
Rekorde und schwarze Schwäne

Extremereignisse im Klimawandel

Prof. Dr. Erich Fischer

Institute for Atmospheric and Climate Science

ETH Zürich

erich.fischer@env.ethz.ch

ETH zürich

EUROPEAN STATE OF THE CLIMATE

2023

KEY EVENTS

View as

Map

Timeline

Filter by

Event >

Month >



LEGEND



Flood



Storm



Windstorm



Heatwave



Wildfire



Marine Heatwave



Drought



Coldwave / snow

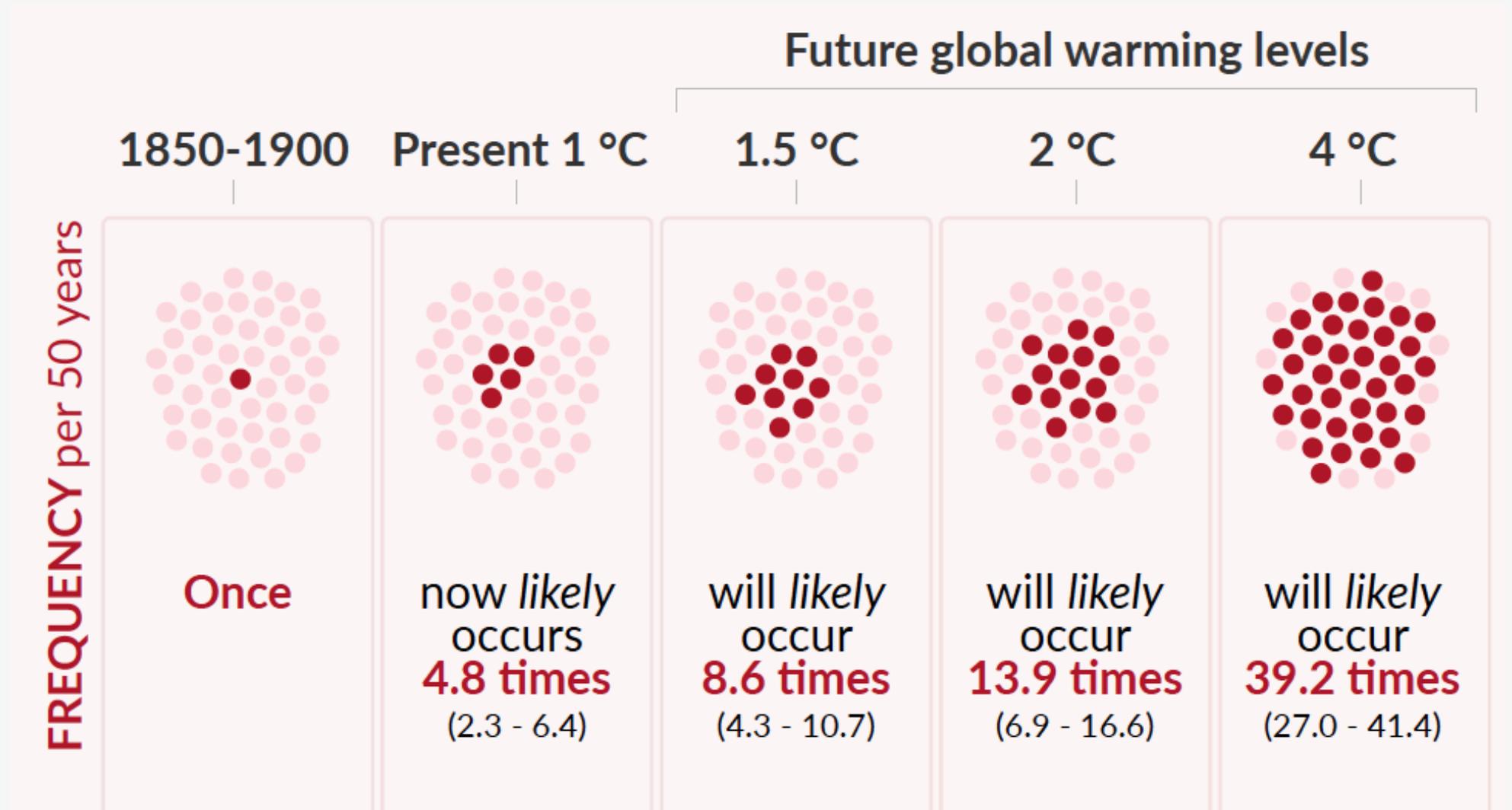
- Mehr als nur “more of the same”
- Schwarze Schwäne?
- Warum so viele Rekorde?
- Wie extrem kann es noch werden?

Klarer Trend zu 5-6 Mal mehr Hitzetage

Was früher selten war tritt heute häufig auf



Was Seltenheit war wird zur Regelmässigkeit



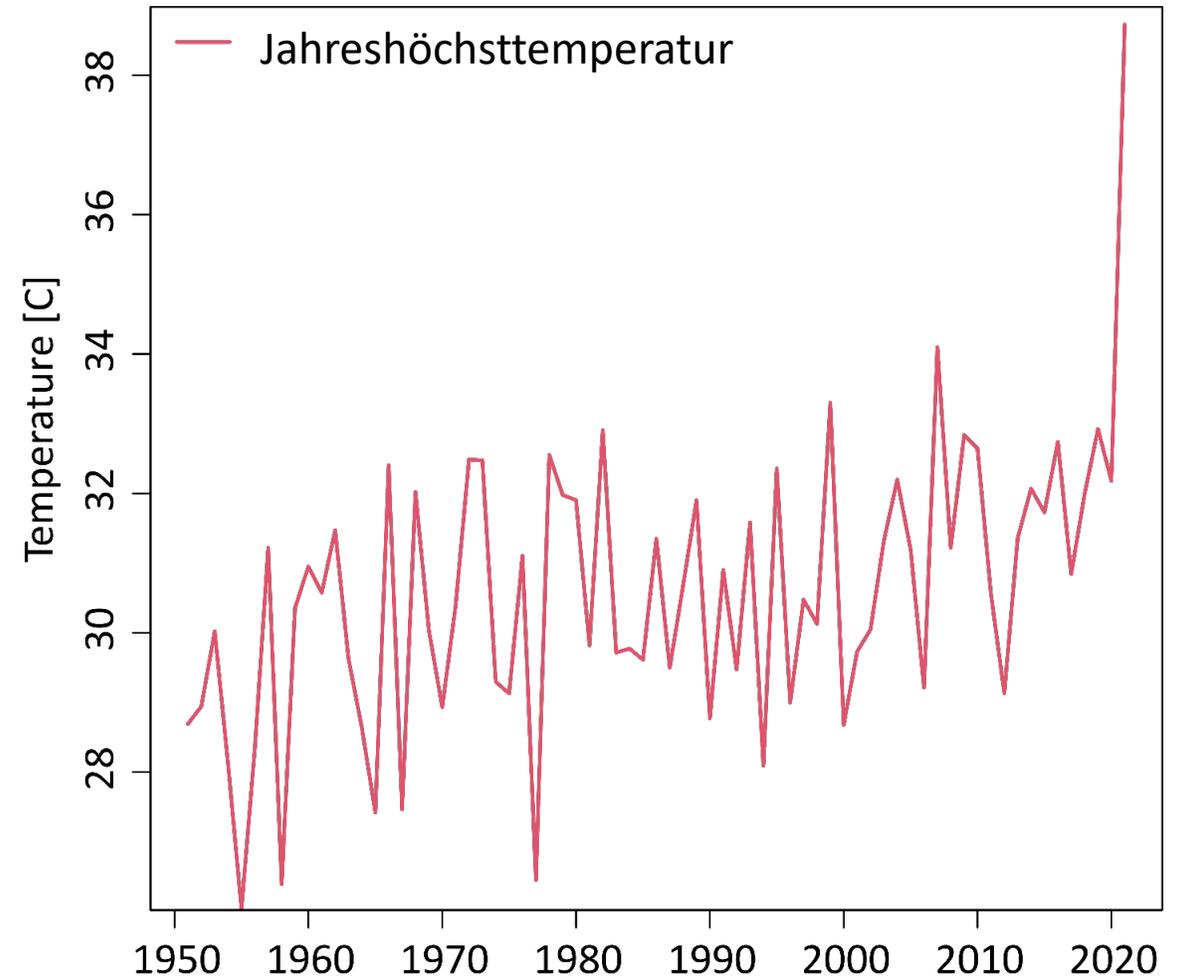
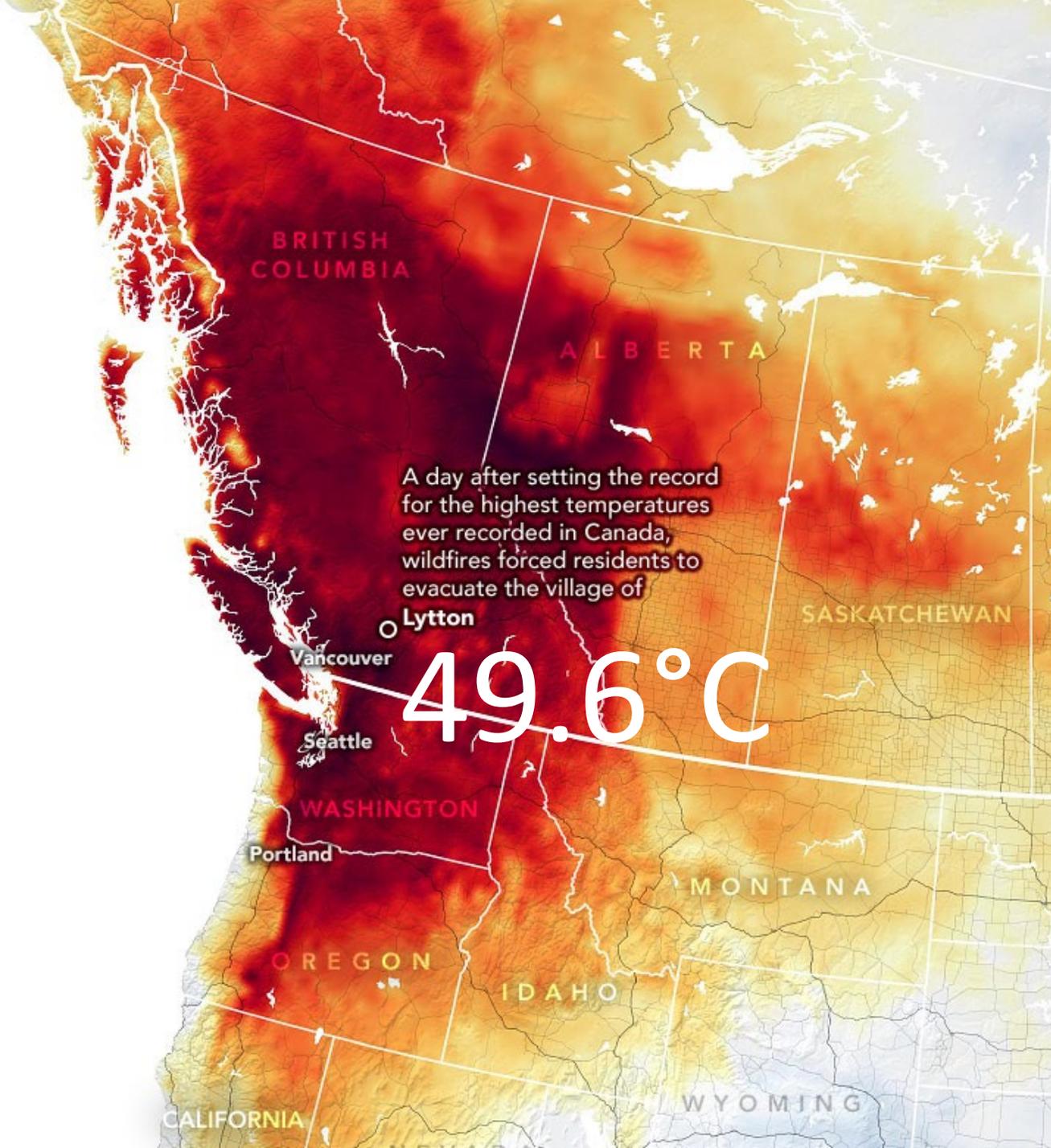
From «more of the same» to «unprecedented extremes»

If global warming increases, some compound extreme events¹⁸ with low likelihood in past and current climate will become more frequent, and there will be a higher likelihood that events with increased intensities, durations and/or spatial extents **unprecedented in the observational record will occur** (*high confidence*).

IPCC AR6 WG1 (2021)
Summary for Policymakers



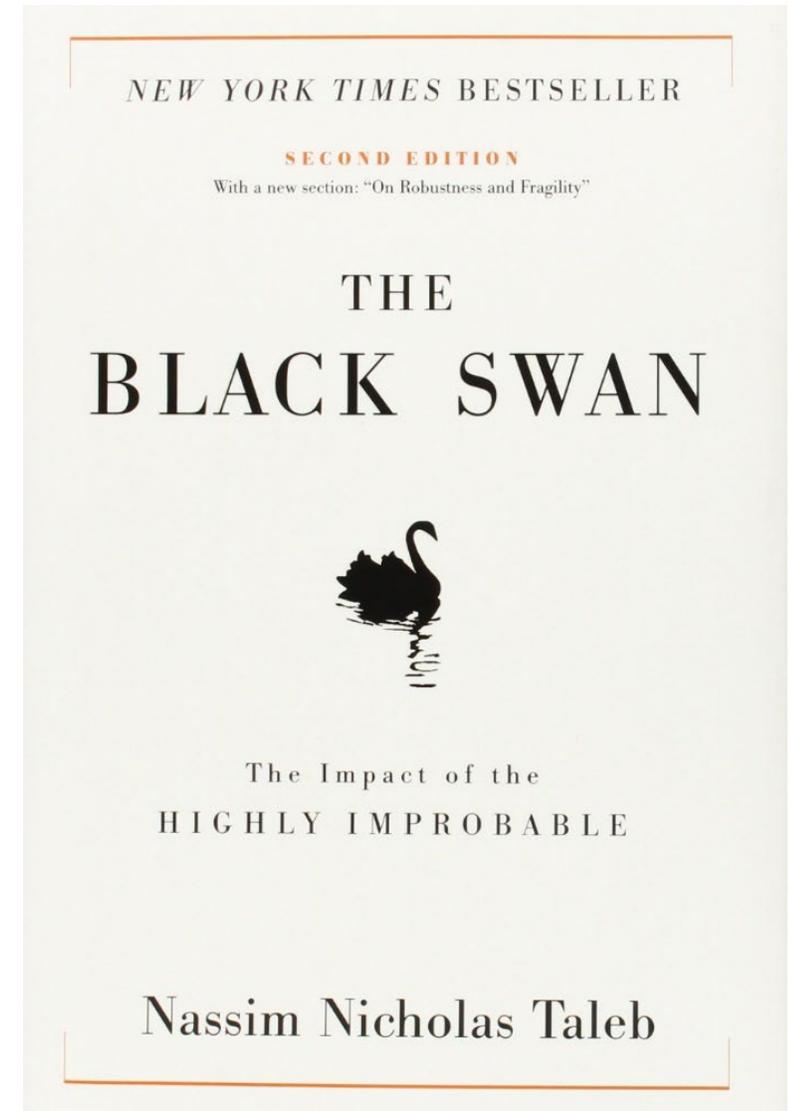
Rekordhitze USA/Kanada 2021





Ein schwarzer Schwan?

- Ausreisser **ausserhalb des Vorstellbaren**
- Kann **im Nachhinein erklärt** werden als ob er erwartbar gewesen wäre

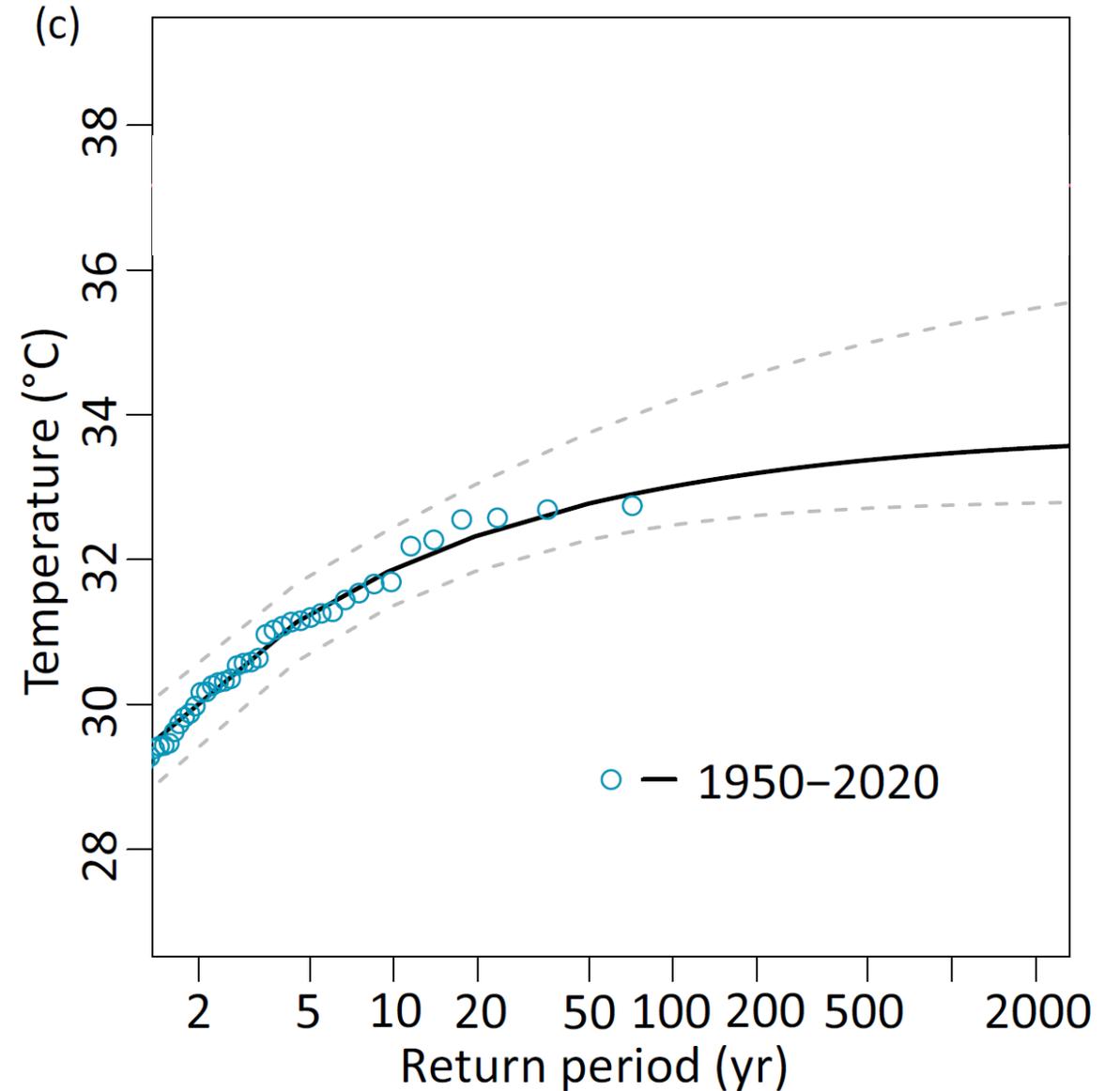


Schwarzer Schwan

Komplett neuartiges Ereignis?

Scheinbar unmögliches Ereignis wurde Realität

100 Jahre lokale
Beobachtungen sind
nicht genug



Klimamodelle hatten Rekorde vorhergesagt

nature climate change

ARTICLES

<https://doi.org/10.1038/s41558-021-01092-9>

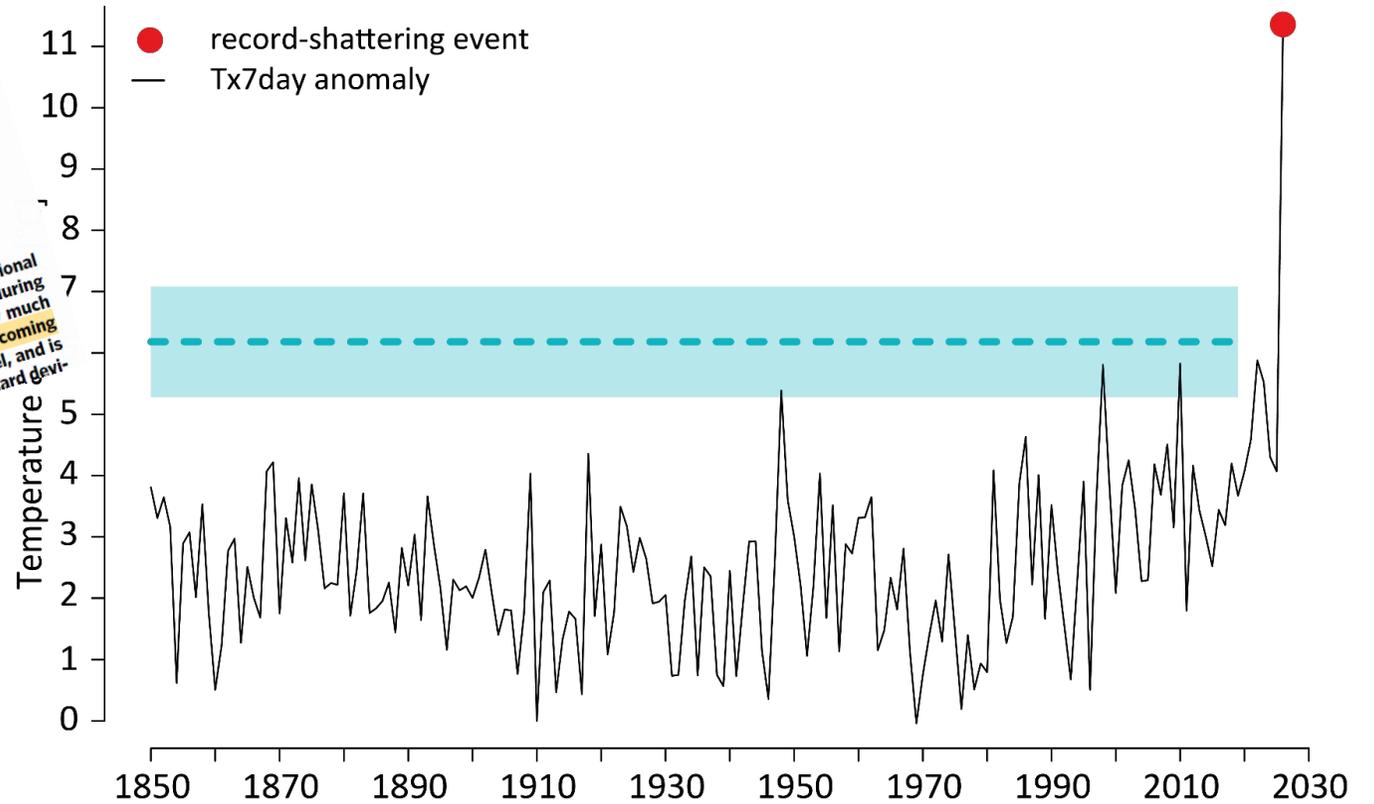
Check for updates

Increasing probability of record-shattering climate extremes

E. M. Fischer , S. Sippel  and R. Knutti 

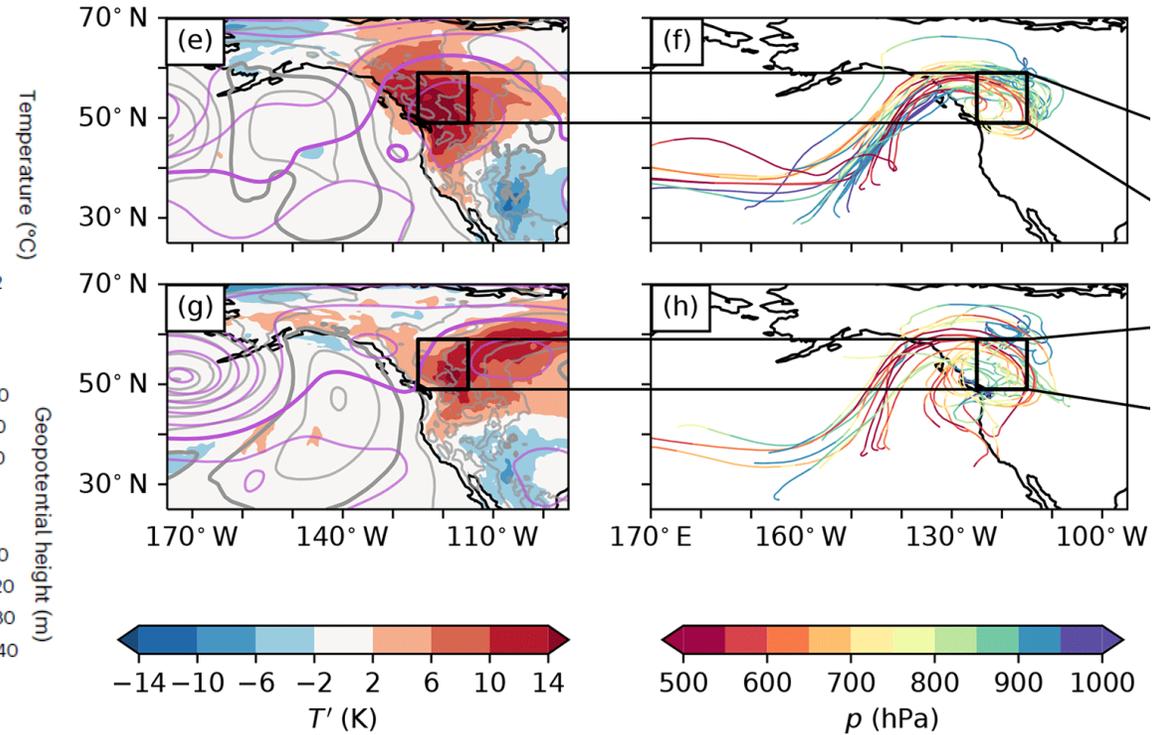
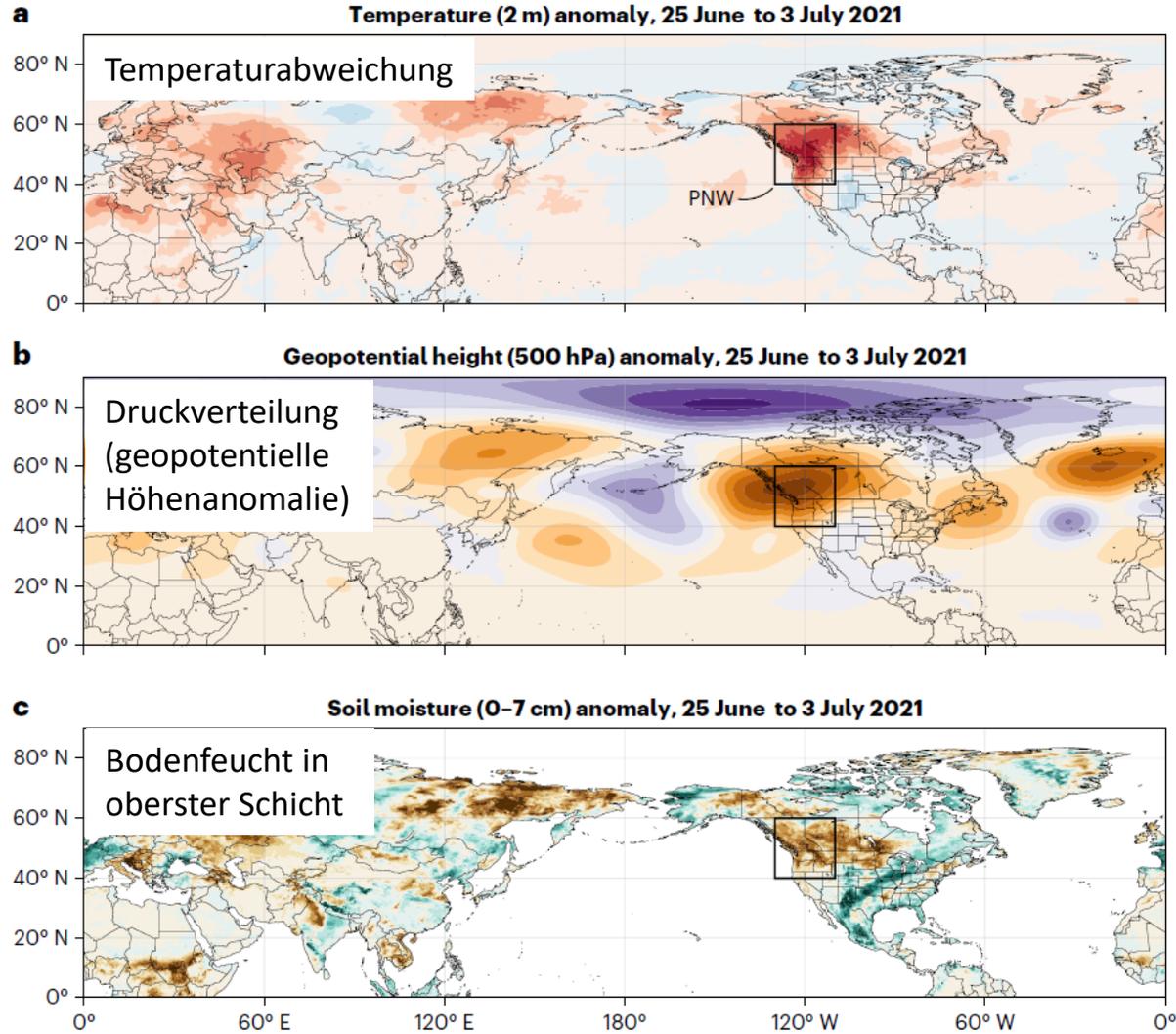
Recent climate extremes have broken long-standing records by large margins. Such extremes unprecedented in the observational period often have substantial impacts due to a tendency to adapt to the highest intensities, and no higher, experienced during a lifetime. Here, we show models project not only more intense extremes but also events that break previous records by much larger margins. These record-shattering extremes, nearly impossible in the absence of warming, are likely to occur in the coming decades. We demonstrate that their probability of occurrence depends on warming rate, rather than global warming level, and is thus pathway-dependent. In high-emission scenarios, week-long heat extremes that break records by three or more standard devi-

Large ensemble record-shattering event



Fischer et al. (2021)
Nature Climate Change

Aussergewöhnliches Zusammenspiel bekannter Prozesse



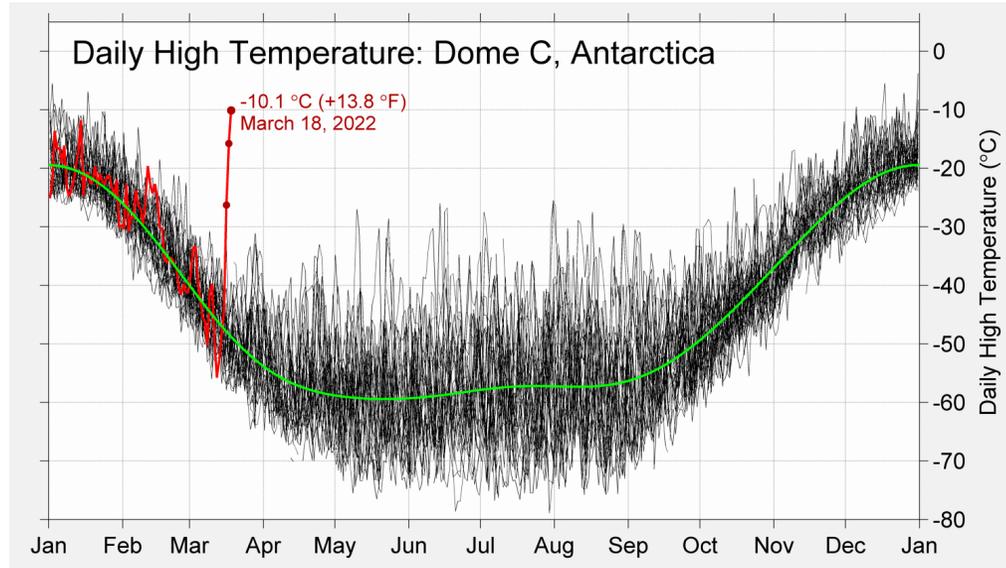
Hotz, Papritz, Röthlisberger, 2024, *WCD*

Wenig deutet auf **komplett
neuartiges Ereignis** hin

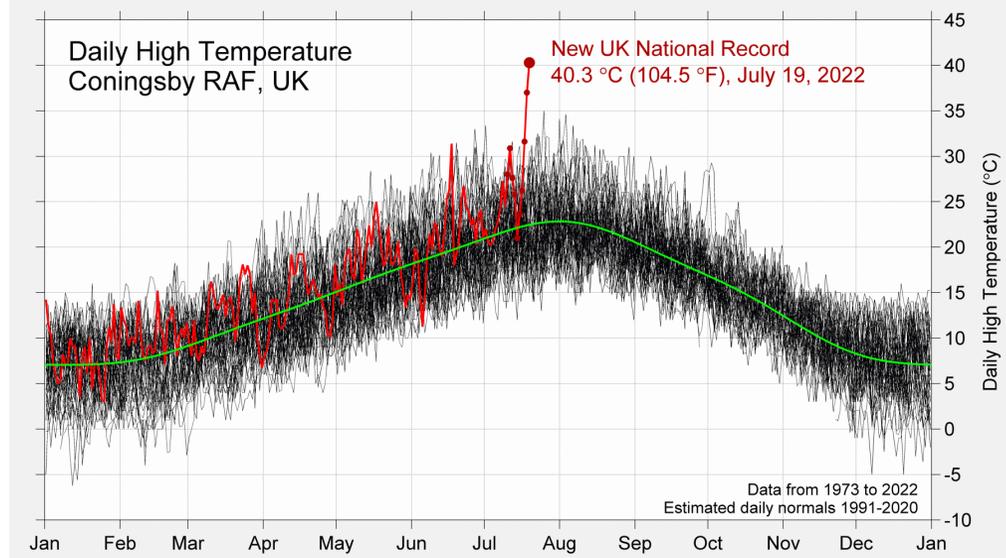
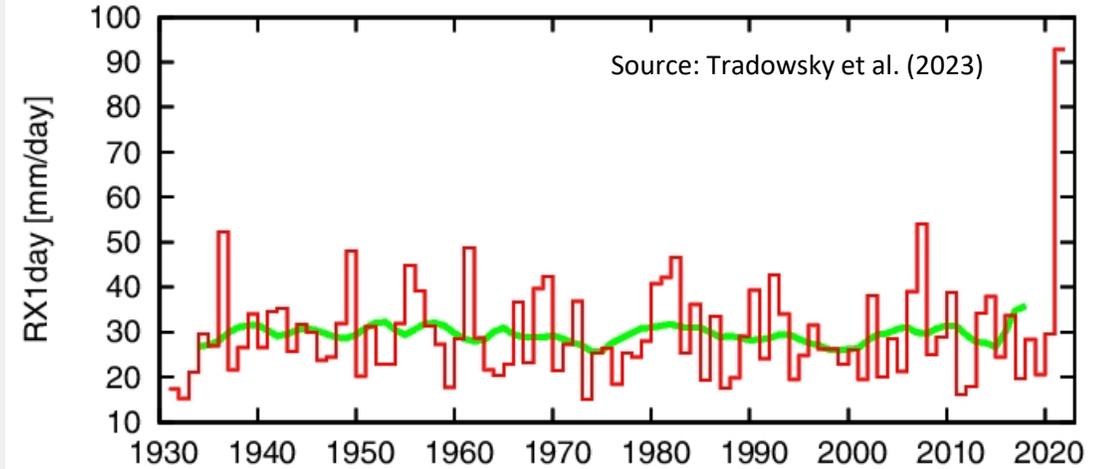
Einmalig?

Pulverisierende Rekord häufen sich

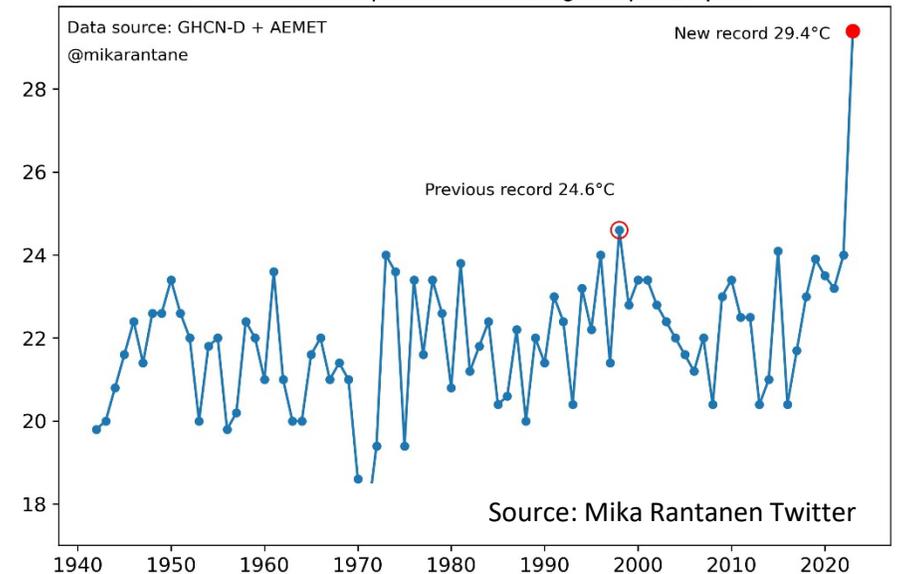
Rekorde werden zur Zeit laufend pulverisiert...



(a) Ahr/Erft



Decemeber maximum temperature in Malaga airport, Spain



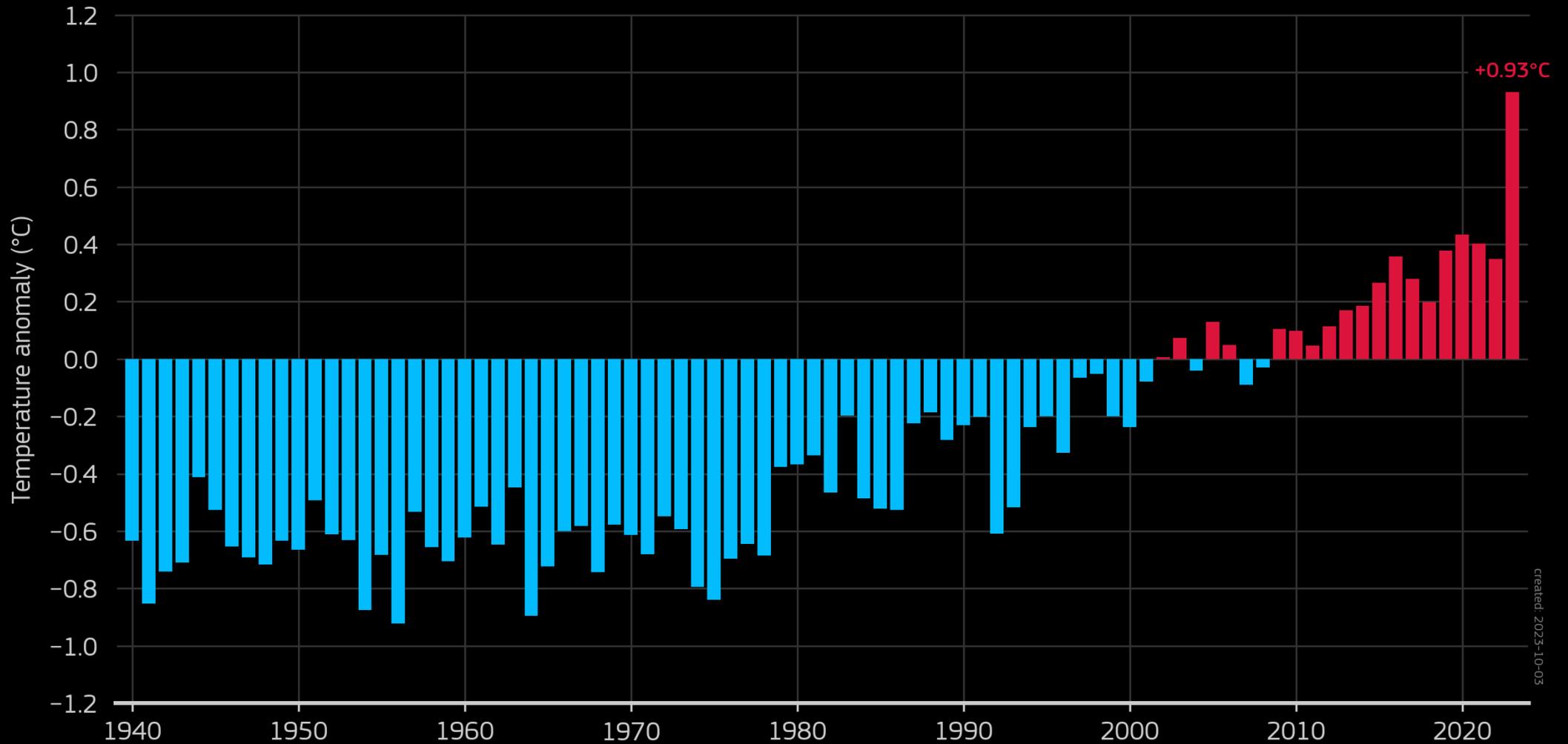
GLOBAL SURFACE AIR TEMPERATURE ANOMALIES • SEPTEMBER

Data: ERA5 • Reference period: 1991-2020 • Credit: C3S/ECMWF



Climate Change Service

climate.copernicus.eu



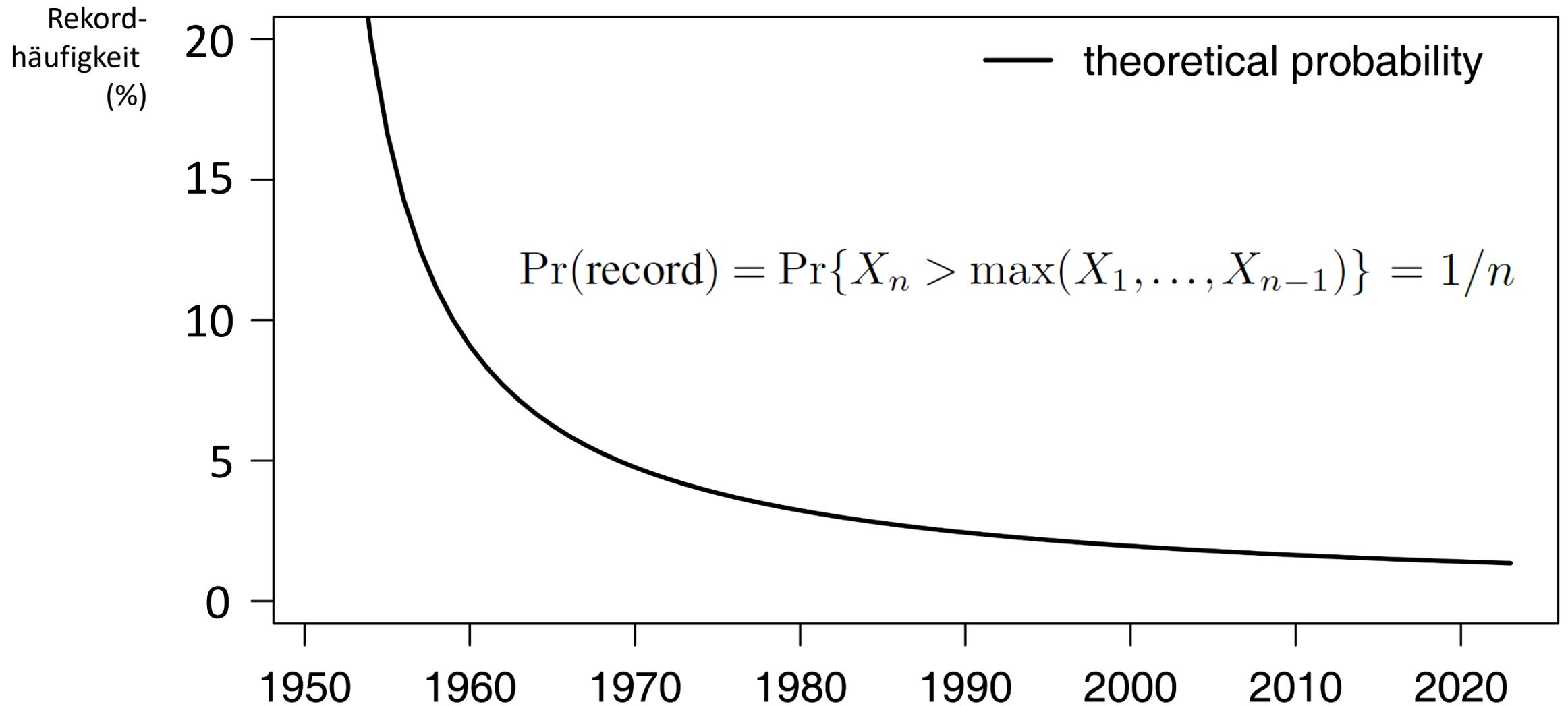
created: 2023-10-05



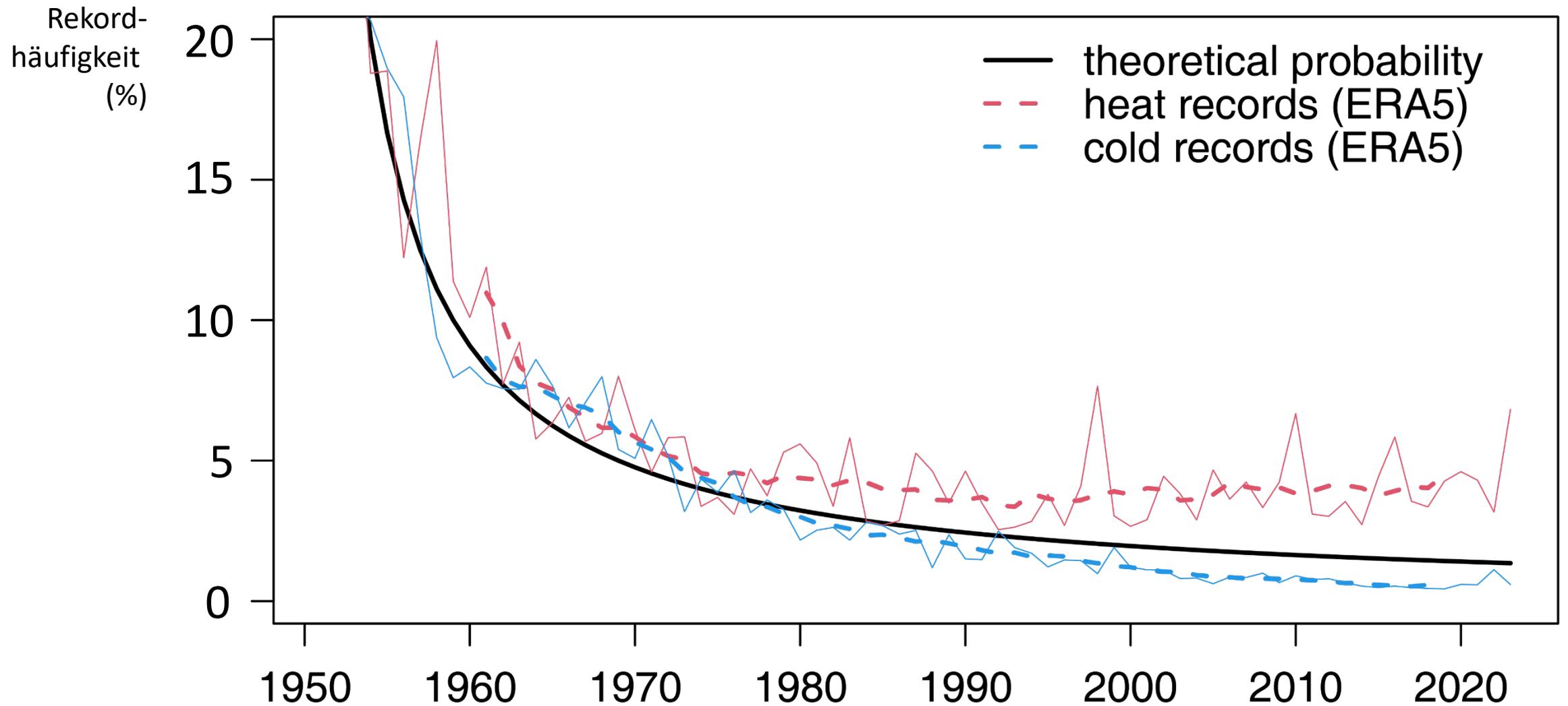
PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION



Rekorde sollten immer seltener werden...



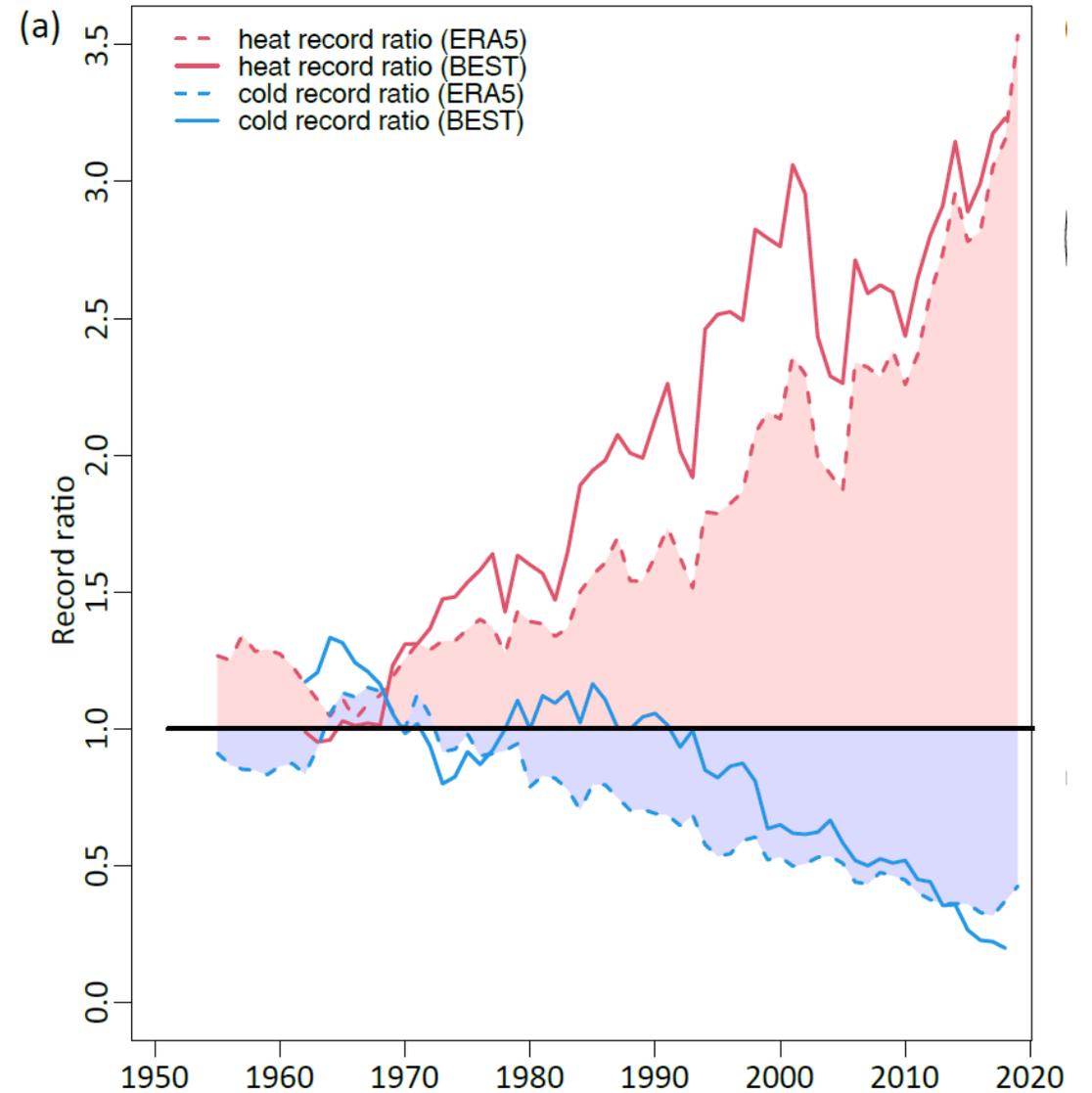
... aber Hitzerekorde nehmen zu



Viel mehr Hitzerekorde als ohne Klimawandel

3.5 Mal mehr Hitzerekorde als ohne Klimawandel in letzten 10 Jahren

2023 gab es 8-10 mehr Hitzerekorde als ohne Klimawandel



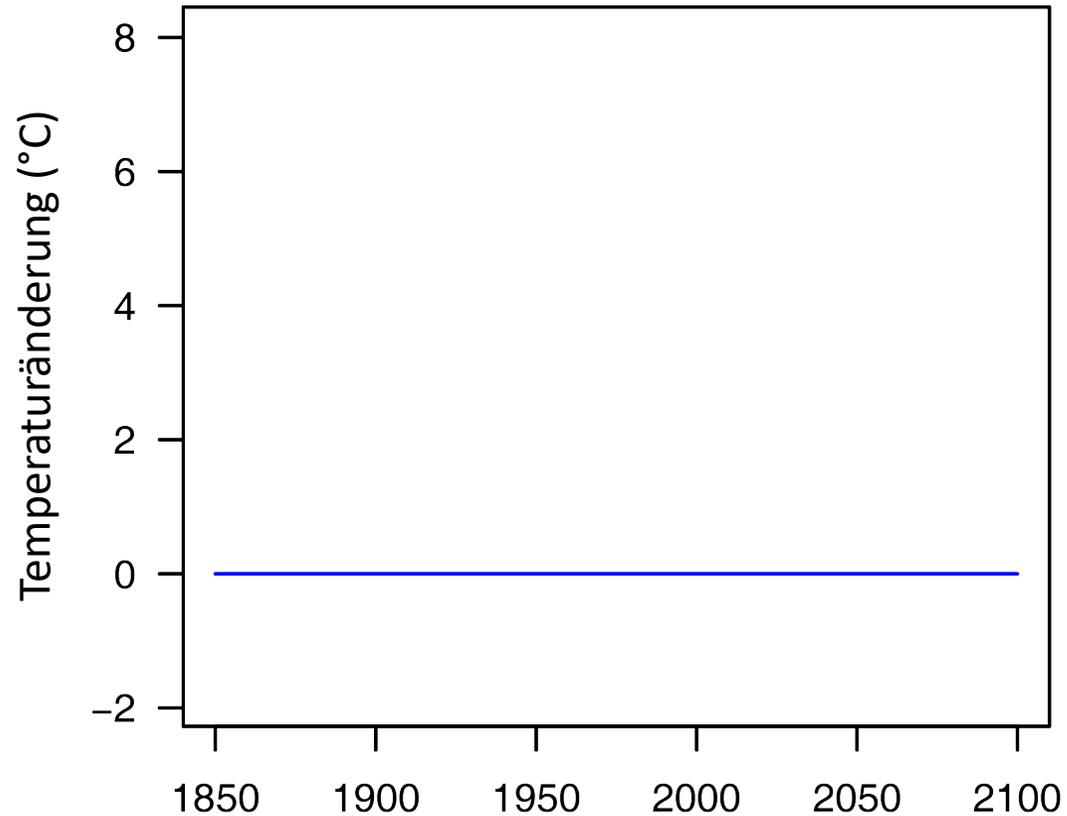
Rekorde – **noch nie beobachtete Ereignisse**
treten zur Zeit häufig auf

Warum?

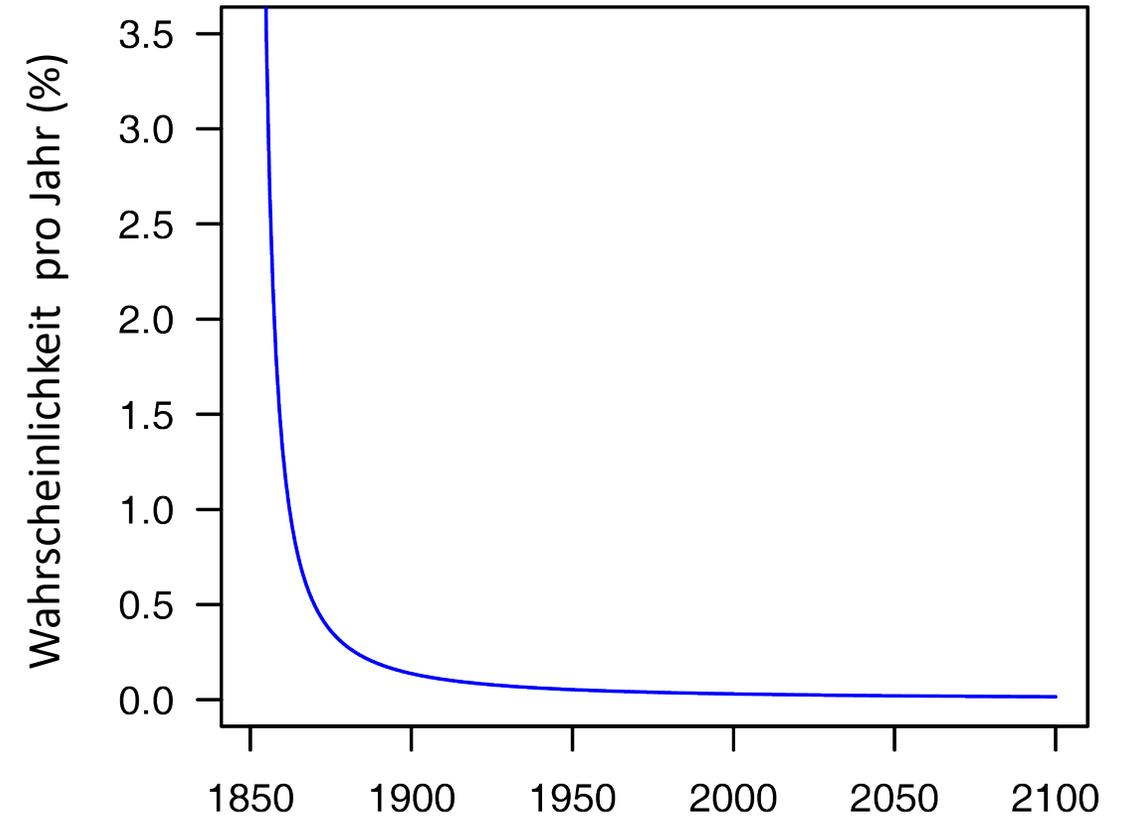
Weshalb purzeln die Rekorde?

Ohne Klimawandel – sehr seltene Rekorde

Temperaturverlauf



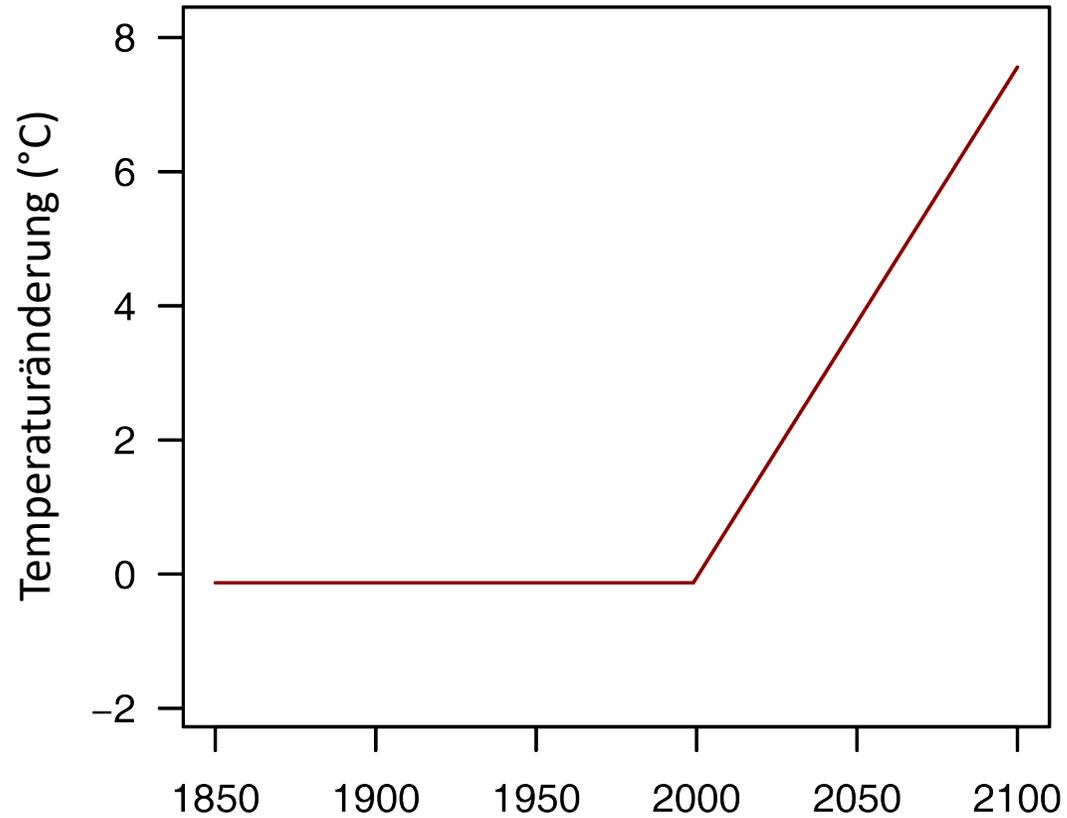
Wahrscheinlichkeit eines 1σ -Rekords



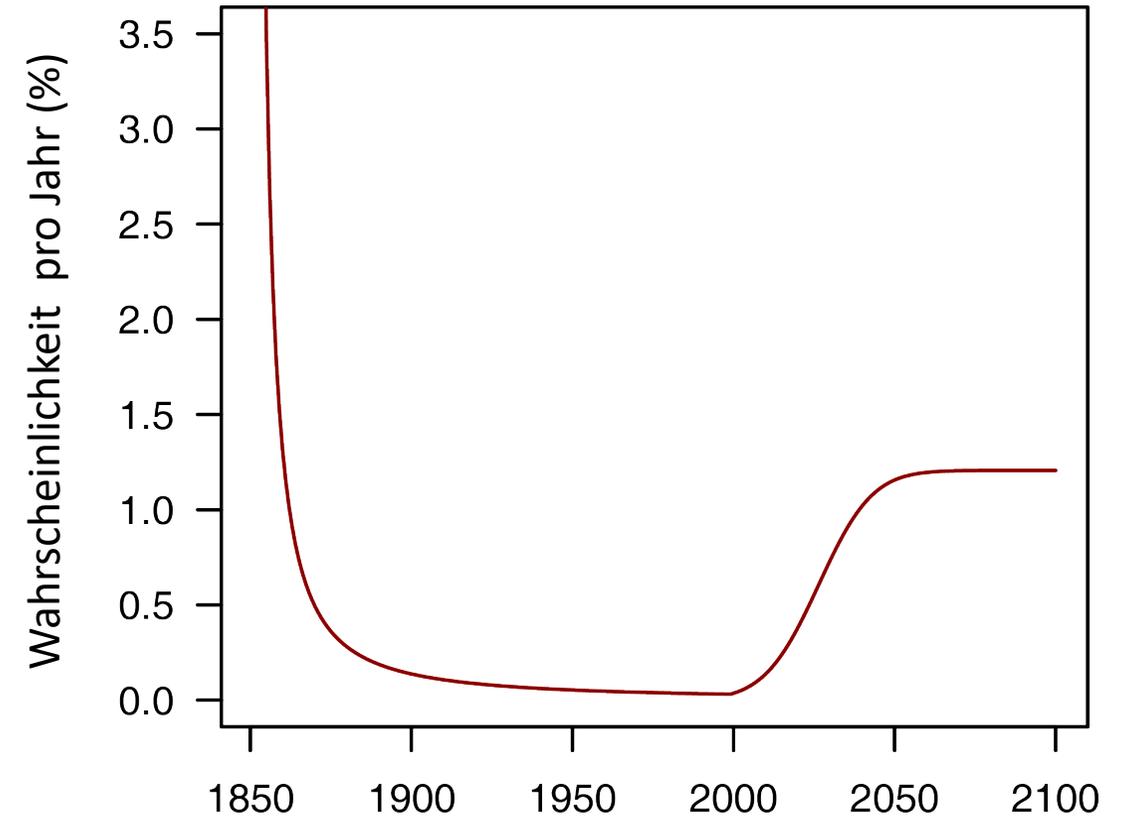
Pulviersierende Rekorde nehmen besonders rasch ab

Die Erwärmungsrate ist entscheidend

Temperaturverlauf



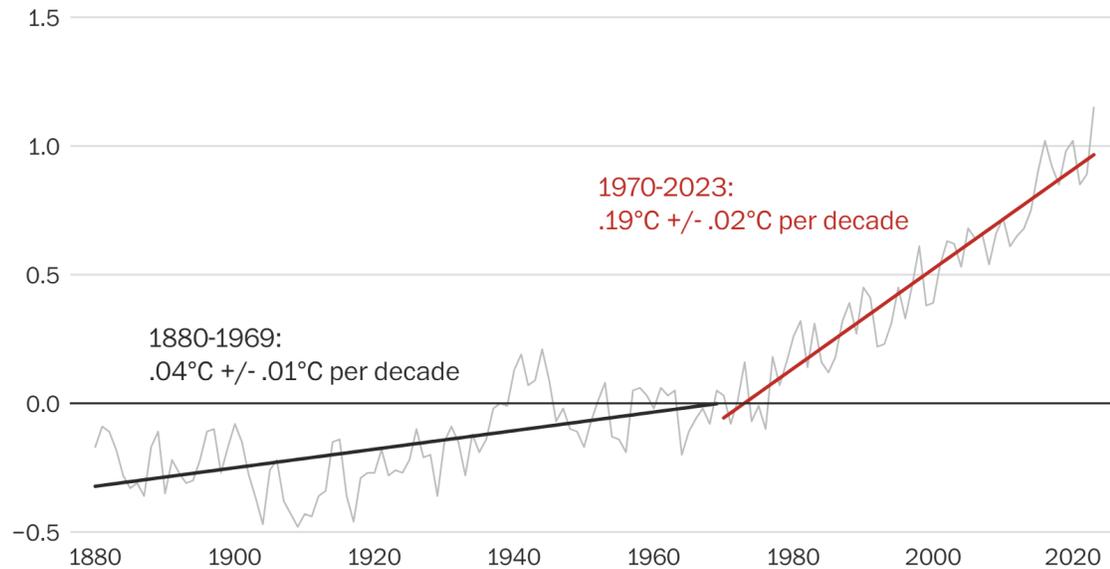
Wahrscheinlichkeit eines 1 σ -Rekords



Erwärmungsrate bestimmt
die Häufigkeit von **Rekorden**

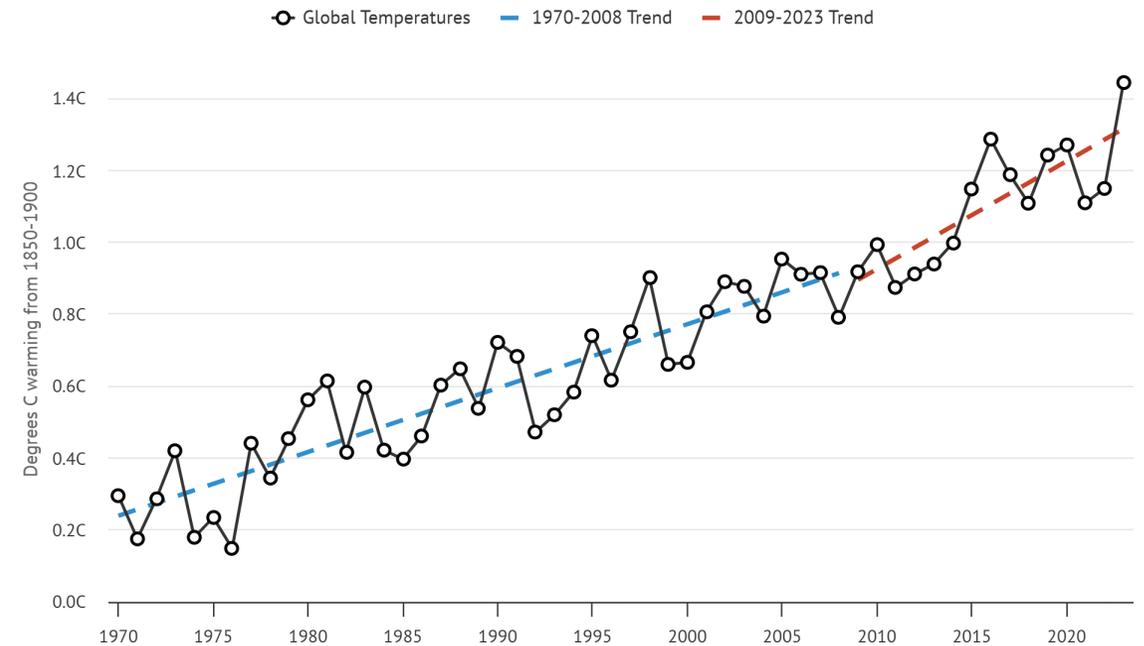
Zur Zeit ist die Erwärmungsrate besonders hoch

Values are relative to the 1951-1980 global mean temperature, in degrees Celsius



Note: 2023 is an estimate based on values from January through November.

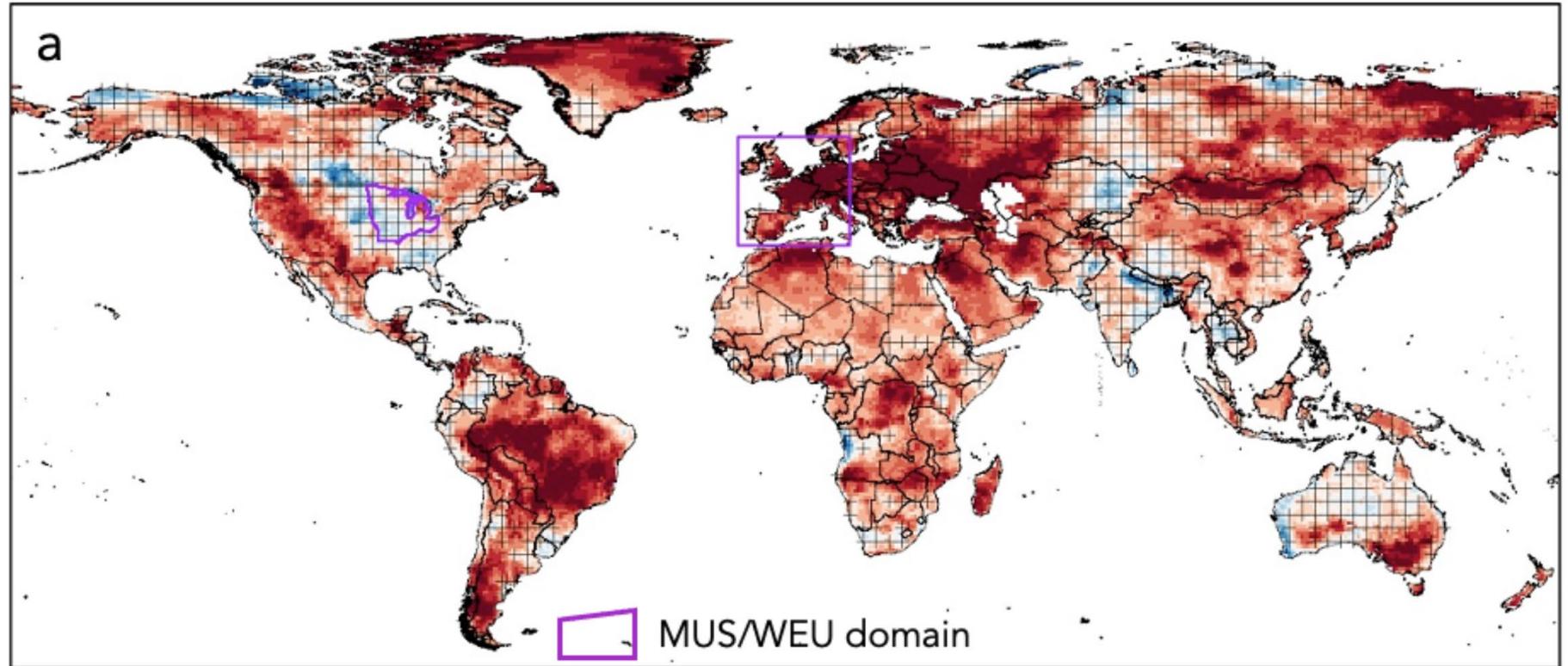
Source: [NASA](#)



Sources: Berkeley Earth, GISTEMP, NOAA GlobalTemp, HadCRUT5, and ERA5

CarbonBrief
CLEAR ON CLIMATE

Erwärmungsrate in Europa ist nahezu einzigartig...



-2.4°C

-1.2°C

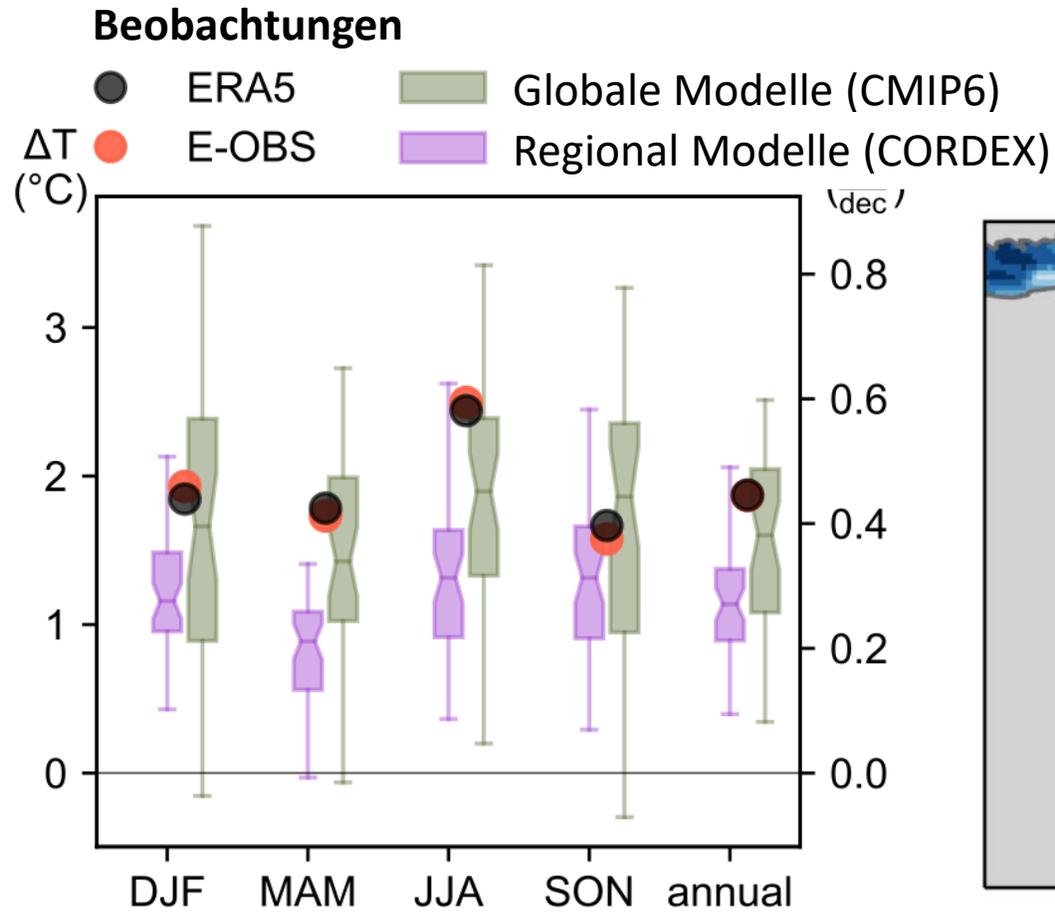
0°C

1.2°C

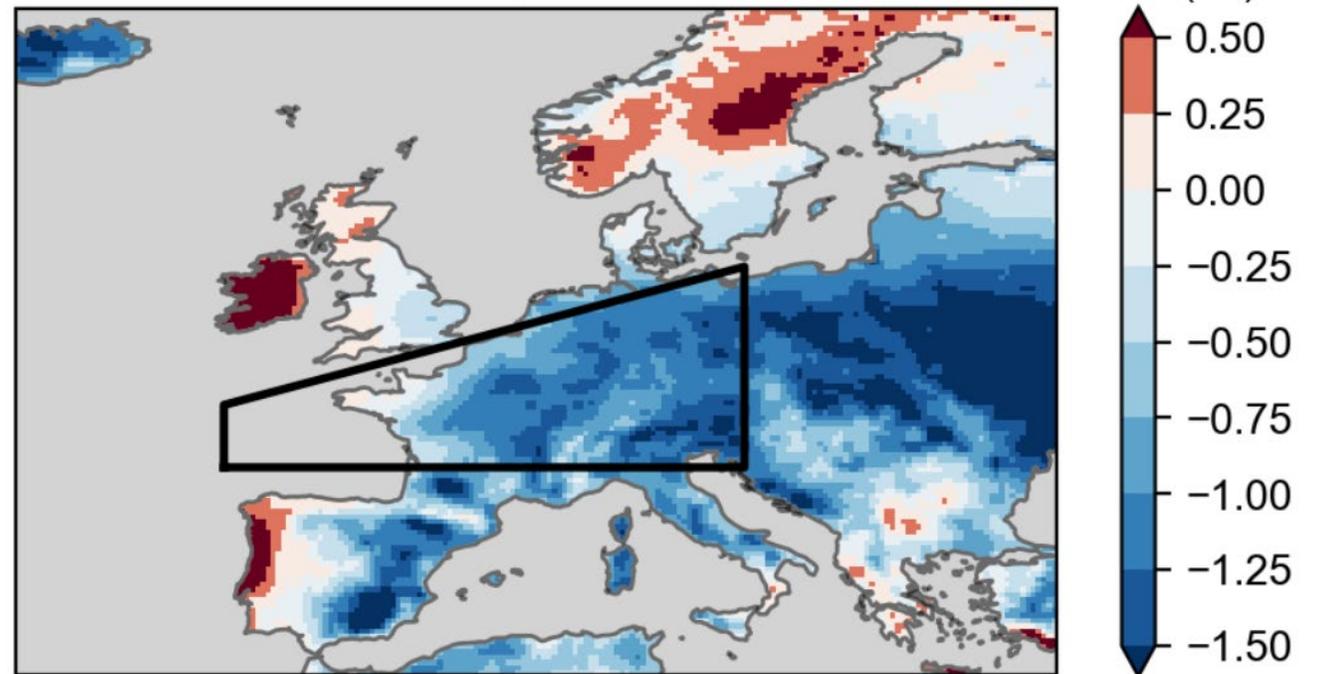
2.4°C

Erwärmung der heißesten Sommertage 1979-2021

... und am obersten Rand der Vorhersagen

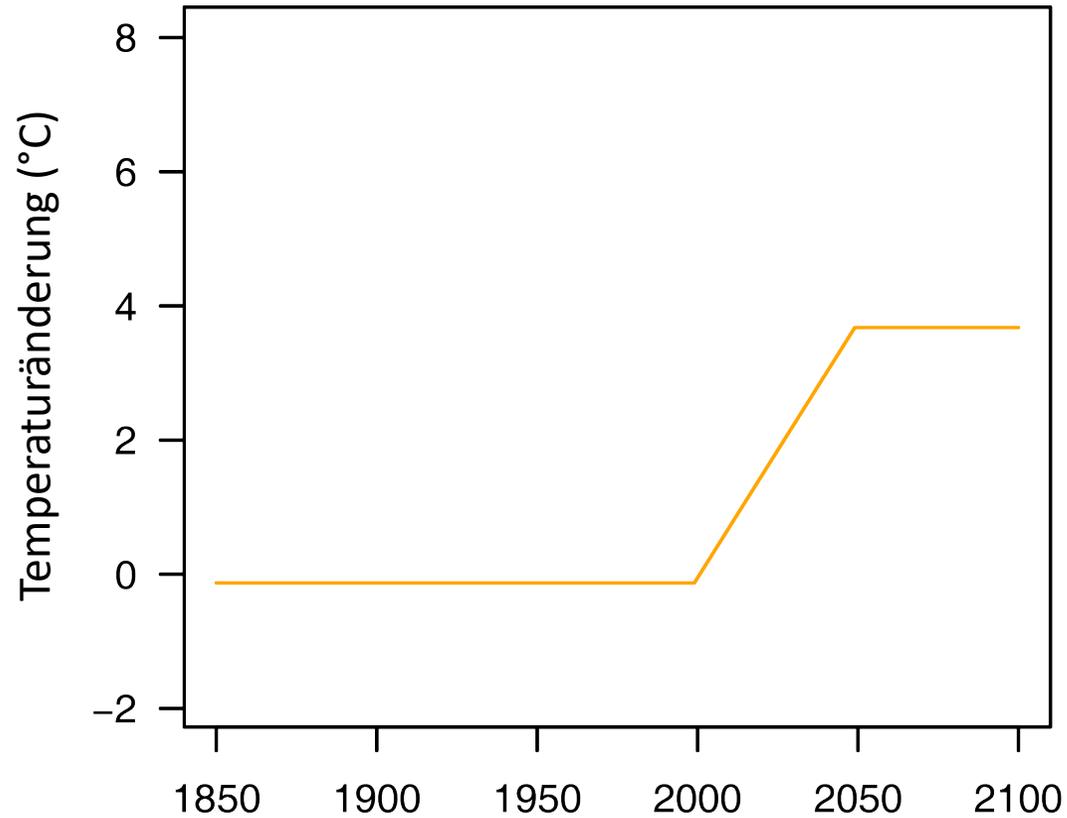


Median von Regional Modellen
minus beobachteten Trend

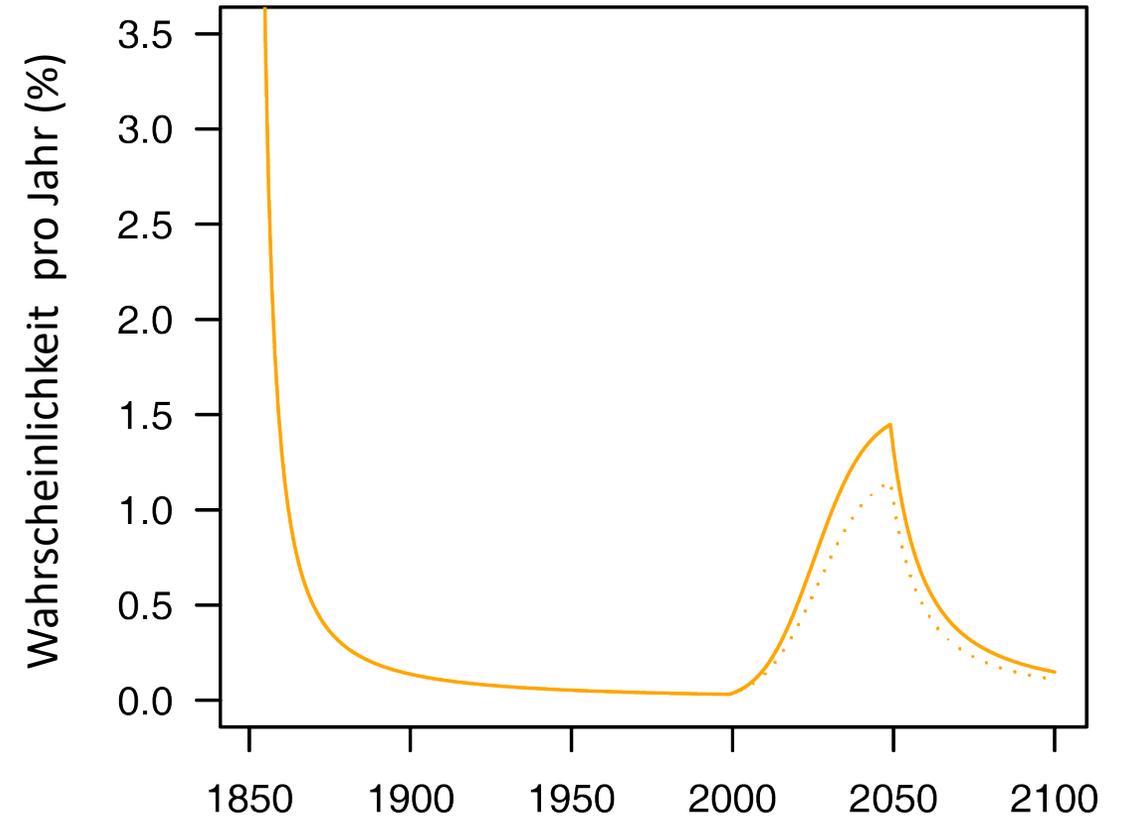


Temperatur stabilisieren – Rekorde reduzieren

Temperaturverlauf

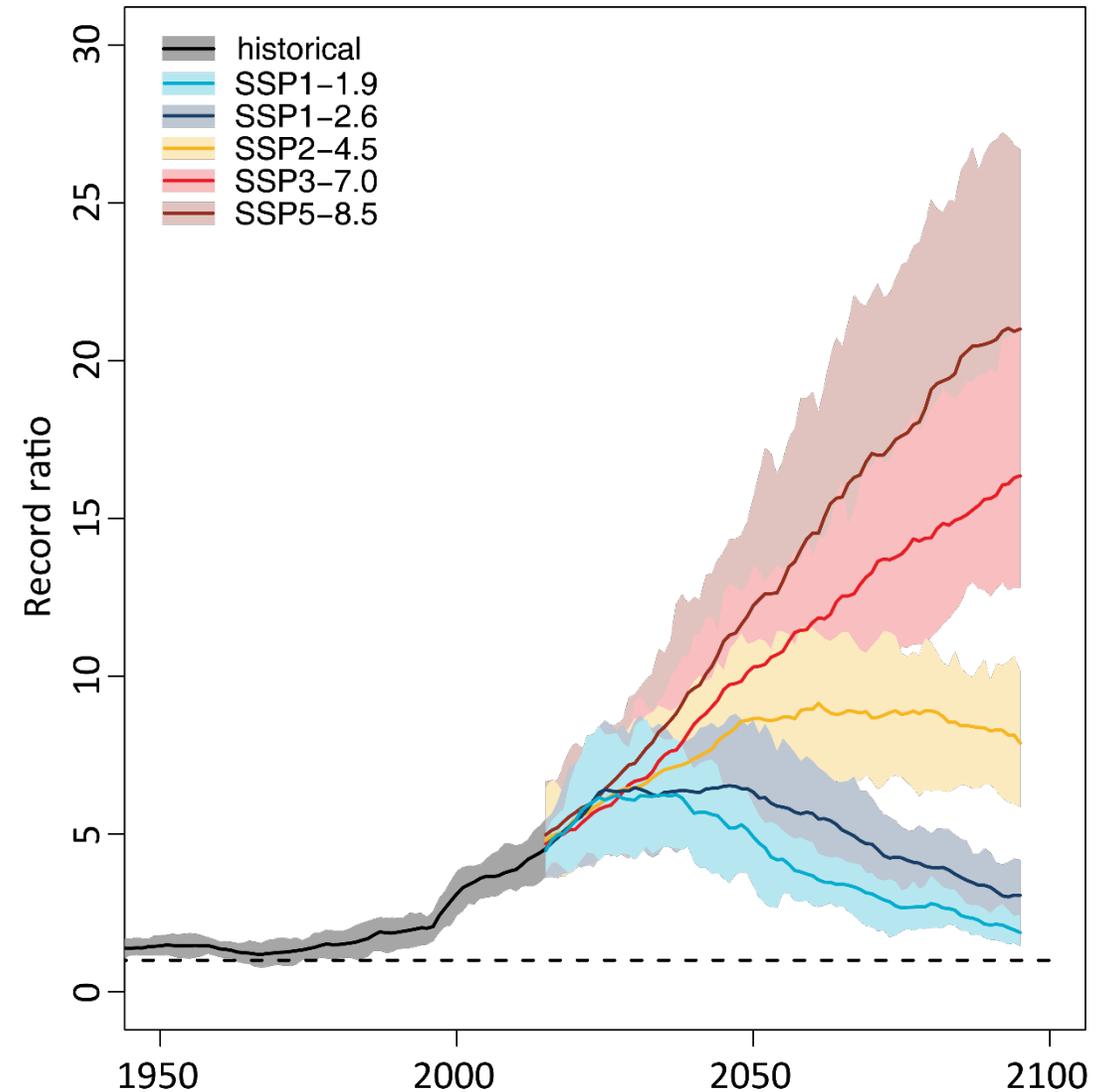


Wahrscheinlichkeit eines Rekords



Schon Emissionsreduktionen würden sich auszahlen

Erwärmung **abbremsen**
senkt Risiko von
Rekordextremen



Zukunft?

Wie extrem kann es noch werden?

Den nächsten Hitzerekord antizipieren?

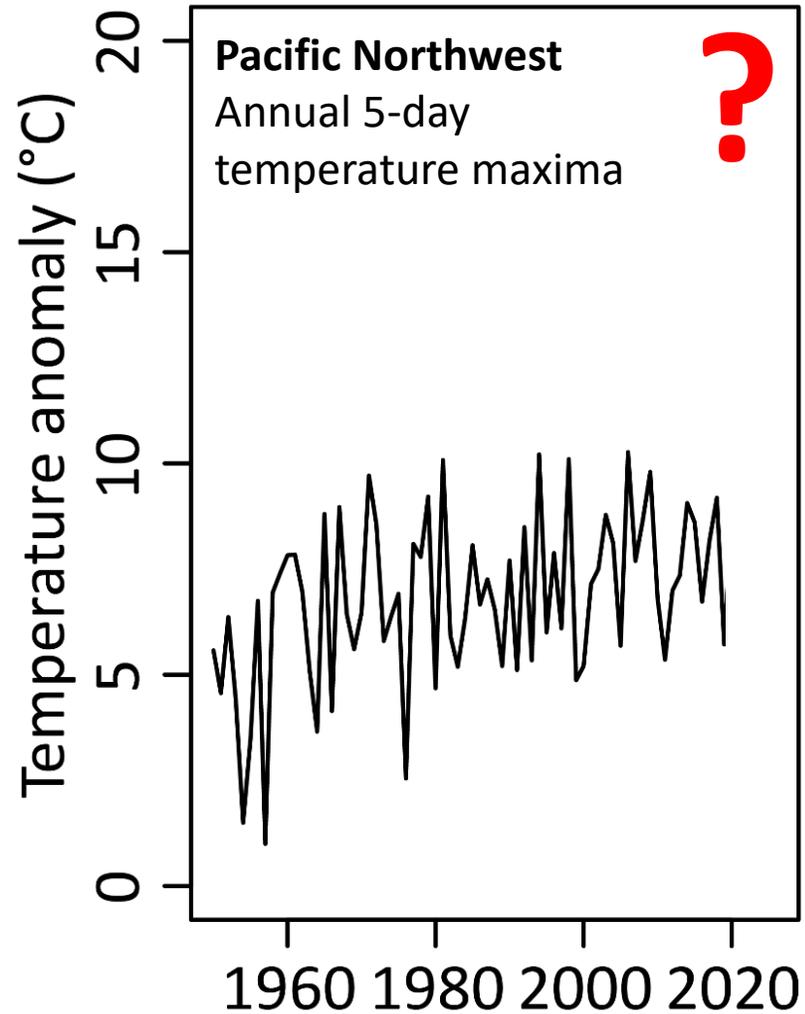
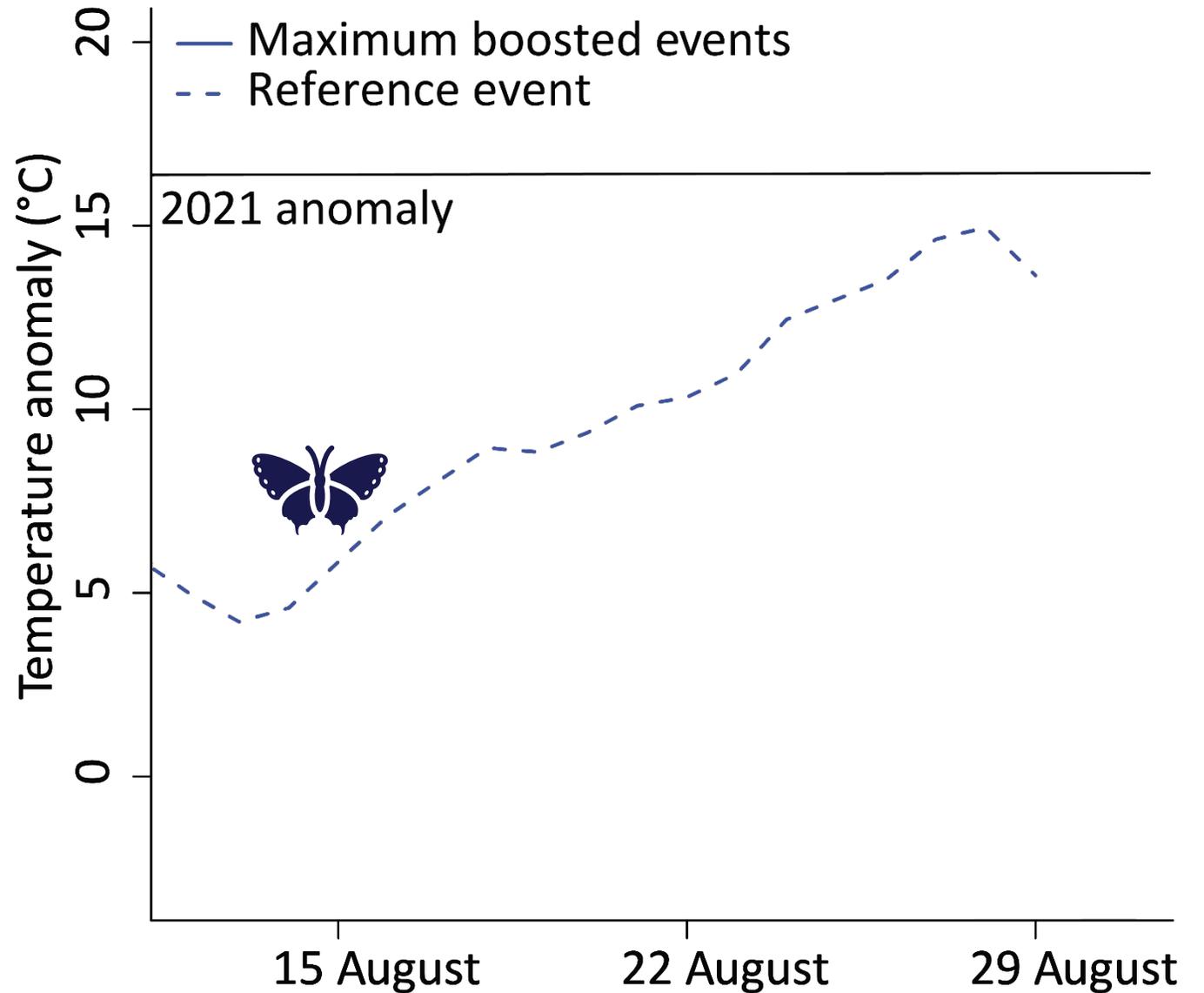


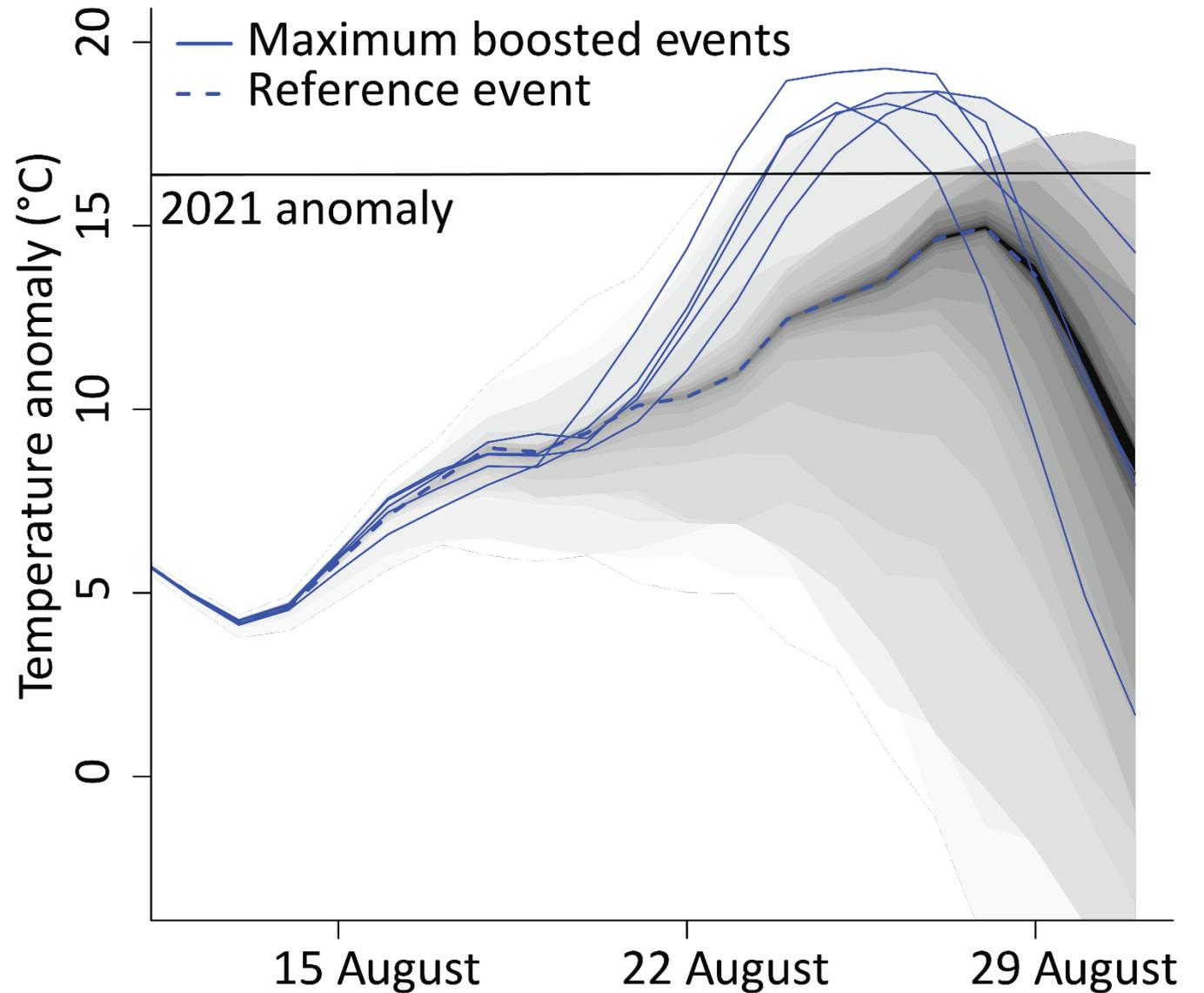


Figure credit: Michael Boettinger (DKRZ) and Jochem Marotzke (MPI³M)

«Ensemble boosting» für Worst-Case Storylines



How do very extreme differ from more moderate heatwaves?



Klimamodelle können Hitzepotential quantifizieren

Temperaturanomalie

ERA5 (2021)

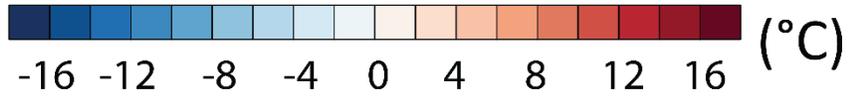
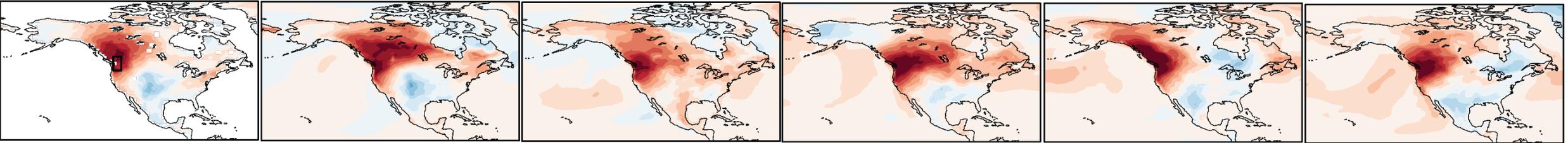
Event A

Event B

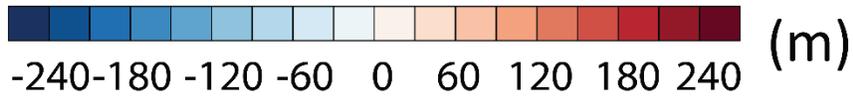
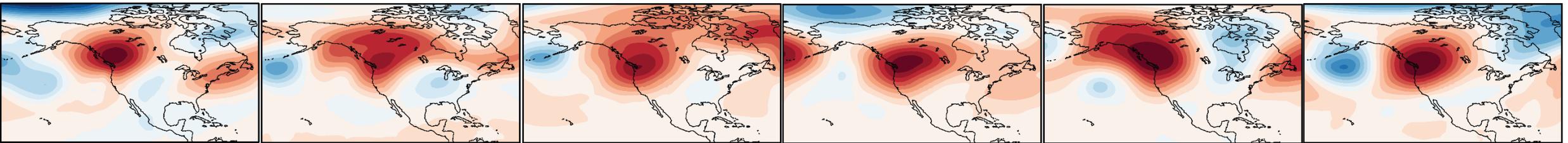
Event C

Event D

Event E



Geopotentielle Höhe (500hPa)



Fischer et al. (2023)
Nature Comms

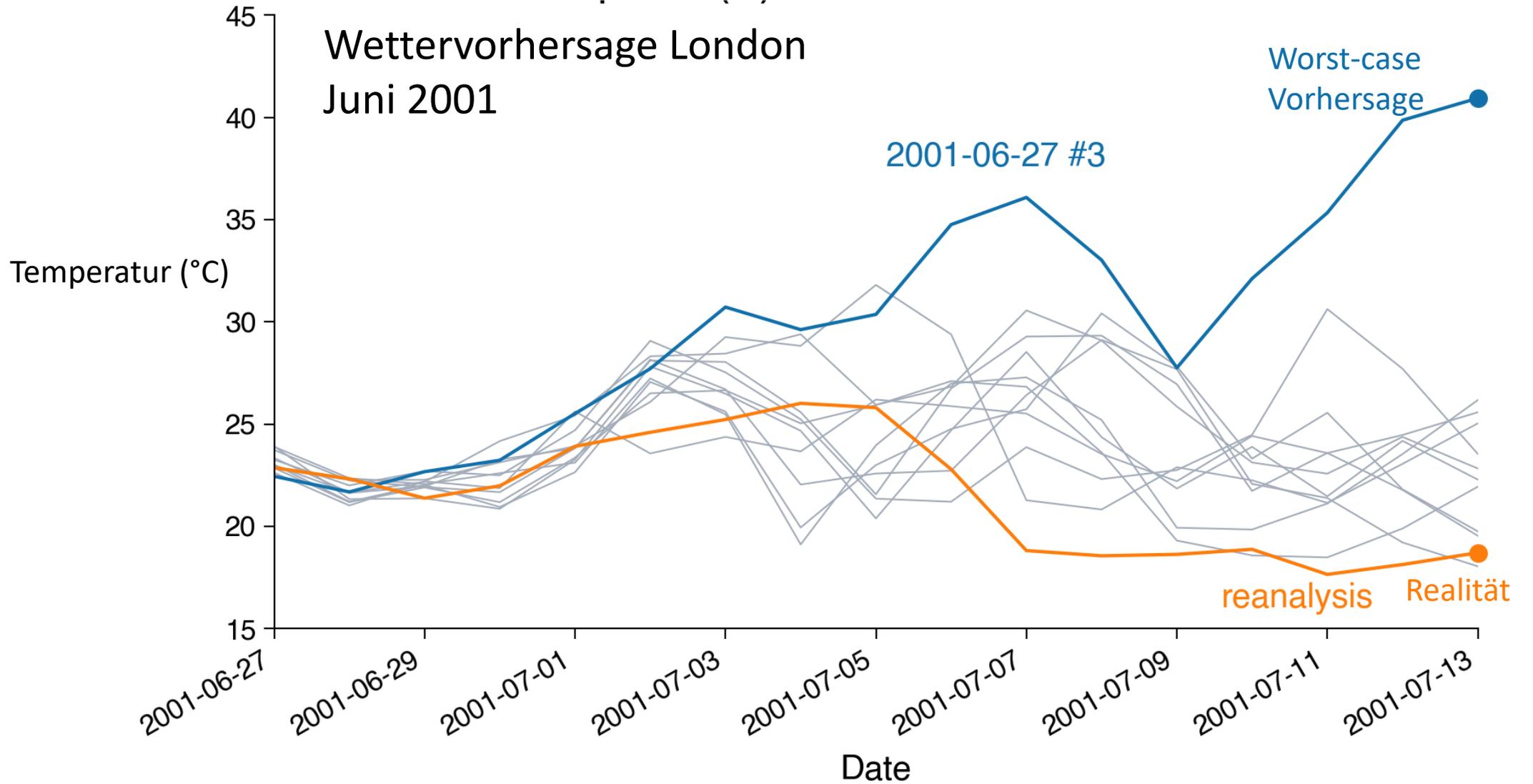
Wie weiter?

Wie schaffen wir Vertrauen in solche
Methoden?

Alternative Methode: Wettervorhersagen der Vergangenheit



«The heatwave that never was» wurde 21 Jahre später Realität



Verschiedene Ansätze sind vorhanden

Verschiedene Methoden/Evidenz existieren

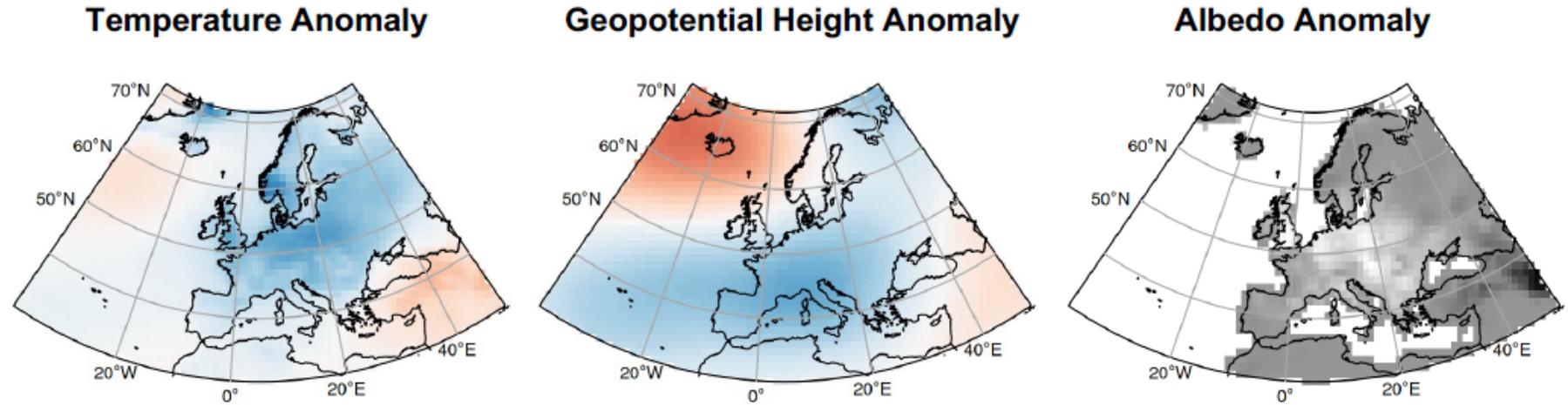
- **Räumliche Analoge** -> Near-miss event in der Nähe
- **Zeitliche Analoge** -> Wie würde sich ein historisches Ereignis heute auswirken?
- Evidenz aus **historischen Archiven** und **Paläoklima**
- **Prozess-basierte** qualitative Storylines
- Rare event sampling/machine learning basierte Ansätze

Zentral ist gutes **Prozessverständnis**

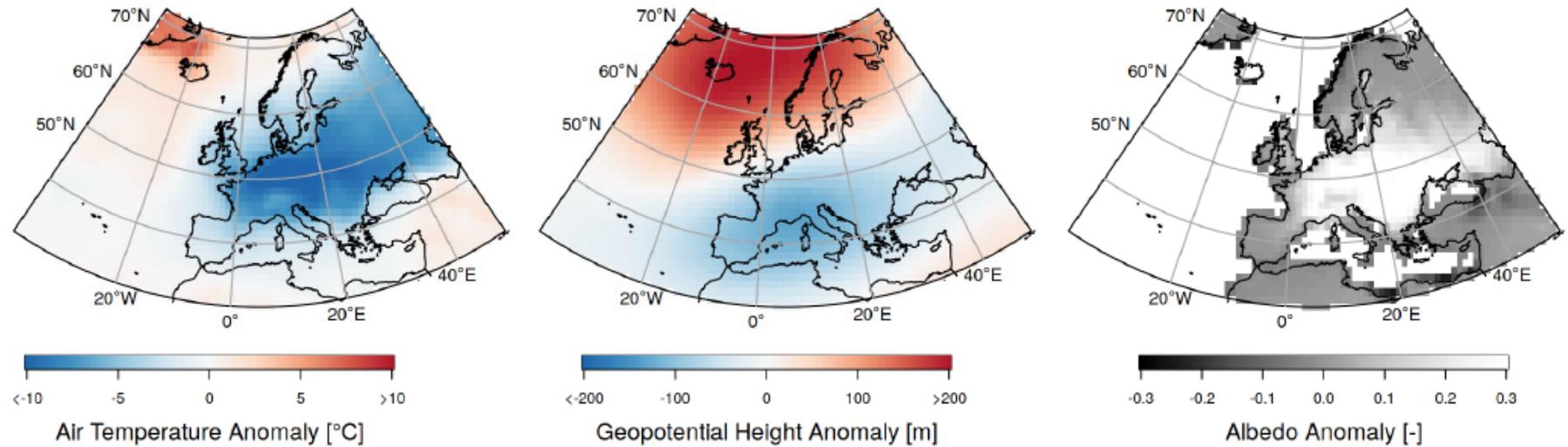


«Seegfrörni» Winter? Extrem unwahrscheinlich

Winter 1962/63



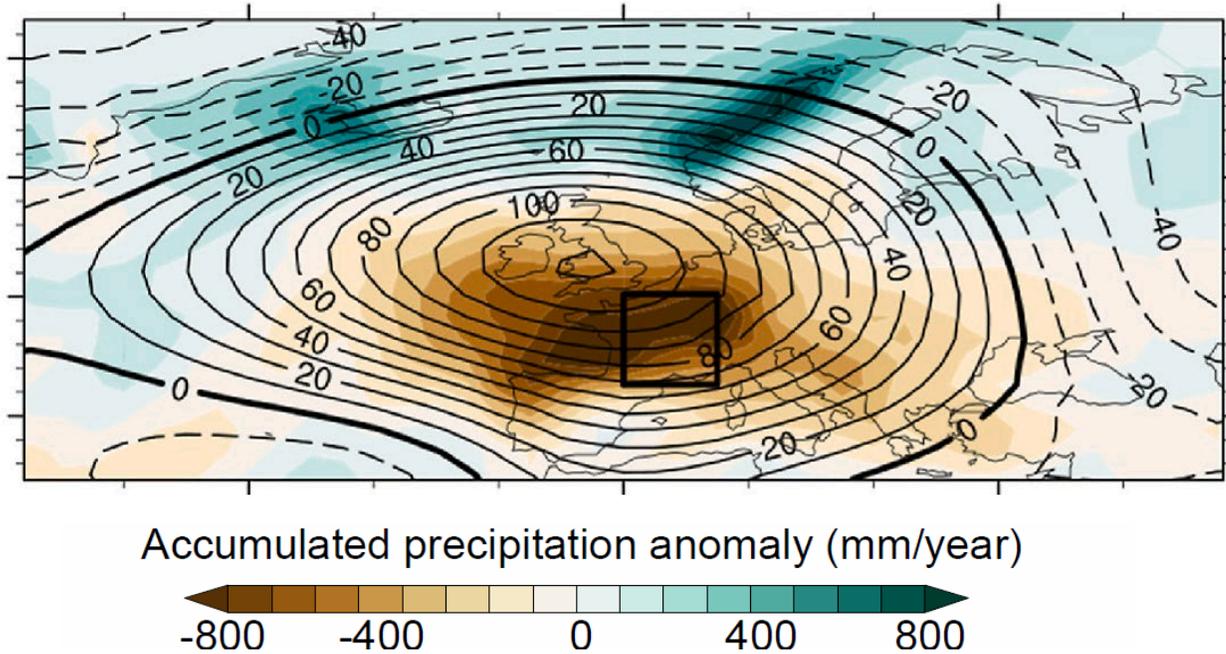
Worst-case Winter
der 2020er Jahre





Wäre mehrjährige Trockenheit bei uns möglich?

3-yr drought storyline for Western Europe



Gessner, Fischer, Beyerle and Knutti (2022)

Weather and Climate Extremes

<https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100512>

Worst-case Storylines

- Worst-case Storylines sind nützliches Tool, aber mit grossen Unsicherheiten behaftet
- Stress Tests erlauben Schwachstellen bei kritischer Infrastruktur zu erkennen und Resilienz zu erhöhen
- Impact-Storylines erlauben mögliche Kipppunkte in Gesundheits-, Energie- oder Transportsystemen zu erkennen

- Beobachtungsperiode ist kurz und nicht repräsentativ
- Wenig deutet auf **komplett neuartige Ereignisse (schwarze Schwäne)** hin
- Ereignisse von deutlich **höherer Intensität** oder neuartige Kombination von **compound und cluster events** sind möglich
- **Worst-case Storylines** erlauben **Stresstests** von kritischer Infrastruktur durchzuführen
- Kombinierte Evidenz von **verschiedenen Ansätzen**, Modellen, Theorie, Beobachtungen und historischen Archiven erhöht das Vertrauen