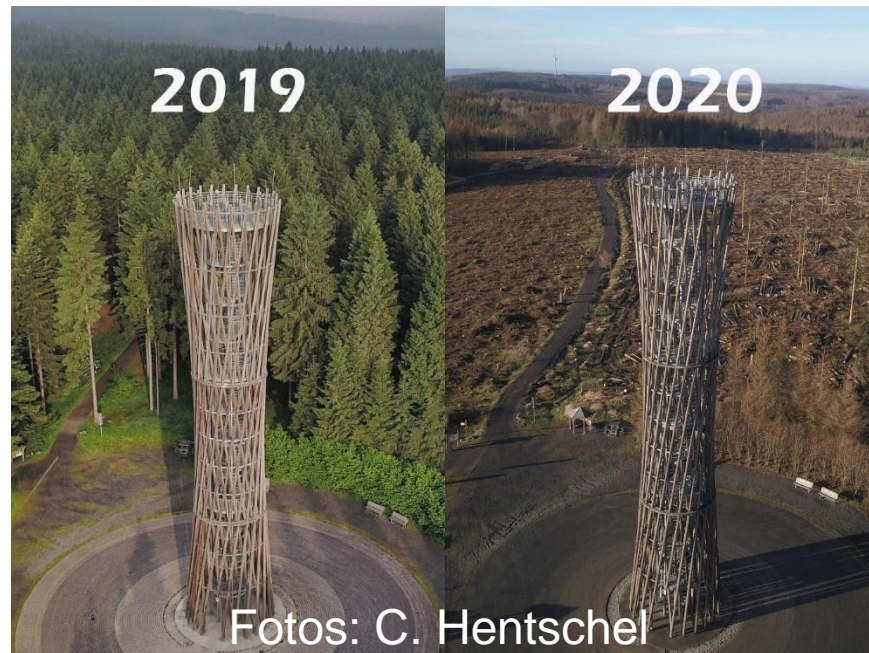




Dürren und Wasserhaushalt - aktuell und unter Klimawandel

Andreas Marx
17.11.2023

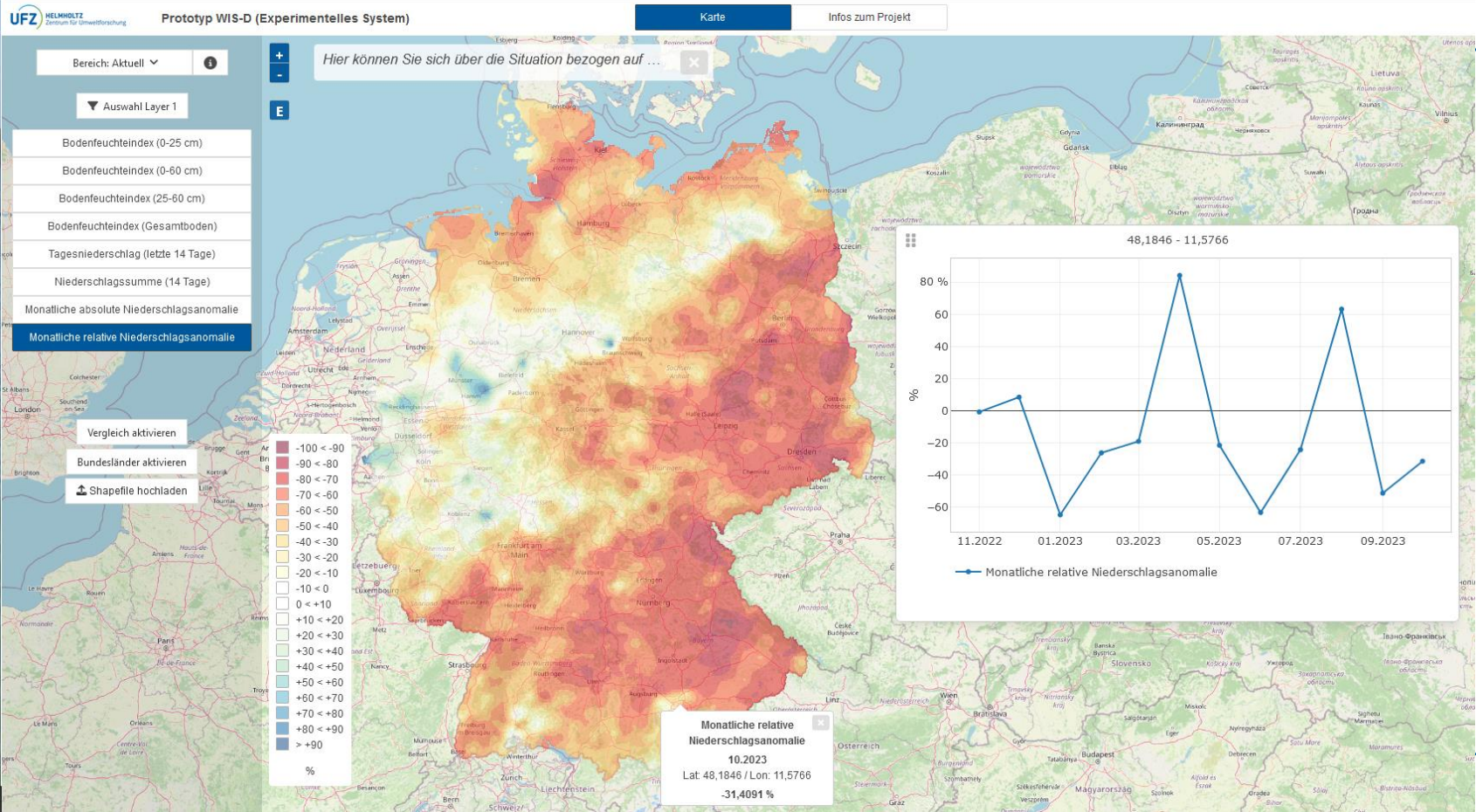


Vier wesentliche Unterscheidungen von Dürre:

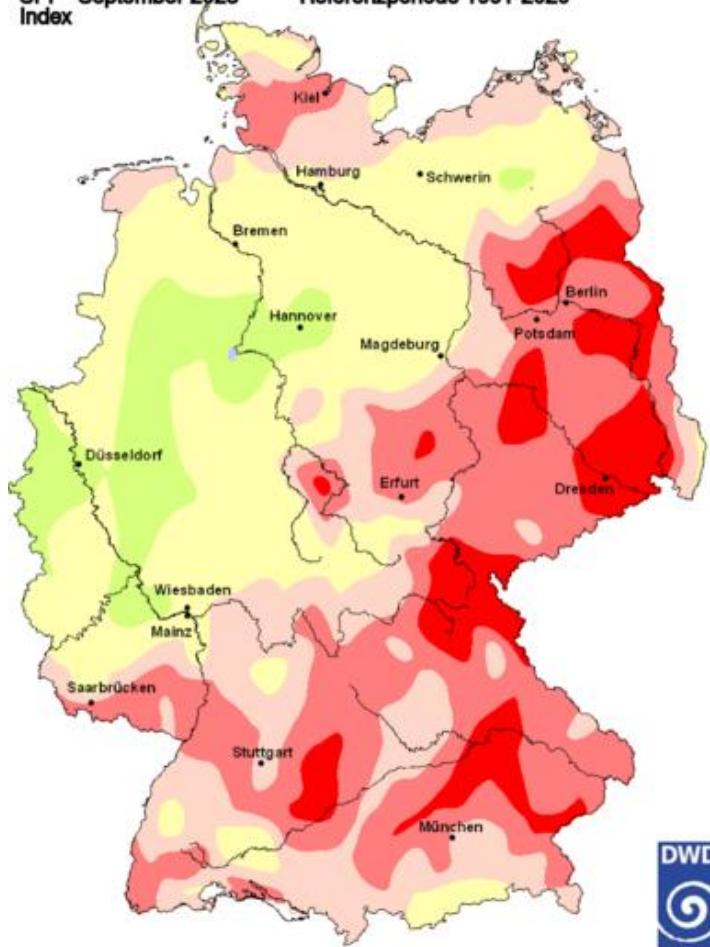
- *Meteorologische Dürre*
- *Agrarische Dürre*
- *Hydrologische Dürre*

- *Sozio-ökonomische Dürre*
- *Dürrerisiko*

Monatliche relative Niederschlagsabweichungen im Vergleich zu langjährigen Mittel 1991 - 2020



Standardisierter Niederschlagsindex SPI



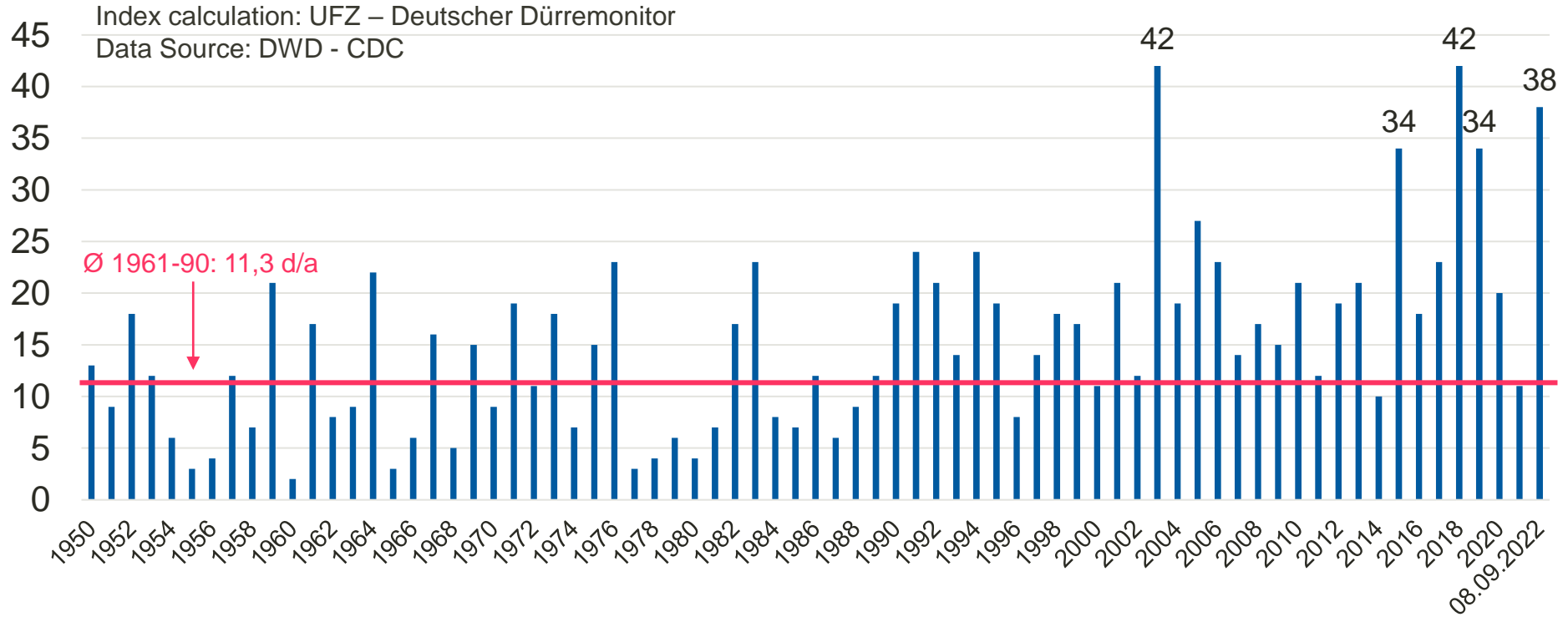
Zeitliche Aggregation 1-, 3-, 6-, 12-monatlich zur näherungsweise sektoralen Dürrebetrachtung.

WAHRSCHEINLICHKEIT IN %	SPI	STÄRKE DER ANOMALIE
2.3	≥ 2.0	Extrem zu feucht
4.4	1.5 bis 2.0	Deutlich zu feucht
9.2	1.0 bis 1.5	Mäßig zu feucht
34.1	0.0 bis 1.0	Fast normal (etwas zu feucht)
34.1	-1.0 bis 0.0	Fast normal (leichte Dürre)
9.2	-1.5 bis -1.0	Mäßige Dürre
4.4	-2.0 bis -1.5	Schwere Dürre
2.3	≤ -2.0	Extreme Dürre



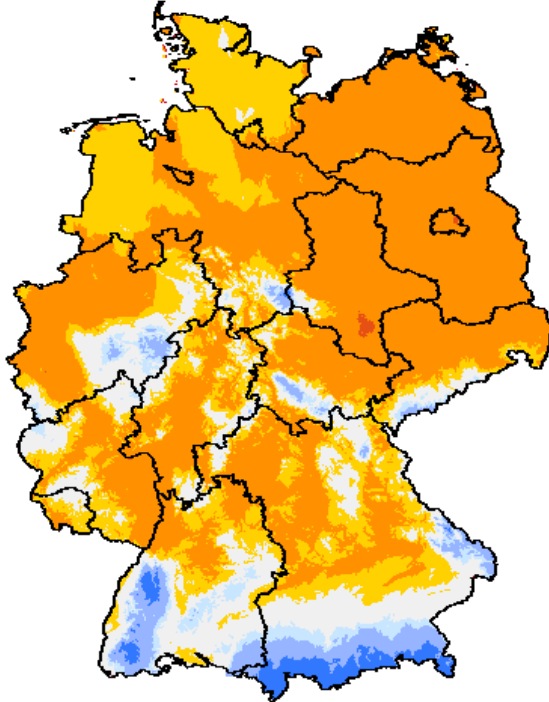
Heat wave duration indices:

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



Die Klimatische Wasserbilanz und der SPEI sind keine geeigneten Dürreindikatoren!

Klimatische Wasserbilanz mit Grasreferenzverdunstung
Frühling, Mittel 1991–2020



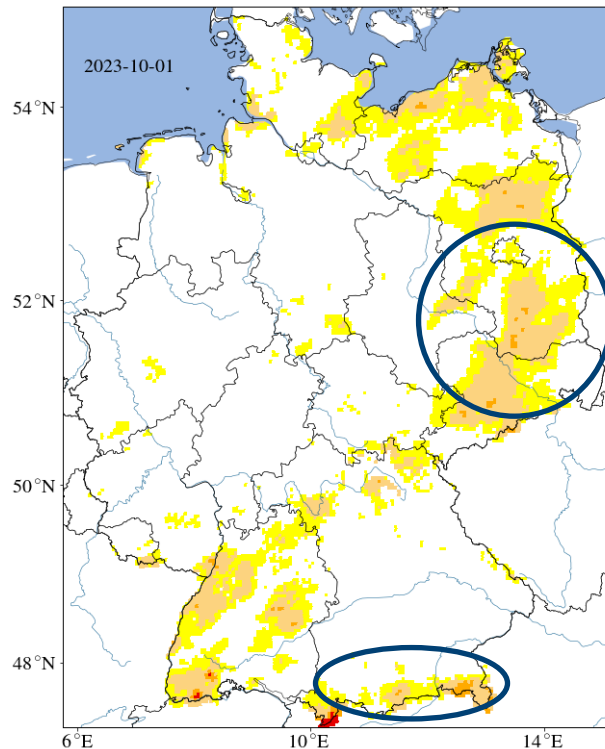
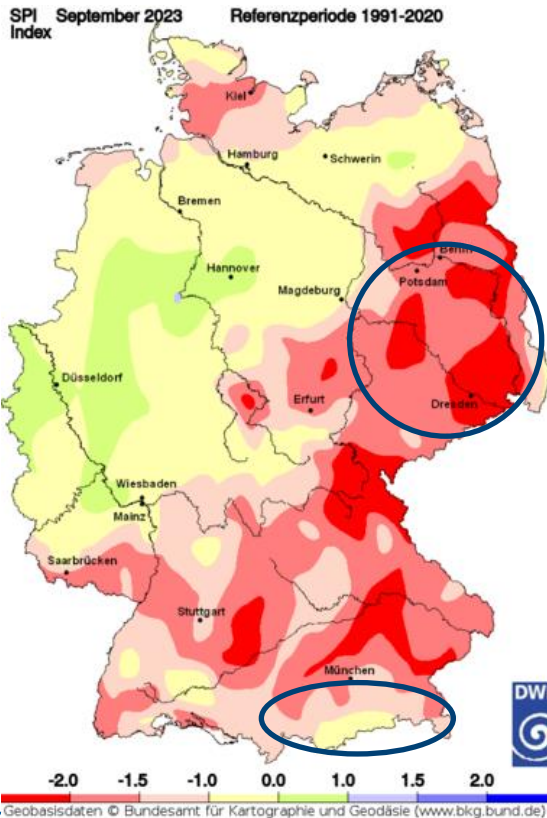
-250 -125 -50 -25 25 50 125 250 mm

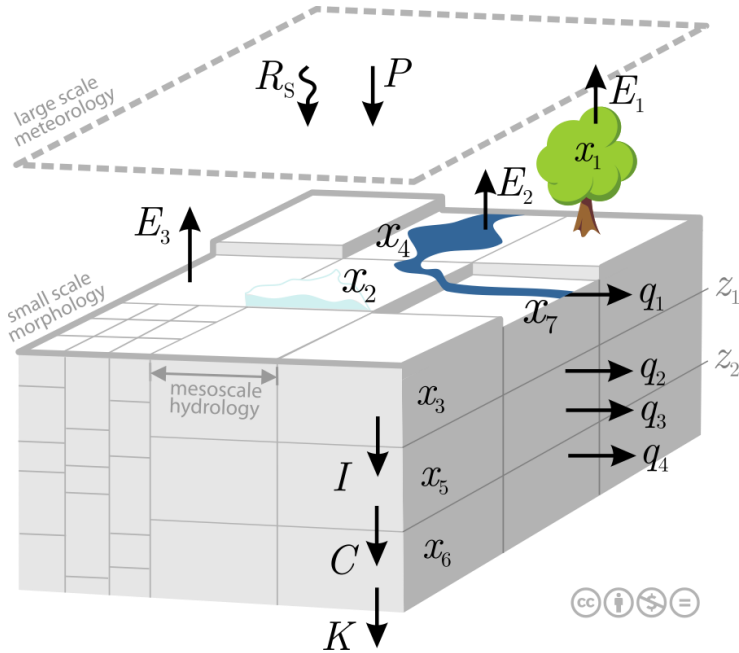
Deutscher Wetterdienst (erstellt 10.10.2023 10:40 UTC)
Geobasisdaten © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)



- Klimatische Wasserbilanz und SPEI nutzen P-PET
- $aET < PET$, vor allem in langen, sommerlichen Trockenperioden
- Verhältnis aET/PET verkleinert sich unter Klimawandel systematisch
- Praktischer Nutzen der Information $KWB = -125 \text{ mm}/3m$?







Modellsetup Dürremonitor v1/v2

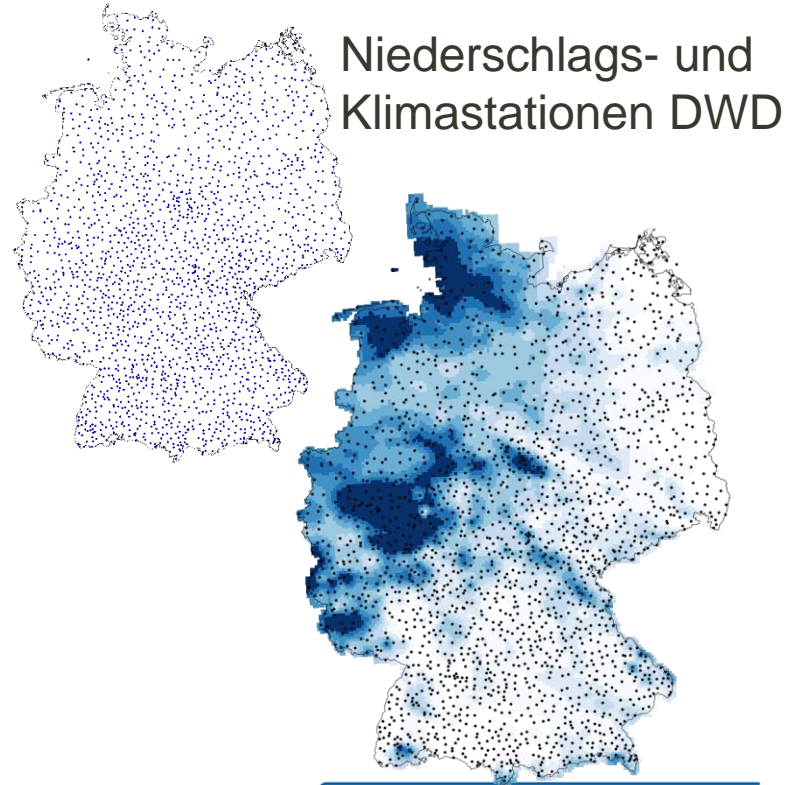
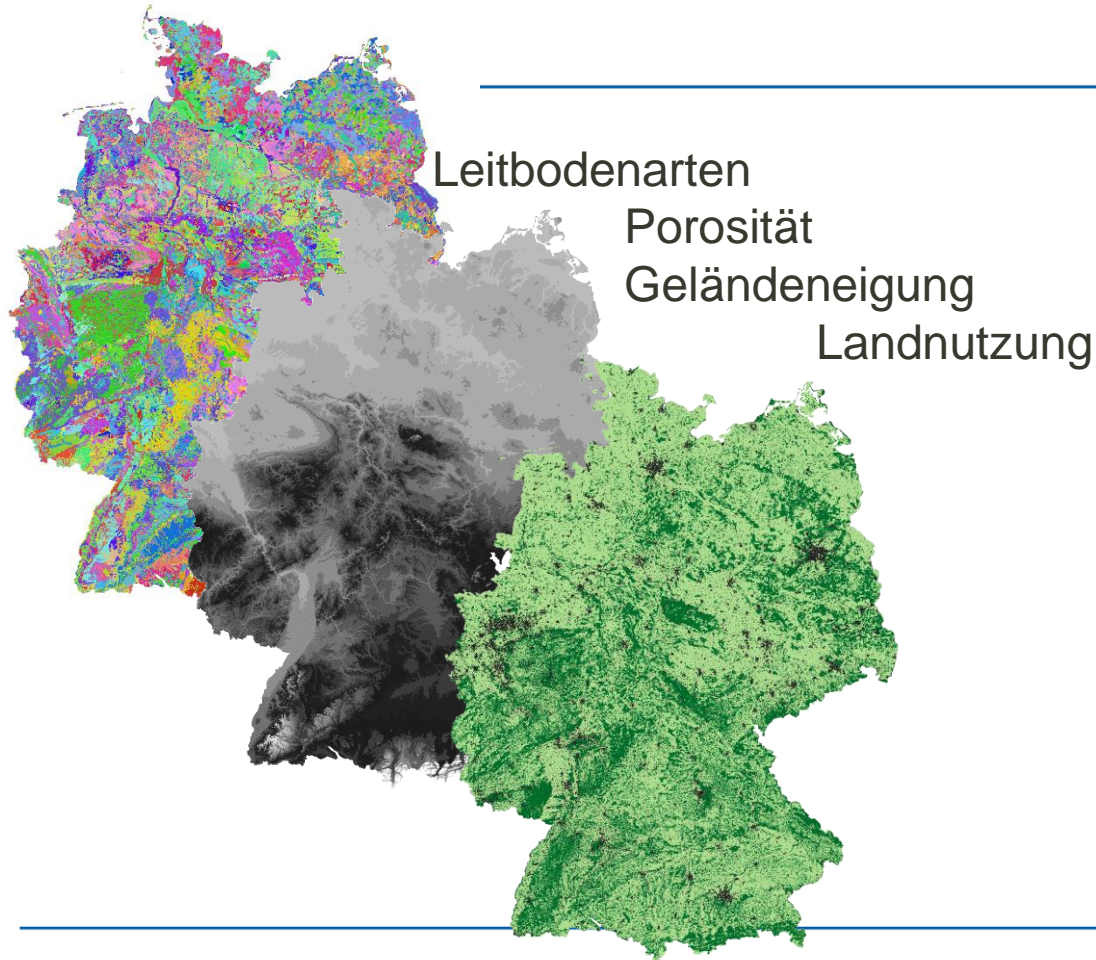
- Täglicher Zeitschritt
- Horizontale Auflösung 4x4/1x1 km²
- Vertikal 3/6 Bodenschichten

Berechnung von Abfluss, Interzeption, Bodenfeuchte, aET, GWN, ... für jeden Tag seit 1951

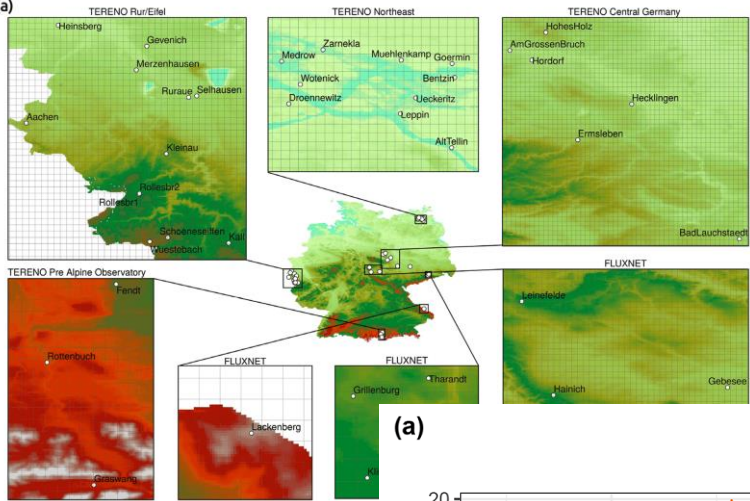
Validierungsstudien gegen Q, SM, ET, GWN



Dürremonitor: Datengrundlage deutschlandweit seit 2010, z.B.

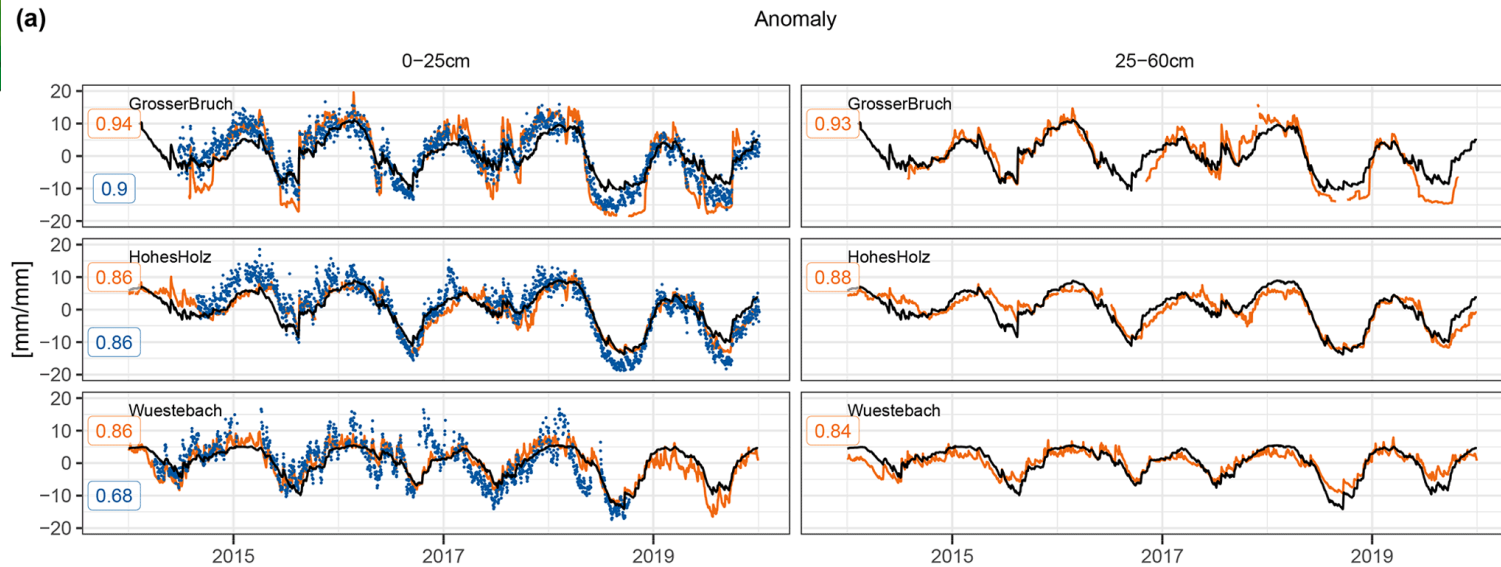


Validierung der Bodenfeuchte an 40 Standorten



Boeing et al.2022 (HESS)

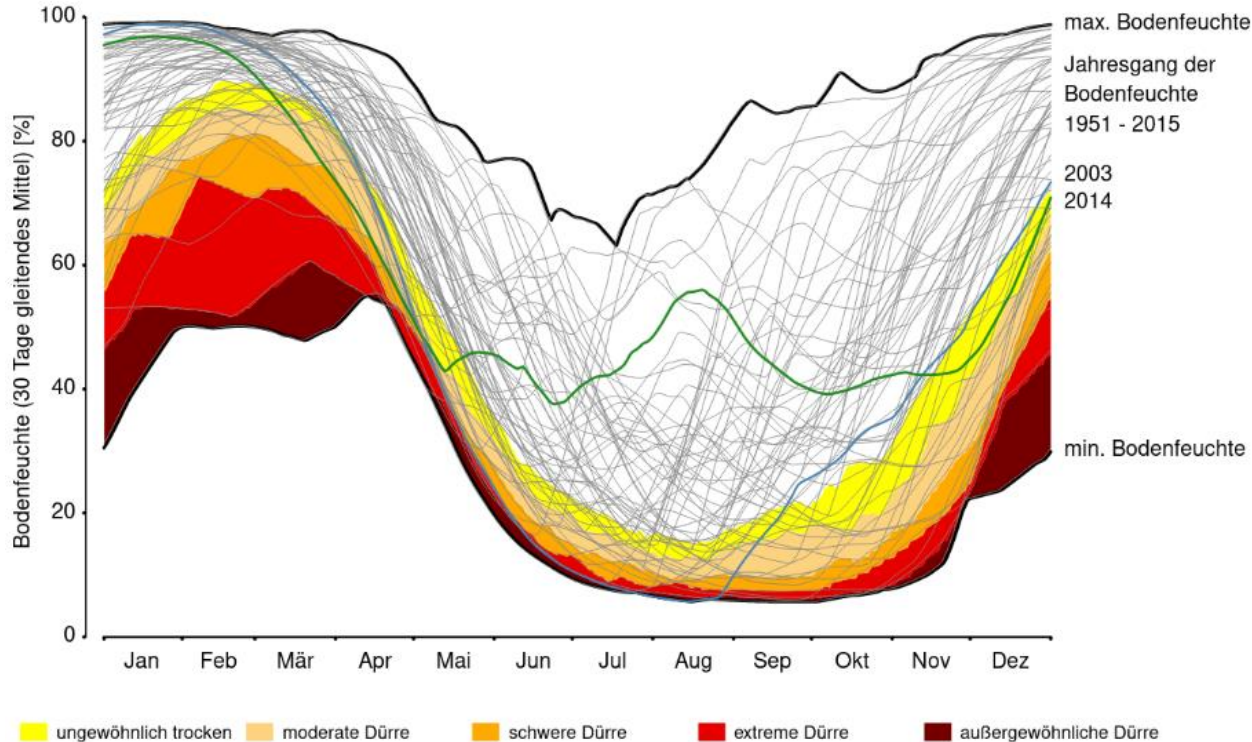
(a)



— CRNS — SDM — mHM

Was bedeutet Dürre?

Aus der vol. Bodenfeuchte werden langjährige Perzentile berechnet



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

Dürremonitor Gesamtboden

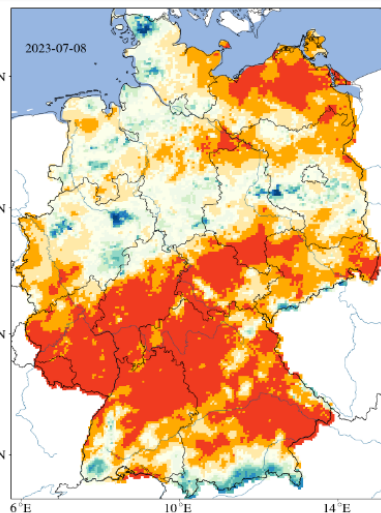
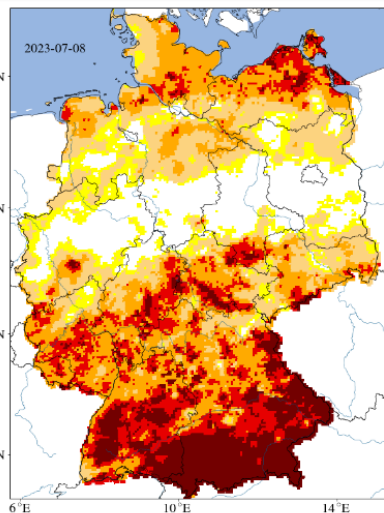
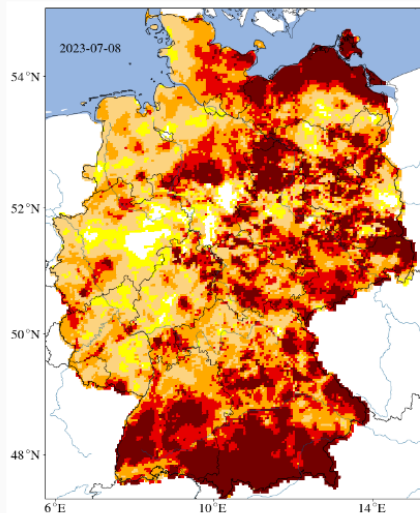
ca. 1.8 m

Dürremonitor Oberboden

bis 25 cm

Pflanzenverfügbares Wasser

bis 25 cm



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



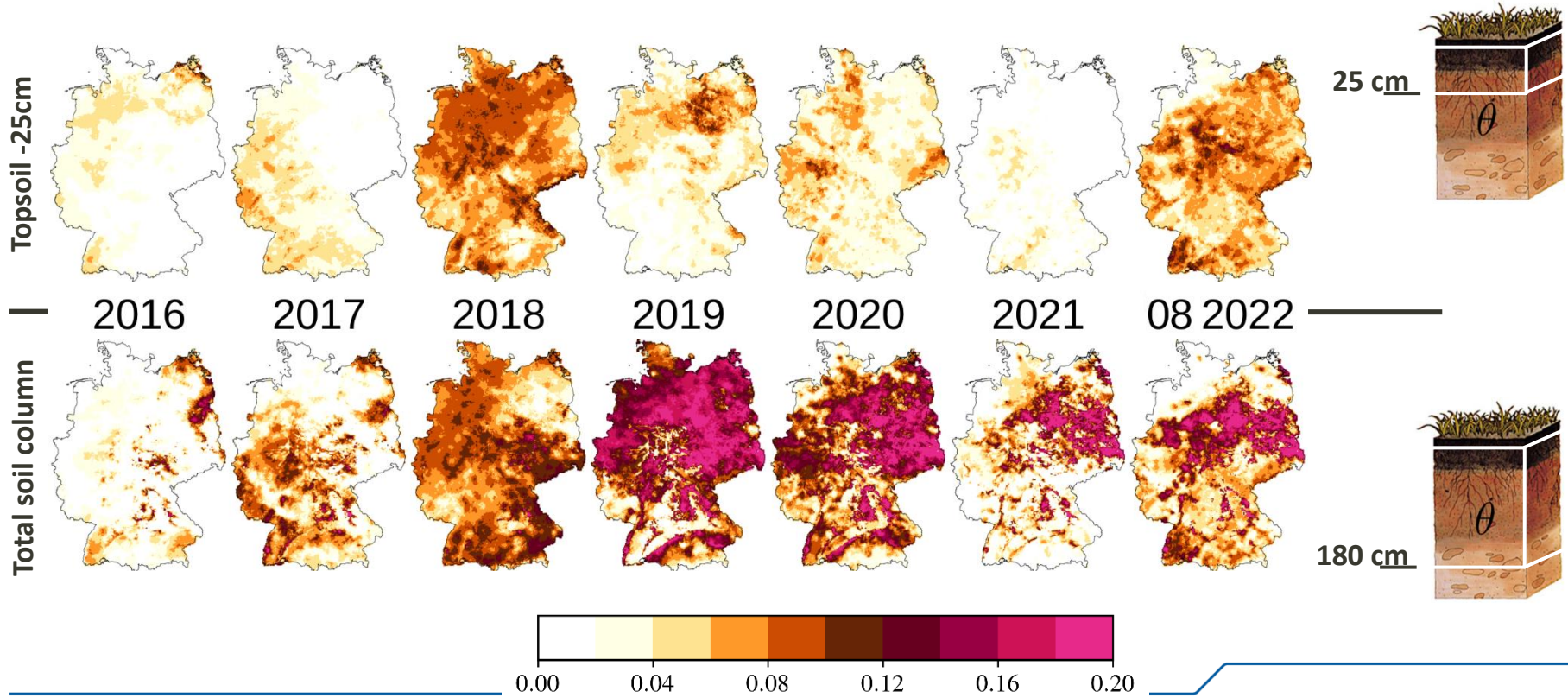
- 0 %nFK, Welkepunkt
- < 30 %nFK, Trockenstress
- < 50 %nFK, beginnender Trockenstress

... 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.

Dürreintensität Vegetationsperiode

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

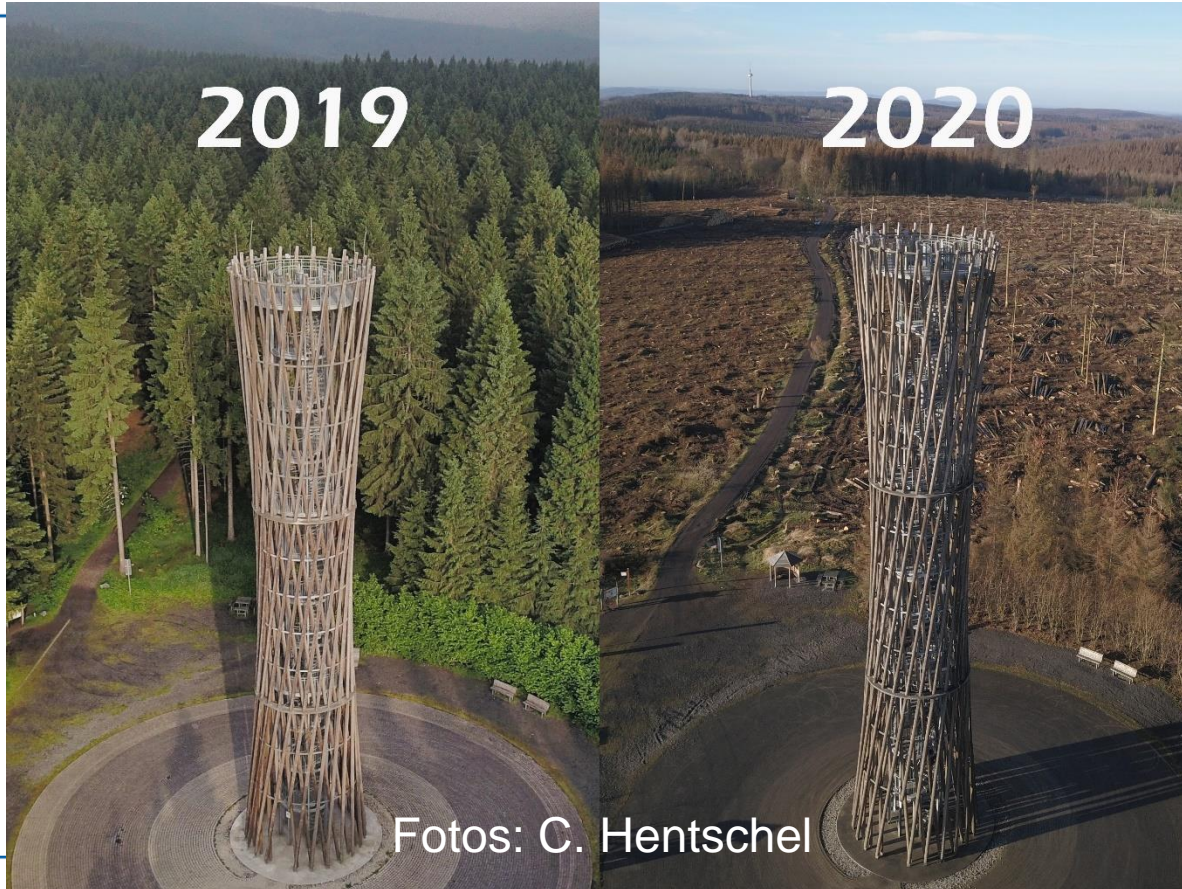




**Combined Event Trockenheit und Starkregen
Größere Erosionsgefahr**

Auswirkungen Wald&Forst: Trockenschäden und Schädlinge

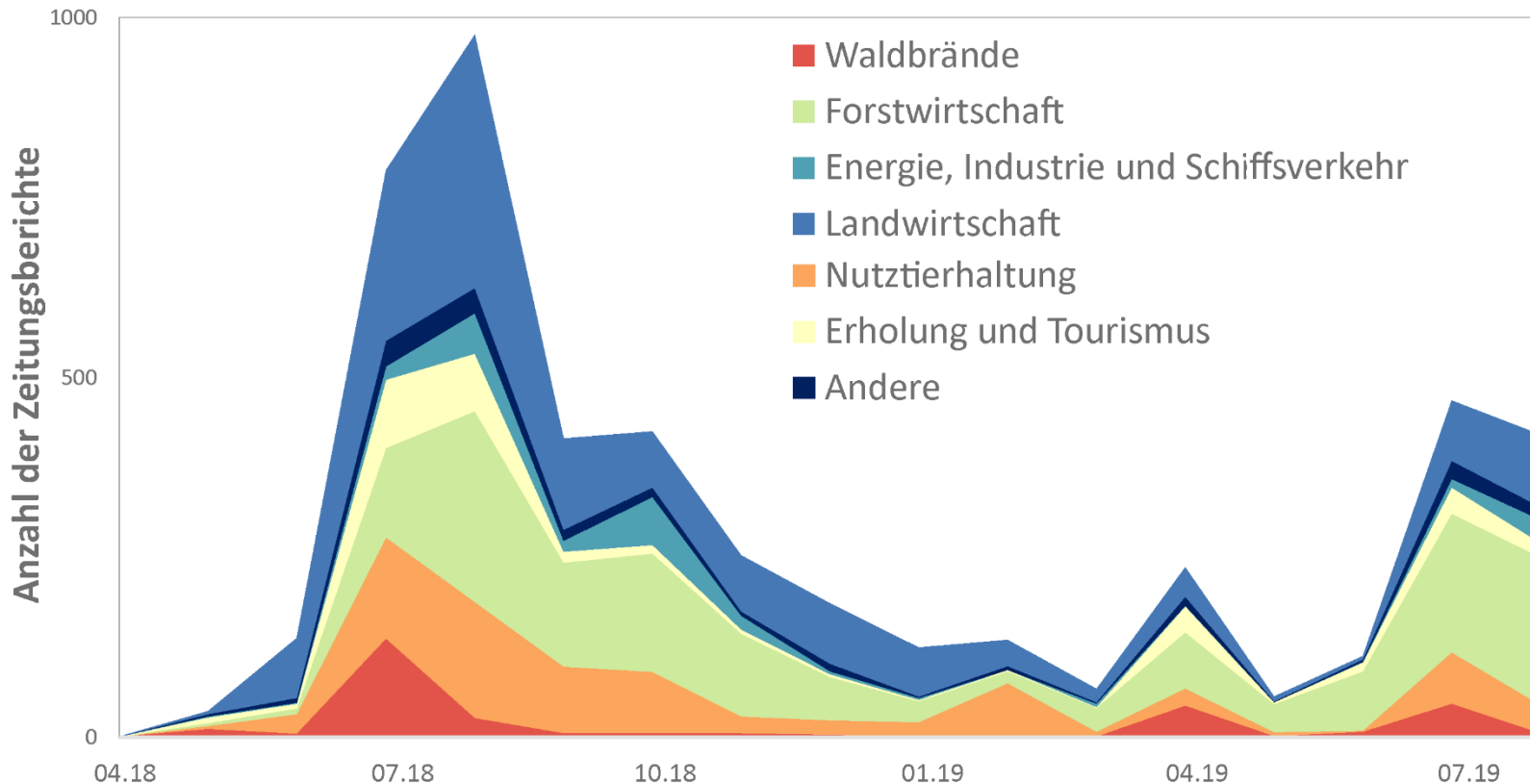
[Sturm + Dürre + milder Winter + Spätfrost 2020]



Fotos: C. Hentschel

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

Dürre: Multi-sektorale Betroffenheit



Quelle: de Brito et al. 2020 (ERL)

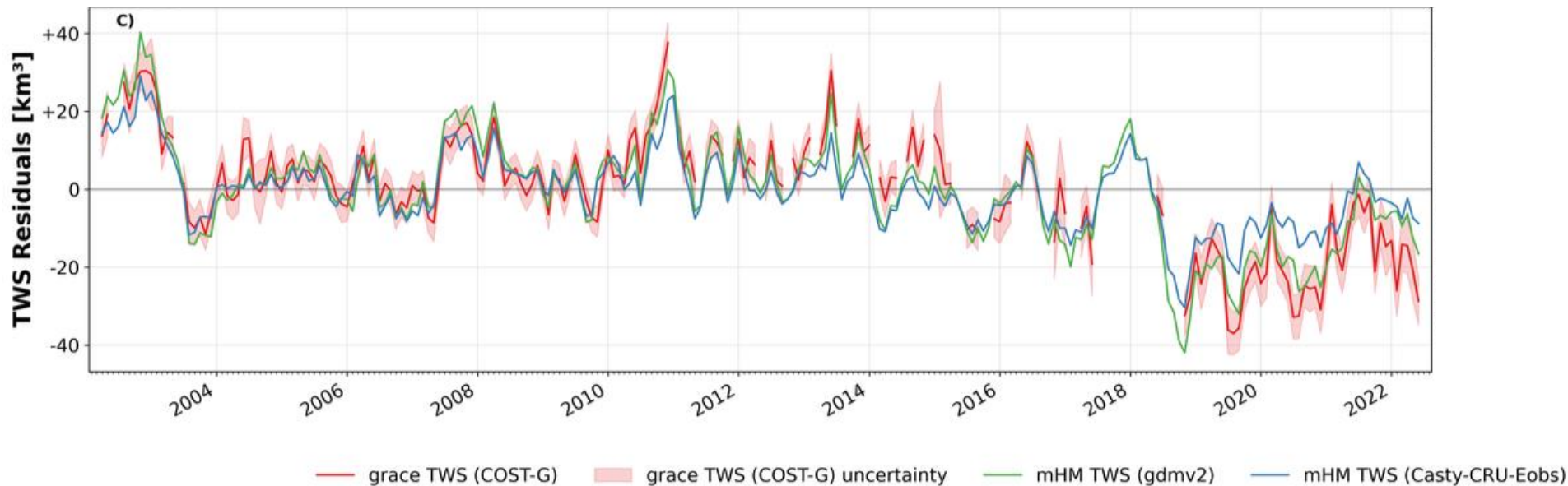
| UMWELT |

Hydrologen warnen: Deutschland trocknet aus

Deutschland gehört zu den Regionen mit dem höchsten Wasserverlust pro Jahr weltweit. Um eine positive Kehrtwende einzuläuten, müsste sofort gehandelt werden.

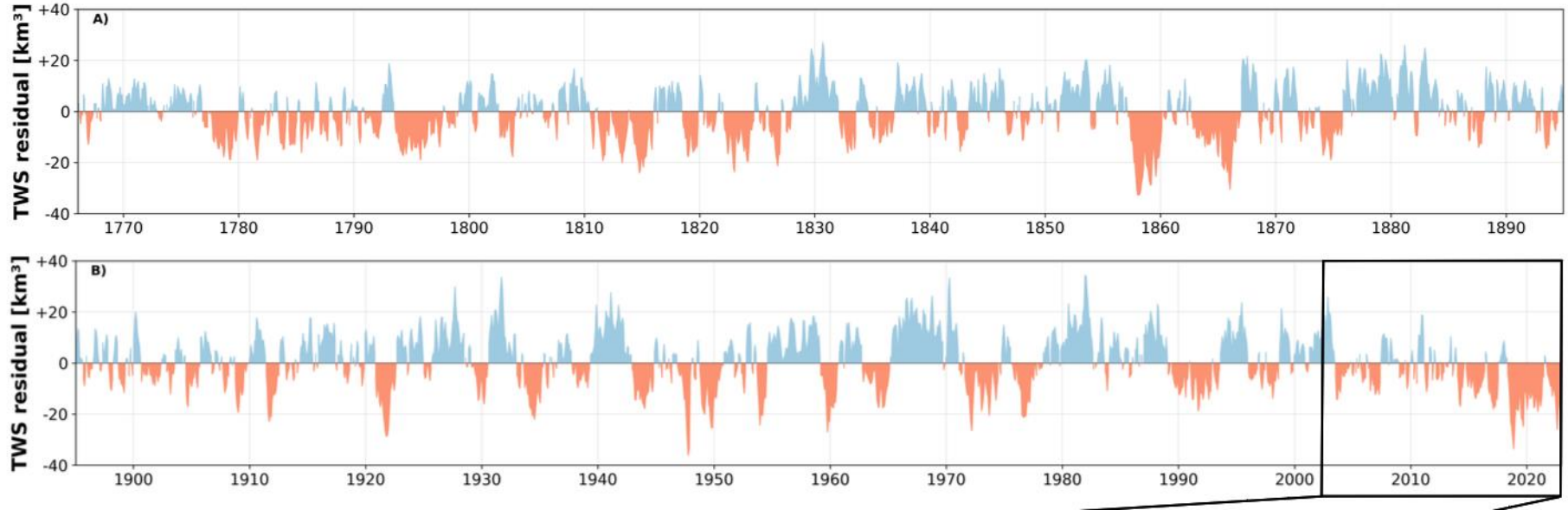
Stimmt das wirklich?

Längerfristige Einordnung der aktuellen Situation: Anomalien terrestrischer Wasserspeicher (TWS)



Grafik: Boeing, Marx et al. (2023, ERL: under review)

Längerfristige Einordnung der aktuellen Situation: Anomalien terrestrischer Wasserspeicher (TWS)

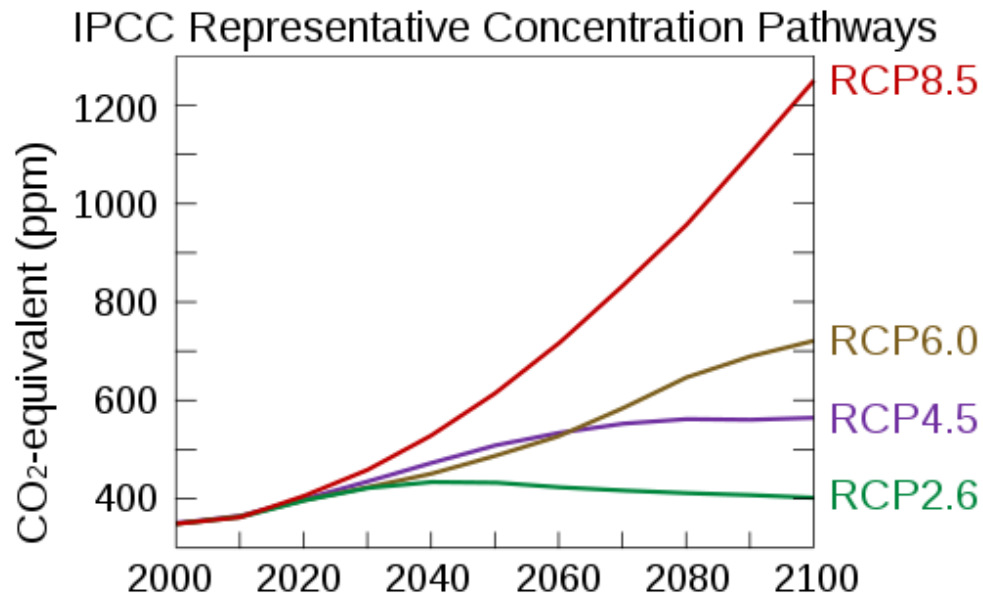


Grafik: Boeing, Marx et al. (2023, ERL: under review)

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 Wm⁻²) als RCP2.6

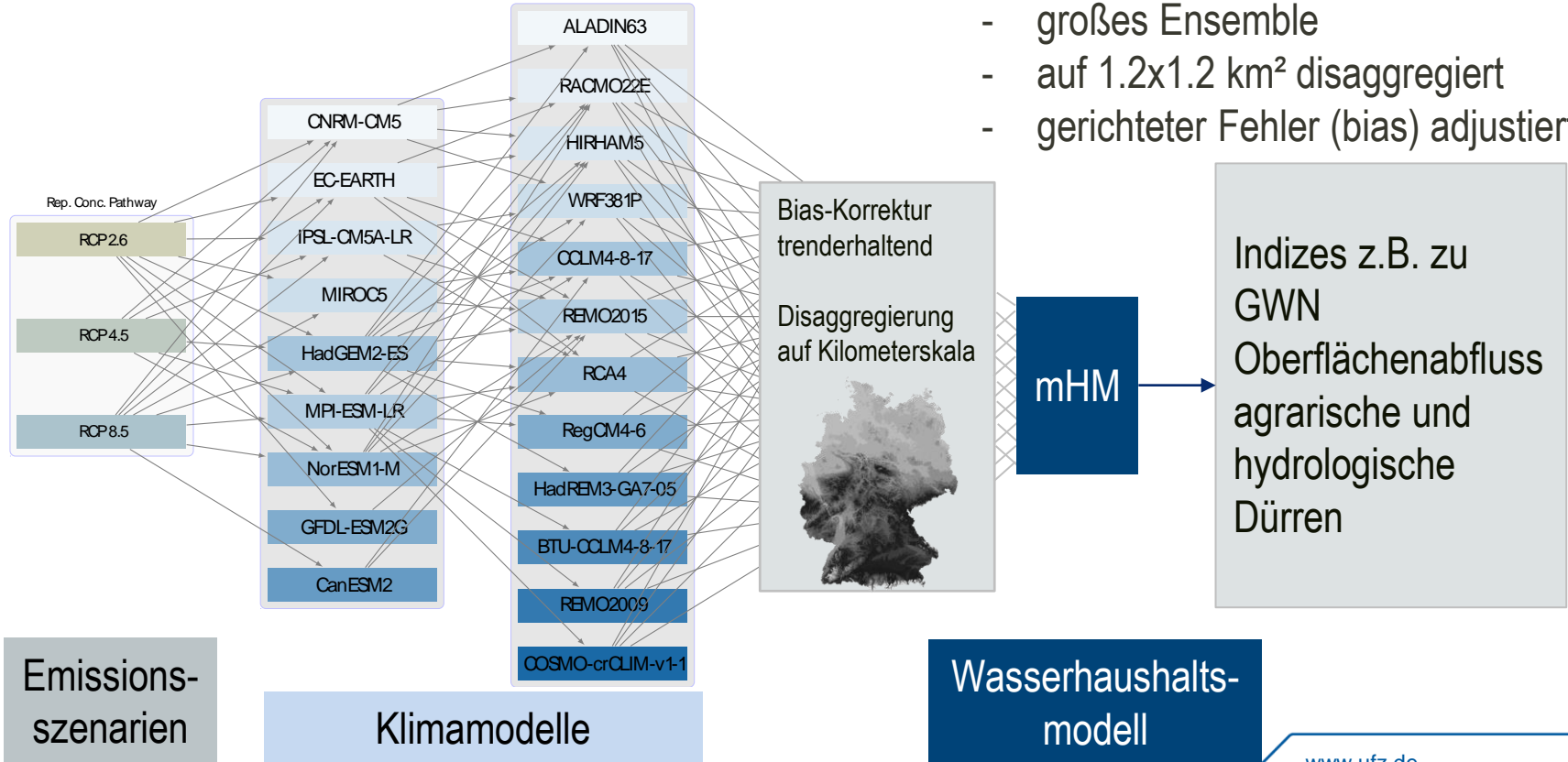
RCP2.6 Klimaschutzszenario
RCP8.5 „Weiter-so-wie-bisher“-Szenario



Studienkonzept für Klimaänderungen und -folgen bis 2100: Multi-Modell-Ensemble mit 88 Mitgliedern

Ansatz ist State of the art:

- großes Ensemble
- auf 1.2x1.2 km² disaggregiert
- gerichteter Fehler (bias) adjustiert



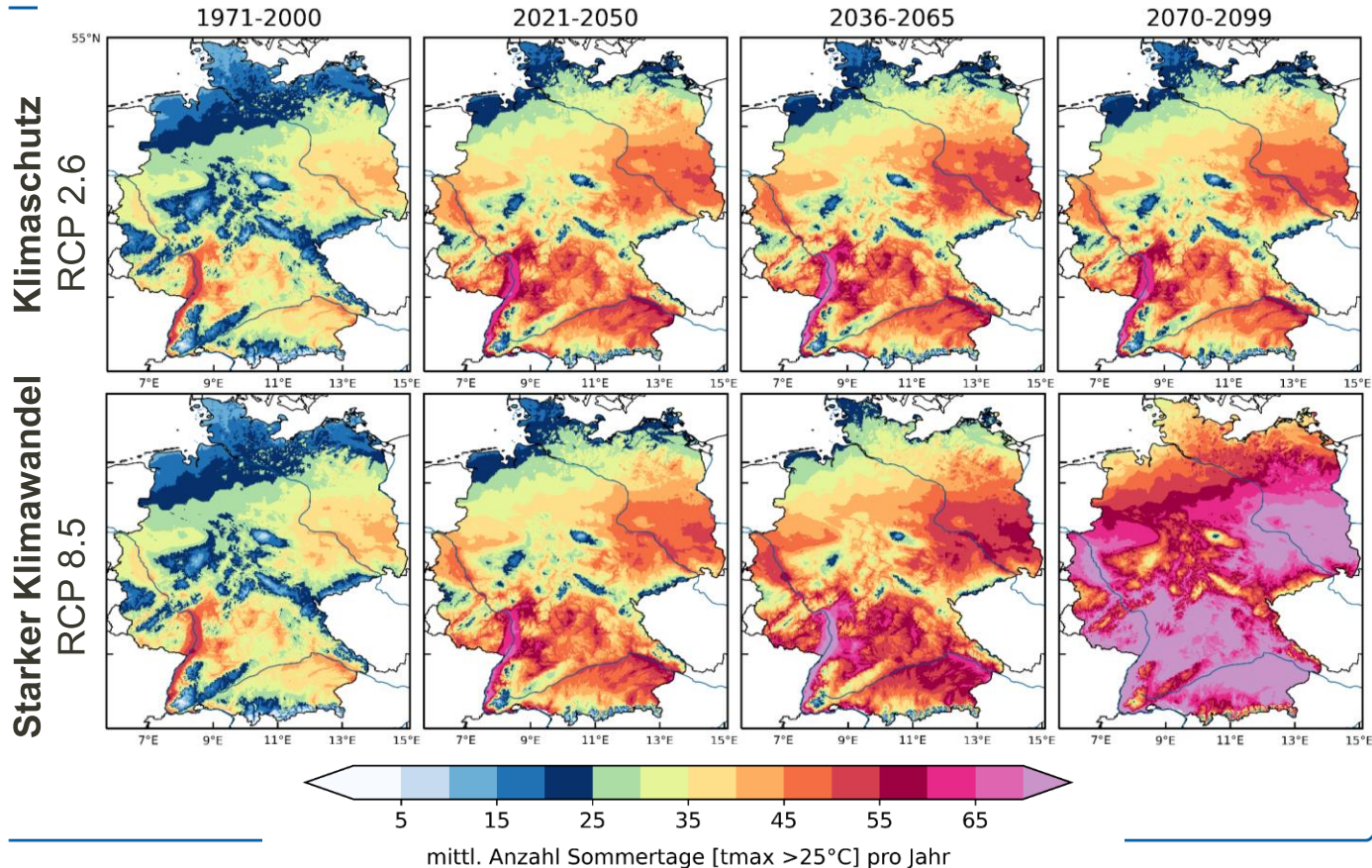
Emissions-szenarien

Klimamodelle

Wasserhaushaltsmodell

Entwicklung von Hitzewellen: Sommertage pro Jahr

Auswirkungen von Klimaschutz erst in 2. Jahrhunderthälfte spürbar



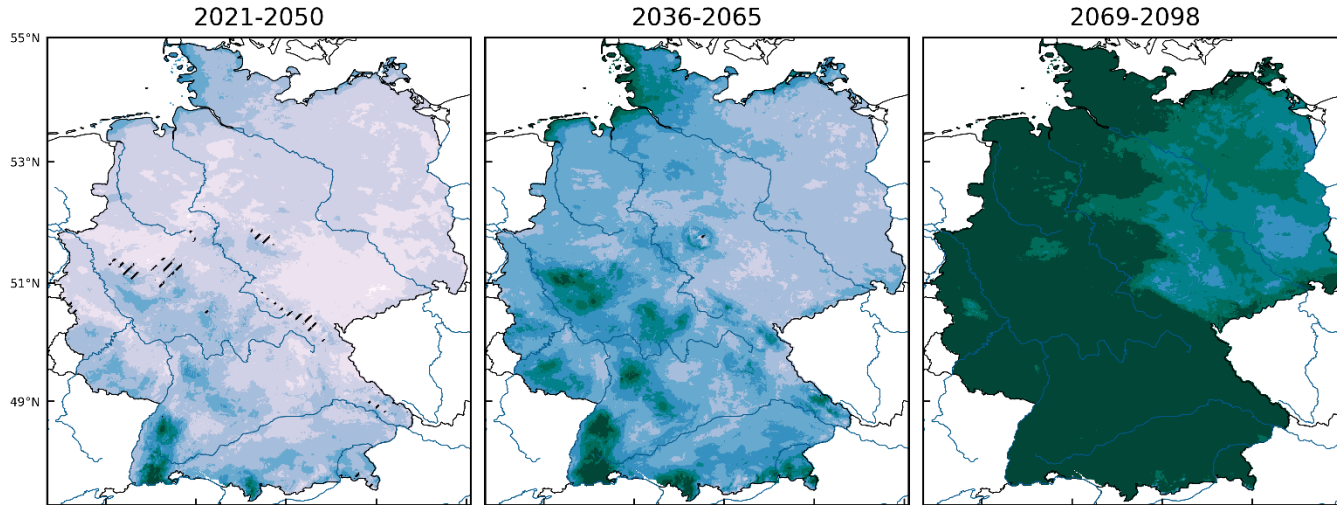
Median der Änderung aus 21 Simulationen unter RCP26 sowie 49 Simulationen unter RCP8.6



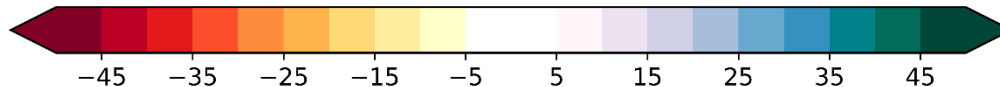
Team: F. Boeing, S. Müller, O. Rakovec, L. Samaniego (UFZ), T. Remke, K. Sieck (GERICS)

-
- 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: Winterniederschlag aus 49 Klimasimulationen unter RCP8.5

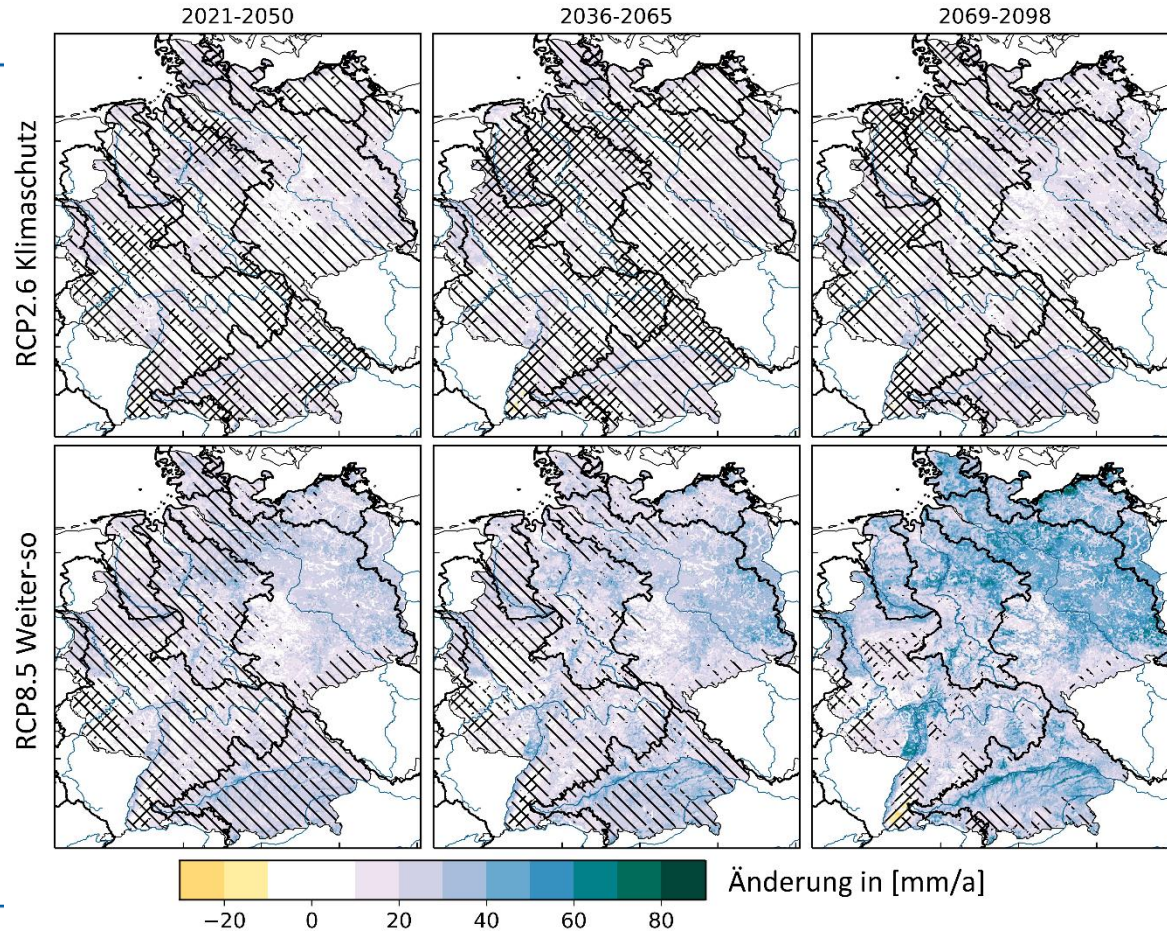


Deutschland wird auch zukünftig ein wasserreiche Regionen sein (!), aber ...



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

Median der Grundwasserneubildungsänderung



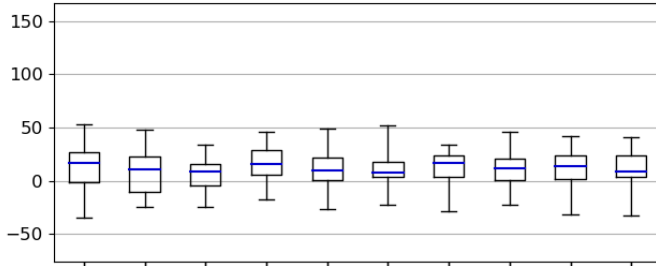
Klimaänderungen bis 2100:
GWN-Änderung [mm/a] aus
70 Klimasimulationen unter
RCP2.6 & RCP8.5, verglichen
mit dem Referenzzeitraum
1971-2000

Die GWN steigt wegen des
zunehmenden
Winterniederschlages und der
abnehmenden Frosttage!
**Verdunstung und
Starkniederschlag spielt im
Winterhalbjahr eine
untergeordnete Rolle!**

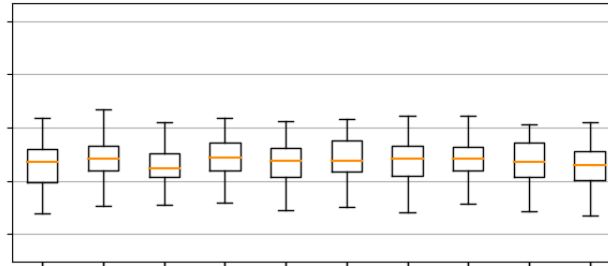
Kritik: Fokussierung auf
Median

2021-2050

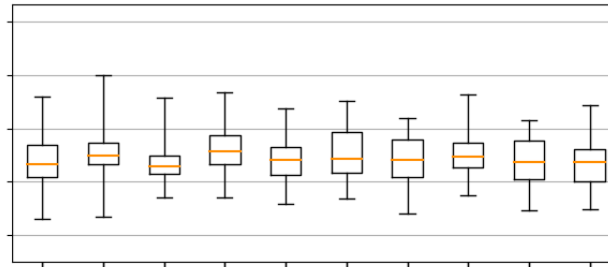
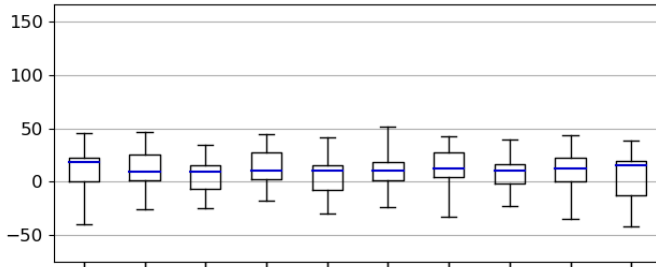
RCP 2.6



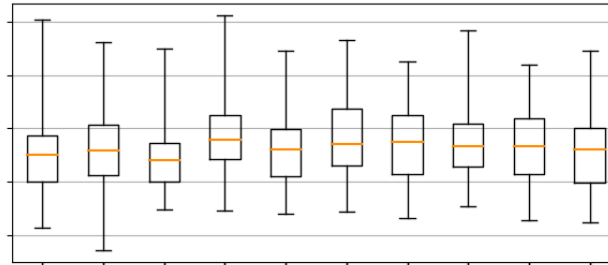
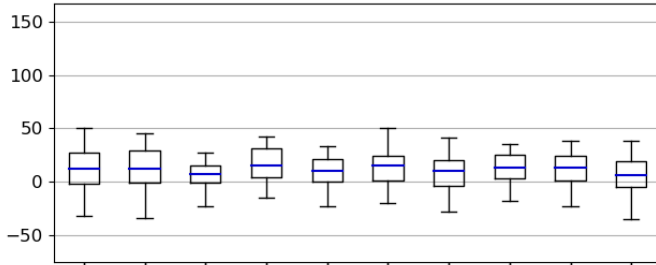
RCP 8.5



2036-2065



2069-2098



Meas
Donau
Rhein
Oder
Weser
Warnow-Peene
Eider
Elbe
Schlei-Trave
Ems

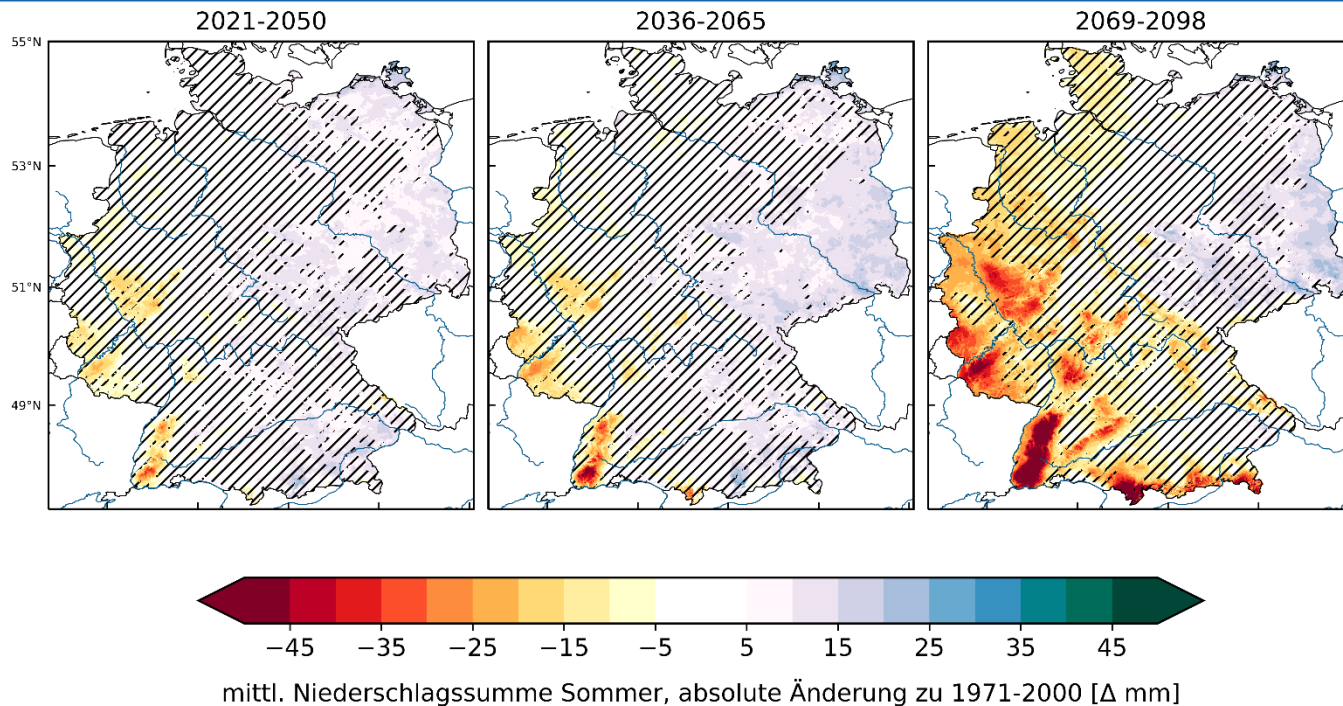
Meas
Donau
Rhein
Oder
Weser
Warnow-Peene
Eider
Elbe
Schlei-Trave
Ems

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

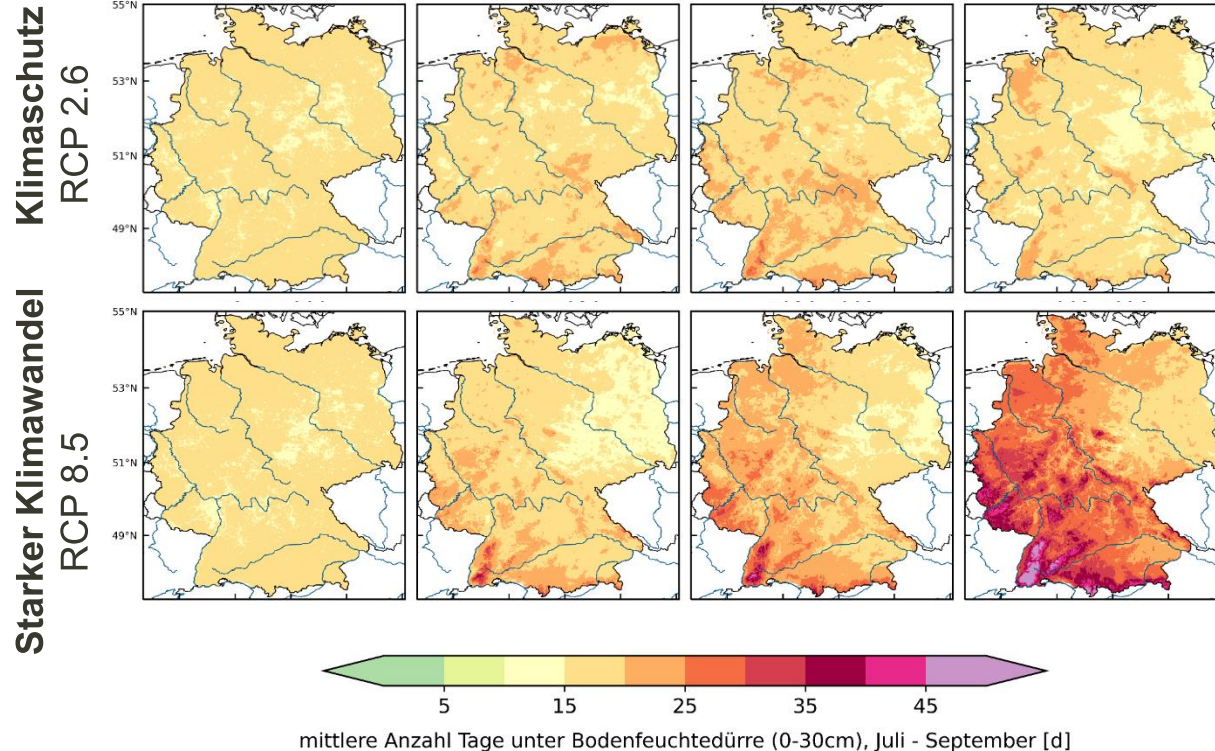
Gezeigt sind der **Median**,
25/75-Perzentil sowie
Minimum und Maximum der
Änderung über alle
Klimasimulationen und für
jedes Einzugsgebiet

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)

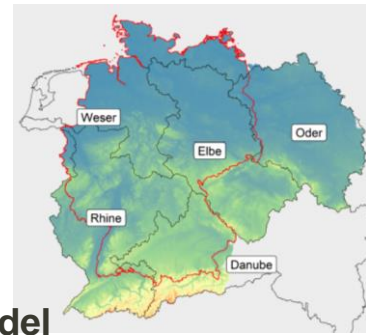


Median der Tage unter Dürre verglichen mit 1971-2000
aus 21 Klimasimulationen unter RCP2.6 und 49 Klimasimulationen unter RCP8.5

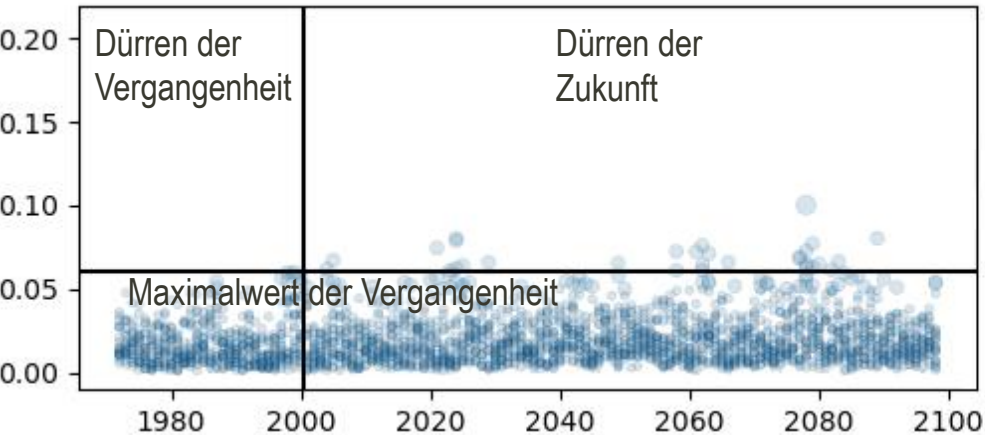
Geringe Änderung unter Klimaschutz, temporäre höhere Wasserbedarfe unter starkem Klimawandel

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

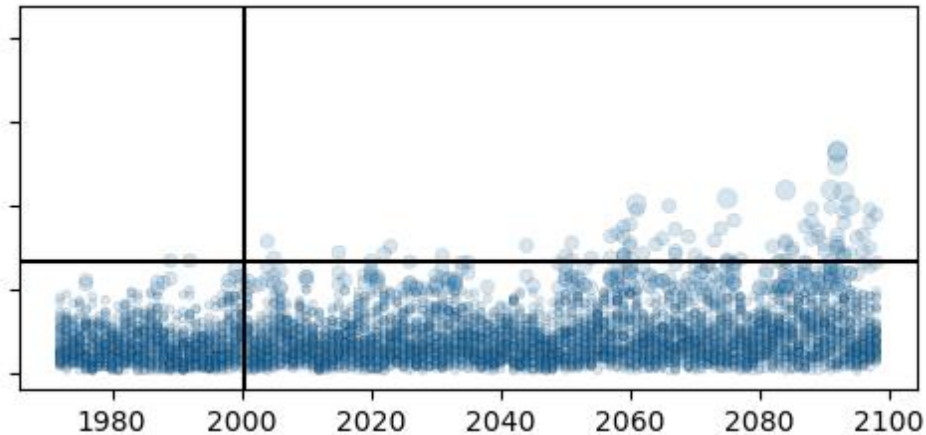
Können sich mehrjährige Dürren wie 2018/19 wiederholen? Zweijährige Dürreintensitäten über die Gesamtfläche Deutschland+Ursprungsgebiete



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

- Jahresniederschlag und Winterniederschlag nehmen mit zunehmender Erwärmung leicht zu, relative Änderungen in **langjährigen** Abflüssen und GWN ebenfalls
- **Temporäre** agrarische und hydrologische Dürren werden unter starkem Klimawandel im Südwesten Deutschlands länger andauern, im Nordosten lässt sich das aus insgesamt 88 Klima-Hydrologiesimulationen jedoch nicht ableiten
- **Für Deutschland fehlt ein Satz an geeigneten Indizes für einen Dürreindikator!**

Sicherstellung der Wasserversorgung ist systemische Aufgabe

Politische und wissenschaftliche Antworten notwendig



- Nationale Wasserstrategie (Entwurf 2021): konkrete Agenda zur Umsetzung bis 2030/2050 mit vielfältigen Verantwortlichkeiten, Resort- und Verbändeanhörung abgeschlossen.
- Benötigt und erarbeitet werden u.a.
 - Quantifizierung des terrestrischen Wasserkreislaufs
 - Wasser- und Stoffflüsse (Wasserqualität)
 - Wissenschaftlich fundierte Wasserinformationen für die Klimaanpassung
- **ABER: Der Fokus liegt auf der langjährigen Wasserverfügbarkeit, weniger auf dem Umgang mit temporären Dürreextremereignissen**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Kontakt:
andreas.marx@ufz.de