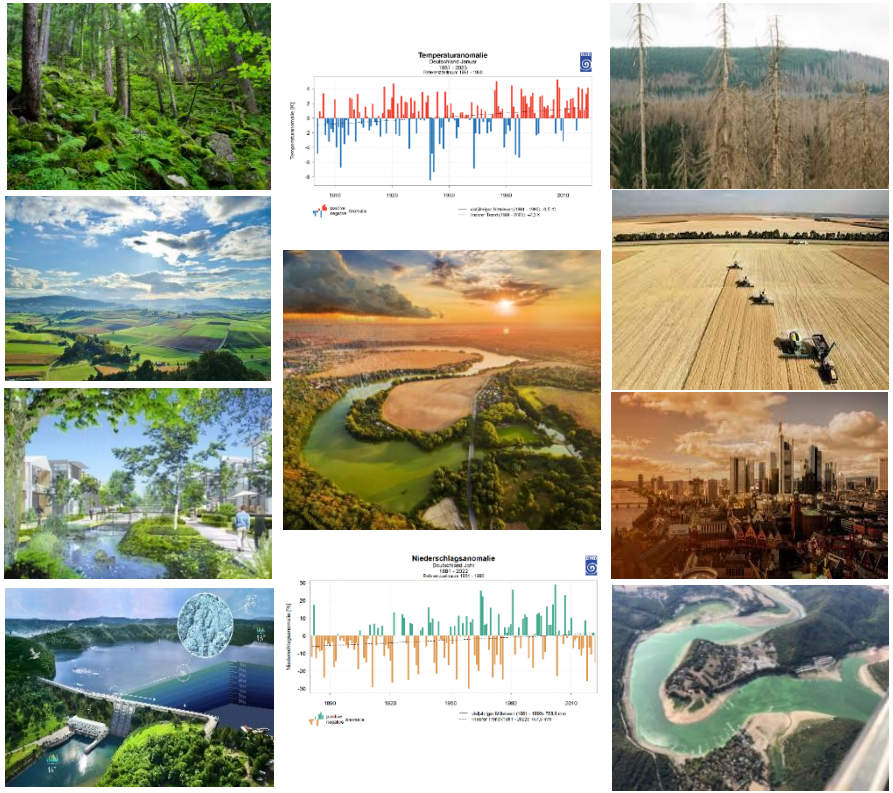
UFZ HELMHOLTZ Zentrum für Umweltforschung



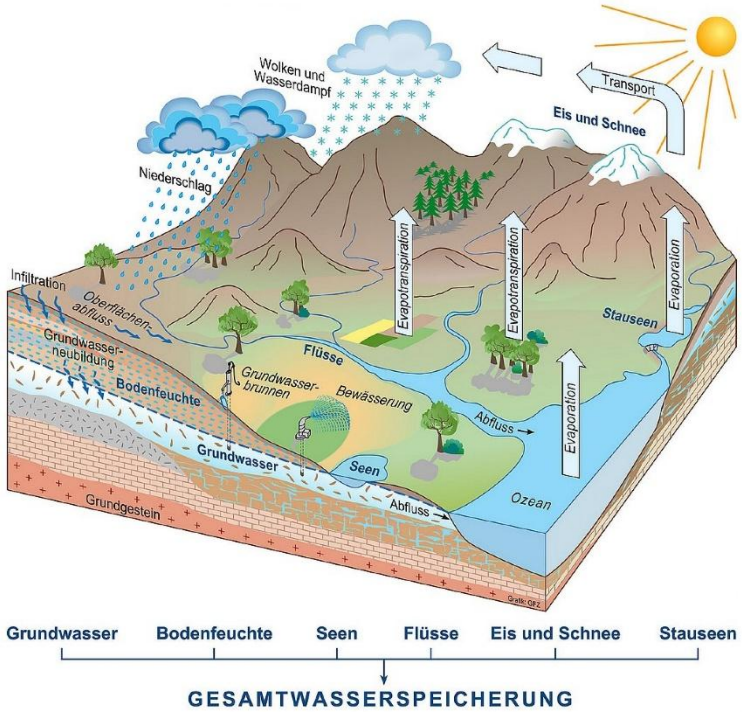
Landschaftswasserhaushalt: eine Schlüsselgröße für aquatische Ökosysteme und Biodiversität

Prof. Dr. Dr. h.c. Dietrich Borchardt
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung-UFZ und TU Dresden

18.04.2024

Schlüsselressource Wasser

Kompartimente und Prozesse des Landschaftswasserhaushaltes



https://www.riffreporter.de/de/umwelt/wasserressourcen-grundwasserspeicher-satellitenmessung-duerre-klimawandel

Landschaftswasserhaushalt:

- Σ der ober- und unterirdischen Wasserspeicher mit den sie verbindenden dynamischen Transformations- und Transportprozessen
- Quantitative Dimension
- Qualitative Dimension
- Ökologische Dimension



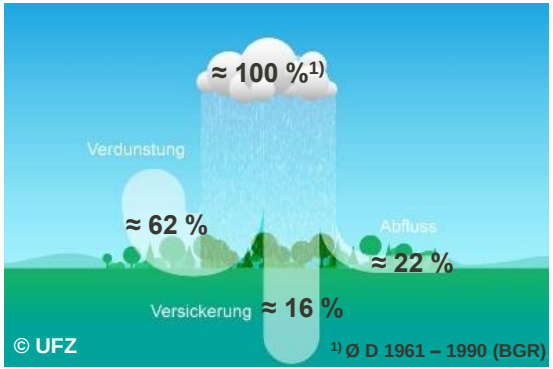






Schlüsselstellung Landschaftswasserhaushalt

Räumliche Heterogenität der Bilanzgrößen des Wasserkreislaufs in D

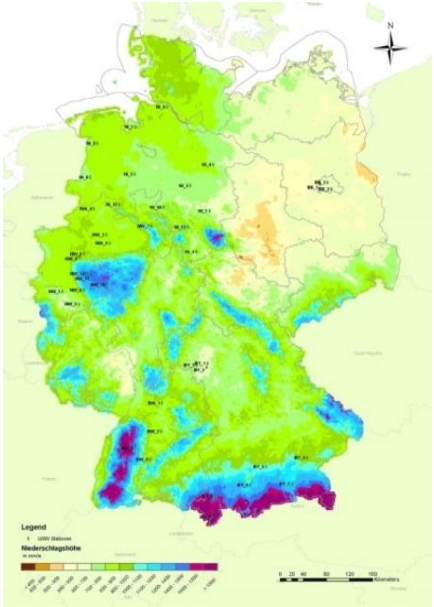


$$P = a \cdot P + g \cdot P + v \cdot P$$

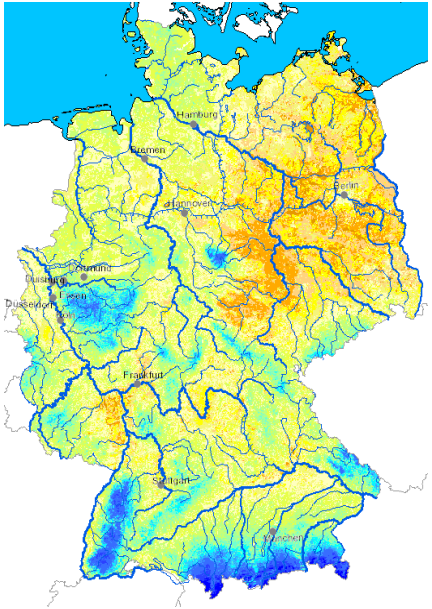
$$1 = a + g + v$$

mit:
a = Aufteilungsfaktor Abfluss
g = Aufteilungsfaktor Grundwasserneubildung
v = Aufteilungsfaktor Verdunstung

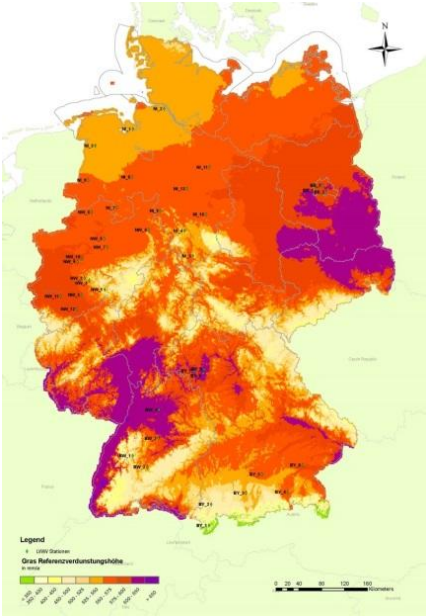
Niederschlag (P)



Abfluss (R)

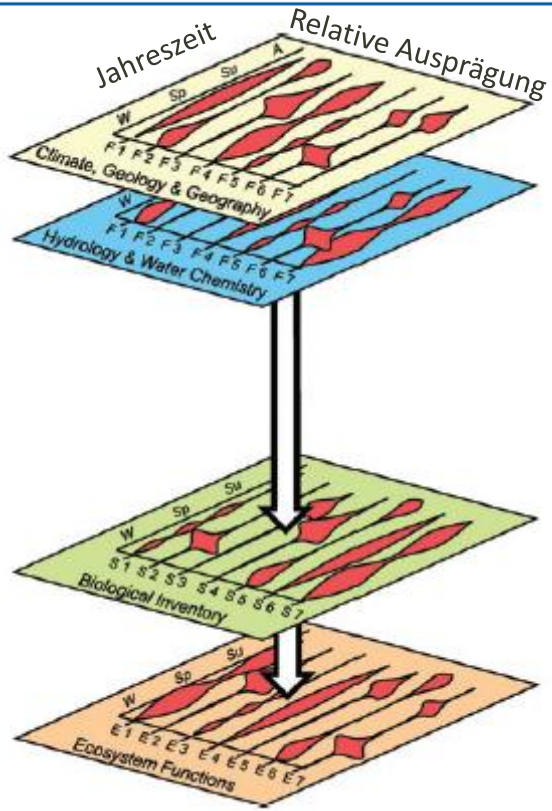


Verdunstung (ET_a)



Hydrologischer Atlas Deutschland

Wie Umweltfaktoren das biologische Inventar und die ökologischen Funktionen von Gewässern „filtern“ und „steuern“



Tockner, Lorang, Borchardt, Pusch (2010)

Ausgangsfaktoren
(z. B. Klima, Geologie, Geographie)

Abiotische ökologische Faktoren
(z. B. Strahlungs-, Abfluss-, Temperatur-, Stoff-Regime,…)

Lebensgemeinschaft
(e. g. Arten, Anzahl, Merkmale, Eigenschaften,…)

Ökologische Funktionen
(e. g. Abbau, Nährstoffumsetzung, Schadstoffabbau,…)





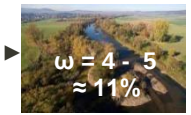
Die biozönotischen Fließgewässertypen in Deutschland

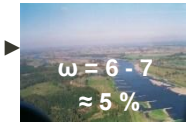
Ausgewählte Gewässerlandschaften und Regionen nach BRIEM (2001)	biozönotischer Typ Längszonierung[1) 2)] Bach	Kl. Fluss	Gr. Fluss	Strom
Ökoregion 4: Alpen, Höhe > 800 m				
Kalkalpen, Flyschzone	1[3)]			
Ökoregion 9 (und 8): Mittelgebirge und Alpenvorland, Höhe ca. 200 - 800 m und höher				
Alpenvorland				
Tertiäres Hügelland, Niederterrassen, Ältere Terrassen, Altmoränenland	2[4)]		4	
Jungmoränenland	3[5)]			
Auen (über 300 m Breite)				
Mittelgebirge				
Gneis, Granit, Schiefer, übrige Vulkangebiete	5	9	9.2	
Buntsandstein, Sandbedeckung	5.1			
Lössregionen, Keuper, Kreide	6	9.1		
Muschelkalk, Jura, Malm, Lias, Dogger, Kalke	7			
Auen (über 300 m)				10
Ökoregion 14: Norddeutsches Tiefland, Höhe < 200 m				
Sander, Sandbedeckung, Grund- und Endmoräne	14	15		
Lössregionen	18			
Grund- und Endmoräne, Ältere Terrassen	16	17		
Auen (über 300 m)				20
Marschen	22[6)]			
Jungmoränenland: Grundmoränen	23			
Ökoregion unabhängige Typen				
Sander, Lössregionen, Auen (vermoort)	11	12		
Auen (über 300 m)	19			
Sander, Grund- und Endmoräne	21			

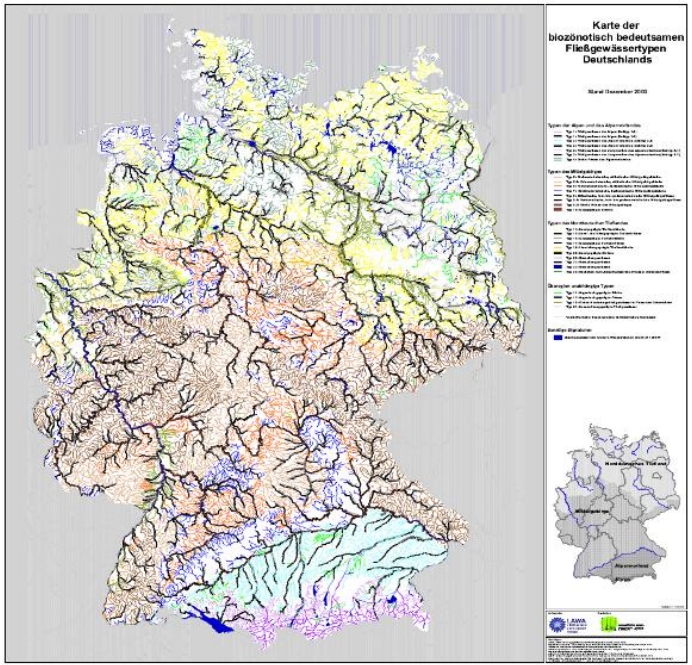
Gewässerordnung ω
und ihr Längenanteil (%)
am Fließgewässernetz in D
(Gesamtlänge > 500.00 km)



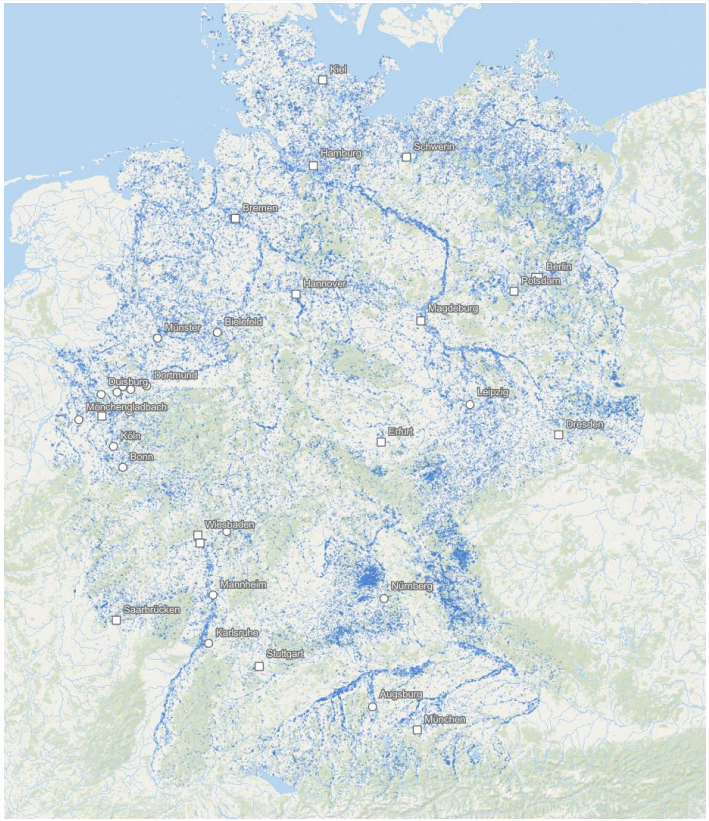








„Kleine“ Standgewässer in Deutschland

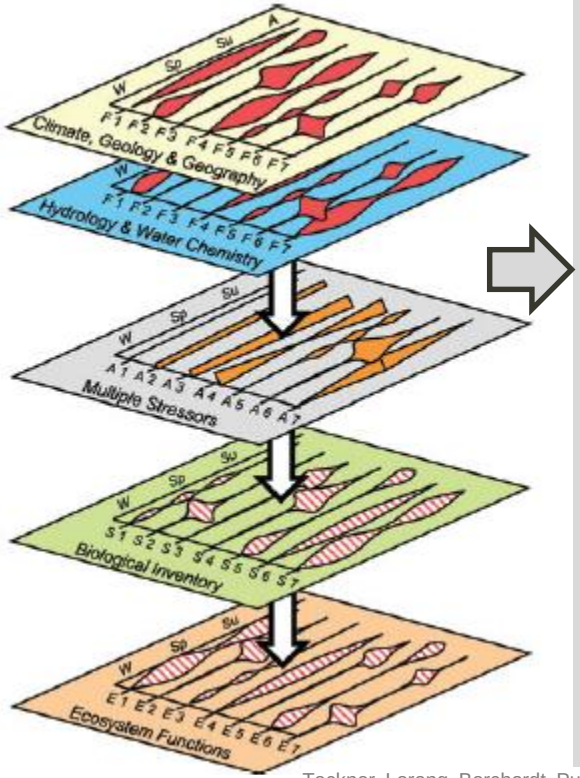




UBA (2026)

- mehr als 300.000 stehende Gewässer haben eine Wasserfläche < 0,5 ha
- davon circa 30% < 0,1 ha
- obwohl diese nur etwa 20 Prozent des gesamten Wasservolumens aller stehenden Gewässer Deutschlands ausmachen, stellen sie etwa die Hälfte der gesamten Wasserfläche.
- von den rund 80.000 Kilometer Uferlinie aller stehenden Gewässer in Deutschland entfallen fast 90 Prozent auf Gewässer kleiner 50 Hektar

Anthropogene Stressoren und „Filterung“ in der Umwelt



Anthropogene Eingriffe, Belastungen und Stressoren

- hydrologische Veränderungen,
- morphologische Veränderungen,
- Gewässerausbau, -unterhaltung,

- …..

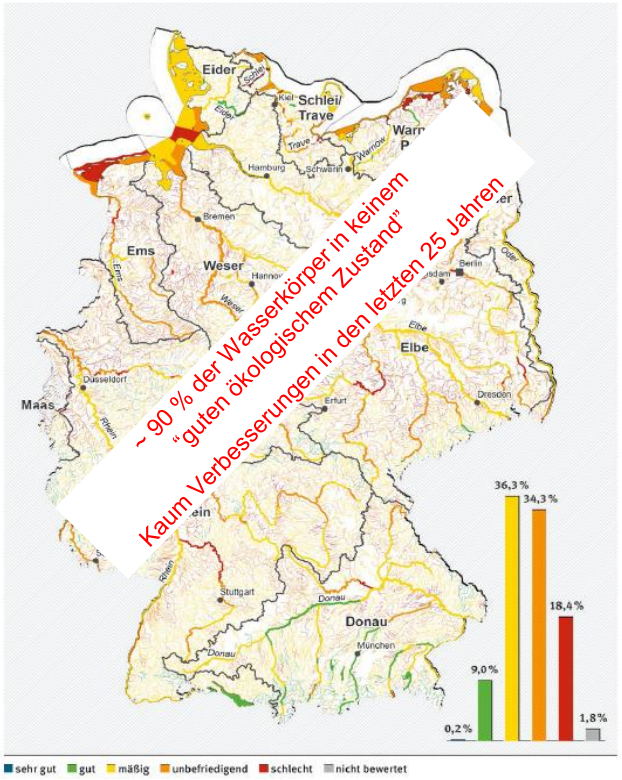
- Abwasser,
- Niederschlagswasser,
- Nährstoffe,
- Giftstoffe,
- Kühlwasser,
- …



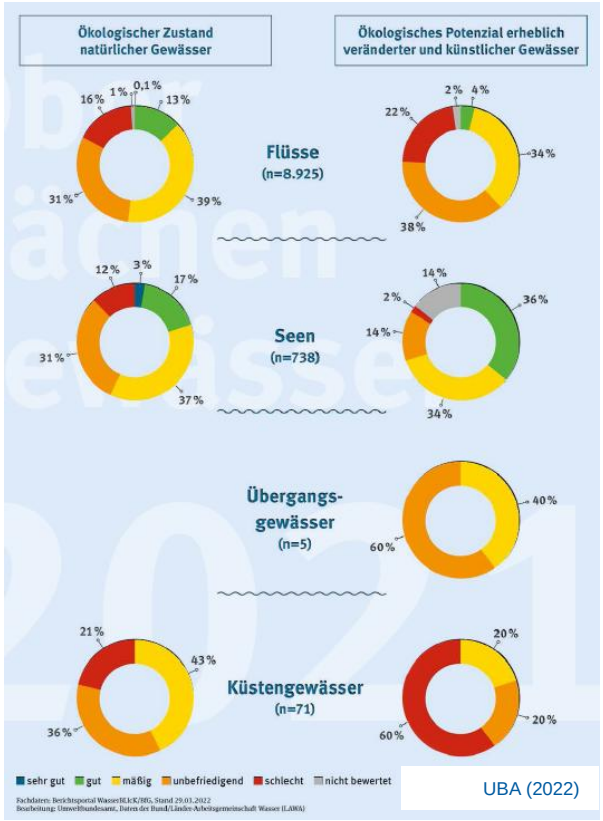
Tockner, Lorang, Borchardt, Pusch (2010)

Ökologischer Zustand der Oberflächengewässer

Prozentualer Anteil der Wasserkörper (N = 8.590) in Zustandsklassen



Ökologischer Zustand nach EU-WRRL



UBA (2022)



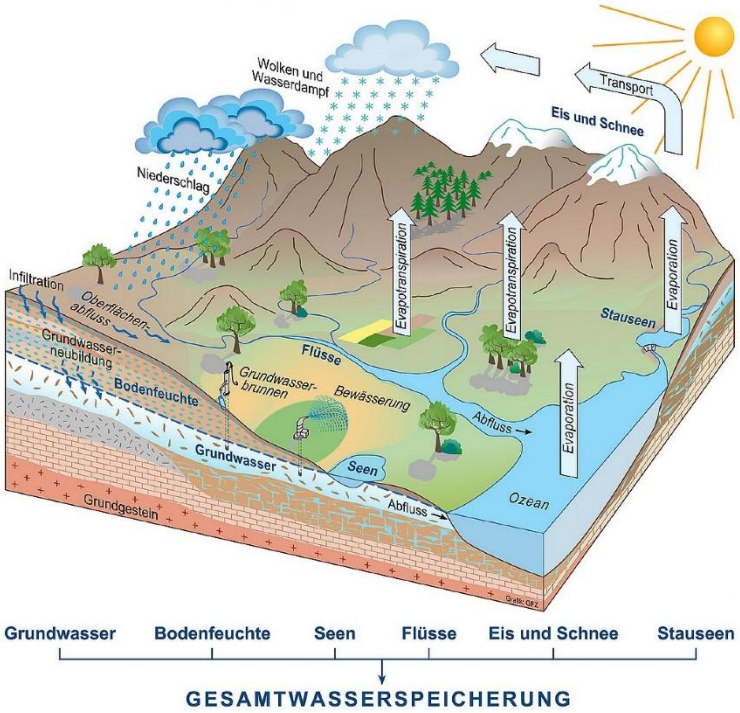




Der natürliche und vom Menschen veränderte Wasserkreislauf

Quantitativer und qualitativer Landschaftswasserhaushalt

*Ressource: Wasser als Bestandteil des Naturhaushaltes und als Rohstoffquelle



https://www.riffreporter.de/de/umwelt/wasserressourcen-grundwasserspeicher-satellitenmessung-duerre-klimawandel



https://riff.media/images/der-neue-wasserkreislauf-anthropozaen.jpg, verändert

Wasser-gebrauch | Wasser-qualität | Eingriffe in Ökosysteme | Folgen der Klimakrise

Quantitativer Landschaftswasserhaushalt

Die Bilanzgrößen des Wasserkreislaufs

Zufluss von Ober-liegern



Abfluss zu Unter-liegern

Allgemeine Wasserhaushaltsgleichung

$$P = R + ET_a$$

$$P = R_D + GWN + ET_a$$

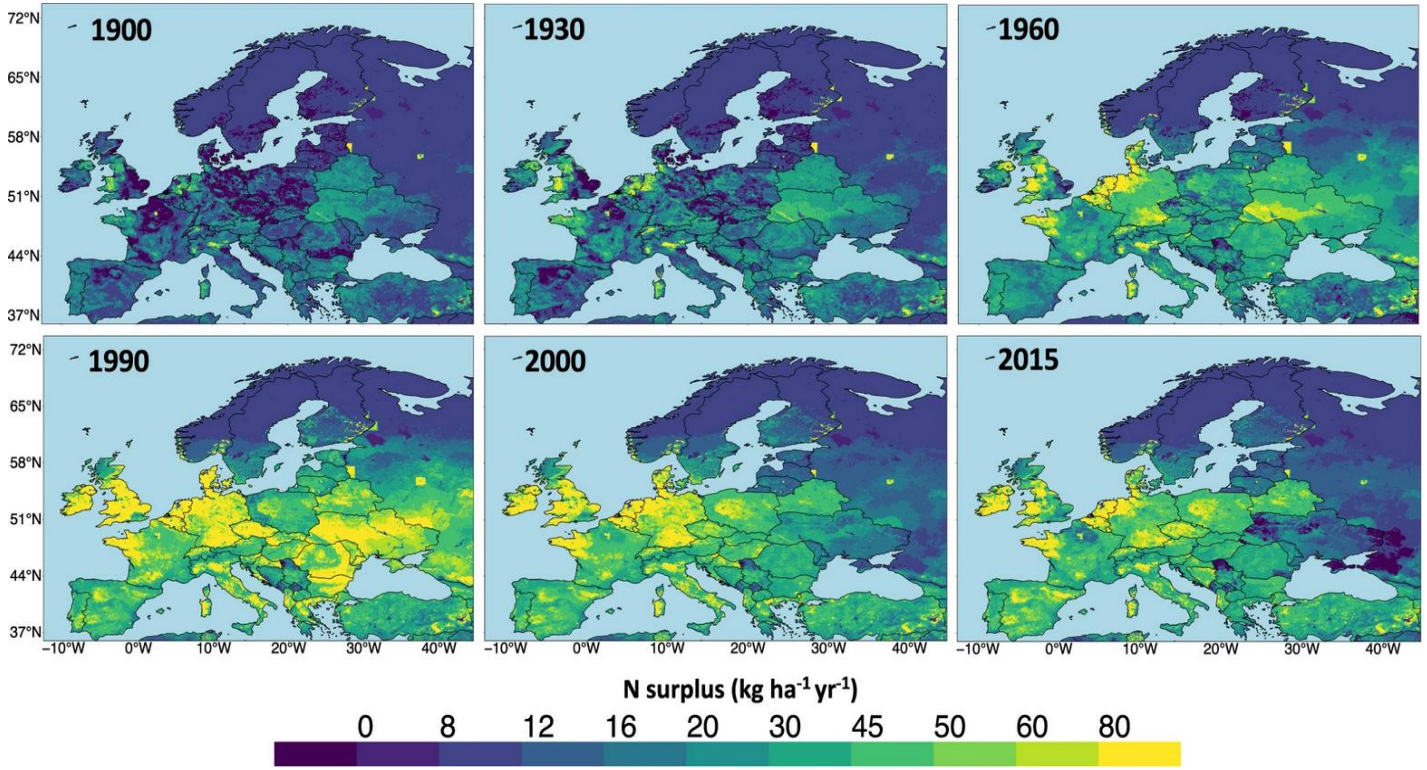
$$P = a \cdot P + g \cdot P + v \cdot P$$

$$1 = a + g + v \quad !$$

mit:
a = Aufteilungsfaktor Abfluss
g = Aufteilungsfaktor Grundwasserneubildung
v = Aufteilungsfaktor Verdunstung

Qualitativer Landschaftswasserhaushalt

Stickstoffüberschüsse in Europa von ≈ 1900 - 2015



Batool et al., 2022, Nature Scientific Data



Fritz Haber´s Versuchsanlage zur Ammoniaksynthese (1908)



Industriell hergestellter Mineraldünger

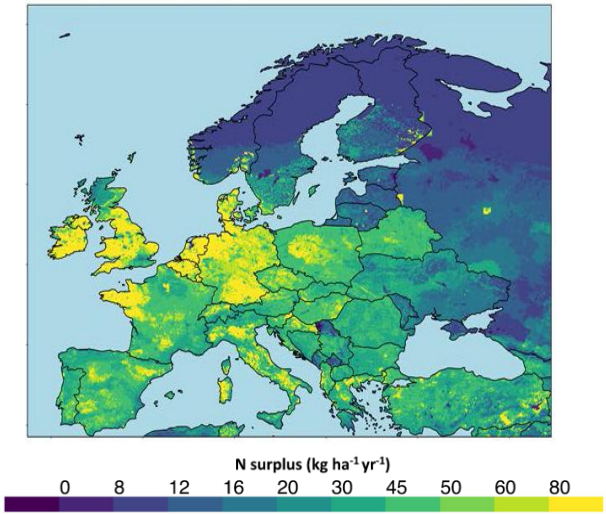


Gülle und Gärreste

Qualitativer Landschaftswasserhaushalt

Nitrat im Grundwasser – ein regionales Problem mit überregionalen Folgen

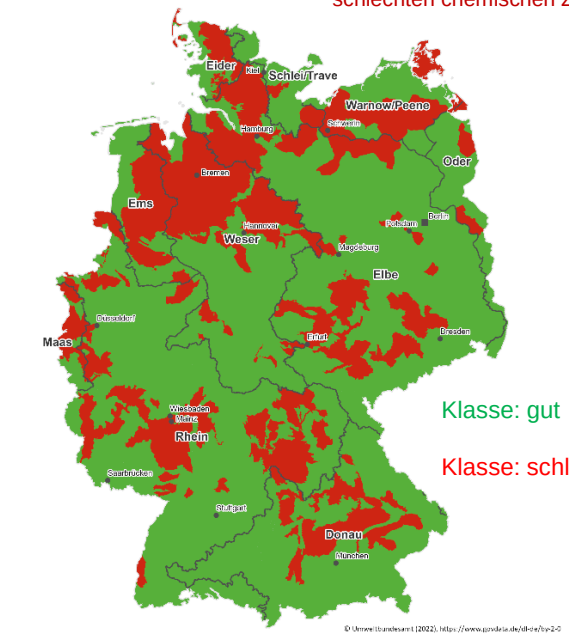
N-Überschuss im Boden im Jahr 2000



Batool et al., 2022, Nature Scientific Data

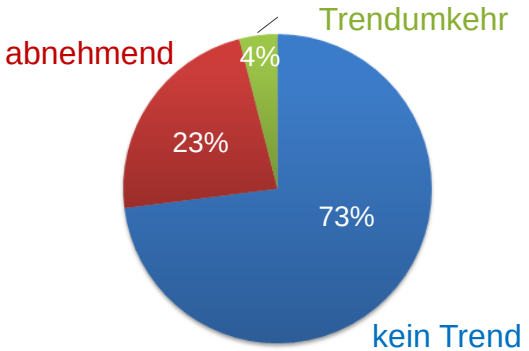
Chemischer Zustand für Nitrat

≈ 35 % der Grundwasserkörper in einem schlechten chemischen Zustand



Umweltbundesamt (UBA), 2022

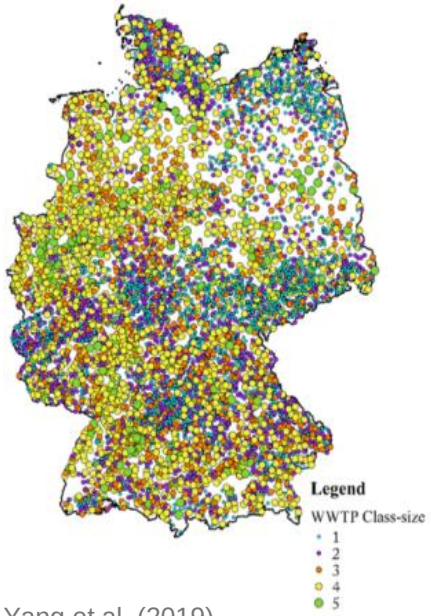
Grundwasserqualität



Umweltbundesamt (UBA), 2022

Qualitativer Landschaftswasserhaushalt
Abwasserreinigung in Deutschland

Verteilung der Kläranlagen in D nach Größenklassen



Yang et al. (2019)

Anschlussgrad an Kläranlagen **97 %**	Anschlussgrad an Kanalnetz **96 %**
Zahl der Kläranlagen **8.900**	Länge des Kanalnetzes rd. **594.000 km**

Gesamtlänge ≈ 14-faches des Erdumfangs

Schmutzwasser	**5.2 Mrd. m³**
Fremdwasser	**2.1 Mrd. m³**
Regenwasser	**2.8 Mrd. m³**
Gesamt	**10.1 Mrd m³**

Quelle: Statistisches Bundesamt 2019

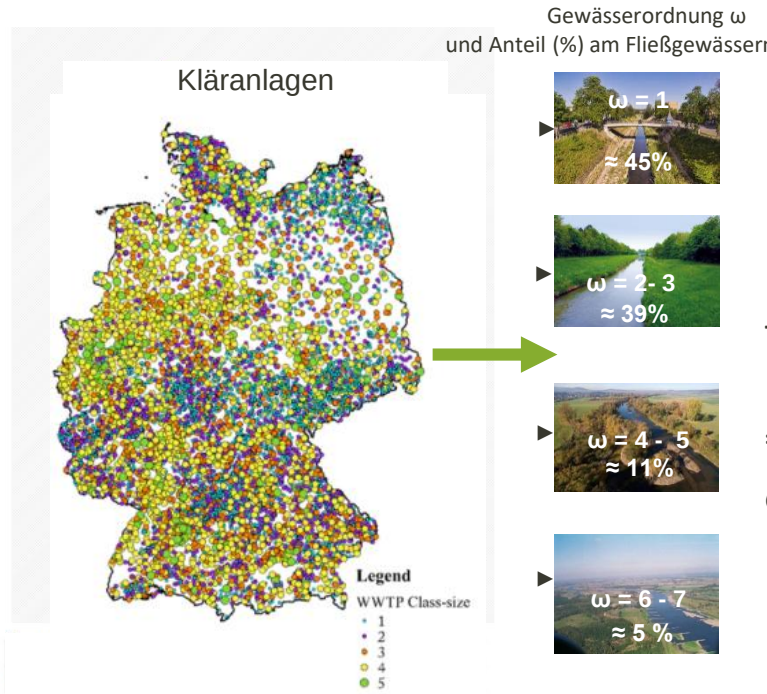
≈ 5 x $V_{Chiemsee}$ pro Jahr

Reinigungsgrade: Phosphor ≈ 90 %, Stickstoff ≈ 80%

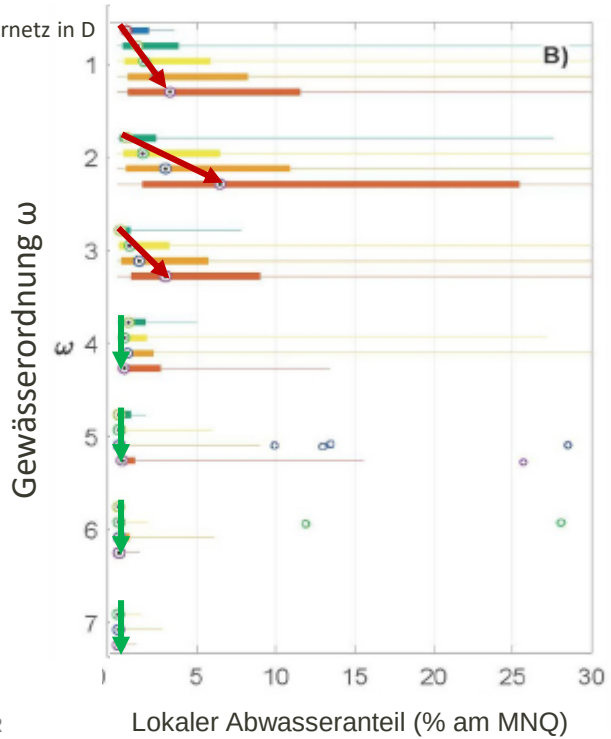


Qualitativer Landschaftswasserhaushalt

Gewässerordnung, Abwasseranteile und ökologischer Zustand der Fließgewässer



Yang, S., Büttner, O., Jawitz, J., Kumar, R., Rao, S., Borchardt, D. (2019), WRR



Büttner, O., Jawitz, J., Borchardt, D. (2020). Ecol. Res. Lett.

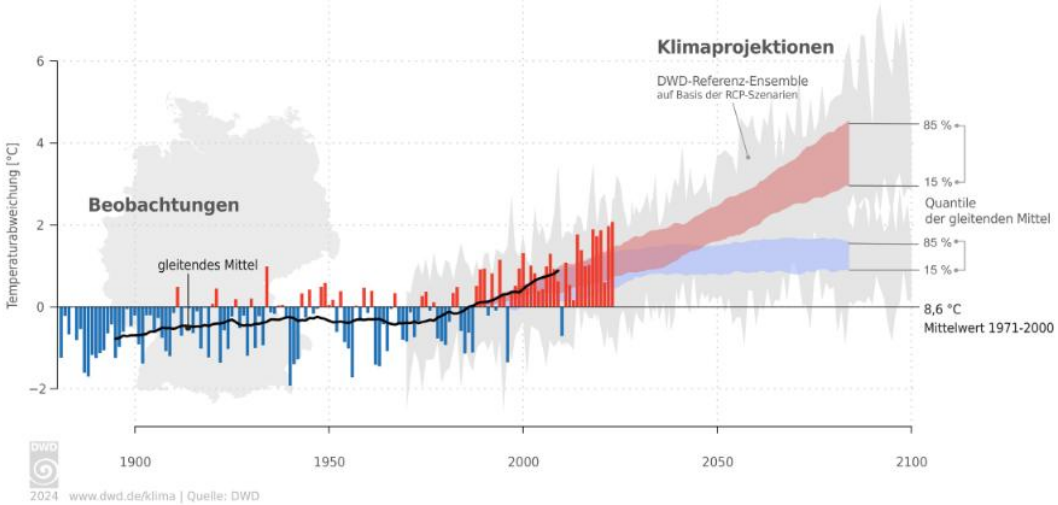
Signifikante Verschlechterung des ökologischen Zustands mit zunehmenden städtischen Abflussanteilen in Oberläufen, kleinen und mittleren Bächen ($1 < \omega < 3$)

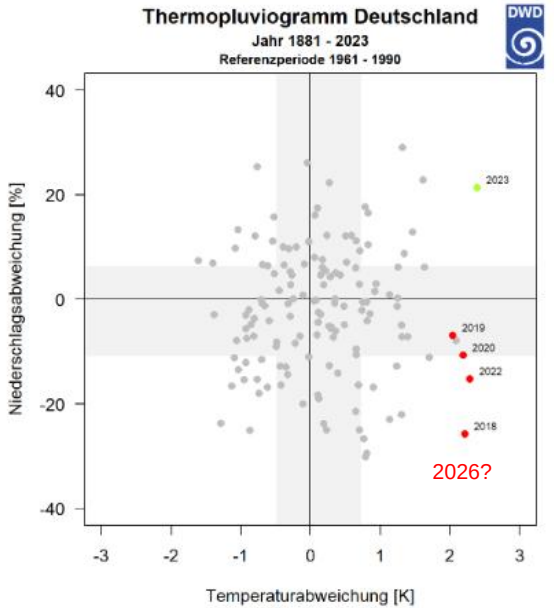
Kein Einfluss des städtischen Abflussanteils auf den ökologischen Zustand in kleinen, mittleren und großen Flüssen ($4 < \omega < 7$)

Klimawandel und Wasserkreislauf

Welche Entwicklungen haben wir zu erwarten ?

Die globale Klimaerwärmung soll auf < 2 °C begrenzt werden, am besten auf 1,5 °C **(Mitigation)**; aber auch dann werden wir uns häufiger auf Bedingungen wie 2003/2018/2019/2020/2022/2026 einstellen müssen **(Adaptation)**





Verschiebungen im Wasserhaushalt

Änderung von Mittelwerten, Verteilungen, Auftrittswahrscheinlichkeiten, räumlichen Mustern

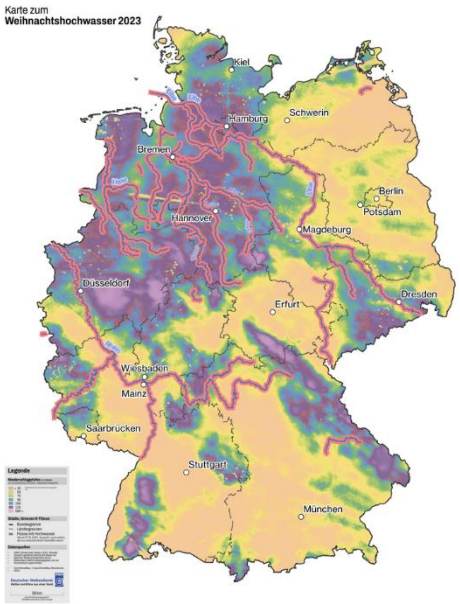
Mit OpenAI generierter Cartoon (2026)





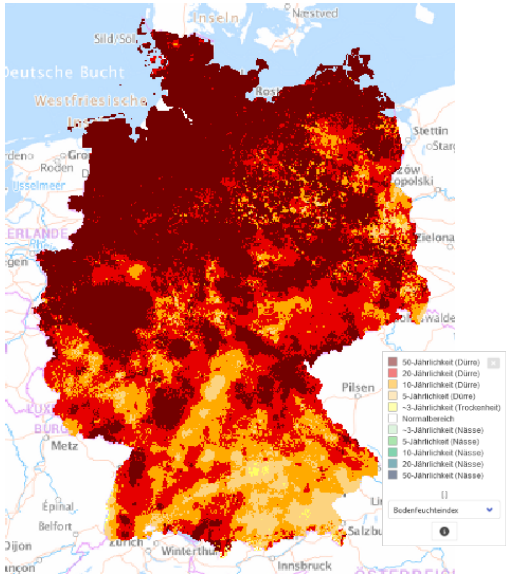
ZDF 2022

Winterhochwasser 2023/2024



DWD 2024

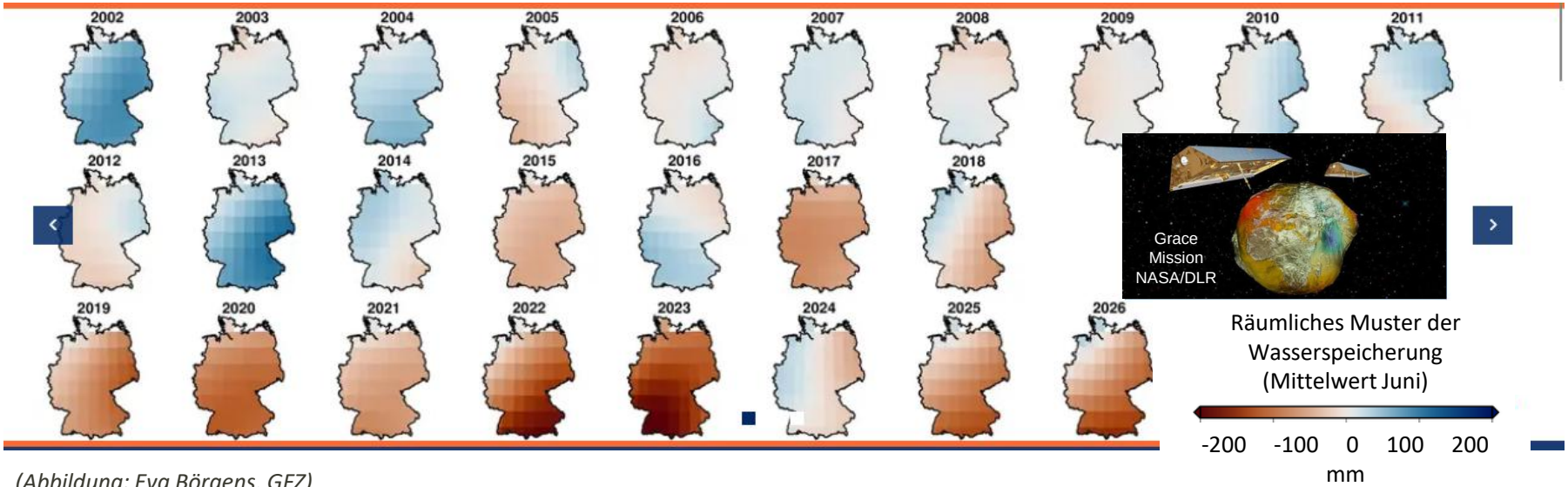
Dürrestärke im Oberboden April 2025



WIS-D
https://web.app.ufz.de/wis-d/?area=3&layer=118

Klimawandel und Wasserkreislauf

Welche langfristigen Trends sind im Boden- und Grundwasserspeicher zu beobachten ?



(Abbildung: Eva Börgens, GFZ)

- Seit 2015 häufen sich die Juni-Monate mit geringerer Wasserspeicherung im Vergleich zu den Jahren davor deutlich.
- Insgesamt sind die Defizite im Süden und Osten stärker

GFZ Helmholtz-Zentrum für Geoforschung
UFZ HELMHOLTZ Zentrum für Umweltforschung
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

HELMHOLTZ

Klimawandel und Wasserkreislauf

Bewertung ökologischer Niedrigwasserrisiken und vulnerable Fließgewässerabschnitte

Oberirdische Gewässer und Küstengewässer

Entwicklung von Schwellenwerten und Methoden zur Niedrigwasserbewertung in Fließgewässern und zur Identifizierung von vulnerablen Fließgewässerabschnitten

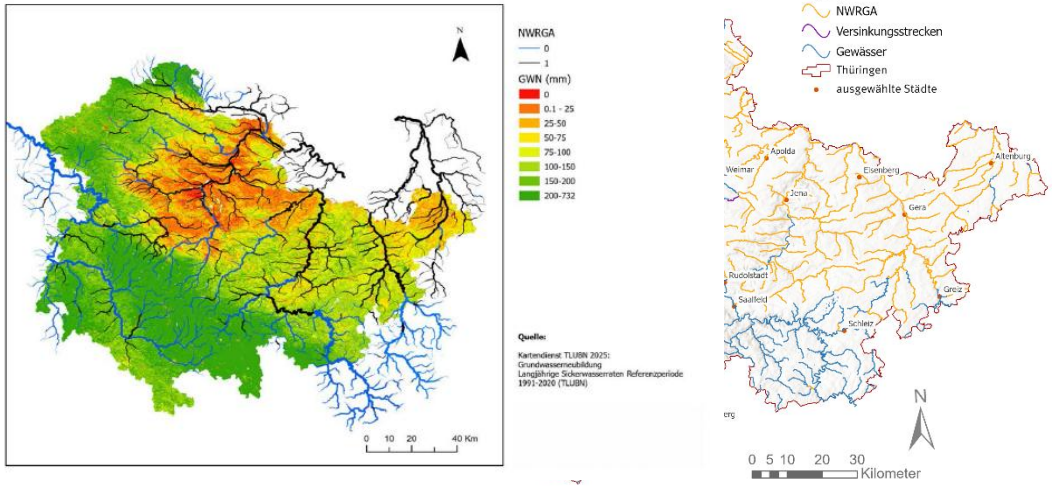
LAWA LFP O2.24

2026



Ökologisch vulnerable Fließgewässerabschnitte (orange) (Bsp. Thüringen)

Grundwasserneubildung und ökologisch vulnerable Fließgewässerabschnitte (schwarz) (Bsp. Thüringen)

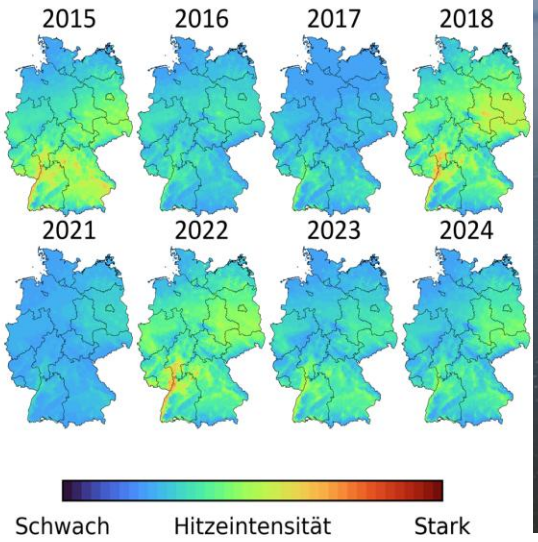


ThLG und TMUENF (2026)

Klimawandel und Wasserkreislauf

Langfristige Trends der Hitze- und Dürreintensitäten im meteorologischen Sommer (Juni-August)

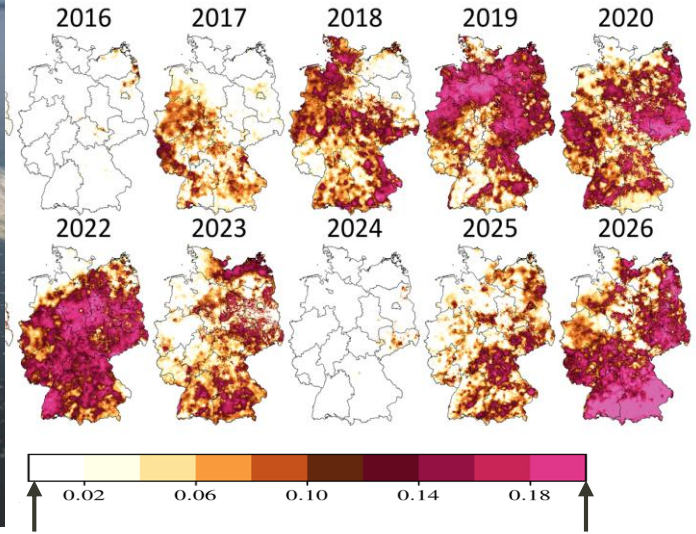
Hitzeintensitäten



nur Tage mit Maximaltemperaturen über 28°C



Dürreintensitäten im Oberboden (25 cm)



an keinem Tag herrschte Dürre

alle Tage an einem Ort waren trockener als im Vergleichszeitraum 1974 - 2023

https://www.ufz.de/index.php?de=52929

Schlüsselressource Wasser

Naturnaher Landschaftswasserhaushalt im Klimawandel



Wasser-gebrauch | Wasser-qualität | Eingriffe in Ökosysteme | Folgen der Klimakrise

https://riff.media/images/der-neue-wasserkreislauf-anthropozaen.jpg, verändert

Versuch einer Definition:

- Der regionale Wasserhaushalt in genutzten Landschaften entspricht „vollständig oder nahezu vollständig[1)]“ dem Wasserhaushalt zugehöriger natürlicher Referenzgebiete mit seinen charakteristischen Wasserbilanzgrößen
- Die Werte für Schlüsselkomponenten der Wasserqualität gehen nicht über Bereiche hinaus, innerhalb derer die Integrität und Funktionsfähigkeit der aquatischen Ökosysteme gewährleistet sind
- Die Auswirkungen klimabedingter hydrologischer Extreme (Hochwasser, Dürren, kombinierte Ereignisse) können ohne nachhaltig schädigende Folgen beherrscht werden









[1)] Im Sinne der OGewV (2016)

UFZ HELMHOLTZ Zentrum für Umweltforschung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Weitere Fragen:

dietrich.borchardt@ufz.de