

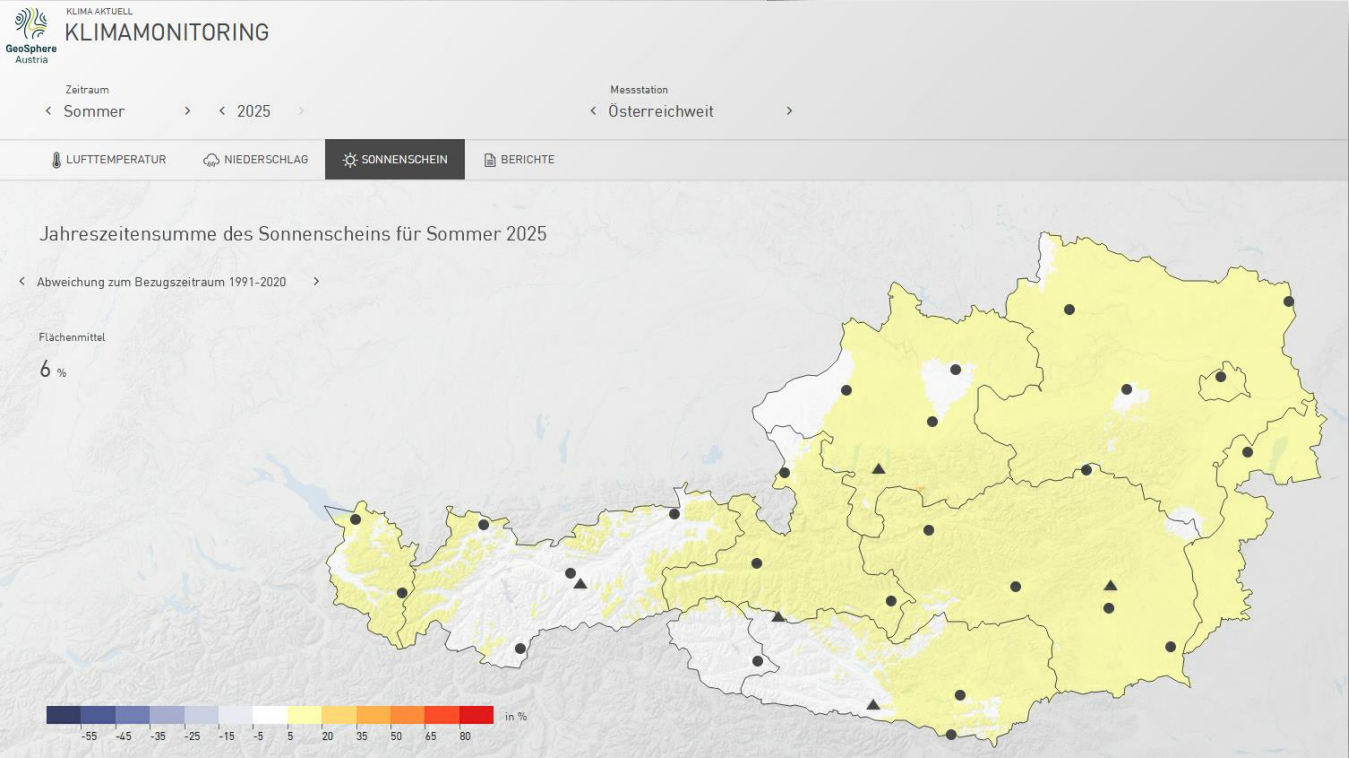
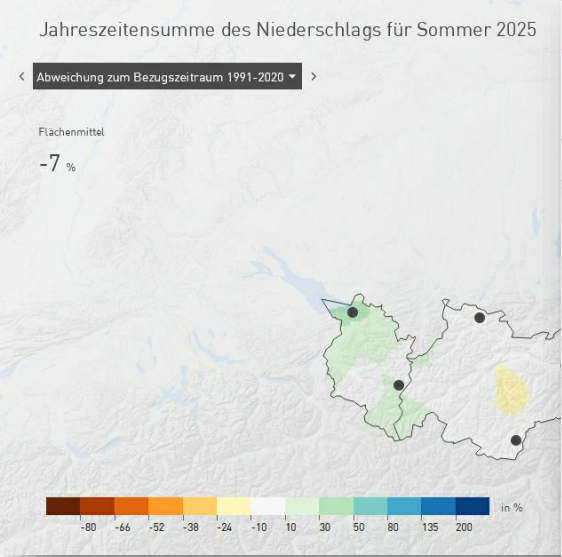
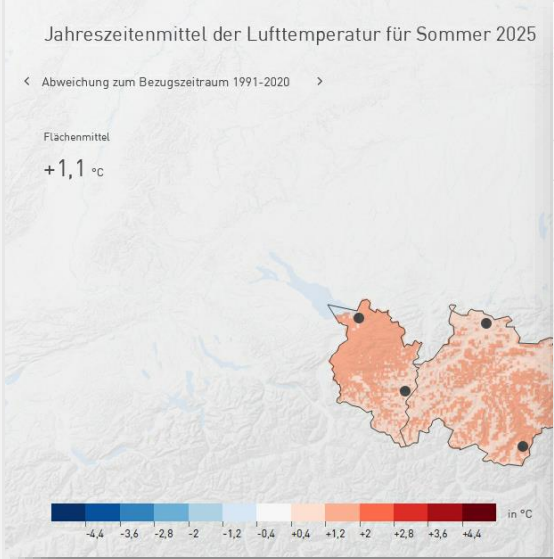
Extremereignisse im Klimawandel – Vergangenheit und Zukunft

Klimasystem und Klimafolgen

Klaus Haslinger

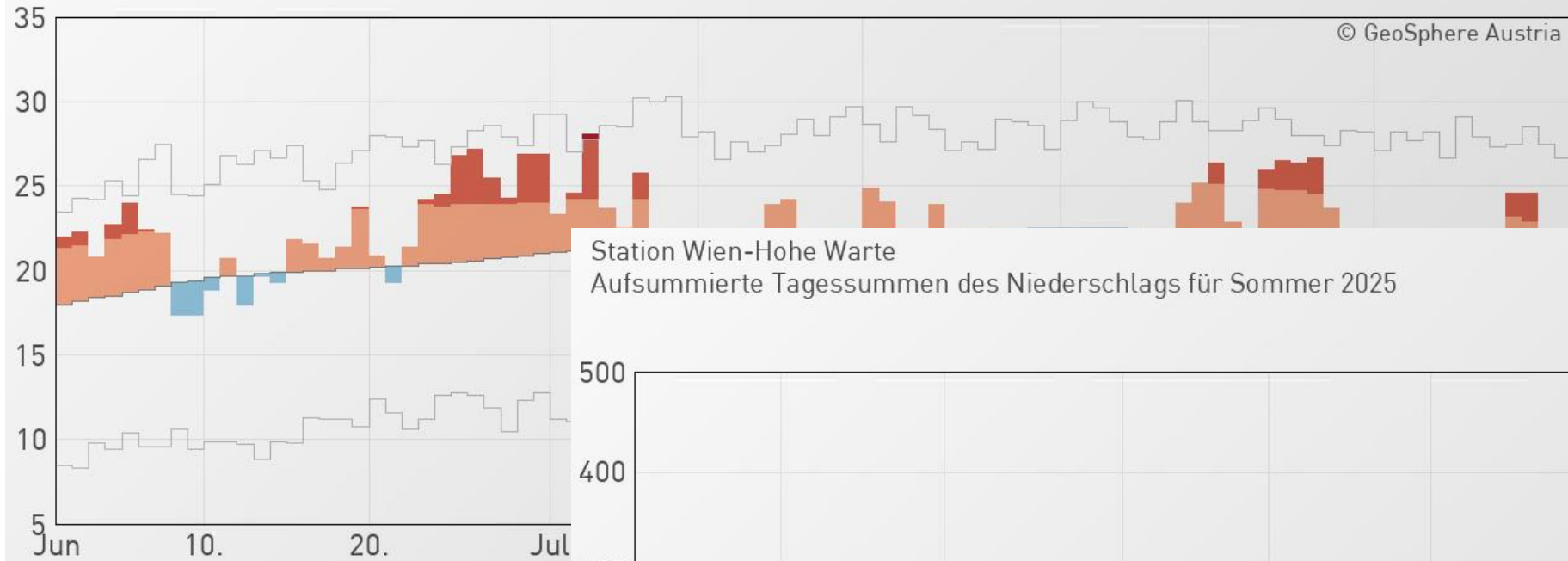
klaus.haslinger@geosphere.at





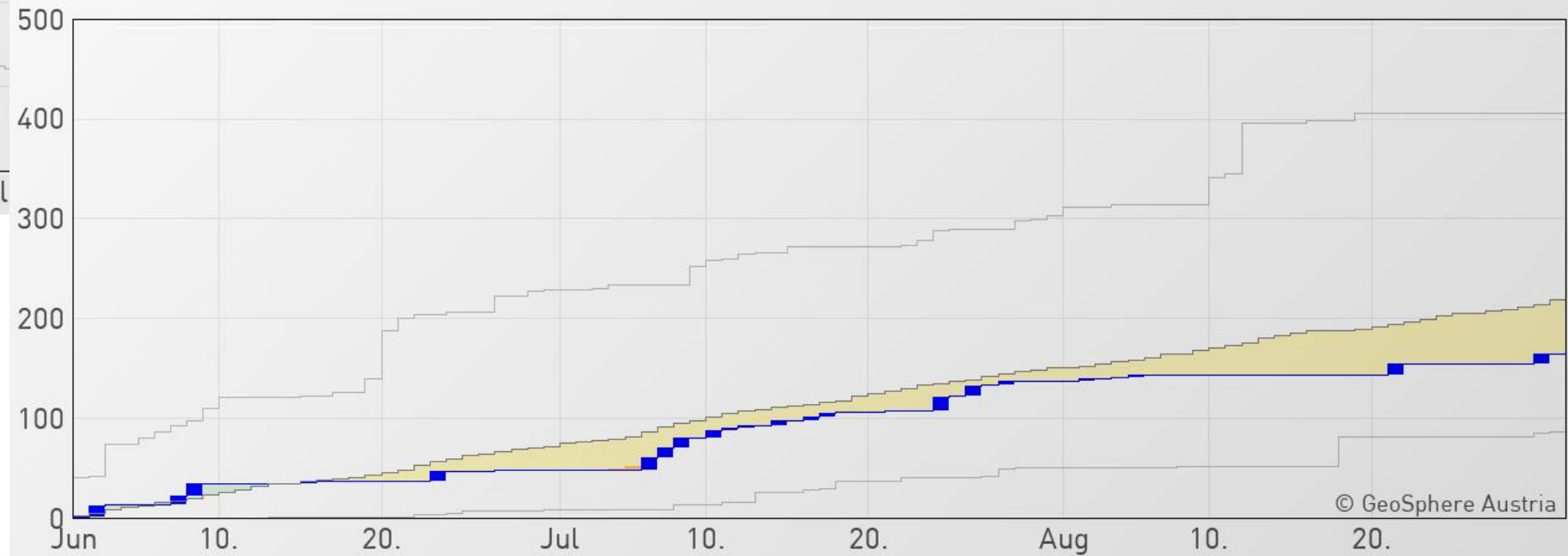
Station Wien-Hohe Warte
Tagesmittelwerte der Lufttemperatur für Sommer 2025

Mittelwert Sommer 2025	Mittelwert Sommer 1991-2020
21,9 °C	20,9 °C

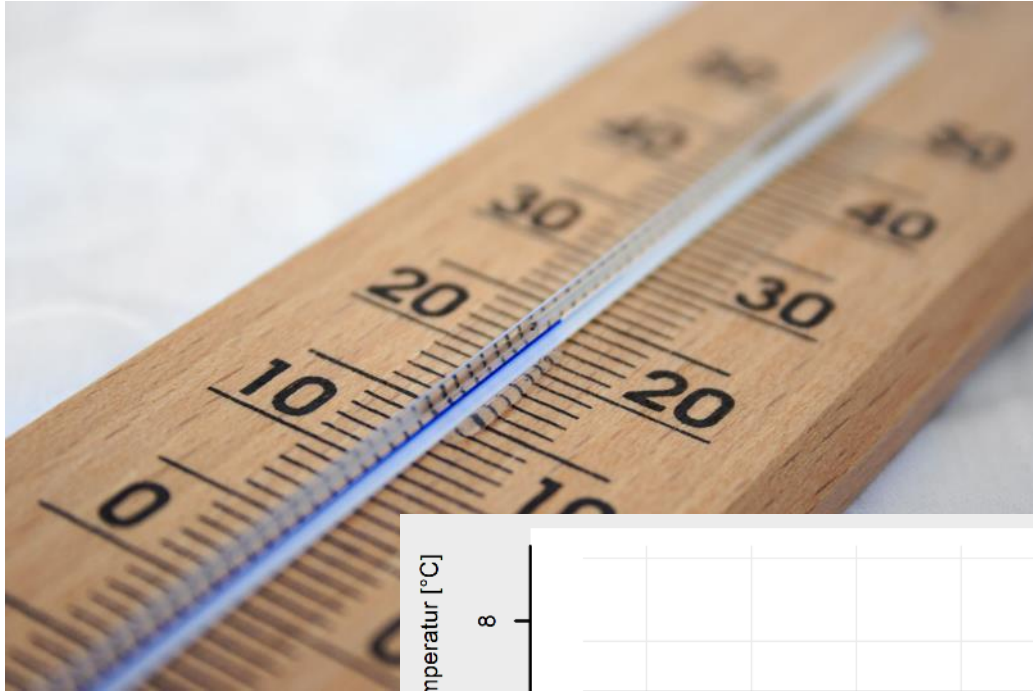


Station Wien-Hohe Warte
Aufsummierte Tagessummen des Niederschlags für Sommer 2025

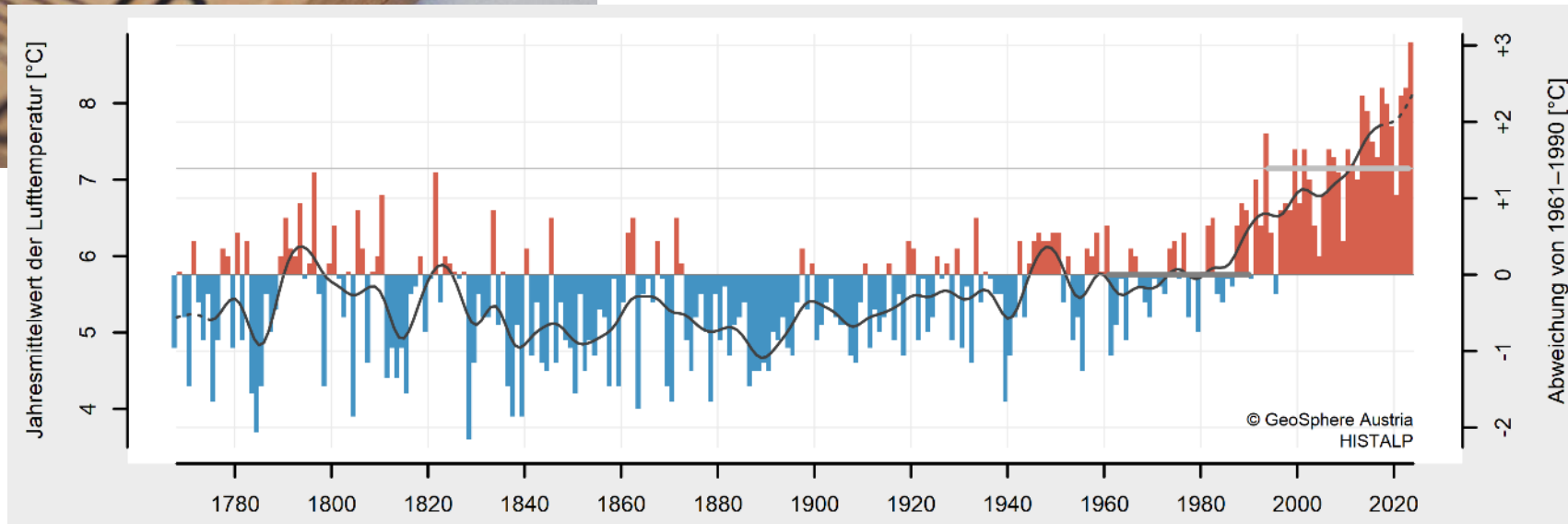
Summe Sommer 2025	Summe Sommer 1991-2020
164 mm	218 mm



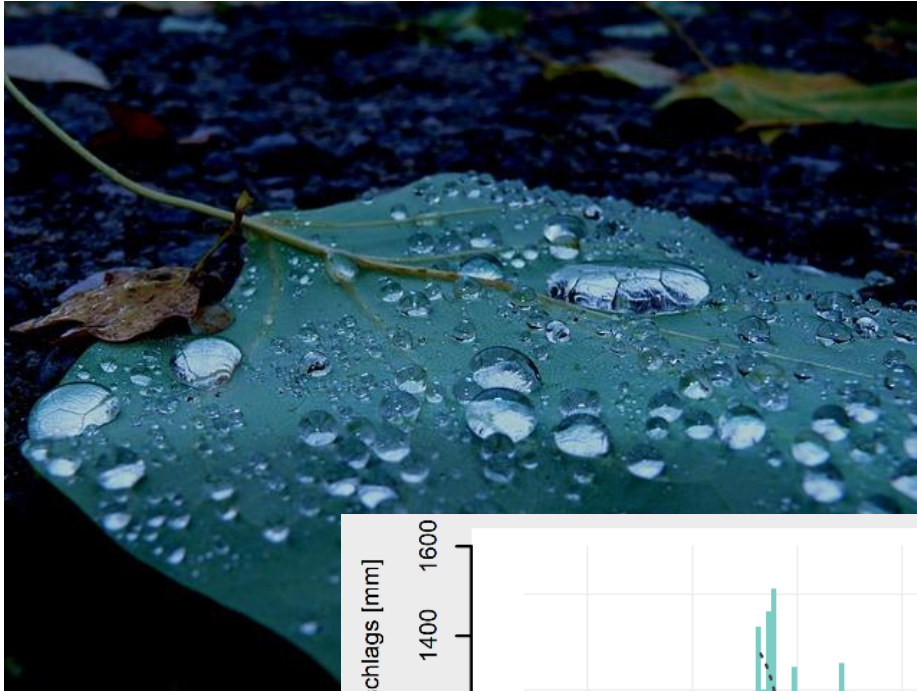
Klimawandel in Österreich – Lufttemperatur



1961-1990	1991-2020
5,8 °C	7,0 °C
+1,2 °C	



Klimawandel in Österreich – Jahresniederschlagssumme



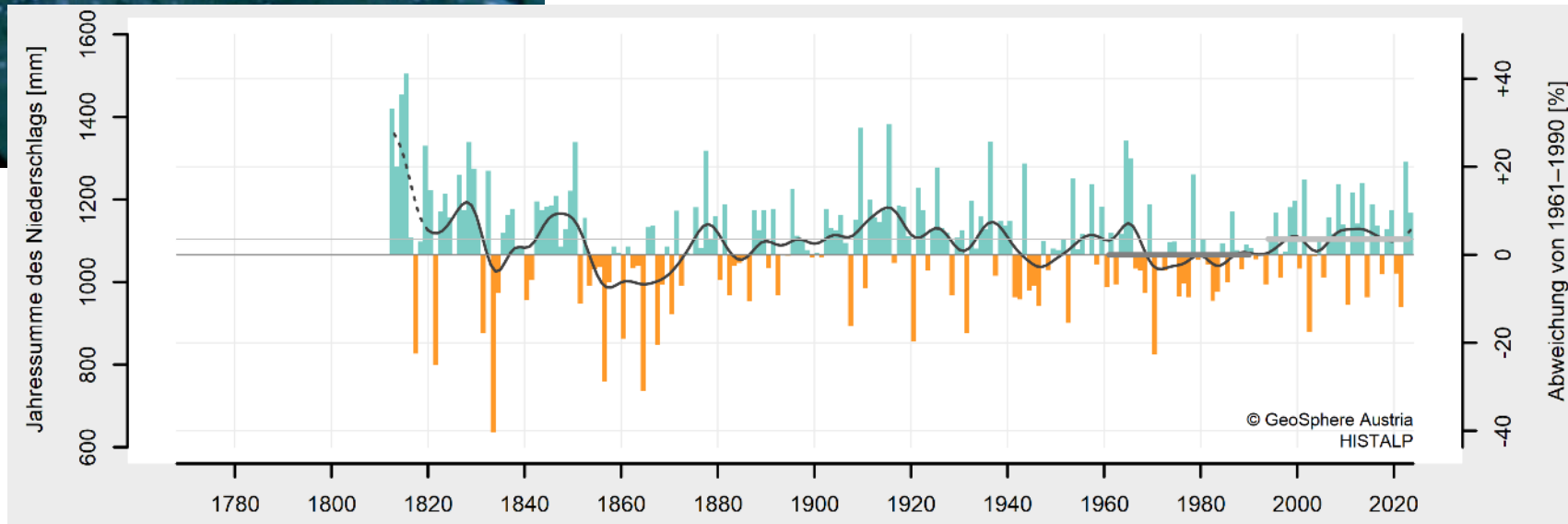
1961-1990

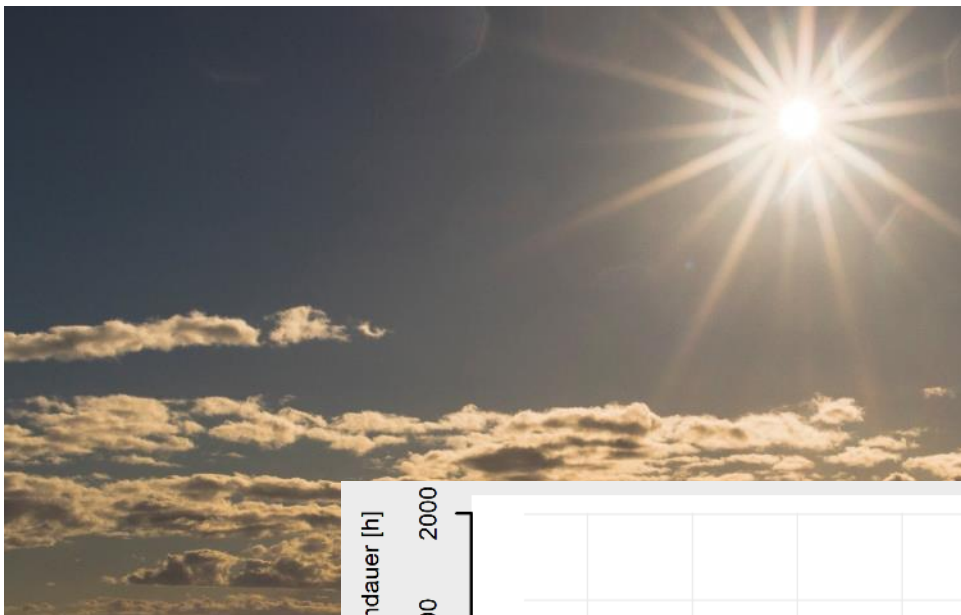
1067 mm

1991-2020

1103 mm

+36 mm





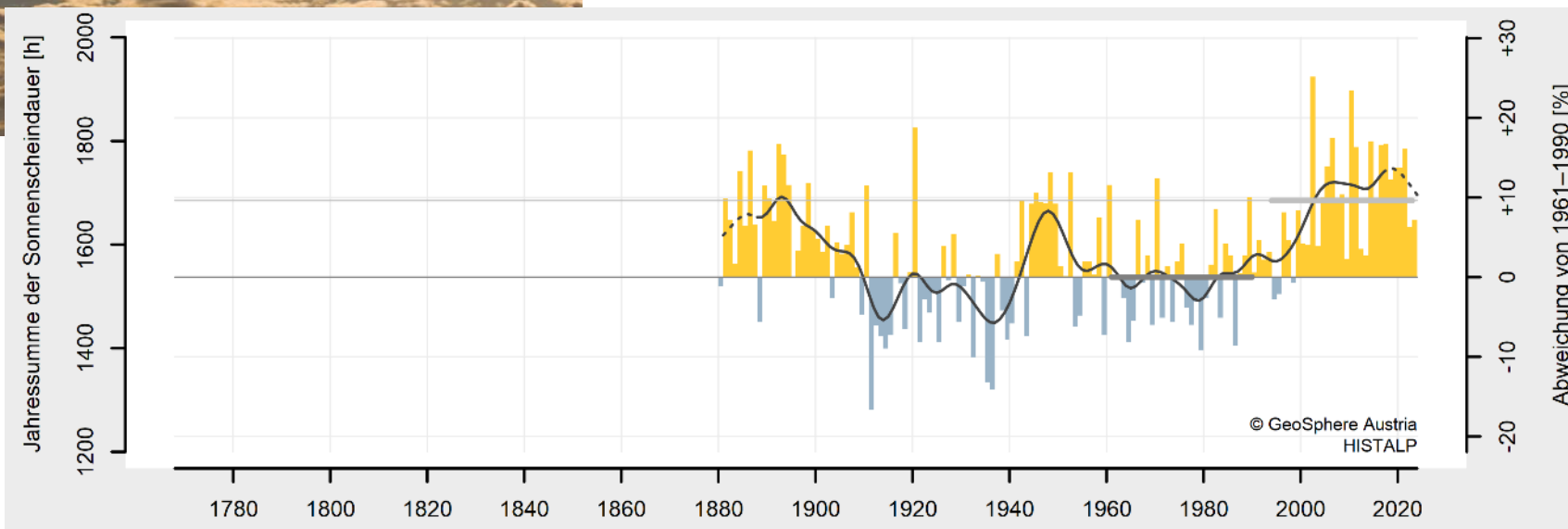
1961-1990

1991-2020

1537 h

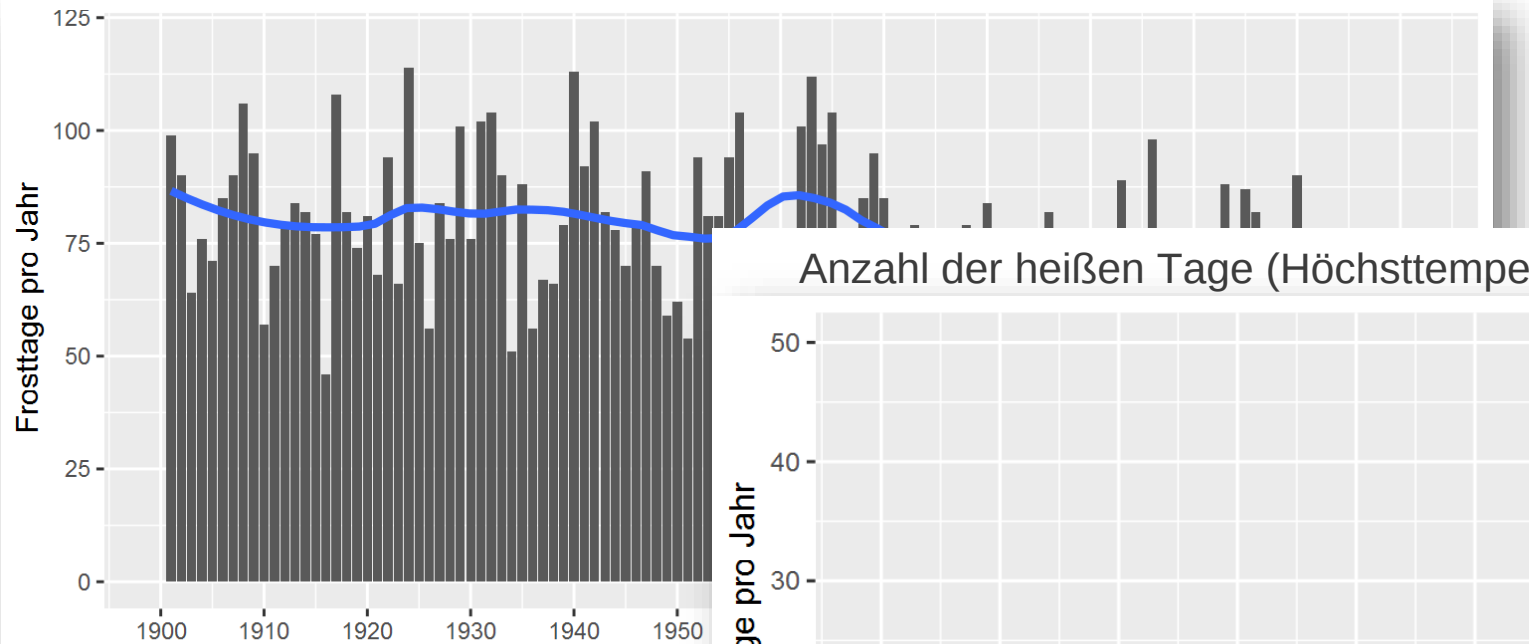
1670 h

+133 h



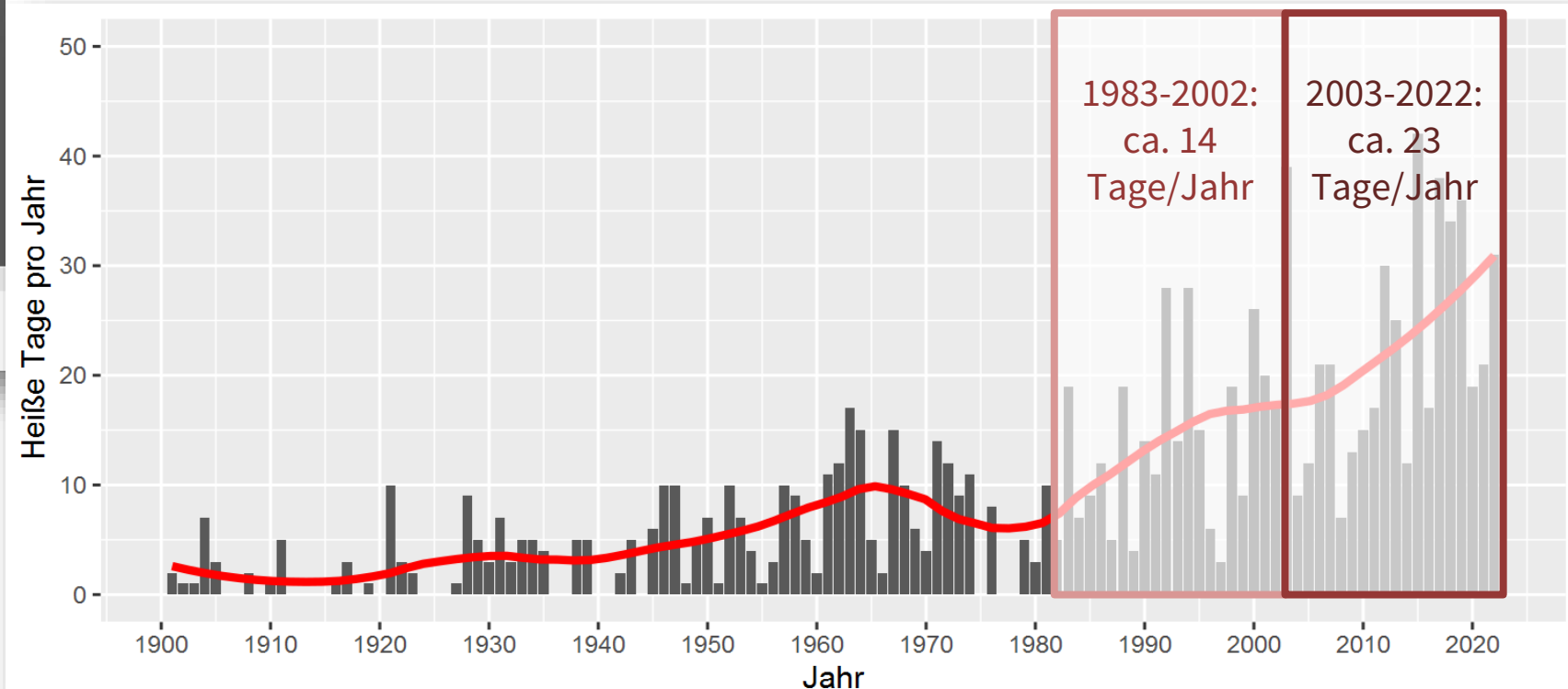
Änderung von Klimaindikatoren am Beispiel Wien Hohe Warte

Anzahl der Frosttage (Tiefsttemperatur $< 0^{\circ}\text{C}$) in Wien Hohe Warte



→ Warme Extreme zeigen stärkere Veränderung als Kalte Extreme

Anzahl der heißen Tage (Höchsttemperatur $> 30^{\circ}\text{C}$) in Wien Hohe Warte



Starkniederschläge...





Wichtig! Es gilt zu unterscheiden:

Kurzfristige Extremniederschläge

Dauer: **Minuten bis Stunden**

Auslöser: **Gewitter**

Hochwassergefahr in **kleinen Einzugsgebieten**
(z.B. Mauerleitenbach)

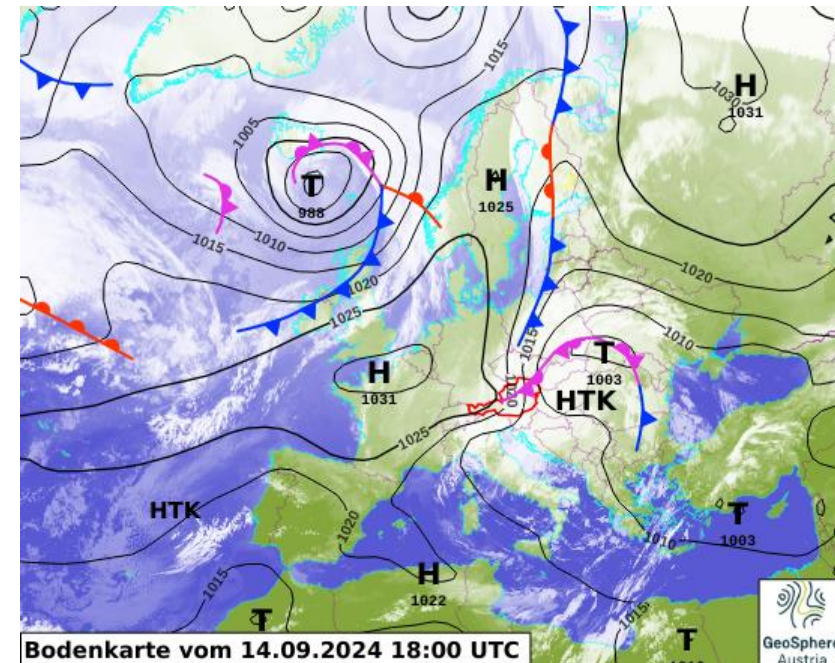


Langfristige Extremniederschläge

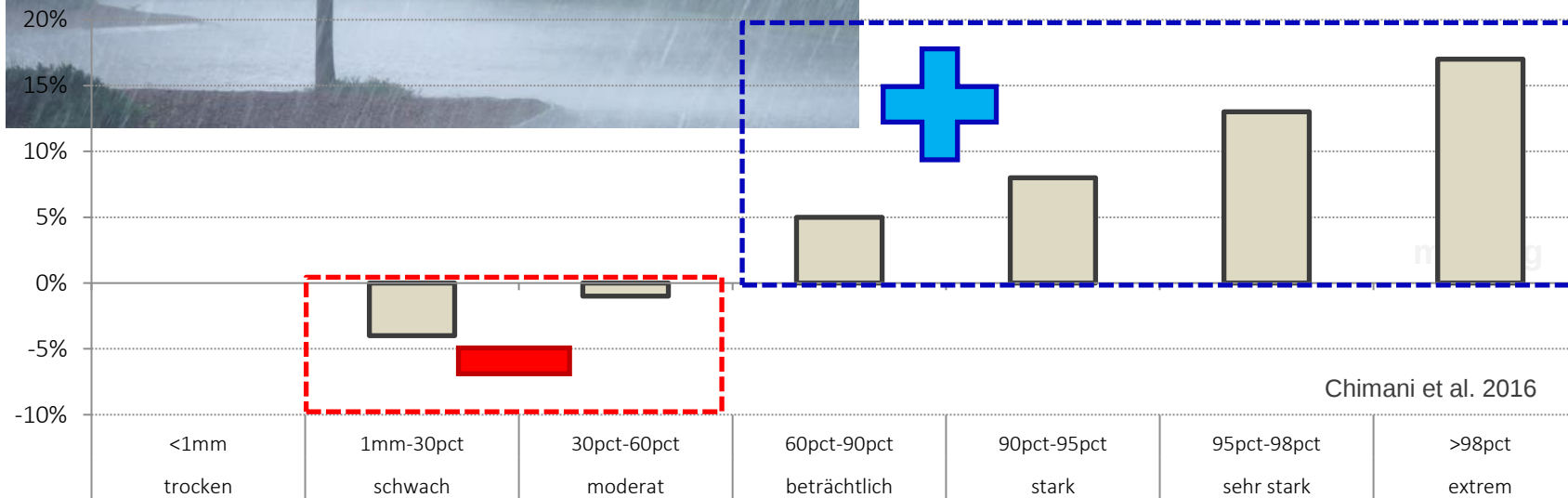
Dauer: **ein bis mehrere Tage**

Auslöser: **Tiefdrucksysteme**

Hochwassergefahr in **großen Einzugsgebieten**
(z.B. Kamp, Enns, Donau)



Tagesniederschlagssummen: Häufigkeit und Menge



1961-1990

44 mm

1991-2020

47 mm

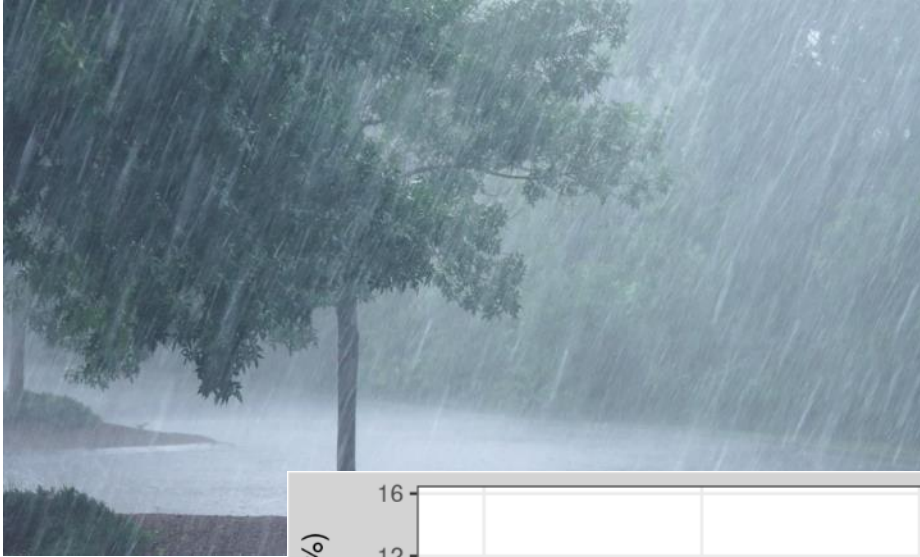
+3 mm = +6,5 %

Schwache bis Moderate
Tagesniederschlagssummen

Beträchtliche bis Extreme
Tagesniederschlagssummen

Klimawandel in Österreich – Extremniederschläge (> 99%)

Stundenniederschlagssummen:



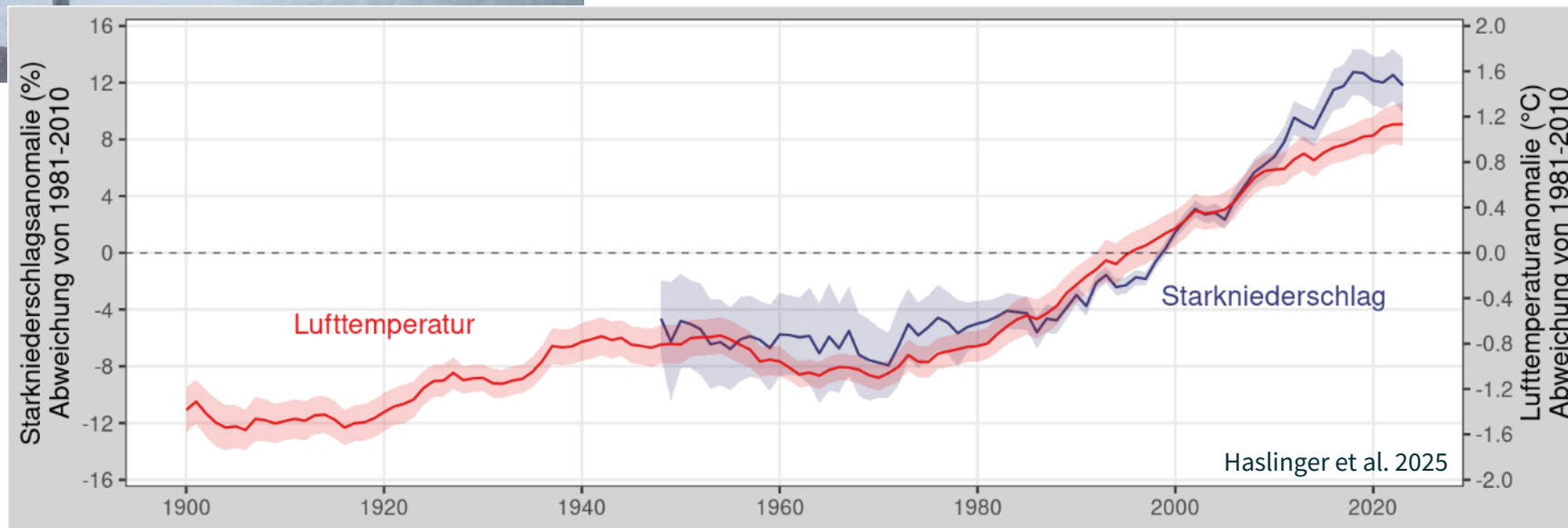
1961-1990

8,9 mm

1991-2020

10,2 mm

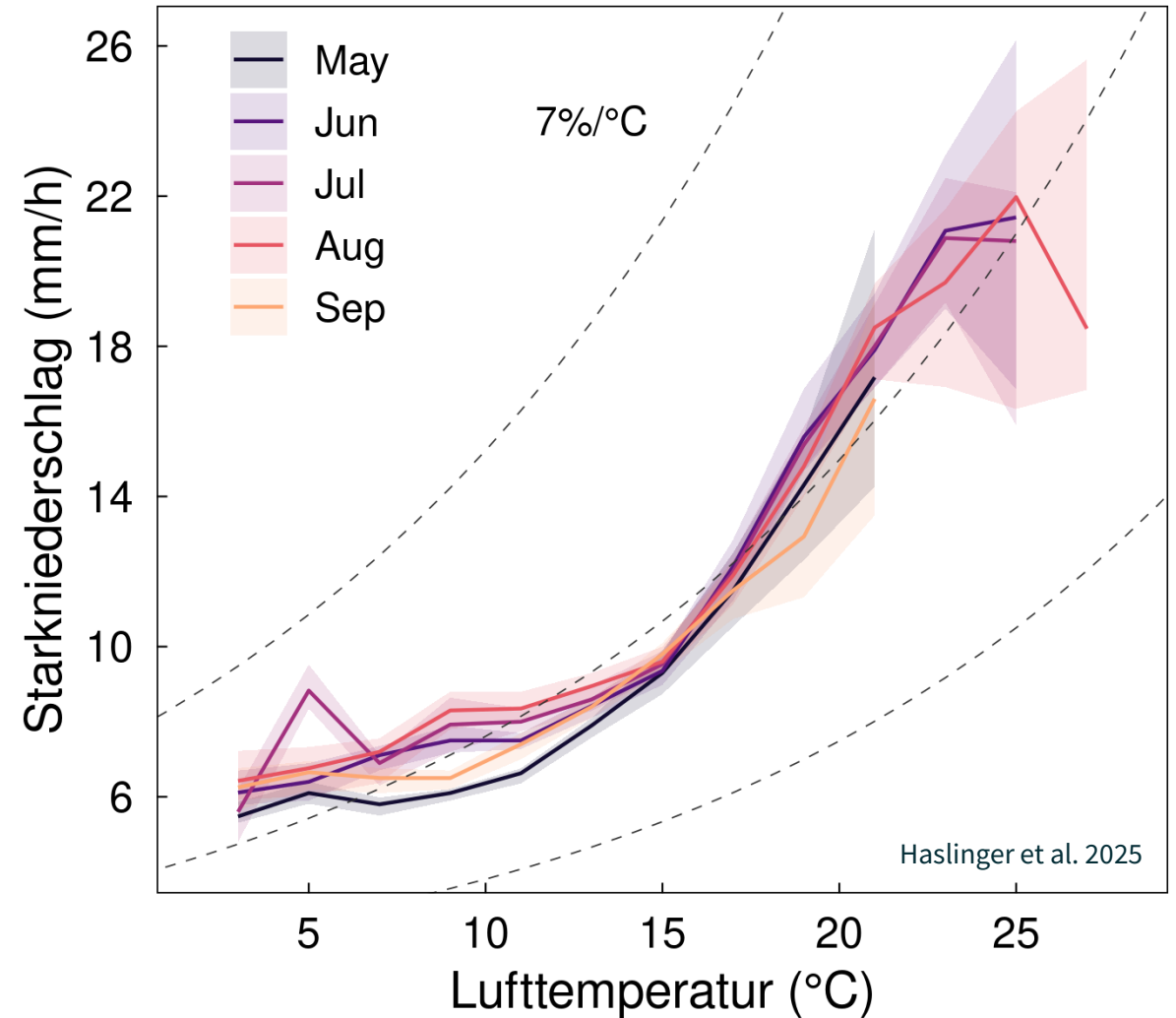
+1,3 mm = +15 %(!)



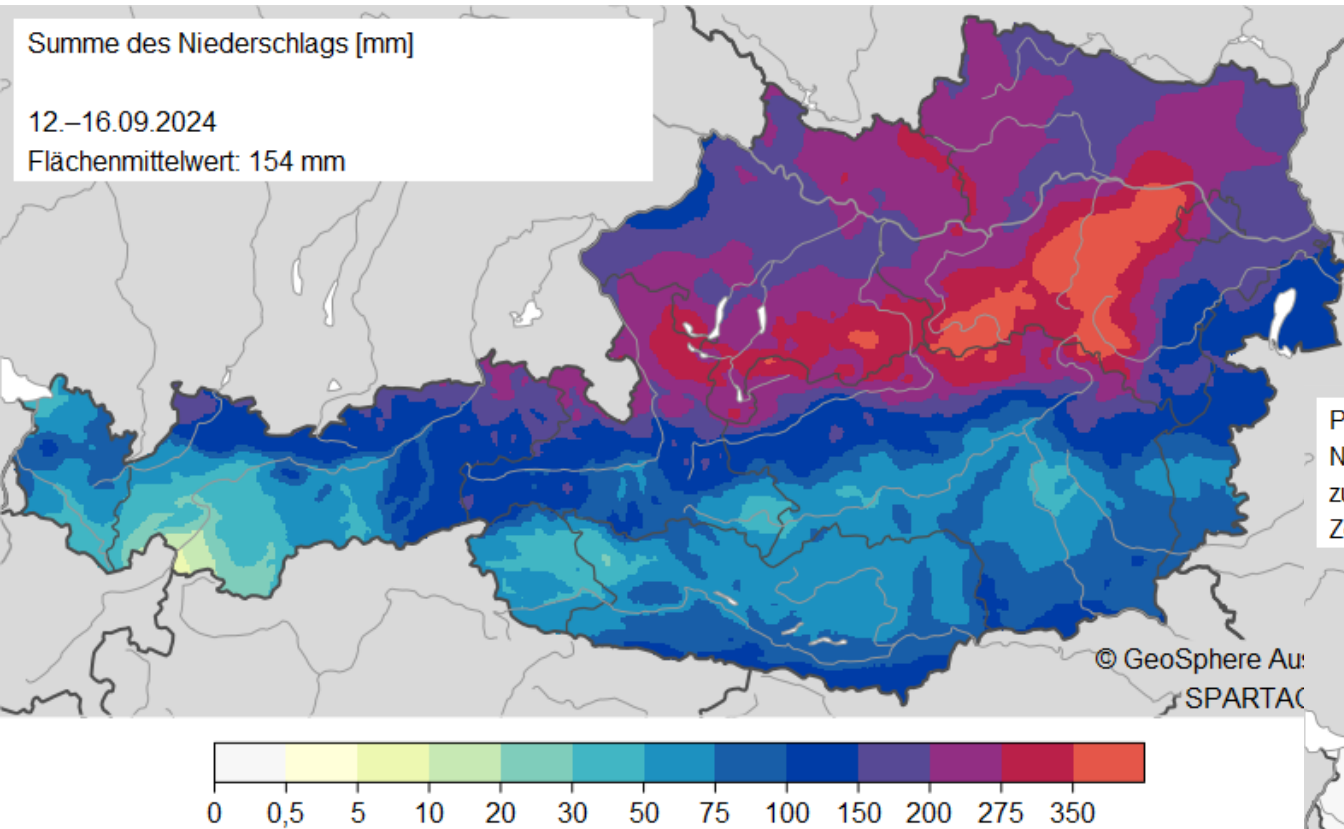
Stundenniederschlagssummen:



„Die Clausius-Clapeyron-Gleichung besagt, dass die spezifische Luftfeuchtigkeit in niedrigen Höhenlagen um etwa 7 % pro °C der Erwärmung zunimmt, wenn man davon ausgeht, dass die relative Luftfeuchtigkeit konstant bleibt.“

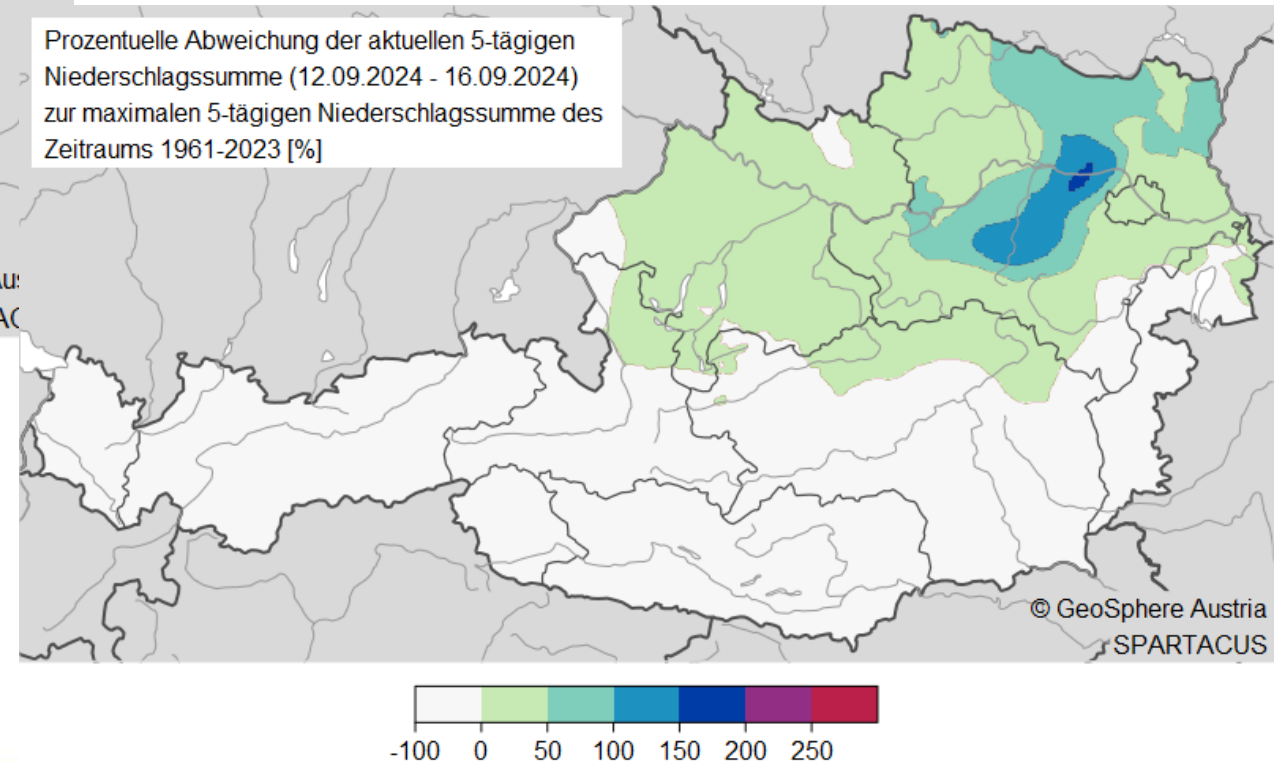


5-tägige Niederschlagssumme 12.-16.09.2024 (SPARTACUS)

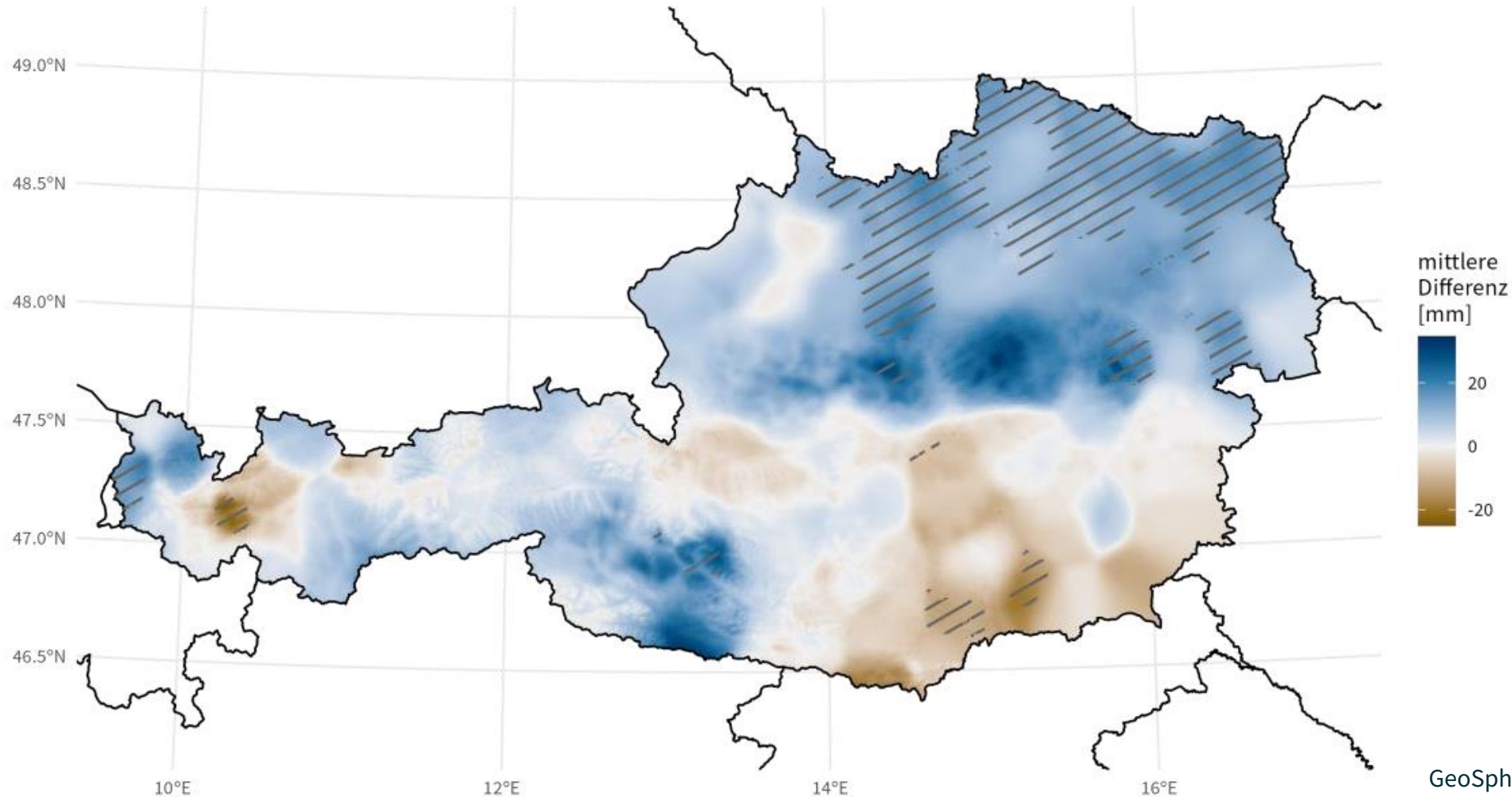


GeoSphere Austria 2024

Vergleich Ereignis 2024 mit dem 1961-2023 maximalen 5-tägigen Niederschlagsereignis

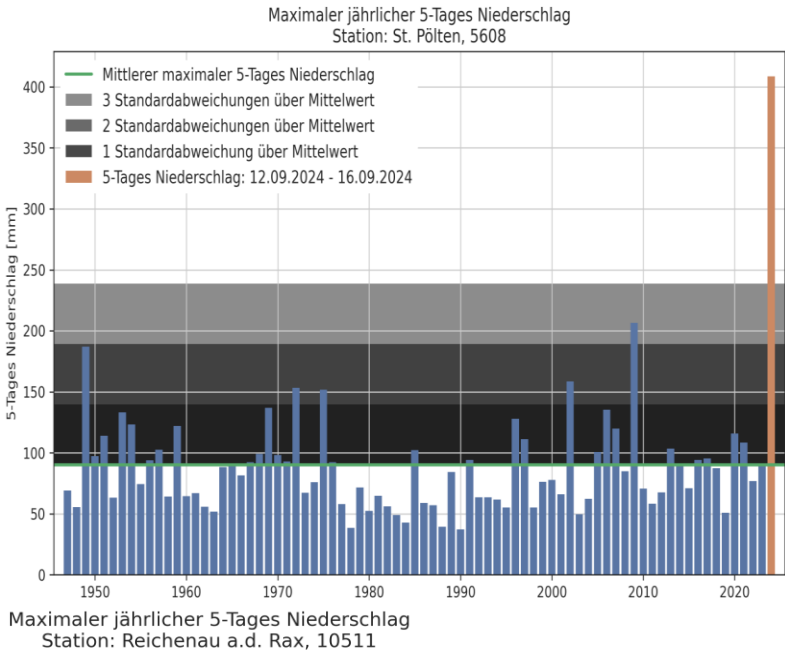


Differenz zwischen der mittleren maximalen 5-tägigen Niederschlagssumme in der 30-jährigen Referenzperiode 1991-2020 und jener der Periode 1961-1990.



GeoSphere Austria 2024

Extremwertstati:



Stationsname	Niederschlagssumme 12.9. 8 Uhr bis 17.9. 8 Uhr [mm = Liter pro m ²]	Bisheriger 5-tägiger Höchstwert [mm = Liter pro m ²]	Jährlichkeit [a]
Salzburg/Freisaal	224	273 (Aug 1991)	<50
Mattsee	241	270 (Aug 1991)	<50
Kremsmünster	205	246 (Sep 1899)	<100
Waidhofen/Ybbs	253	261 (Aug 1949)	<100
Mariabrunn	308	275 (Jul 1997)	ca. 100
St. Wolfgang	276	224 (Okt 2014)	ca. 100
Bad Ischl	296	272 (Jun 2013)	ca. 100
Freistadt	214	243 (Aug 2002)	ca. 100
Amstetten	242	198 (Aug 1949)	> 100
Puchberg	269	210 (Mrz 2002)	>100

Fragestellung: Wie groß ist der Anteil des anthropogenen Klimawandels an der Magnitude und Häufigkeit des beobachteten Extremereignisses?

World Weather Attribution:

Data	GMST		
		Probability ratio (95% CI)	Intensity change (%) (95% CI)
Observations	Past- Present	2.79 (0.372 ... 1190)	11.3 (-9.71 ... 38.0)
Models		1.72 (0.872 ... 3.61)	6.39 (1.84 ... 11.2)

Aus **Beobachtungsdaten**:
+11% durch globale
Klimaerwärmung
Große Unsicherheiten -10
bis +38%

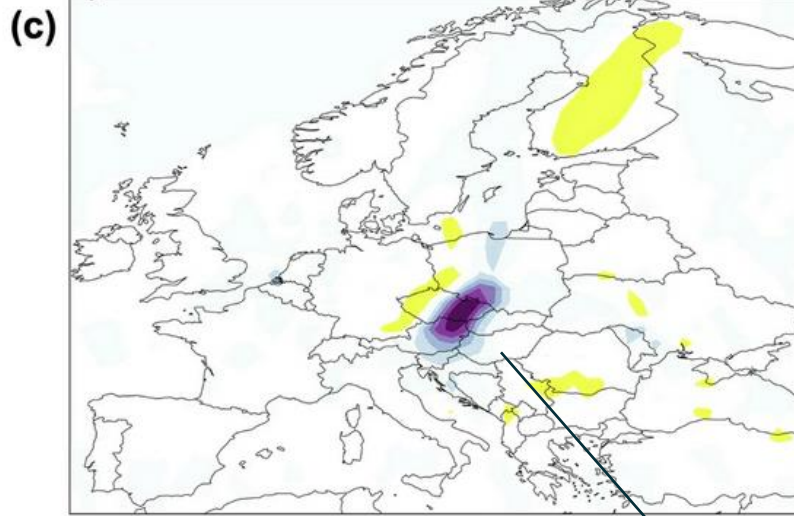
Aus **Klimamodelldaten**:
+6% durch globale
Klimaerwärmung
Unsicherheiten +2 bis +11%

Kimutai et al. 2024
[Doi: 10.25561/114694](https://doi.org/10.25561/114694)

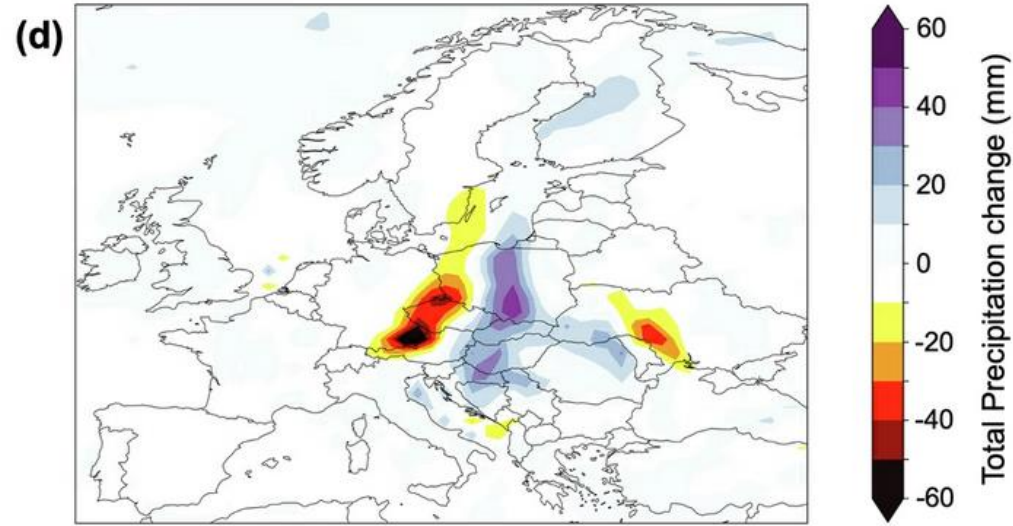
Fragestellung: Wie groß ist der Anteil des anthropogenen Klimawandels an der Magnitude und Häufigkeit des beobachteten Extremereignisses?

Alfred Wegener Institut:

Present minus Preindustrial



4°C minus Present

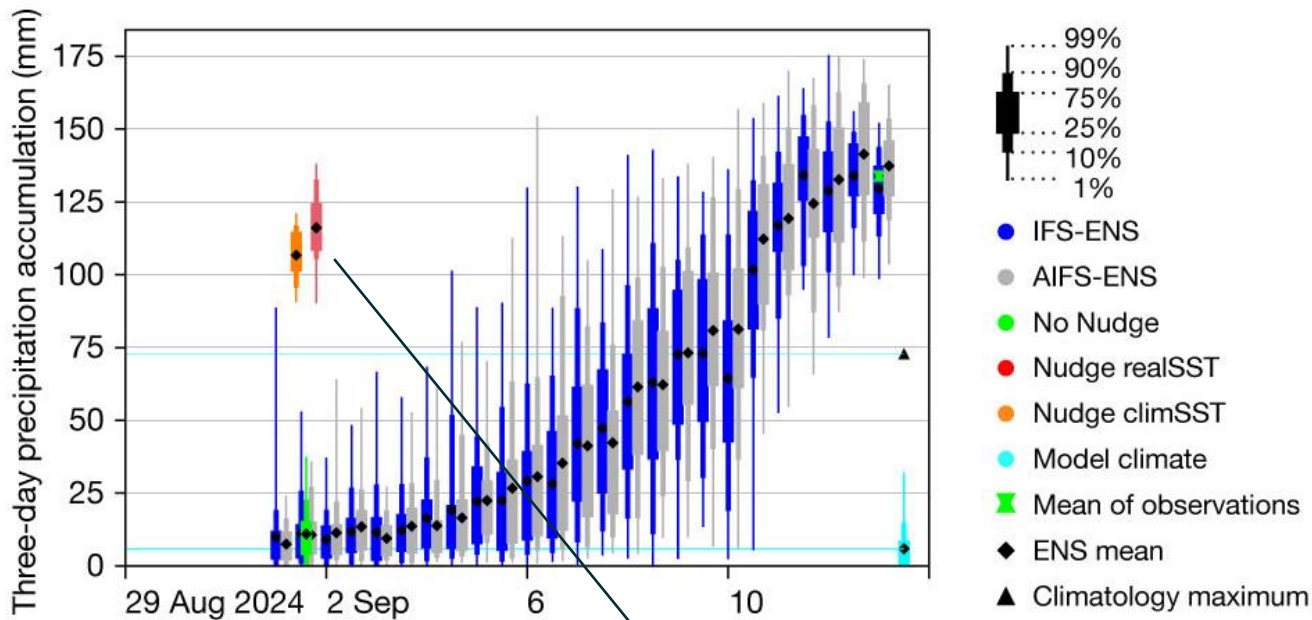


Athanase et al. 2024
<https://doi.org/10.1038/s43247-024-01847-0>

Aus „**Storyline-Simulationen**“:
+8% im Vergleich zu
vorindustriellem Klima

Fragestellung: Wie groß ist der Anteil des anthropogenen Klimawandels an der Magnitude und Häufigkeit des beobachteten Extremereignisses?

ECMWF

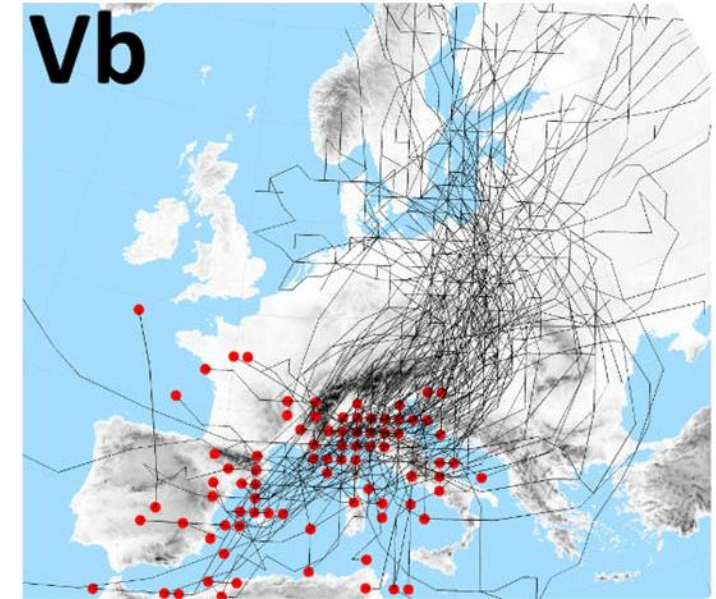
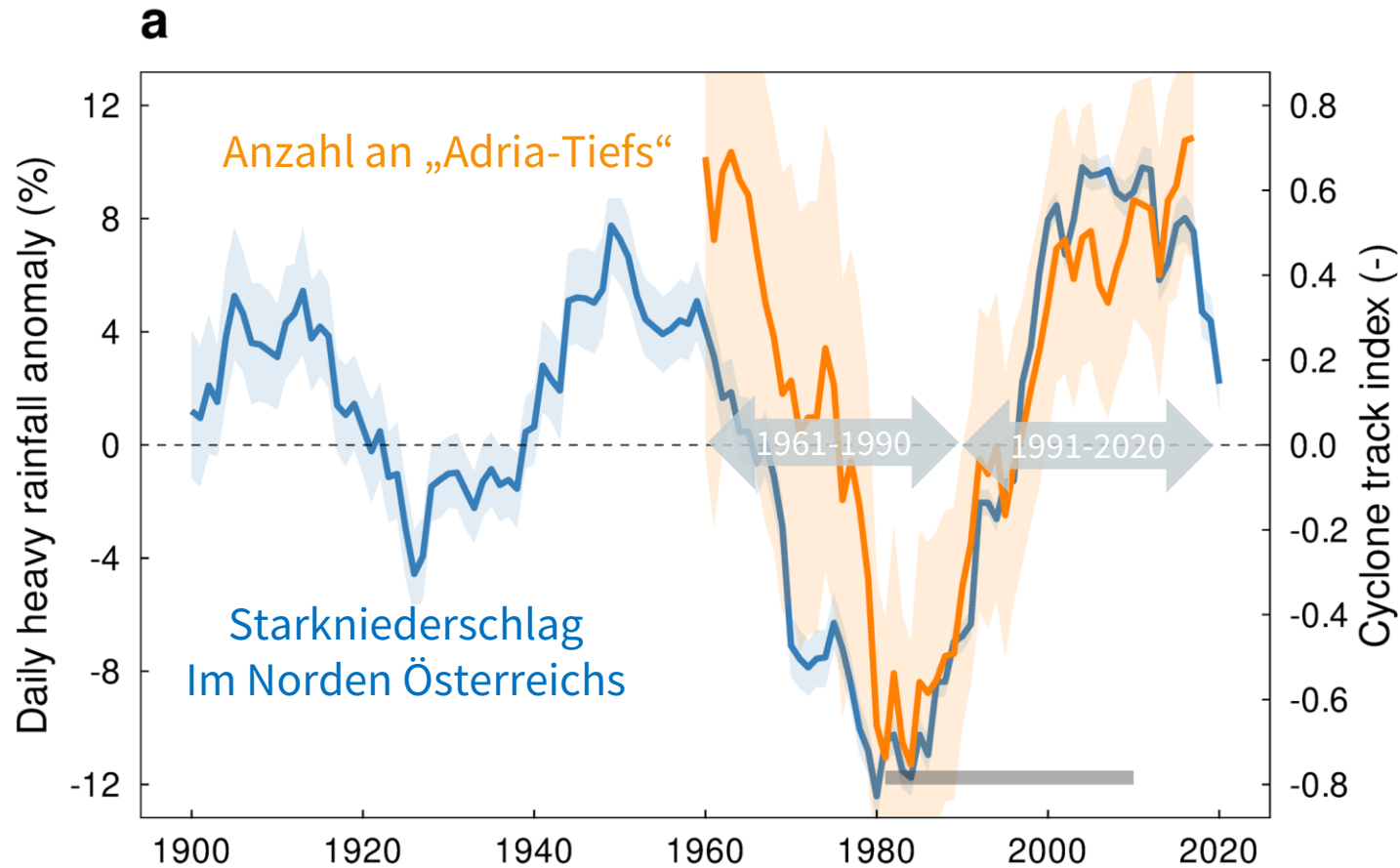


ECMWF 2024

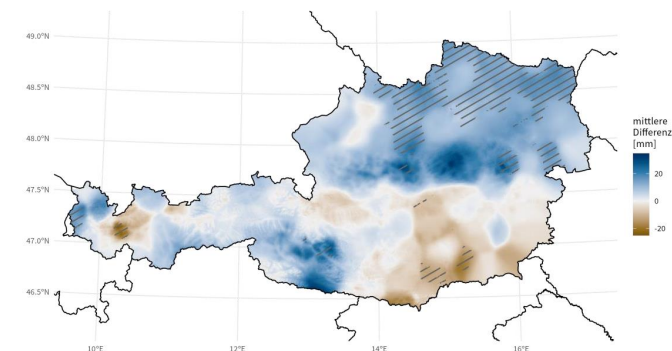
<https://www.ecmwf.int/en/newsletter/182/news/severe-rain-central-europe-storm-boris>

Aus **vergleichenden Vorhersagesimulationen:**
+10% im Vergleich zu vorindustriellen Meerestemperaturen

Langfristige Veränderung von Starkniederschlägen und
die Rolle der atmosphärischen Zirkulation

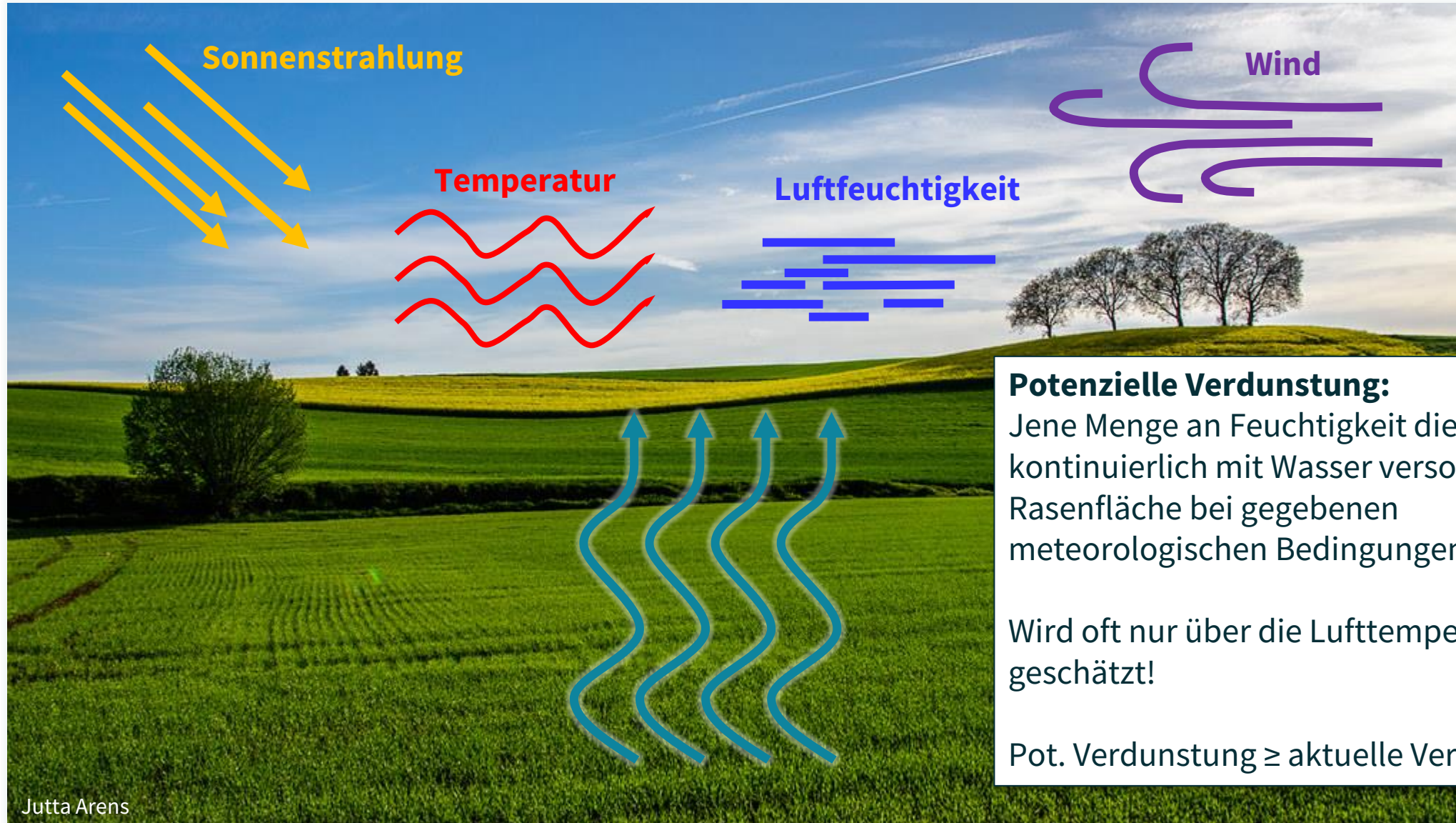


Haslinger et al. 2025
Hofstätter et al. 2018



Dürren...





Klimawandel in Österreich – potenzielle Verdunstung



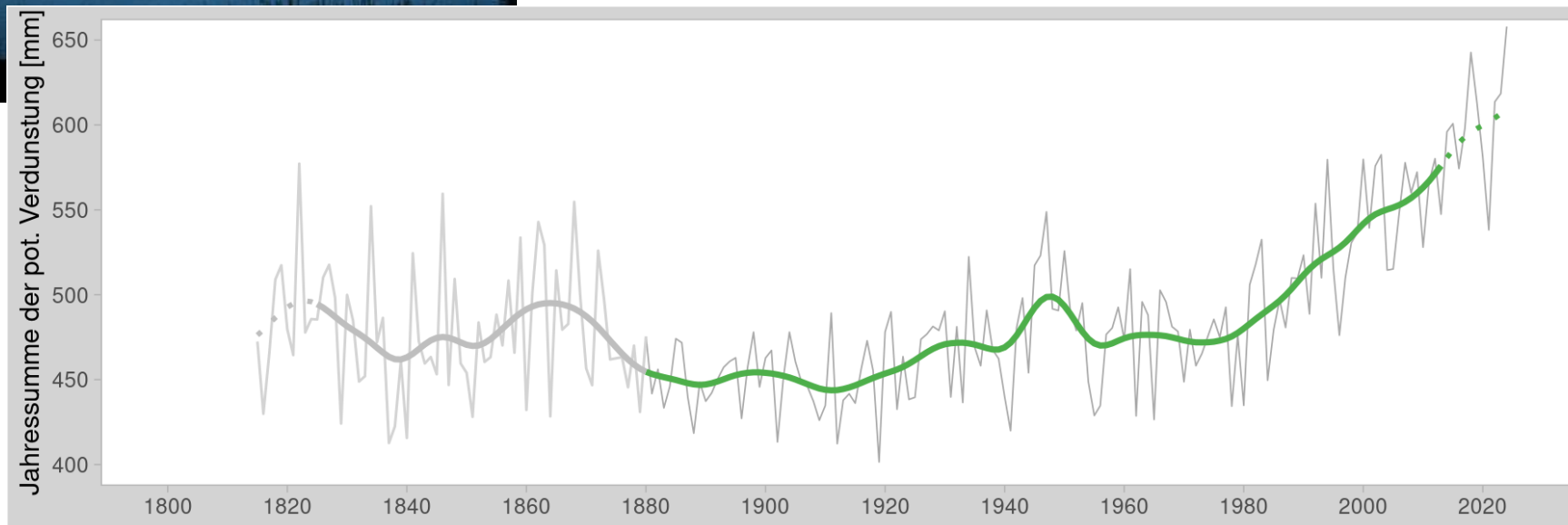
1961-1990

482 mm

1991-2020

557 mm

+ 75 mm



Ein Indikator für den Bodenwasserhaushalt – **die klimatische Wasserbilanz:**

Potenzielle Verdunstung

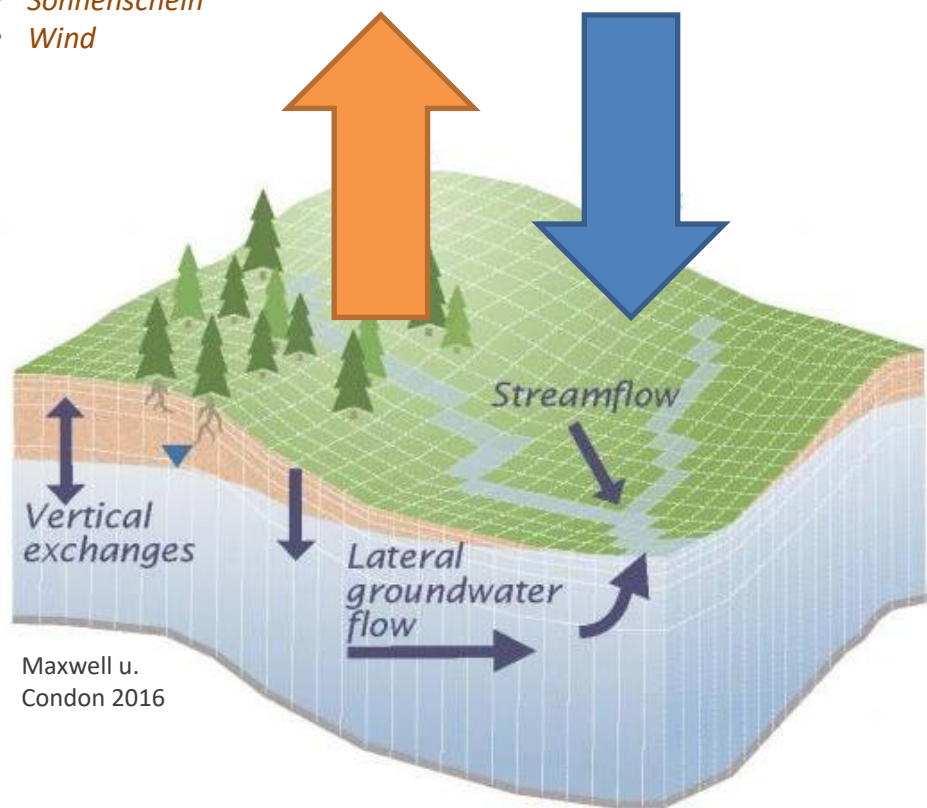
- Temperatur
- Sonnenschein
- Wind

Niederschlag (+Schneesmelze)

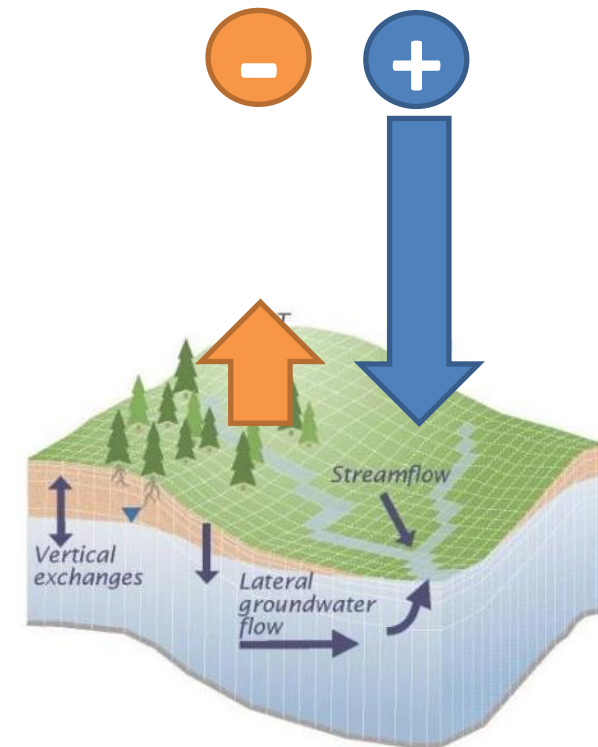
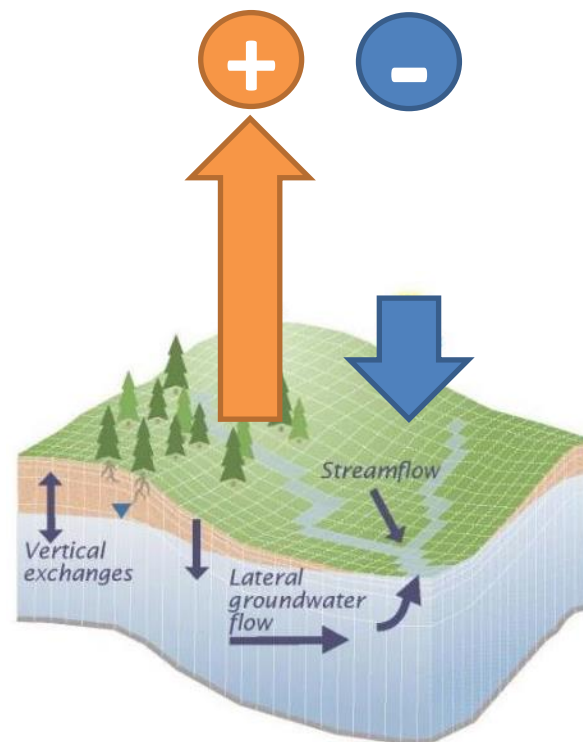
Klimatische Wasserbilanz = Niederschlag – pot. Verdunstung

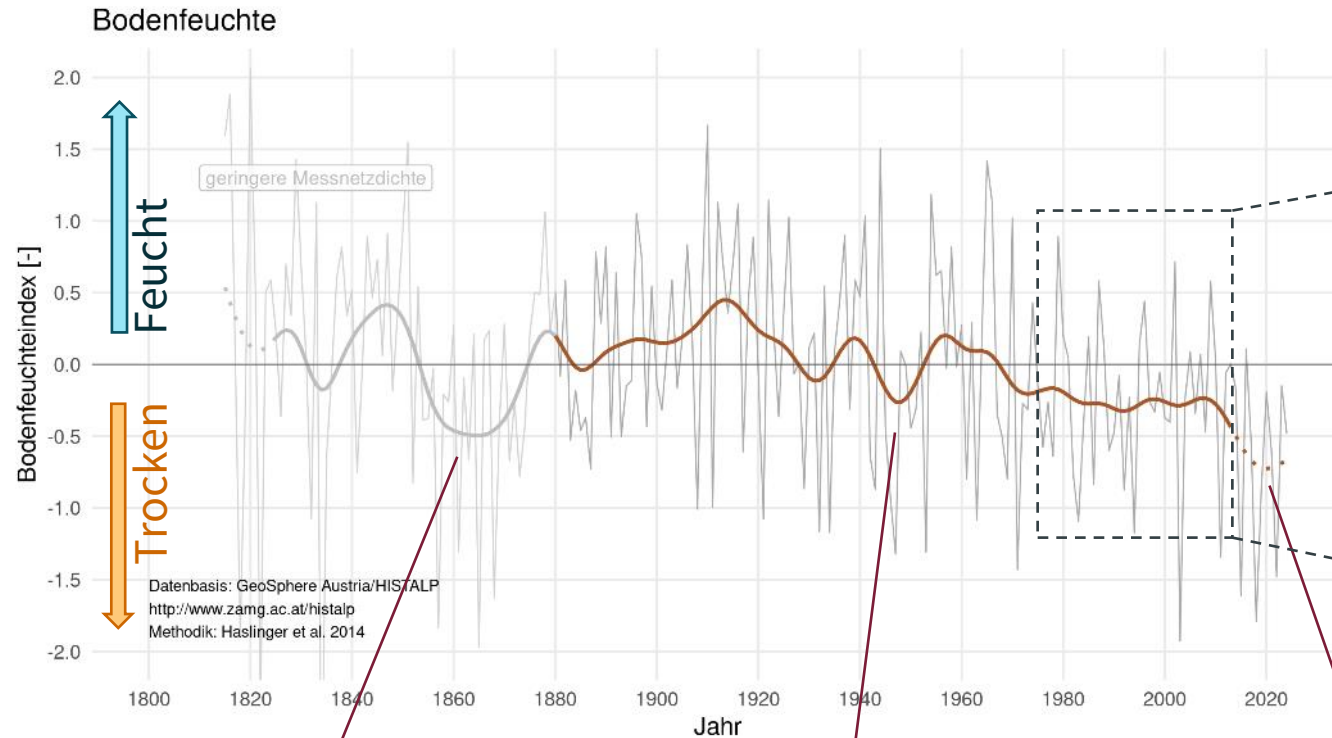
Trockene Bedingungen

Feuchte Bedingungen

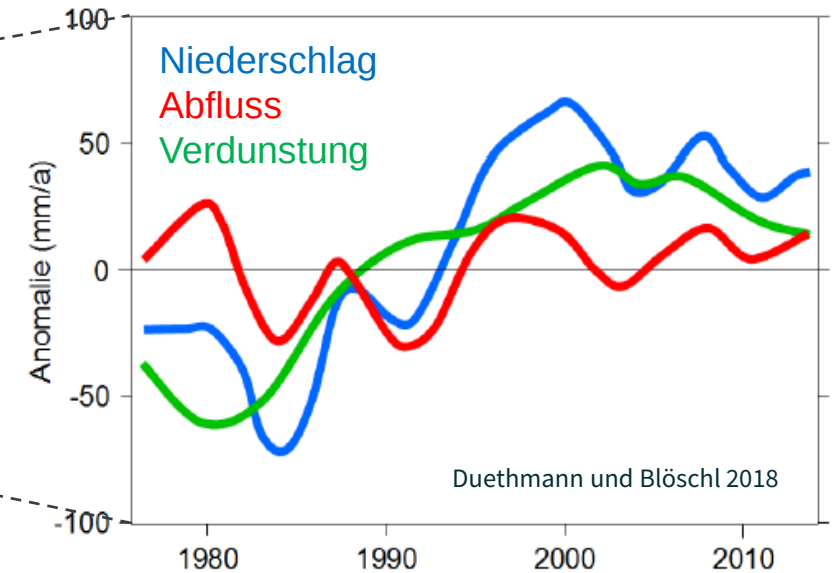


Maxwell u.
Condon 2016





Änderung der Wasserbilanzgrößen



Dürredekaden

1860er Jahre: Letzte
Vollständige
Austrocknung des
Neusiedler Sees

1940er Jahre:
Extremes
Niederwasser an der
Donau

2010er Jahre (?):
Rezente Dürrephase

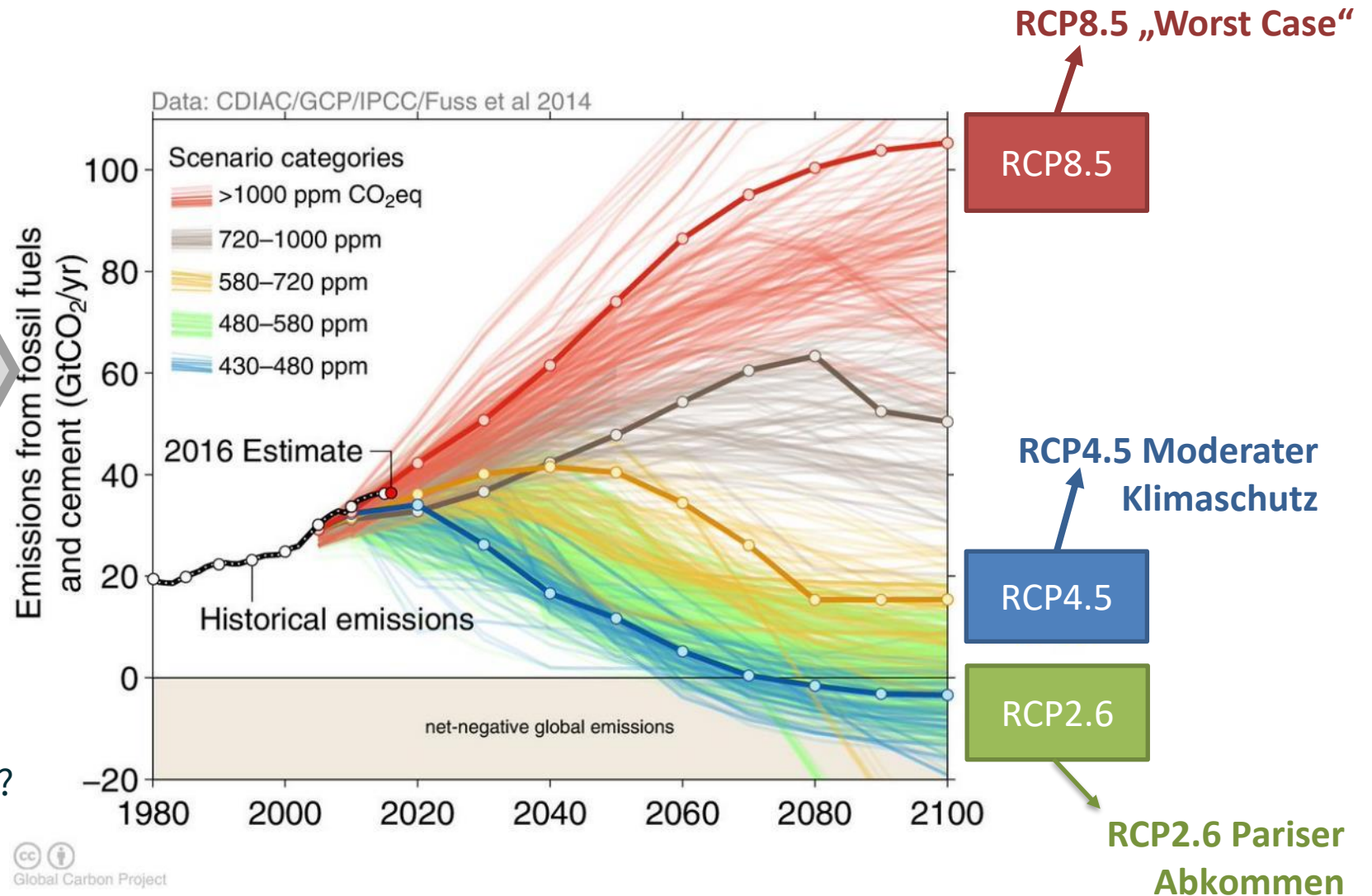
- Langfristig zunehmender Trend der Verdunstung
- Gründe: Höhere Temperaturen, mehr Sonnenschein, längere Vegetationsperiode

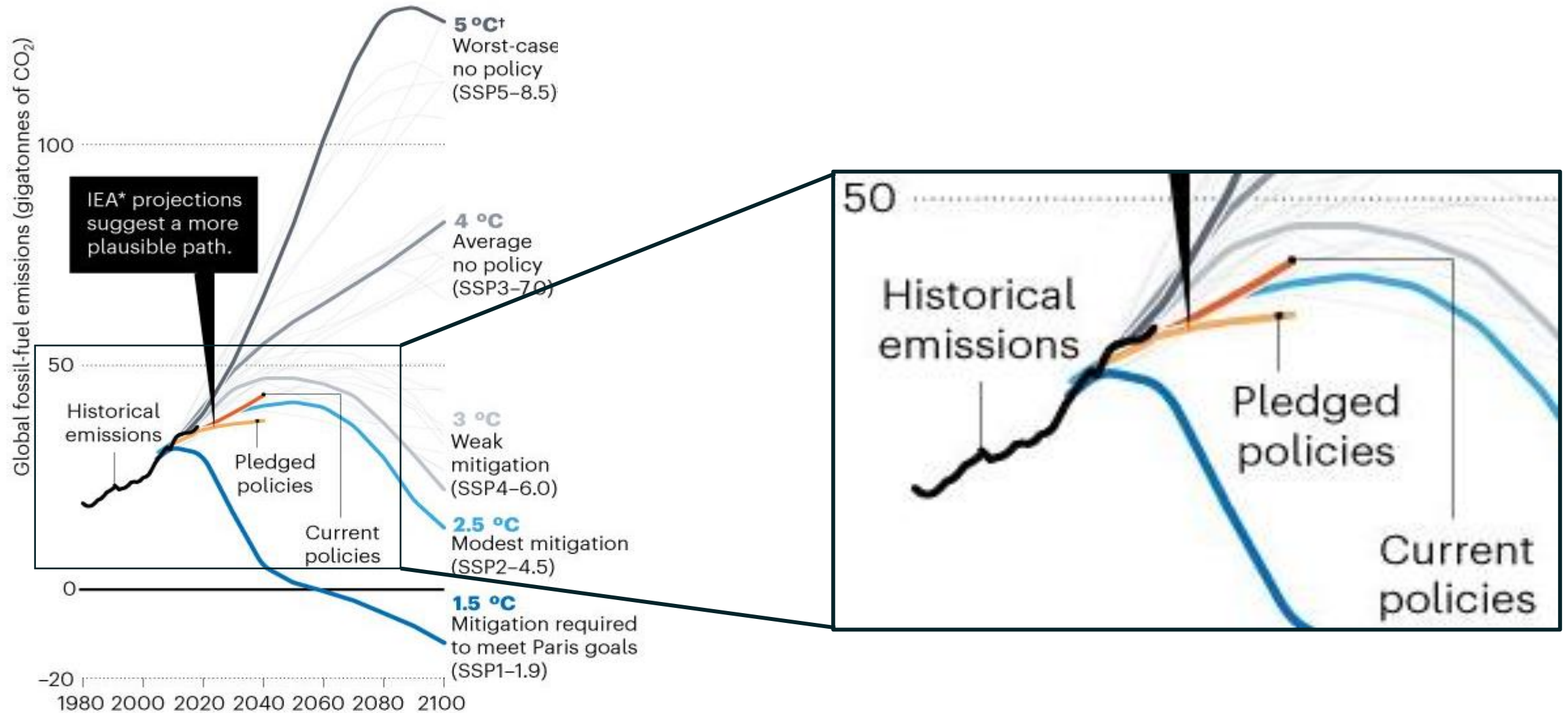
Wie wird sich das Klima in Zukunft entwickeln?



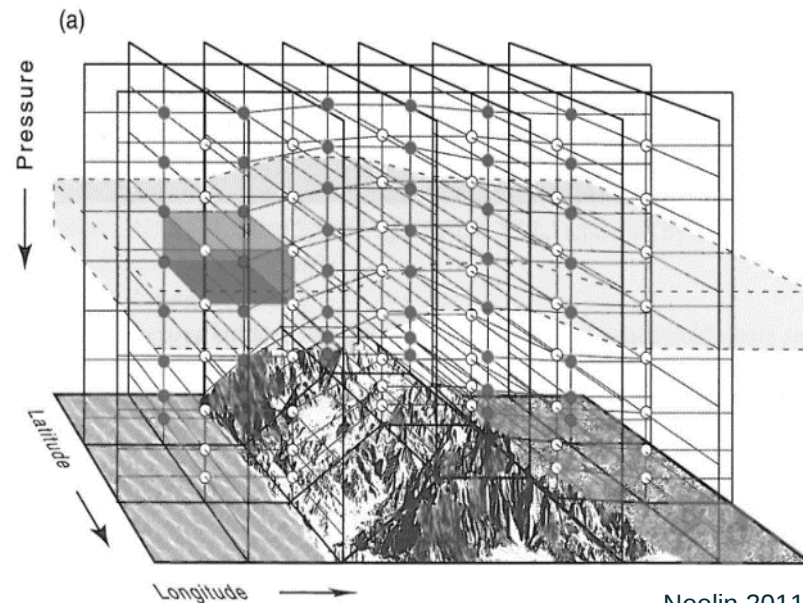
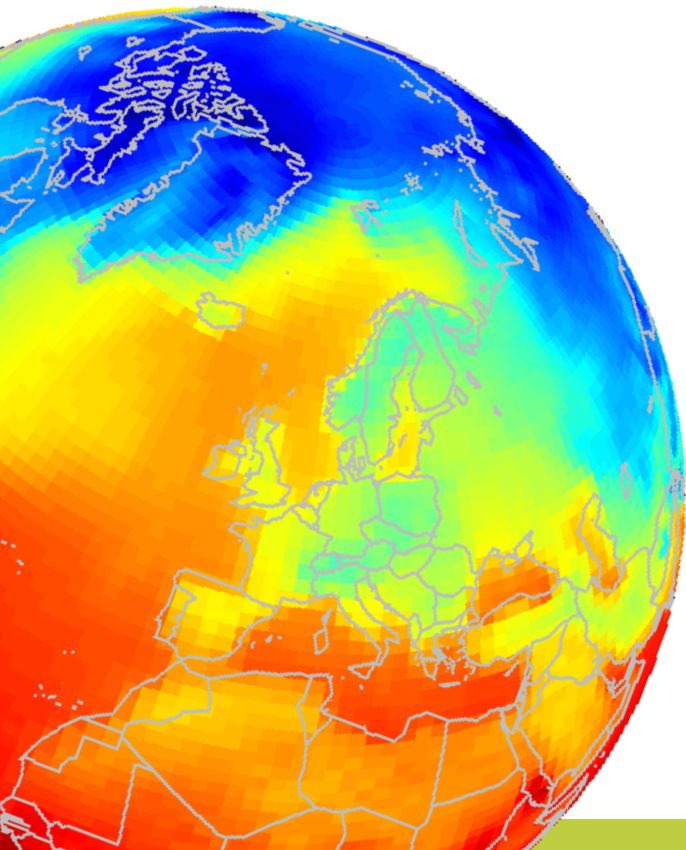


Sozioökonomische Entwicklung:
Globalisierung oder Regionalisierung?
Bevölkerungswachstum?
Anpassung und/oder Mitigation?

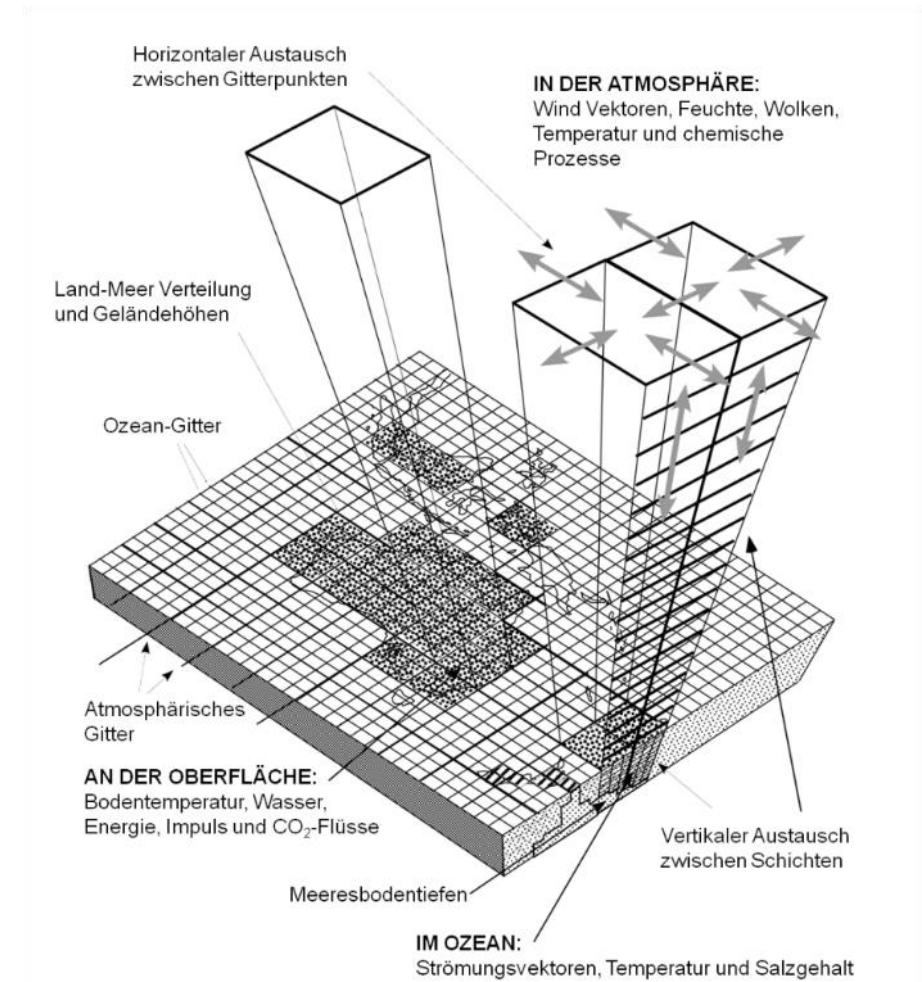




- Klimamodelle berechnen atmosphärische Prozesse auf einer 3-dimensionalen Matrix
- Gitterweite derzeit: 200-100km, in Einzelfällen bis 25km; durch stetig steigende Computerleistung kontinuierliche Verringerung der Auflösung
- Gekoppelt mit Ozean-, Biosphären-, und Eisschildmodellen



Neelin 2011



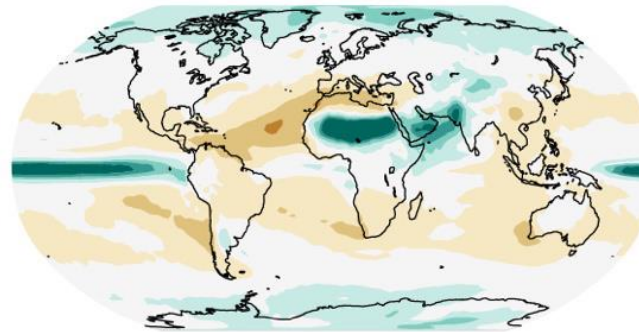
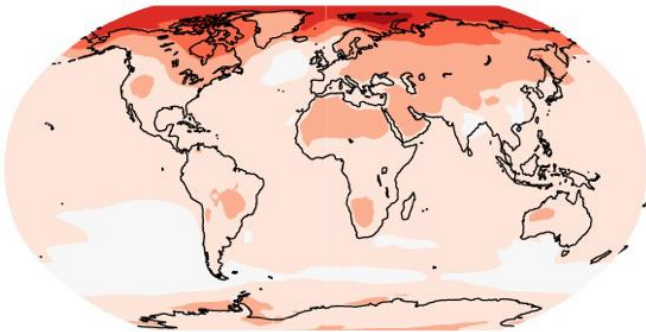
McCuffie und Henderson-Sellers 2005

Temperatur

Niederschlag

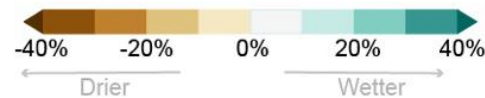
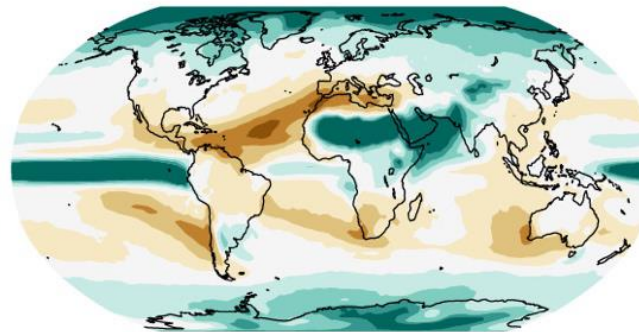
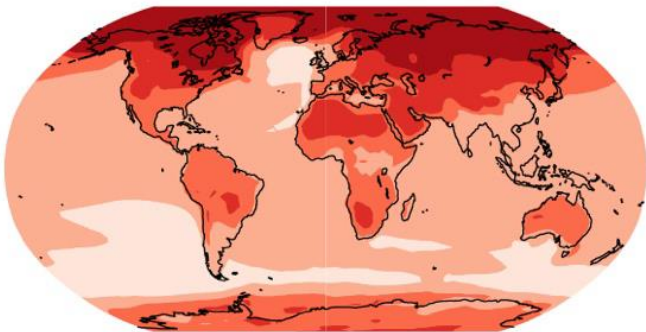
„Pariser
Abkommen“

+1.5°C

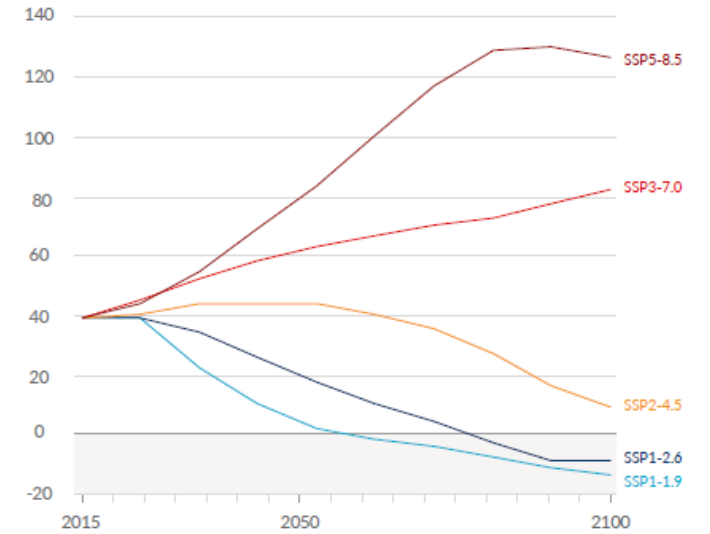


„Moderater
Klimaschutz“

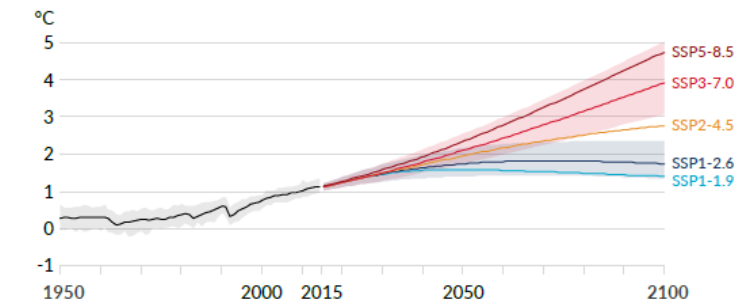
+3.0°C



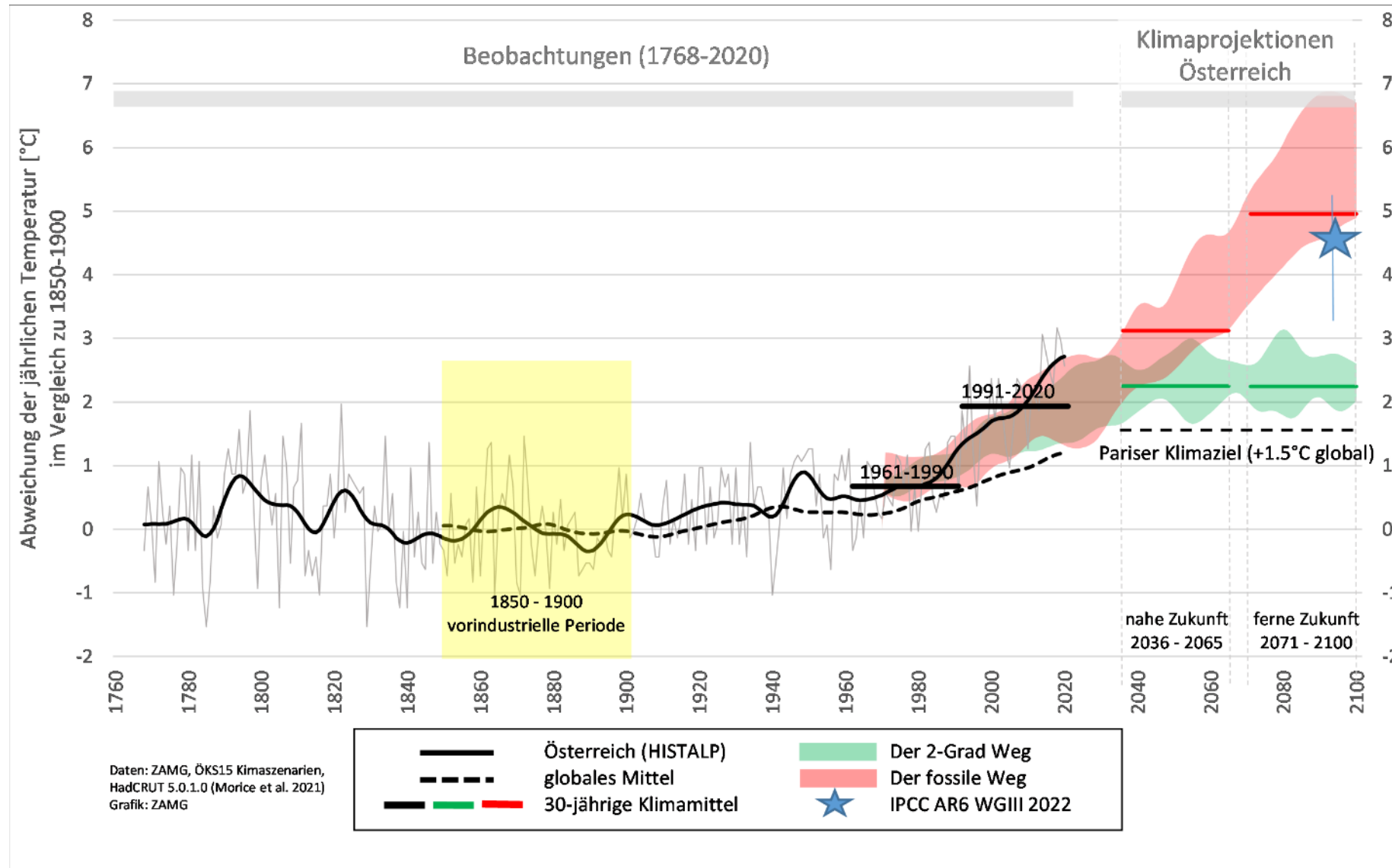
Carbon dioxide (GtCO₂/yr)



a) Global surface temperature change relative to 1850-1900



Klimaszenarien für Österreich – Temperaturentwicklung



CLIMAMAP
Climate Change Impact Maps for Austrian Regions

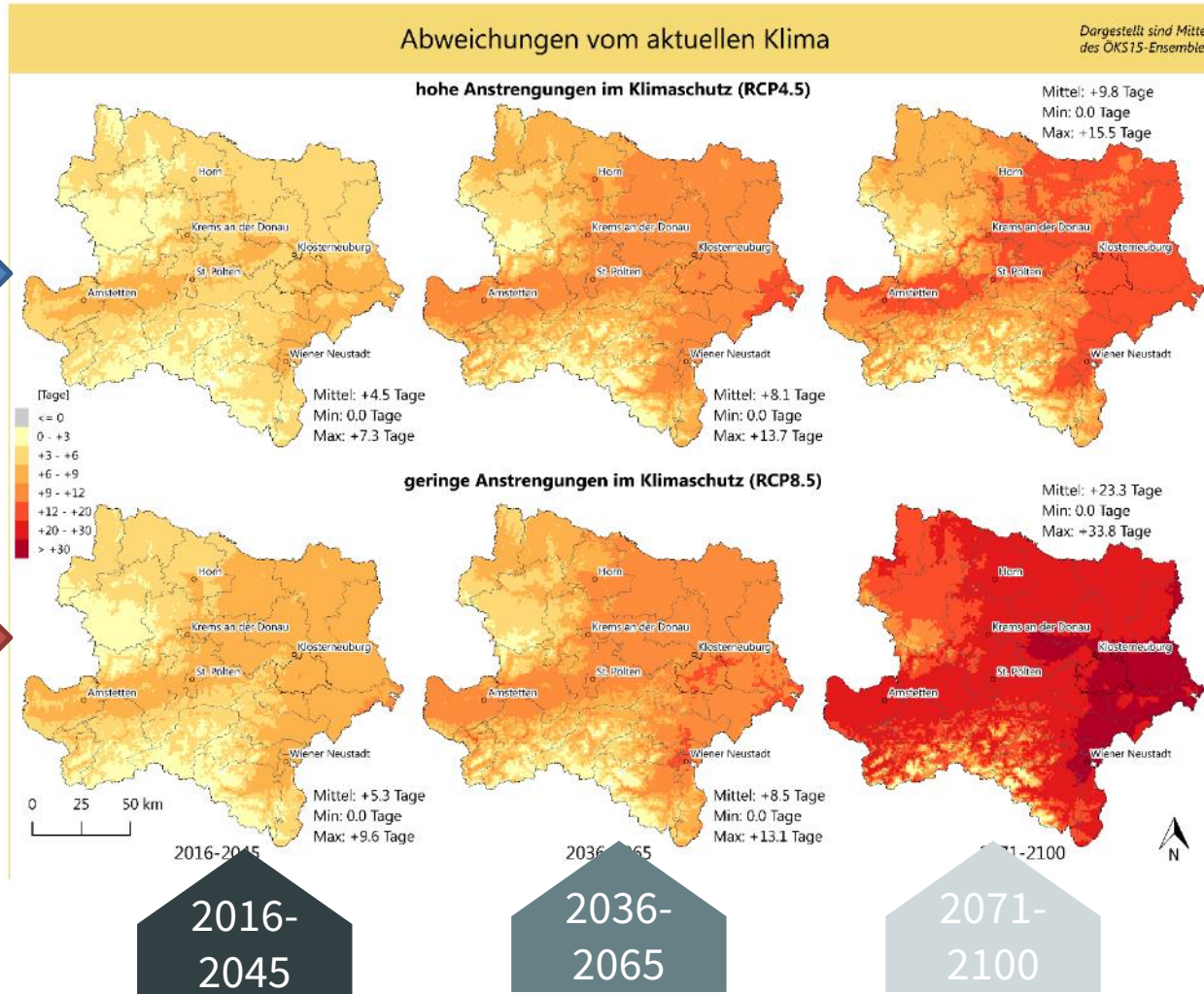
Hitzetage

Abweichungen vom aktuellen Klima

Dargestellt sind Mittel
des OKS15-Ensembles

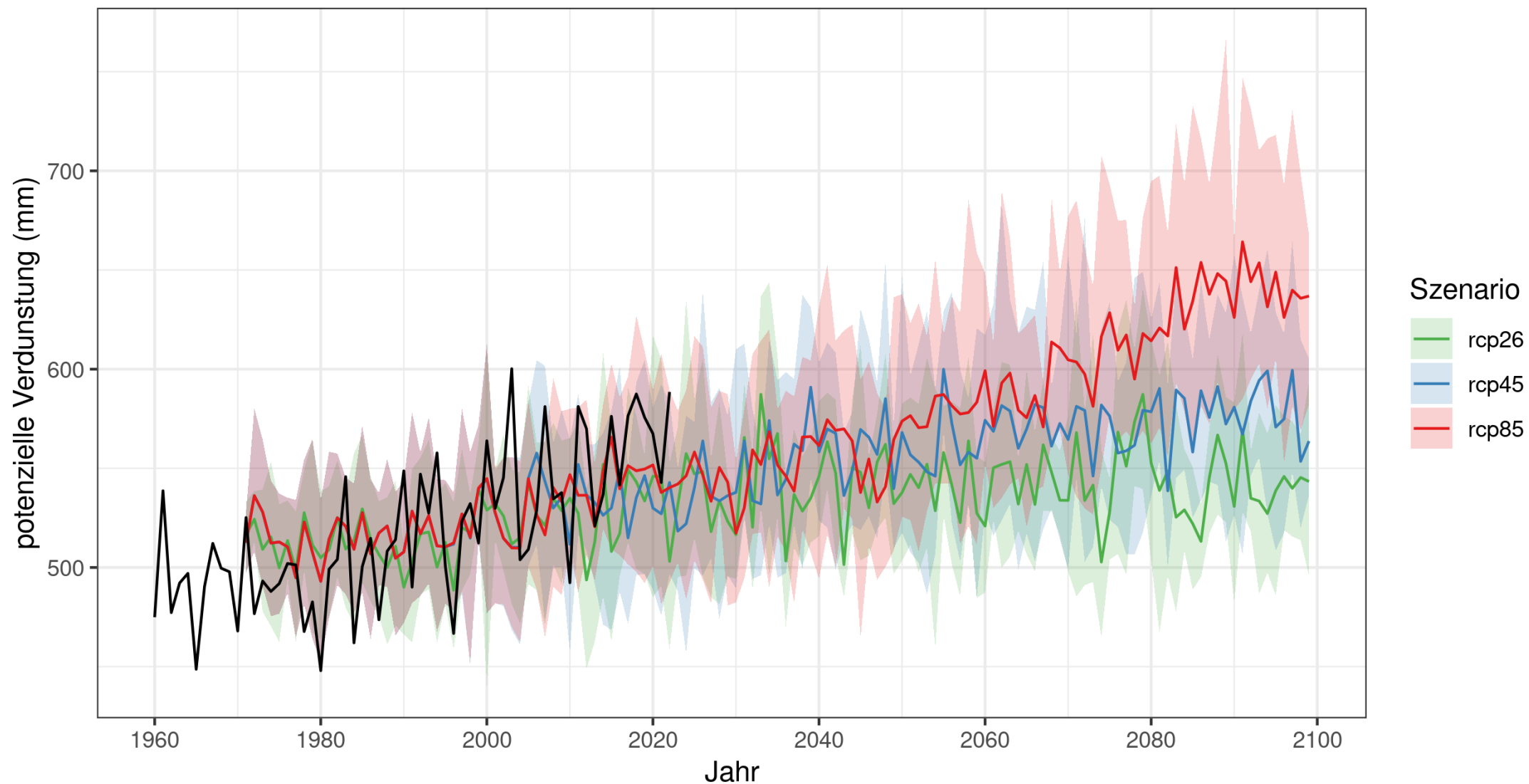
Moderater
Klimaschutz

„Worst Case“



Alle Daten und Informationen
sind unter
data.ccca.ac.at/climamap
frei verfügbar!

Jahressumme der potenziellen Verdunstung

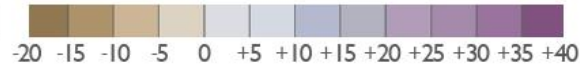


Niederschlagsänderung, „Worst Case“ Szenario

Geringe Modell-
übereinstimmung



Simulierte
Niederschlagsänderung [%]



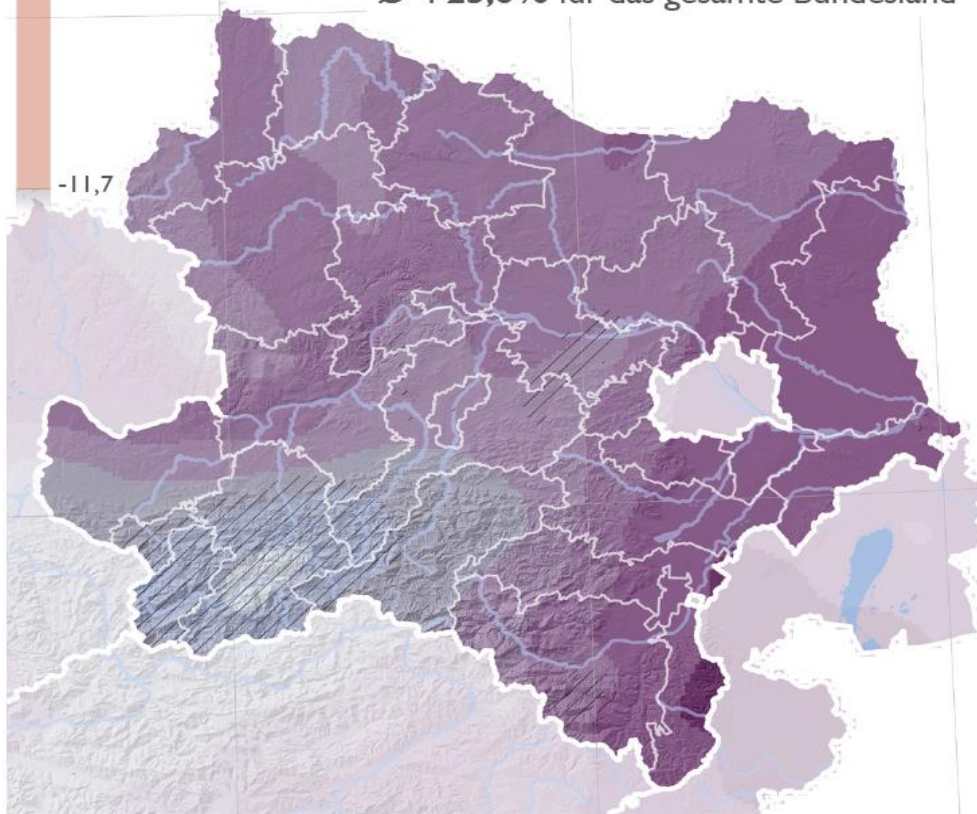
Keine signifikante
Änderung



Schwankungsbreite [%]
+10,9

2071-2100 Winter | RCP8.5

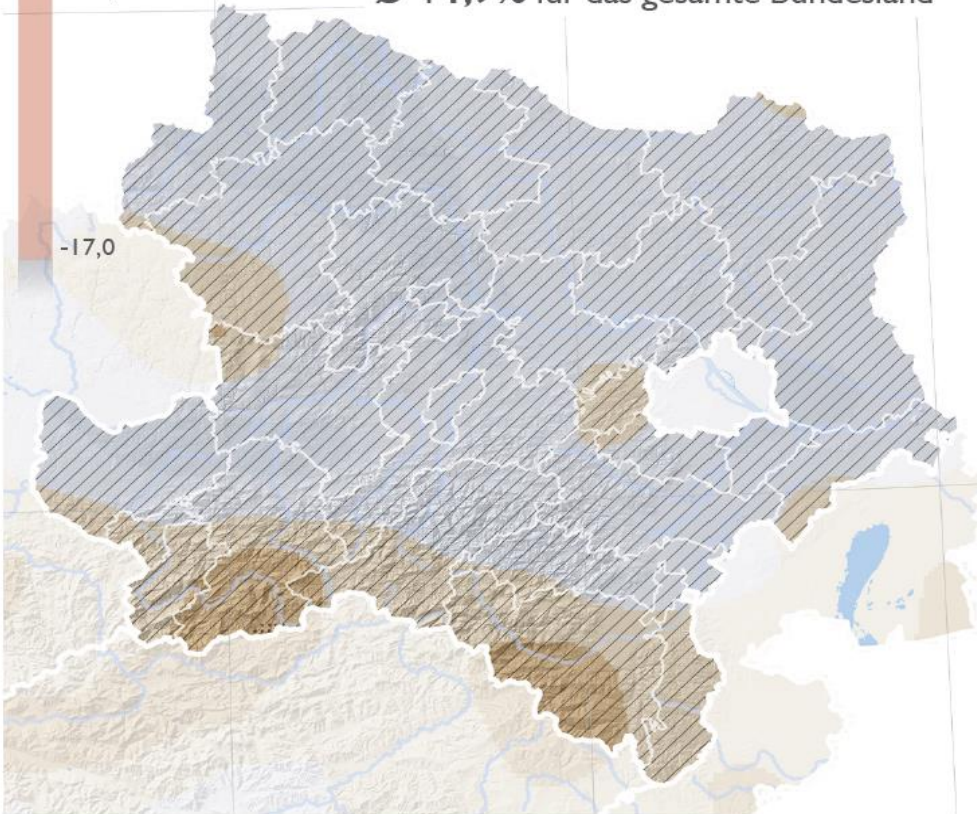
Ø +25,6% für das gesamte Bundesland



Schwankungsbreite [%]
+17,7

2071-2100 Sommer | RCP8.5

Ø +1,9% für das gesamte Bundesland



Abweichungen vom aktuellen Klima

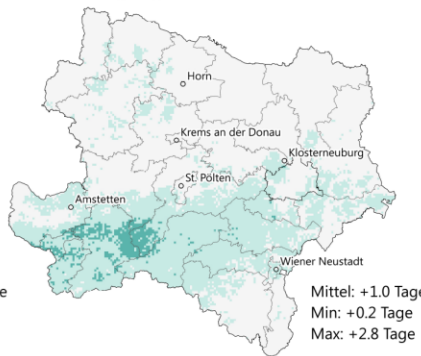
Dargestellt sind Mittel
des OKS15-Ensembles

hohe Anstrengungen im Klimaschutz (RCP4.5)

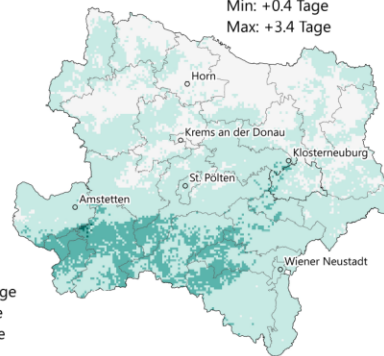
Mittel: +1.3 Tage
Min: +0.4 Tage
Max: +3.4 Tage



Mittel: +0.7 Tage
Min: -0.1 Tage
Max: +2.1 Tage

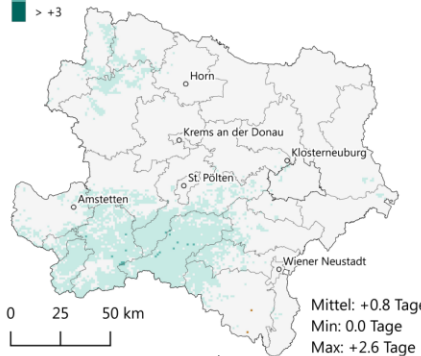


Mittel: +1.0 Tage
Min: +0.2 Tage
Max: +2.8 Tage

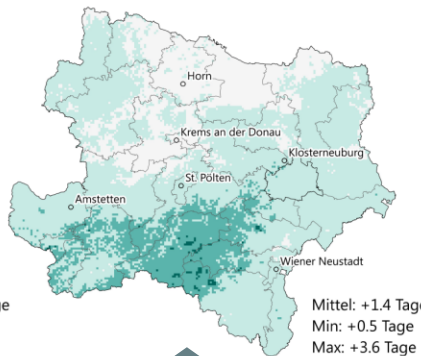


geringe Anstrengungen im Klimaschutz (RCP8.5)

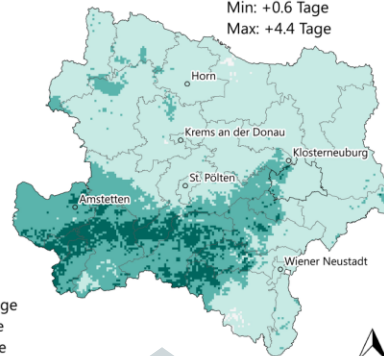
Mittel: +1.9 Tage
Min: +0.6 Tage
Max: +4.4 Tage



Mittel: +0.8 Tage
Min: 0.0 Tage
Max: +2.6 Tage



Mittel: +1.4 Tage
Min: +0.5 Tage
Max: +3.6 Tage



Indikatorberechnung und GIS-Bearbeitung

Benedikt Becsi, Johannes Laimighofer
Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Meteorologie
meteorologie@boku.ac.at

Datenquellen

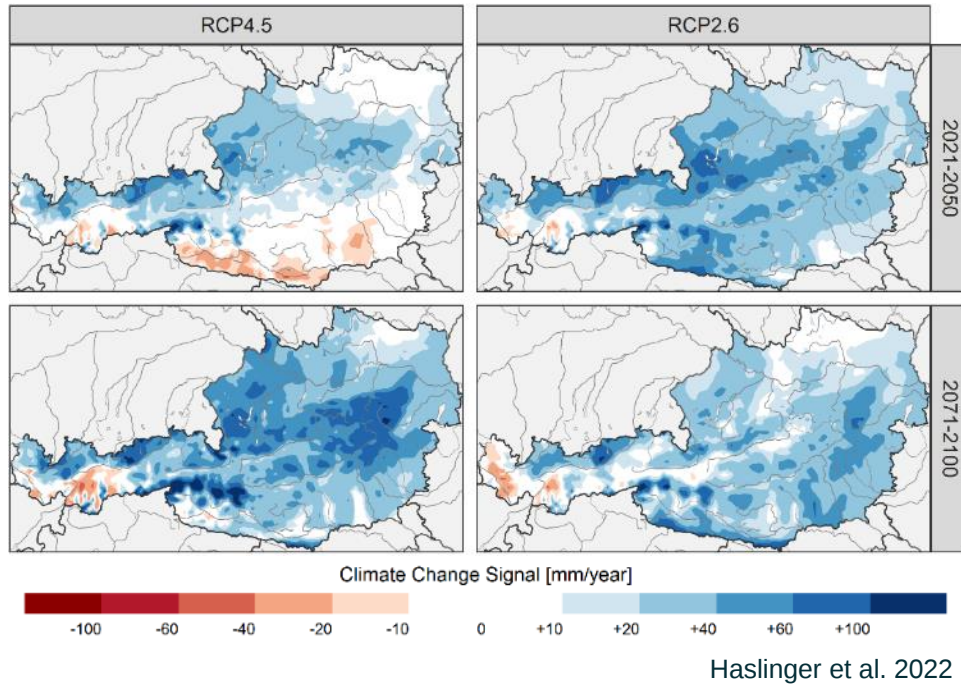
Spartacus (ZAMG, Hiebl et al. 2015) | Gpard (ZAMG, Hofstätter et al. 2016)
OKS15 (Uni Graz, Wegener Center, Leuprecht et al. 2016)

Design
awdesign.at

Alle Daten und Informationen
sind unter
data.ccca.ac.at/climamap
frei verfügbar!

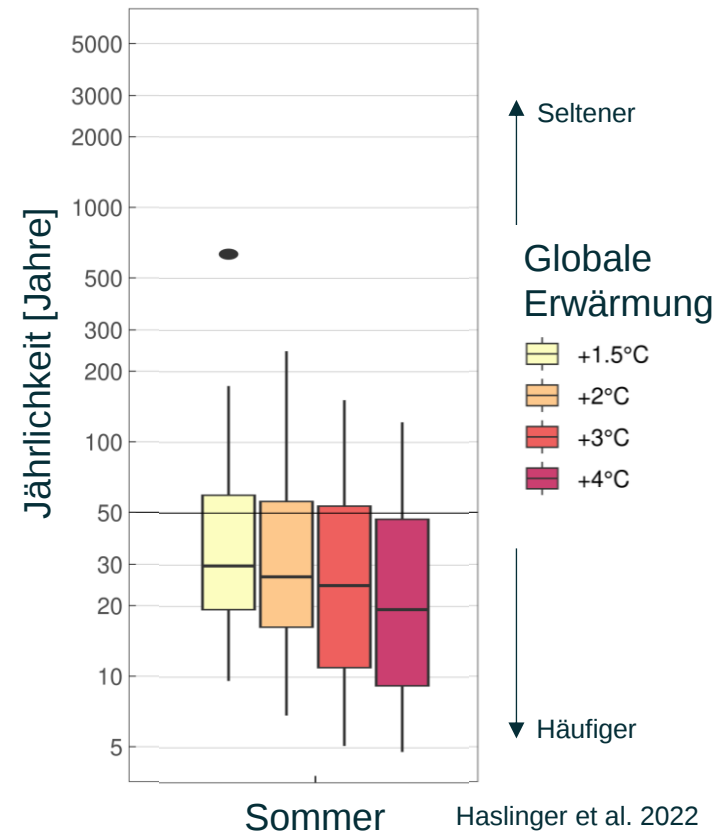
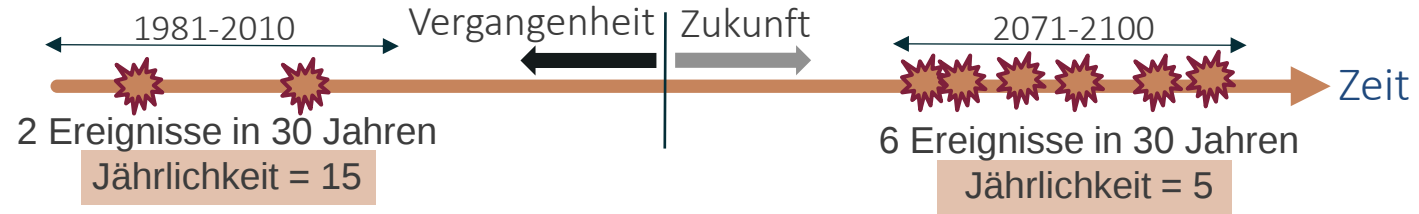
Auswertung der ÖKS15 Klimaszenarien

Änderung der mittleren klimatischen Wasserbilanz als Indikator für die Bodenfeuchte



- Im Jahresmittel positives Änderungssignal der klimatischen Wasserbilanz → feuchtere Bedingungen

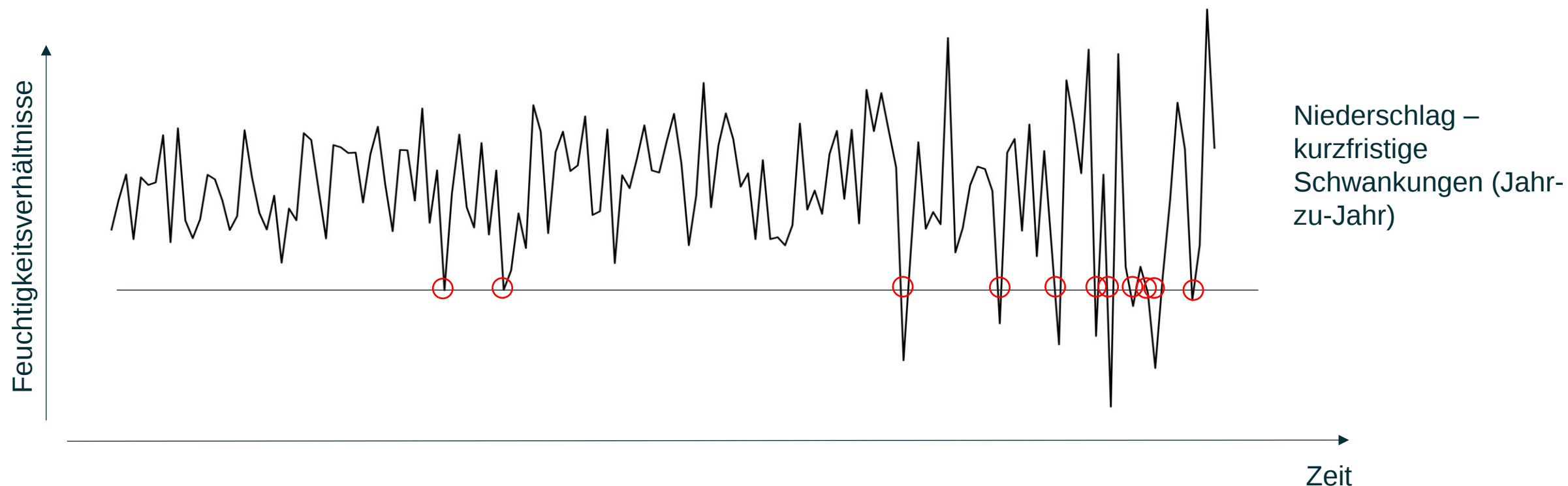
Änderungen in der Häufigkeit extremer Dürreereignisse



Jährlichkeit für ein 50-jähriges Ereignis sinkt auf 30-20 Jahre

→ Ereignisse dieser Stärke werden häufiger

Das Risiko für Dürre nimmt in Zukunft zu – warum?



Das Klima in Mitteleuropa wird mit Fortschreiten des Klimawandels „variabler“

Temperatur:

Weiterer Anstieg, Zunahme an Hitzetagen, Verlängerung der Vegetationsperiode

Jahresniederschlag:

Wenig Änderung, eher leichte Zunahme

Starkniederschlag :

Weitere Zunahme, physikalischer Zusammenhang mit Lufttemperatur

Verdunstung:

Weitere Zunahme, bedingt durch Temperaturanstieg, Verlängerung der Vegetationsperiode

Generell gilt:

**Das (Niederschlags)Klima wird zunehmend „variabler“,
Ausreißer nach oben und unten werden größer!**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Klimasystem und Klimafolgen

Klaus Haslinger

klaus.haslinger@geosphere.at

