

Zwischen Dürren und Starkregen – Wasserwirtschaft im Klimawandel

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

Wasserwirtschaft im Klimawandel

„Wassersicherheit“ in komplexen multi-funktionalen Landschaften



- **Wasser in ausreichender Menge und Qualität**
- **Gesunde aquatische Ökosysteme**
- **Resilienz gegenüber Überflutungen und Trockenheit**

Wasserwirtschaft im Klimawandel als systemische Herausforderung

Der Wasserhaushalt und die Einwirkungen menschlicher Nutzungen



Wasser-
gebrauch



Wasser-
qualität



Eingriffe in
Ökosysteme



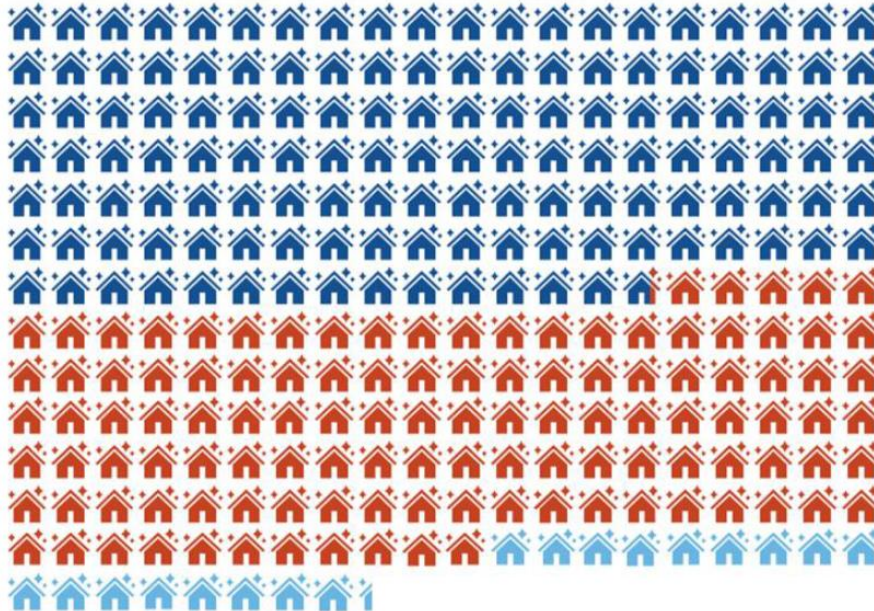
Folgen der
Klimakrise



Ökonomische Dimension der Auswirkungen hydrologischer Extreme

Schadsummen in Deutschland in den Jahren 2018 bis 2021

Die Summe der extremwetterbezogenen Schäden in den Jahren 2018 – 2021 beträgt über 80 Mrd. € (20 Mrd. €/Jahr), was in etwa dem Neupreis von über 266.000 Einfamilienhäusern entspricht



1 🏠 entspricht dem Neubaupreis von **1000** durchschnittlichen Einfamilienhäusern zu je **300.000 €**

🏠 Schäden der Sturzflut und Überflutungen im Juli 2021

🏠 Schäden der Hitze- und Dürresommer

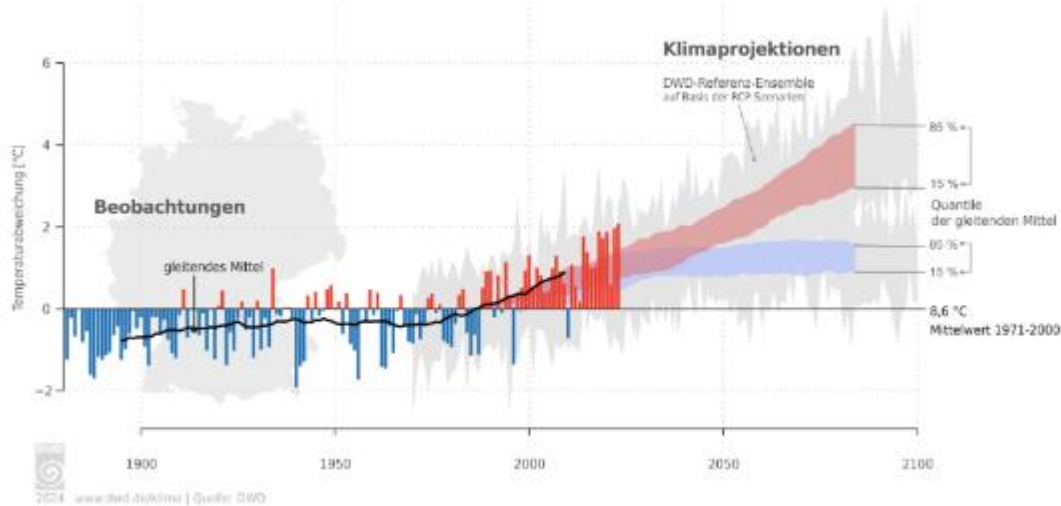
🏠 Weitere Extremwetter-schäden

Prognos 2023

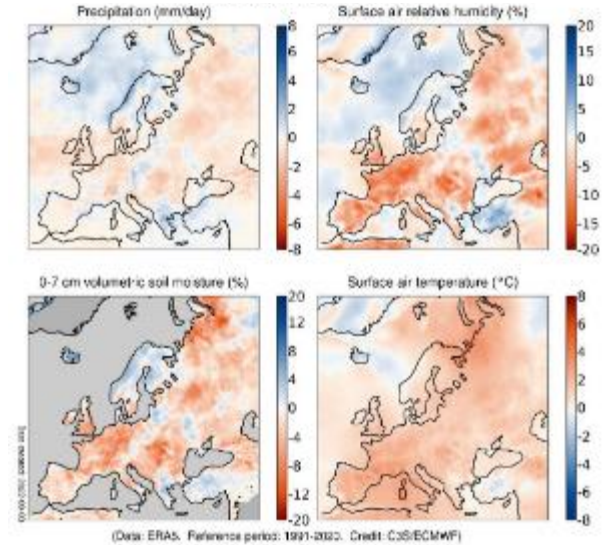
Klimawandel und Wasserkreislauf

Welche Entwicklungen haben wir zu erwarten ?

Die globale Klimaerwärmung soll auf $< 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ begrenzt werden, am besten auf $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (**Mitigation**); aber auch dann werden wir uns hier häufiger auf Bedingungen wie 2003/2018/2019/2020/2022 einstellen müssen (**Adaptation**)



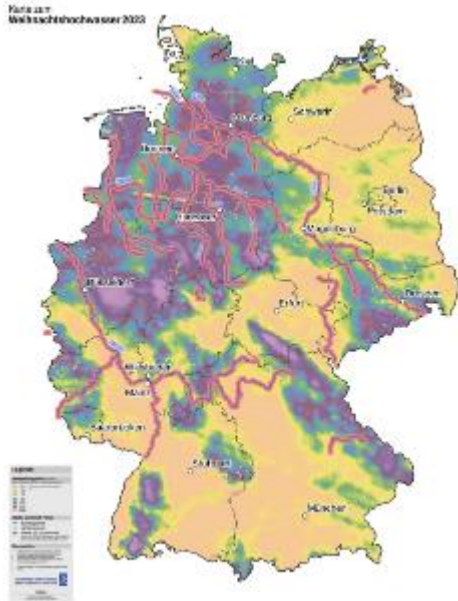
Extreme im Wasserhaushalt Sommer 2022



Welche Entwicklungen haben wir bei den Extremen zu erwarten ?

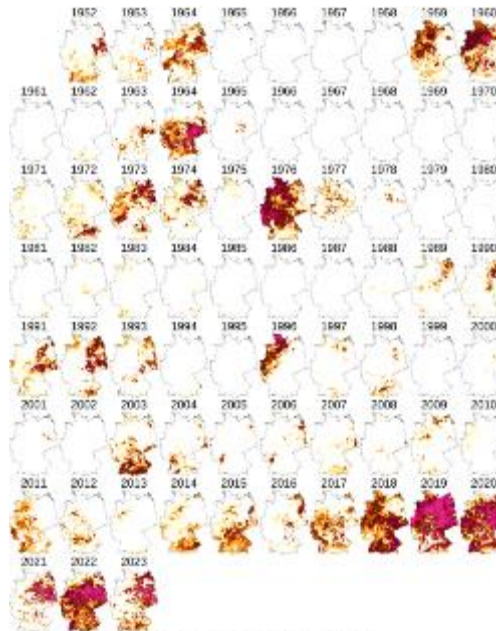
Verschiebungen von Verteilungen, Auftrittswahrscheinlichkeiten und räumlichen Mustern

Winterhochwasser 2023



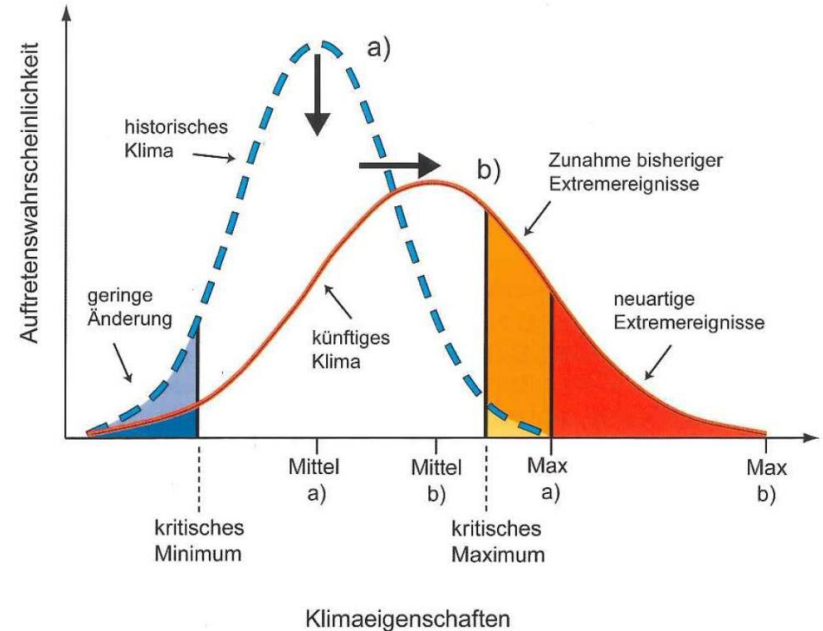
DWD 2024

Jährliche Dürrestärke im Gesamtboden in Deutschland 1952-2023



UFZ-Dürremonitor Deutschland

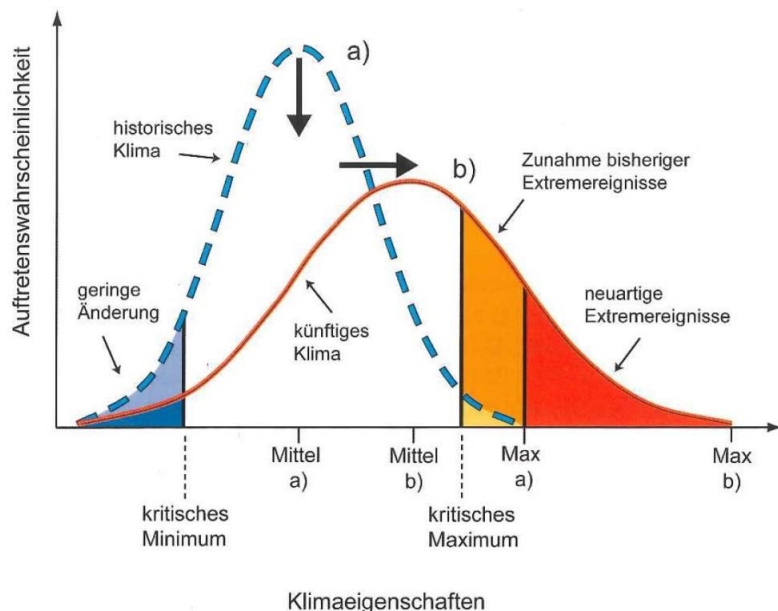
<https://www.ufz.de/index.php?de=37937>



UBA 2018

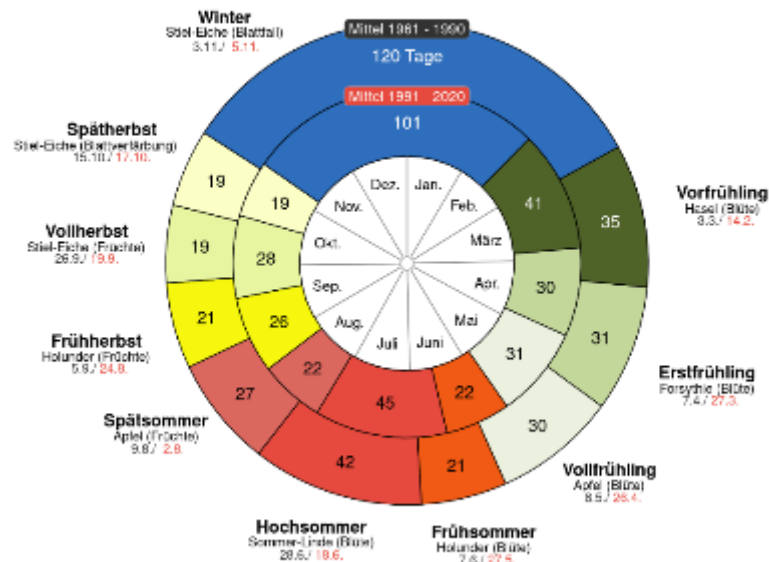
Klimawandel und Naturhaushalt

Langfristige Änderungen in Vegetationszeiten und Ökosystemen



UBA 2018

Phänologische Jahreszeiten Deutschland



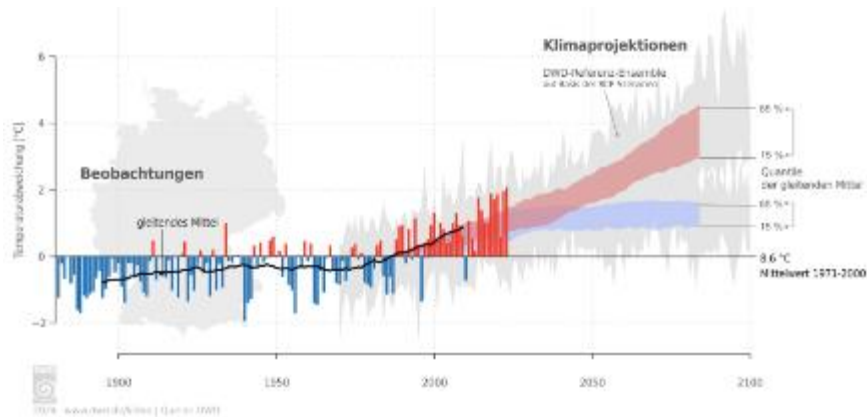
Stand: Jahresmitte: 24.02.2023 11:31
Nummel: Landesfachrichtwtd.de

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

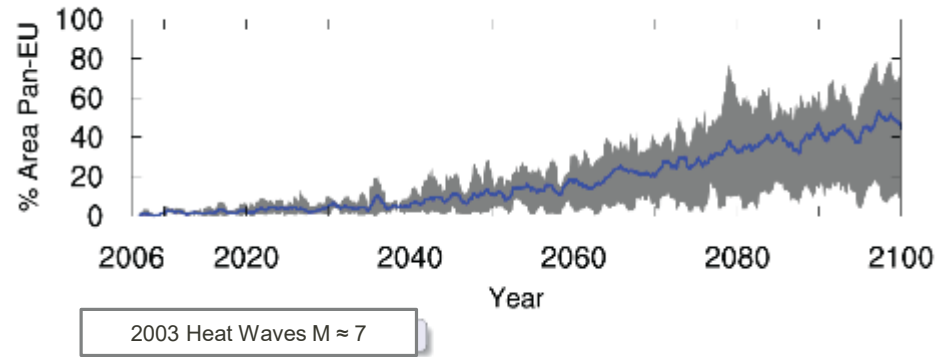


Klimawandel und räumliche Ausdehnung von Extremereignissen (Hitzewellen)

Welche Entwicklungen haben wir zu erwarten ?



Projizierte schwere Hitzewellen in Europa (M > 11; RCP 8.5)

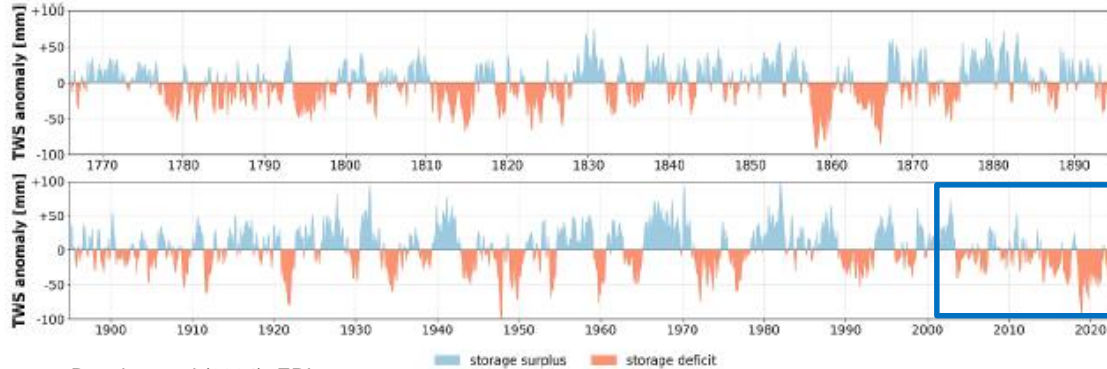
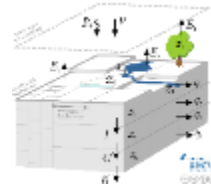


Samaniego et al. 2018

Klimawandel und zeitliche Entwicklung des terrestrischen Wasserspeichers

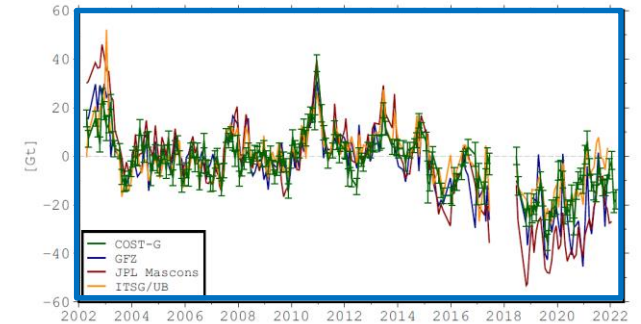
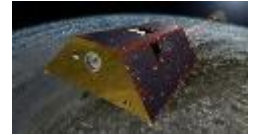
Anomalien in der „Terrestrial Water Storage (TWS)“ von 1770 bis 2023

Simulationen mit dem mesoskaligen hydrologischen Modell mHM (Jahre 1766 – 2022)



Boening et al (2024), ERL

Beobachtungen mit der Satellitengravimetrie (Jahre 2002 – 2022)



Güntner et al (2023), HyWa

„Verlust“ des insgesamt in Deutschland gespeicherten Wassers über die letzten 20 hydrologischen Jahre (2002 – 2022) ca. 15 km³

Zum Vergleich:

- mittleres Wasserdargebot in Deutschland 176 km³/Jahr (Bezugsperiode 1991 bis 2020)
- die in Deutschland alle Sektoren umfassende Wassergewinnung beträgt insgesamt 20 km³ pro Jahr (Bezugsjahr 2019)

Wieviel Wasser mengenmäßig mit welcher Variabilität zur Verfügung ?

Jährliche Wasserhaushaltsgrößen in Deutschland

Wasserdargebot: Größe des regionalen Wasserkreislaufs, das die Menge an Grund- und Oberflächenwasser umfasst, die theoretisch genutzt werden kann

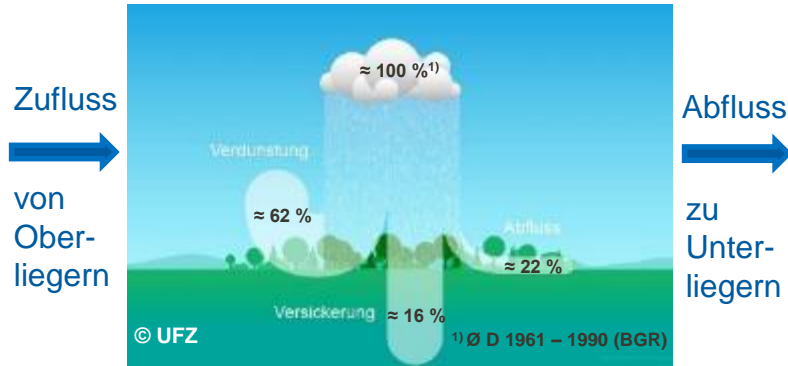
Wasserhaushaltsgrößen (Mrd. m ³)	Mittel (1961 - 2020)	Jahr 2002	Jahr 2018
Niederschlag	282	364	210
Zufluss von Oberliegern	71	87	59
Gebietsbürtiger Abfluss aus dem Bundesgebiet	97	148	81
Evapotranspiration	165	168	158
Wasserdargebot	188	269	116

= 1,00

x 1,43

x 0,62

Langjährige Mittelwerte für D



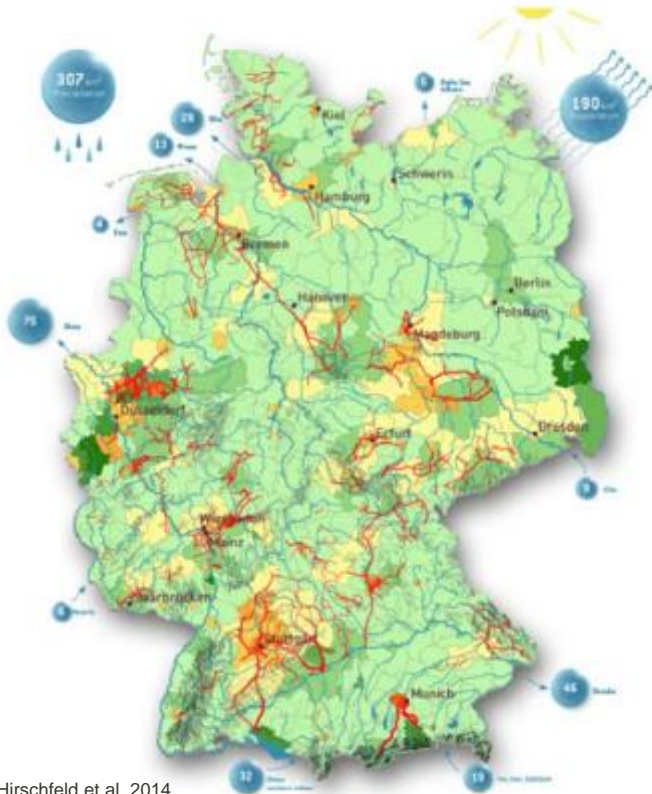
Zum Vergleich
Volumen
Bodensee:

≈ 50 Mrd. m³



Woher kommt das Wasser, das wir in D regional nutzen und wo geht es hin?

Mittlere Wasserdargebots- und -nutzungsbilanzen

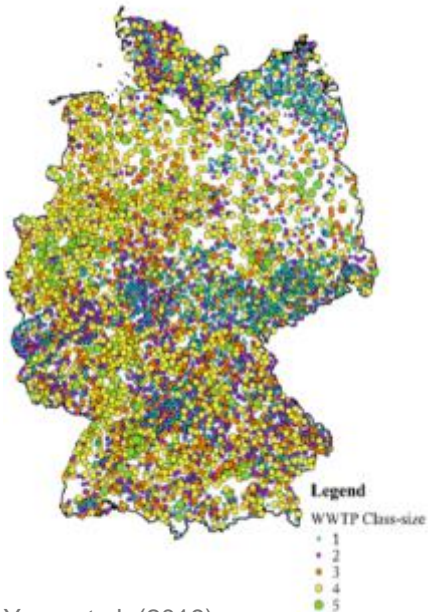


- 99 Prozent der Bevölkerung Deutschlands wird durch die öffentliche Wasserversorgung mit Trinkwasser versorgt (rd. 5850 Wasserversorgungsunternehmen, Länge der Trinkwasserleitungen etwa 500.000 km (≈ 13 x Erdumfang))
- Viele Regionen in Deutschland nutzen dabei mehr Wasser, als sie auf ihrem eigenen Gebiet generieren können (gelbe bis orange Gebiete auf der Karte)
- Folglich hängen sie von Fernwasserinfrastrukturen und Wasser aus wenig bis gering belasteten Gebieten ab (dunkel- und hellgrüne Gebiete auf der Karte; Fernwasserinfrastrukturen in rot)
- Der Landschaftswasserhaushalt ist in D durch überregionale Nutzungen demnach in komplexer Weise überformt

Welchen Weg nimmt das durch Gebrauch genutzte Wasser ?

Abwasserreinigung in Deutschland

Verteilung der Kläranlagen in D nach Größenklassen



Anschlussgrad
an Kläranlagen
97 %

Zahl der
Kläranlagen
8.900

Anschlussgrad
an Kanalnetz
96 %

Länge des
Kanalnetzes rd.
594.000 km

Gesamtlänge \approx 14-faches des Erdumfangs

$\approx 5 \times V_{\text{Chiemsee}}$ pro Jahr
Reinigungsgrade: Phosphor $\approx 90\%$, Stickstoff $\approx 80\%$

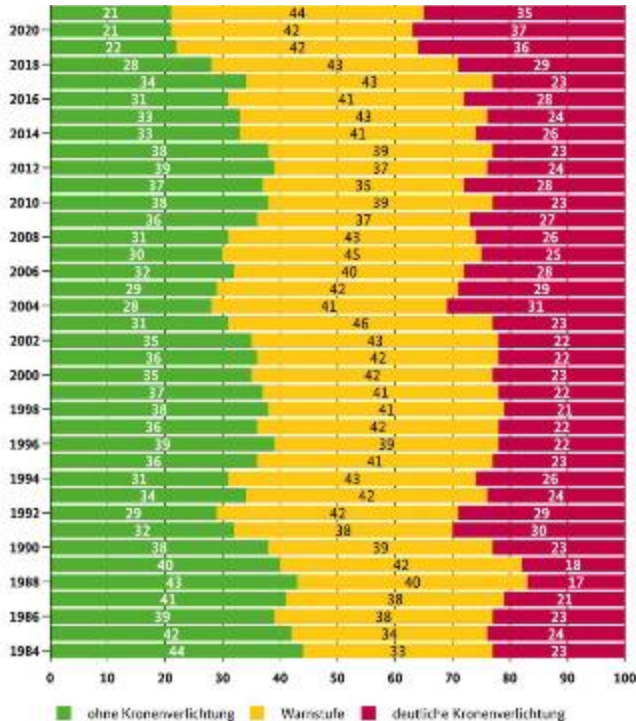
Schmutzwasser	5.2 Mrd. m ³
Fremdwasser	2.1 Mrd. m ³
Regenwasser	2.8 Mrd. m ³
Gesamt	10.1 Mrd m³



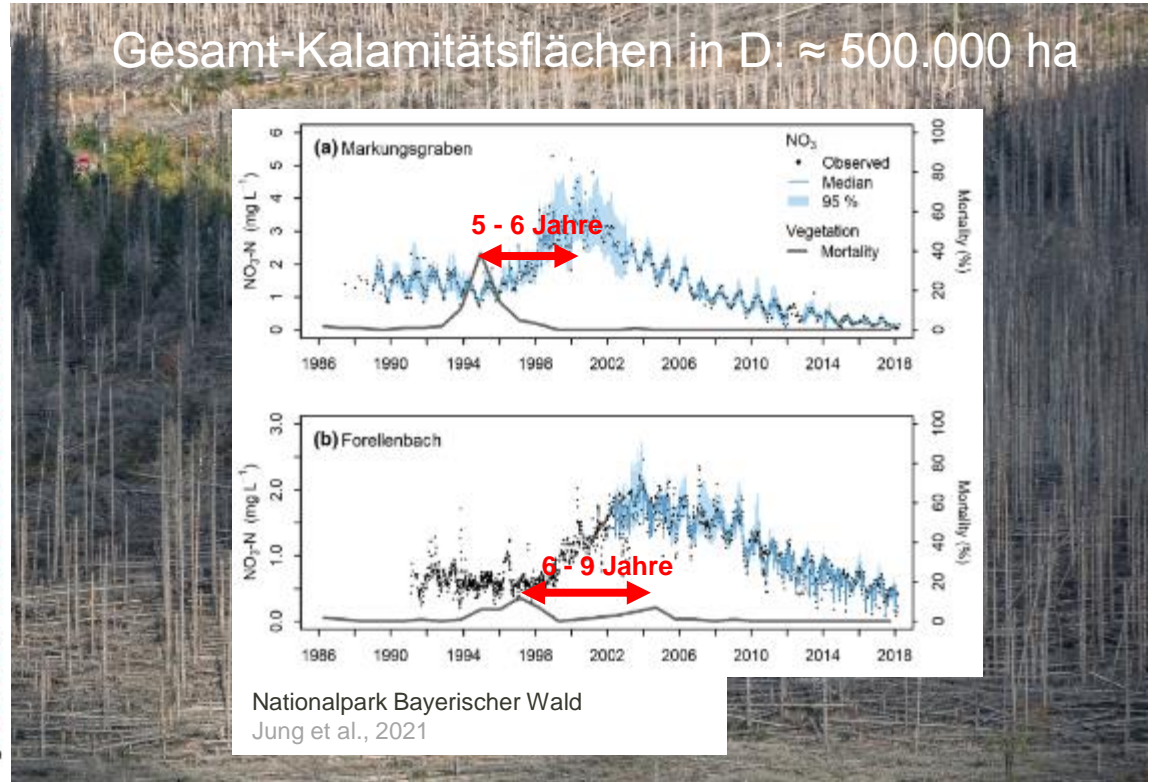
Landschaftswasserhaushalt./Forstwirtschaft

Waldverluste infolge Wirkungskaskade Wärme ► Trockenheit ► Borkenkäfer/Pilze...

Kronenverlichtung aller Baumarten in D
Jahre 1984 – 2020 (Waldschadenbericht 2023)



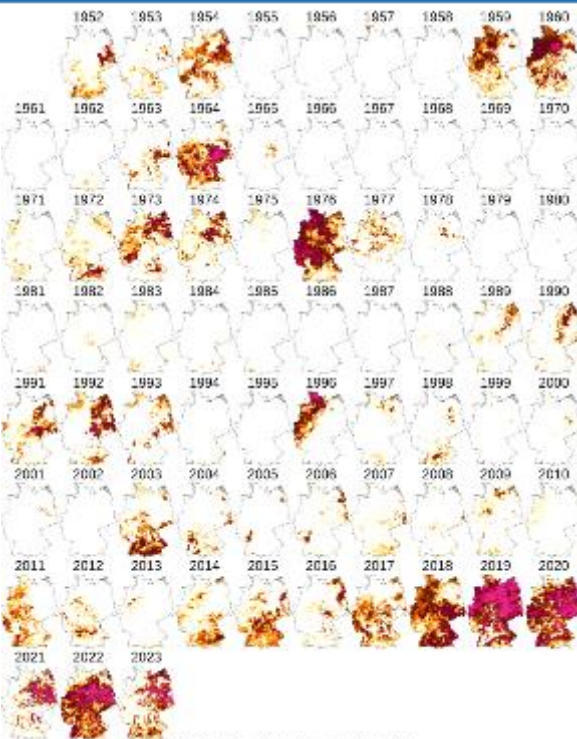
Gesamt-Kalamitätsflächen in D: ≈ 500.000 ha



Landschaftswasserhaushalt ./ Landwirtschaft

Bodenfeuchte, landwirtschaftliche Dürren und Erträge

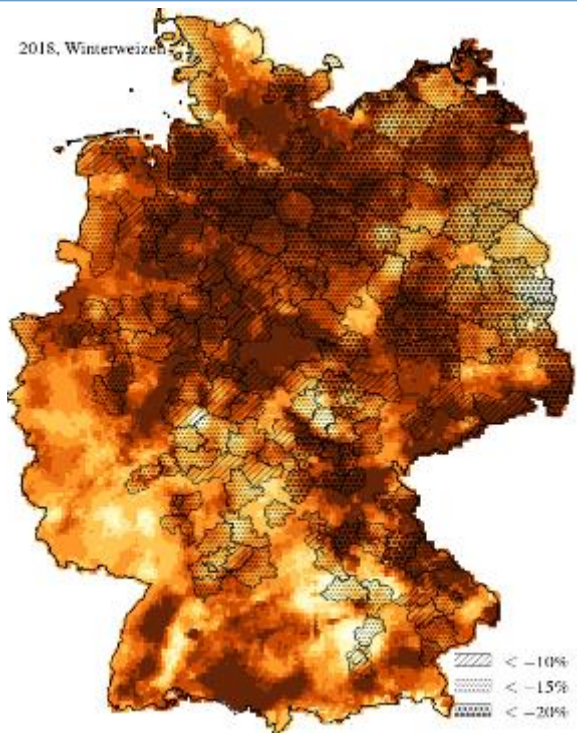
Jährliche Dürrestärke im Gesamtboden



© 2023 UFZ - Leibniz Universität Halle, Dürremonitor



Ertragsrückgang Winterweizen im Jahr 2018



UFZ-Dürremonitor Deutschland

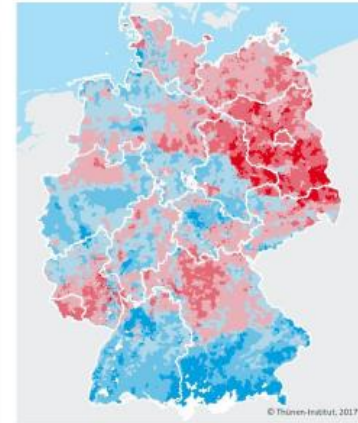
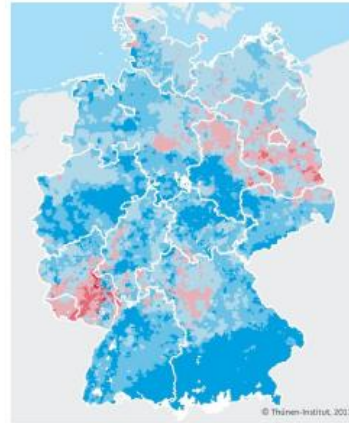
<https://www.ufz.de/index.php?de=37937>

Landschaftswasserhaushalt ./. Landwirtschaft

Landwirtschaft und Beregnungsbedürftigkeit



Beregnungsbedürftigkeit Winterweizen in D
1990 – 2006 (links) und 2021 – 2040 (rechts)



Bewässerungsbedürftigkeit in mm

- ≤ 25
- > 25 bis 50
- > 50 bis 75
- > 75 bis 100
- > 100 bis 125
- > 125
- no data

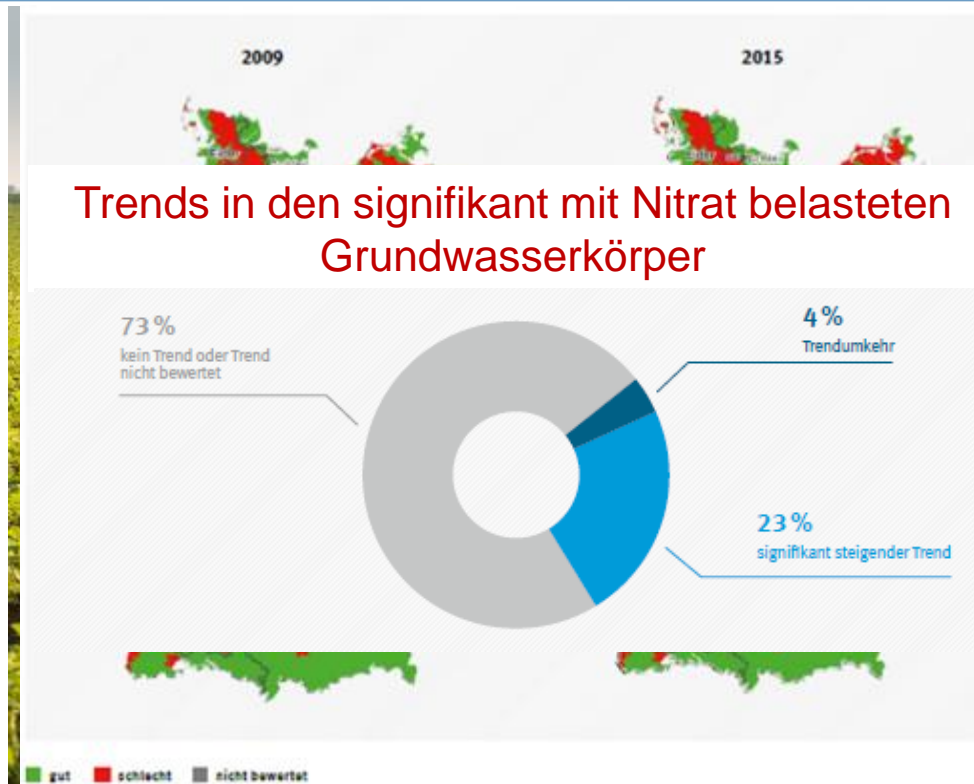
Bewässerungsbedürftigkeit in mm

- ≤ 25
- > 25 bis 50
- > 50 bis 75
- > 75 bis 100
- > 100 bis 125
- > 125
- no data

Quelle: Gömann et al. (2009); LandCare Endbericht.

Qualitativer Landschaftswasserhaushalt

Landwirtschaft und Grundwasserqualität



≈ 35 % der Grundwasserkörper in einem schlechten chemischen Zustand

Nitrat
Pestizide

...

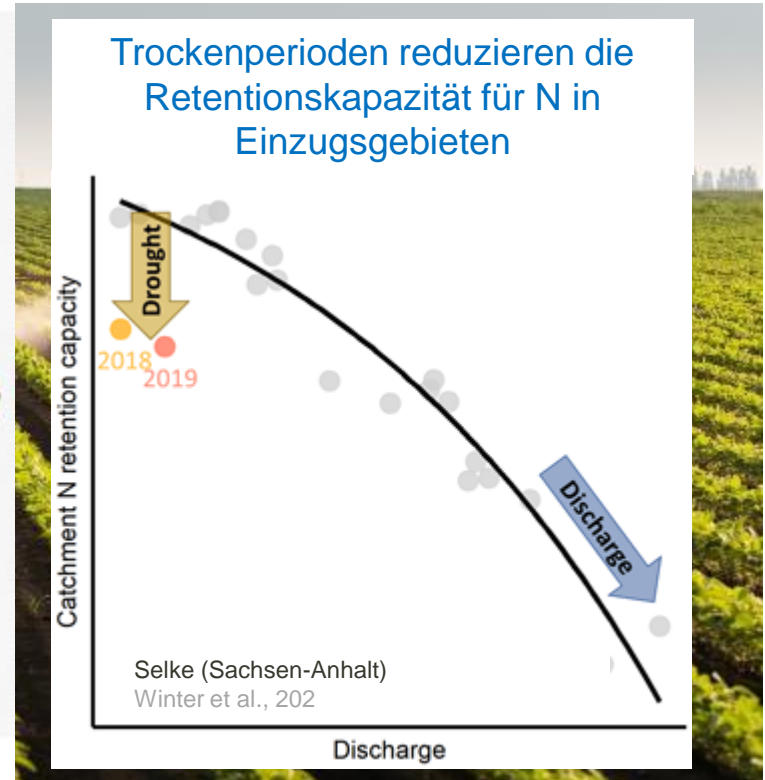
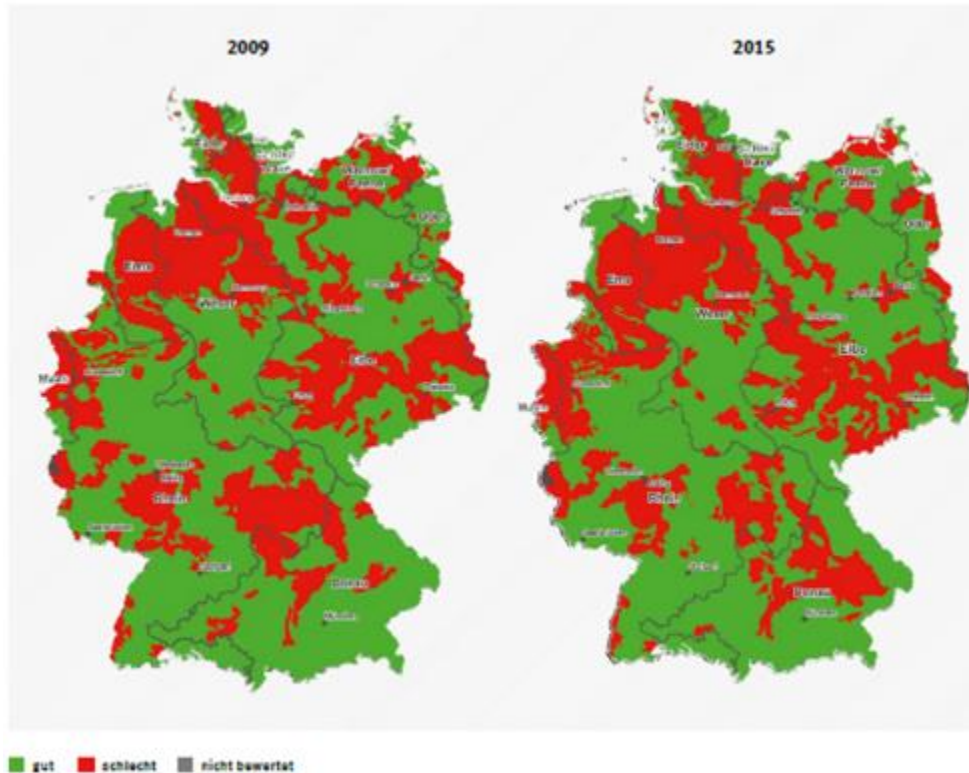
Klasse: gut

Klasse: schlecht

(Quelle: UBA 2017)

Qualitativer Landschaftswasserhaushalt

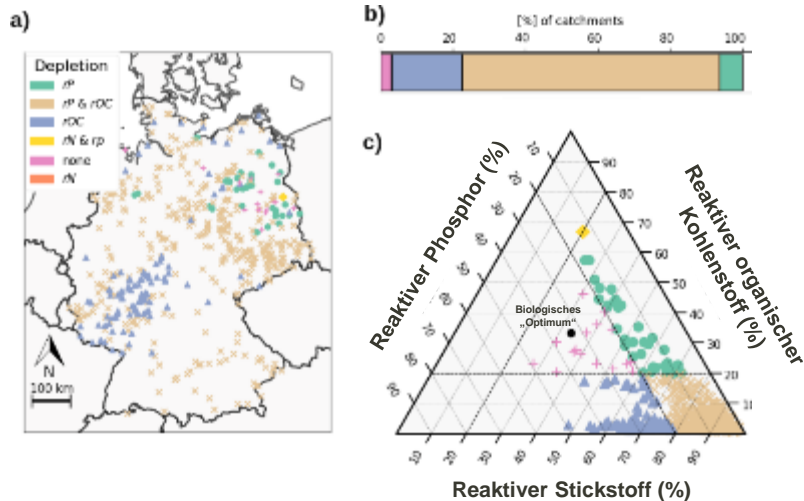
Landwirtschaft, Grundwasserqualität und Trockenheit



Landschaftswasserhaushalt ./ Wasserqualität

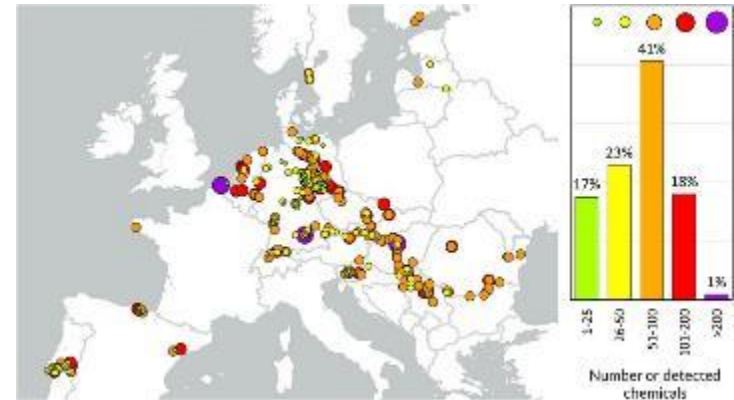
Nährstoffe und organische Mikroschadstoffe in Oberflächengewässern

Nährstoffstoichiometrie C:N:P



94% der Einzugsgebiete in D (N = 574) sind arm an Kohlenstoff und Phosphor in Relation zum Stickstoff und zum biologischen „Optimum“ für effiziente biochemische Umsetzungsprozesse; entsprechend gestört ist der Stoffhaushalt vieler Gewässer; Wachholz et al. (2023) Environ. Res. Lett. 18 (4)

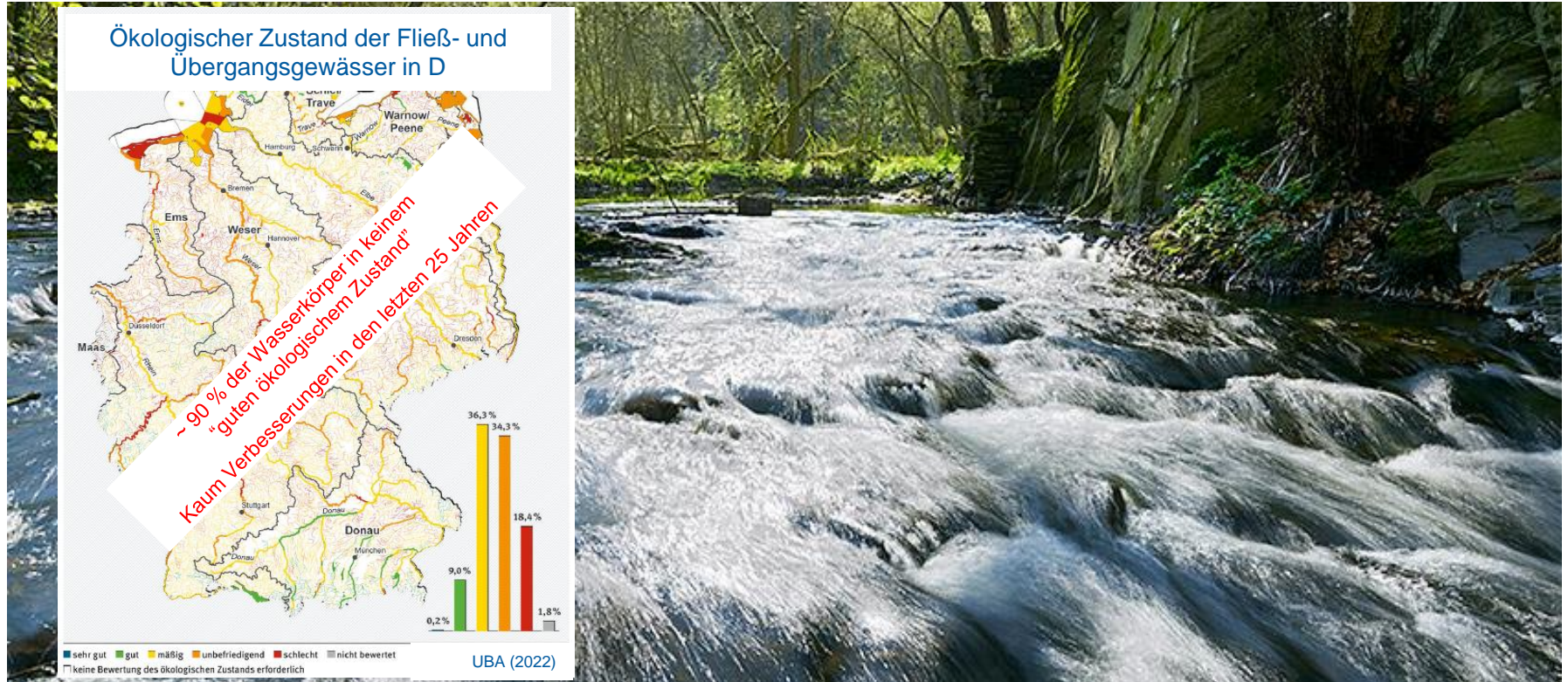
Chemischer Fußabdruck



Die meisten der nachgewiesenen organischen Mikroschadstoffe sind Pestizide und Biozide (229), gefolgt von verschiedenen Arzneimitteln (175) und anderen Chemikalien (100). Drei Viertel der untersuchten Standorte überschreiten Schwellenwerte für toxische Risiken, so dass akute oder chronische Auswirkungen auf aquatische Organismen zu erwarten sind; Finckh et al. (2024) Env. Int. 183 (1)

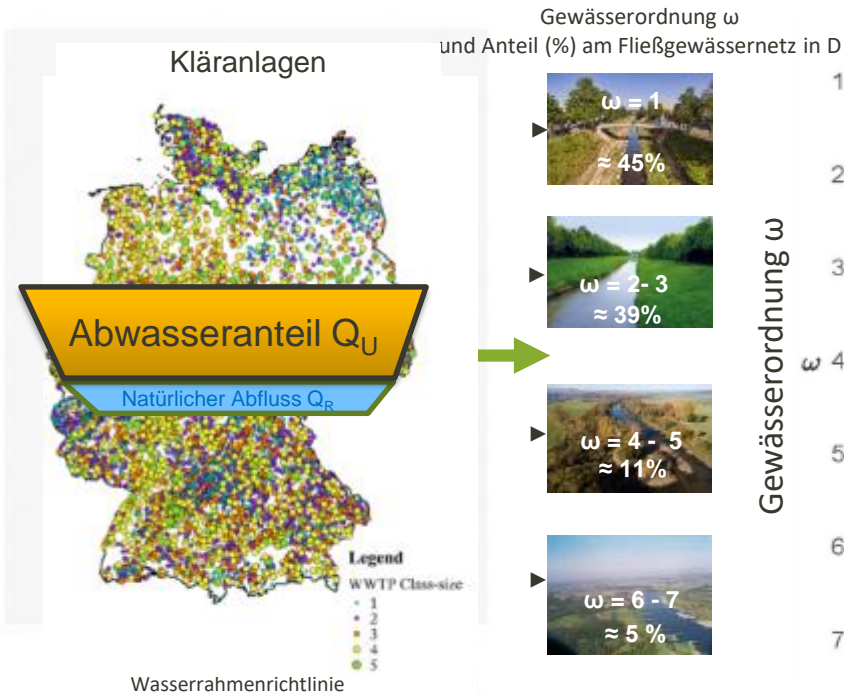
Landschaftswasserhaushalt ./ Gewässerökologie

Gewässerökosysteme und Biodiversität

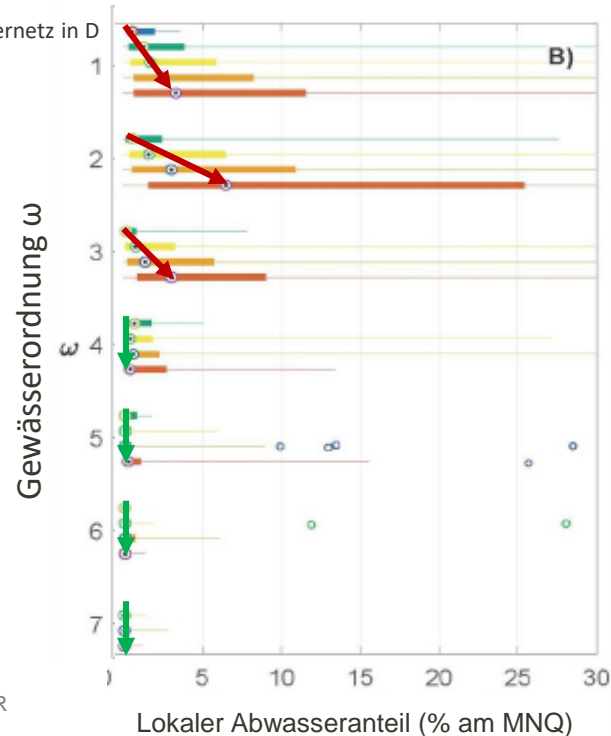


Schlüsselrolle Landschaftswasserhaushalt

Gewässerordnung, Abwasseranteile und ökologischer Zustand der Fließgewässer



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



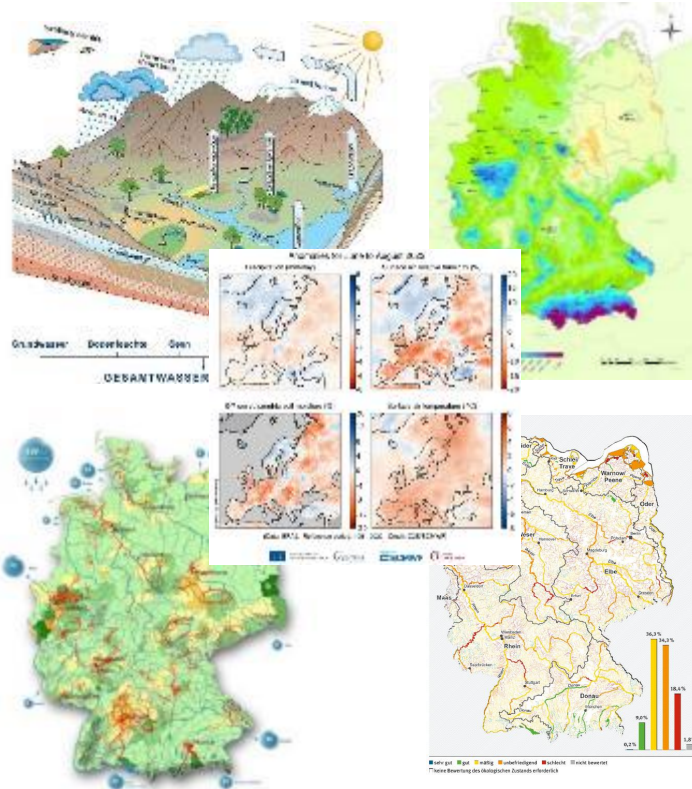
Signifikante Verschlechterung des ökologischen Zustands mit zunehmenden städtischen Abflussanteilen in Oberläufen, kleinen und mittleren Bächen ($1 < \omega < 3$)

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

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

Wasserwirtschaft – zielbewusste Ordnung menschlicher Eingriffe

„Naturnaher Landschaftswasserhaushalt“ als Paradigma



- Der regionale Wasserhaushalt in genutzten Landschaften entspricht „vollständig oder nahezu vollständig¹⁾“ 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 für Mensch und Natur** beherrscht werden

¹⁾ Im Sinne der OGewV (2016)

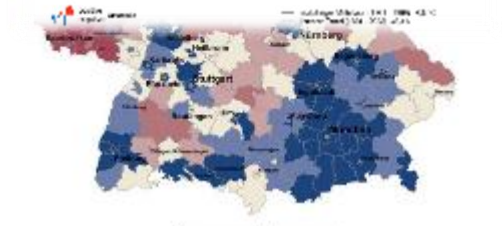
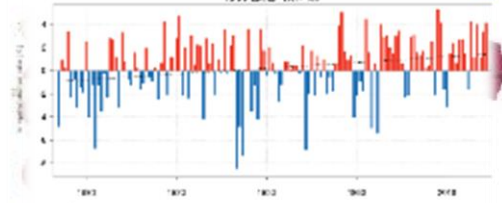
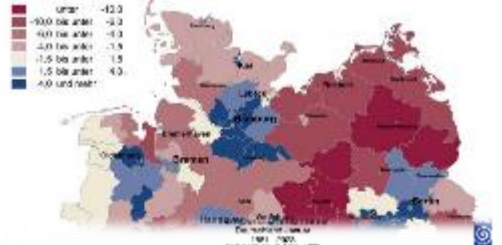
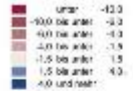


Wie können die Lösungen aussehen?

Transformationsprozesse strategisch nutzen

Bevölkerungsentwicklung 2012 - 2030 (%)

Krise- und krisenfreie Städte in Deutschland

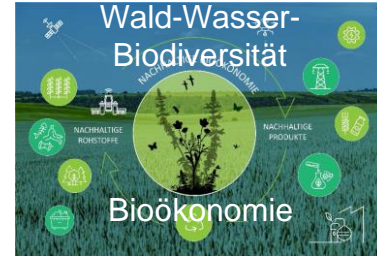


© www.wegwider-kommune.de

Heute



Zukunft

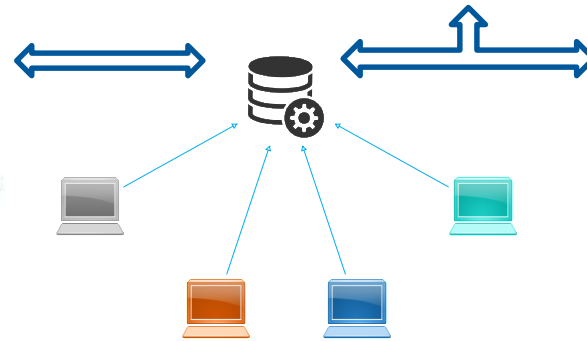
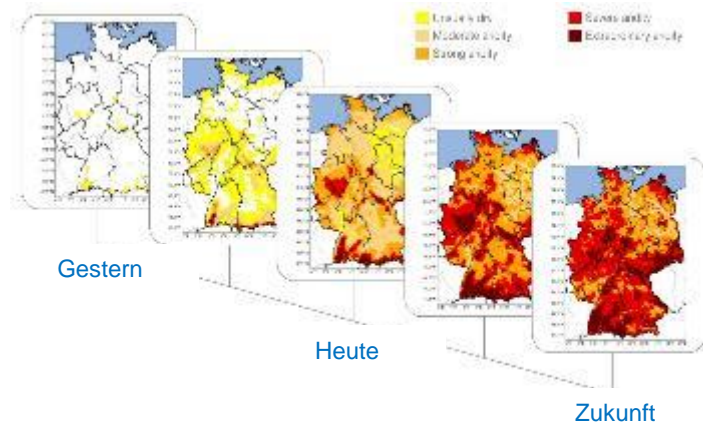


Forschung und Innovation

„Integrale Wasserinformationssysteme“ als Handlungsgrundlage

Innovationen in der Erdbeobachtung, Digitalisierung und Modellierung in Wert setzen

Heterogene und verteilte Datenquellen problem- und nutzerbezogen integrieren (EU, Bund, Länder, Wissenschaft etc.)



Zieldatenbank(en) mit ETL*-Schnittstellen zu den Quelldaten und Nutzern aufbauen und betreiben; „Open source“ Skripte entwickeln und bereitstellen etc.

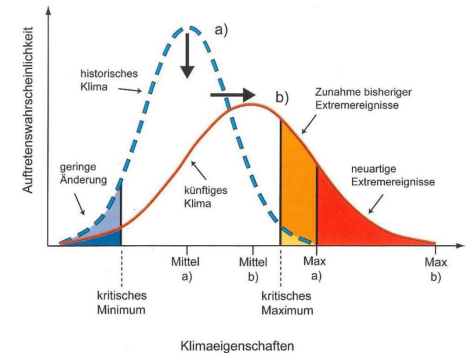


„Maßgeschneiderte“
Informationen für
zivilgesellschaftliche Prozesse

* Extract, Transform, Load (ETL) ist ein Prozess, bei dem Daten aus mehreren unterschiedlich strukturierten Datenquellen in einer Zieldatenbank vereinigt werden

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

- **Wasserwirtschaft im Klimawandel ist eine systemische Herausforderung**
 - Wassermenge, -qualität, Gewässerökologie, Extremereignisse integrativ bewirtschaften
 - Sichere „Korridore“ für Wasserdargebot, Nutzungen und ökologische Integrität im Hinblick auf das „zu viel“, „zu wenig“, „zur falschen Zeit“
- **„Wasserwissen“ nutzerbezogen weiter entwickeln und bereitstellen**
 - Operatives Monitoring des Zustands mit essentiellen „hydrologisch-ökologischen Indikatoren“, des Dargebotes und aller Nutzungen in Einzugsgebieten
 - Informationen in „quasi-Echtzeit“ und mit „Frühwarnsystemen“
 - ... als subsaisonale Vorhersagen von Ereignissen (Tage, Wochen)
 - ... als längerfristige Projektionen (Jahre, Dekaden)
 - ... für lokale, regionale bis nationale Skalen
- **In der Umsetzung Synergiepotentiale und gemeinsame Vorteile im Umgang mit dem Wasserhaushalt realisieren**
 - Klimaanpassung + Ressourcennutzungen + Gewässer- + Naturschutz + Regionalentwicklung... [1+1 >> 2]



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Weitere Fragen:

dietrich.borchardt@ufz.de