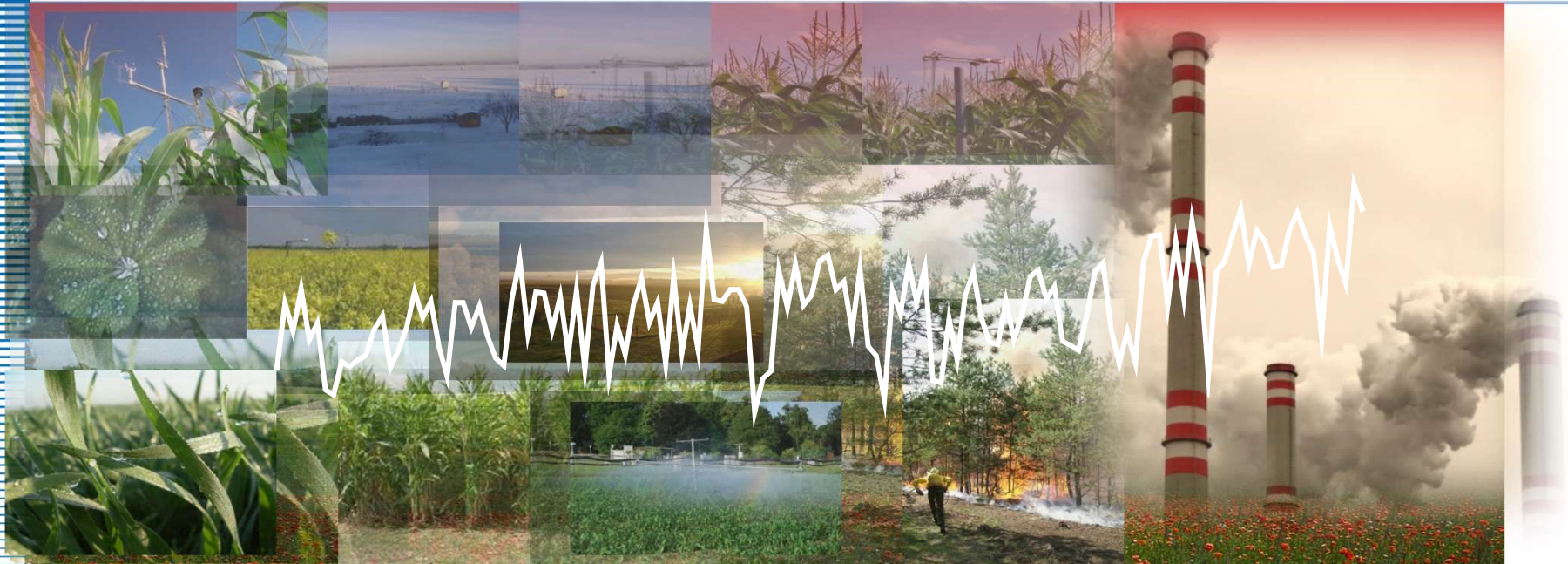




Extremwetterereignisse und Klima-Indikatoren für Deutschland 2031-2060

Cathleen Frühauf

Deutscher Wetterdienst, Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung

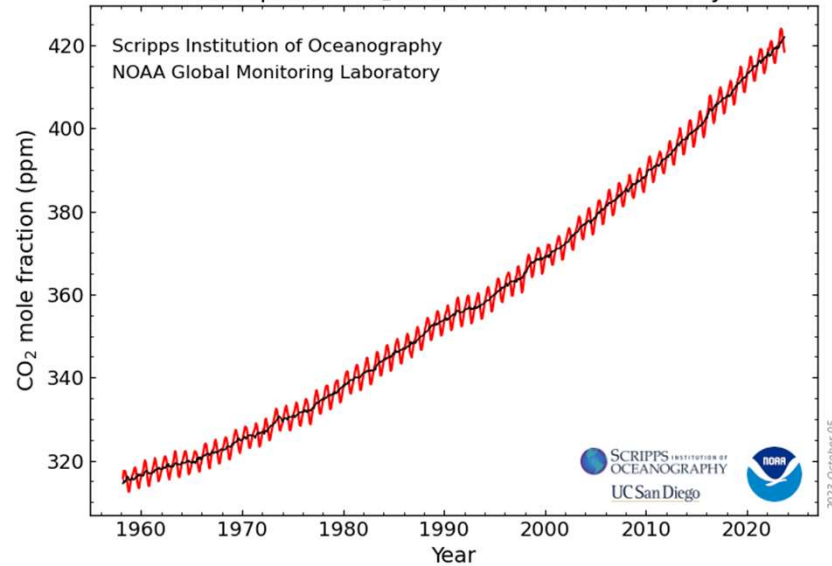


Treibhausgase

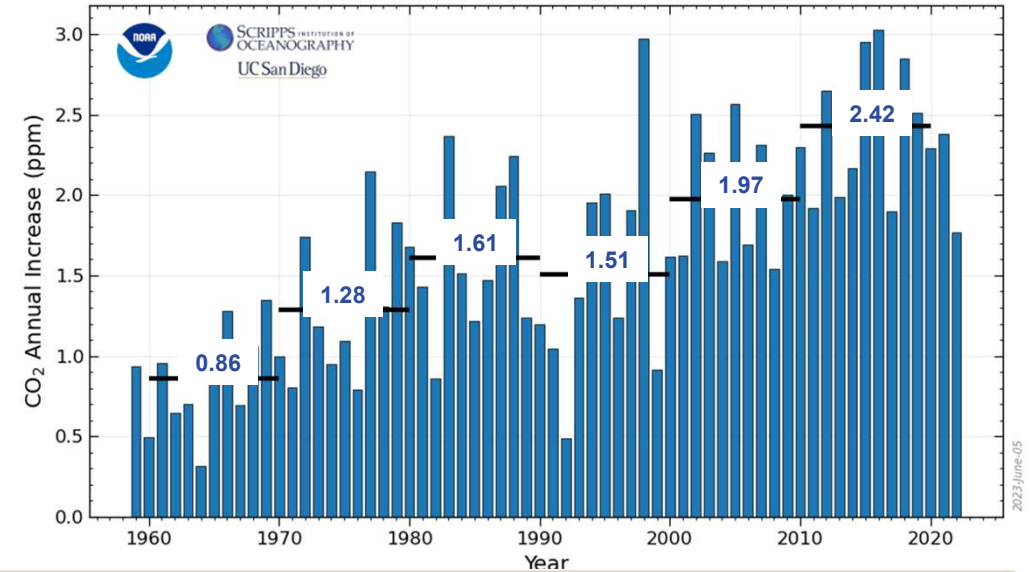
CO₂

Beobachtungen

Atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory



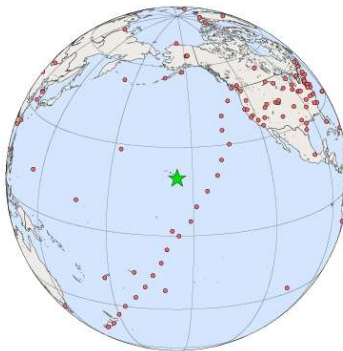
Annual Increase of CO₂ at Mauna Loa



Due to the eruption of the Mauna Loa Volcano, measurements from Mauna Loa Observatory were suspended as of Nov. 29. Observations starting in December 2022 are from a site at the Maunakea Observatories, approximately 21 miles north of the Mauna Loa Observatory.

Location

- » Country: United States
- » Latitude: 19.5362° North
- » Longitude: 155.5763° West
- » Elevation: 3397.00 masl
- » Time Zone: Local Time + 10 hour(s) = UTC



<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/mlo/>

Entwicklung der atm. CO₂-Konzentration

Eiskernbohrungen



Weiter-wie-bisher-Szenario RCP8.5

RCP6.0

RCP4.5

Klimaschutz-Szenario RCP2.6
aktuell beobachtet

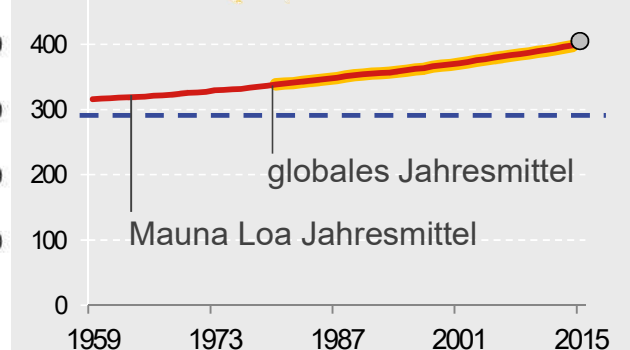
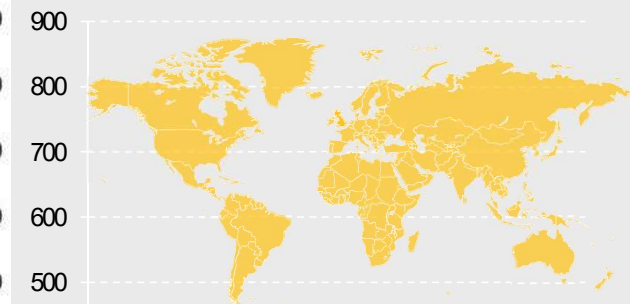
300 ppm

Quelle: Lüthi et al., Tans, IIASA

-800,000 -700,000 -600,000 -500,000 -400,000 -300,000 -200,000 -100,000 0

<http://www.ncdc.noaa.gov/indicators/> Zeit (in Jahren vor heute)

CO₂-Messungen



globales Jahresmittel

Mauna Loa Jahresmittel

Mitwirkung am FACE Projekt des Thünen Instituts

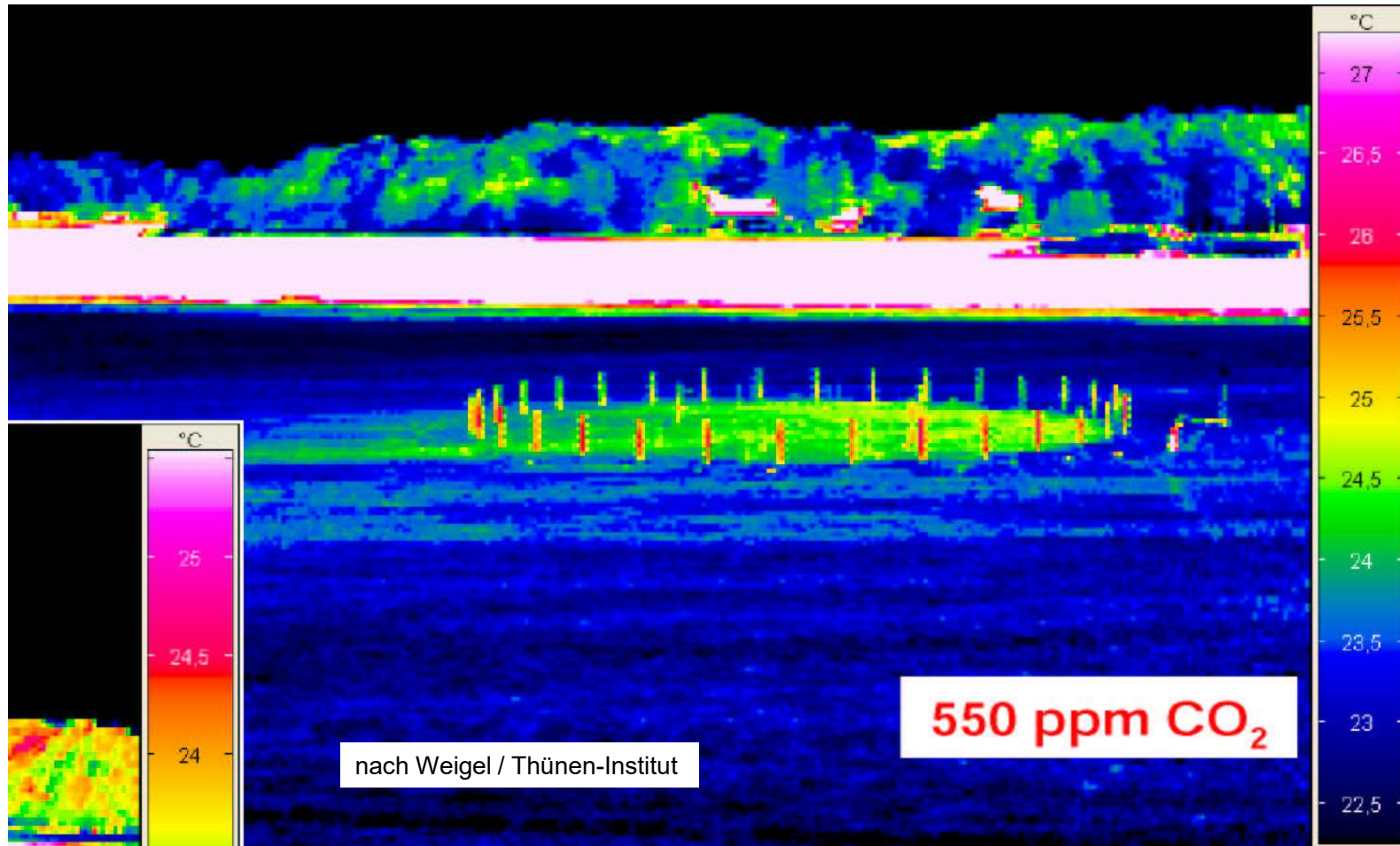
Auswirkungen erhöhtes CO₂ auf Pflanzen

hier Ringe mit CO₂-Anreicherung



CO₂

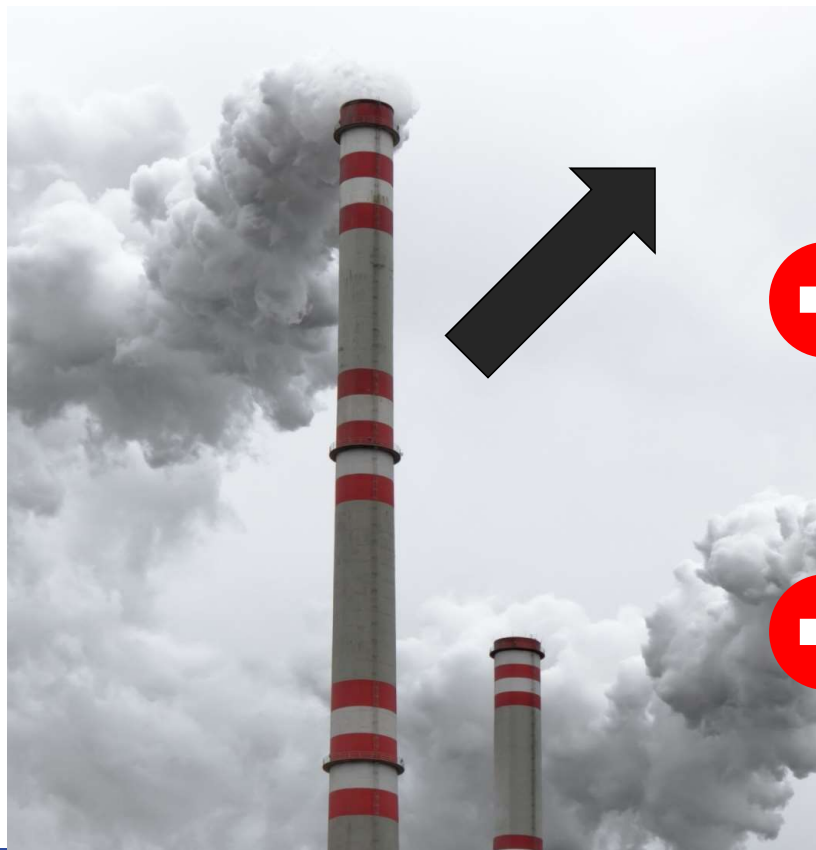
Auswirkungen



CO₂

Auswirkungen

Auswirkungen des CO₂-Anstiegs auf das Pflanzenwachstum



höhere Photosynthese- und Wachstumsraten

(Wenn kein anderer Wachstumsfaktor limitierend wirkt)



verbesserte Wassernutzungseffizienz



Temperatur

Deutschland wird wärmer

Abweichung zu 1961 - 1990

kurz notiert:

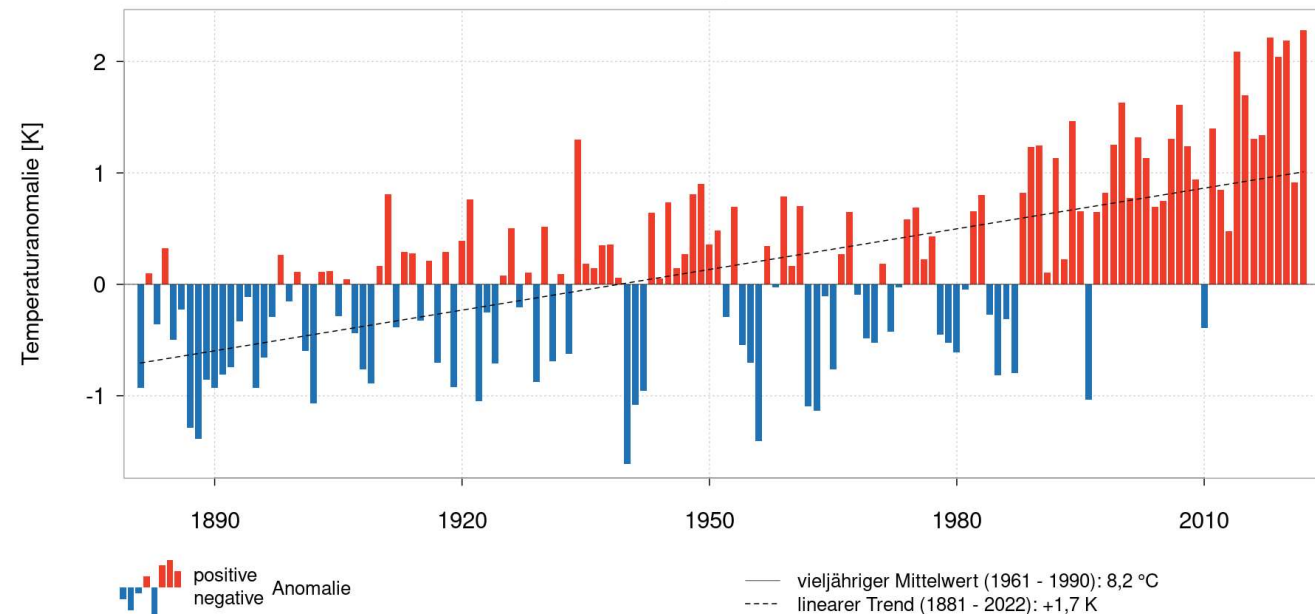
- ungebrochener Trend der Erwärmung in Deutschland
- Anstieg der Jahresmitteltemperatur um **1,7 °C** seit **1881**

Temperaturanomalie

Deutschland Jahr

1881 - 2022

Referenzzeitraum 1961 - 1990



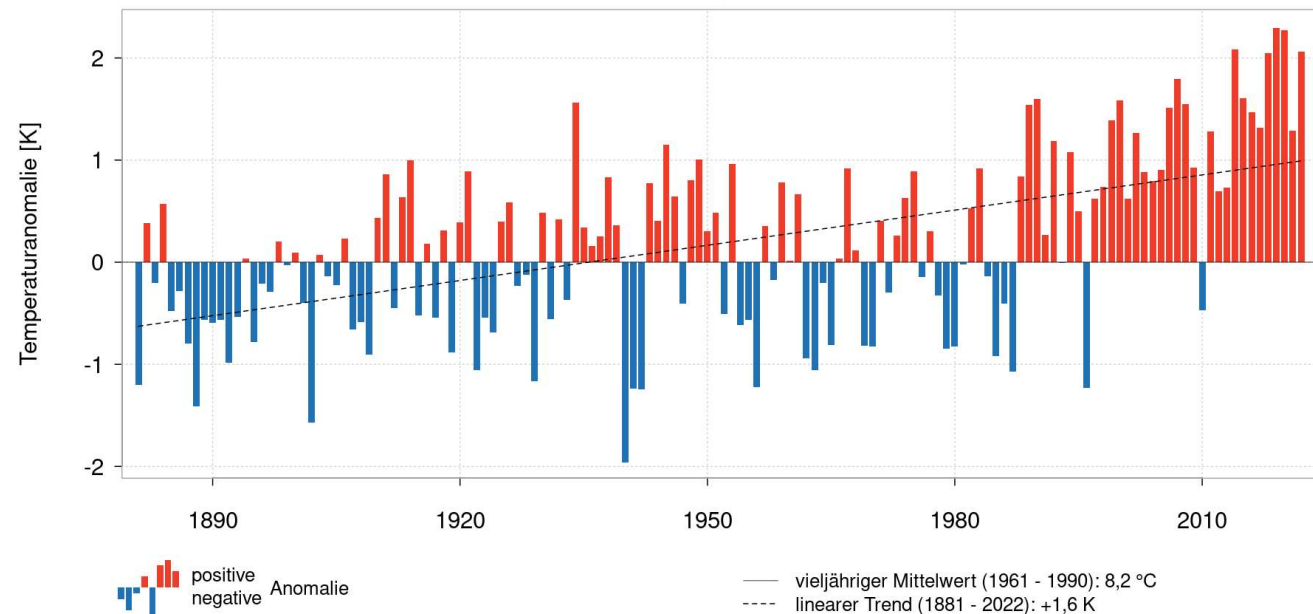
Mecklenburg-Vorpommern wird wärmer

Abweichung zu 1961 - 1990

kurz notiert:

- ungebrochener Trend der Erwärmung in Deutschland
- Anstieg der Jahresmitteltemperatur um **1,6 °C** seit **1881**

Temperaturanomalie
 Mecklenburg-Vorpommern Jahr
 1881 - 2022
 Referenzzeitraum 1961 - 1990



- **Änderung der Extreme:**
 - mehr Sommertage und heiße Tage
 - weniger Frost- und Eistage

Änderung bei Kenntagen (Extreme)

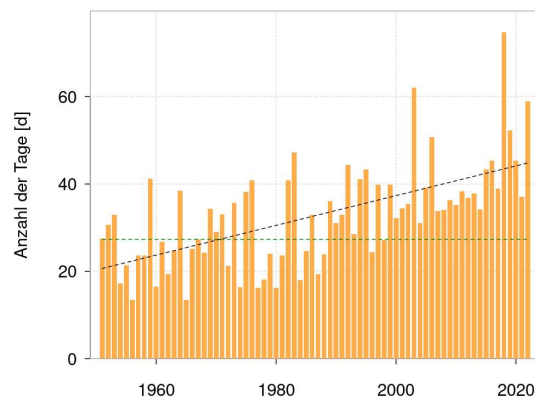
Temperatur

Beobachtungen - Deutschland

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Sommertage
Deutschland Jahr
1951 - 2022



$$T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$$

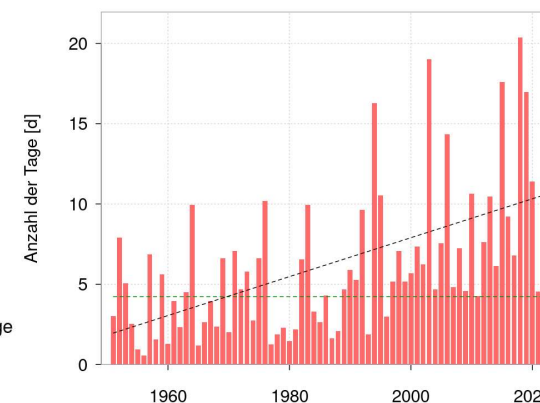
Gebietsmittel

Kenntagen

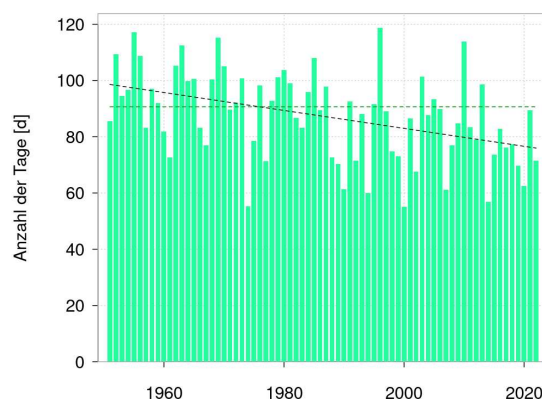
$$T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$$

Gebietsmittel
--- vieljähriger Mittelwert (1961 - 1990): 4,2 Tage
--- linearer Trend (1951 - 2022): +8,6 Tage

Heiße Tage
Deutschland Jahr
1951 - 2022



Frosttage
Deutschland Jahr
1951 - 2022



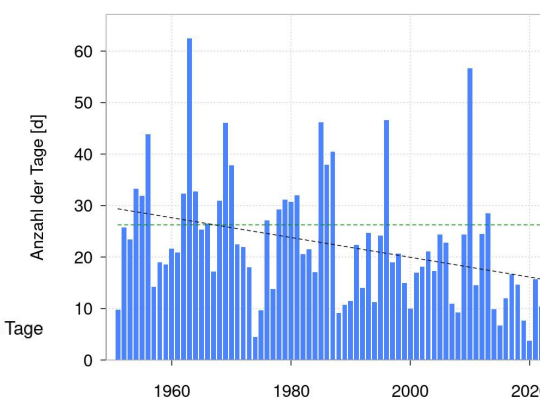
$$T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$$

Gebietsmittel

$$T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$$

Gebietsmittel
--- vieljähriger Mittelwert (1961 - 1990): 26,2 Tage
--- linearer Trend (1951 - 2022): -13,6 Tage

Eistage
Deutschland Jahr
1951 - 2022



Änderung bei Kenntagen (Extreme)

Temperatur

Beobachtungen – Mecklenburg-Vorpommern

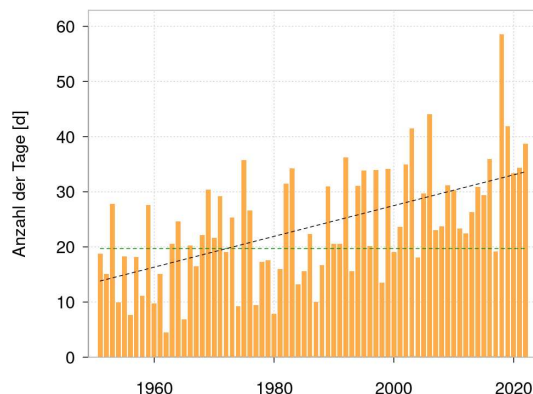
Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Kenntagen

Sommertage

Mecklenburg-Vorpommern Jahr
1951 - 2022



$$T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$$

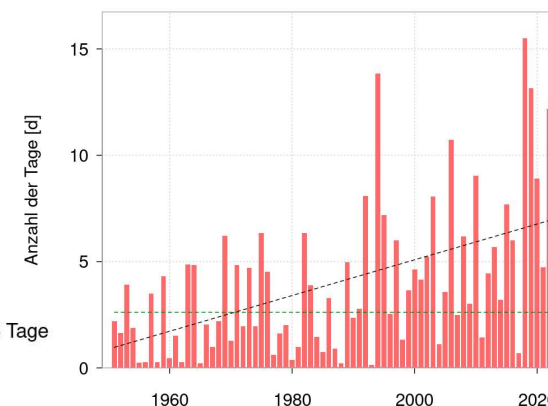


Gebietsmittel

--- vieljähriger Mittelwert (1961 - 1990): 2,6 Tage
--- linearer Trend (1951 - 2022): +6,0 Tage

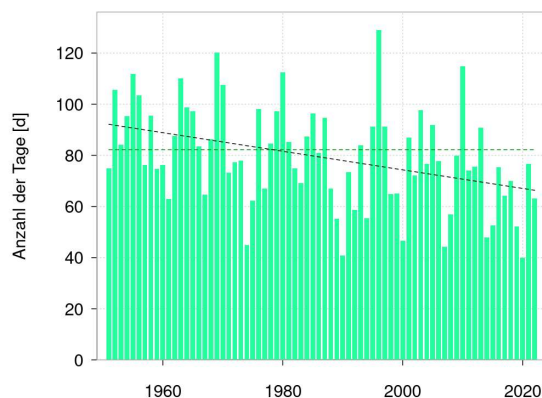
Heiße Tage

Mecklenburg-Vorpommern Jahr
1951 - 2022



Frosttage

Mecklenburg-Vorpommern Jahr
1951 - 2022



$$T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$$

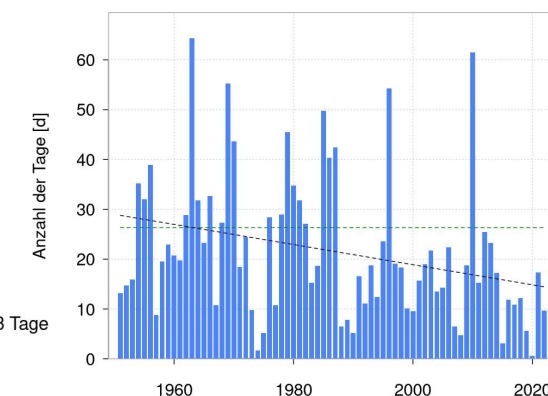


Gebietsmittel

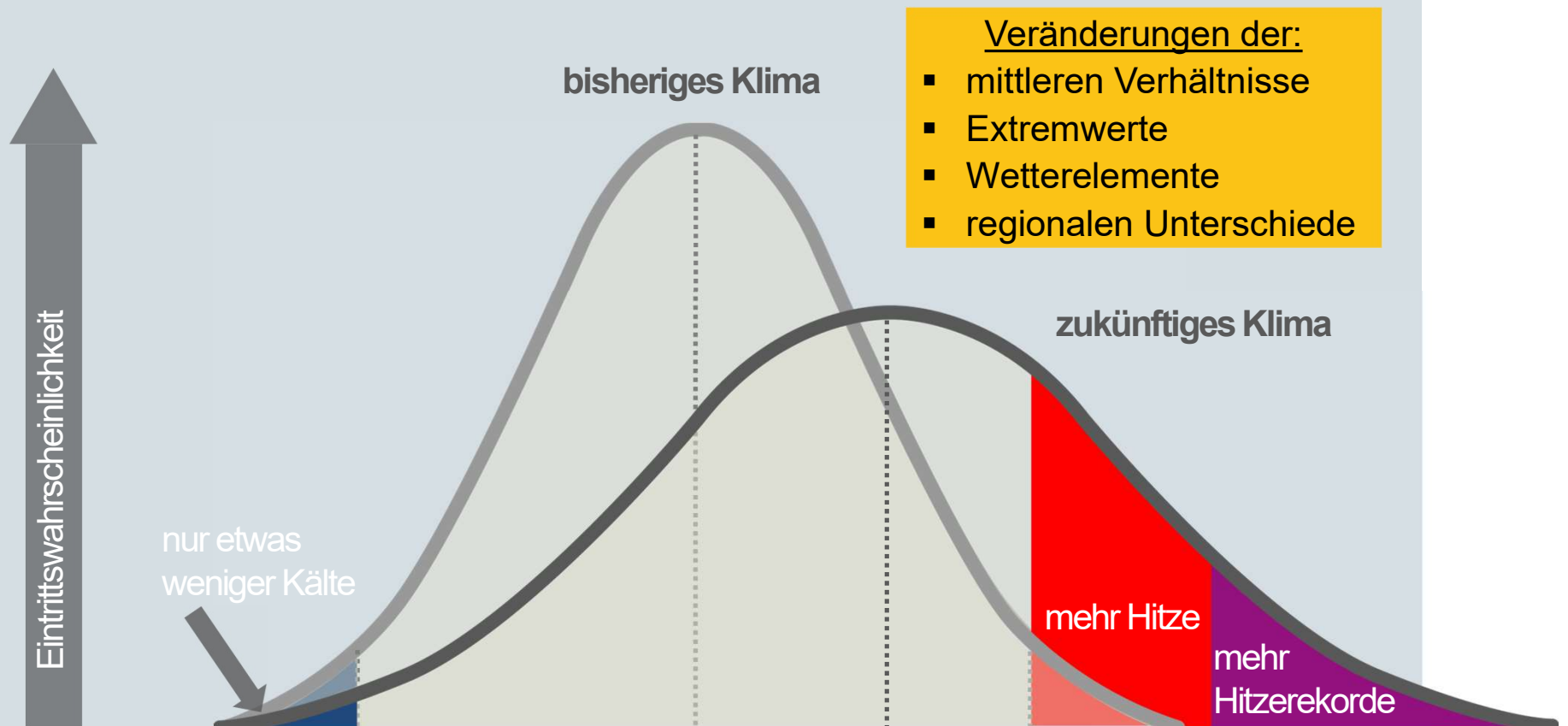
--- vieljähriger Mittelwert (1961 - 1990): 26,3 Tage
--- linearer Trend (1951 - 2022): -14,3 Tage

Eistage

Mecklenburg-Vorpommern Jahr
1951 - 2022

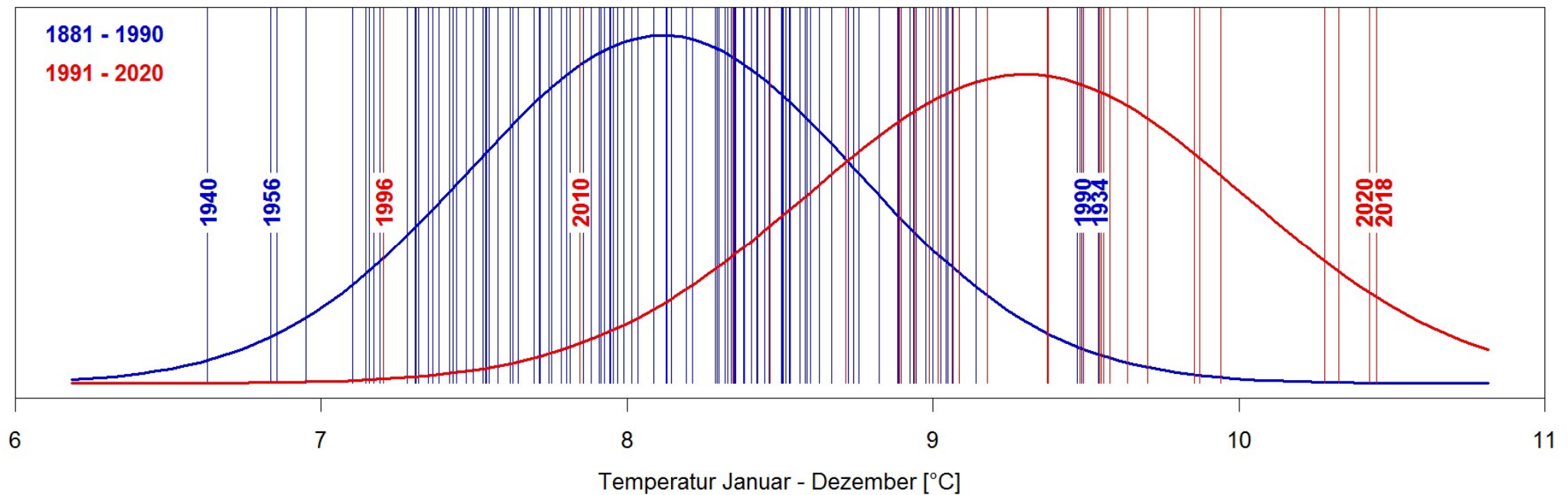


Klimawandel – was heißt das?



→ Häufigkeitsverteilung der Jahresmitteltemperatur
1881 - 1990 und 1991 - 2020 in Deutschland

→ Was früher extrem war, ist heute normal



Klimawandel – was war am 20. Jahrhundert so besonders?

Übergang von der letzten Kaltzeit zur gegenwärtigen Warmzeit:

- Dauer etwa 5000 Jahre (etwa 20.000 Jahre bis 15.000 Jahre vor heute)
- global gemittelte Erwärmung ca. 5°C

Kaltzeit → Warmzeit:	1 °C Erwärmung in 1000 Jahren
20. Jahrhundert:	1 °C Erwärmung in 100 Jahren

**“Die Menschheit erwärmt das globale Klima
mindestens zehnmals schneller als es die Natur je vermochte” ***

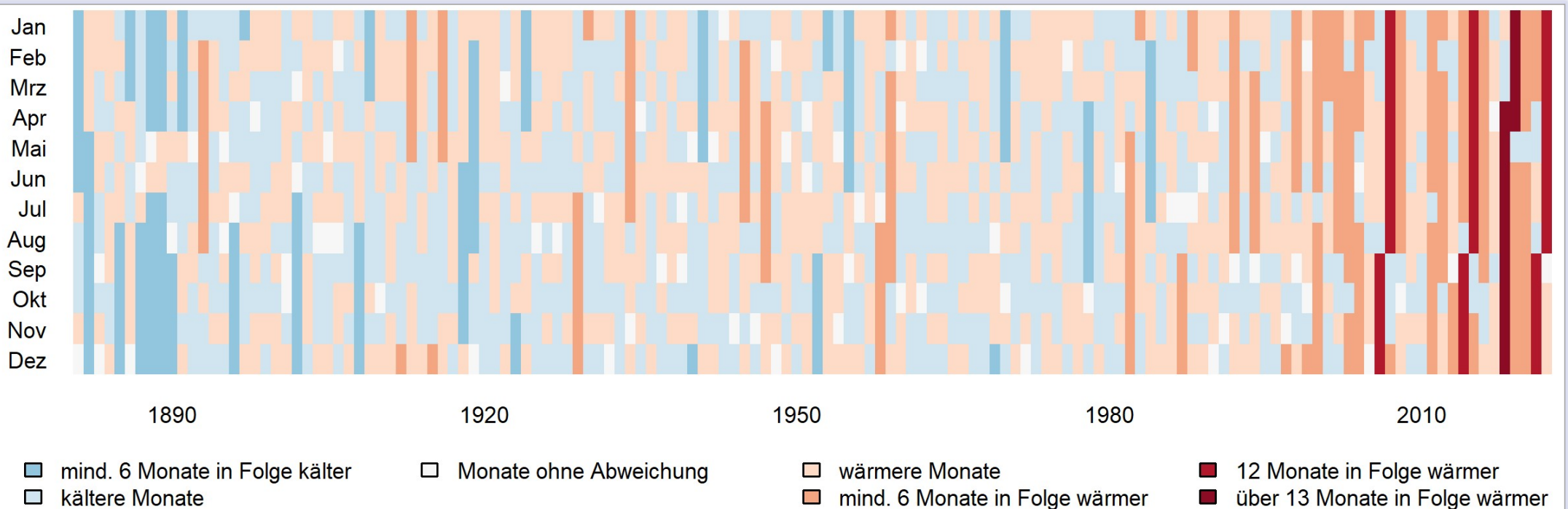
*IPCC (2007, WG1, p. 451)

Temperatur

Beobachtungen

Einordnung aller Monate seit 1881 - 2022

Perioden positiver und negativer Temperaturanomalien (Referenzzeitraum 1961 - 1990)

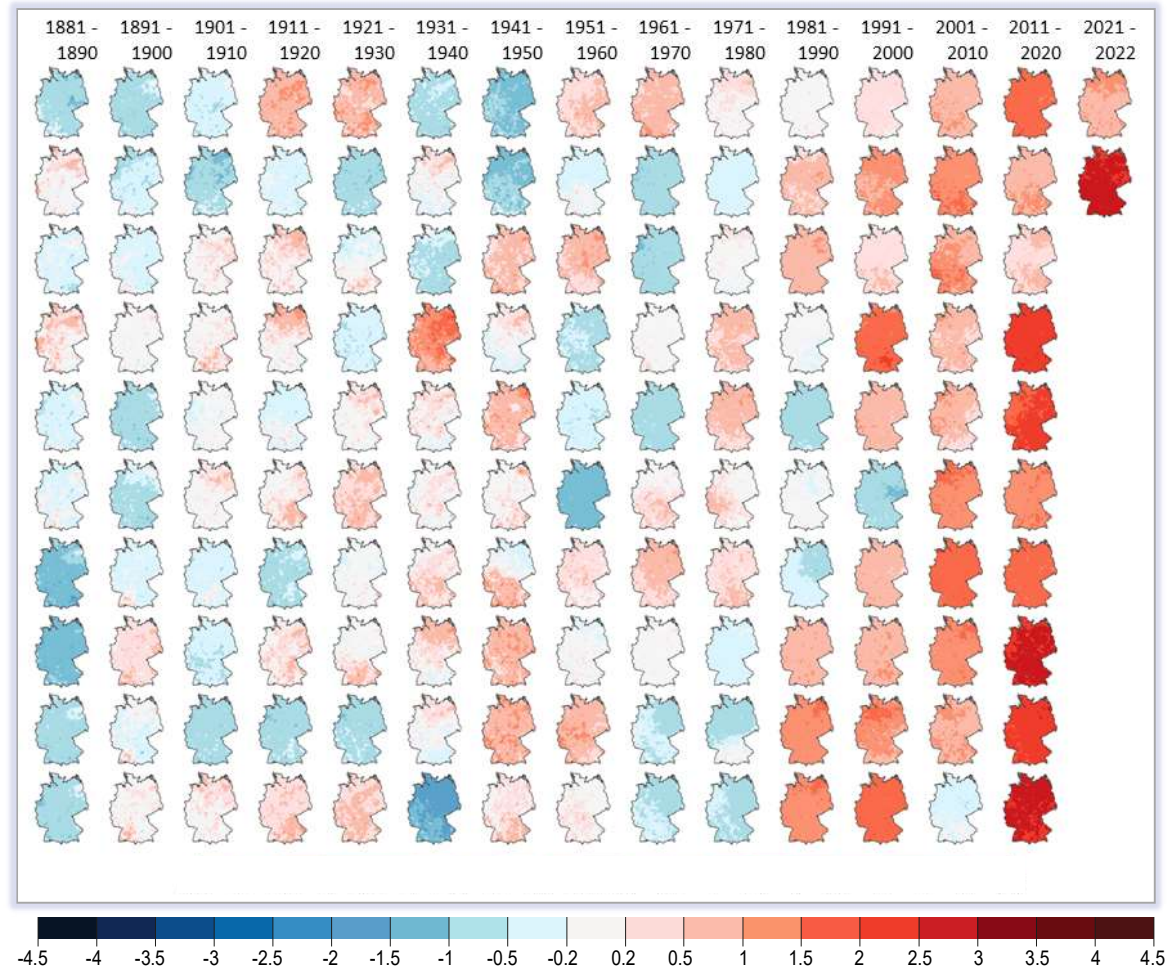


Quelle: DWD



Überall in Deutschland ist es wärmer geworden

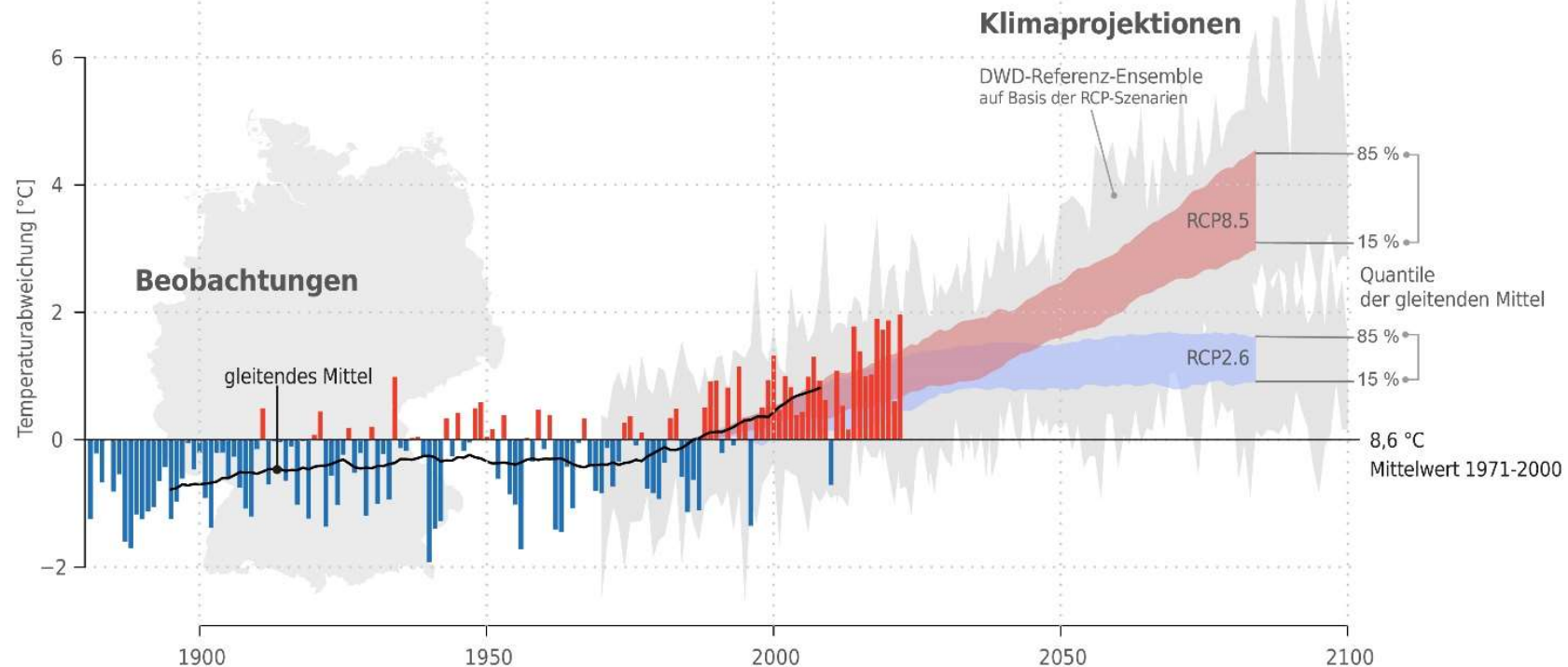
Abweichung vom Mittel
1961-1990



Die Temperatur wird im Mittel weiter steigen

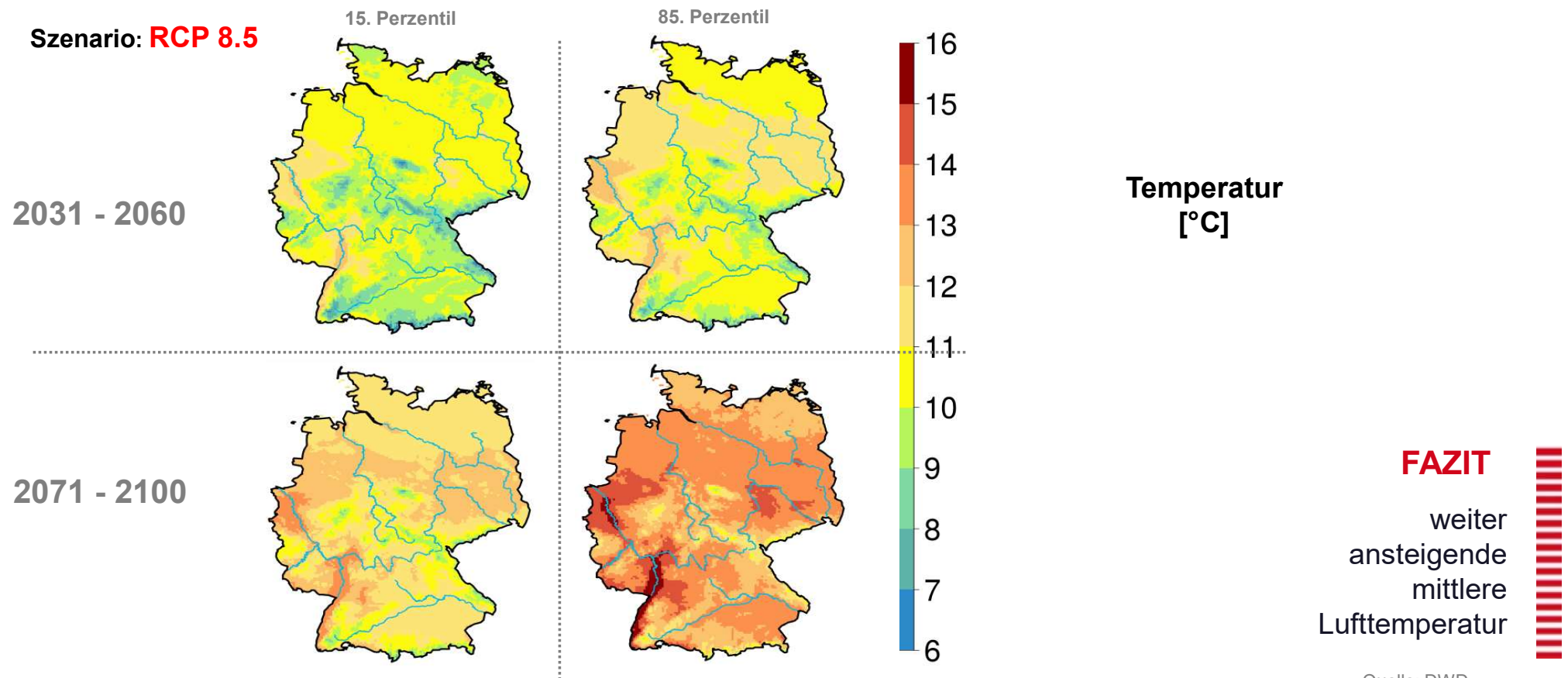
Deutschland im Klimawandel

Abgebildet sind die **positiven** und **negativen** Abweichungen der Lufttemperatur vom vieljährigen Mittelwert 1971 - 2000 sowie die zu erwartende Zunahme bis 2100



Quelle: DWD

Räumliche Verteilung der jährlichen Mitteltemperatur in der Zukunft

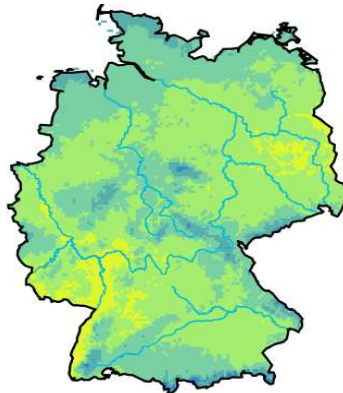


Absolut maximal sommerliche Maximaltemperaturen in der Zukunft

Szenario: **RCP 8.5**

2031 - 2060

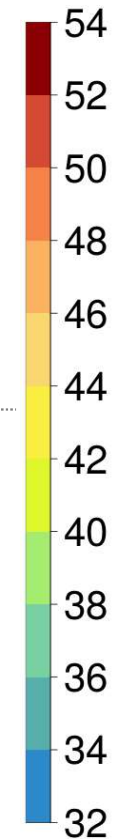
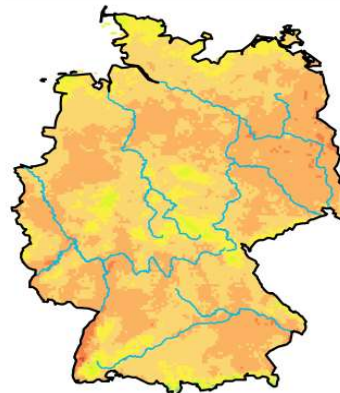
15. Perzentil



85. Perzentil

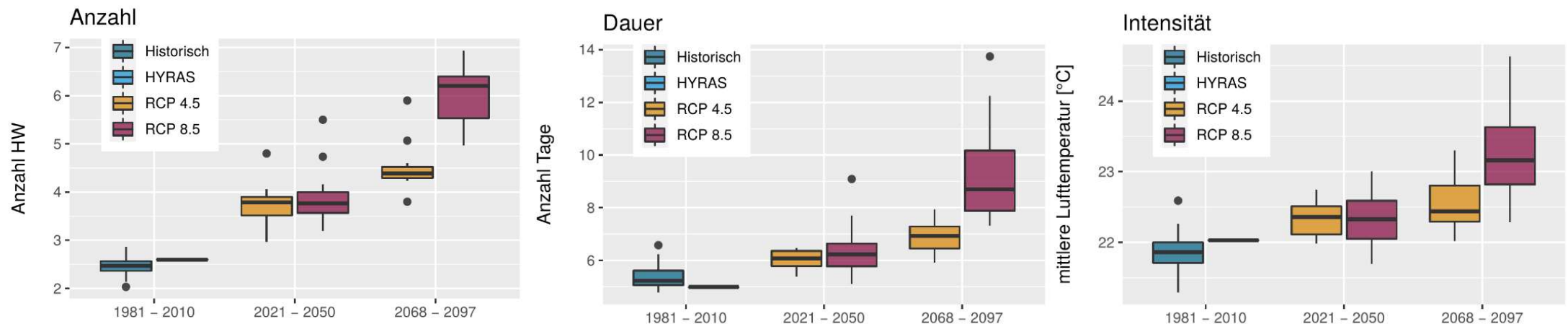


2071 - 2100

Temperatur
[°C]

Quelle: DWD

Anzahl und Dauer der Hitzewellen in Zukunft



Definition Hitzewelle:

Perioden von mind. 3 Tagen Dauer an denen die Tagesmitteltemperatur über dem 95. Perzentil der Referenzperiode 1981-2010 liegt.

Quelle: DWD



Temperatur

Auswirkungen

Auswirkungen des Temperaturanstiegs auf das Pflanzenwachstum



tendenziell

Verfrühung der
Pflanzenentwicklung

Pflanzenentwicklung in Deutschland

Leitphasen, mittlerer Beginn und Dauer der phänologischen Jahreszeiten

Zeiträume 1961-1990 und 1991-2020 im Vergleich

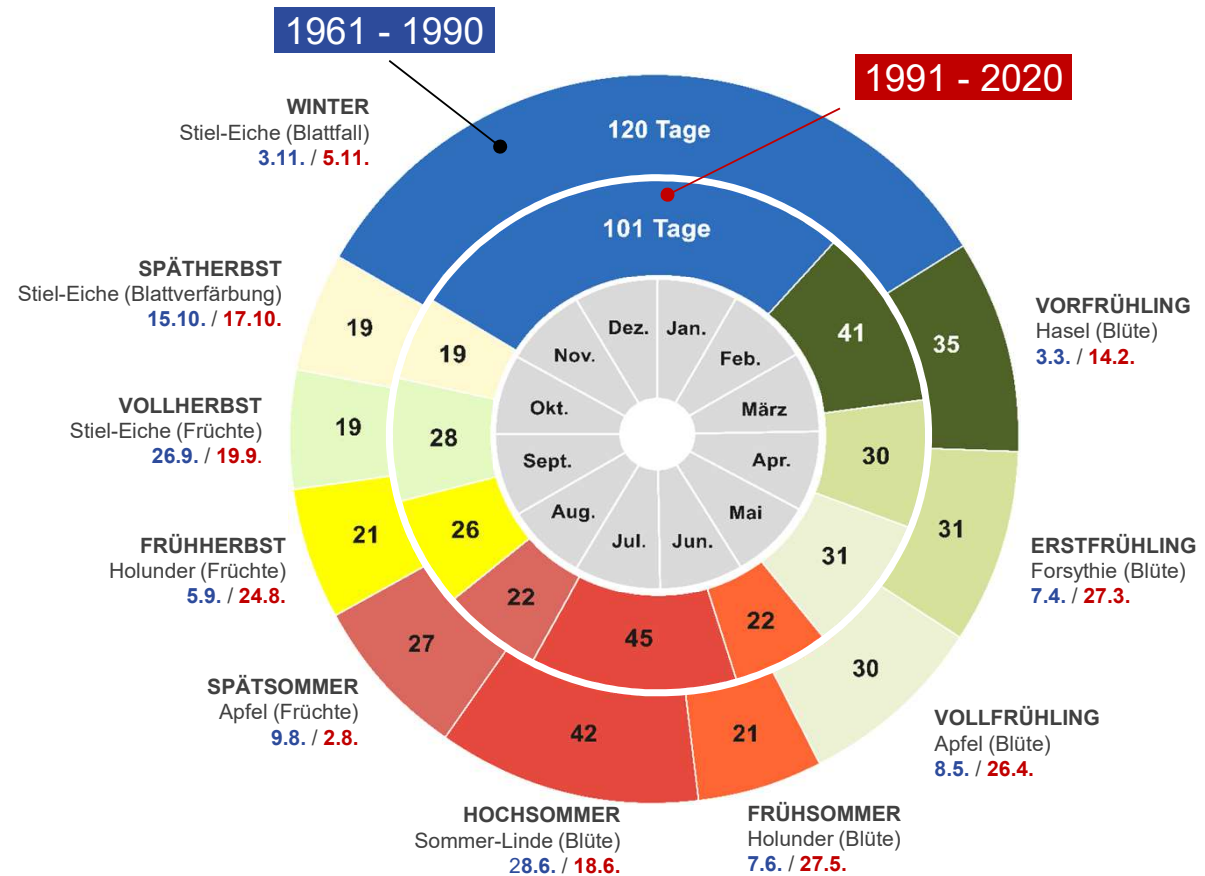
Außenring: Mittel 1961-1990

Innenring: Mittel 1991-2020

kurz notiert:

Verschiebung der phänologischen Jahreszeiten

Vegetationsperiode beginnt früher



Temperatur

Auswirkungen

Auswirkungen des Temperaturanstiegs auf
das Pflanzenwachstum**tendenziell**Verfrühung der
Pflanzenentwicklungdadurch größere Gefahr durch
Spätfröste (Aprikosen,
Süßkirschen, Äpfel)

Auswirkungen des Temperaturanstiegs auf das Pflanzenwachstum



tendenziell



frühere Ernte im Herbst wegen beschleunigter Entwicklung



Abnahme der Frostgefahr im Winter



geringere Frosthärte der Pflanzen erforderlich

Anbau von mediterranen Pflanzen möglich?

Temperatur

Auswirkungen

Auswirkungen des Temperaturanstiegs auf das Pflanzenwachstum



tendenziell

teilweise fehlende Vernalisationsreize bei warmen Wintern

Hitzestress im Sommer (*bei gleichzeitig abnehmendem Wasserangebot*); frühere Abreife / Notreife bei Trockenheit, Sonnenbrand

Teilweise bessere Überlebenschancen für Schädlinge

aber: hohe Variabilität von Jahr zu Jahr

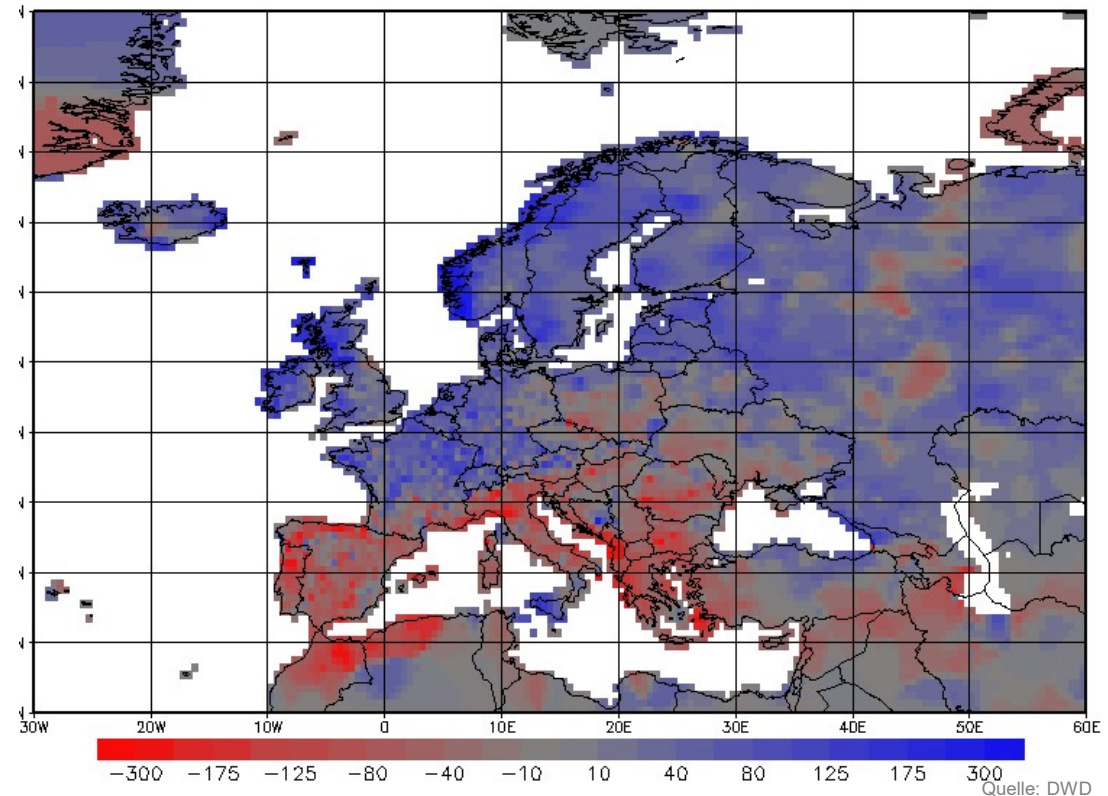


Niederschlagstrends in Europa

- Nordeuropa wird feuchter
- Südeuropa wird trockener
- Ausnahmen: Sizilien wird feuchter und Ostdeutschland und Polen trockener
- große Gradienten der Trends an den Alpen

Niederschlagsanomalie: 1981-2010 minus 1951-1980

GPCC langjährige Mittel



	Deutschland Mittel 1961-1990	Deutschland Änderung seit 1881	MV Mittel 1961-1990	MV Änderung seit 1881
Frühling	185,9 mm	+12,4 mm	134,2 mm	+1,8 mm
Sommer	239,4 mm	-10,0 mm	186,9 mm	0,0 mm
Herbst	183,3 mm	+7,8 mm	144,9 mm	+4,1 mm
Winter	180,7 mm	+48,3 mm	130,2 mm	+36,1 mm
Jahr	788,9 mm	+57,7 mm	594,8 mm	+43,0 mm

Änderung der Niederschlagssumme im Winter seit 1963



leichte Zunahme, hohe Variabilität

1963 - 1972

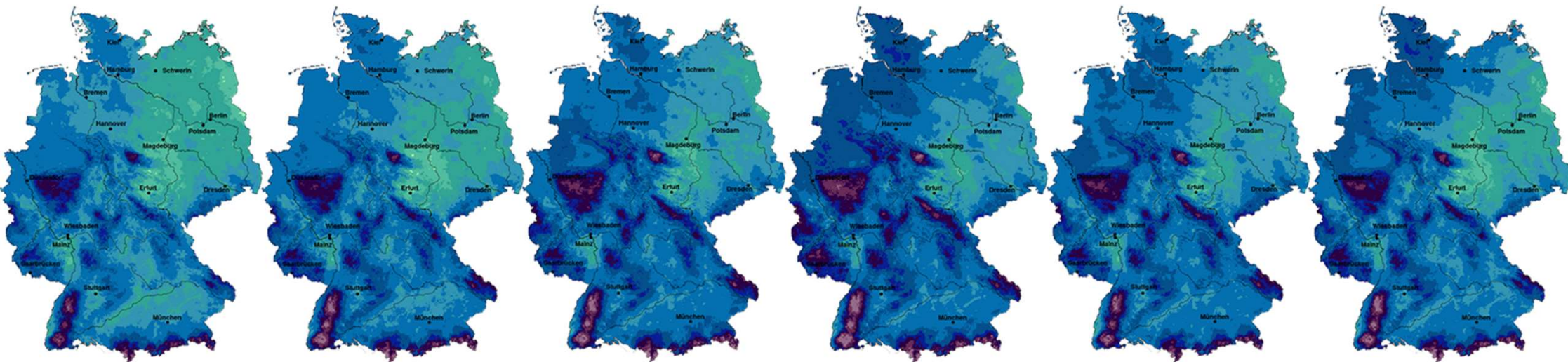
1973 - 1982

1983 - 1992

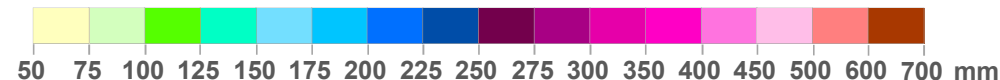
1993 - 2002

2003 - 2012

2013 - 2022



Min = 54 mm / Max = 727 mm



Änderung der Niederschlagssumme im Sommer seit 1963



leichte Abnahme, hohe Variabilität

1963 - 1972

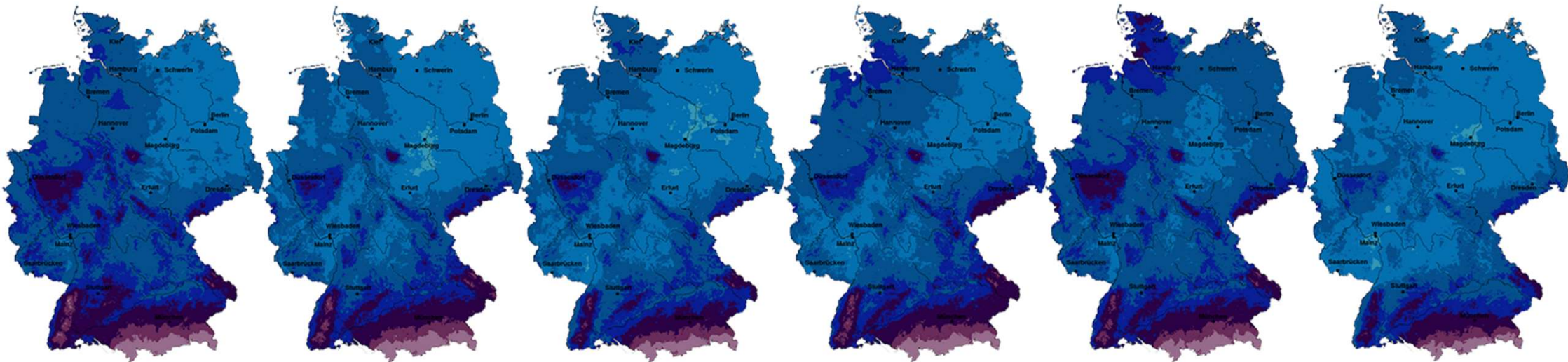
1973 - 1982

1983 - 1992

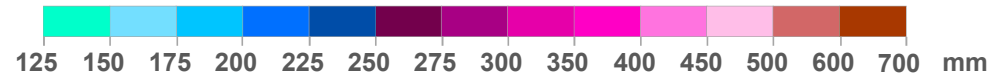
1993 - 2002

2003 - 2012

2013 - 2022



Min = 123 mm / Max = 1025 mm



Frühjahrstrockenheit

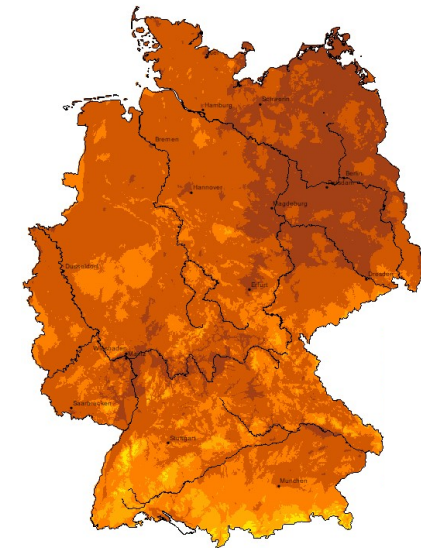
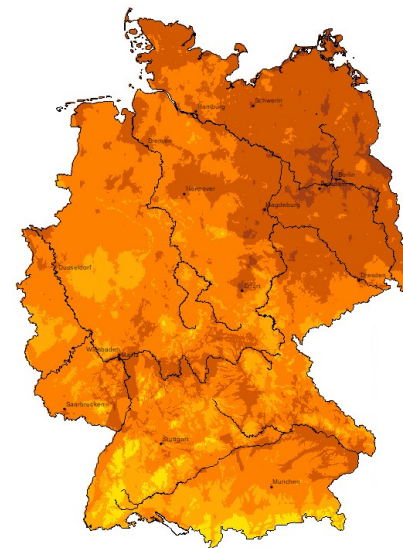
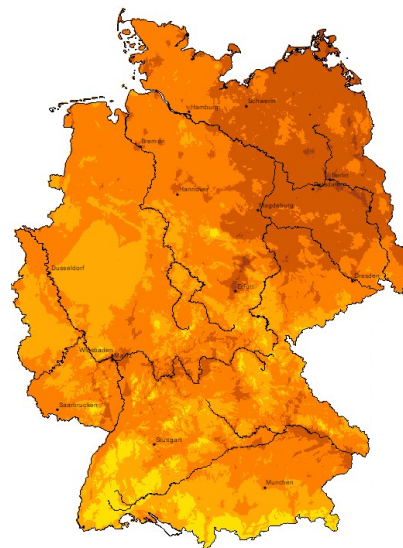
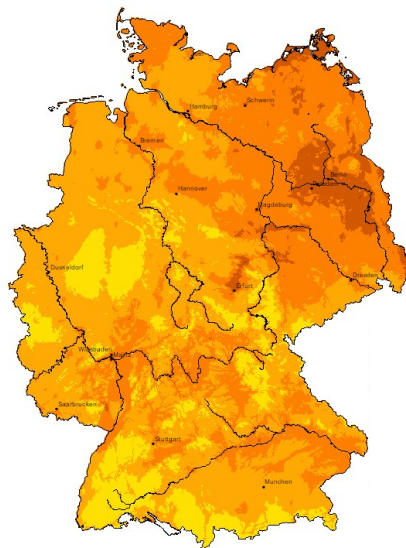
Zunahme der trockenen Tage

1961 - 1990

1971 - 2000

1981 - 2010

1991 - 2020



Tage ohne Niederschlag
zwischen 15.03. und 15.05.



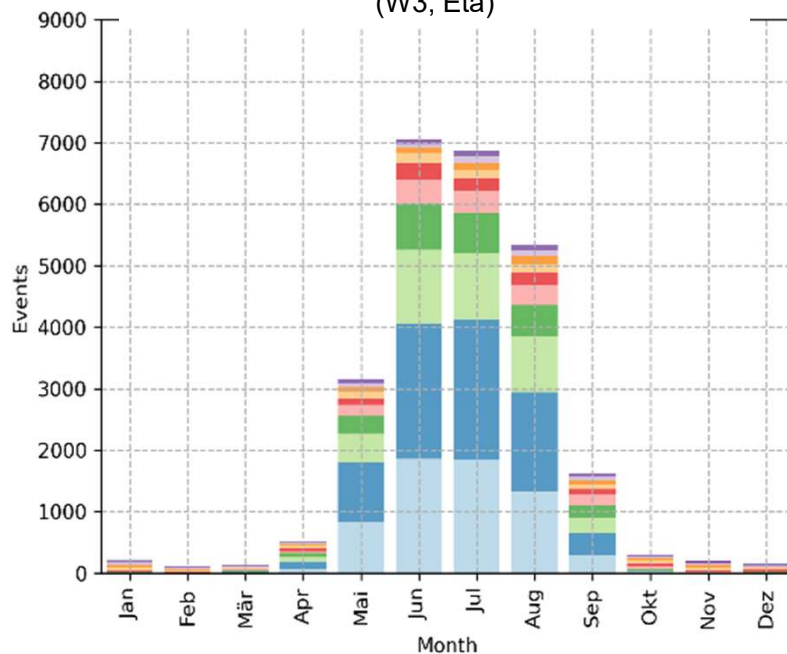
Quelle: Studie „Agrarrelevante Extremwetterlagen“ (2015), **ergänzt 11/2020**

Niederschlag

Beobachtungen

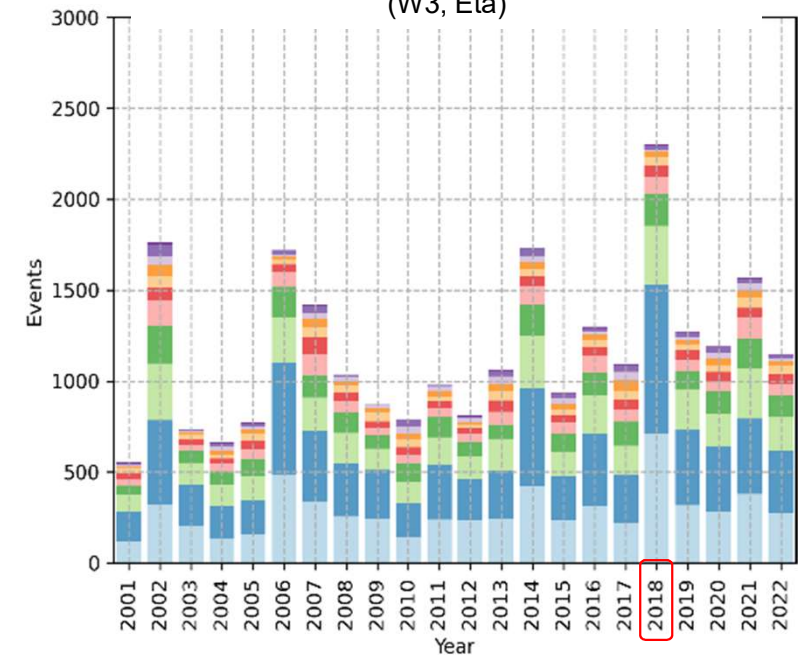
Starkregenereignisse 2001-2022 in Deutschland

Ereignisse pro Monat 2001 – 2022
(W3, Eta)



Quelle: DWD

Niederschlagsereignisse pro Jahr
(W3, Eta)



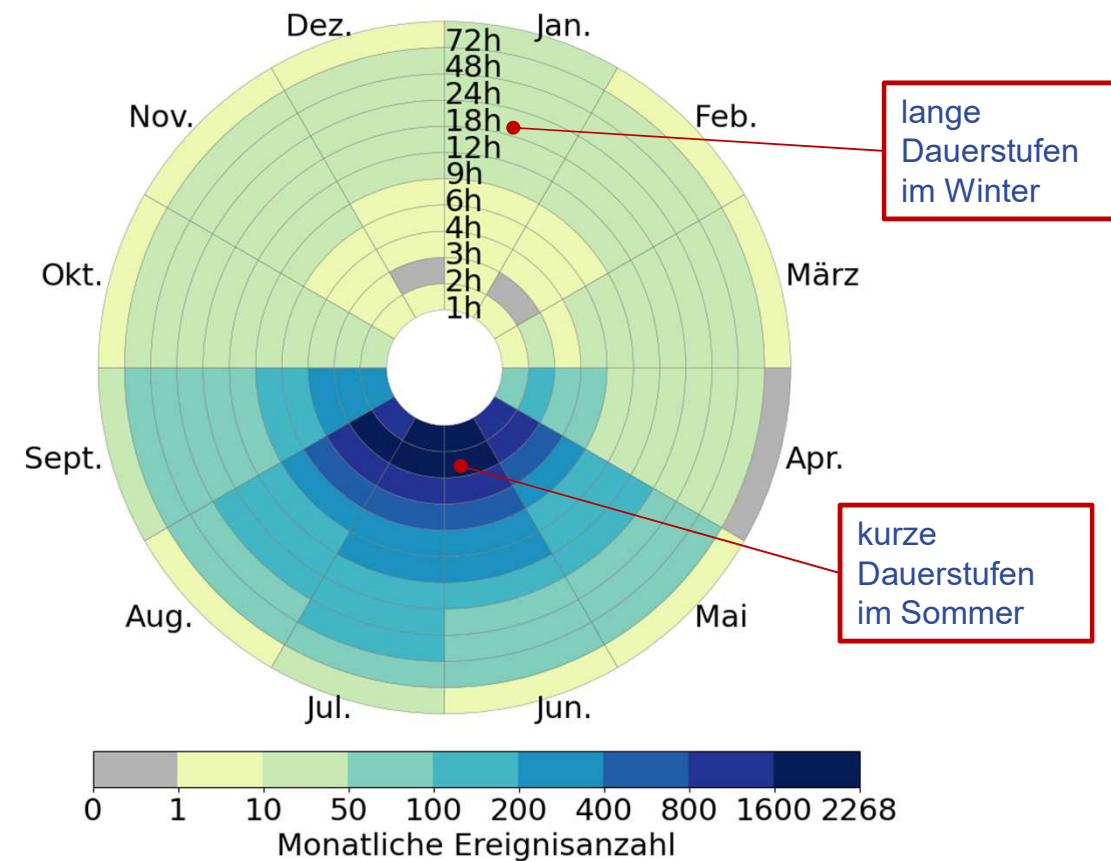
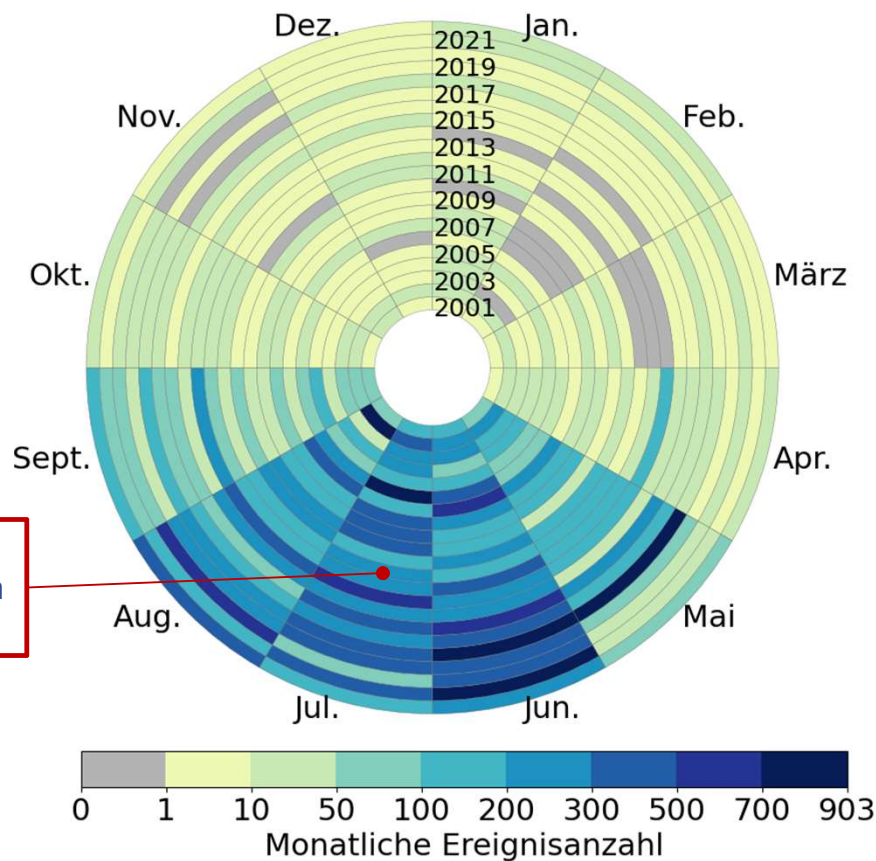
→ Das Auftreten von Starkregenereignisse hat einen markanten Jahresgang

→ Starkregenereignisse treten mit hoher Jahr-zu-Jahr Variabilität auf.
→ Hitzejahre (Sommermärchen 2006; Jahrhundertssommer 2018) haben viele Ereignisse besonders kleinräumiger und kurzer Gewitter.



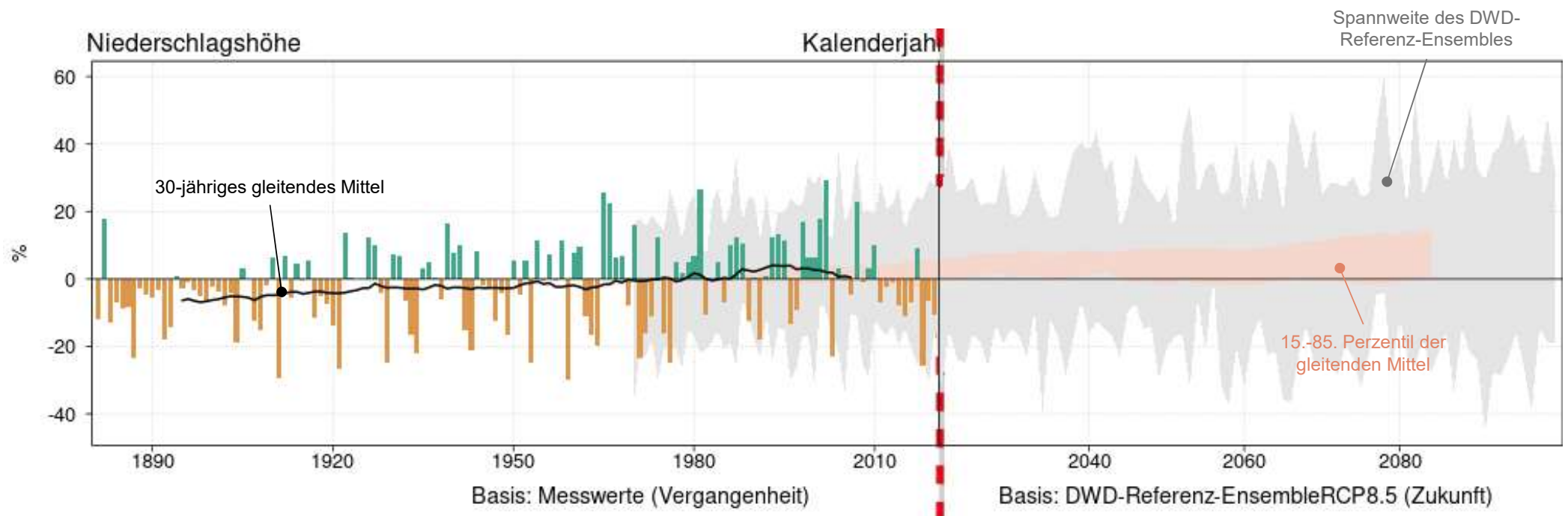
Starkregen

Monatliche Ereignisanzahlen 2001-2022 - pro Jahr und Dauerstufe



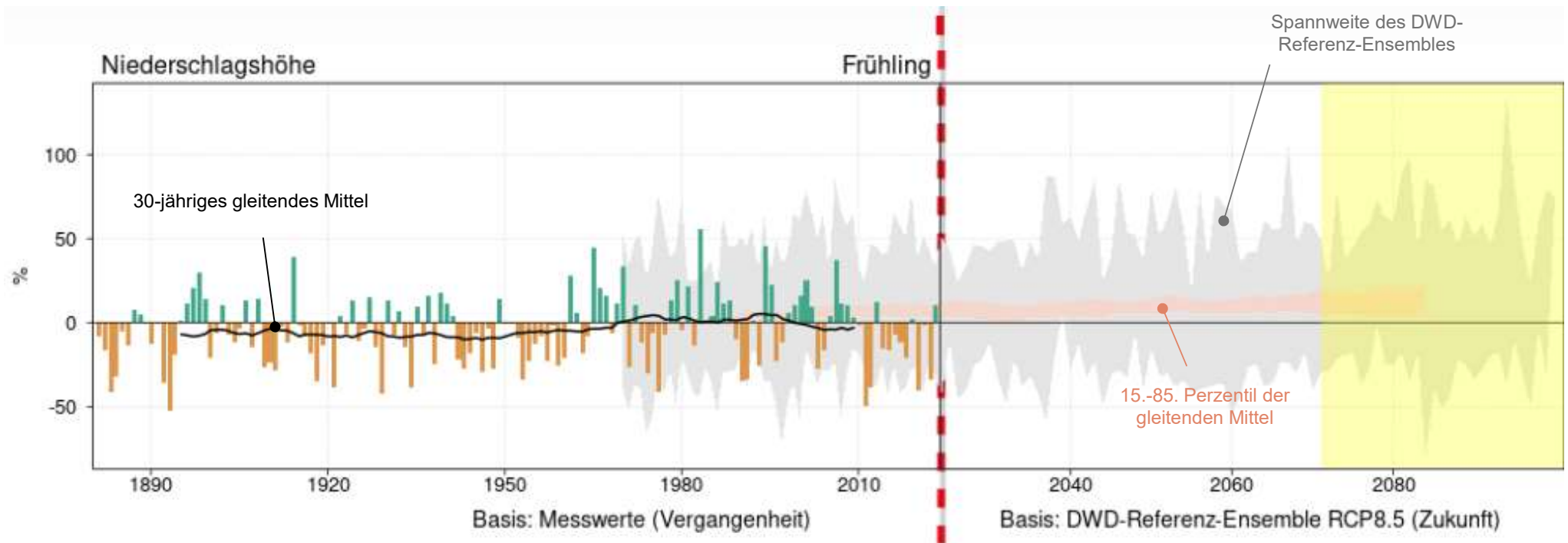
Quelle: DWD





Quelle: DWD / Klimaatlas



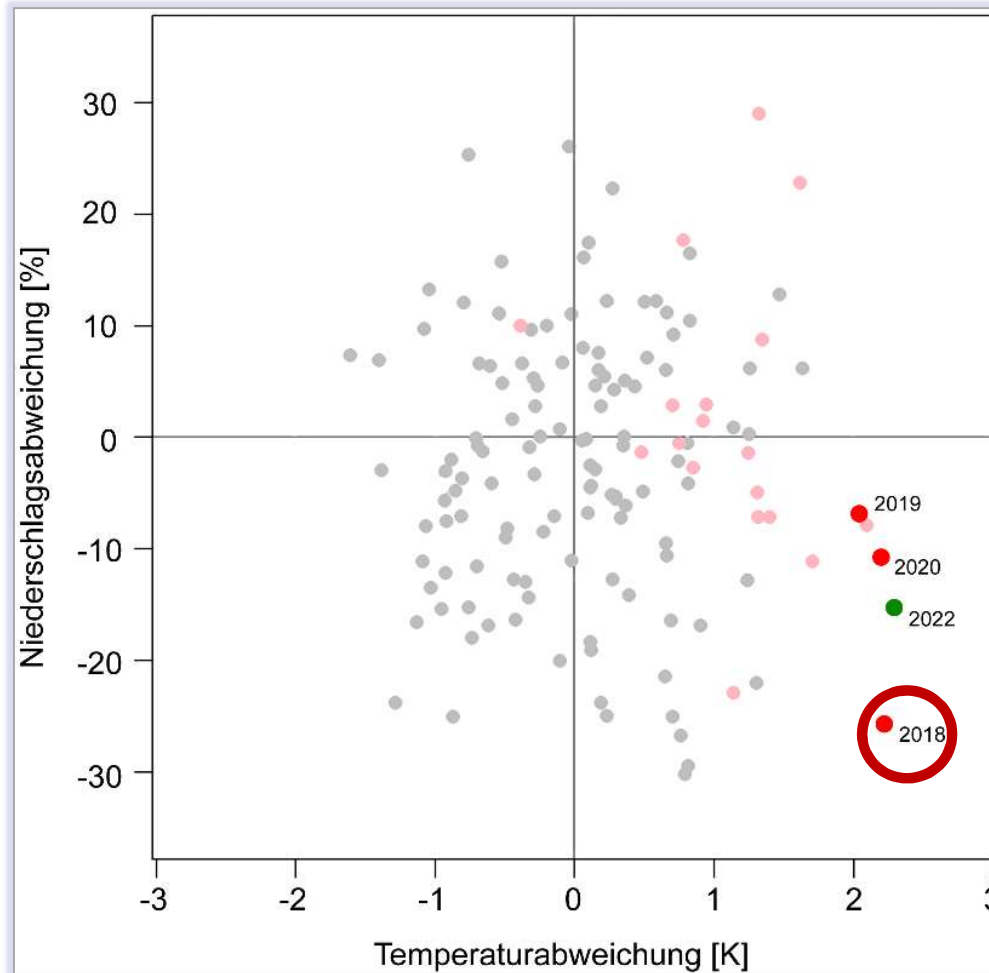


Quelle: DWD / KlimaAtlas



Abweichungen der Temperatur
und des Niederschlags
1881-2022 vom vieljährigen
Mittelwert 1961-1990

Zeitraum **April-September**
(Hauptvegetationsperiode)



rot:
Jahre seit Beginn 21.
Jahrhunderts

Welcher Ort hat heute ein ähnliches Klima wie wir es für die Zukunft erwarten?

Berücksichtigte Variablen:

Mitteltemperatur (DJF, MAM, JJA, SON)

Maximumtemperatur (JJA)

Minimumtemperatur (DJF)

Niederschlagsmenge (DJF, MAM, JJA, SON)

Betrachtete Zeiträume:

Referenzperiode: 1961-1990

**räumliche Verschiebung im gesamten
Analysezeitraum**

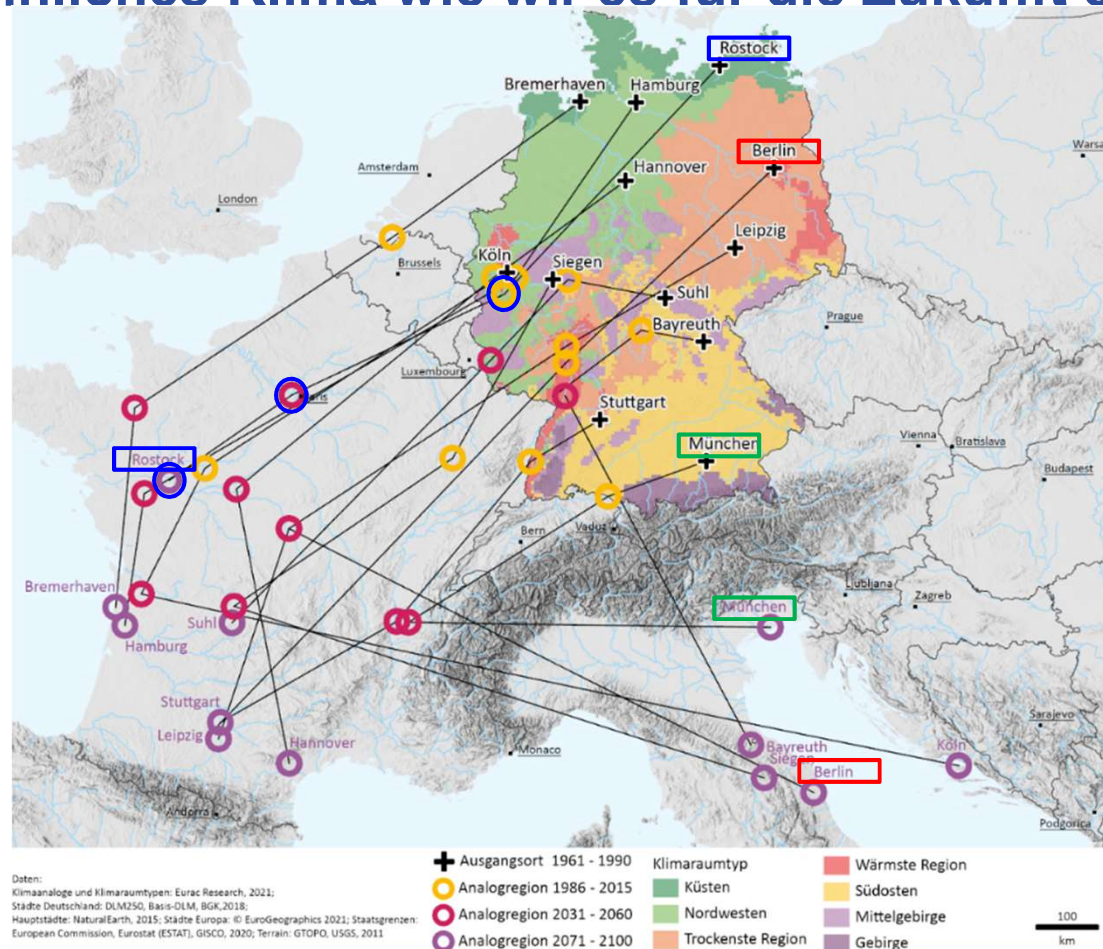
■ RCP 8.5

Legende:

DJF: Dez. – Feb. (Winter); MAM: Mrz. – Mai (Frühling); JJA: Jun.-Aug. (Sommer); SON: Sep. - Nov. (Herbst)

Quelle (Literatur): Analysing spatial patterns of climate change: climate clusters, hotspots and analogues to support climate risk assessment and communication in Germany

A. Crespi, K. Renner, M. Zebisch, I. Schauser, N. Leps, A. Walter
Submitted to "Climate Services", 2022.



Auswirkungen der Niederschlagsänderung auf das Pflanzenwachstum



tendenziell

- ➔ mehr Niederschläge im Winter, weniger im Sommer
- ➔ Erosion und Überflutung im Winter, Nährstoffauswaschung
- ➔ aber hohe Variabilität von Jahr zu Jahr

Auswirkungen der Niederschlagsänderung auf das Pflanzenwachstum



tendenziell



Wassermangel im Sommer:
höhere Verdunstung
bei weniger Niederschlag
Bewässerung!

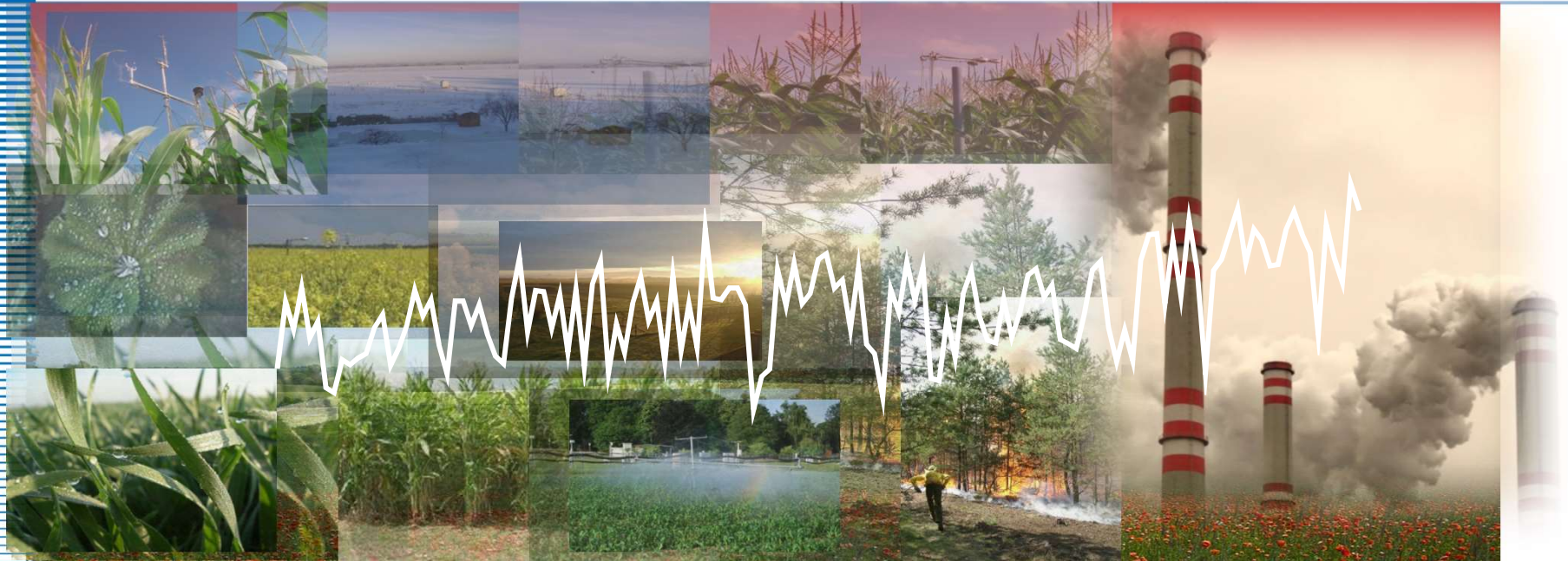


Niederschlagsereignisse werden
extremer



Trockenperioden wechseln mit
Starkregen, besonders im Sommer





**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit**