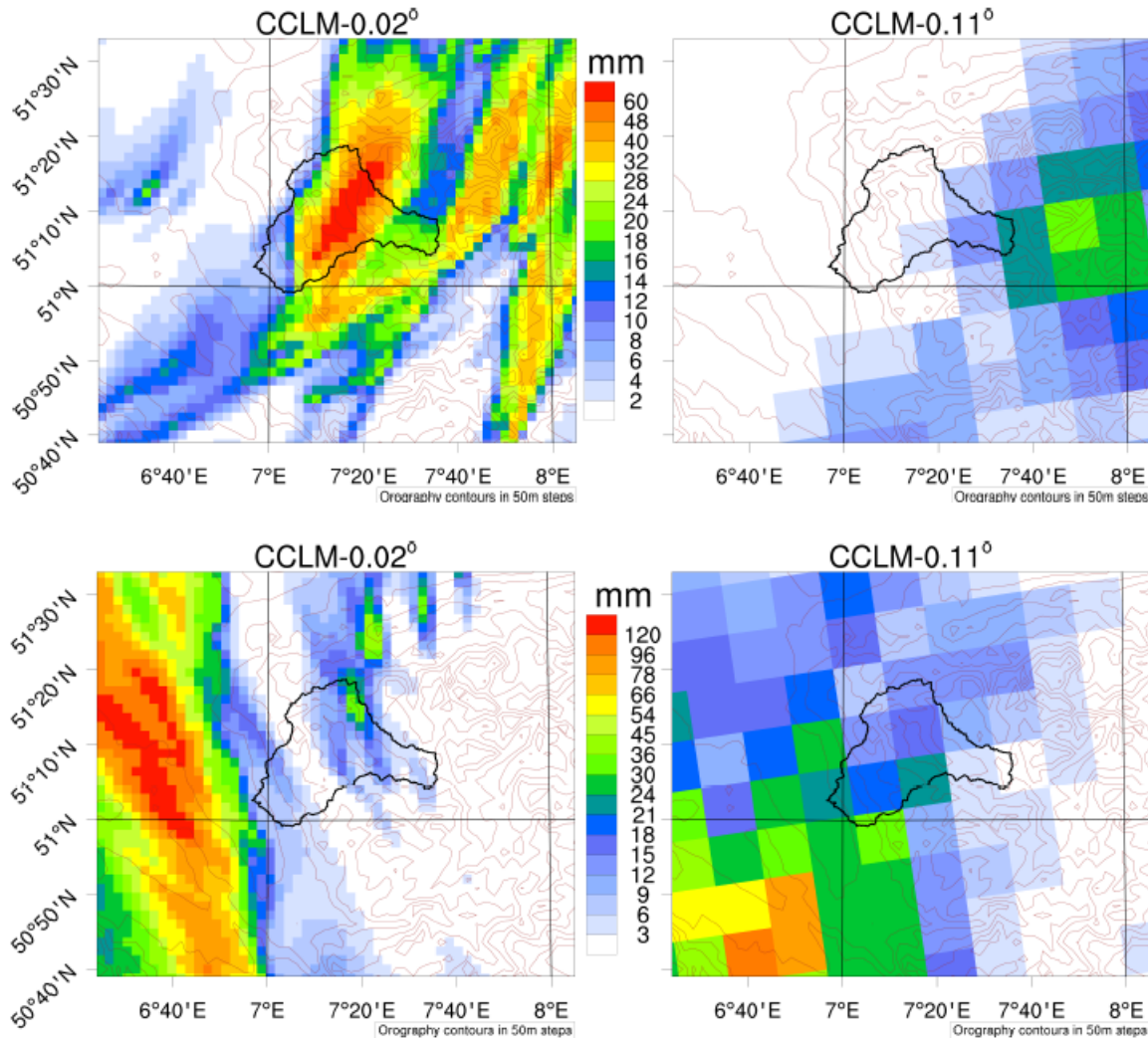
Meredith et al., HESS, 2018

Definition potentiell extremer Tage

Grenzwerte für Tage im Wupper-Einzugsgebiet

Variable	Grenzwert DJF	Grenzwert JJA	Zeitbezug	Gitterpunkte
Horizontale Divergenz	90%-Perzentil in 500 hPa	90%-Perzentil in 500 hPa	Tägliches Maximum	7x7
Relative Feuchte	97,5%-Perzentil in 300 hPa	86%-Perzentil in 700 hPa	Tägliches Maximum	7x7
CAPE	-	90%-Perzentil	Tägliches Maximum	7x7
Modellniederschlag im 12 km Regionalmodell	95%-Perzentil (alle Tage)	95%-Perzentil (alle Tage)	Tagessumme	3x3

Meredith et al., HESS, 2018



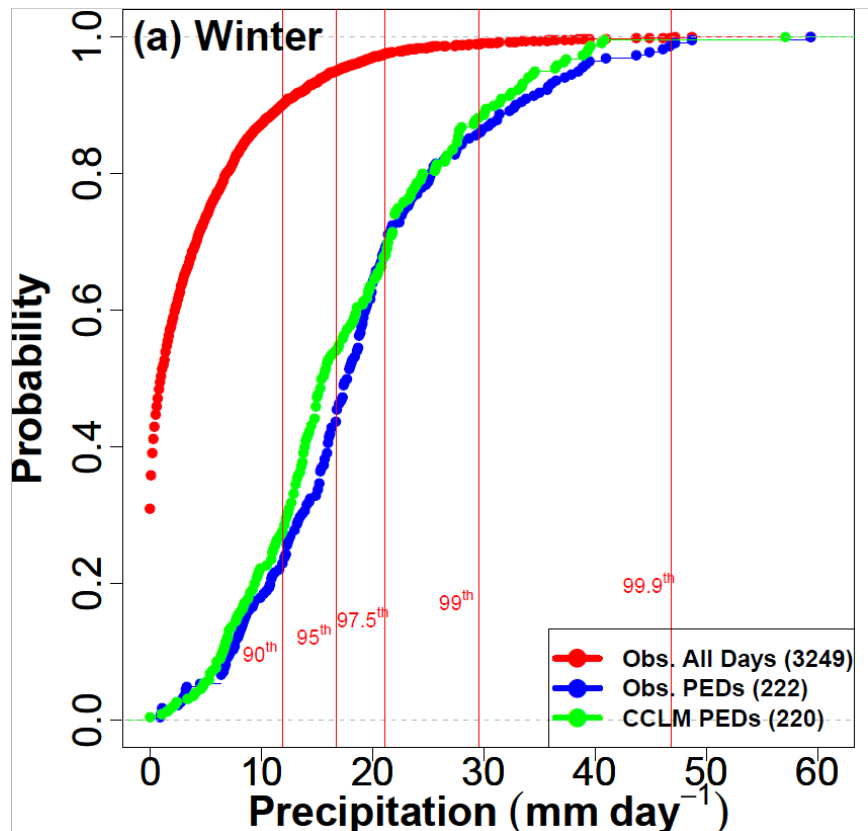
Examples of
downscaled extremal
episodes:

Hit (upper row)
and near miss (lower
row)

Meredith et al.,
HESS, 2018

Definition potentiell extremer Tage

Ergebnisse für das Wupper Einzugsgebiet



Wahrscheinlichkeit F auf einen Tag mit weniger als RR Niederschlag zu treffen.

Rot: Alle Tage, REGNIE-Niederschlag (1 km)

Blau: Potentiell extreme Tage, REGNIE-Niederschlag

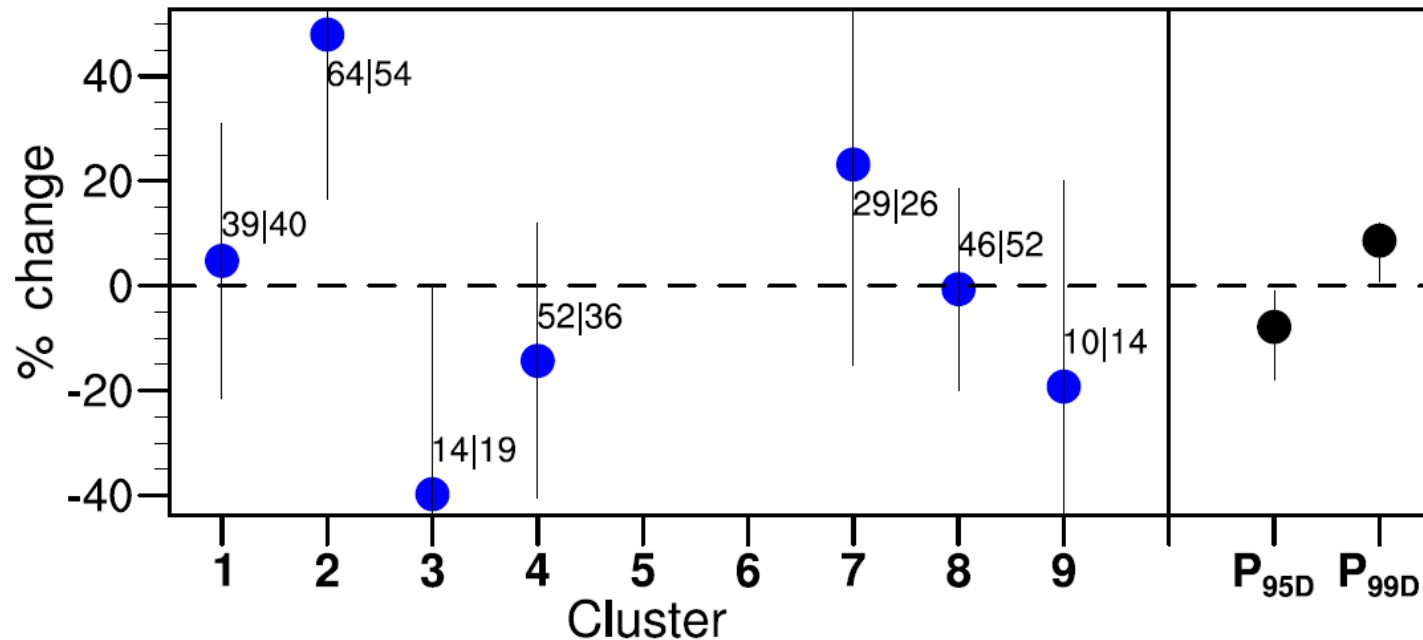
Grün: Potentiell extreme Tage, CCLM (2,2 km) - Niederschlag

Zeitraum: 1980-2015 (Winter)

Modell: COSMO-CLM, 2.2 km Auflösung

Meredith et al., HESS, 2018

Klimasignal für Sommer (JJA), nach Wettersituationen



Änderung der Intensität des täglichen Niederschlags in % pro Cluster.

CCLM 2 km mit Antrieb MPI-ESM/CCLM CORDEX.

Häufigkeiten in einem 30-Jahres-Zeitraum mit heutigem Klimaantrieb (links) und unter RCP8.5 (rechts)

Zusammenfassung

- Erwärmungstrend durch steigenden Treibhausgasgehalt
- Erhöhte Aufnahmefähigkeit von Wasserdampf
- CORDEX-Klimasignal in Zentraleuropa in RCP8.5 bis zum Ende des Jahrhunderts:
 - Häufigkeit von Ereignissen 10-jähriger Intensität vervielfacht sich
 - Stärkste Zunahme bei sub-täglichen Ereignissen
 - Stärkste Zunahme im Frühling und Herbst
- Konvektive Ereignisse sollten mit konvektions-erlaubenden, hochaufgelöste Simulationen betrachtet werden.
- Auswertung größerer Ensembles von Extremniederschlägen durch Definition potentiell extremer Tage möglich
- Klimaänderungssignal kann bzgl. Häufigkeit und Niederschlags-Intensität bestimmter Wetterlagen unterschiedlich sein.

An aerial photograph showing a vast area of land completely submerged in water. The water is a deep blue color, contrasting with the green of the trees and fields that are now islands. A small town with red-roofed buildings is visible in the center, surrounded by water. The overall scene depicts a significant flooding event.

Vielen Dank
für die Aufmerksamkeit!

Source: Tagesspiegel-Beilage 10.8.2013