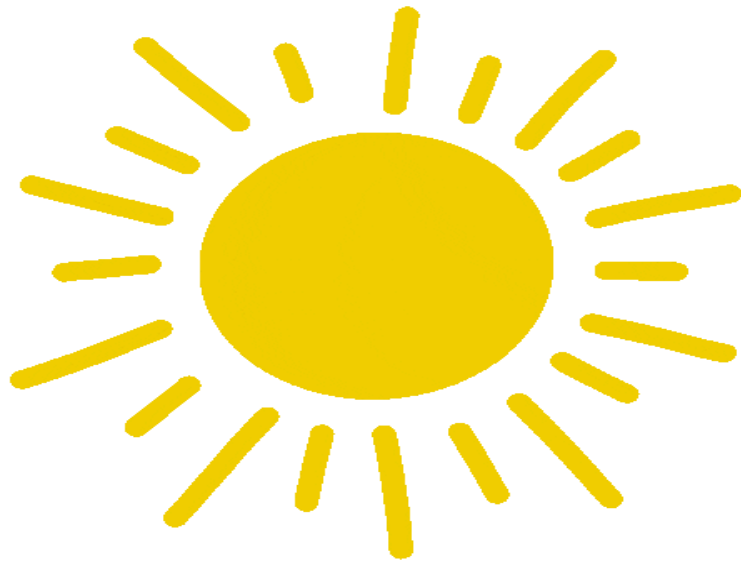


Trockenheit und Hitzewellen

Definition, Ursache und Wechselwirkung

P. Hoffmann



<https://www.pik-potsdam.de/members/peterh>

Forschungsbereiche



Earth System Analysis

Oceans, Atmosphere and Biosphere in Past, Present and Future

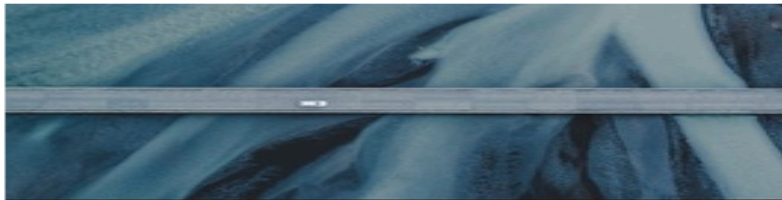
[READ MORE](#)



Climate Resilience

Climate Impacts and Adaptation

[READ MORE](#)



Transformation Pathways

Climate Risks and Sustainable Development

[READ MORE](#)

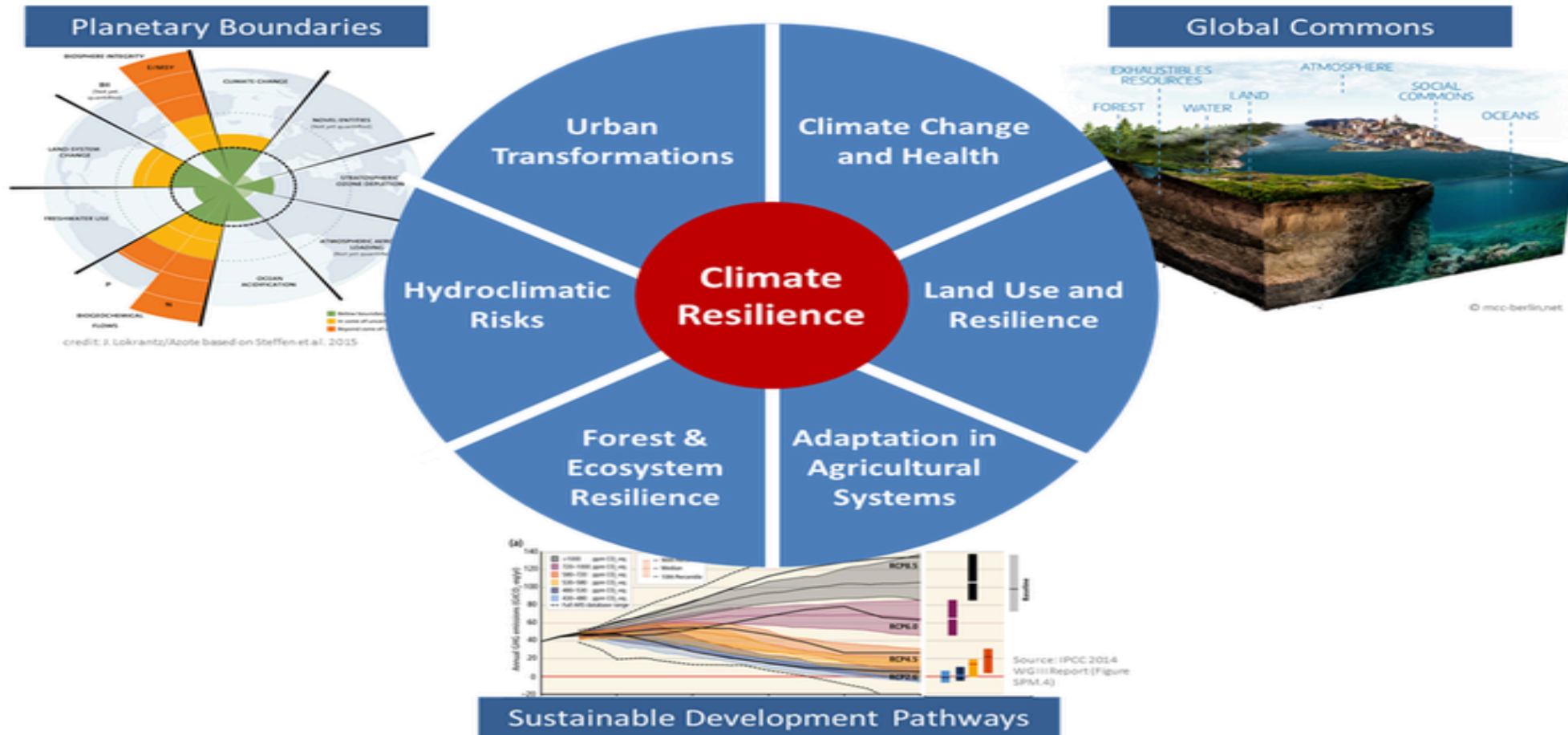


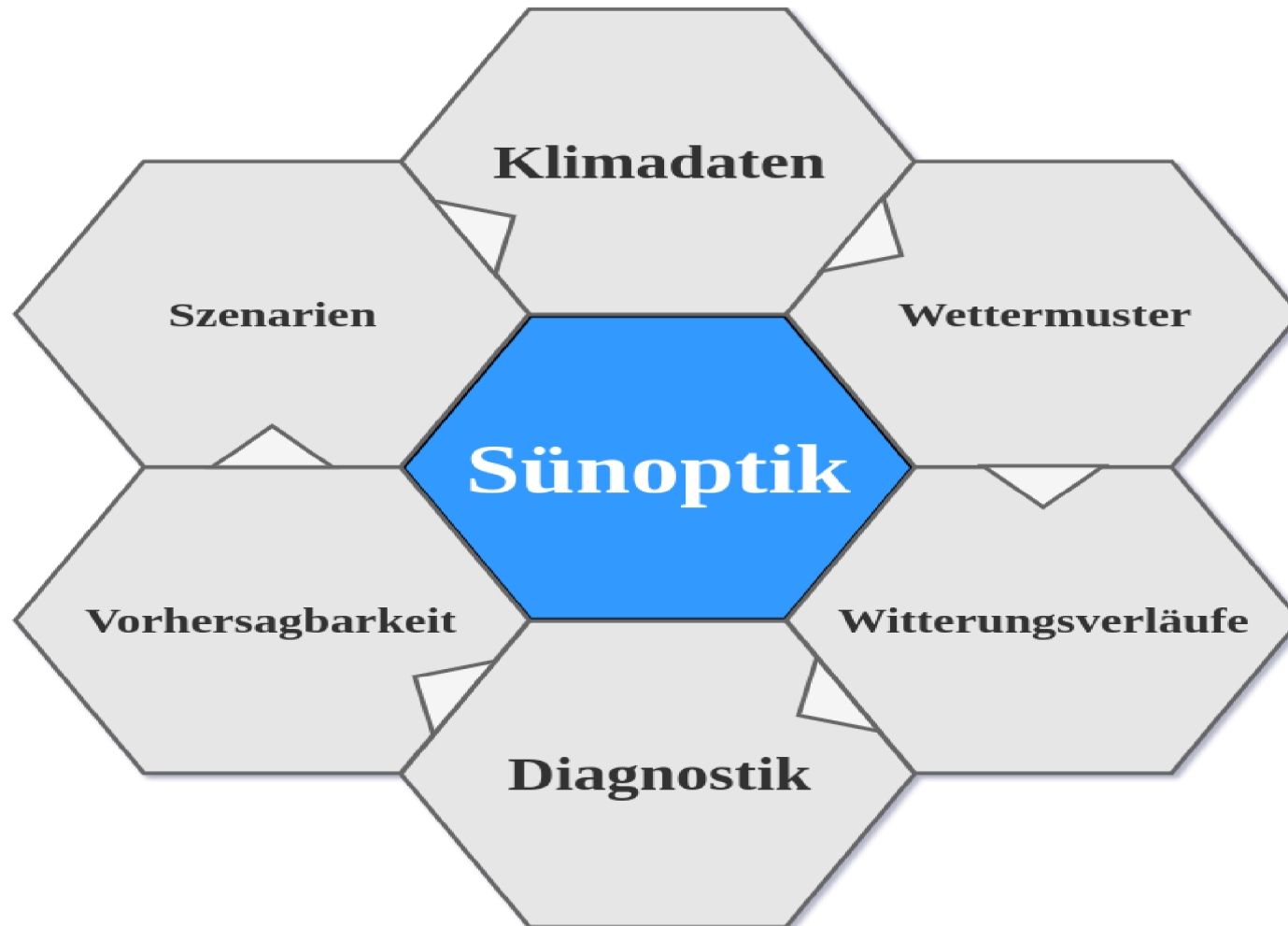
Complexity Science

Machine Learning, Nonlinear Methods and Decision Strategies

[READ MORE](#)

Klimaresilienz - Arbeitsgruppen





Sünoptik:

Süringwarte für **o**perationelle Auswertungen der aktuellen Witterung und **K**limafolgen

<http://www.pik-potsdam.de/~peterh/s%c3%bcnoptik/>

Inhalt

Ursachen

Definitionen

Messbarkeit

Regionaler Klimawandel

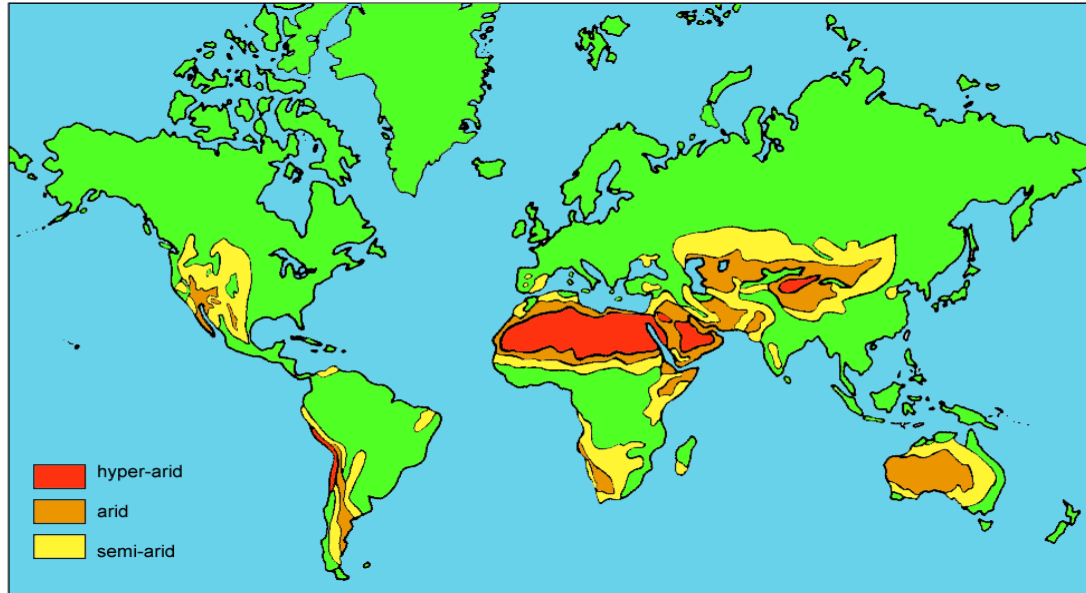
Folgen und Wechselwirkungen

Saisonale Vorhersagbarkeit

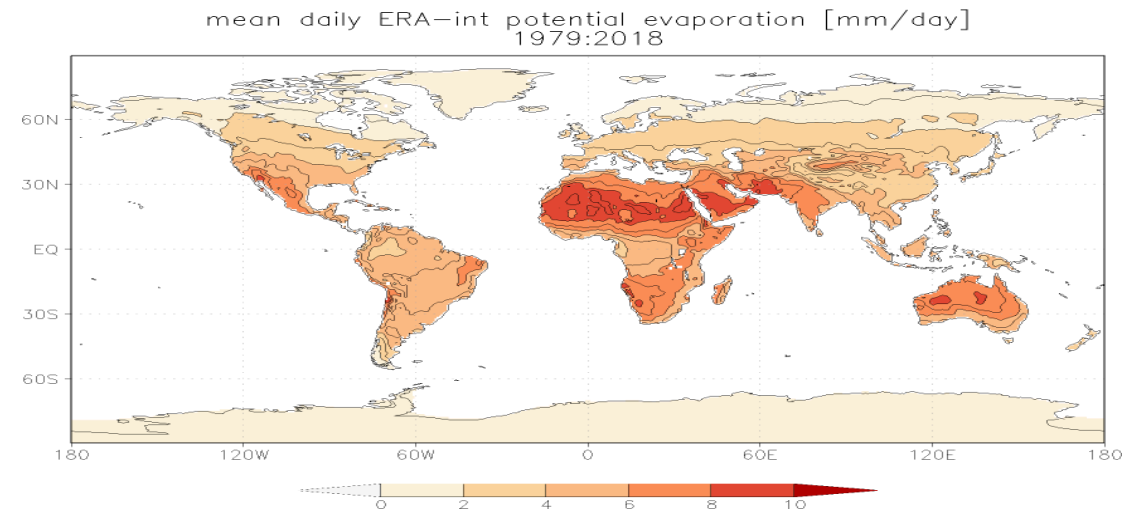
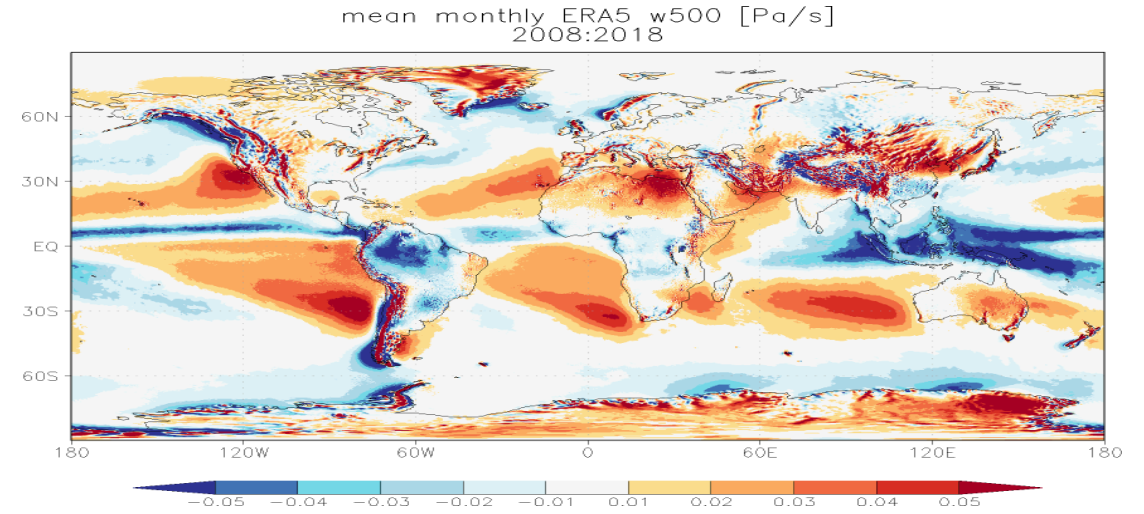
Ursachen

Trockengebiete

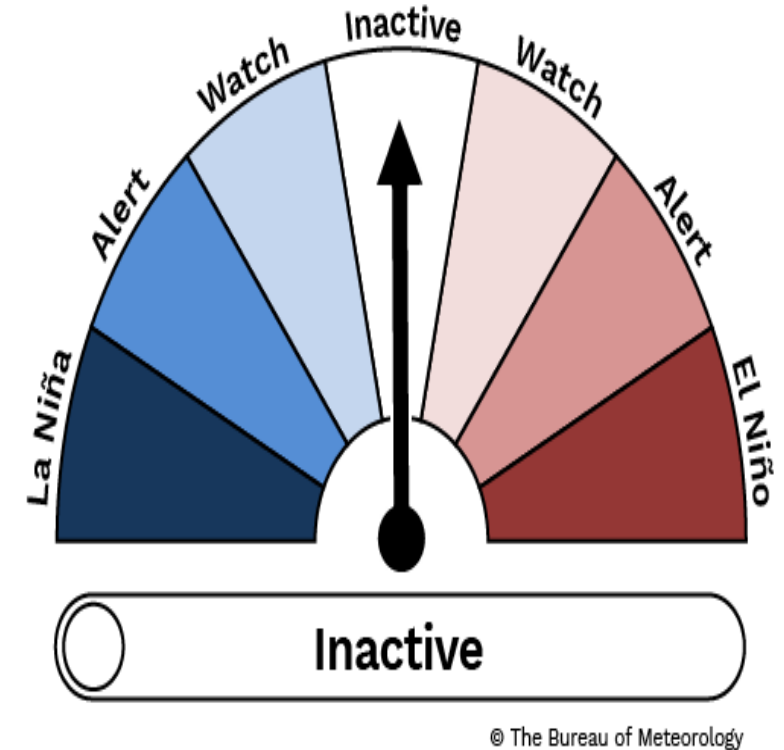
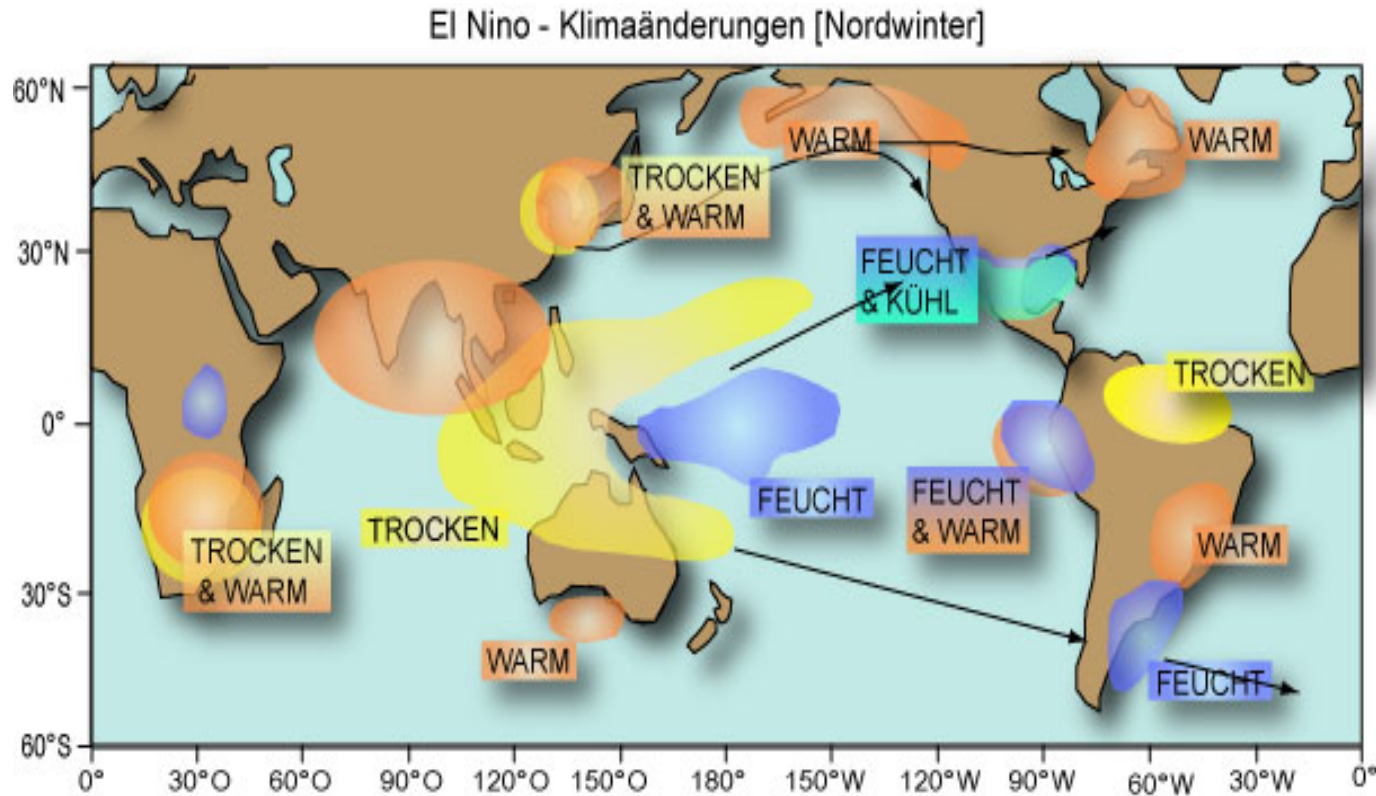
Regionale Verteilung



Aride Regionen sind dominiert durch **Großräumiges Absinken** und hohe **Potentielle Verdunstung**: ca. 30% der Landflächen

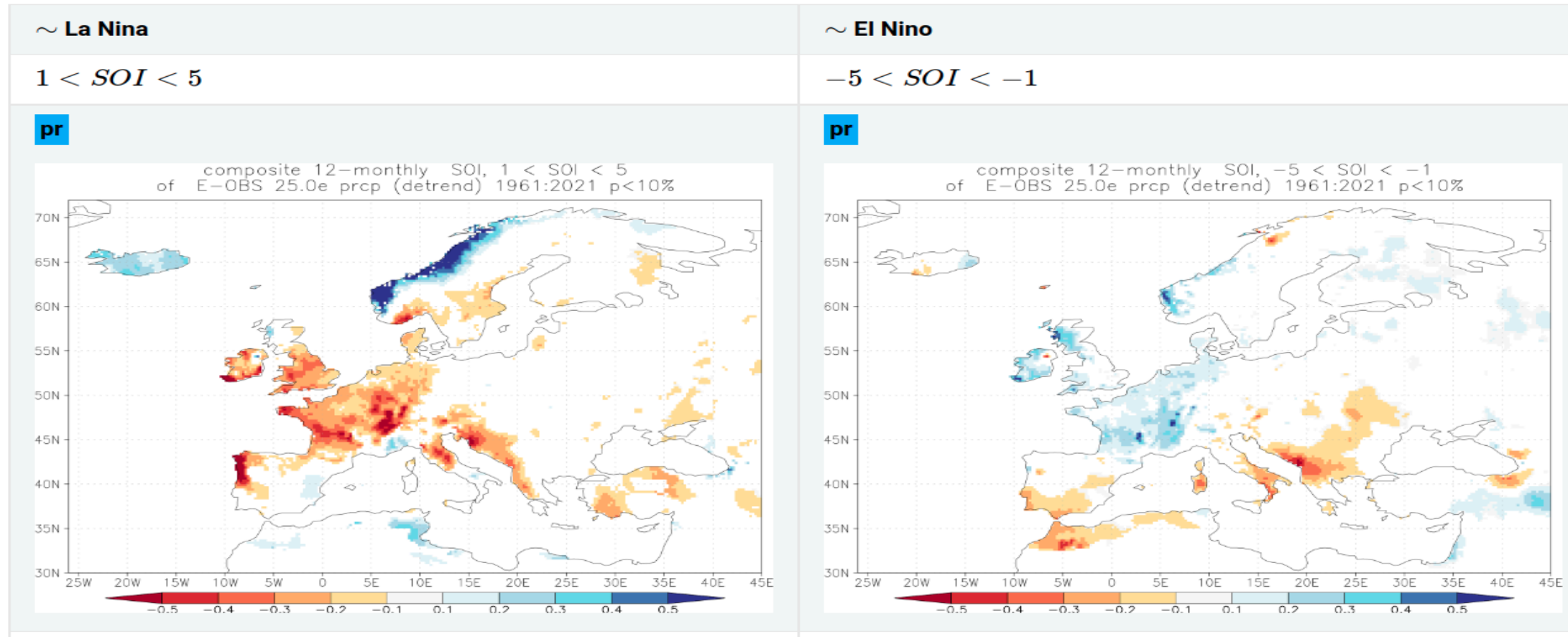


ENSO: El-Niño (überwiegend Tropen)



El-Niño: Dürren in Feuchtgebieten durch Abschwächung großräumiger NO-Passatwinde (z.B. Südostasien bis Südafrika). **Aktuell:** Schwächung des jüngsten El-Niño, was erstmals zur Überschreitung der 1.5 Grad Marke über 12 Monate geführt hat.

Fernwirkung nach Europa?



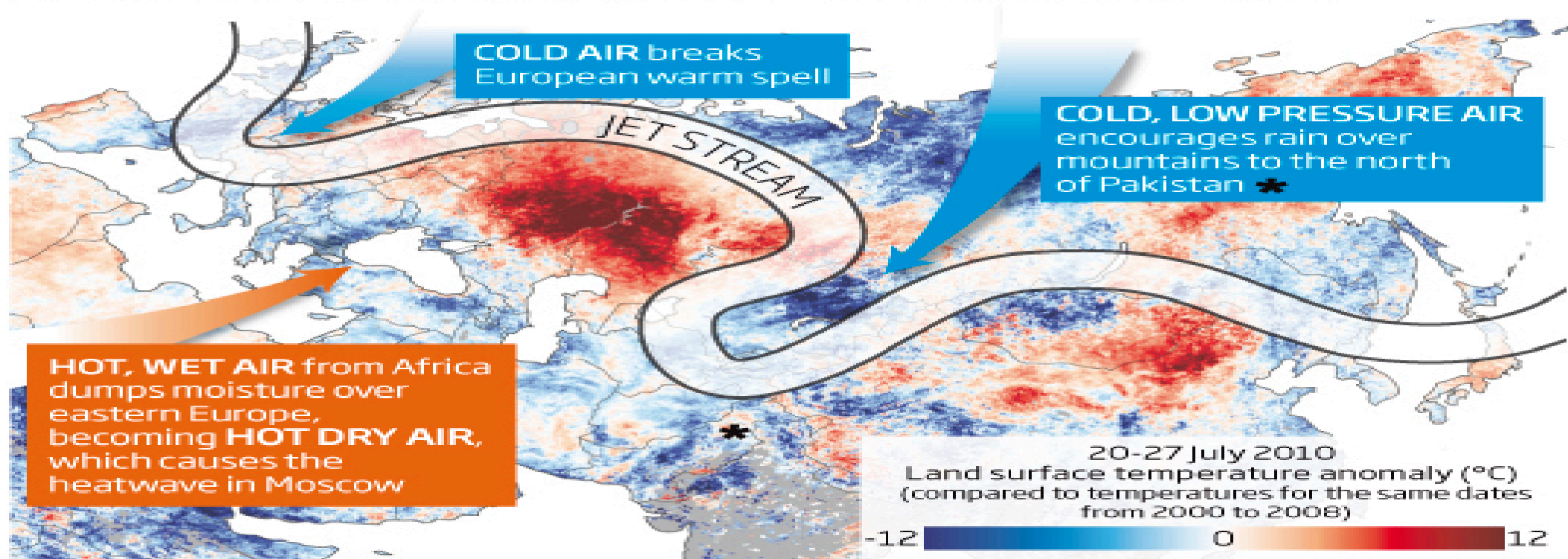
Niederschlagsanomalien gefiltert nach ENSO:
eher trocken in La Niña Jahren ($SOI > 1$) und eher feucht in El Niño Jahren ($SOI < -1$).

Jetstream (Mittlere Breiten)

Holding pattern

In the second half of July, a blocking event froze the meanders of the jet stream over Europe and Asia. The pattern led to extreme weather across the continents

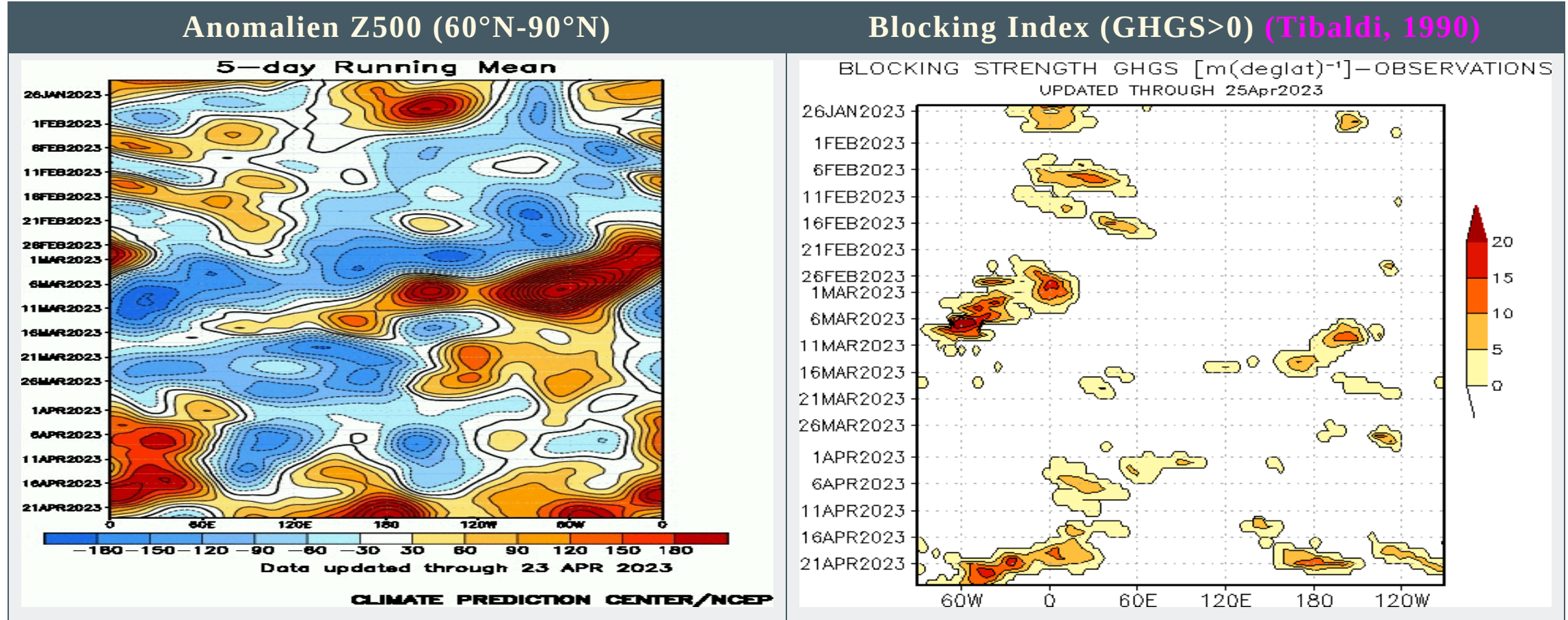
© NewScientist



Stationäre Wellenmuster im Jet Stream über den mittleren Breiten der Nordhemisphäre können über Wochen hinweg zeitgleich verschiedene Wetterextreme auslösen.

Atmosphärische Blockierungen

Hovmoller-Plots: Gradienten der Anomalien im Geopotential 500 hPa in Mittleren Breiten

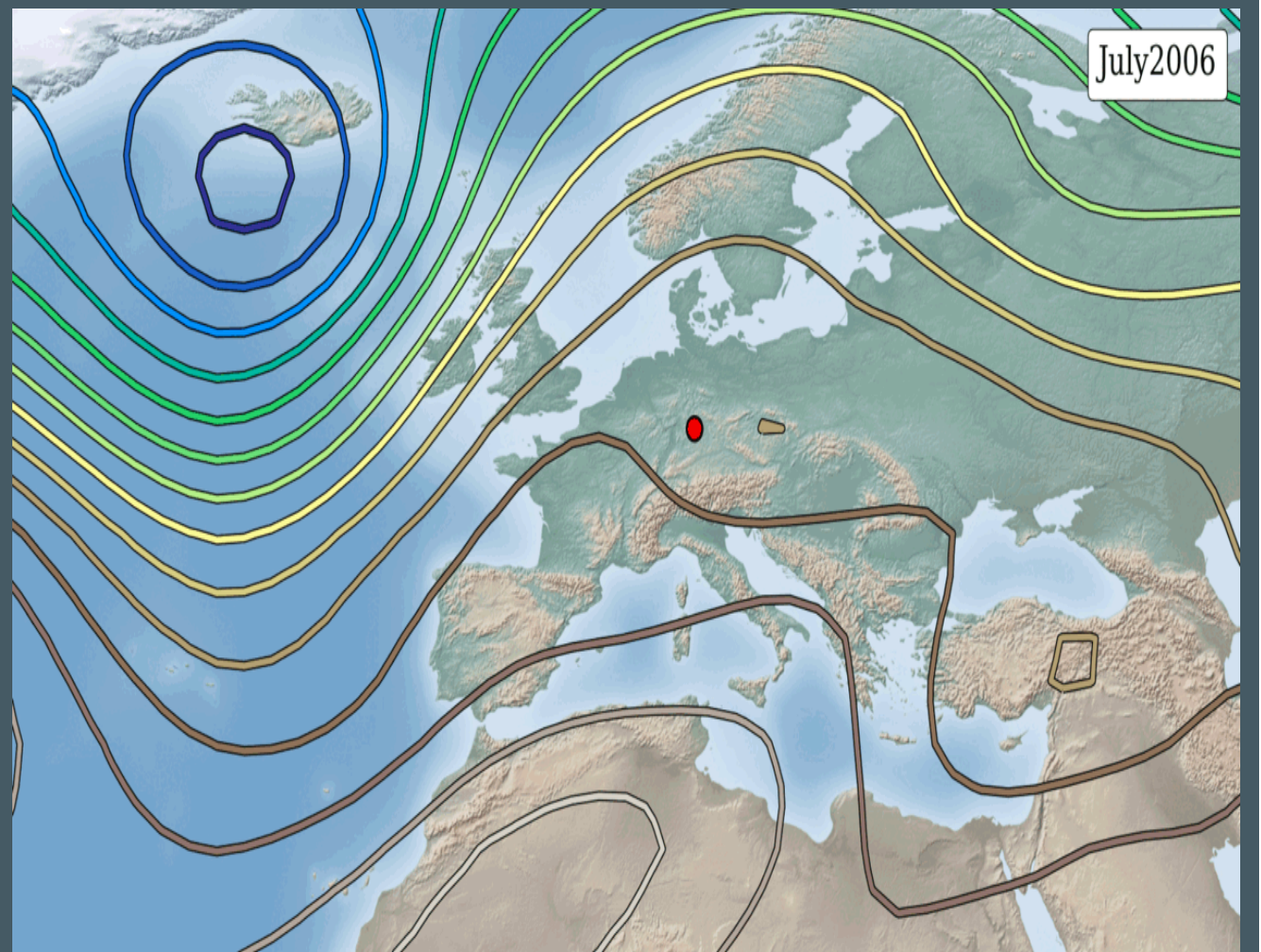


GHGS: Geopotential Height 500 hPa Gradient Southern

Beständigkeit

Ähnlichkeit aufeinanderfolgender
Strömungsmuster

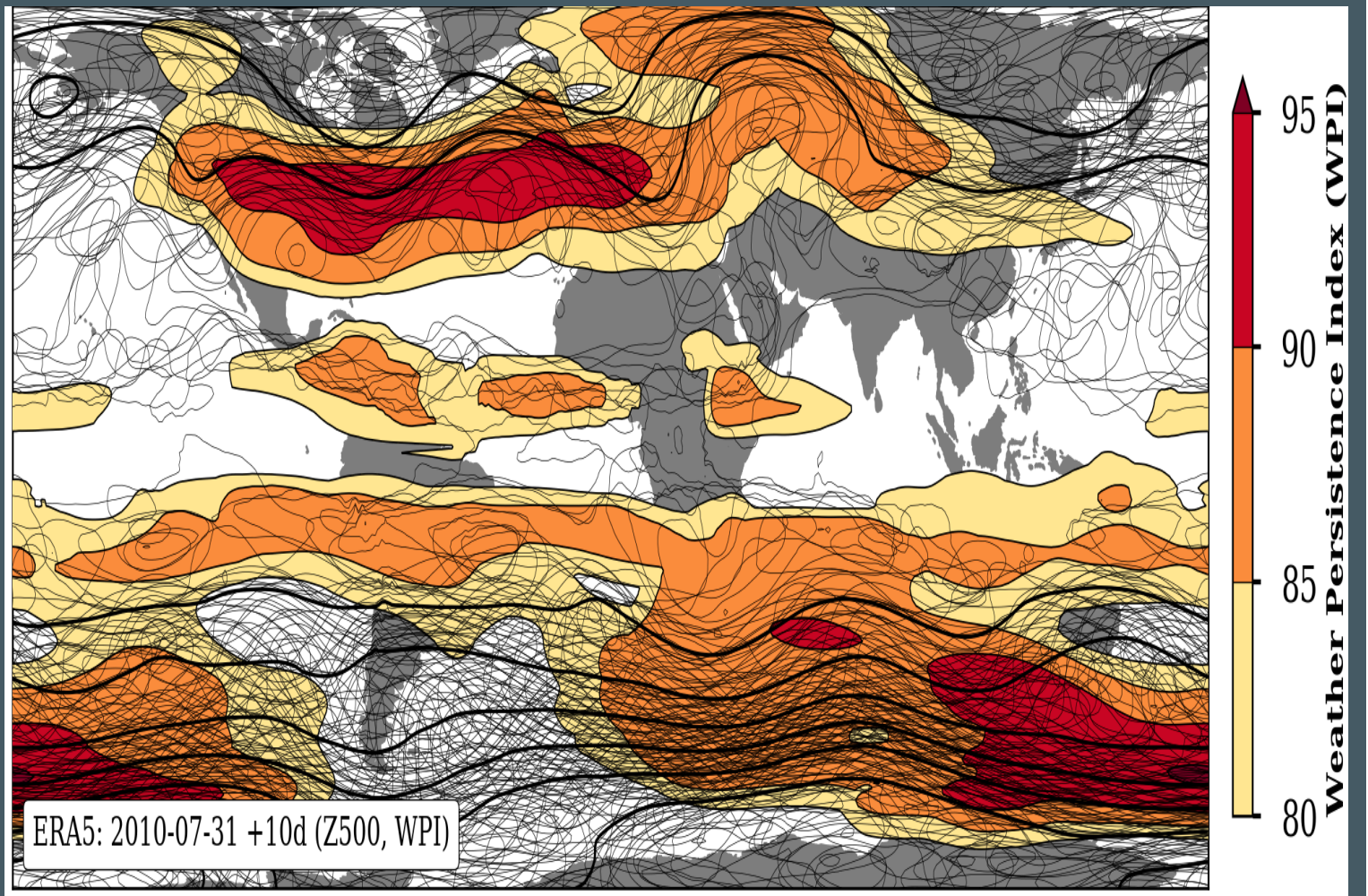
*Konturlinien im Geopotential 500 hPa
verlaufen über Tage in ähnlichen Bahnen*



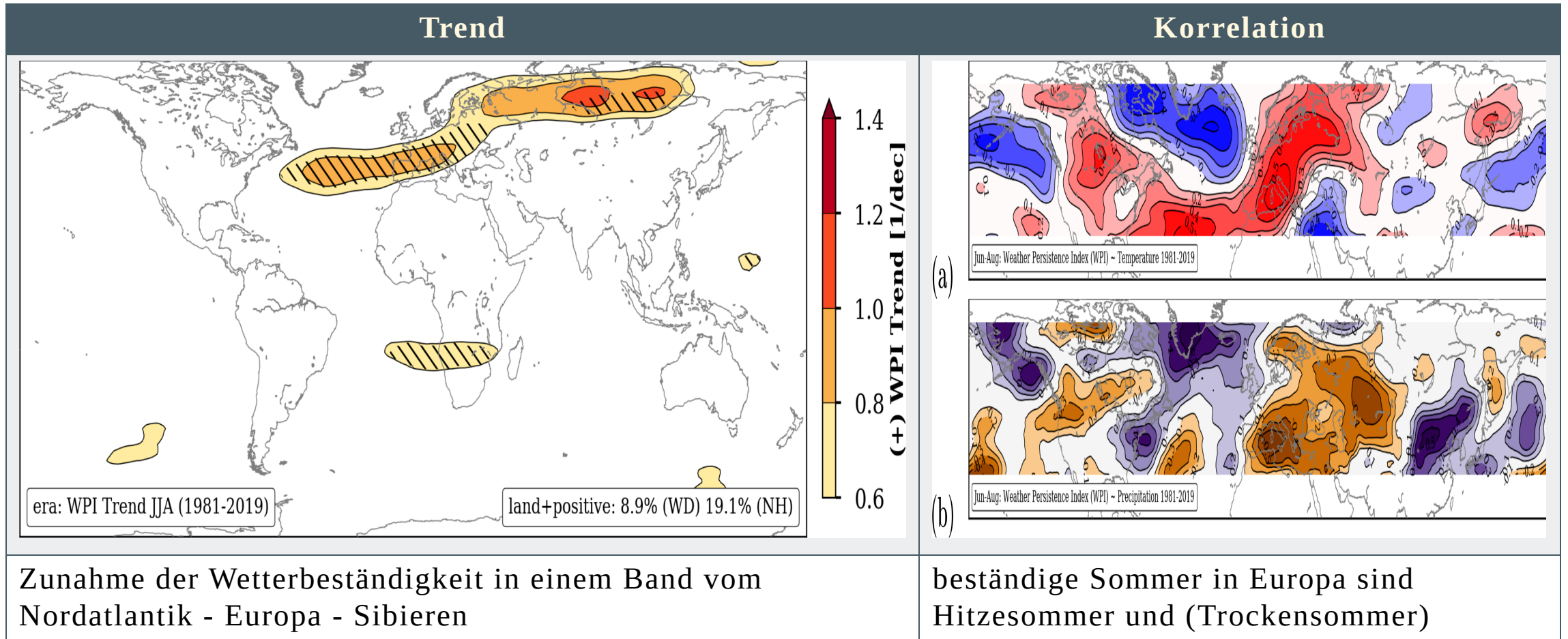
Persistenzindex

Aufeinanderfolgende GPH500
Isolinien (Spaghetti) vs
Persistenzindex

*Je ähnlicher
aufeinanderfolgende Isolinien
des Geopotentials verlaufen,
desto beständiger die lokale
Witterung in den entsprechenden
Regionen.*

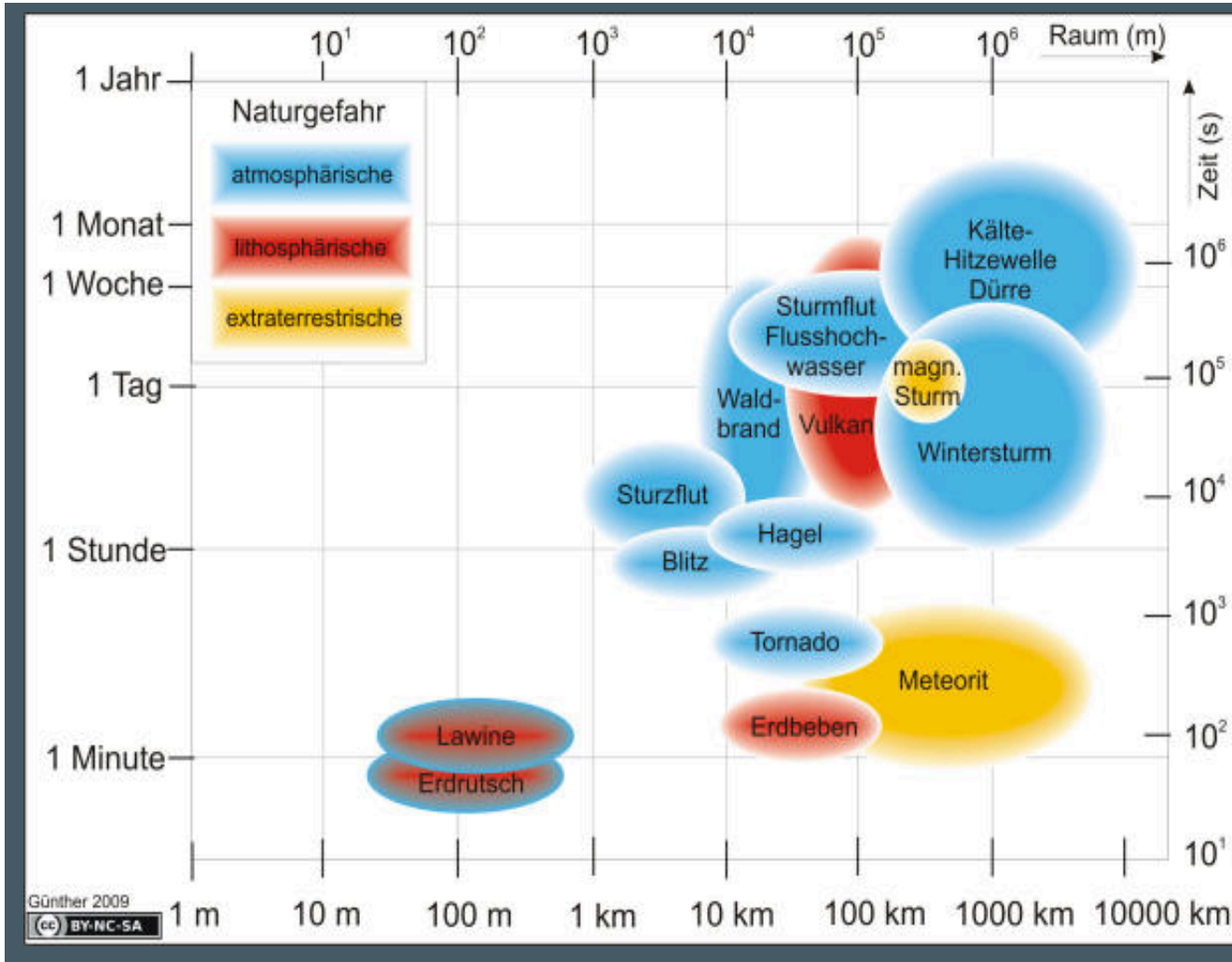


Trends der Wetterpersistenz im Sommer



© Hoffmann et al., 2021

Skalen von Naturgefahren



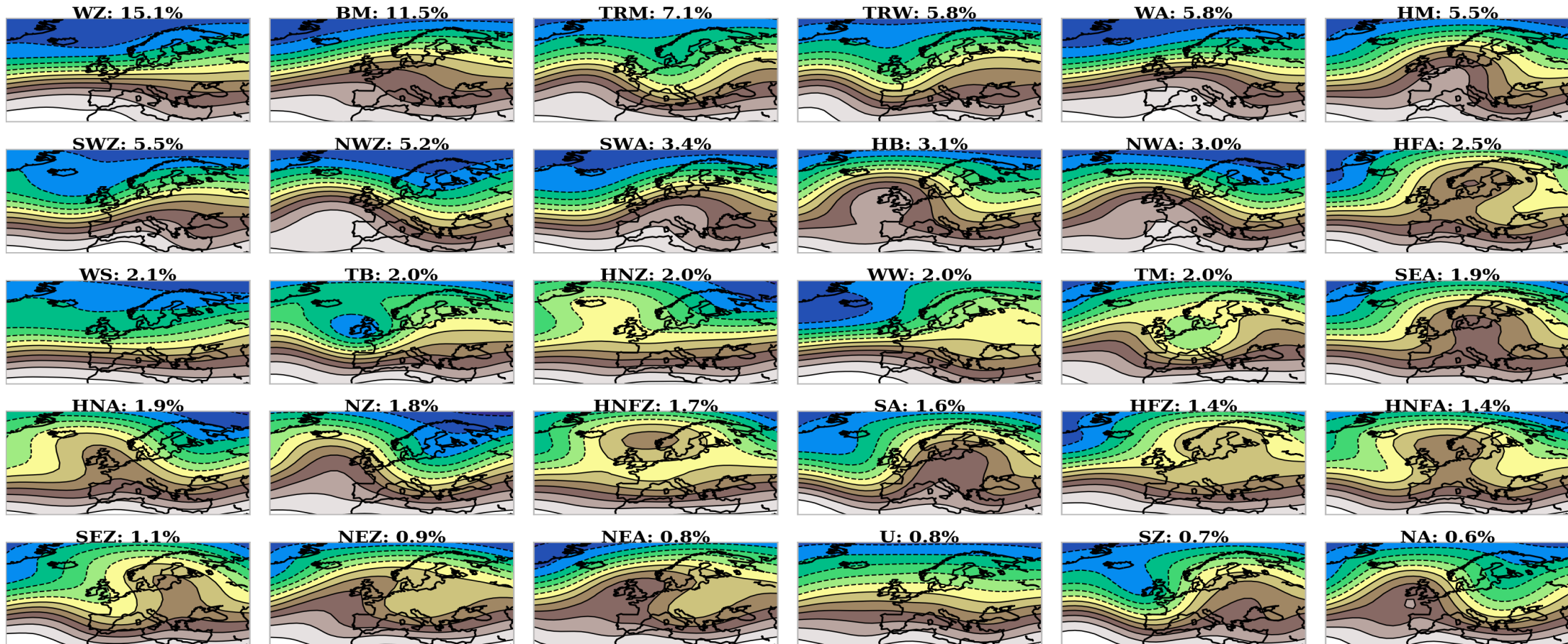
Atmosphärisch

Kälte- und Hitzewellen gehören zu den klimatologischen Extremen und zeichnen sich gegenüber anderen meteorologischen bzw. hydrologischen Ereignissen durch ihre große räumliche- und zeitliche Skala aus: (ca. 1000 km und > 1 Woche)

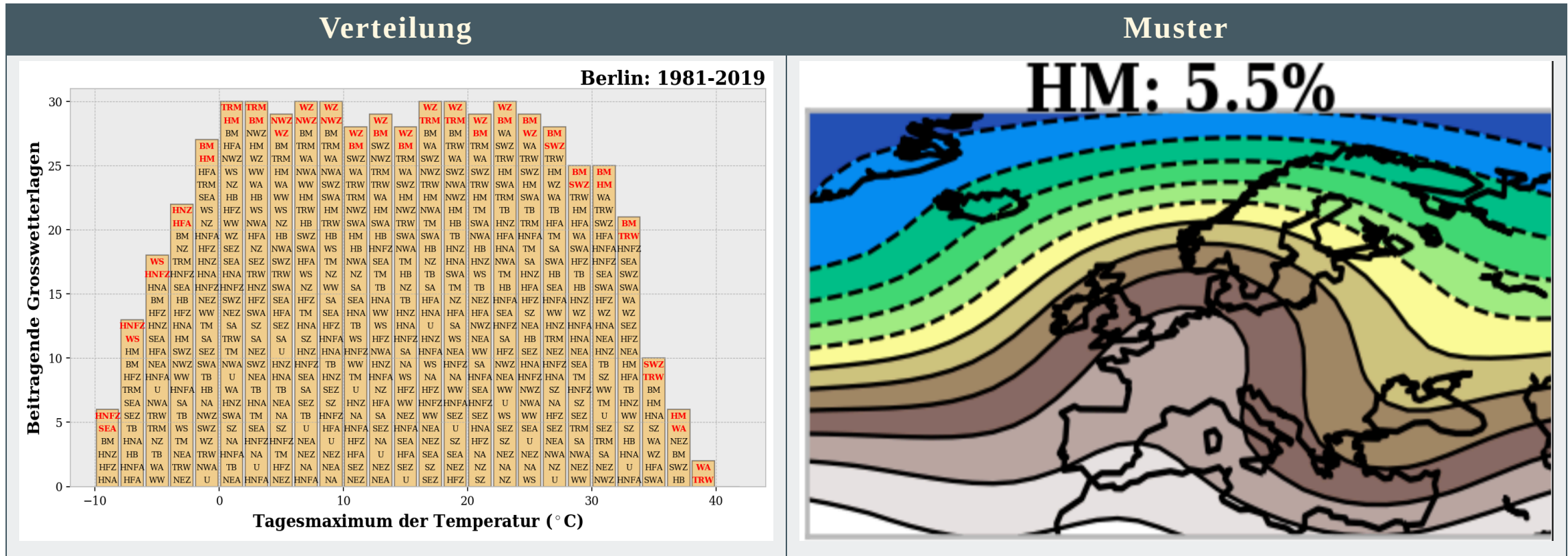
Großwetter

Großwetterlagen (Strömungsmuster)

Dominate *wiederkehrende* Strömungsmuster: obere Reihe erklärt ca. 50% der Wettervariabilität



Kritikalität von Strömungsmustern (Bsp. Hitze)



Alle Strömungsmuster können *normale* Temperaturen aber nur wenige neigen auch zu *extremen* Temperaturen: Süd-West Zyklonal (SWZ), Zonaler Rücken über Mitteleuropa (BM), Hoch über Mitteleuropa (HM), Omega Wetterlagen (HFA).

lokale Extreme im regionalen Kontext

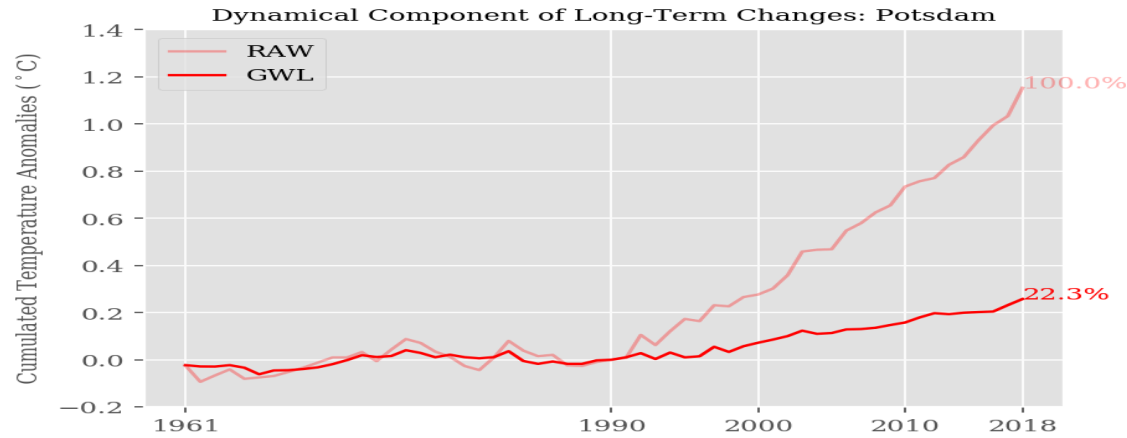
Programmbeispiele:

<http://localhost:5000/context/potsdam/tmax/99>

<http://localhost:5000/context/potsdam/nied/99.9>

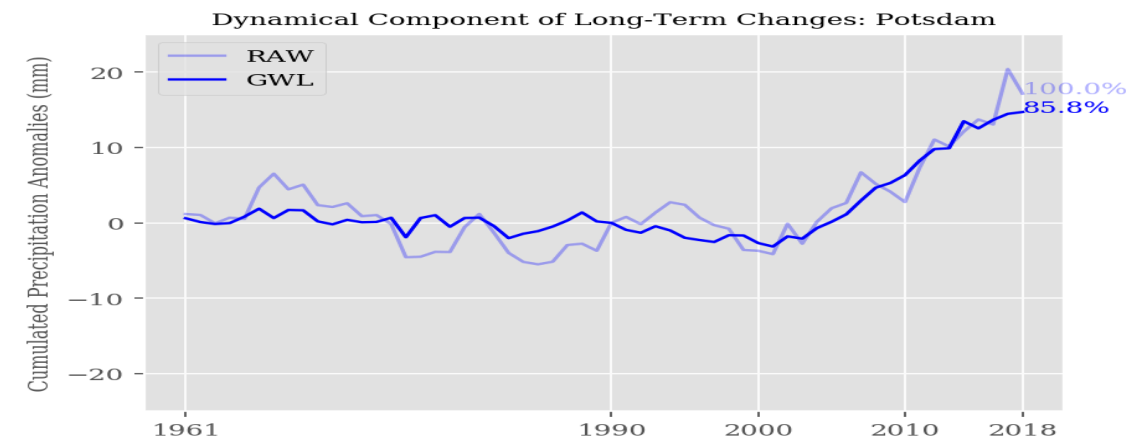
Dynamischer Anteil

Welchen Anteil an der langfristigen Entwicklung haben veränderte Wetterlagen?



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

	HNA	HFZ	WA	SWA	EM	NEA	WW	HFA	SWZ	NEZ	HM	HB	HNZ	WZ	NA	SEZ	NWZ	NZ	TM	NWA	SEA	TB	TRM	DNFA	DNFZ	U	TRW	SZ	WS	SA
Jan	-4.1	-6.6	4.0	2.4	-2.0	0.0	1.2	-4.8	3.3	-2.4	-2.0	-2.3	4.1	4.3	-4.4	-0.8	0.9	-3.7	0.0	2.1	-6.2	-0.2	-1.5	-7.8	-4.9	-2.1	0.6	-1.6	-1.5	-2.1
Feb	-5.0	-2.0	4.2	6.3	-0.3	-3.2	2.0	-4.1	5.3	-1.3	1.0	-0.3	4.5	4.2	-0.0	-0.2	1.2	-1.0	-3.5	5.1	-2.7	-0.3	-0.4	-4.2	-2.9	0.0	1.9	2.2	0.9	1.7
Mar	0.8	0.5	7.4	8.3	4.3	-1.8	3.5	0.4	7.4	1.7	4.8	3.9	0.9	5.6	0.9	4.3	3.1	1.4	2.3	5.9	4.8	5.3	2.6	0.9	1.1	2.6	6.4	6.9	2.3	7.3
Apr	7.7	8.5	10.5	14.7	9.8	10.8	10.0	8.3	11.6	7.6	11.2	7.2	5.5	9.1	6.6	13.0	6.5	3.8	6.1	9.5	13.7	10.6	6.0	9.1	7.2	7.6	10.2	15.0	7.5	14.8
May	13.0	15.2	13.4	17.9	14.8	13.2	13.2	15.0	14.9	10.9	15.5	13.4	13.0	12.5	9.5	17.7	10.0	9.7	13.2	11.2	15.7	14.9	9.7	16.0	14.4	14.2	14.6	18.6	12.4	17.5
Jun	17.6	19.1	17.3	19.9	18.6	17.5	18.6	18.1	18.3	16.4	16.0	15.0	16.6	15.5	15.3	20.5	13.2	13.1	15.4	14.9	22.7	16.9	13.6	20.1	19.1	16.8	17.5	20.8	15.3	21.0
Jul	23.1	21.7	18.8	21.2	20.4	19.4	19.1	21.0	20.7	19.1	20.1	17.1	18.5	16.7	10.7	0.0	14.9	14.9	18.1	17.0	22.7	19.2	15.2	21.0	22.3	18.7	20.2	21.6	15.1	27.9
Aug	19.0	19.0	18.4	20.0	18.9	19.3	19.6	20.1	20.1	18.0	18.1	16.5	15.2	17.1	14.5	19.0	14.5	14.3	18.0	15.7	15.1	19.5	15.8	19.7	18.0	17.3	19.2	22.0	15.2	23.5
Sep	11.6	14.8	14.7	17.7	14.8	14.6	14.8	13.4	15.5	12.7	15.6	12.6	12.5	13.9	11.1	14.7	12.5	11.7	12.8	12.9	15.9	15.1	12.1	9.5	13.1	13.3	15.4	16.6	12.3	16.7
Oct	5.4	8.8	10.5	13.0	9.5	7.7	9.4	7.0	12.2	5.7	7.5	7.3	6.8	9.7	0.0	7.3	8.6	5.8	8.2	10.1	9.4	11.9	6.6	5.7	7.2	8.7	9.3	10.3	8.4	11.1
Nov	1.9	0.9	7.8	6.5	3.2	0.2	4.3	2.1	8.3	2.3	3.3	2.1	2.8	6.2	3.9	2.5	4.0	0.6	2.6	4.3	2.2	6.9	2.6	-3.3	0.4	3.9	5.4	5.4	4.1	6.5
Dec	-5.2	-4.7	4.6	4.0	-1.1	0.9	1.0	-3.9	3.3	-4.3	-0.9	1.2	-4.0	4.5	-0.9	-3.2	2.1	-1.8	-0.3	2.8	-1.5	-1.4	-0.3	-1.4	-8.2	-2.9	0.4	1.8	-0.3	0.6

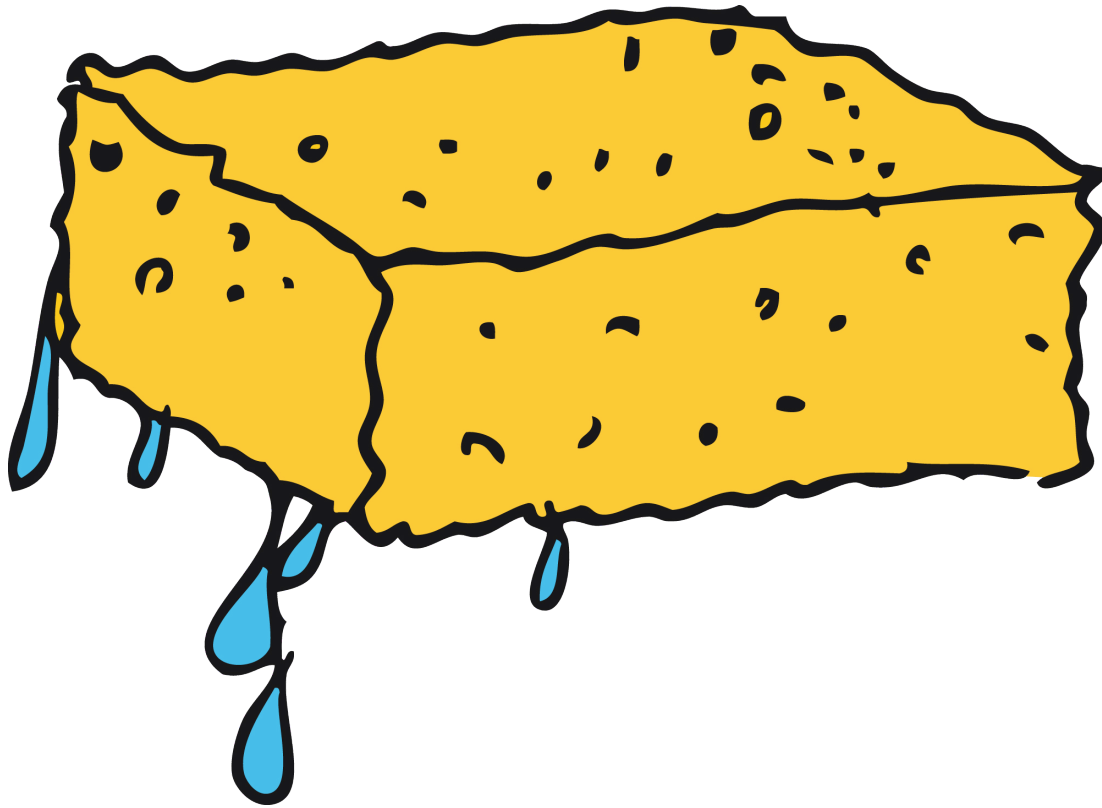


Long-term monthly mean Weather-Type Characteristics: Precipitation (mm/d)

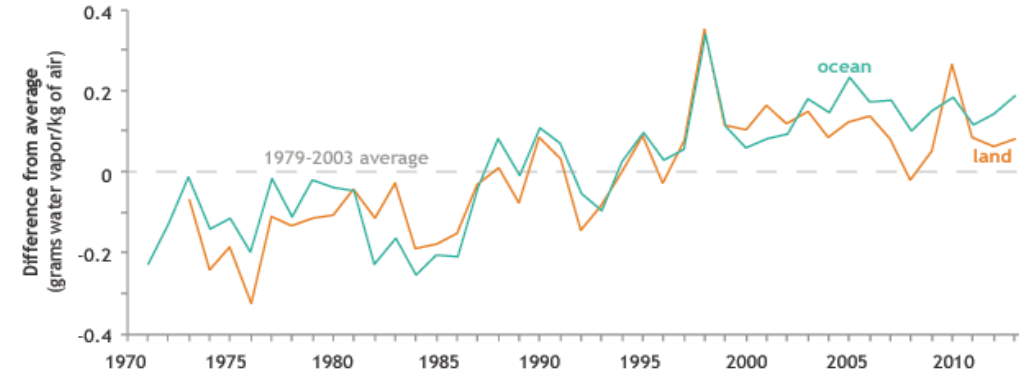
	HNA	HFZ	WA	SWA	EM	NEA	WW	HFA	SWZ	NEZ	HM	HB	HNZ	WZ	NA	SEZ	NWZ	NZ	TM	NWA	SEA	TB	TRM	DNFA	DNFZ	U	TRW	SZ	WS	SA
Jan	0.3	0.8	0.9	0.7	0.7	0.0	1.6	0.1	1.9	0.8	0.3	0.9	1.6	3.0	1.2	0.3	3.2	2.0	0.0	1.3	0.1	0.8	1.3	0.4	1.0	0.8	1.1	0.4	1.1	0.1
Feb	0.5	0.8	1.2	0.2	0.5	0.9	2.1	0.1	1.8	1.1	0.2	0.7	1.4	2.8	1.8	0.3	3.0	1.5	2.2	1.1	0.0	0.9	0.9	0.3	1.1	0.6	0.8	0.3	1.2	0.0
Mar	0.1	1.9	0.9	0.7	0.4	0.2	0.8	0.1	2.9	0.7	0.2	0.1	2.7	2.2	0.1	0.7	2.6	1.9	2.3	0.7	0.1	0.9	1.8	0.4	0.1	0.5	1.2	0.6	2.5	0.4
Apr	0.2	0.6	0.6	0.6	0.3	0.0	1.9	0.9	2.6	1.2	0.2	0.4	1.1	2.1	0.5	1.9	1.9	1.2	4.4	0.5	0.0	1.2	1.9	0.0	1.1	1.0	1.2	2.0	2.6	0.3
May	0.3	1.8	1.0	0.8	0.7	0.9	1.6	0.3	2.9	2.3	0.2	0.3	2.5	2.6	2.2	2.1	2.3	2.1	3.8	0.6	0.9	2.7	2.5	0.2	1.6	2.6	2.9	0.8	2.7	2.2
Jun	0.9	0.9	1.9	1.5	1.1	0.3	2.3	0.3	3.3	1.9	0.2	1.0	2.5	2.9	0.6	3.1	3.1	2.2	6.9	1.9	0.6	2.4	2.7	0.7	1.9	1.9	4.6	5.1	3.0	0.4
Jul	0.2	2.0	1.2	0.5	0.8	0.0	1.7	0.8	2.9	4.6	0.3	0.4	2.2	2.9	0.0	0.0	2.9	5.3	5.9	1.0	0.3	3.5	2.9	0.8	2.4	3.5	3.1	1.9	3.3	0.0
Aug	0.1	1.1	0.9	0.4	1.1	0.9	1.5	0.8	2.8	3.8	0.2	1.2	3.8	2.5	0.8	3.2	2.8	5.9	4.2	0.6	0.2	2.3	4.0	0.6	4.3	1.3	2.2	2.5	2.5	0.6
Sep	0.7	3.4	1.0	0.5	0.6	0.3	2.0	0.5	1.9	1.8	0.2	0.8	1.7	2.4	0.7	0.9	3.2	2.9	4.2	0.9	0.0	1.9	2.5	0.0	2.5	0.7	2.1	2.3	3.6	0.2
Oct	0.3	1.3	0.7	0.4	0.6	0.5	2.3	0.3	1.9	0.7	0.1	0.2	1.9	2.5	0.0	2.3	3.6	1.8	5.9	0.6	0.0	0.8	1.7	0.4	2.2	0.8	1.2	1.3	2.7	0.0
Nov	0.1	1.2	0.9	0.5	0.6	0.7	2.3	0.2	2.4	1.1	0.3	0.8	0.2	2.5	0.6	1.9	2.5	2.6	3.4	1.0	0.2	0.5	1.7	0.1	2.9	2.0	1.6	0.6	3.1	0.0
Dec	0.3	1.2	0.9	0.7	0.4	0.5	2.2	0.2	1.9	2.6	0.4	0.7	0.6	3.2	2.1	1.0	3.7	2.1	4.3	0.8	0.1	1.1	1.6	0.6	1.1	1.1	1.3	2.6	2.4	0.1

© Hoffmann & Spekat, 2020

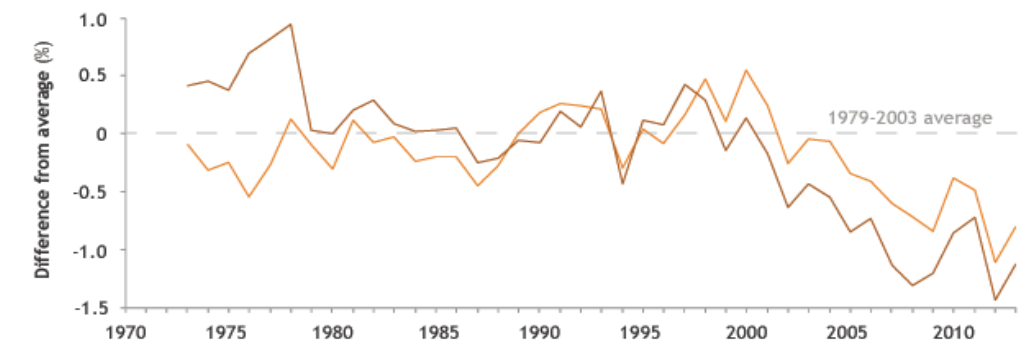
Trends: Spezifische Luftfeuchte & Relative Luftfeuchte



Specific humidity over land and ocean

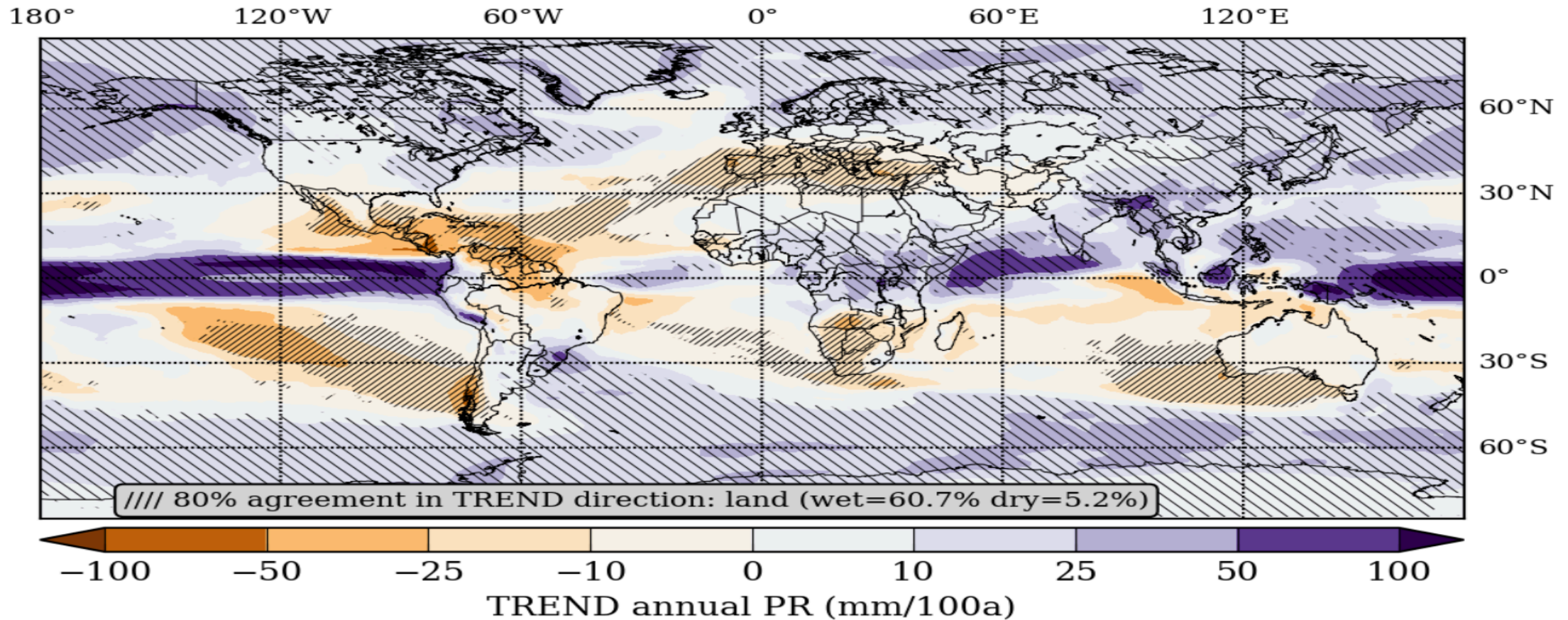


Relative humidity over land



*mehr Wasserdampf in der Atmosphäre und gleichzeitig **größere Hemmschwelle** für Niederschläge - **Folgen für Niederschlagsverteilung**: längere Trockenphasen bei gleichzeitig intensiveren Niederschlägen*

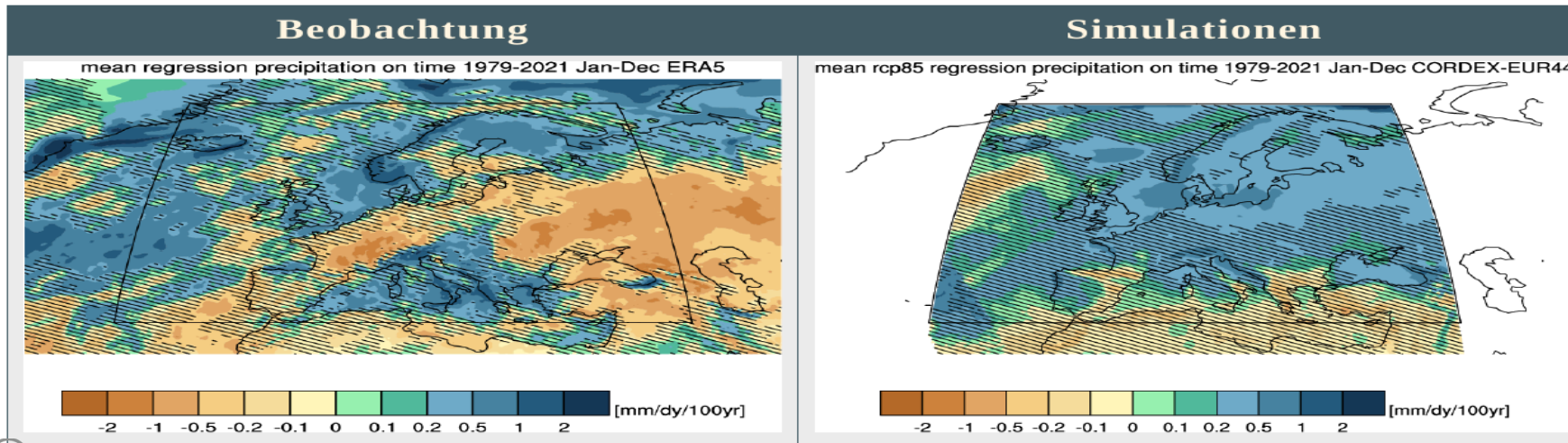
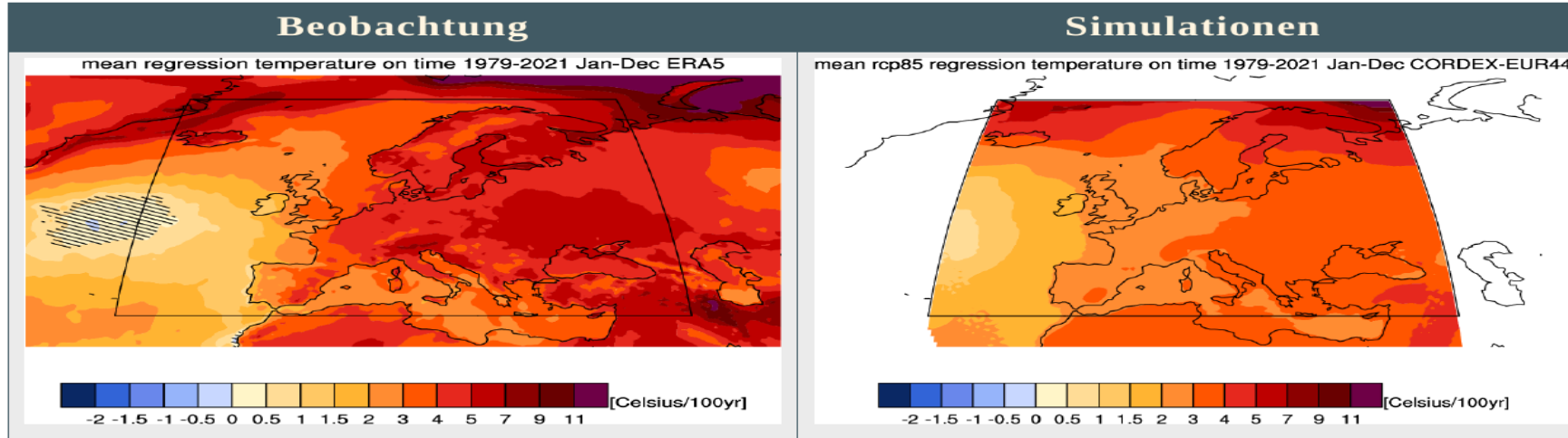
Niederschlagstrends in Klimamodellen



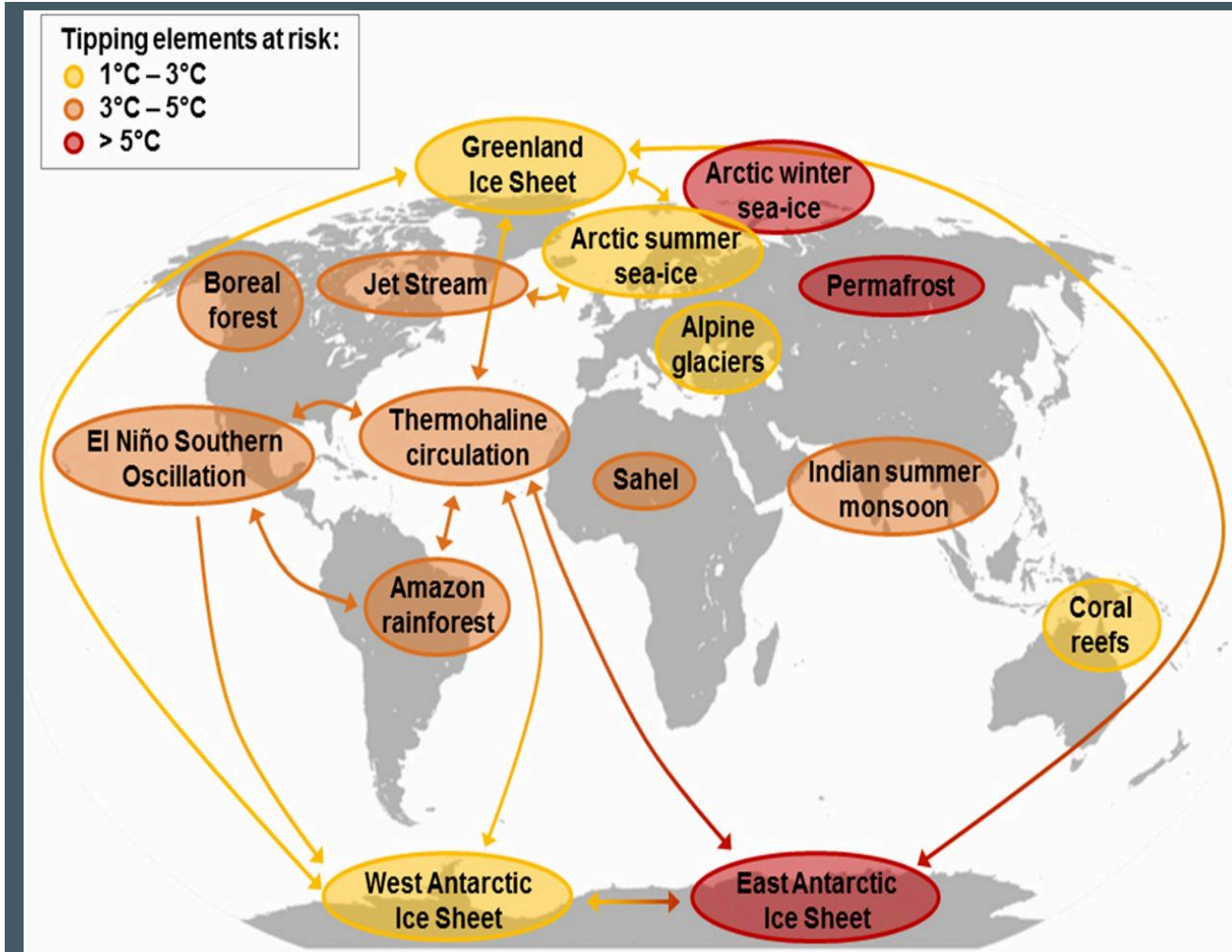
© Hattermann et al., 2018

CMIP5-RCP85 Modelle projizieren bis zum Ende des Jahrhunderts für 60% der Landflächen eine Zunahme der Jahresniederschläge und nur 5% einen Rückgang (z.B. Mittelmeerraum).

Trendvergleich für Europa: 1979-2021



Kippelemente im Klimasystem



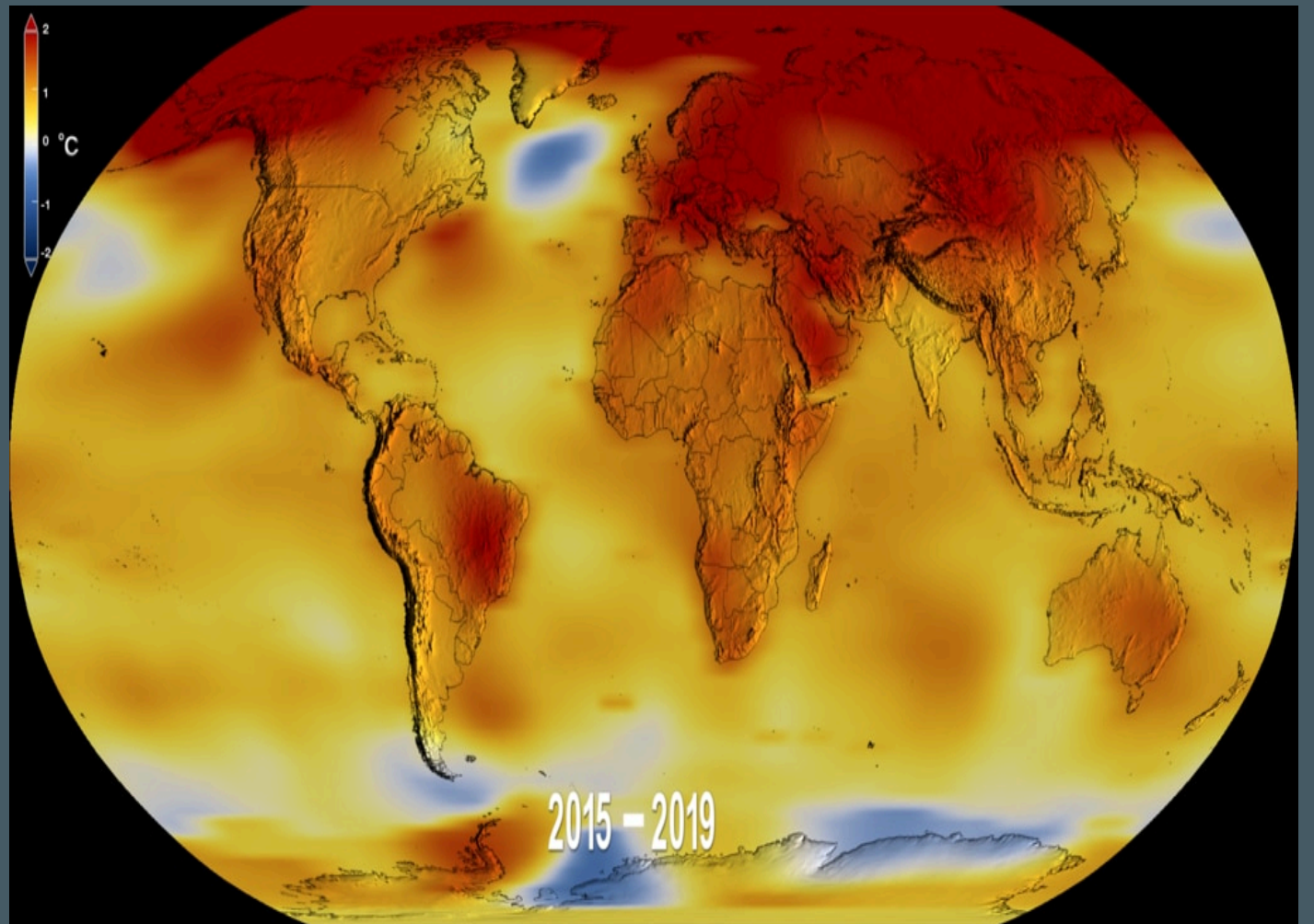
Kippelemente im Klimasystem sind gegenüber einer globalen Erwärmung um mehr als 2 Grad sehr anfällig. Verändern sich diese, hat das irreversible Folgen auf das Gesamtsystem und dessen Stabilität.

Signatur des sich abschwächenden Golfstroms

**Atlantic Meridional Overturning
Circulation (AMOC)**

*Abschmelzendes Grönlandeis
verlangsamt die ozeanische
Umwelzbewegung im Nordatlantik.*

*Möglicher Einfluss auf Wettersysteme
nach Europa*



Definitionen

Extremereignisse

Extreme sind Werte bzw. Ereignisse die, bezogen auf eine oder mehrere Skalen, einen definierten Grenzwert überschreiten.

- *Hitzetage: $t_{max} > 30^{\circ}C$*

Rekorde sind Maxima oder Minima der betrachteten Größe, die für einen bestimmten Ort oder ein bestimmtes Gebiet und den gewählten Zeitraum gelten.

Beispiel Ort: Potsdam (Jan 1961 bis Apr 2021)

- *Tagesmaximum (1992-08-09: $39.1^{\circ}C$)*
- *Monatsmittel (Apr 2018: $13.6^{\circ}C$, Mai 2018: $17.7^{\circ}C$, Jun 2019: $22.5^{\circ}C$, Aug 2015: $21.8^{\circ}C$)*
- *Jahresmittel (2018, 2019: $11.3^{\circ}C$)*

Extremereignisse sind selten vorkommende Ereignisse, die von einem langjährigen statistischen Durchschnittswert stark abweichen und deren Wiederkehrperiode meist deutlich länger als 10 Jahre ist.

- *Elbe-Hochwasser 2002, 2013, Hitzesommer: 2003, 2018, 2019*

Definitionen von Extremereignisse

- Basierend auf **statistischen Kriterien** wird ein extremes Ereignis gewöhnlich durch die Überschreitung eines **bestimmten Schwellenwertes** charakterisiert.
- Für die Definition von Extremereignissen werden aber auch sehr oft Werte des **5. und 95. Perzentils** einer Häufigkeitsverteilung als Schwellenwerte angesetzt.
- Eine weitere Möglichkeit ein Extremereignis zu definieren, wäre die Bestimmung eines Schwellenwertes, der sich an dem **Gefahrenpotential** orientiert, das ein solches Ereignis für eine Region mit sich bringt (z.B. Niederschlagshöhe, die eine Überschwemmung zur Folge hat).
- Vom physikalischen Standpunkt aus betrachtet, können extreme Wetter- und Klimaereignisse als **Störungen meteorologischer Felder** in verschiedenen Raum- und Zeitskalen, die unterschiedliche Entwicklungsstufen durchlaufen, angesehen werden. Erkennung und Untersuchung solcher Störungen erfordert eine kombinierte zeitlich-räumliche Betrachtungsweise der meteorologischen Felder bzw. den Einsatz von multivariaten Verfahren zu deren Analyse. Vorteil dieser Betrachtungsweise ist, dass sie zur Aufdeckung von Ursachen des Auftretens eines Extremereignisses führen können.

Dürre

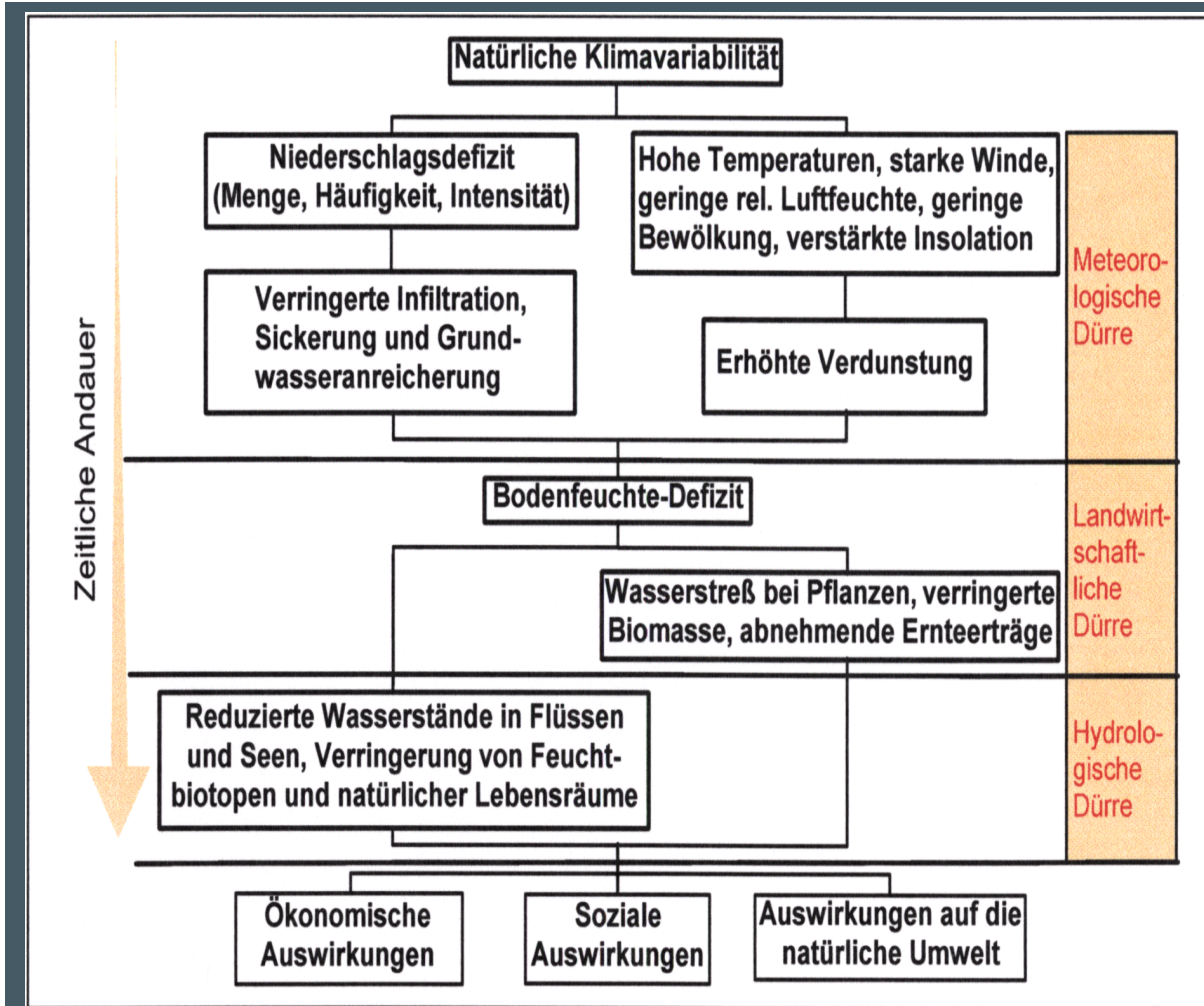
Dürre ist ein aperiodisch eintretender Zustand, der aufgrund der Verhältnisse in der unteren Troposphäre zu einem außergewöhnlich *hohen Wasserdefizit im Boden* führt und bei dem eine ausreichende Wasserversorgung der Pflanzen nicht gewährleistet ist.

Meteorologische Dürren: Darunter versteht man eine Periode von Monaten oder Jahren mit *unterdurchschnittlichen Niederschlägen*. Sie werden oft von überdurchschnittlich hohen Temperaturen begleitet und durch anhaltende Hochdruckverhältnisse verursacht. Nicht selten werden solche Bedingungen durch ungewöhnliche tropische Meeresoberflächentemperaturen angestoßen.

Landwirtschaftliche Dürren: Hier sind die *Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum* und die Ernte bestimmend. Wichtig sind dabei trockene Böden über einen längeren Zeitraum, die durch geringen Niederschlag und/oder höhere Verdunstung entstehen.

Hydrologische Dürren: Entscheidendes Kriterium sind *geringe Wasserressourcen*. Die Ursachen liegen in verringerten Abflüssen und geringen Wasservorräten in Brunnen, Seen und anderen Reservoirs. Hydrologische Dürren entwickeln sich langsam und sind außer von geringen Niederschlägen auch vom Wassermanagement abhängig.

Auswirkung von Dürre



Dürrekatastrophe:

Hält eine Dürre über mehrere Jahre an, kann sie zu einer Dürrekatastrophe führen. Das Ausmaß hängt ab von:

**Bevölkerungsdichte
Migrationsverhalten
Landnutzungssystem
Wasserversorgung
Ernährungsmöglichkeit.**

Desertifikation

- Unter Desertifikation versteht man die **Ausbreitung wüstenähnlicher Verhältnisse** in Gebiete hinein, in denen sie klimatisch eigentlich nicht existieren.
- Die Desertifikation umfasst die **Degradation von Böden** und Vegetation, ist also vom Menschen in hohem Maße beeinflusst.
- Die Desertifikation ist ein *irreversibler Prozess*.
- Positive *Rückkopplung* zwischen Dürre und Desertifikation
 - Dürre bzw. Dürrekatastrophe verstärken die Desertifikation
 - Desertifikation erhöht die Wahrscheinlichkeit von Dürren



Bodendegradation

Anthropogene Bodendegradationen sind dauerhafte oder irreversible Veränderungen der Strukturen und Funktionen von Böden oder deren Verlust, die durch physikalische und chemische oder biotische Belastungen durch den Menschen entstehen und die Belastbarkeit der jeweiligen Systeme überschreiten.

Landwirtschaft:

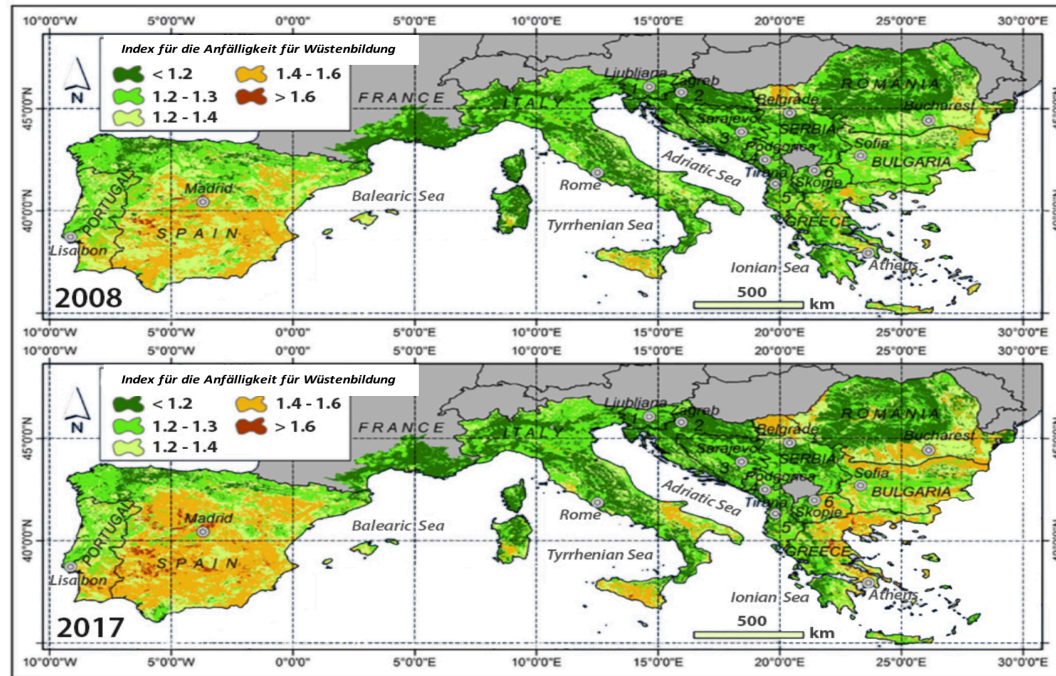
- Übermäßige u. einseitige Beanspruchung der Böden durch Monokulturen
- Falsche Bewässerungsmethoden
- Überweidung, die Vegetation kann sich nicht mehr erholen & Abholzung



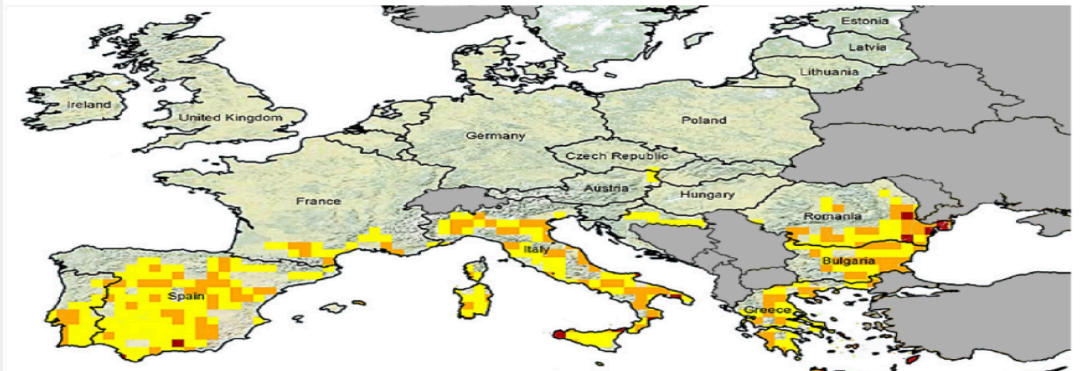
Beispiel: Europa

Sensitivity Desertification Index

Ariditätsindex 2071-2100 vs 1981-2010



© Prävälje et al. (2017)



Legende

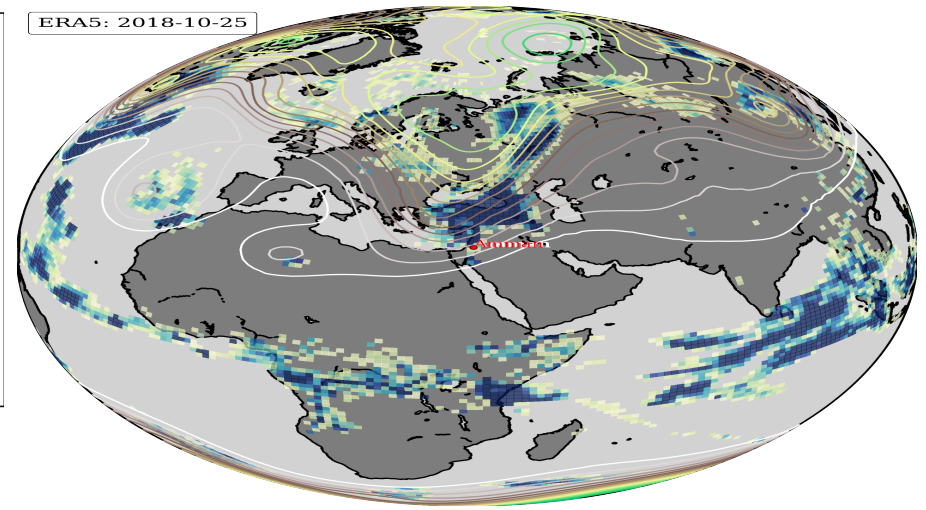
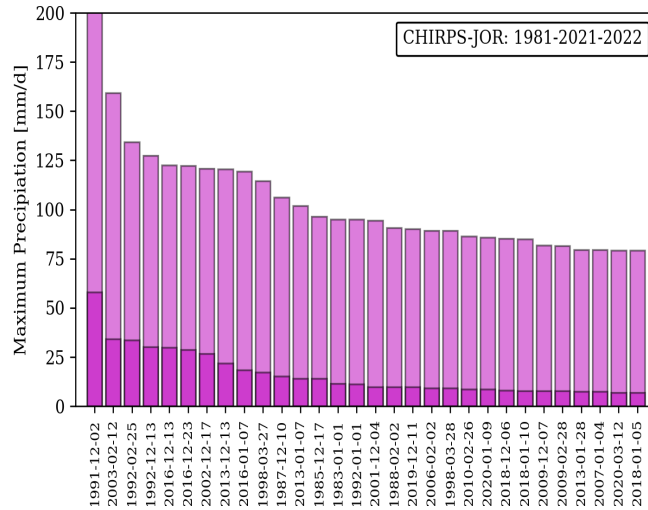
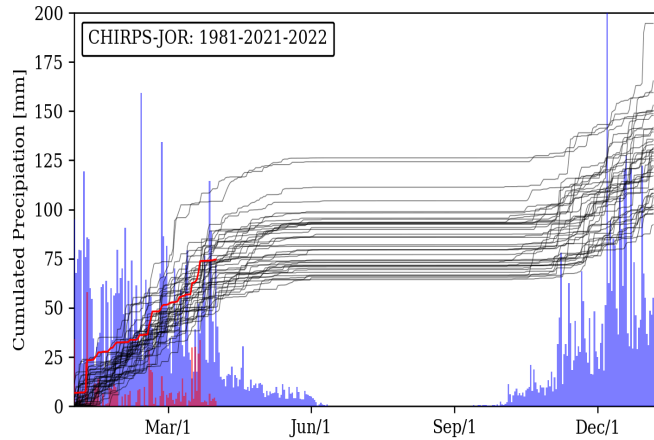
- Geringer Rückgang des Risikos
- Geringer Anstieg des Risikos
- Fortgeschrittener Anstieg des Risikos
- Hoher Anstieg des Risikos

© Spinoni et al. (2018)

Aridität: Vergleich langfristiger durchschnittlicher Wasserversorgung (Niederschläge) zu entsprechenden Wasserbedarf (Verdunstung u. Vegetation).

Beispiel: Jordanien

CapTainRain: Capture and Retain Heavy Rainfall in Wadi-Systems



Starkregenereignisse können zu gefährlichen Regenwasseransammlungen führen.

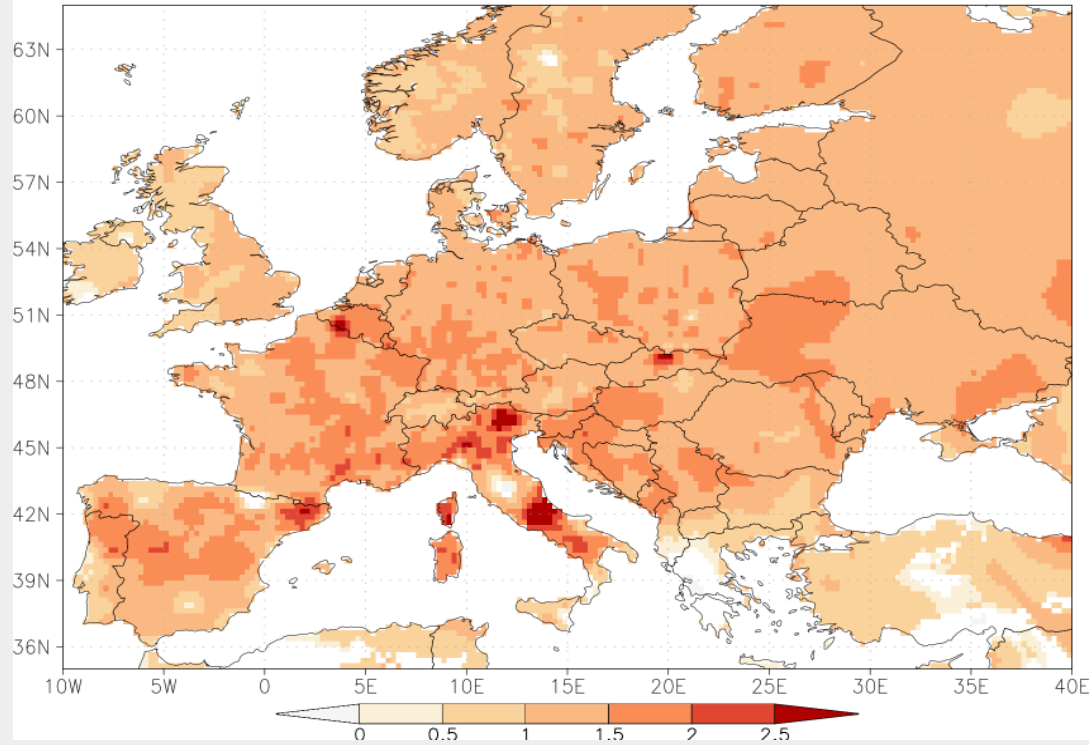
Messbarkeit

Perzentile / Trends der Extreme

Extreme zeigen stärkere Änderungssignale als Mittelwerte (Auslöser kritische Strömungsmuster)

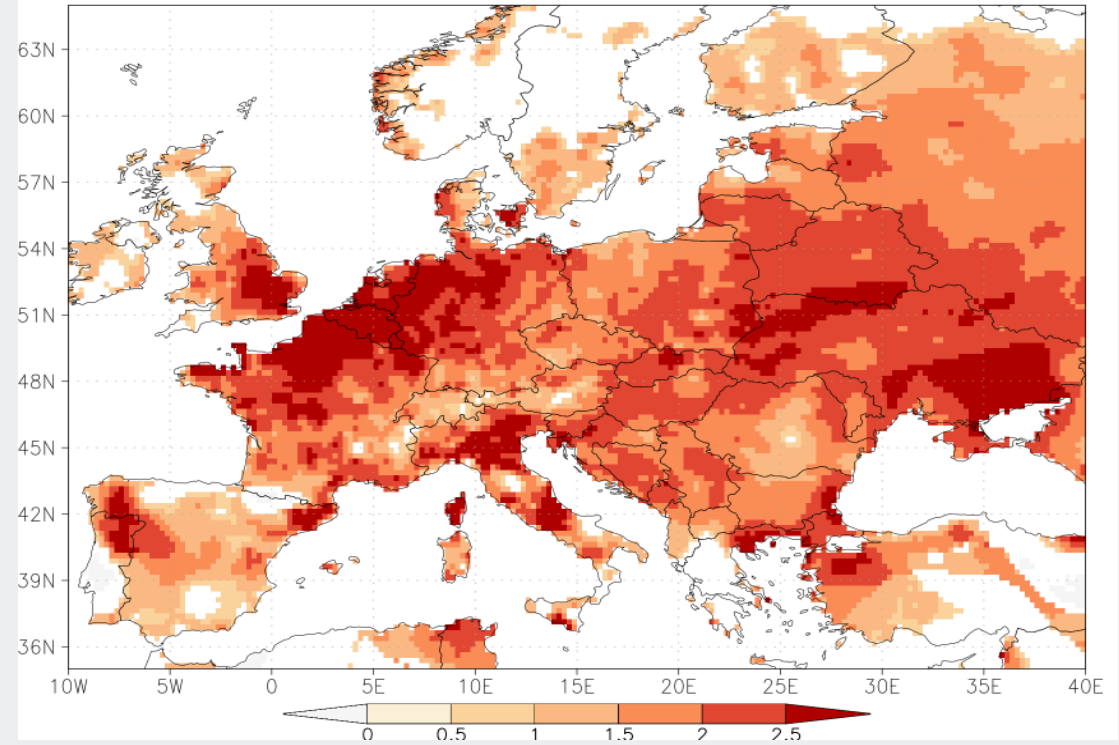
Jahresmittel der Maximaltemperatur

diff annual E-OBS 28.0e annual mean of daily Tmax 1994–2023
with annual E-OBS 28.0e annual mean of daily Tmax 1961–1990 p<10%



Jahresmaximum der Maximaltemperatur

diff annual E-OBS 28.0e annual max of daily Tmax 1994–2023
with annual E-OBS 28.0e annual max of daily Tmax 1961–1990 p<10%



Meteorologische Dürreindizes

Index	Abk.	Quelle
BLUMENSTOCK`s Index		BLUMENSTOCK (1942)
Rainfall Anomaly Index (<i>Niederschlag-Anomalie-Index</i>)	RAI	VAN ROOY (1965)
Dezil-Methode		GIBBS & MAHER (1967)
PED`s Index (<i>Index von PED</i>)	Si	PED (1975)
BHALME & MOOLEY Drought Index (<i>Dürre Index von BHALME & MOOLEY</i>)	BMDI	BHALME & MOOLEY (1980)
Standardized Anomaly Index of KATZ & GLANTZ (<i>Standardisierter Anomalie-Index von KATZ & GLANTZ</i>)		KATZ & GLANTZ (1986)
Dürreindex für Waldschäden		KÖNIG & MAYER (1989)
PÁLFAI Aridity Index (<i>Ariditäts-Index von PÁLFAI</i>)	PAI	PÁLFAI(1991)
Drought Severity Index (<i>Index für "Schwere Dürre"</i>)	DSI	BRYANT et al. (1992)
Standardized Precipitation Index (<i>Standardisierte Niederschlag-Index</i>)	SPI	McKEE et. al (1993)
Trockenheitsindex nach BRUSCHEK		BRUSCHEK (1994)
Effective Drought Index (<i>Index für "Tatsächliche Dürre"</i>)	EDI	BYUN & WILHITE (1999)
Monthly Drought Index (<i>Monatliche Dürre Index</i>)		BIGLER et al. (2006)
Reconnaissance Drought index (<i>Informierender Dürre Index</i>)	RDI	TSAKIRIS et al. (2007) (Erweiterung von SPI)
Precipitation Potential Evaporation Anomaly (<i>Niederschlag-Potentielle Evaporation-Anomalie</i>)	PPEA	BURKE & BROWN (2008)
ELLENBERG`s Drought Index (<i>Dürre Index von ELLENBERG</i>)	EQ	MÁTYÁS et al. (2010) (forest vegetation)

© Schriftenreihe des LfULG, Heft 7/2015

© Bender & Schaller (2014)

Weitere Dürreindizes

BRUSCHEK-Trockenheitsindex: Der Trockenheitsindex nach BRUSCHEK (1994) ist ein jährlicher Index, der sich aus der Niederschlagssumme, dividiert durch die Anzahl der Sommer-tage errechnet.

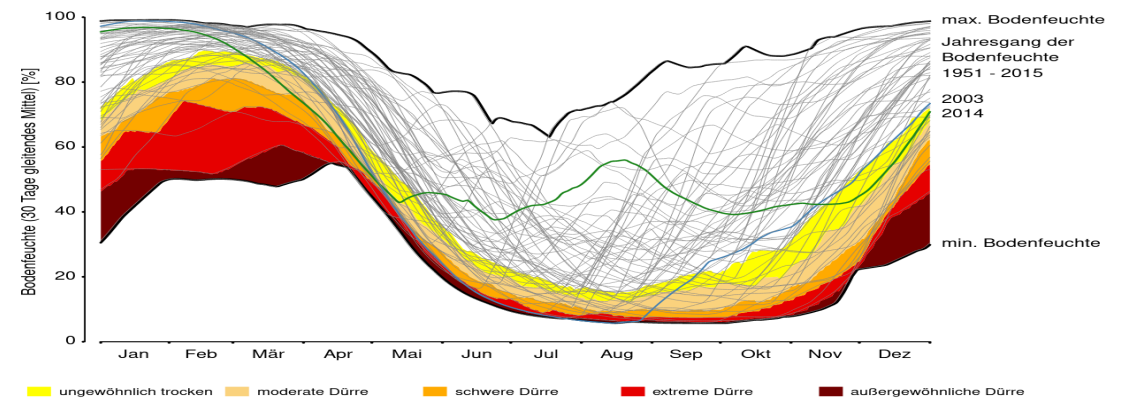
Kysely-Tage: Das Tagesmaximum der Lufttemperatur (Tmax) überschreitet mindestens an 3 Tagen in Folge 30.0°C und die Kysely-Tage werden solange über die gesamte nachfolgende Periode gezählt, wie Tmax an keinem Tag die Temperatur von 25.0°C unterschreitet

Palmer-Drought-Severity-Index (PDSI) In diesen Index gehen Niederschlag, Bodentemperatur und Verdunstung ein und er misst die Bodenfeuchte auf einer Skala von -10 (trocken) bis +10 (feucht). Der negative Teil der Skala wird wie folgt klassifiziert:

Tab.3: Dürre-Intensitäten nach dem U.S. National Weather Center (METTE et al. 2011)

Dürregrad	Wiederkehr [Jahre]	Mögliche Folgen	PDSI	SPI
Milde Dürre	3 – 4	Geringe Drosselung des Wachstums; erhöhtes Feuerrisiko; möglicher Beginn (Ende) einer Dürre	-1,0 bis -1,9	-0,5 bis -0,7
Mäßige Dürre	5 – 9	Getreideschäden; hohes Feuerrisiko; Rückgang der Wasserstände	-2,0 bis -2,9	-0,8 bis -1,2
Starke Dürre	10 – 17	Ernteeinbußen; sehr hohes Feuerrisiko; Wassermangel	-3,0 bis -3,9	-1,3 bis -1,5
Extreme Dürre	18 – 43	Ernteaufälle; extremes Feuerrisiko; großflächiger Wassermangel	-4,0 bis -4,9	-1,6 bis -1,9
Exzeptionelle Dürre	>43	Großflächige Ernteaufälle; Feuergefahr; Erschöpfung von Wasservorräten	ab -5,0	ab -2,0

PDSI: Palmer Drought Severity Index, SPI: Standard Precipitation Index



Standardized Precipitation Index (SPI)

$$\text{SPI}_{ijk} = \frac{P_{ijk} - \overline{P}_{ij}}{\sigma_{ij}}$$

- P Precipitation, i location, j timeframe, k year

Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)

Potentielle Verdunstung

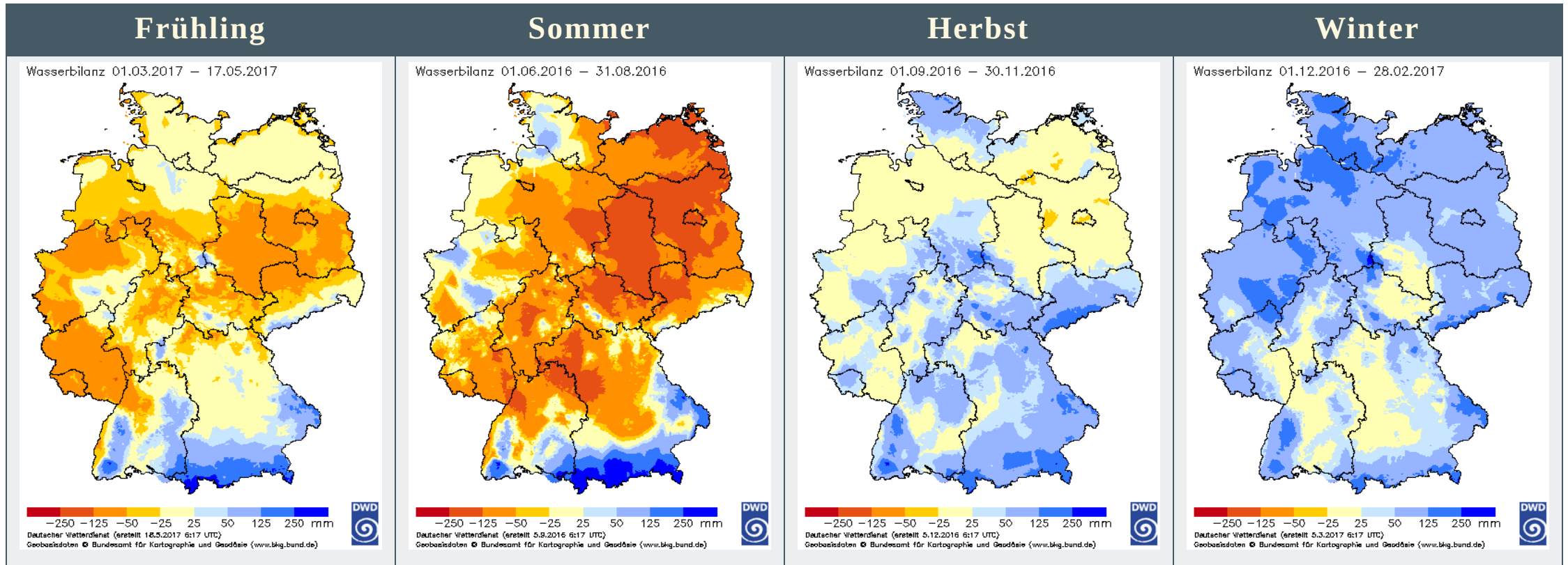
Haude-Formel: (Sättigungsdefizit)

$$\text{ETP}_{\text{Haude}} = a_{\text{Haude}} \cdot (e_s - e)$$

Penman-Monteith:

berücksichtigt Strahlung, Temperatur, Wind und spezifische Pflanzenparameter

Klimatische Wasserbilanz



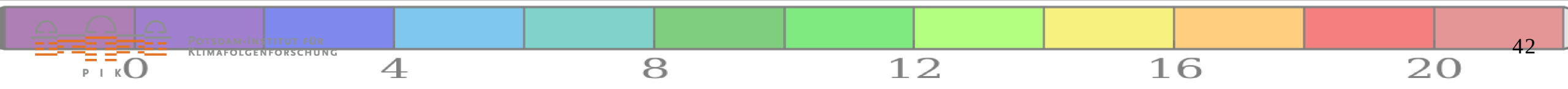
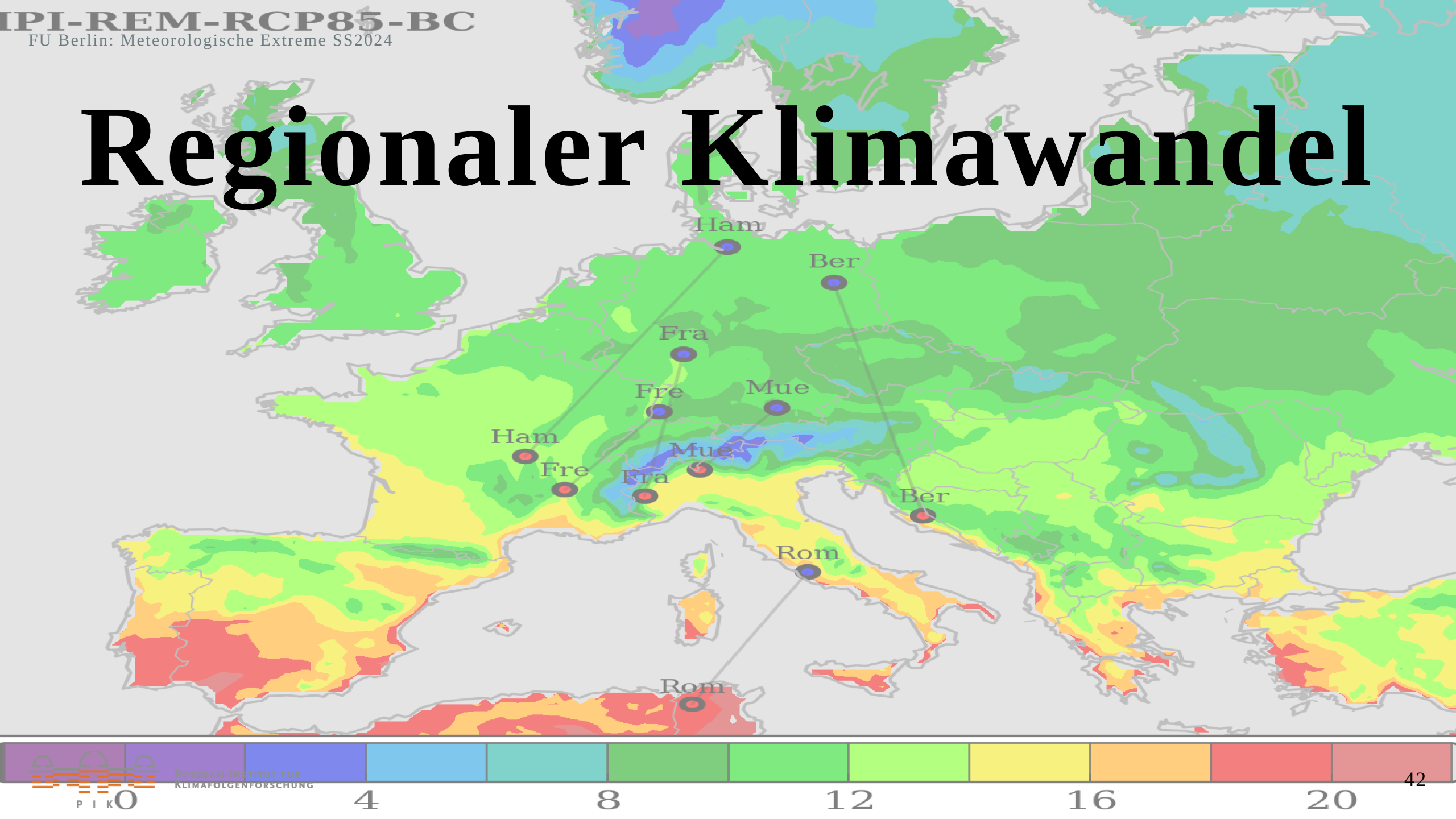
Klimatische-Wasserbilanz: Gegenüberstellung von Niederschlagssumme zu potentieller Verdunstung: im Sommer überwiegt die Verdunstung und im Winter die Niederschlagsmenge

ETCCDI:

Expert Team on Climate Change Detection and Indices

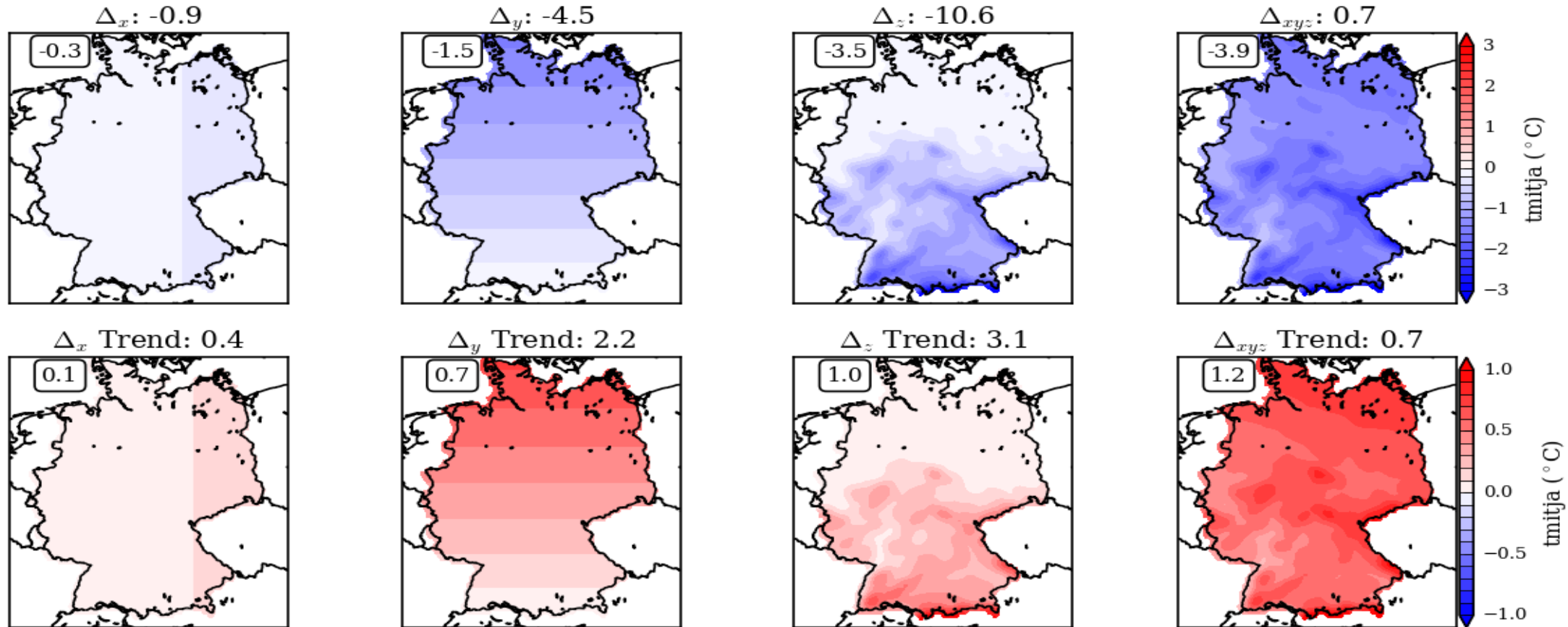
Kennzahlen	Einheit	Parameter	Erläuterung
TN_{ij}	°C	daily minimum temperature	calendar day (i) years (j)
TX_{ij}	°C	daily maximum temperature	calendar day (i) years (j)
PR_{ij}	mm	daily precipitation	calendar day (i) years (j)
WSDI	days	warm spell duration	$\sum_{CD} (TX_{ij} > TX_{in}^{90}) \geq 6$
CSDI	days	cold spell duration	$\sum_{CD} (TN_{ij} < TN_{in}^{10}) \geq 6$
SD	days	Summer Days	$TX_{ij} > 25^{\circ}C$
TR	days	Tropical Nights	$TN_{ij} > 20^{\circ}C$
CCD	days	Consecutive dry days	$\sum_{CD} (PR_{ij} < 1mm)$
CWD	days	Consecutive wet days	$\sum_{CD} (PR_{ij} > 1mm)$

Regionaler Klimawandel



Regionale Zerlegung nach Himmelsrichtungen

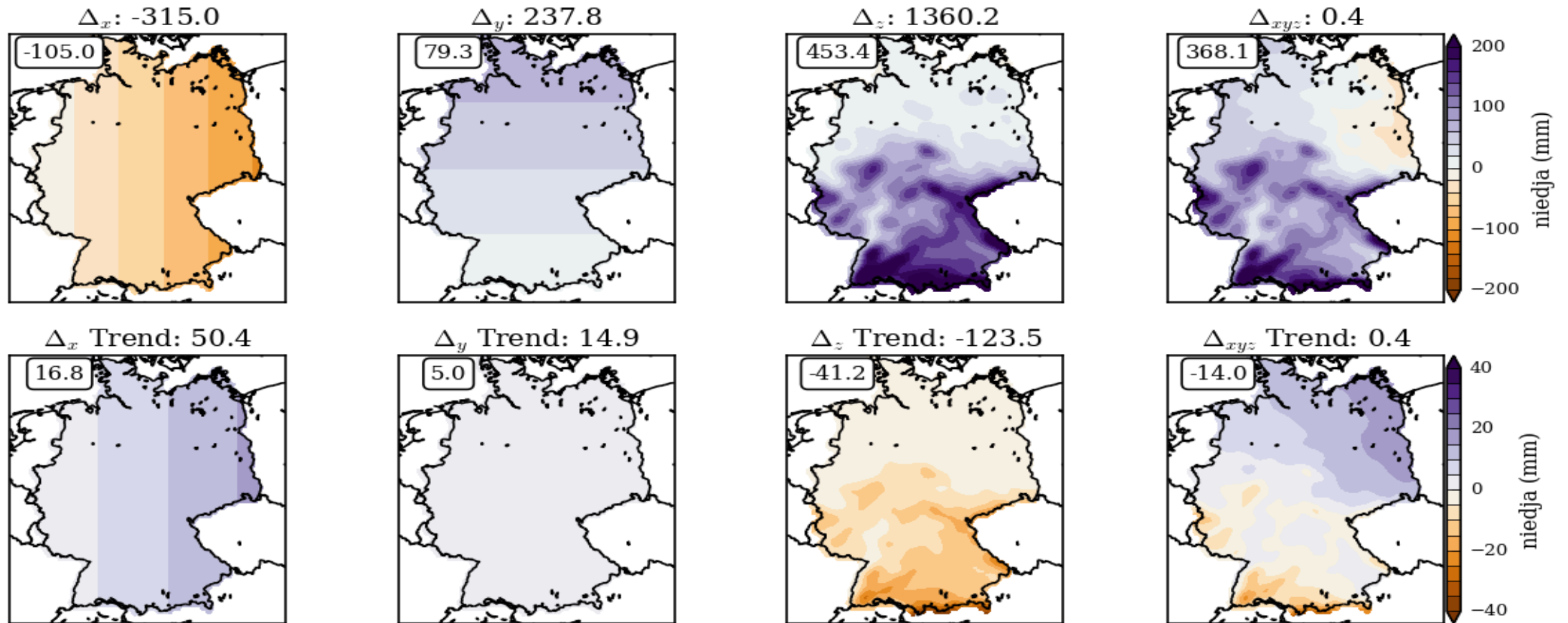
Jahresmitteltemperatur: 1961-2018



regionale Kontraste verringern sich: stärkere Erwärmung im Norden und in Höhenlagen

Regionale Zerlegung nach Himmelsrichtungen

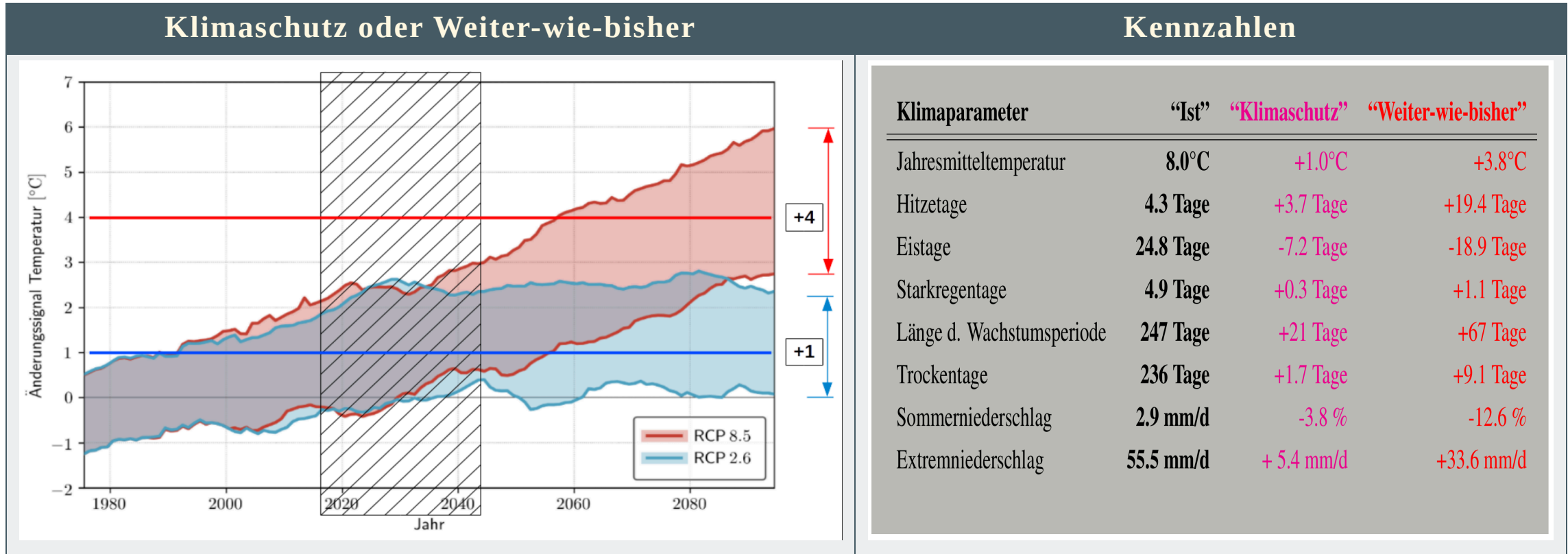
Jahresniederschlag: 1961-2018



regionale Kontraste verringern sich: Regen wird unabhängiger vom Relief

Regionale Klimaprojektionen für Deutschland

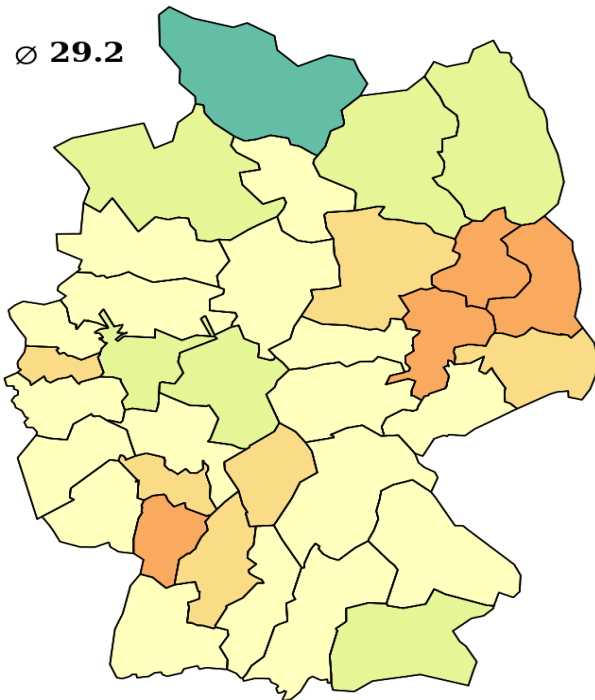
RCP8.5: 2071-2100 vs 1971-2000



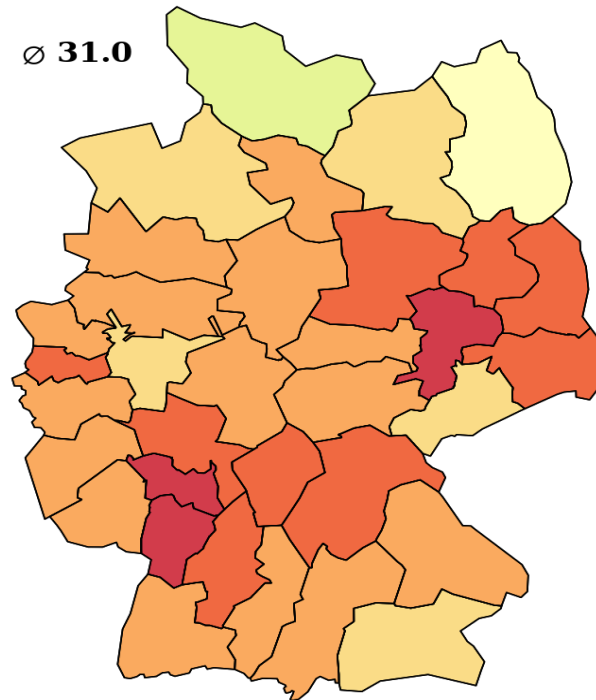
Hitzeintensität

Dritt-heißester Tag im Jahr

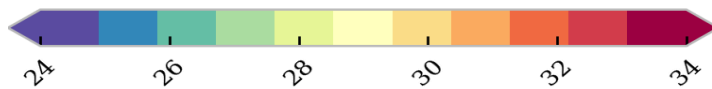
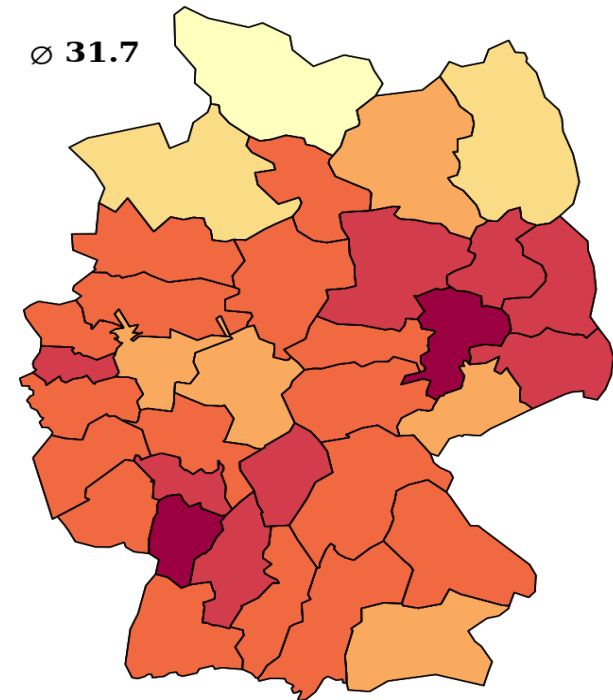
OBS:1961-1990



OBS:1991-2020



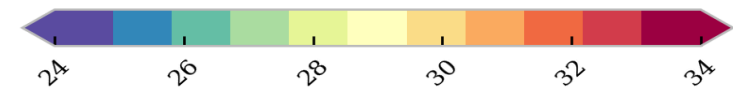
RCP85:2031-2060



Hitzeintensität [GradC]



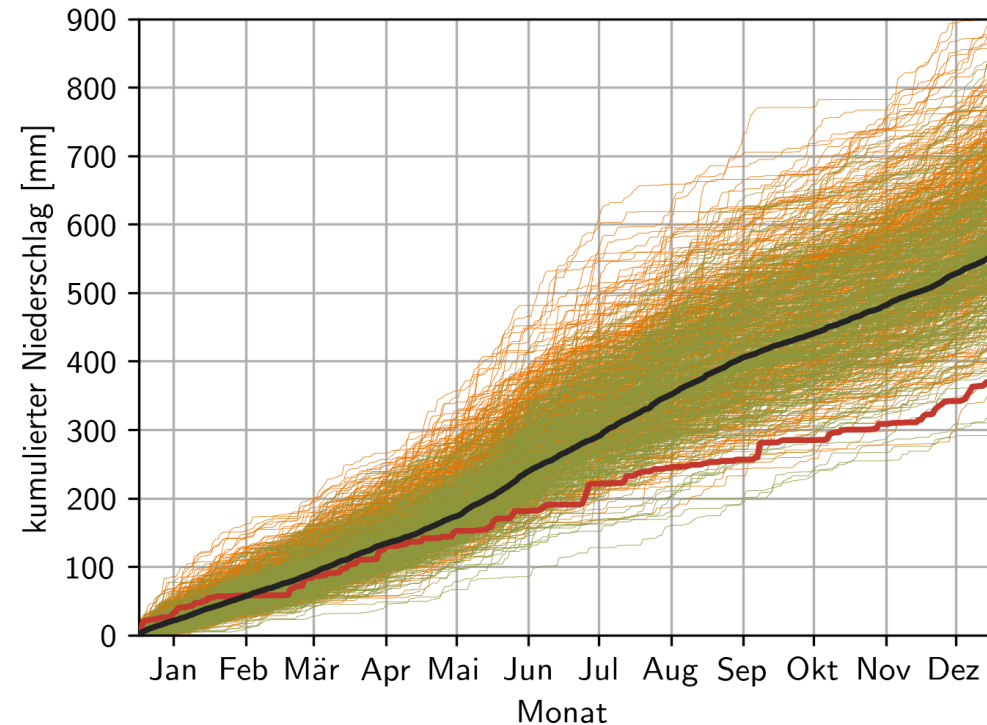
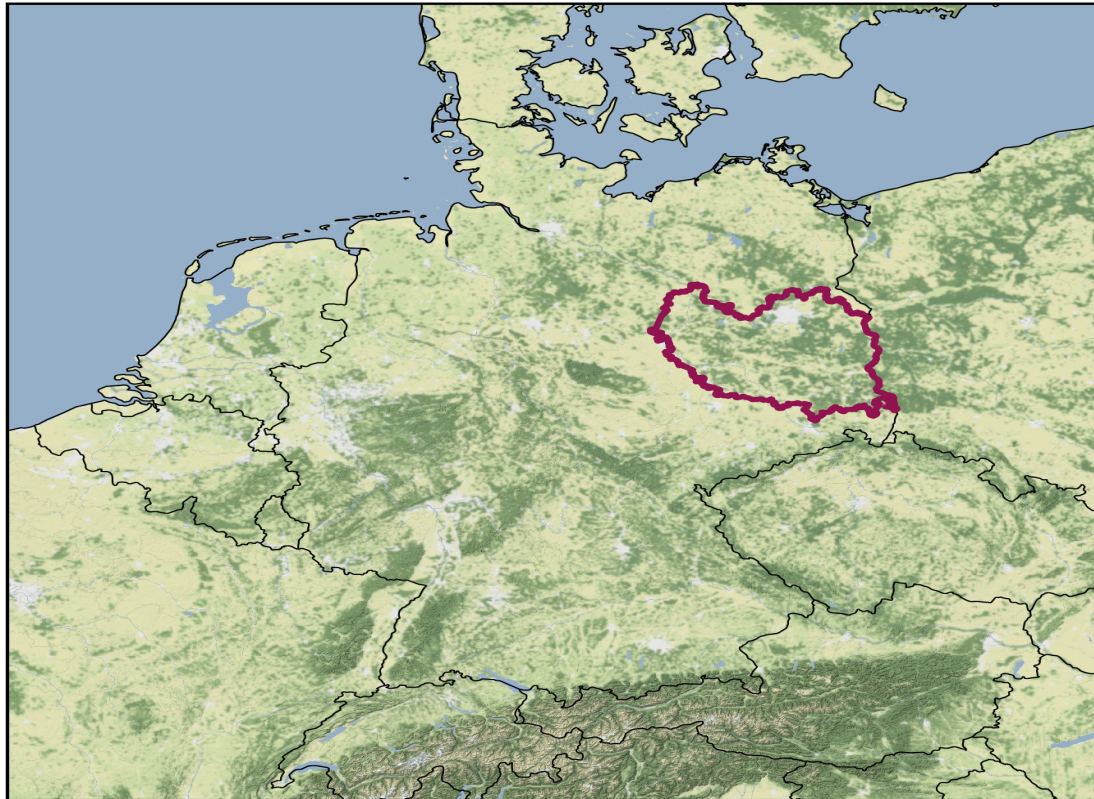
Hitzeintensität [GradC]



Hitzeintensität [GradC]

Wie häufig findet man Trockenjahre wie 2018 in Klimaszenarien?

Unterschätzung von Trockenjahren?

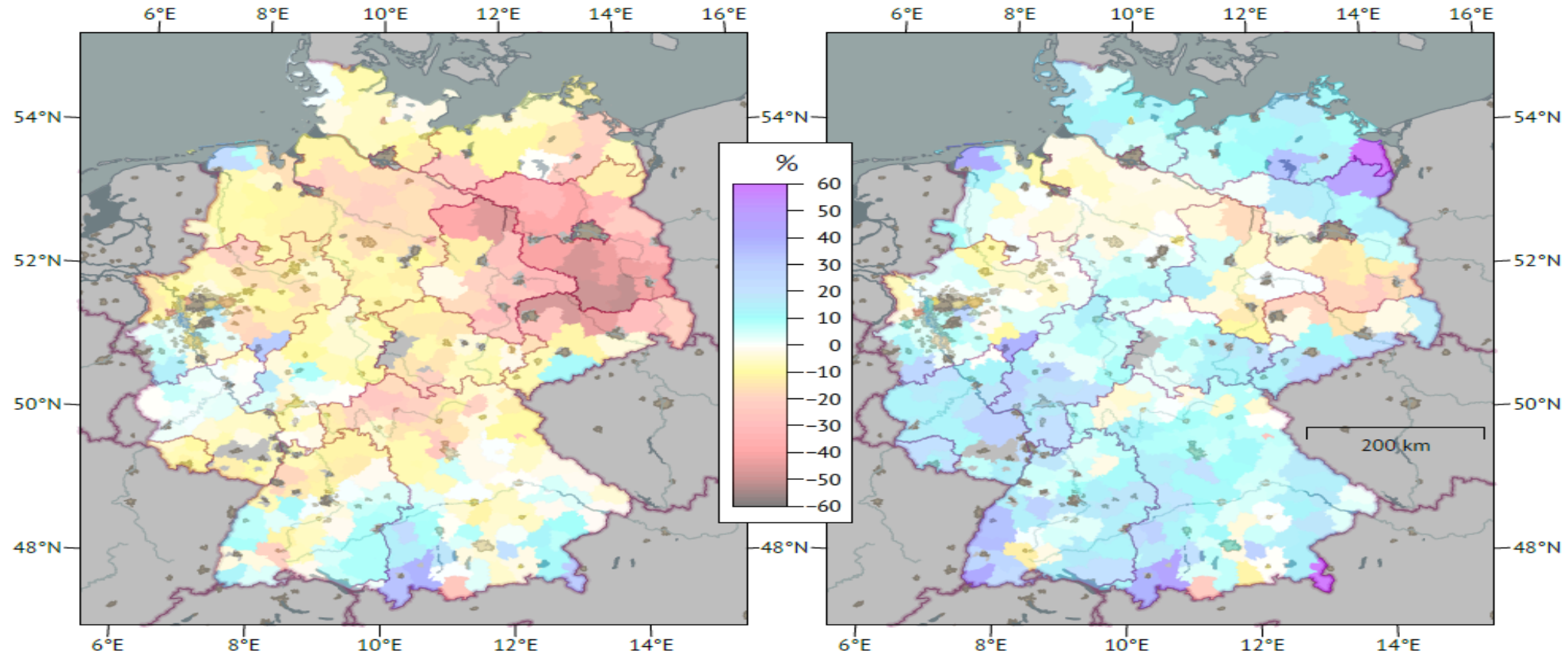


Menz (PIK)

2018 (rot) - Beobachtungsmittel 1971-2000 (schwarz) - Jahre in Klimamodellen von 2071-2100 und RCP85 (farbig)

Folgen und Wechselwirkungen

Landwirtschaftlicher Ertrag für Winterweizen 2018

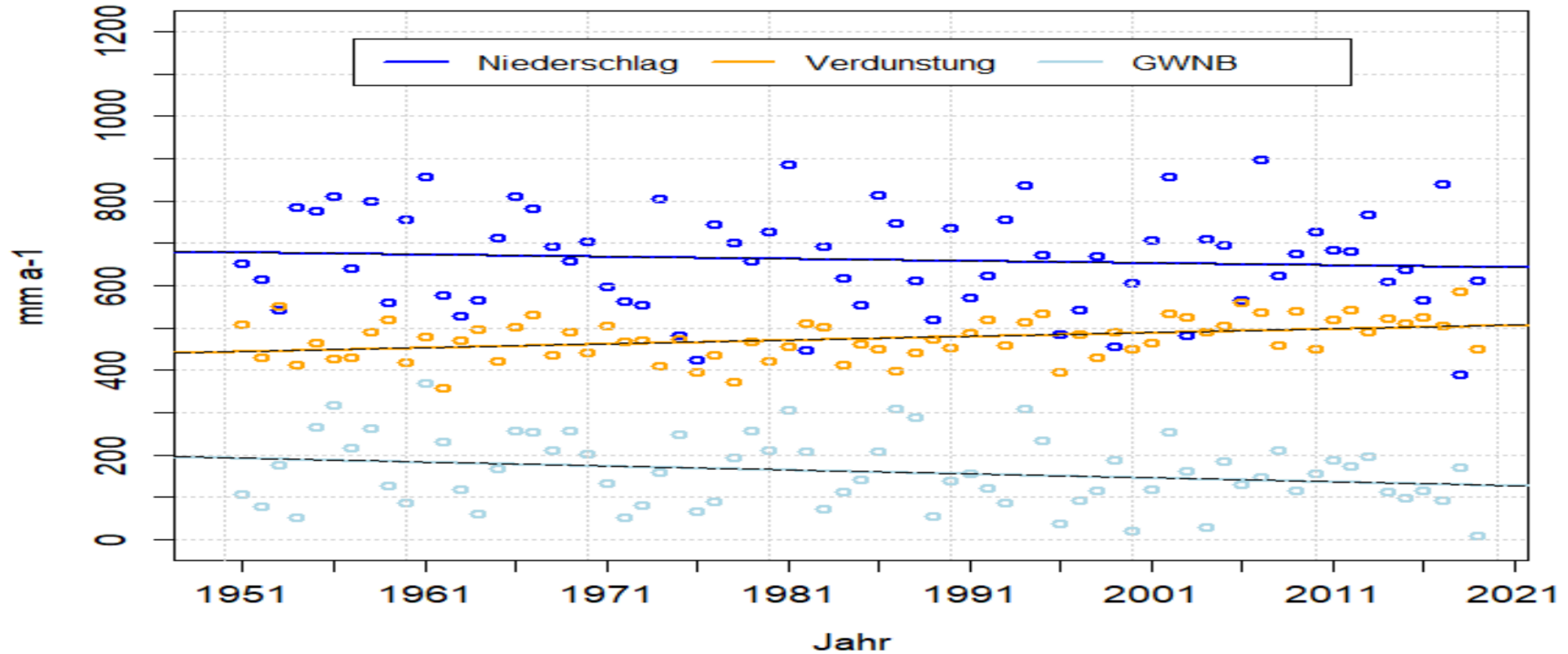


© Conrardt et al. (2018)

Vergleich zum **Mittel** (links) und **2003** (rechts)

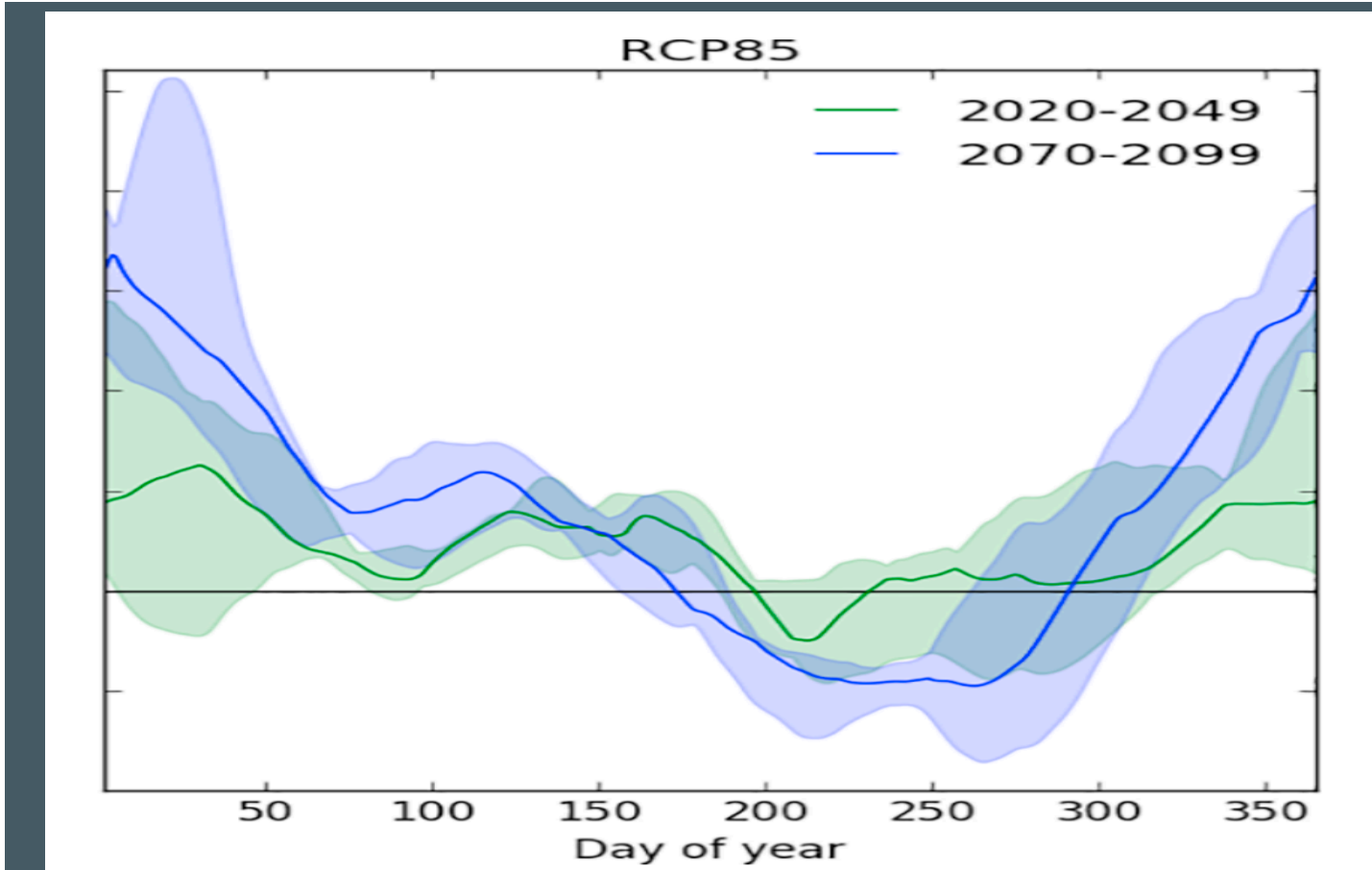
Wasserhaushaltsgrößen

Sinkende Grundwasserneubildung trotz nahezu gleichbleibender Jahresniederschläge



© Hattermann (PIK)

Niedrigwasser: Bsp. Donau



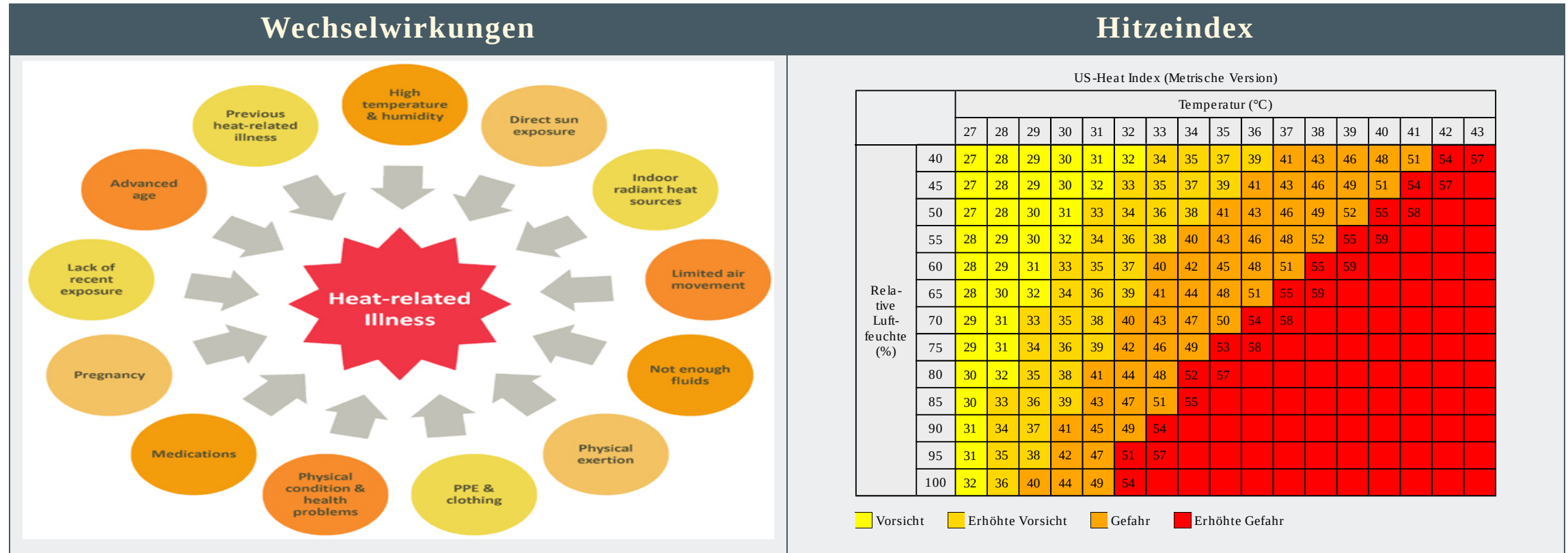
Größere Spreizung der jahreszeitlichen Ganglinien: winterliches Hochwasser und sommerliches Niedrigwasser werden häufiger.

Hattermann et al. (2018)

©

Gesundheitsbelastung

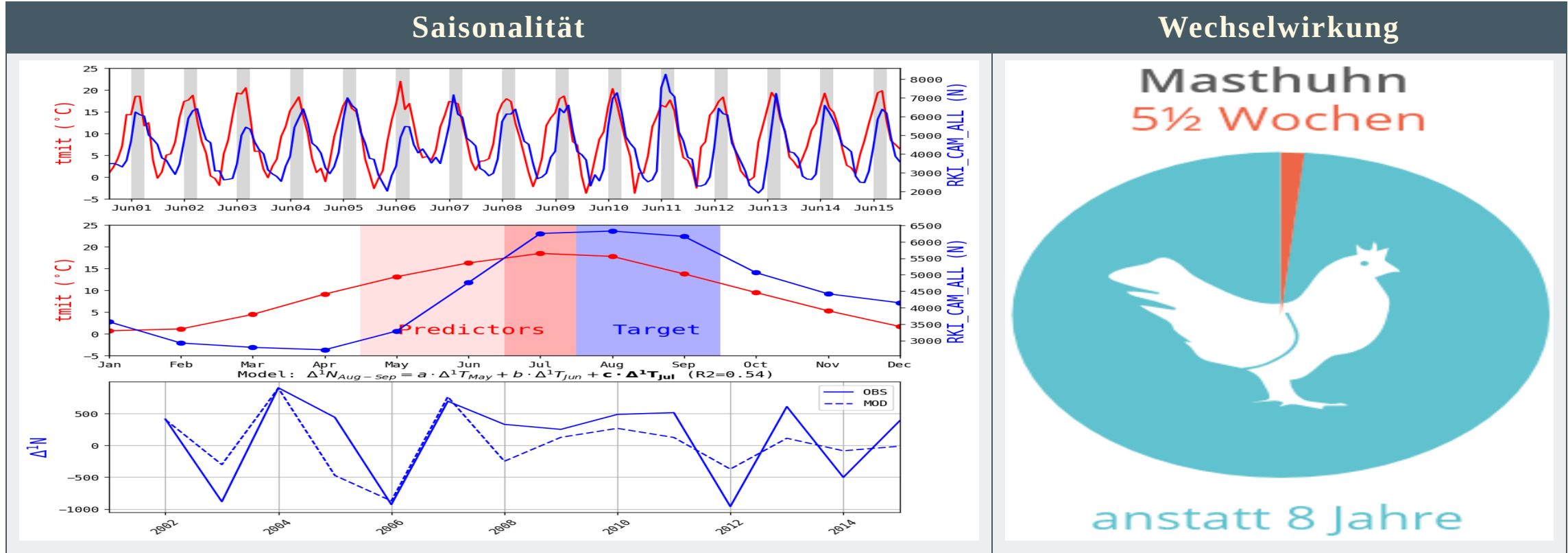
Je gesättigter die Luft, desto langsamer ist der Verdunstungsprozess durch Schwitzen. Es drohen Hitzschlag bei kritischer Schwelle!



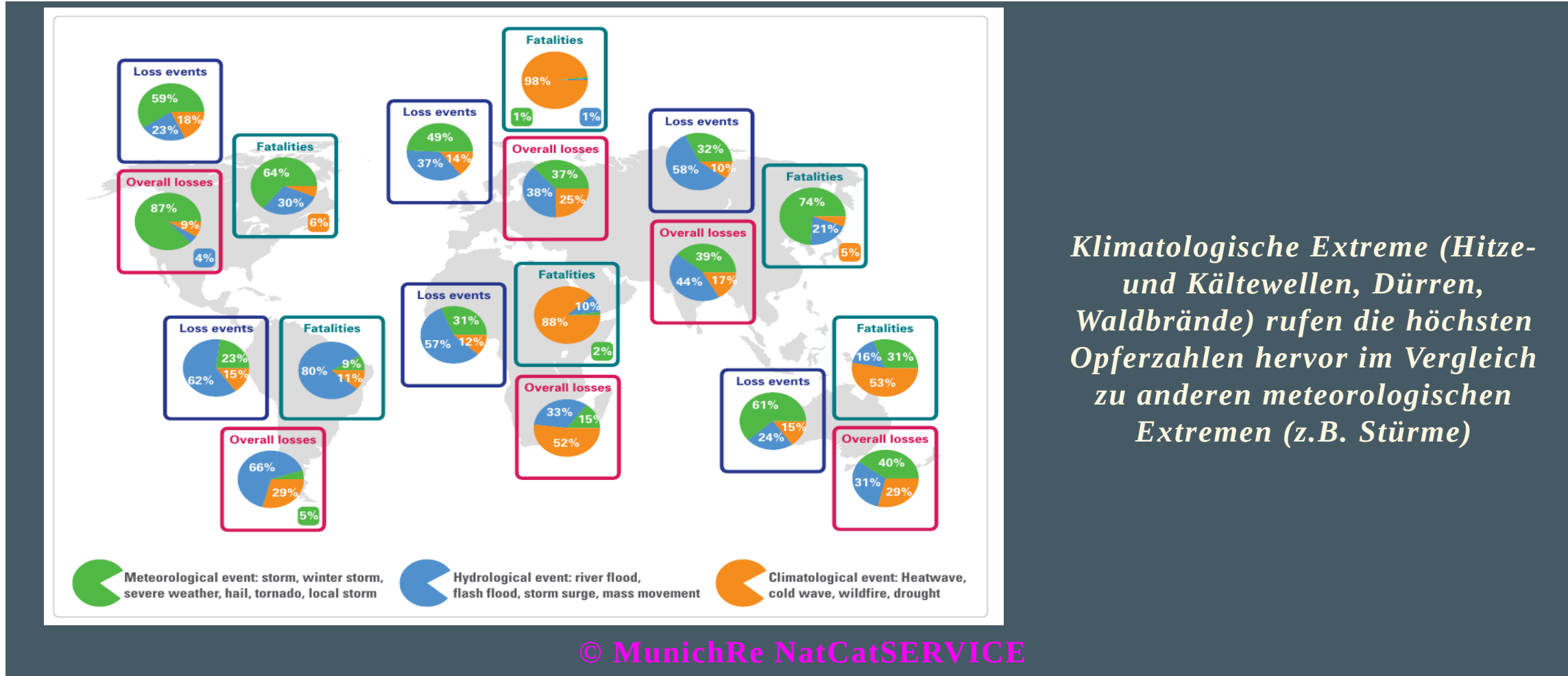
Tage in Potsdam mit $>37^{\circ}\text{C}$ & $>50\%$: 2010/07/12, 1994/08/01, 1943/08/20, 1932/08/21

Durchfallerkrankungen (Campylobacter)

Zeitversatz zw. Temperaturverlauf und Infektionskurve (Lebensdauer von Masthühner ca. 6 W)



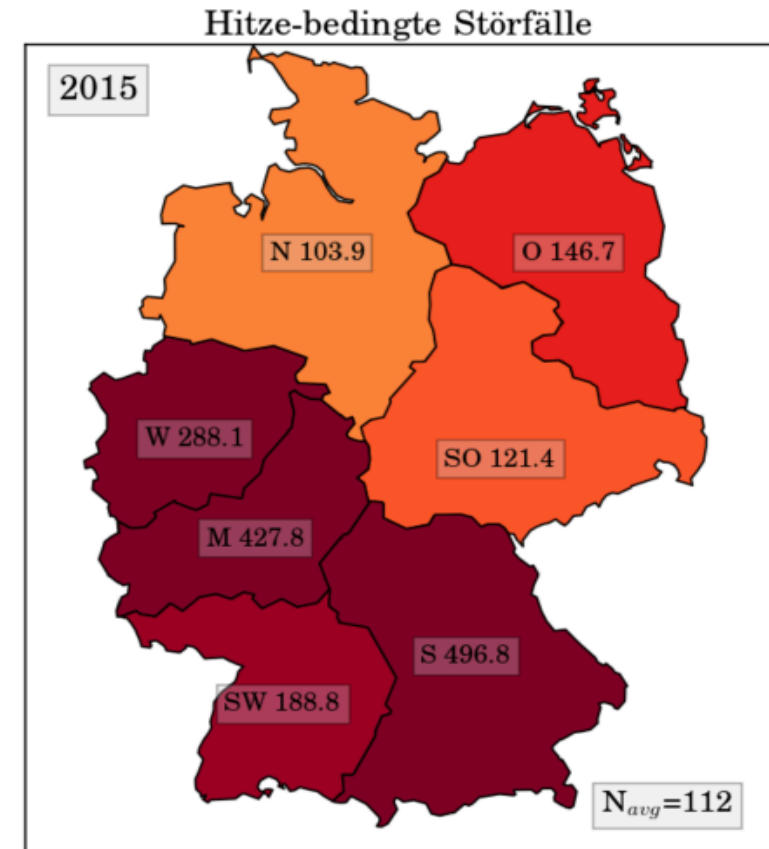
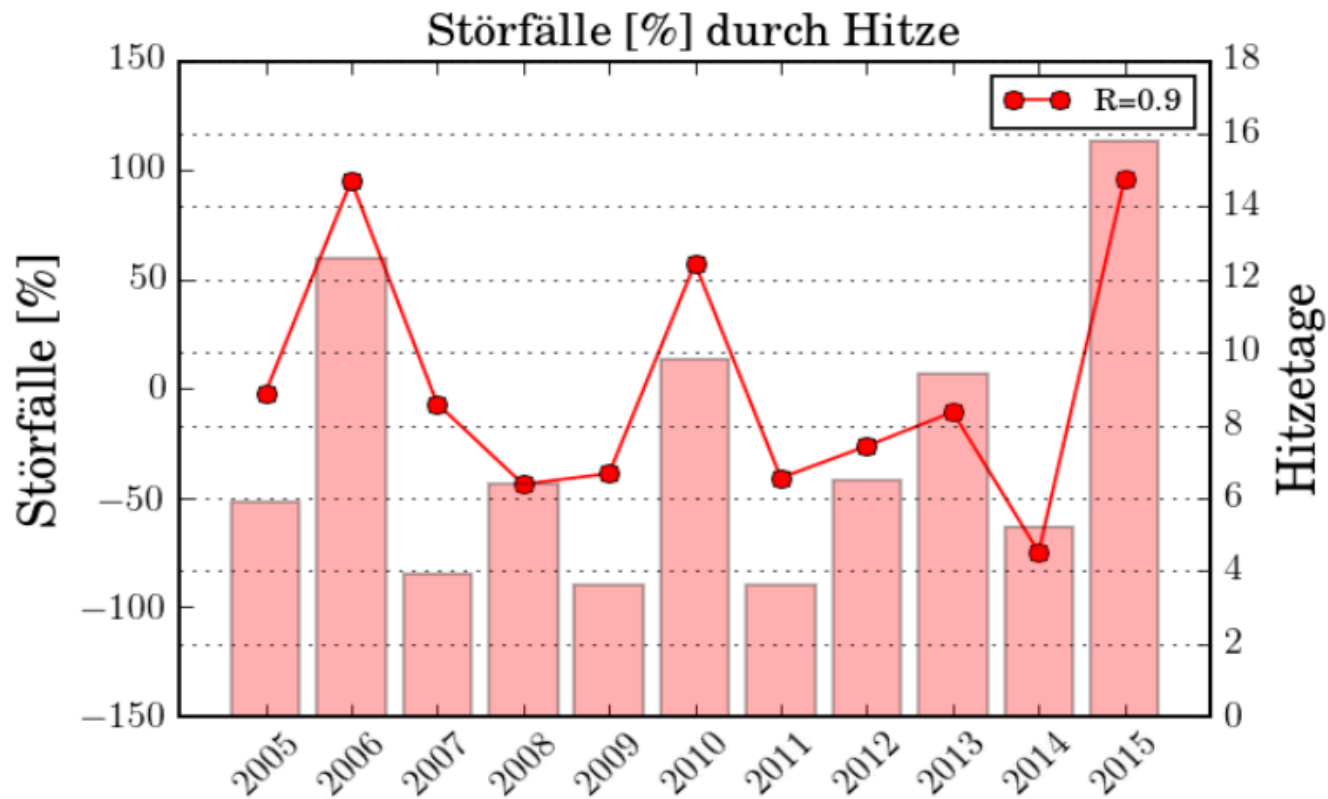
Verluste und Tode durch Extremereignisse



Klimatologische Extreme (Hitze- und Kältewellen, Dürren, Waldbrände) rufen die höchsten Opferzahlen hervor im Vergleich zu anderen meteorologischen Extremen (z.B. Stürme)

Verkehr und Infrastruktur

Hoher Zusammenhang zwischen der jährlichen Anzahl von Hitzetagen und der Anzahl von hitzebedingten Zugausfällen/Verspätungsminuten



Anpassungsmatrix: Landwirtschaft

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

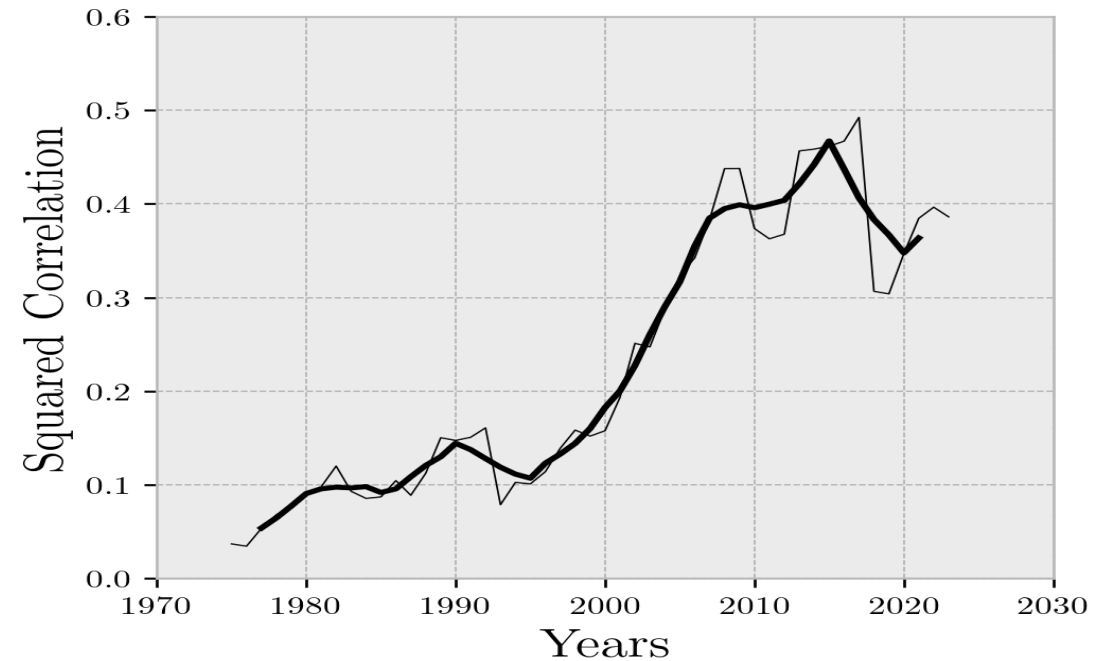
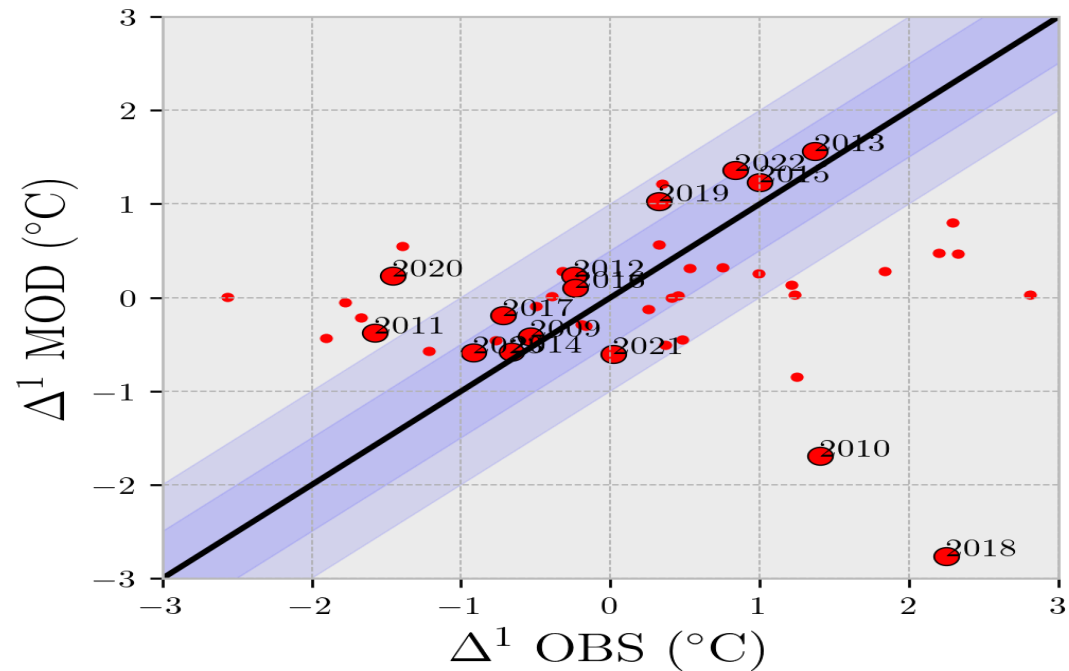


Zu Handlungsfeldern für die Anpassung werden nur solche Bereiche, die in allen drei Dimensionen (Einfluss des Klimawandels, Relative Wichtigkeit der Veränderung und Handlungsbedarf) als mittel oder gross eingestuft sind.

Quelle: BAFU

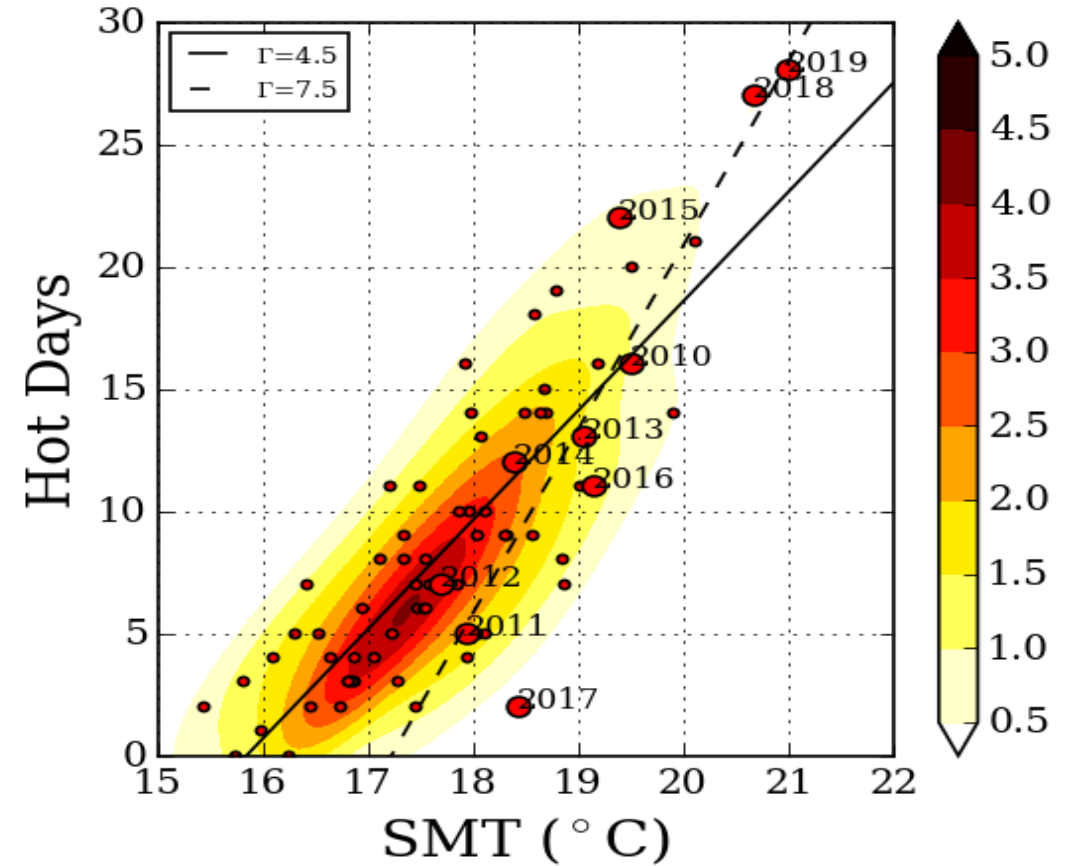
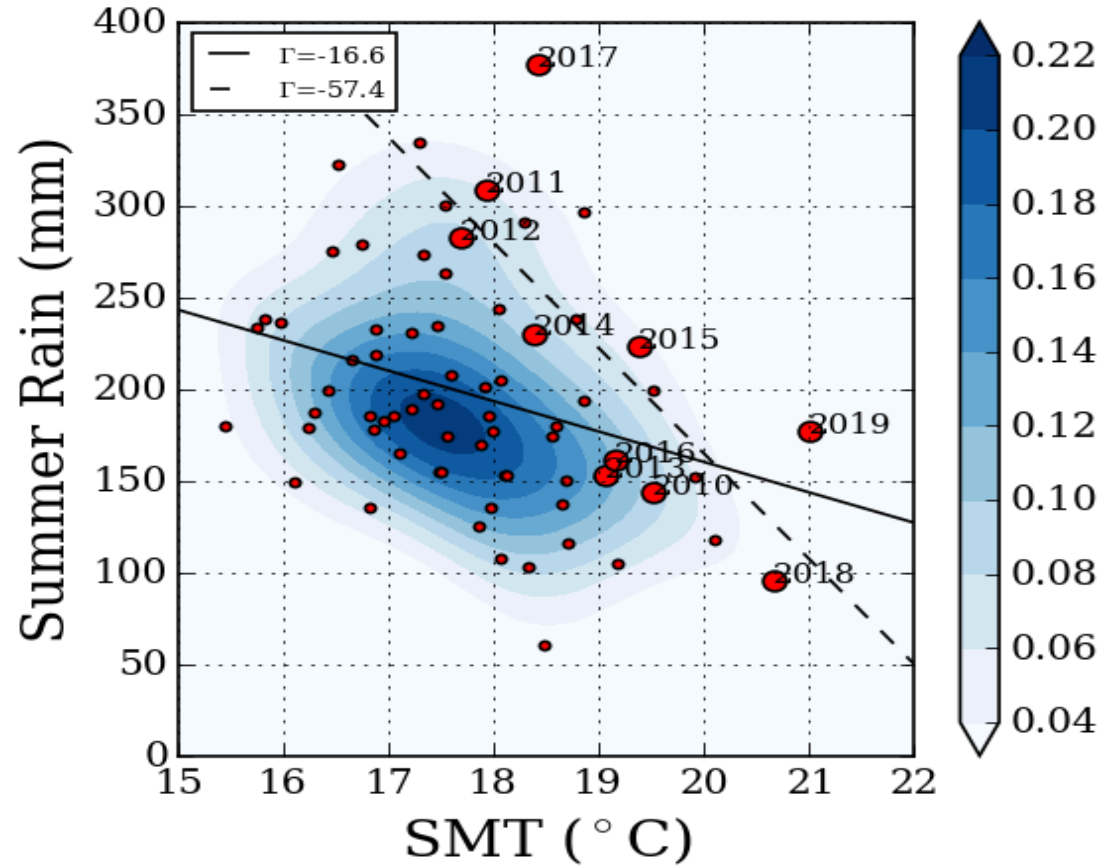
Vorhersagbarkeit und Regeln

Sommertemperatur als Funktion der Vormonate Jan-Apr



Sommertemperatur ~ Regensumme, Hitzetage

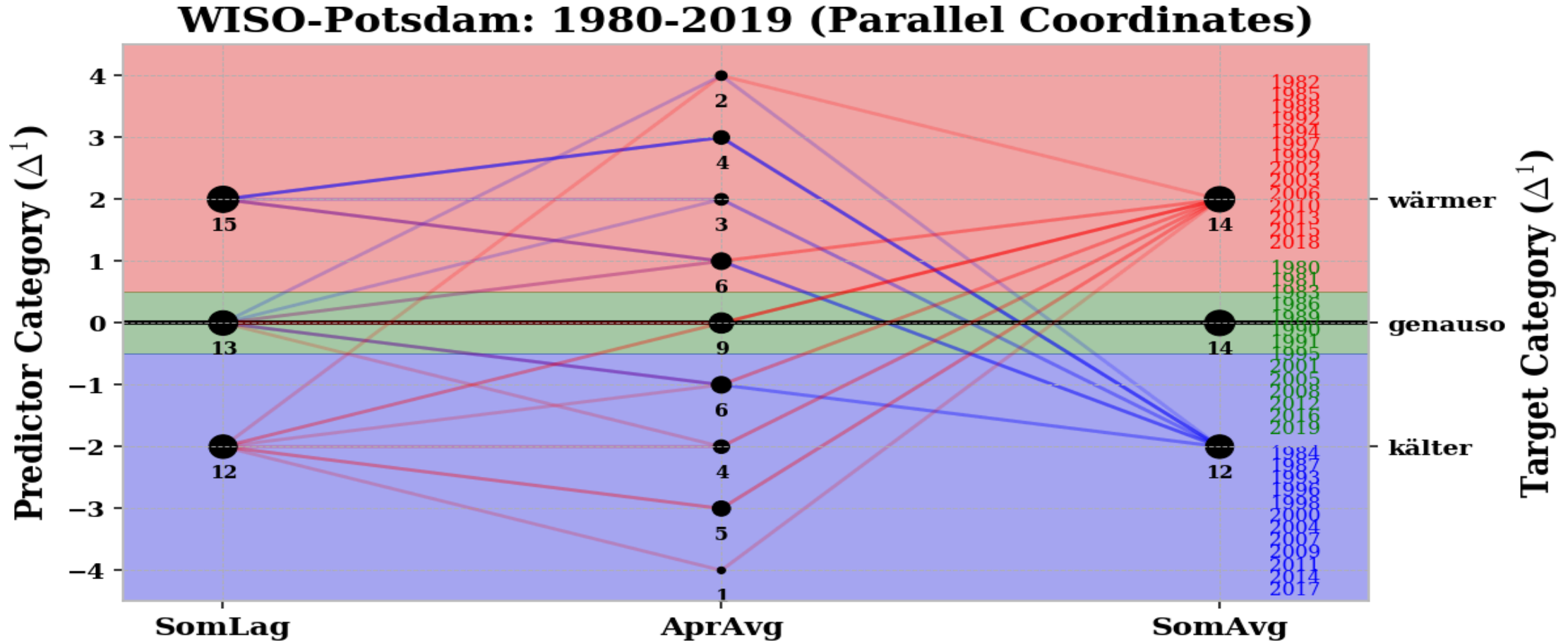
+1°C wärmerer Sommer *bedeutet* +7 Hitzetage und -50mm Regen



Potsdam

Regeln

kühler Sommer (Vorjahr) ~ kühler April ~ warmer Sommer (Ausnahme 2018)

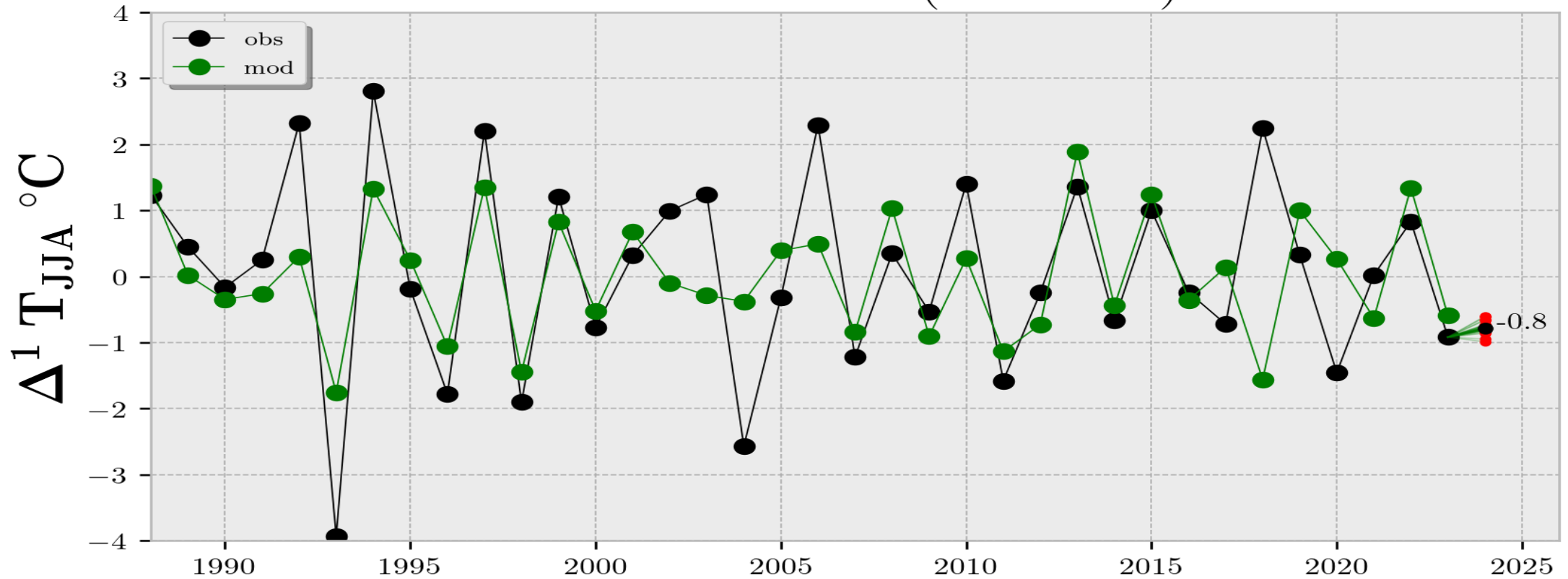


© Hoffmann (PIK)

Regeln

Zusammenhang zw. Sommermitteltemperatur & Frühjahr

1988-2023:2024 (R²=0.39)



© Hoffmann (PIK)

Zusammenfassung:

- Hitzewellen und Dürren gehören zu den Klimaextremen und sind großskalige Phänomene.
- Es gibt verschiedene Definitionen für Trockenheit und Dürre.
- Durch klimatische Veränderungen steigen Risiken für Klimaextreme.
- Klimakennzahlen beschreiben meteorologischen Rahmenbedingungen.
- Faktoren für Hitze und Niederschlagsdefizit haben u.a. atmosphärische Ursachen.
- Es gibt Hinweise, dass Modelle diese Faktoren unterschätzen.
- Die Folgen sind Sektorübergreifend.
- Eine bessere Vorhersagbarkeit wird zunehmend wichtiger.

Hinweise zur Übung

The screenshot shows the GitHub interface for the 'MetFUB' repository. The left sidebar contains navigation options like 'Project', 'Manage', 'Plan', 'Code', 'Build', 'Deploy', 'Operate', 'Monitor', and 'Analyze'. The main content area displays the repository name 'MetFUB' and a commit by Peter Hoffmann. Below this is a table of files and their last commit details.

Name	Last commit	Last update
README.md	<no comment>	5 days ago
README.md~	<no comment>	5 days ago
era5_tp_daily_1950-2023_EU...	<no comment>	5 days ago
era5gwL.py	<no comment>	2 hours ago
era5gwL.py~	<no comment>	2 hours ago
era5gwLW.png	<no comment>	5 days ago
era5gwLall.png	<no comment>	5 days ago
gwIneudatum.dat	Upload New File	6 days ago

The README file content is as follows:

MetFUB

Übung

Auswertungen von Niederschlagstrends über Europa unter Berücksichtigung veränderter Großwetterlagen

Hintergrund

Bei der Untersuchung von Jahreszeitlichen Niederschlagsentwicklungen spielen großräumige Wettermuster als Ursache in der Regel eine eher untergeordnete Rolle. Sind sie aber doch dafür verantwortlich ob es örtlich Regen gibt oder trocken bleibt. Unter Berücksichtigung von Merkmalen wiederkehrender Großwetterbedingungen kann die Analyse verfeinert werden, um Ursachen für Veränderungen aufzudecken.

Aufgabe

Berechnen Sie Jahressummen im Niederschlag über Europa und Analysieren Sie das Trendmuster von 1981-2023. Wo ist der Trend zurückgegangen, und wo hat er zugenommen?

Nutzen Sie nun die Zeitreihe der Wetterlagenklassifikation, um die Niederschlagstrends für einzelne dominante Wetterlagen darzustellen. Beginnen sie mit WZ (west-zyklonal). Bilden Sie erneut Jahressummen für Tage mit dem Merkmal WZ. Interpretieren Sie das Trendmuster? Worauf ist die Änderung maßgeblich zurückzuführen?

Wiederholen Sie die Trendanalyse erneut und schließen Sie nun Tage mit dem Merkmal WZ aus. Welche Folgen hätte es für Europa, wenn es kein WZ Großwetter gäbe?

Daten

- tägliche ERA5 Reanalysefelder der Tagesniederschlagssumme
- tägliche Zeitreihe klassifizierter Großwetterlagen über Europa nach Hess/Brezowsky

Hinweise

- ERA5 Reanalysefelder sind mit CDO für Europa zuzuschneiden
- synchronisieren Sie die Datumsangaben in den Datensätzen

Ergebnisse

Trendmuster:

Gesamt	nur W