



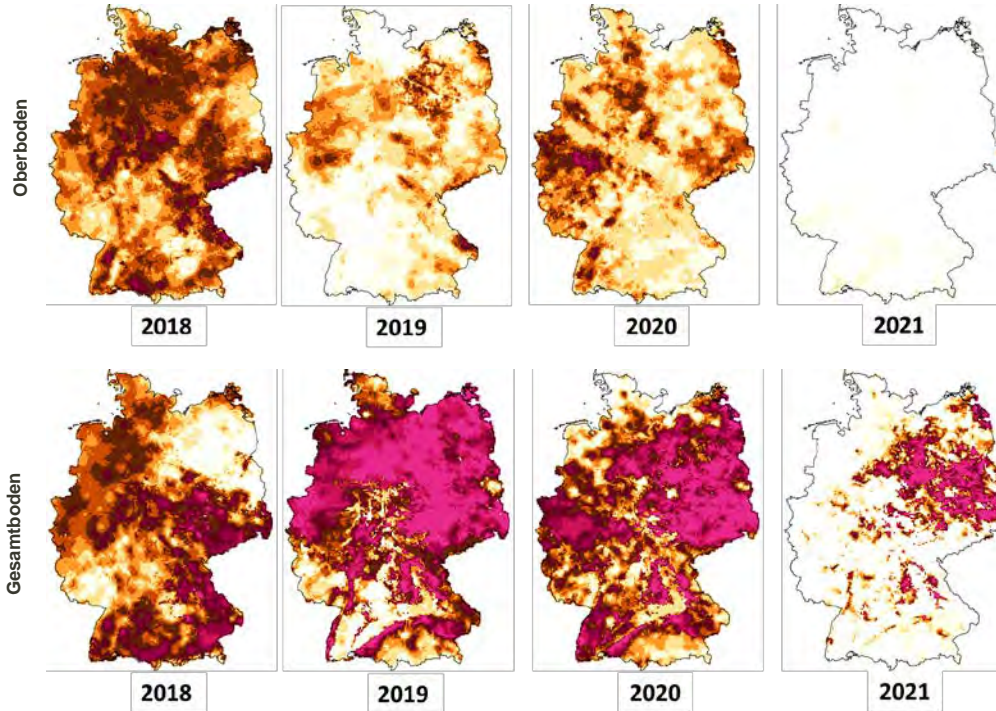
Klimafolgen für den Wasserhaushalt in Deutschland

Andreas Marx, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)



Verständlichkeit zu einem „neuen“ Thema

Jährliche Dürreintensitäten aus dem Deutschen Dürremonitor



Zur Zeit wird gleichzeitig
angenommen

- es gar keine Dürre gebe
- dass die Dürre der neue Normalzustand sei

Aridität und Dürre werden
fälschlicherweise gleichgesetzt



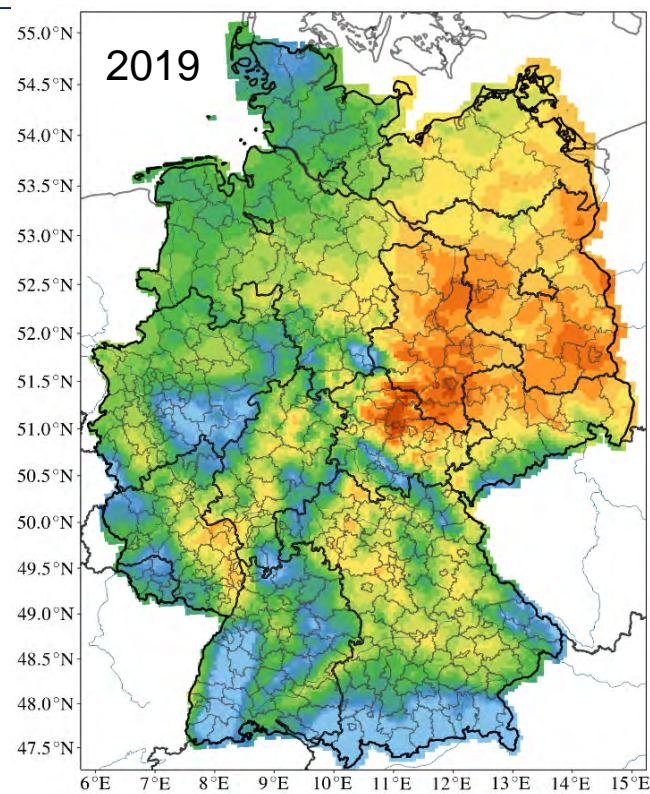
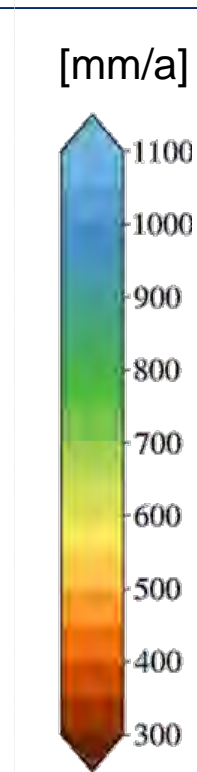
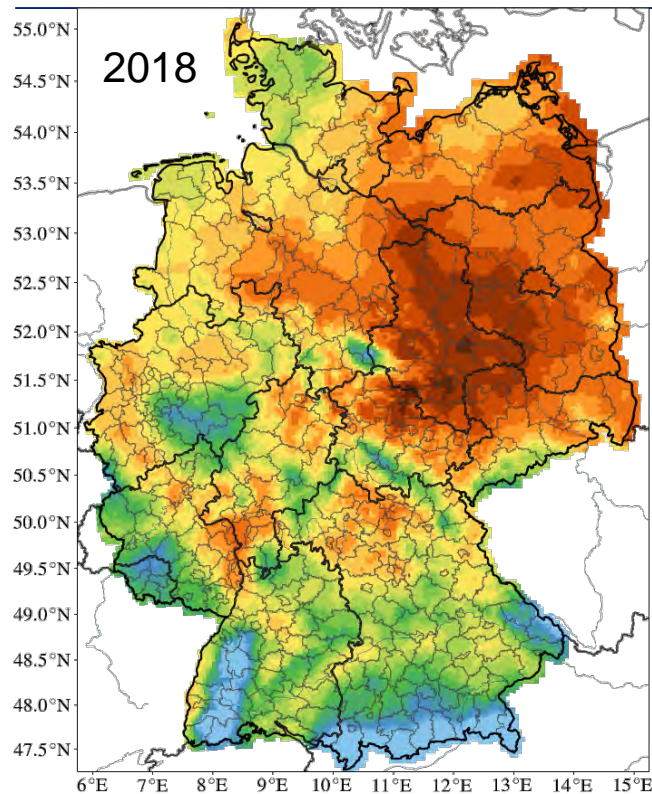
Vier wesentliche Unterscheidungen von Dürre:

- *Meteorologische Dürre*
- *Agrarische Dürre*
- *Hydrologische Dürre*

- *Sozio-ökonomische Dürre*
- *Dürrerisiko*

Niederschlag – Jahressummen [mm] 2018 und 2019

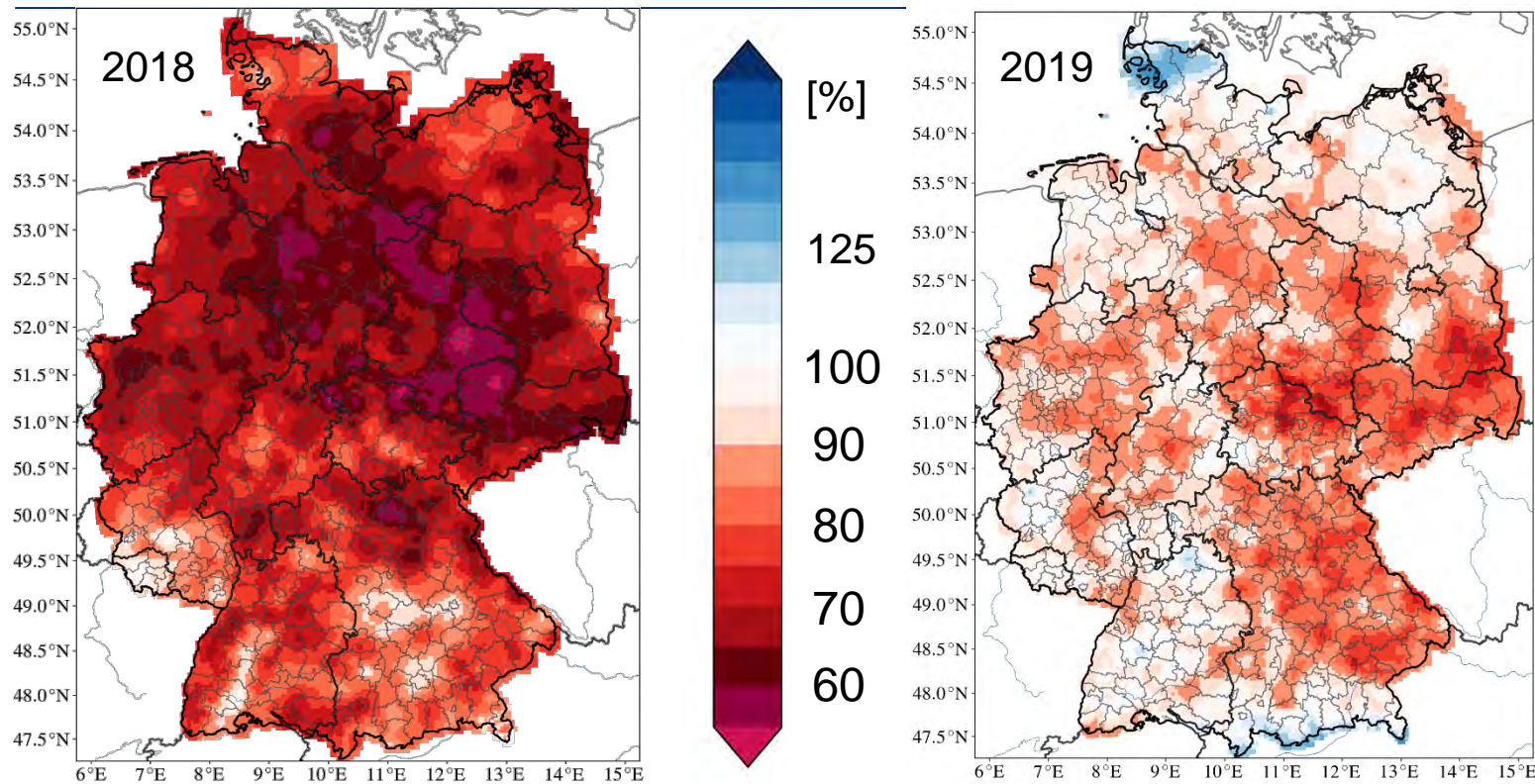
Interpolation und Auswertung: UFZ – Deutscher Dürremonitor
Datenquelle Stationsdaten: DWD - CDC



Relativer Jahresniederschlag [%] zum Zeitraum 1981-2010

Interpolation und Auswertung: UFZ – Deutscher Dürremonitor

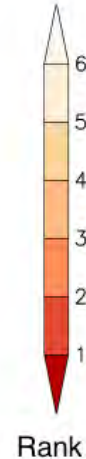
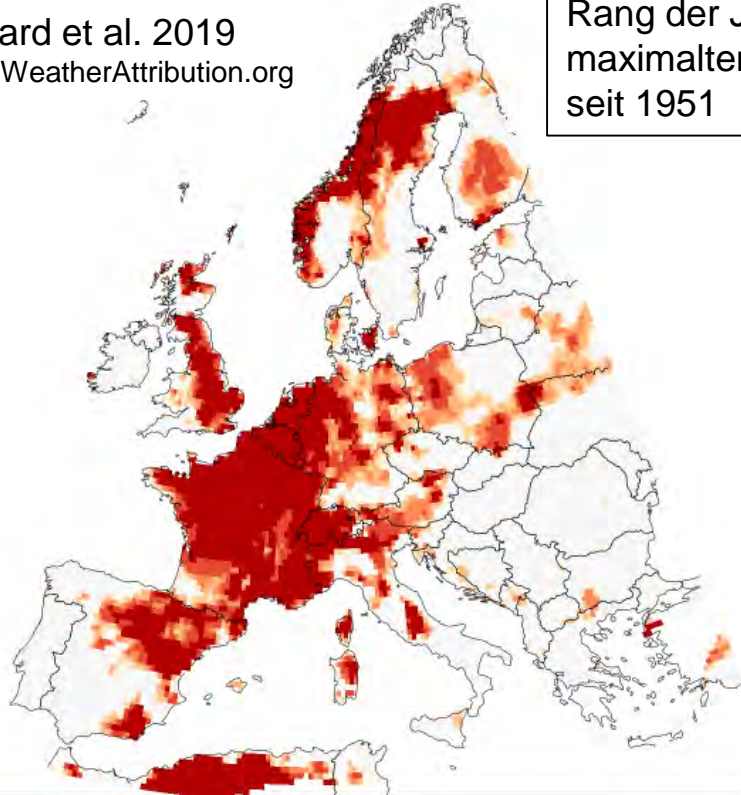
Datenquelle Stationsdaten: DWD - CDC



Veränderung Hitzewellen durch Klimawandel: Beispiel Juli 2019

Vautard et al. 2019
WorldWeatherAttribution.org

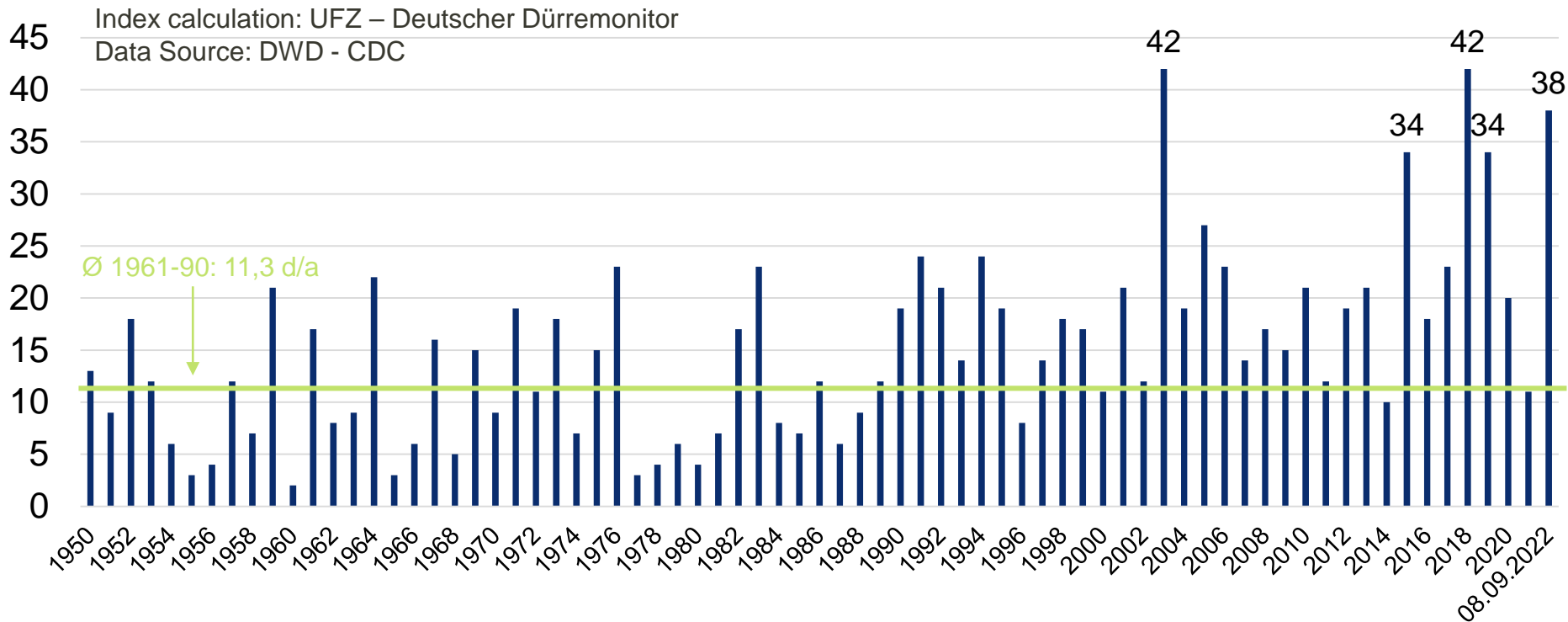
Rang der Jahres-
maximaltemperatur
seit 1951



- Deutschland:
Hitzewelle war 10 bis
30-jähriges Ereignis
- Wahrscheinlichkeit ist
durch Klimawandel
mindestens 3-fach, im
Mittel ungefähr um den
Faktor 10 gestiegen.

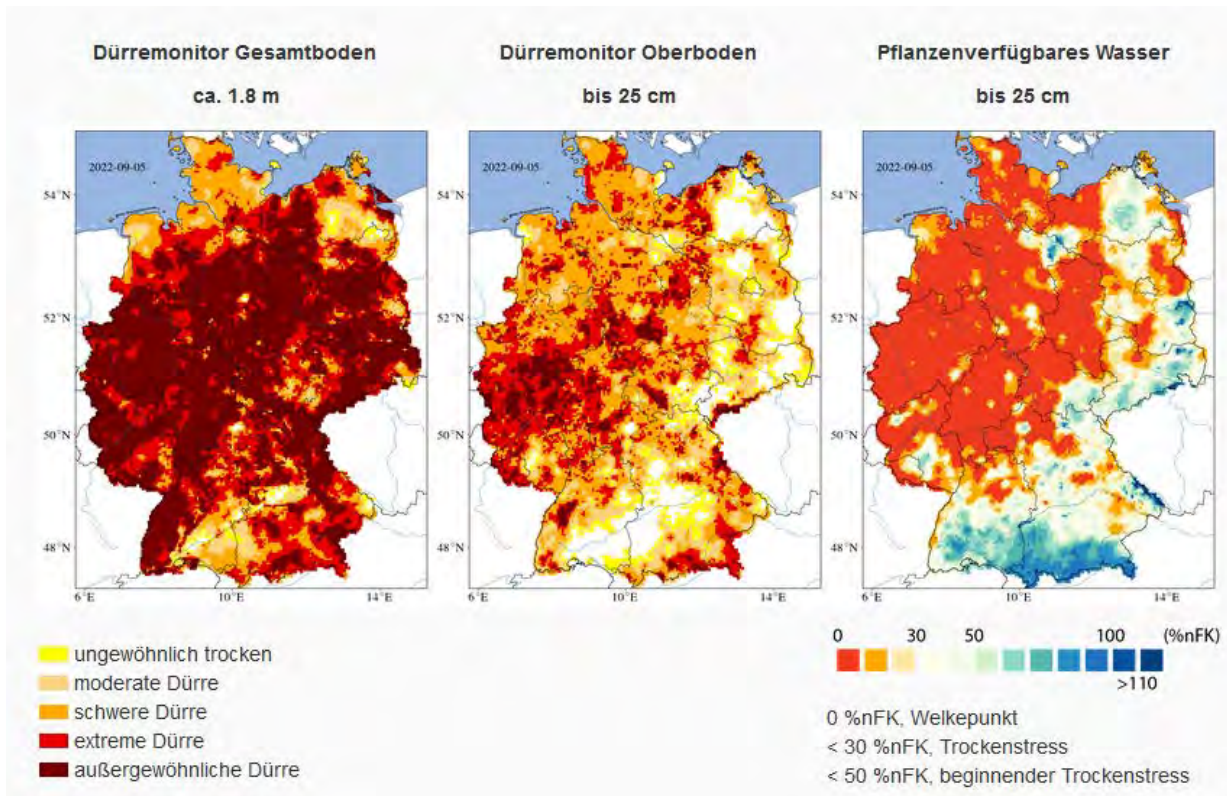
Heat wave duration indices:

Heat days >30°C [d/a], observational data Mannheim 1950-2022*





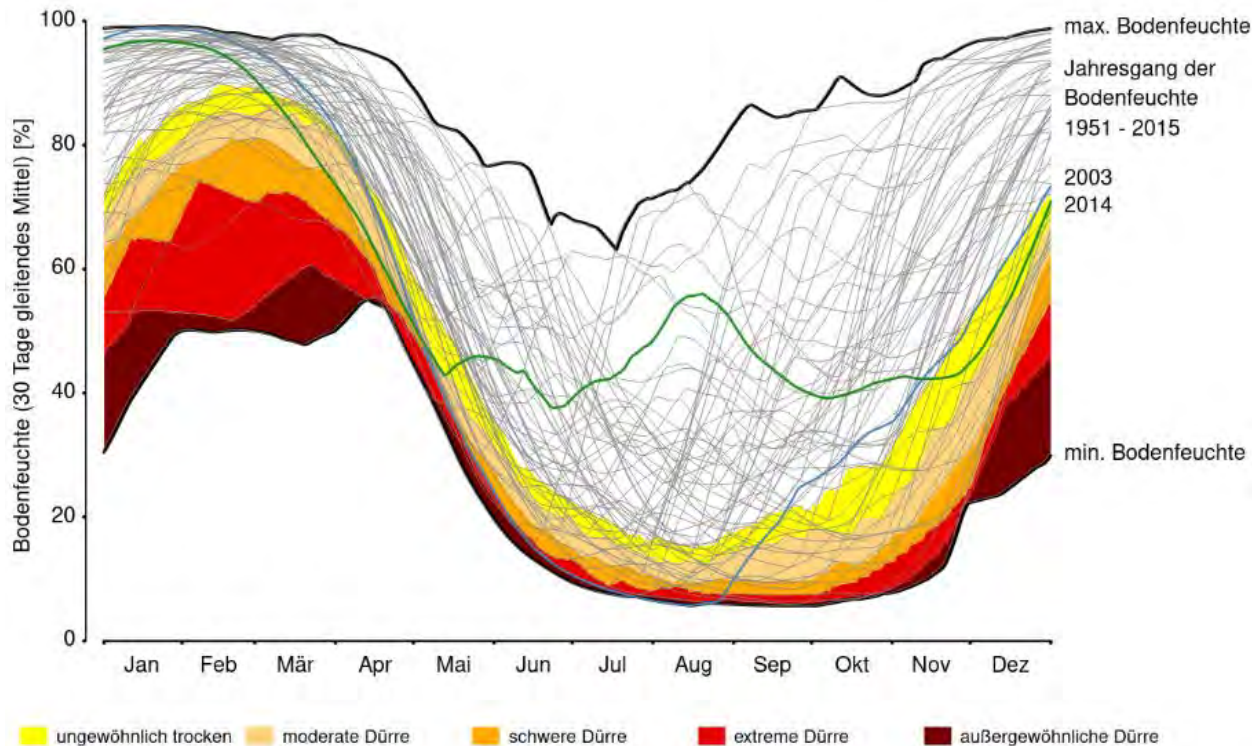
Bodenfeuchte: Der Deutsche Dürremonitor (www.ufz.de/duerremonitor) ...



... ist eine online verfügbare, **täglich aktuelle Plattform zu simulierter Bodenfeuchte** und Dürrezustand in Deutschland.

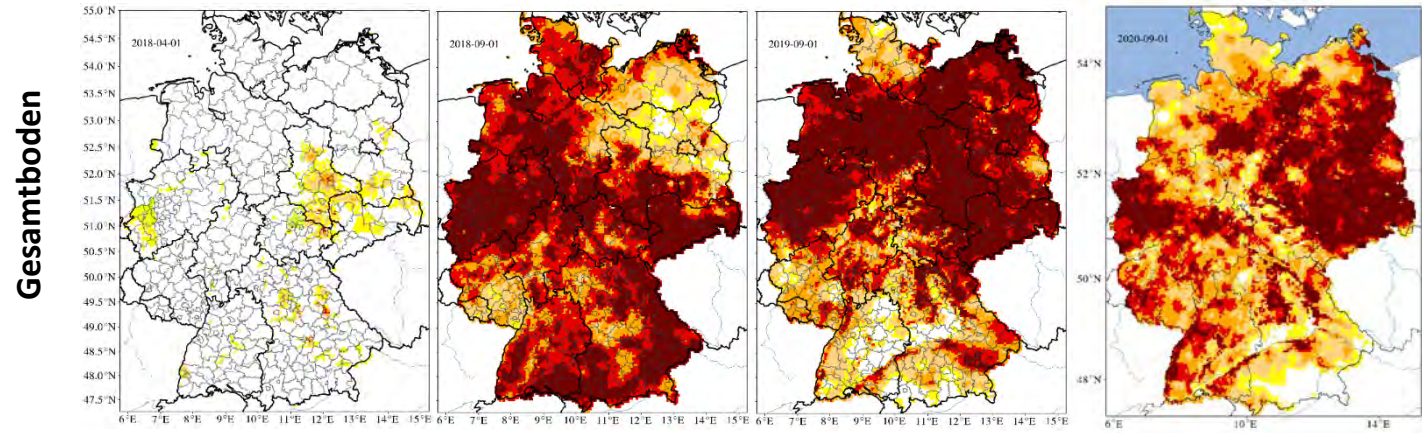
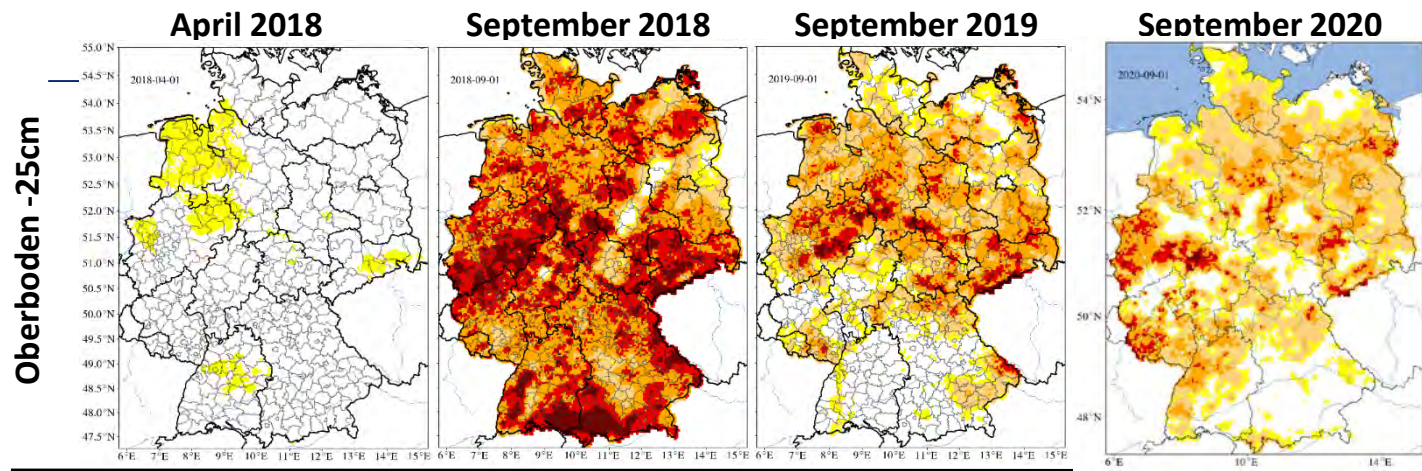
... stellt Daten, Abbildungen und Informationen zu aktuellen Ereignissen und zurück bis 1951 bereit.

Was bedeutet Dürre?



Agrarische Dürre:
Unterschreitung
des 20-Perzentils der
Bodenfeuchte an einem
Ort und Zeitraum
innerhalb des Jahres

Der Deutsche Dürremonitor: 2018 -2020



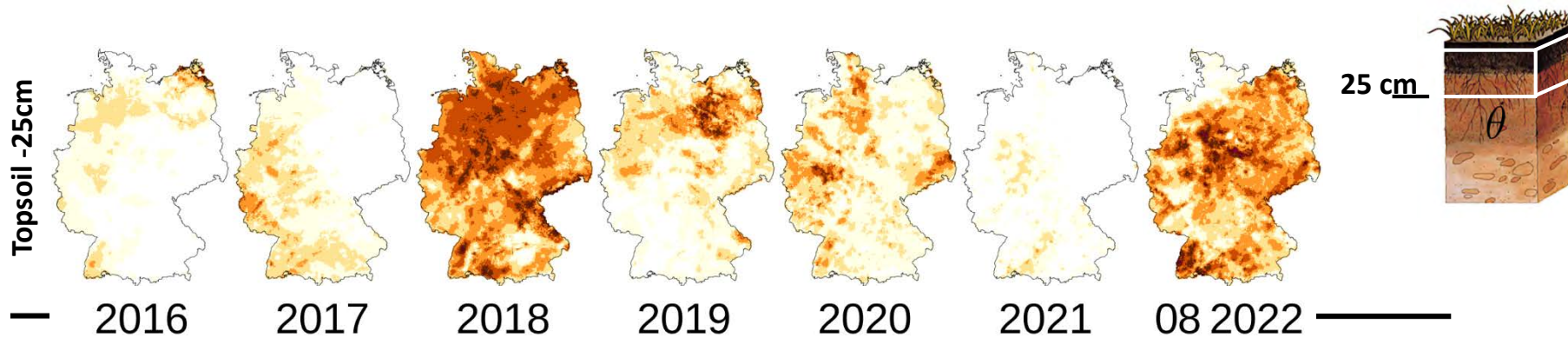
25 cm

180 cm

- ungewöhnlich trocken
- moderate Dürre
- schwere Dürre
- extreme Dürre
- außergewöhnliche Dürre

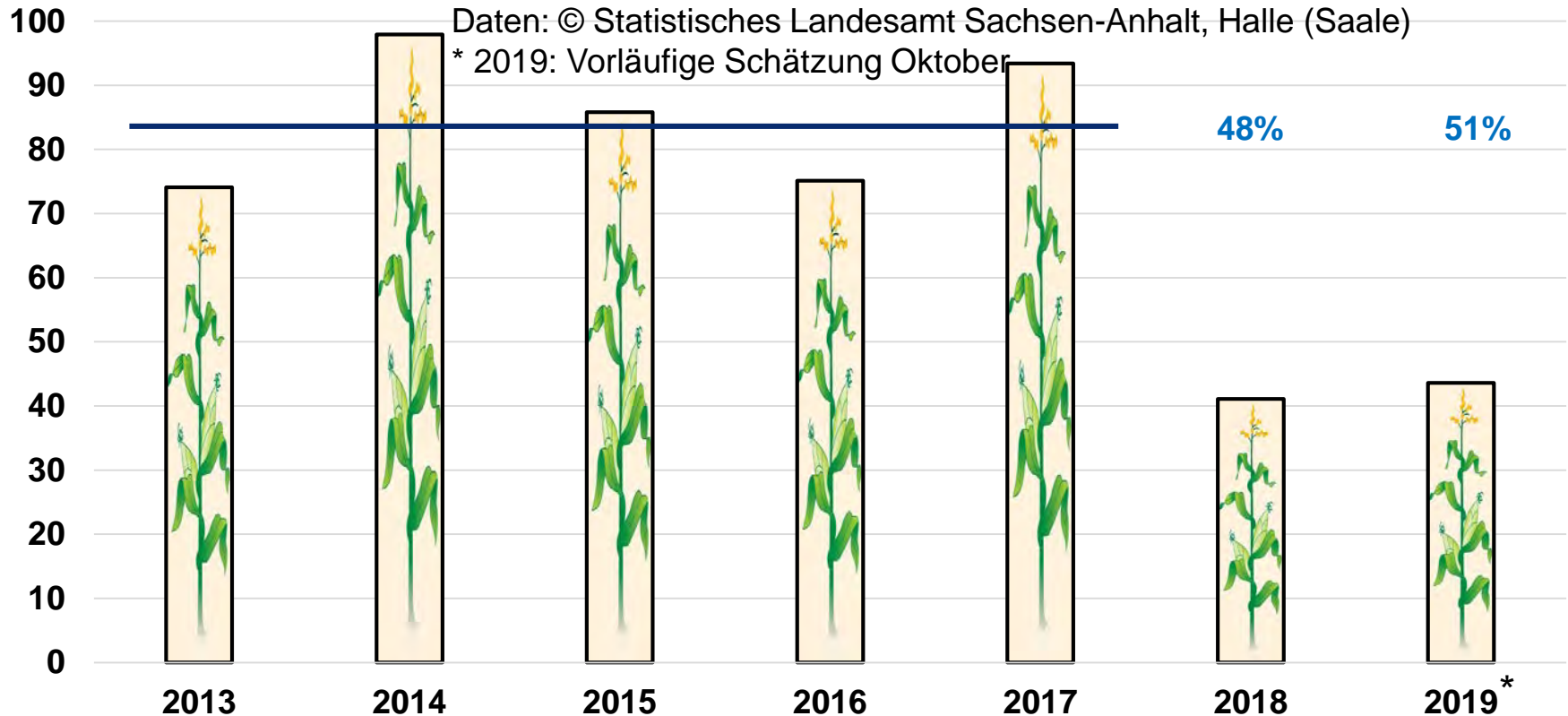
Drought indices: Soil Drought Intensity

$$SDI = \frac{1}{ndays} \sum_{t=t_0}^{t_{ndays}} \int A_{t,i} [0.2 - SMII(t)]_+$$

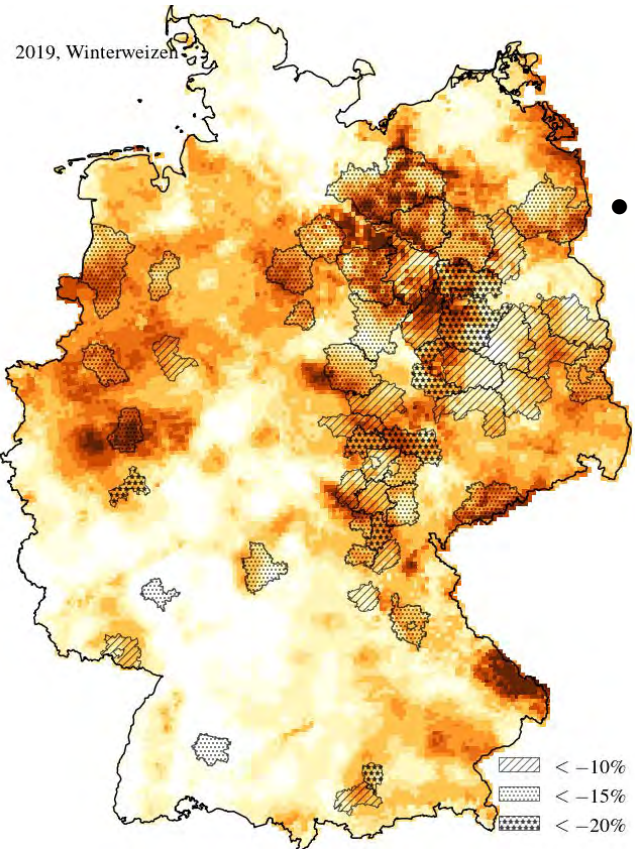
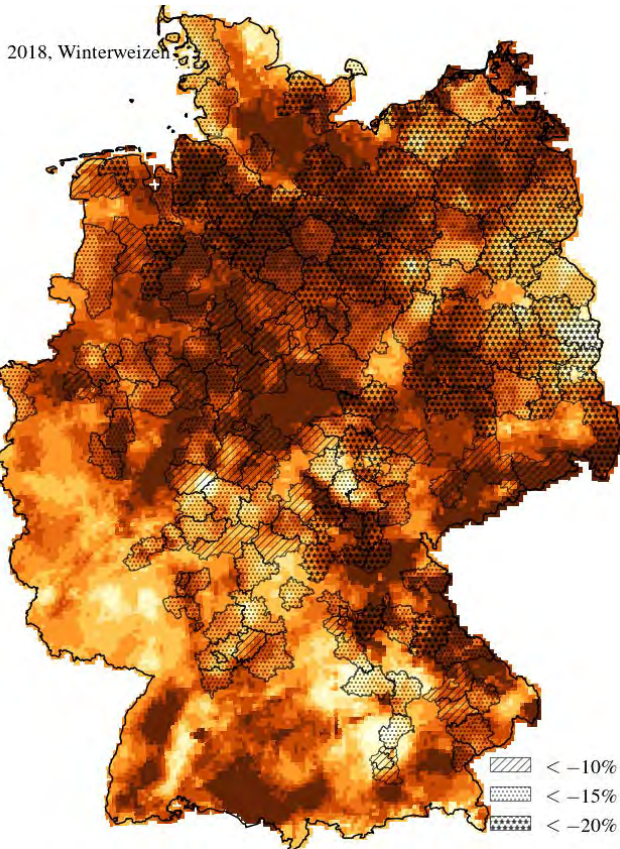


Drought Intensity

Auswirkungen Landwirtschaft: Erträge Körnermais [dt/ha] Sachsen-Anhalt



Dürrestärke vs. Ernteverlusten 2018-19 Winterweizen

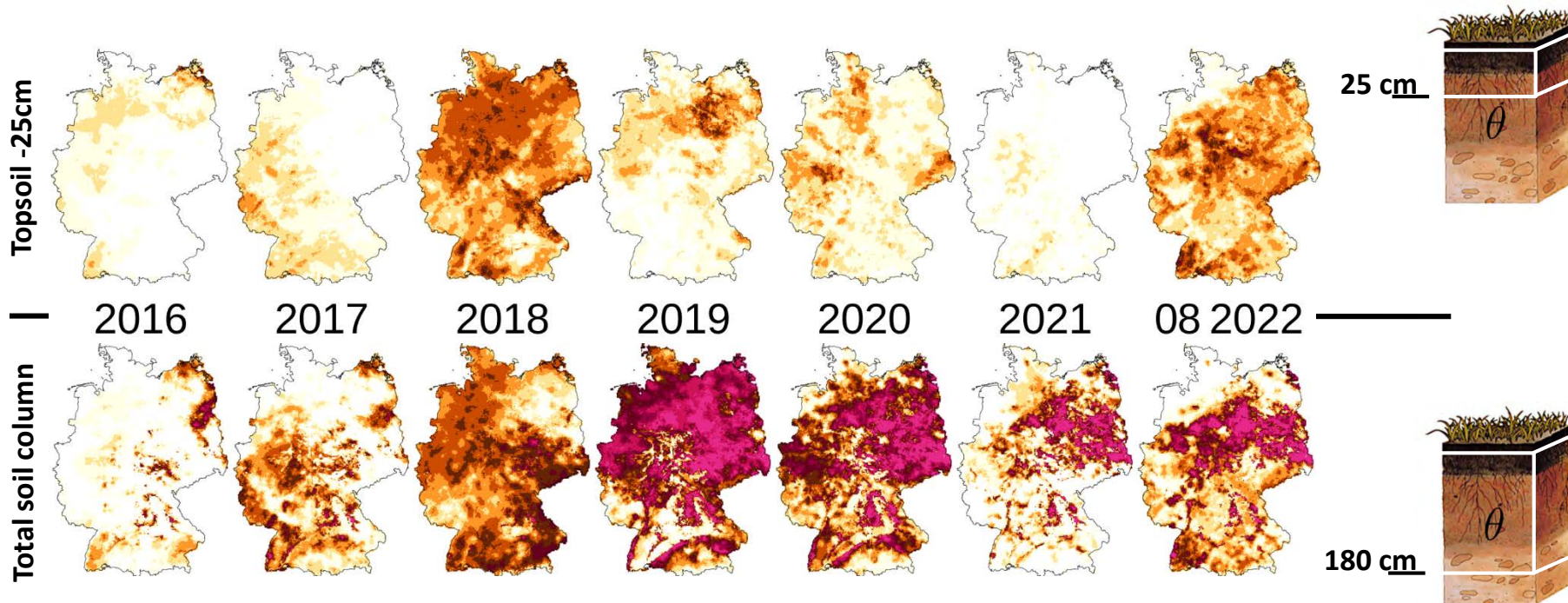


- **Landwirtschaft in Deutschland 2018** wirtschaftlicher Schaden ca. 700 Mio. € v.a. durch Ertragseinbußen; 2019-20 und 2022 ist die Lage **regional unterschiedlich.**

Quellen: :
www.ufz.de/duerremonitor,
www.destatis.de

Drought indices: Soil Drought Intensity

$$SDI = \frac{1}{ndays} \sum_{t=t_0}^{t_{ndays}} \int A_{t,i} [0.2 - SMII(t)]_+$$



Drought Intensity

Auswirkungen Wald&Forstwirtschaft: Trockenschäden und Schädlinge

[Sturm + Dürre + milder Winter + Spätfrost 2020]



- Waldzustandsbericht 2022: nur noch jeder fünfte Baum in Deutschland gesund

Auswirkungen Wald&Forstwirtschaft: Trockenschäden und Schädlinge

[Sturm + Dürre + milder Winter + Spätfrost 2020]

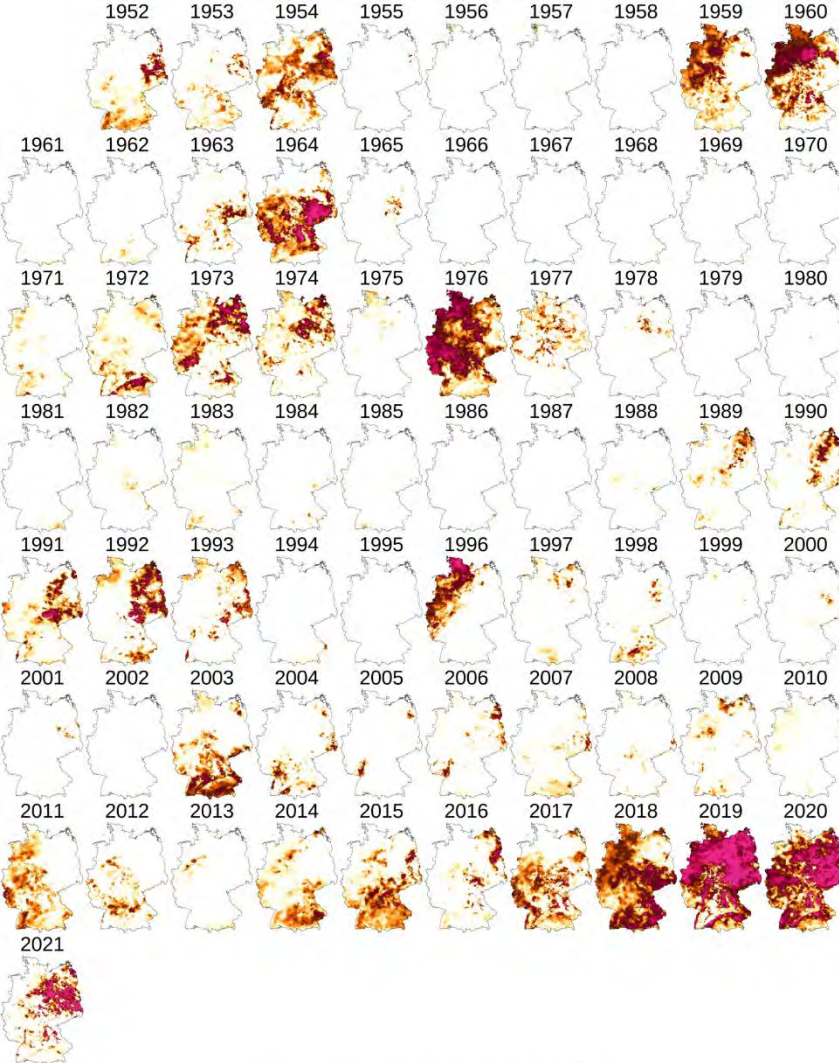


2019

2020

Fotos: C. Hentschel

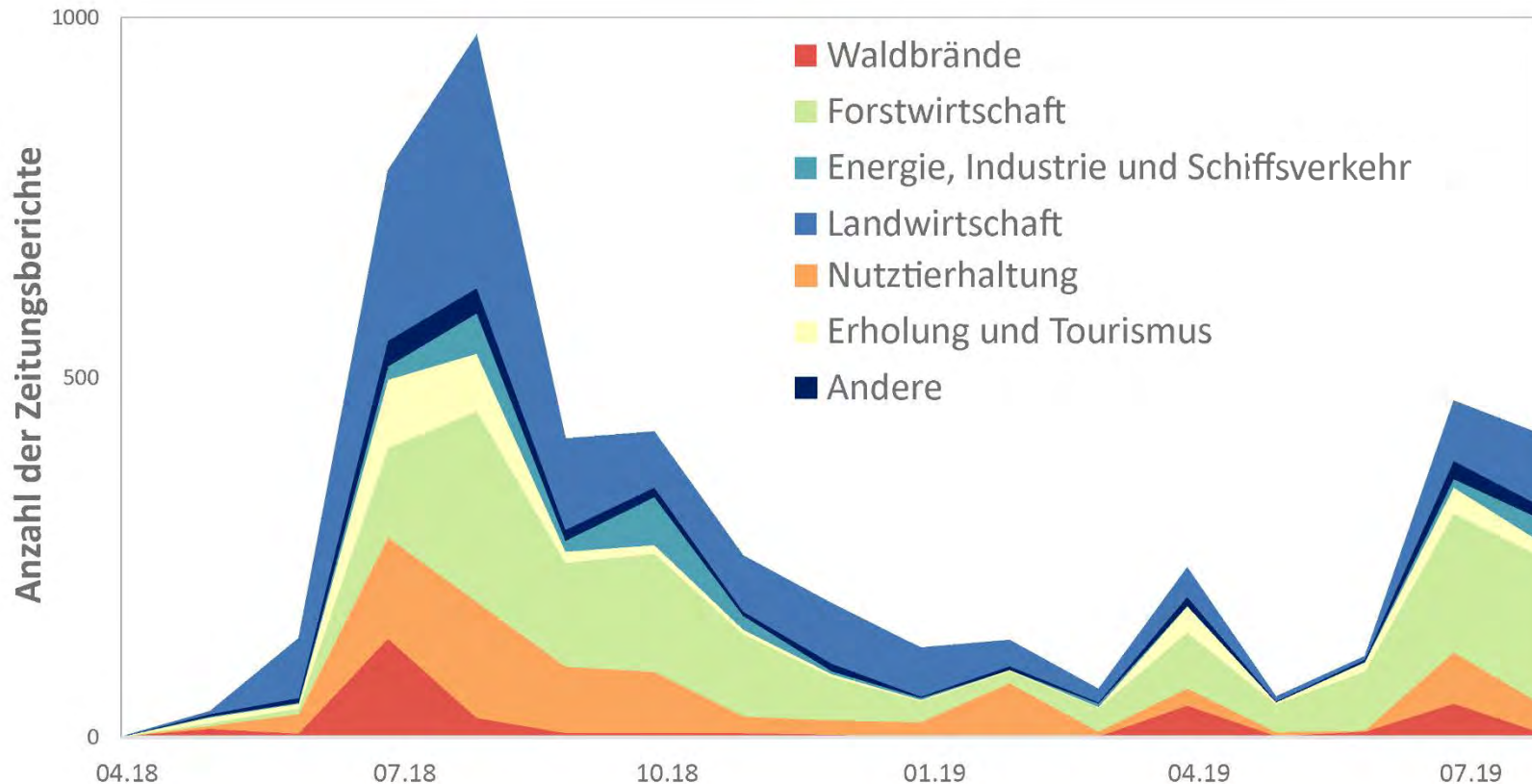
- Waldsterben: seit 2018 sind mehr als 500.000 Hektar Wald verloren gegangen
- Das entspricht ungefähr zweimal der Fläche des Saarlandes



**Vegetationsperiode
Gesamtboden 1952-2020**
www.ufz.de/duerremonitor

Seit mindestens 250
Jahren hat es in
Mitteleuropa keine
vergleichbare 2-jährige
Sommerdürre wie 2018/19
gegeben.

Dürre: Multi-sektorale Betroffenheit



Quelle: de Brito et al. 2020 (ERL)



Hydrologische Dürre

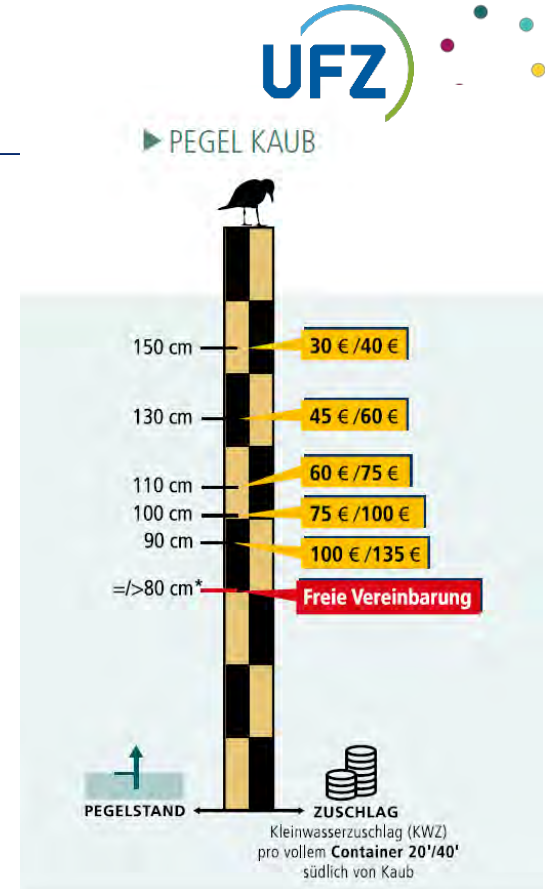
„Kleinwasserzuschläge“ und andere Folgen

Rhein BASF: ~40 Prozent der Güter werden am Stammwerk Ludwigshafen per Schiff transportiert.
-250 Mio € Betriebsergebnis

K+S: Kaliwerk an der Werra kann an 64 Tagen Salzabwässer nicht geplant entsorgen: 110 Mio € Umsatzeinbußen

10/2018: Heizölpreis steigt wegen Niedrigwasser auf Fünffjahreshoch

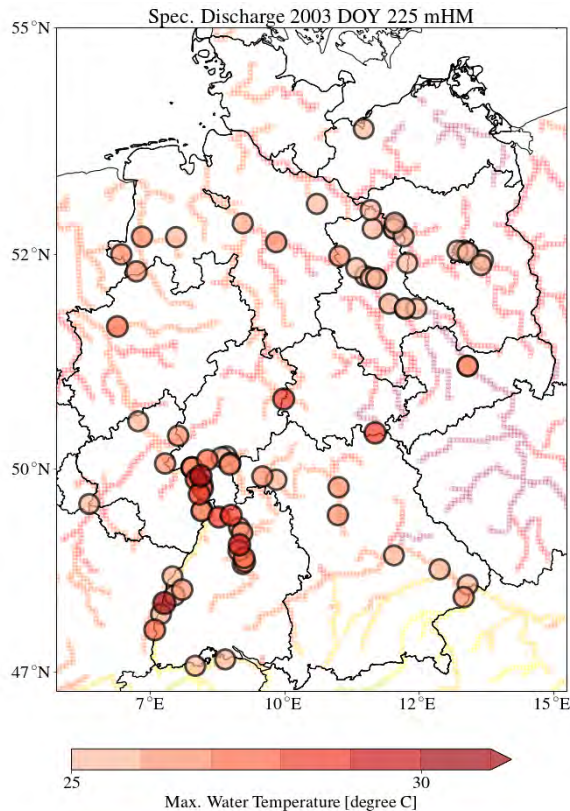
Ende Oktober:
Benzinpreis +8 Cent/Liter an Tankstellen
Deutschlandweit



Infografik: Contargo 2017

Niedrigwasser: (zu) hohe Wassertemperaturen

Max. Wassertemperaturen und Auswirkungen

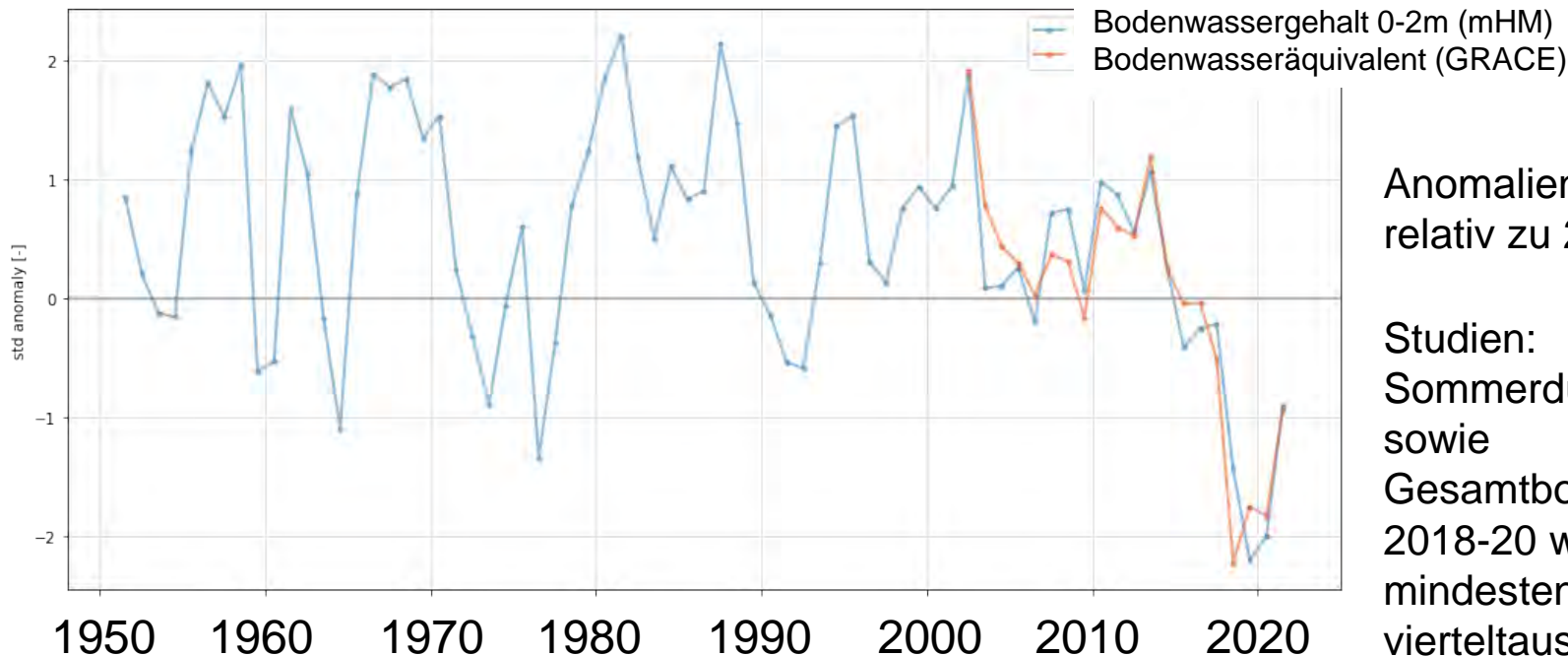


- Juni-August: Verschärfung der Niedrigwassersituation und Anstieg der Wassertemperatur
 - Die maximal gemessenen **Wassertemperaturen** im August **überschreiten 25°C flächendeckend** in Deutschland [2018 bis zu 28.6°C]
 - **Negative ökologische und wirtschaftliche Auswirkungen**



Quellen: UFZ/EDgE, UFZ Water Quality Database Germany, European Drought Impact Inventory

Dürreeinordnung in die längerfristige Vergangenheit: Anomalien aus Satellitendaten (GRACE) und hydrologischen Modelldaten (mHM)



Anomalien aus Daten
relativ zu 2002-2021

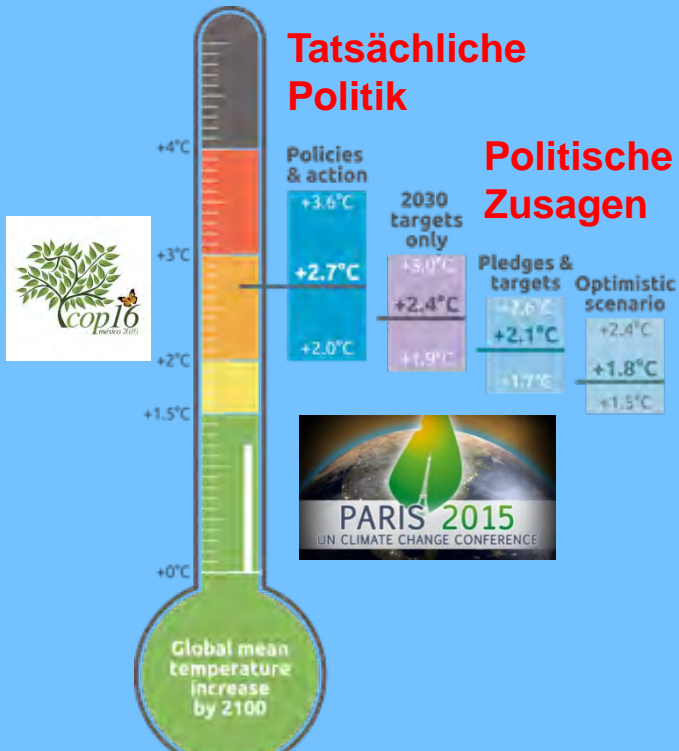
Studien:
Sommerdürren 2018/19
sowie
Gesamtbodendürren
2018-20 waren jeweils
mindestens
vierteltausendjährige
Ereignisse

GRACE/GRACE-FO Mascon data are available at <http://grace.jpl.nasa.gov>.

Grafik: Friedrich Boeing (UFZ)



... basierend auf



Vergleich
Paris-Agreement
2015:
„die globale
Erwärmung deutlich
unter 2 Grad
begrenzen“

Bildquellen: <http://www.climateactiontracker.org/>, www.ipcc.ch

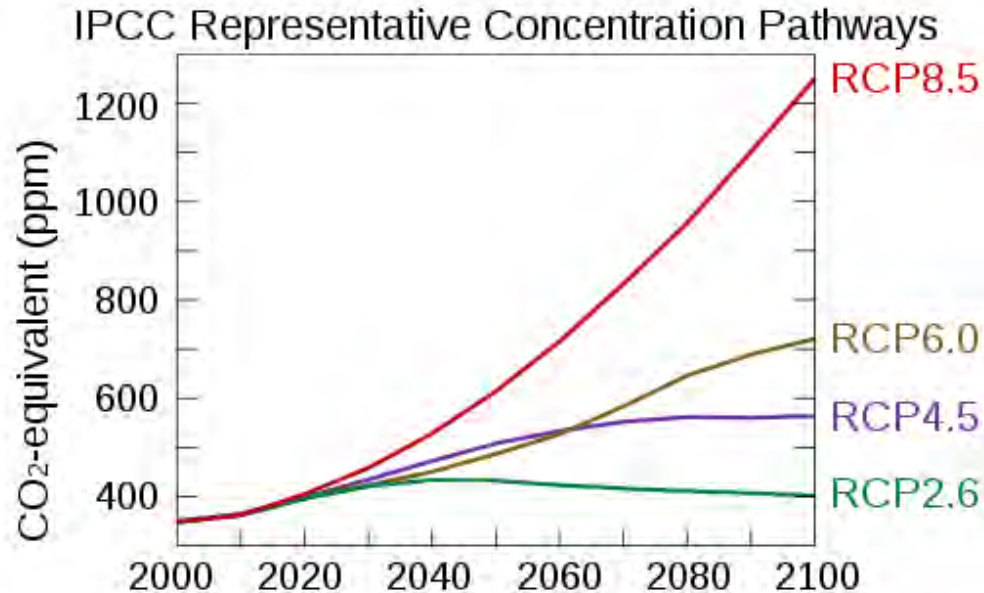
Treibhausgasemissionen: Repräsentativer Konzentrationspfad (RCP)



THG: bisherige Emissionen führen zu ca. zusätzlichen 3 Wm^{-2} „Strahlungsantrieb“

Szenarien entsprechend dem angenommenen Bereich des **Strahlungsantriebs im Jahre 2100** (z. B. $2,6 \text{ Wm}^{-2}$) als RCP2.6

RCP2.6 Klimaschutzszenario
RCP8.5 „Weiter-so-wie-bisher“-Szenario

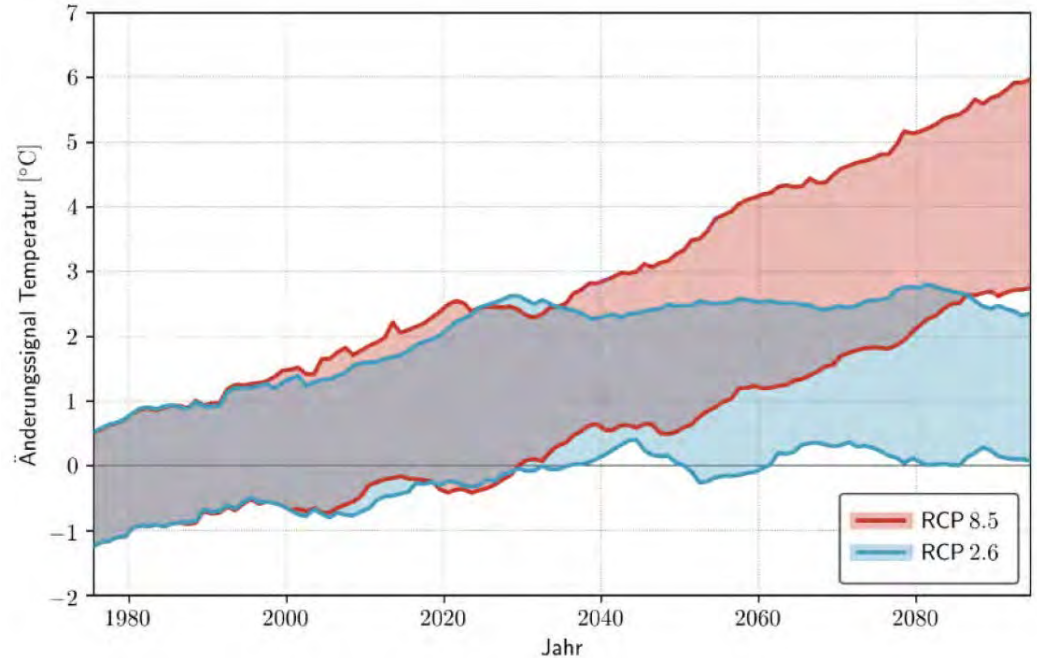


Quelle: IPCC AR5

... und resultierende Erwärmung für Deutschland



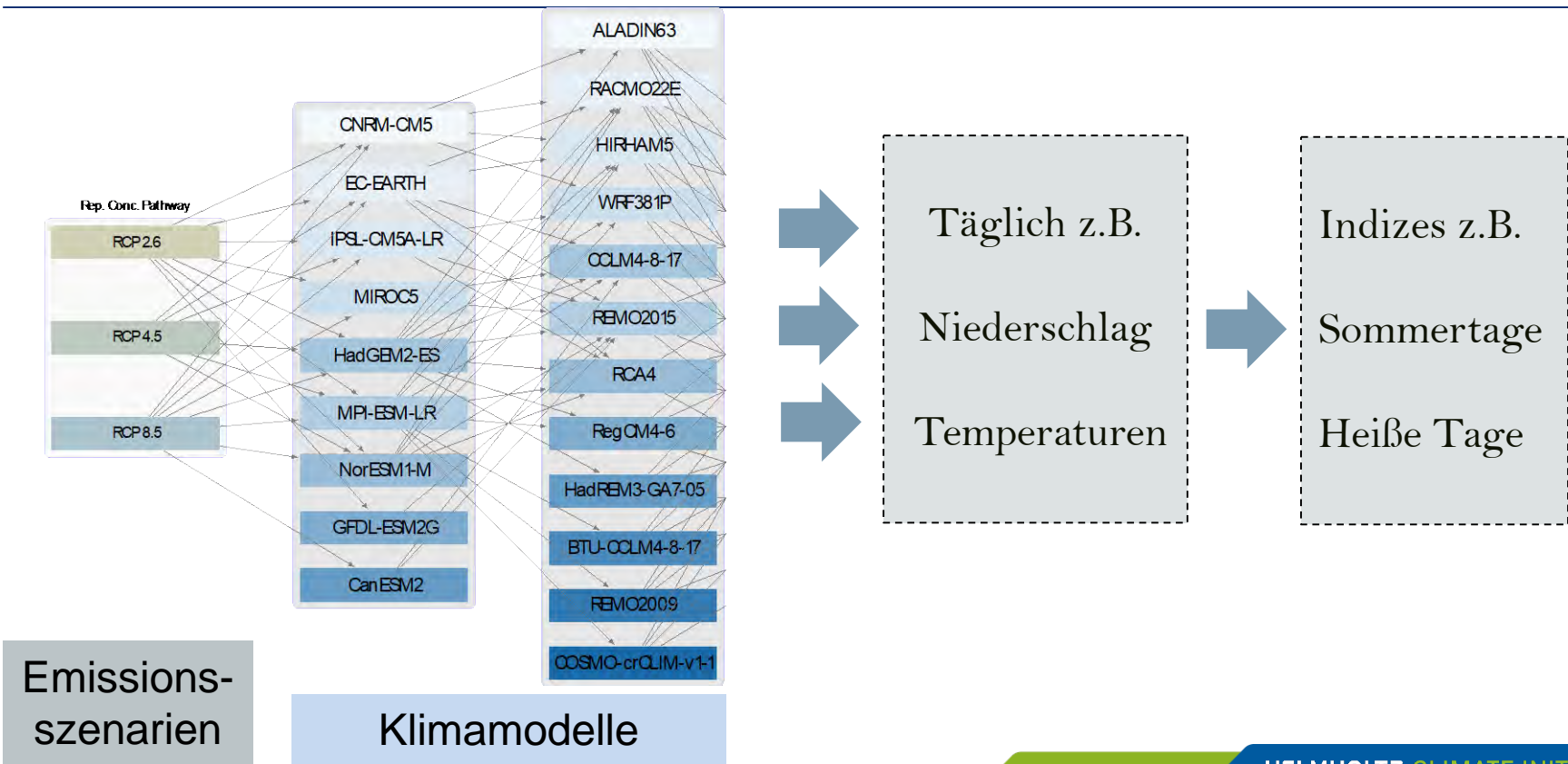
Weiter-wie-bisher-Szenario eine **Erhöhung der Jahresmitteltemperatur um fast 4 K** (Bandbreite 2,8 bis 5,2 K)
Klimaschutz-Szenario Erwärmung ~ 1 K (Bandbreite von 0,7 bis 2,4 K)



Quelle: ReKlies-DE Endbericht

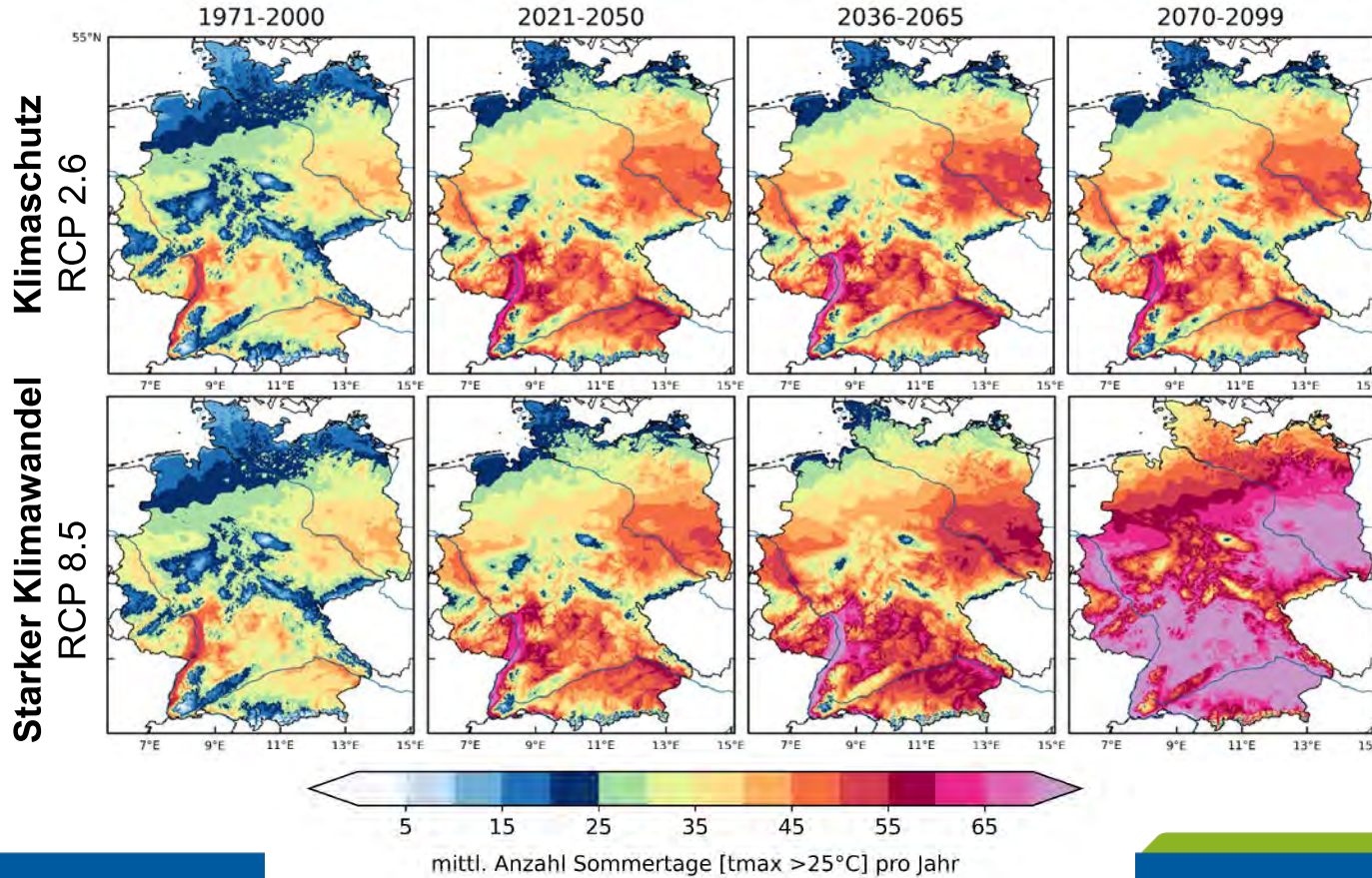
Und zukünftig? Hitze unter Klimawandel

Modellensemble aus insgesamt 88 Simulationen



Entwicklung von Hitzewellen: Sommertage pro Jahr

Auswirkungen von Klimaschutz erst in 2. Jahrhunderthälfte spürbar



Median der Änderung aus 21 Simulationen unter RCP26 sowie 49 Simulationen unter RCP8.6

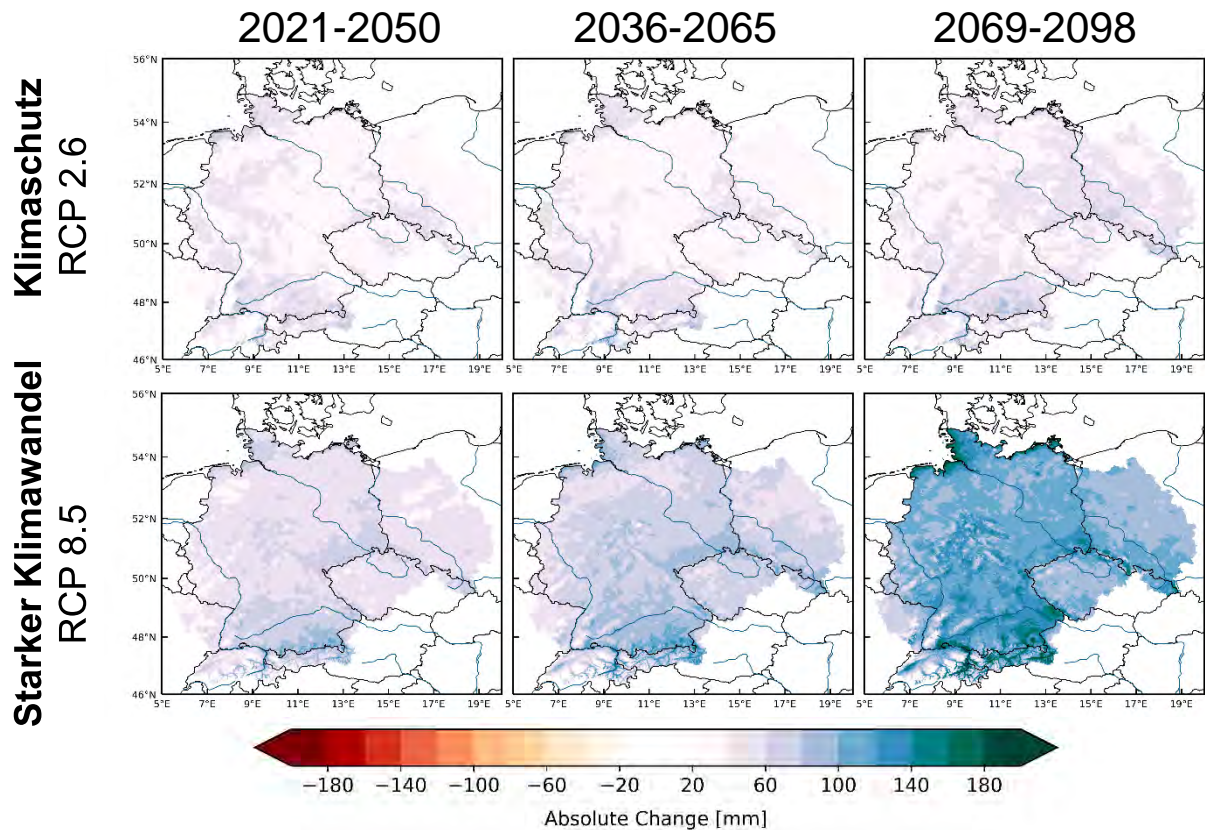


Team: F. Boeing, S. Müller, O. Rakovec, L. Samaniego (UFZ), T. Remke, K. Sieck (GERICS)



- Neben den mittleren Temperaturen nehmen unter Klimawandel auch Hitzewellen und (täglich) Starkniederschlag weiter zu – diese Aussagen sind statistisch sicher
- Klimaschutz macht für die zweite Jahrhunderthälfte einen deutlichen Unterschied – auch in Deutschland
- Hitzebedingter Wasserbedarf wird im Sommerhalbjahr weiter steigen

Klimaänderungen bis 2100: Jahresniederschlag aus 70 Klimasimulationen unter RCP2.6 & RCP8.5

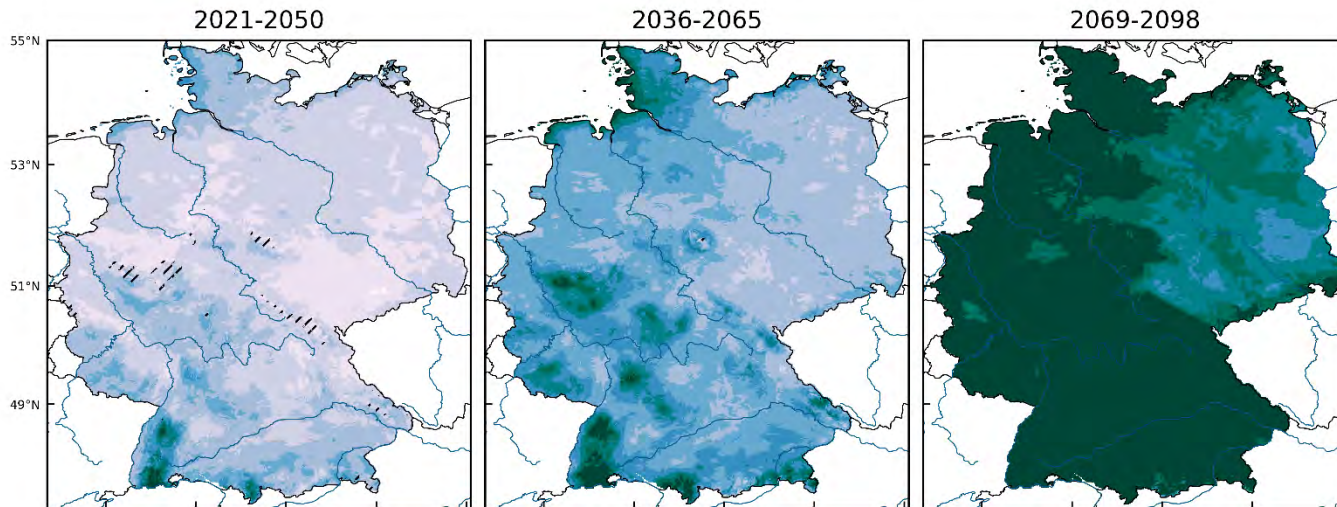


**Median der Änderung
verglichen mit 1971-2000**
aus 21 Klimasimulationen
unter RCP2.6 und
49 Klimasimulationen unter
RCP8.5

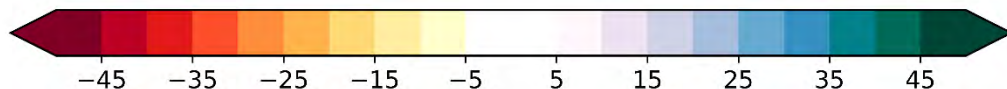
Konsistent z.B. mit beiden
DWD-Ensembles v2018

Team: F. Boeing, S. Müller, O.
Rakovec, L. Samaniego (UFZ), T.
Remke, K. Sieck (GERICS)

Klimaänderungen bis 2100: Winterniederschlag aus 49 Klimasimulationen unter RCP8.5

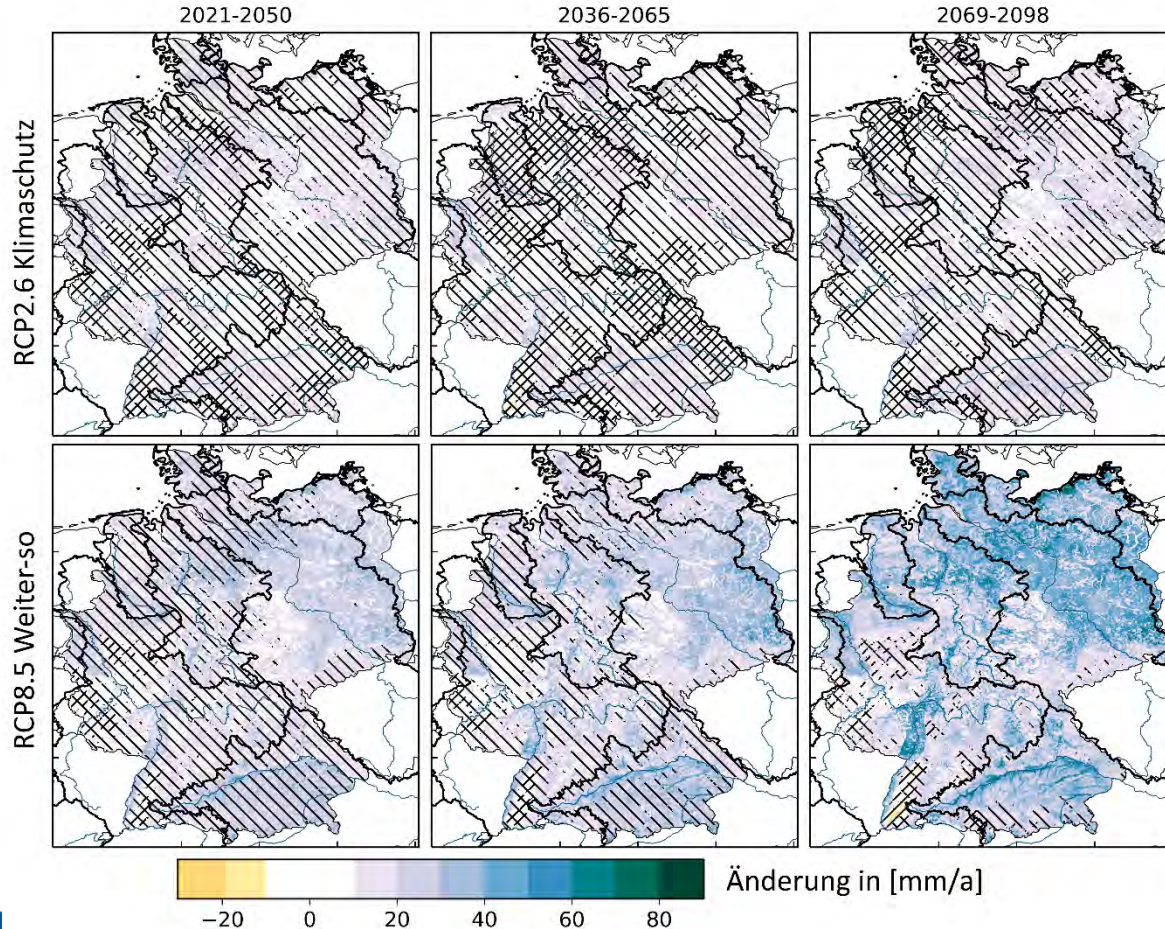


Deutschland wird auch zukünftig ein wasserreiche Regionen sein (!), aber ...



mittl. Niederschlagssumme Winter, absolute Änderung zu 1971-2000 [Δ mm]

Median der Grundwasserneubildungsänderung



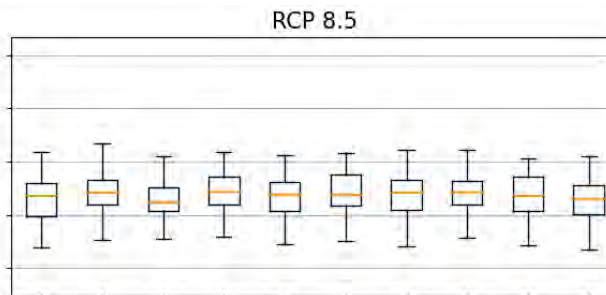
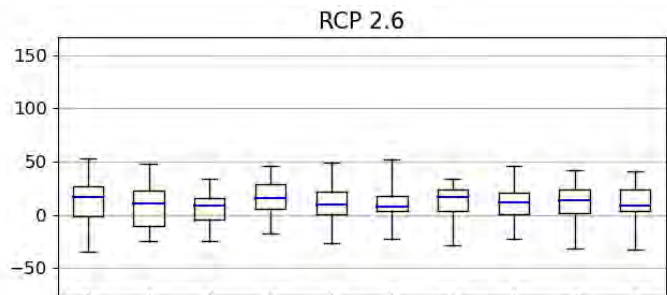
Klimaänderungen bis 2100:
GWN-Änderung [mm/a] aus
70 Klimasimulationen unter
RCP2.6 & RCP8.5, verglichen
mit dem Referenzzeitraum
1971-2000

Die GWN steigt wegen des
zunehmenden
Winterniederschlages und der
abnehmenden Frosttage!

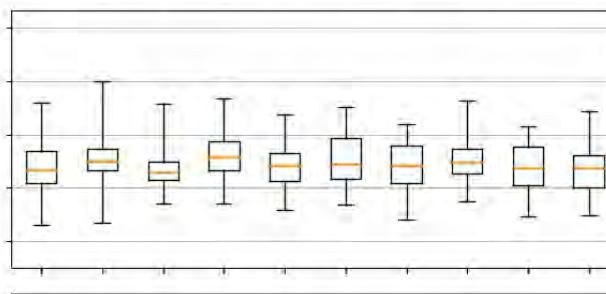
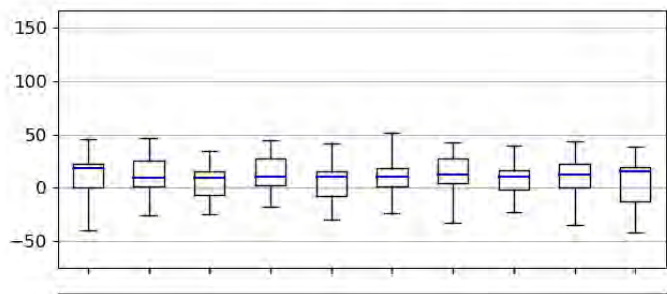
Verdunstung spielt im
Winterhalbjahr eine
untergeordnete Rolle!

Marx et al. 2022 (EWP)

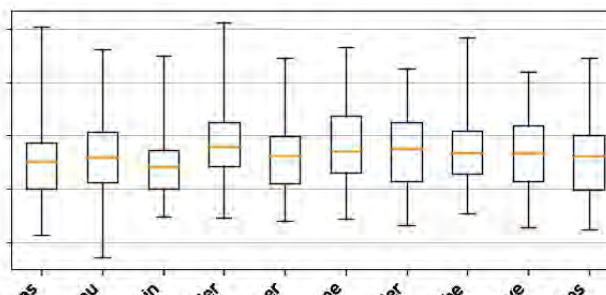
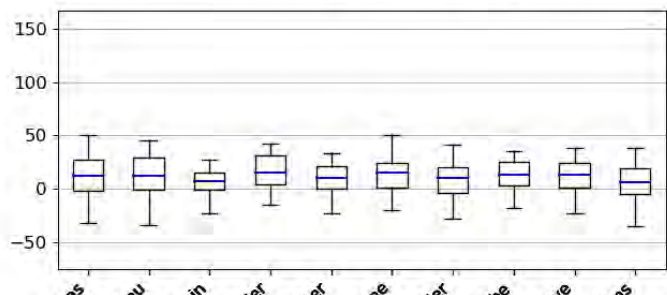
2021-2050



2036-2065



2069-2098

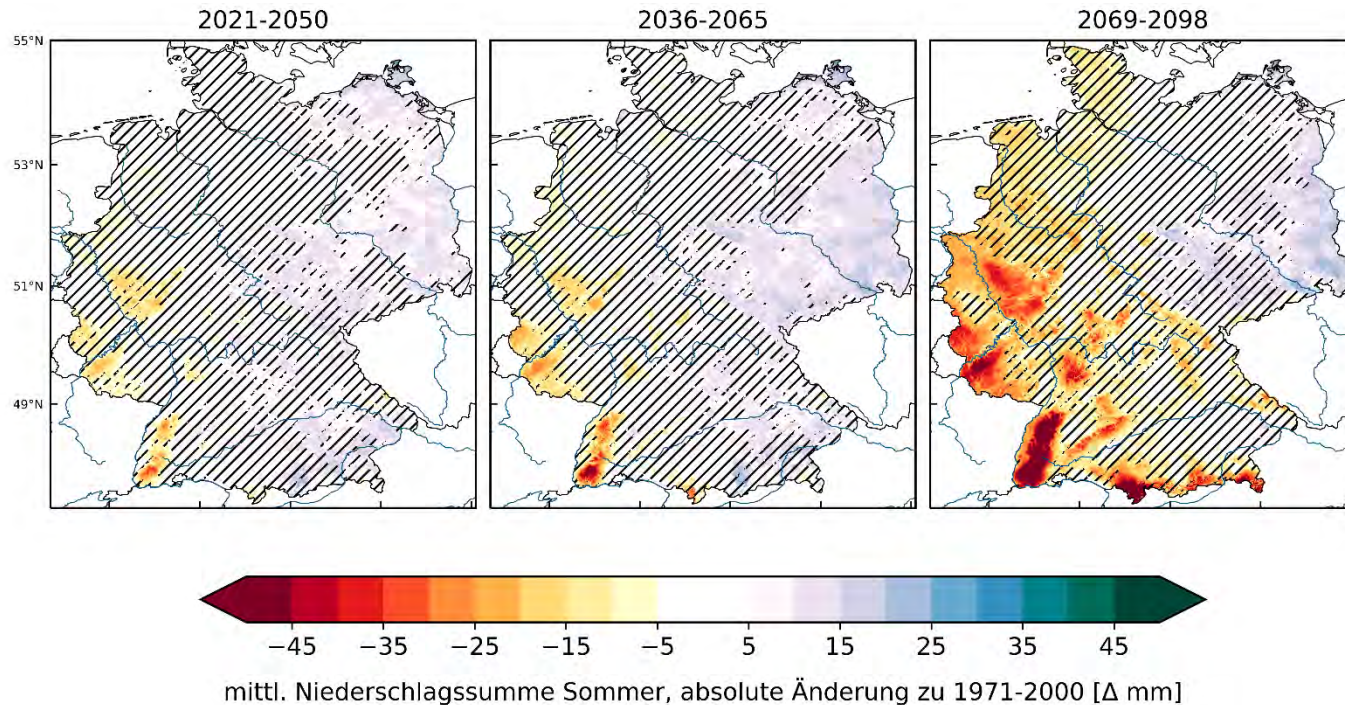


Klimaänderungen bis 2100:
GWN-Änderung [mm/a] aus
 70 Klimasimulationen unter
 RCP2.6 & RCP8.5, verglichen
 mit dem Referenzzeitraum
 1971-2000

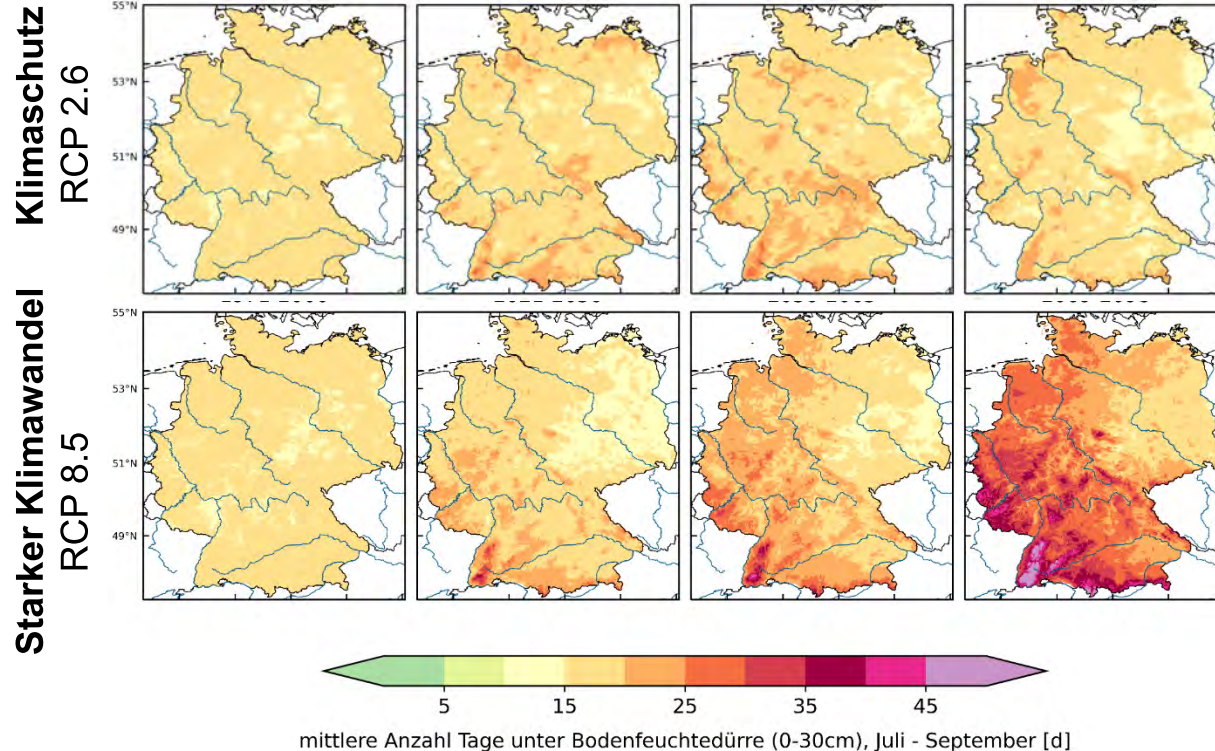
Gezeigt sind der **Median**,
25/75-Perzentil sowie
Minimum und Maximum der
 Änderung über alle
 Klimasimulationen und für
 jedes Einzugsgebiet

Marx et al. 2022 (EWP)

Klimaänderungen bis 2100: Sommerniederschlag aus 49 Klimasimulationen unter RCP8.5



Agrarische Dürren im Sommer mit steigender Erwärmung stärker ausgeprägt (Veg.II Juli-Sept., bis 30 cm Bodentiefe)



**Median der Tage unter Dürre
verglichen mit 1971-2000**
aus 21 Klimasimulationen
unter RCP2.6 und
49 Klimasimulationen unter
RCP8.5

**Geringe Änderung unter
Klimaschutz, temporäre
höhere Wasserbedarfe unter
starkem Klimawandel**

Team: F. Boeing, S. Müller, O.
Rakovec, L. Samaniego (UFZ), T.
Remke, K. Sieck (GERICS)

Können sich mehrjährige Dürren wie 2018/19 wiederholen?

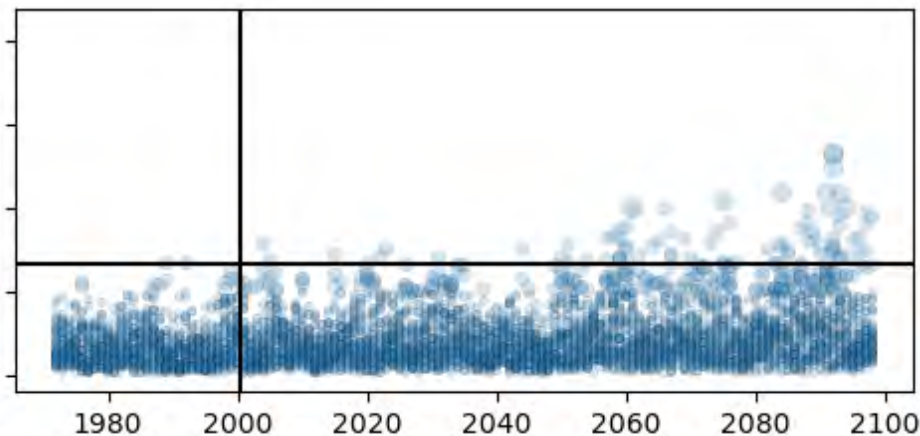
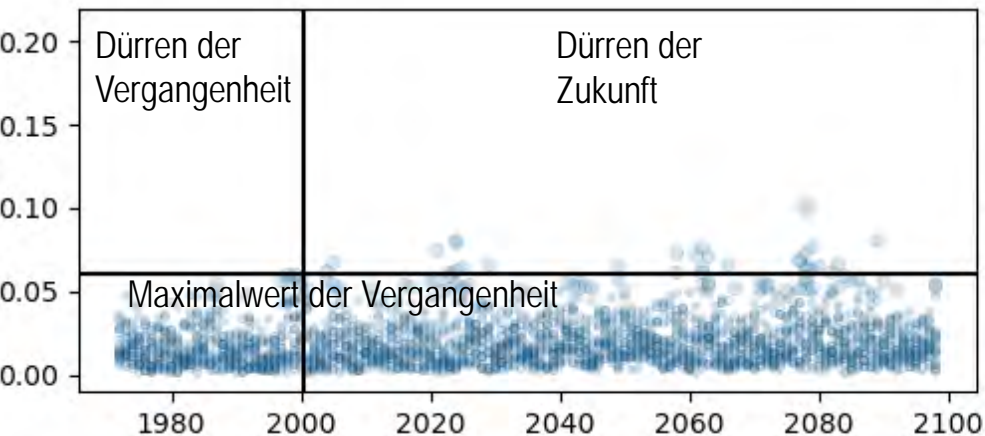
wiederholen?

Zweijährige Dürreintensitäten über die Gesamtfläche Deutschland+Ursprungsgebiete



Klimaschutz
RCP 2.6

Starker Klimawandel
RCP 8.5



Zweijährige Dürreintensitäten, Bodenschicht 0-30cm; Maximalwert 0.2

aus 21 Klimasimulationen unter RCP2.6 und

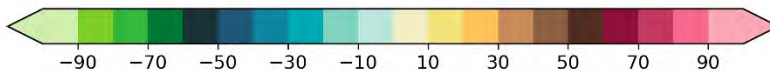
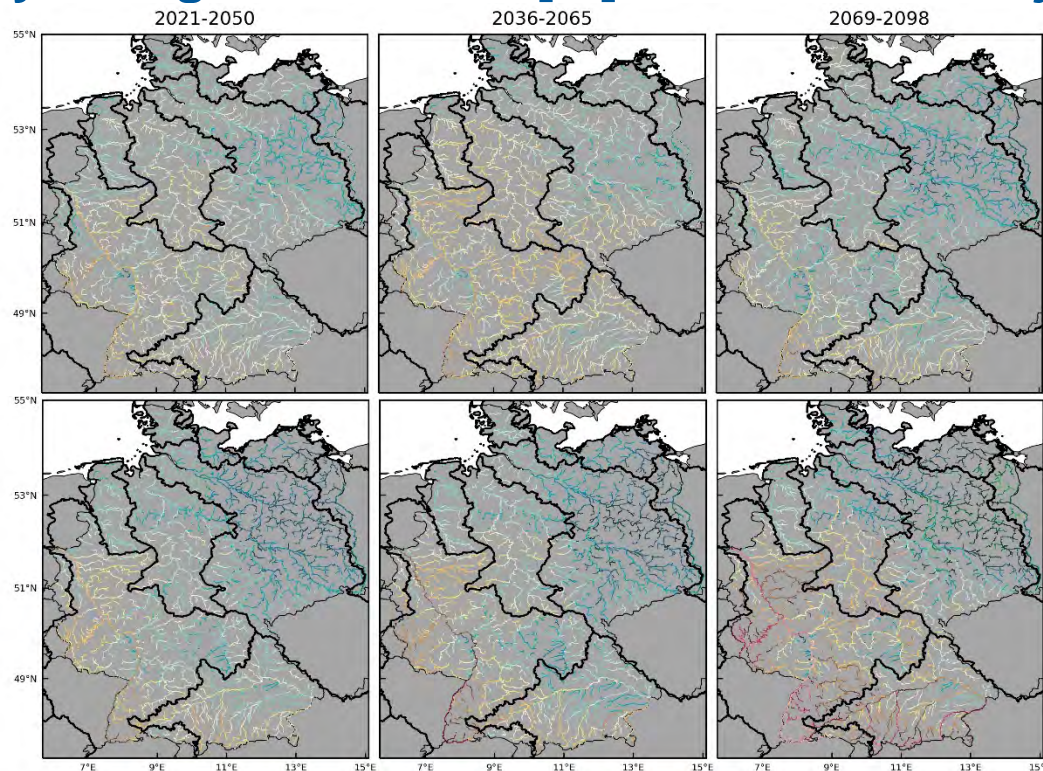
49 Klimasimulationen unter RCP8.5

Relative Änderung zukünftiger Tage unter Hydrologischer Dürre [%] im Sommerhalbjahr



Klimaschutz
RCP 2.6

Starker Klimawandel
RCP 8.5



Tage unter 10. Perzentil des tägl. Abfluss Sommerhalbjahr, relative Änderung zu 1971-2000 [%]

Median der relativen Änderung der Tage unter Dürre verglichen mit 1971-2000

aus 21 Klimasimulationen unter RCP2.6 und 49 Klimasimulationen unter RCP8.5

Team: F. Boeing, S. Müller, O. Rakovec, L. Samaniego (UFZ), T. Remke, K. Sieck (GERICS)

Fazit



- Jahresniederschlag und Winterniederschlag nehmen mit zunehmender Erwärmung leicht zu, relative Änderungen in **langjährigen** Abflüssen und GWN ebenfalls
- **Temporäre** agrarische Dürren werden unter starkem Klimawandel länger andauern, während hydrologischer Dürren sinkt der Gerinnekthroughfluss (+3K)
- Bewässerungswasserbedarf wird steigen, industrieller WB?
- In agrarischen und hydrologischen Dürrephasen werden sich bestehende (sektorale und regionale) Wasserkonflikte verschärfen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



**Danke an das gesamte Team:
Friedrich Boeing, Chaitanya Malla, Özge Can,
Timo Houben; HI-CAM: Luis Samaniego,
Oldrich Rakovec, Sebastian Müller, Stephan
Thober**

WiS-D

Wasserressourcen-Informationssystem für Deutschland

- *Verfügbarmachung von Klima- und Wasserhaushaltsdaten*
- *Praxispartner definieren Indizes und Indikatoren*
- *Monitoring - Klimafolgen - Vorhersagen*

