



Auswirkungen des Klimawandels auf das regionale Klima und den Wasserhaushalt

33. Internationaler Donaukongress am 07.12.2024

Holger Komischke
LfU / Klima-Zentrum

Das Klima-Zentrum am Landesamt für Umwelt

Informationen rund um diese Themen

**Klimawandel
verstehen**

**Klimafolgen
ermitteln**

**Klimaanpassung
umsetzen**

- Webseite des Klima-Zentrums
- Bayerisches Klimainformationssystem BayKIS
- Umweltinitiative Stadt.Klima.Natur / Blau-Grüne-Infrastruktur

Wir bieten:

- Regionale Klimadaten & Auswertungen / Kennwerte
- Auswirkungen des Klimawandels -> Abflüsse
- Publikationen / Arbeitshilfen / Faktenblätter
- Praxisbeispiele / Übersicht Förderprogramme



Klima-Zentrum

im Bayerischen Landesamt
für Umwelt



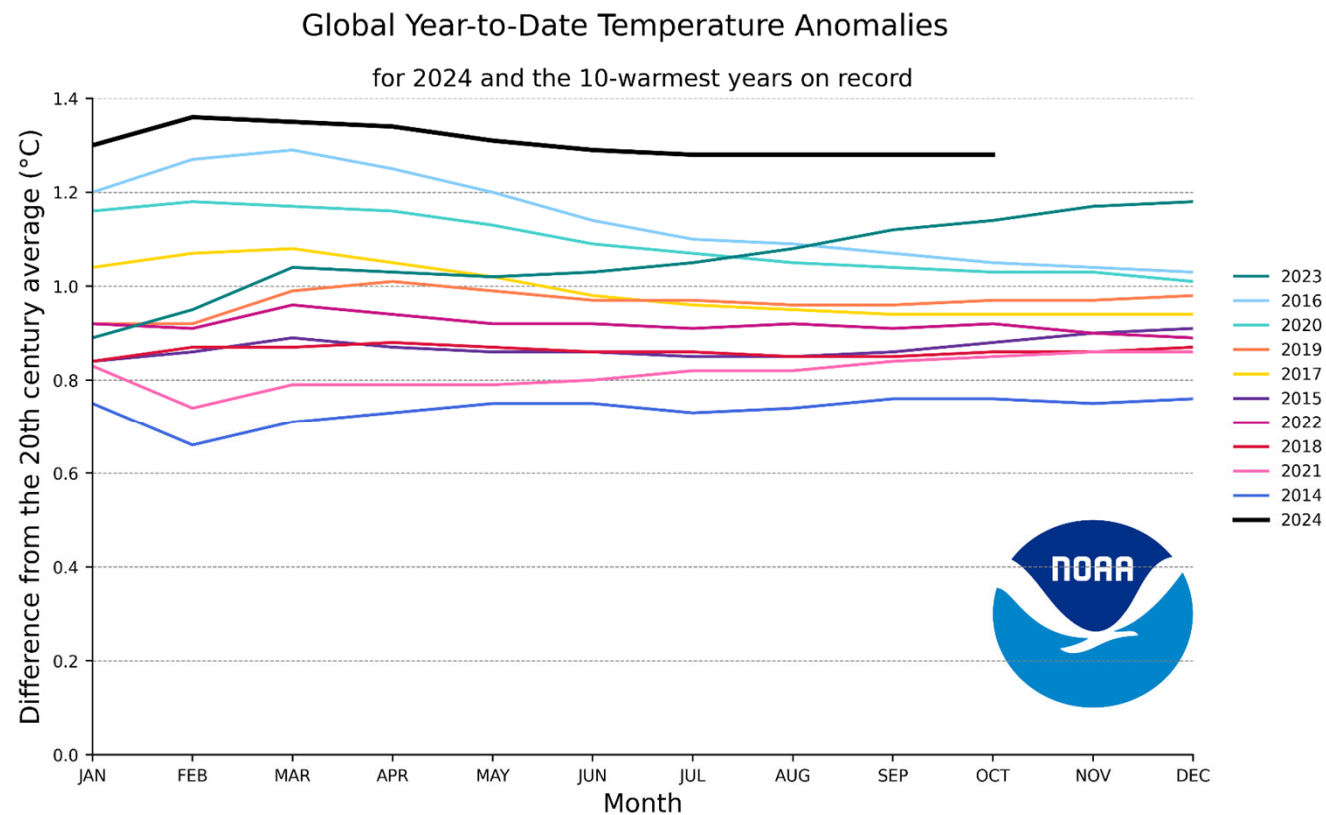


Inhalt

- ❖ Klimawandel in Bayern
 - Veränderungen in der Vergangenheit
 - Zukünftige Klimaveränderungen
- ❖ Auswirkungen auf den Wasserhaushalt
 - Abflusstrends Vergangenheit / Abflussprojektionen
 - Veränderungen der Grundwasserneubildung
- ❖ Zusammenfassung



2024? – globale Temperatur auf Rekordkurs

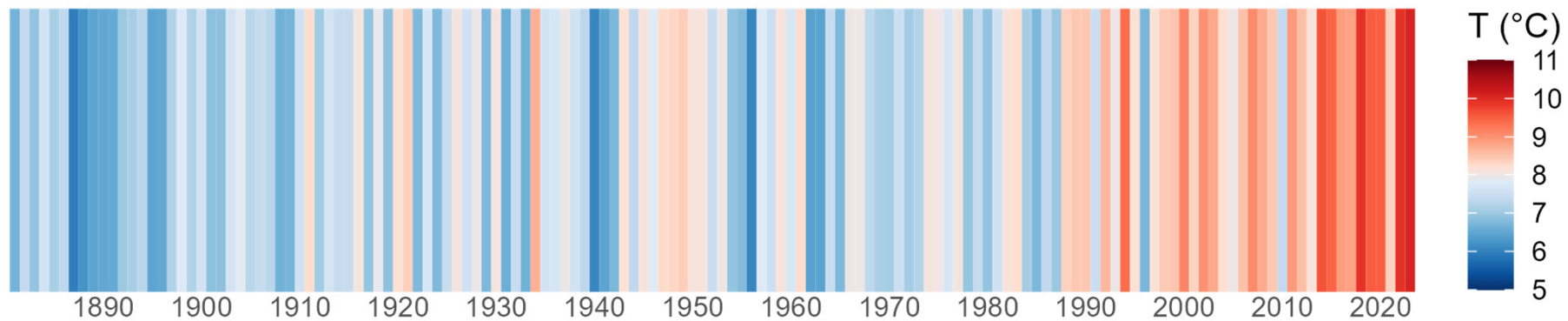


<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202410/supplemental/page-1>



Es ist wärmer geworden!

Bayern 1881-2023



© LfU Klima-Zentrum 2024, basierend auf DWD Climate Data Center (CDC)

Weitere Infos:

<https://klimainformationssystem.bayern.de/aktuelles/das-jahr-2023-bricht-alle-temperaturrekorde>



Klimatrends Vergangenheit

Gesamtjahr: + 1,9 ° C

Mittlere Jahrestemperatur Bayern

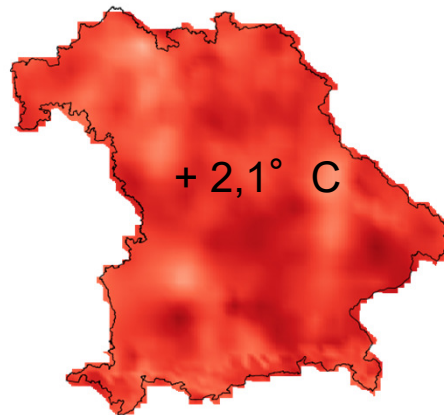


2020: 9,5° C
2021: 8,3° C
2022: 9,9° C
2023: 10,1° C

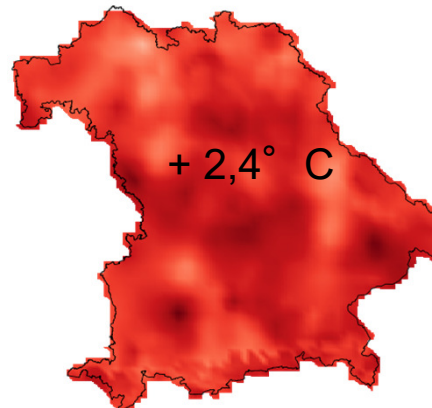


Vergangenheit: Lufttemperatur in Bayern (1951-2019) – Jahreszeiten / Raum

Frühjahr MAM

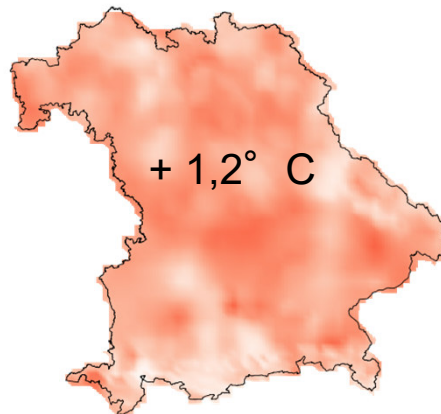


Sommer JJA

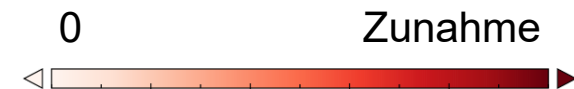
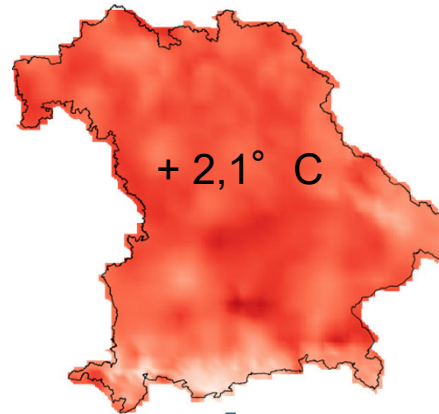


Gesamtjahr: + 1,9 ° C

Herbst SON



Winter DJF





Die sieben Klimaregionen in Bayern

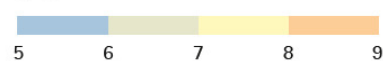
- Bayern ist in seiner Geographie komplex: zwischen Zugspitze und Kahl am Main liegen 2.860 Höhenmeter
- Die Intensität und Ausprägungen des Klimawandels stellen sich in Bayern regional unterschiedlich dar
- Klimaregionen: möglichst ähnliche klimatische Bedingungen



Referenzzeitraum (1971-2000) der Klimaregionen



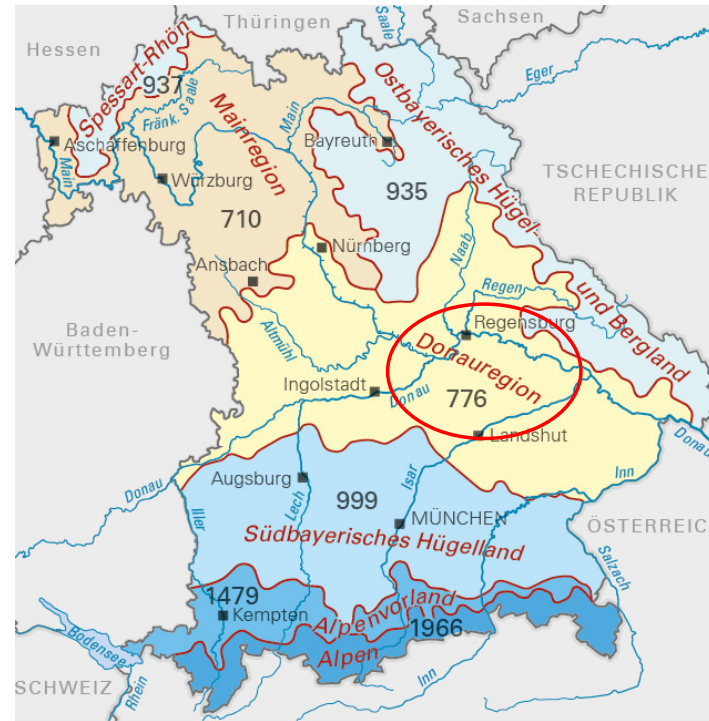
Mittlere Lufttemperatur 1971–2000
in °C



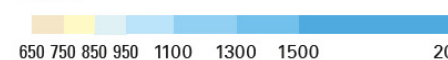
8,2 Mittelwert je Klimaregion

0 50 km

Fachdaten:
LfU, basierend
auf Daten des
Deutschen Wetterdienstes
und E-OBS Daten



Mittlerer Jahresniederschlag 1971–2000
in mm



935 Mittelwert je Klimaregion

0 50 km

Fachdaten:
LfU, basierend
auf Daten des
Deutschen Wetterdienstes



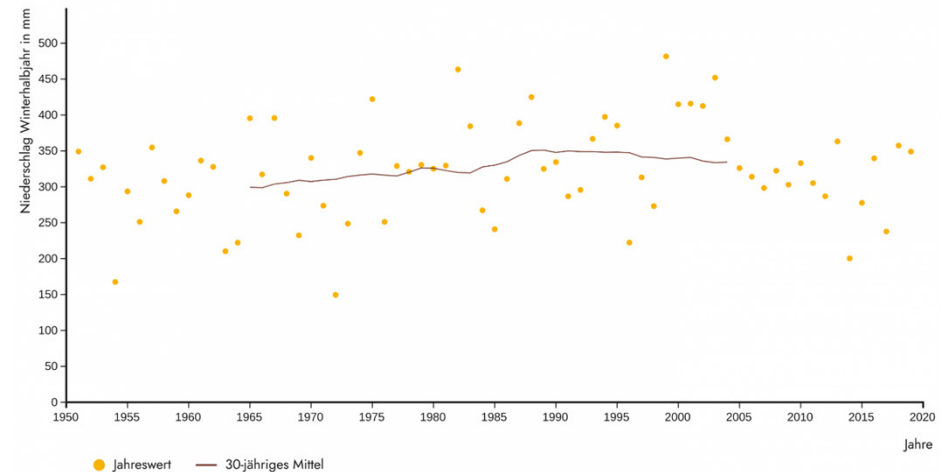
Wasserland Bayern, 2020

Quelle: [Klima-Report Bayern 2021](#)



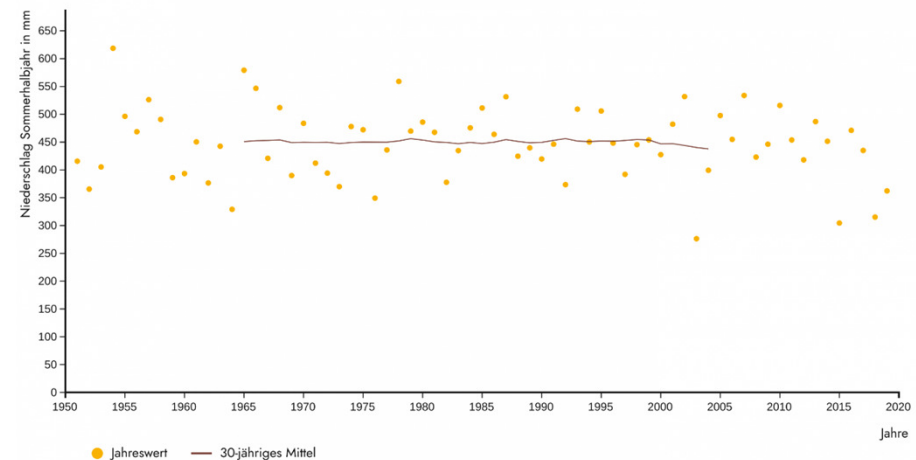
[BayKIS -> Donauregion](#)

Niederschlag Winterhalbjahr Donauregion



© Bayerisches Klimainformationssystem LfU 2024

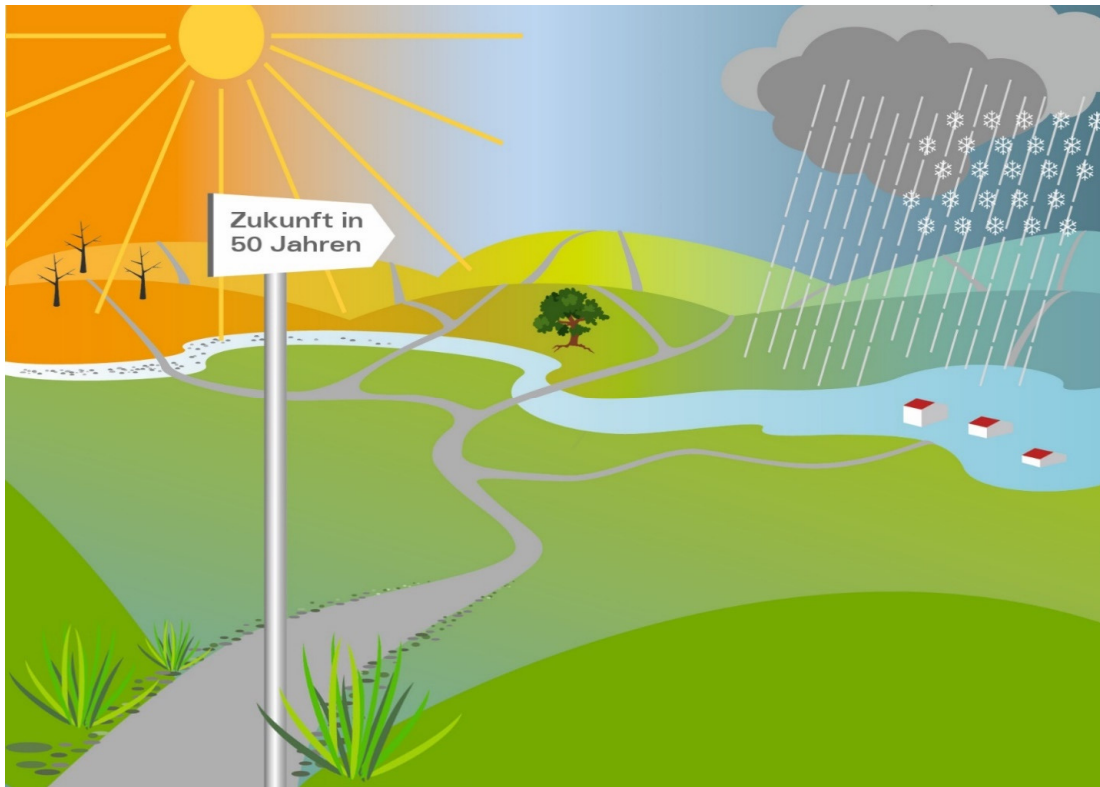
Niederschlag Sommerhalbjahr Donauregion



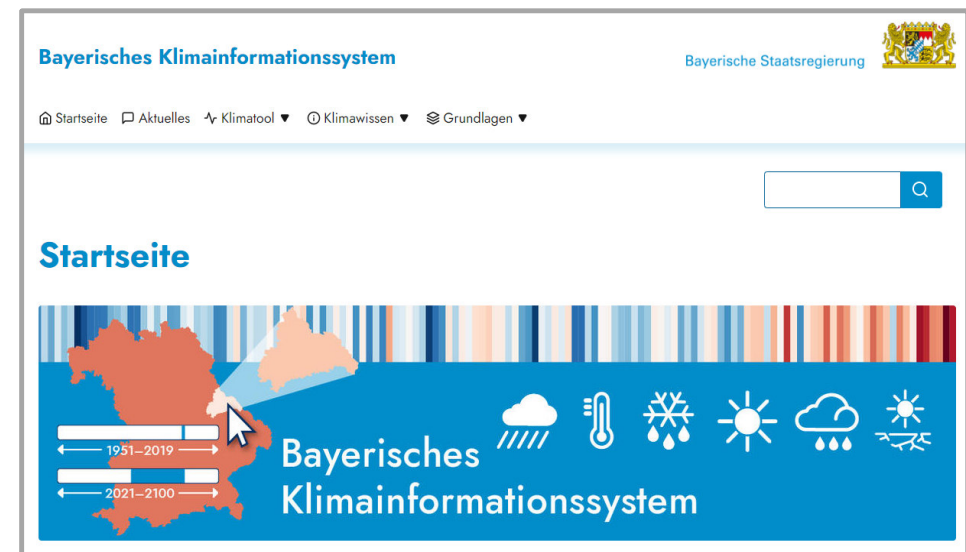
© Bayerisches Klimainformationssystem LfU 2024



Klima und Wasser – Wie wird die Zukunft in Bayern?



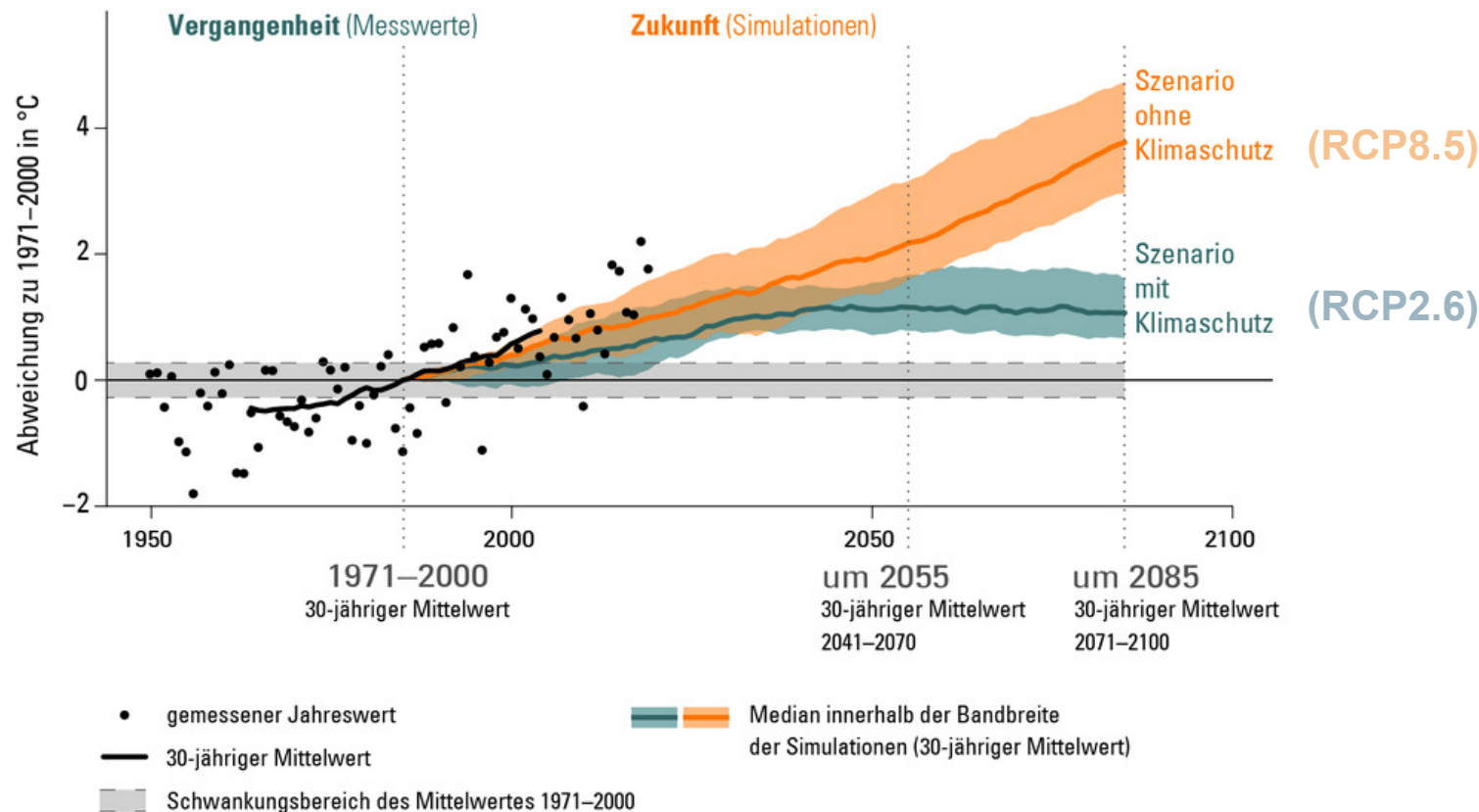
Infos zum Klima in Vergangenheit und Zukunft:



 <https://klimainformationssystem.bayern.de/>



Jahresmitteltemperatur im Vergleich zum Bezugszeitraum 1971–2000 in der Donauregion



Jahr:

Bis zu
4,7°C
mehr

Sommer:

Bis zu
5,6°C
wärmer

Winter:

Bis zu
4,9°C
wärmer

Klimatische Datengrundlagen für Bayern

- Messdaten Vergangenheit
- Qualitätsgeprüfte Klimaprojektionen
- Verschiedene Kennwerte -> BayKIS
- Verschiedene räumliche Umgriffe
 - Landkreise, Regierungen, Klimaregionen, Naturräume

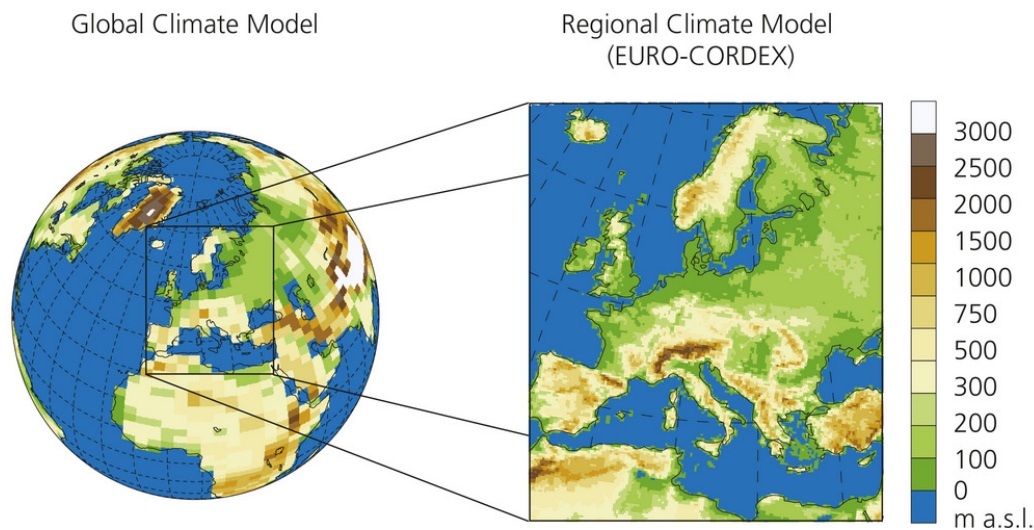
Mehr Infos:

<https://klimainformationssystem.bayern.de/grundlagen/datengrundlage>

Globalmodell	Regionalmodell	RCP		
		8.5	4.5	2.6
ICHEC-EC-EARTH (r12)	CLMcom-CCLM4-8-17			
ICHEC-EC-EARTH (r12)	KNMI-RACMO22E			
ICHEC-EC-EARTH (r12)	SMHI-RCA4			
ICHEC-EC-EARTH (r1)	KNMI-RACMO22E			
ICHEC-EC-EARTH (r1)	UHOH-WRF361H			
MPI-M-MPI-ESM-LR (r1)	CLMcom-CCLM4-8-17			
MPI-M-MPI-ESM-LR (r1)	SMHI-RCA4			
MPI-M-MPI-ESM-LR (r1)	UHOH-WRF361H			
MIROC-MIROC5 (r1)	CLMcom-CCLM4-8-17			
MOHC-HadGEM2-ES (r1)	UHOH-WRF361H			
MOHC-HadGEM2-ES (r1)*	CEC-WETTREG2018			
MPI-M-MPI-ESM-LR (r1)*	CEC-WETTREG2018			

Daten im Original und bias-adjustiert verfügbar
 Einzelne Parameter verfügbar
 Daten nicht verfügbar

Globale Klimamodelldaten für Bayern nutzbar machen



Downscaling GCM / RCM

120 km x 120 km → 12,5 km x 12,5 km

21 dynamische + 60 statistische
RCM-Klimaprojektionen
(Forschungseinrichtungen, DWD)

Start LfU-KliZ-Arbeit

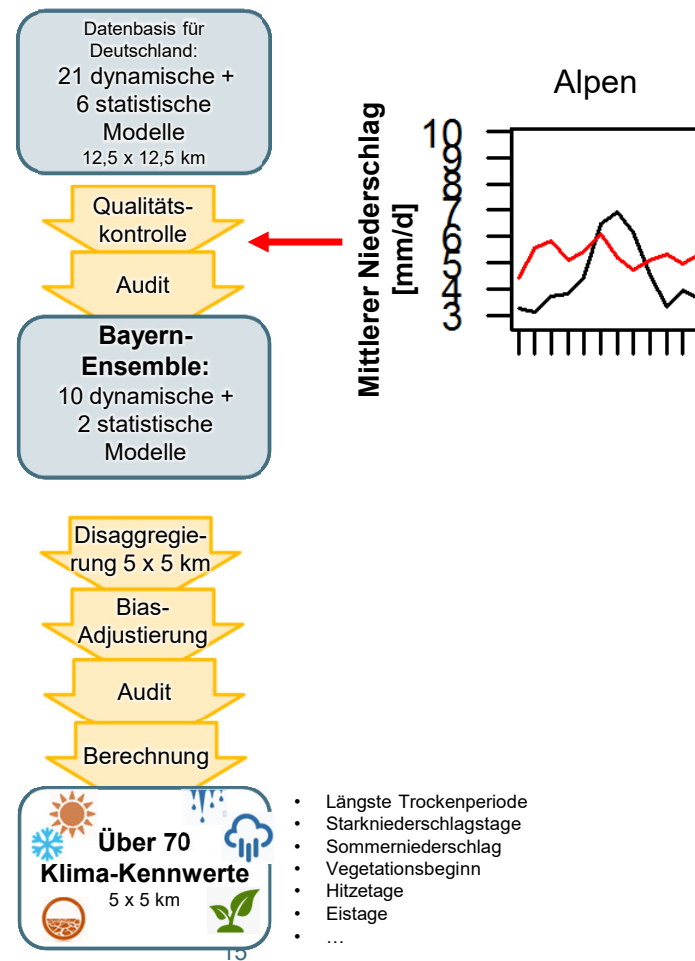
DWD-Datenbasis – Download von EURO-CORDEX / Reklies DE



Globale Klimamodelldaten für Bayern nutzbar machen

Zusammenfassend...

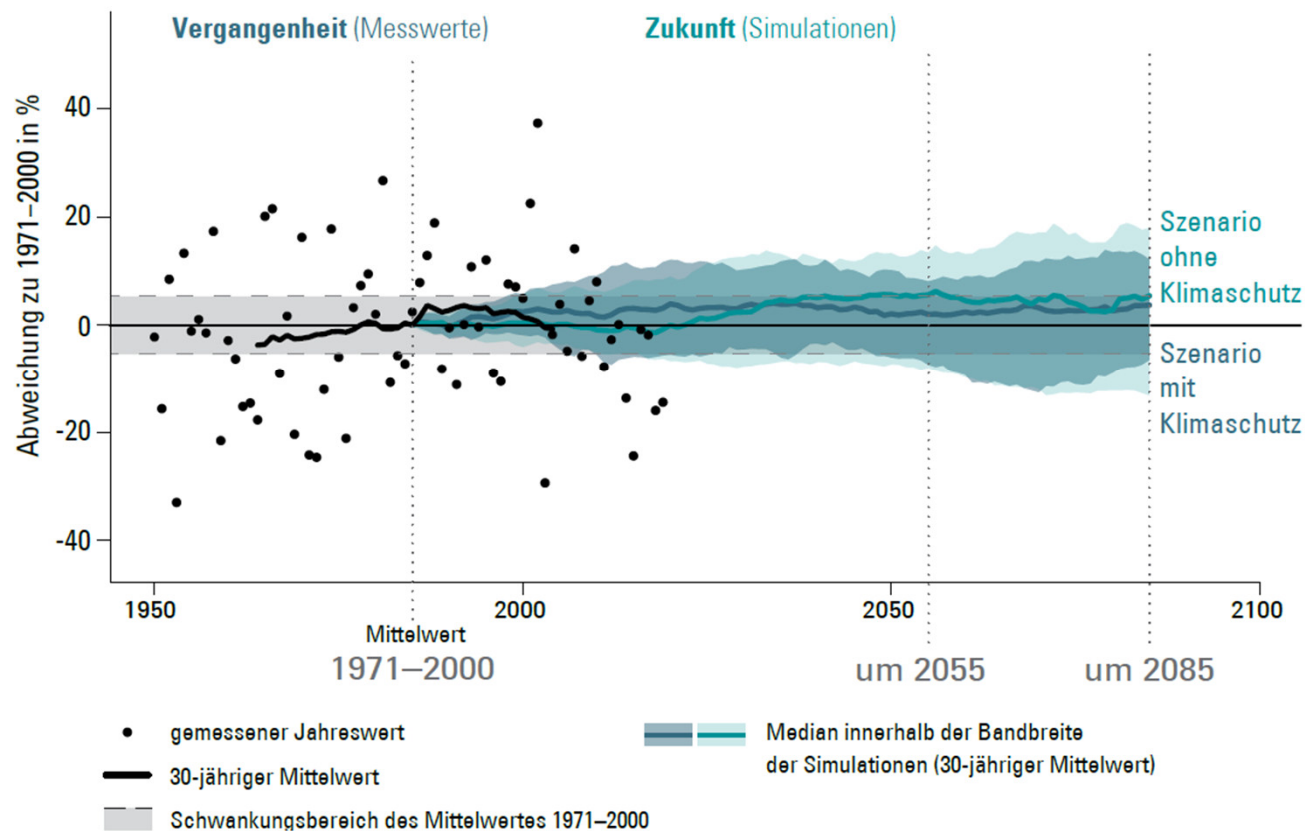
Das Bayerische
Klimaprojektionsensemble - Audit
und Ensemblebildung





Veränderungen im Niederschlag

Jahresniederschlag in % im Vergleich zum Bezugszeitraum 1971–2000
im Durchschnitt in der Donauregion



Aber saisonal!

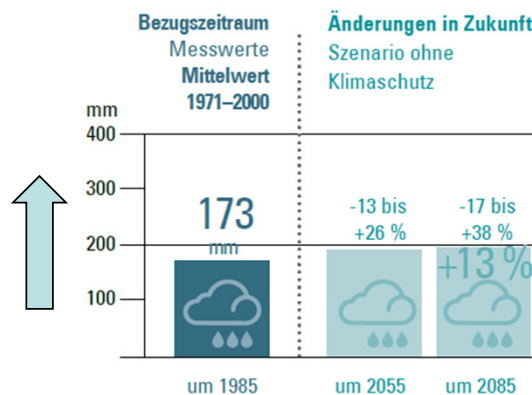
[Bayerns Klima im Wandel / Klimaregion
Donauregion](#)



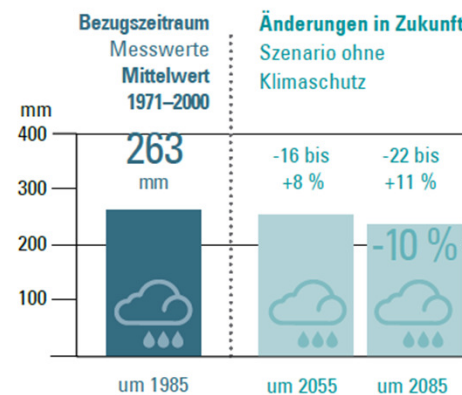
Veränderungen im Niederschlag

Jahreszeitlicher Niederschlag im Durchschnitt in der Donauregion

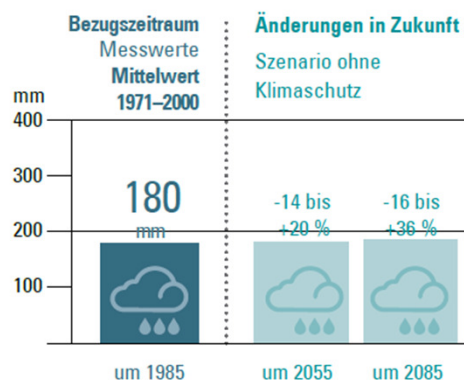
Frühling



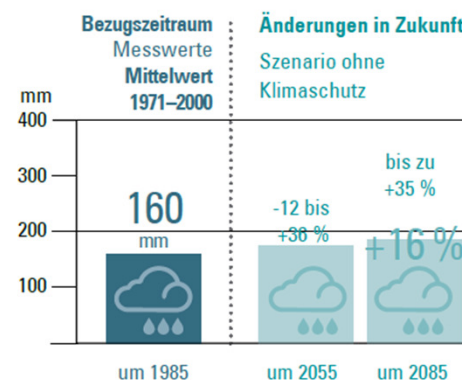
Sommer



Herbst



Winter



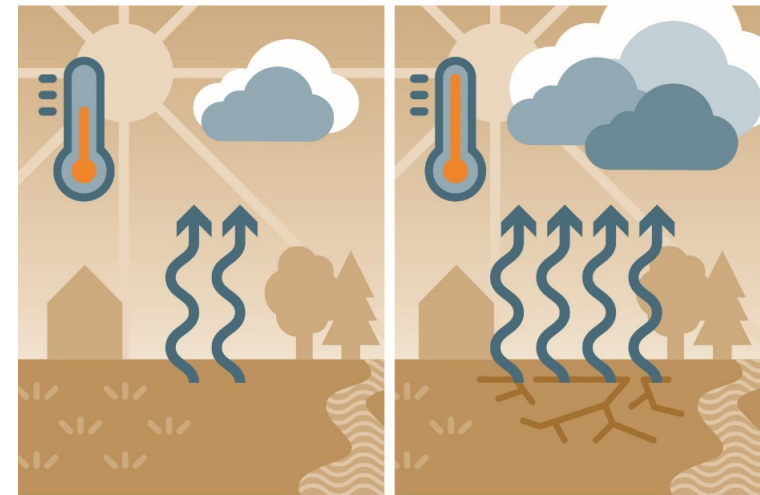
Feuchtere
Winter,
trockenere
Sommer

Die Werte in den Balken entsprechen dem Median aus der Bandbreite der Klimasimulationen (oberhalb der Balken). Werte die so gering sind, dass sie nicht als Änderung des Klimas interpretiert werden, sind nicht als Zahlen angegeben.

Klimaentwicklung bis 2100

- Temperatur: steigen weiter
 - Sommer- und Winterhalbjahre wärmer
 - deutlich weniger Eis- und Frostage
 - Kürzere Frostperioden
 - mehr Hitzetage und Tropennächte
 - längere Trockenperioden
 - Verlängerung der frostfreien Vegetationsperiode
 - stark erhöhte Verdunstung
- Jahresniederschlag: uneinheitlich, Tendenz zur Abnahme
 - Winter: niederschlagsreicher, weniger Schnee, mehr Regen
 - Sommer: niederschlagsärmer (trockener)
 - mehr Starkregenereignisse

Höhere Temperaturen verstärken Verdunstung



Steigende Temperaturen verursachen intensivere Niederschläge





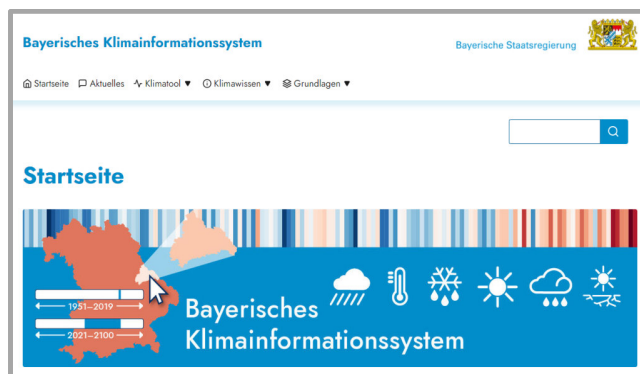
Weitere Infos

- [Bayerisches Klimainformationssystem](#)
- [Internetseite Thema Klima am LfU](#)
- LfU (2021): [Klimafaktenblätter Bayern und Regionen](#)
- LfU (2021): [Bayerns Klima im Wandel, Broschüren](#)
- LfU (2022): [Klima-Steckbriefe \(Regierungsbezirke\)](#)
- LfU (2024): [Wege in die Klimazukunft - Szenarien und Optionen](#)



Klima-Zentrum

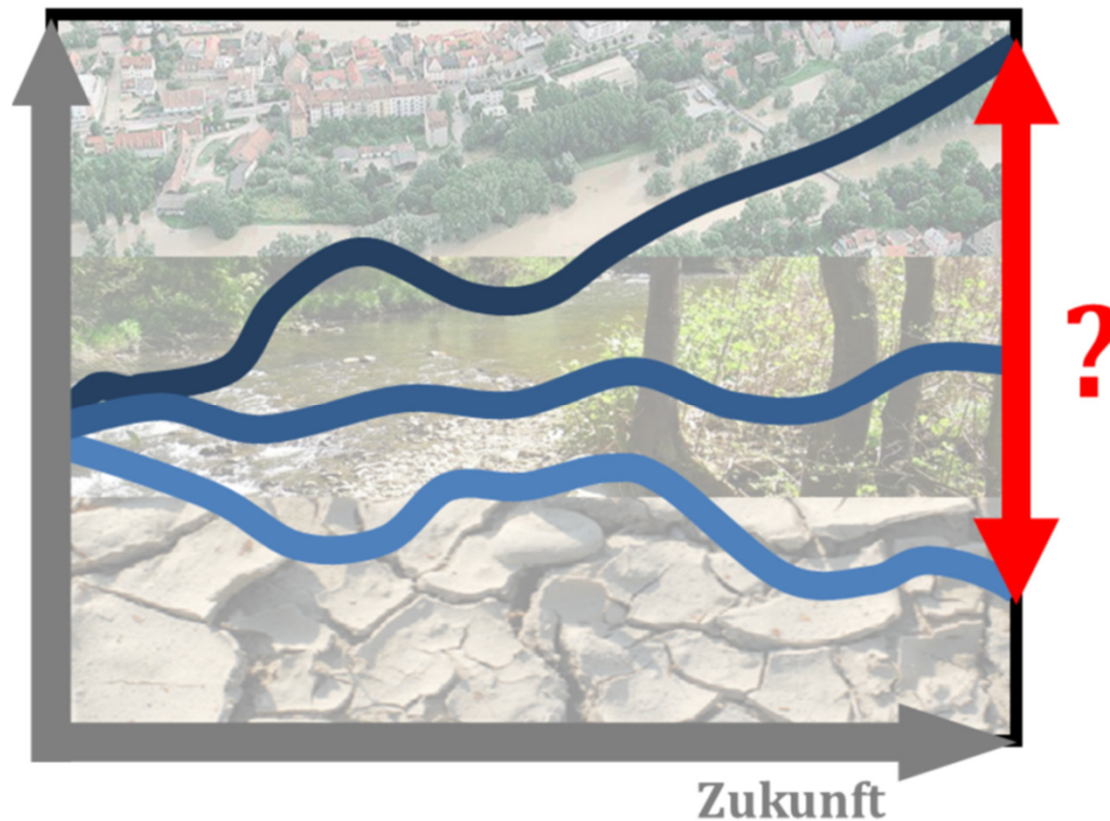
im Bayerischen Landesamt
für Umwelt



<https://klimainformationssystem.bayern.de/>



Vom Klima zum Abfluss – Hochwasser oder Trockenheit?

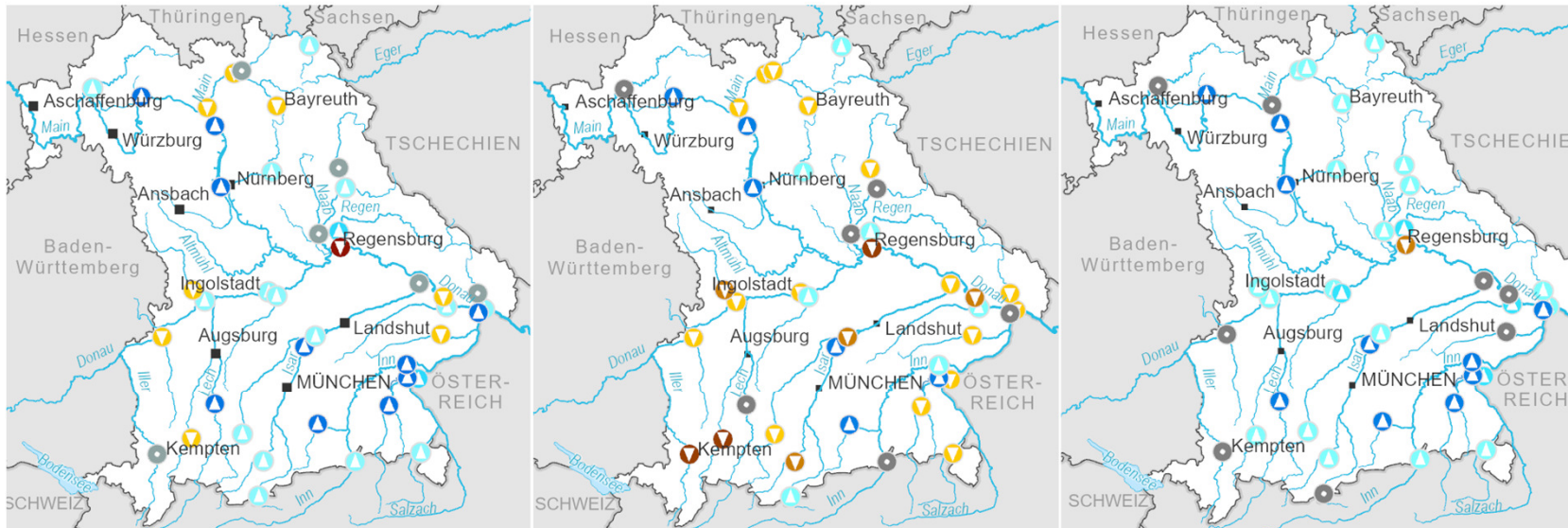


Änderungen im
Verdunstung
Abfluss
Schnee
Grundwasserneubildung
....



Trendauswertungen Vergangenheit – Beispiel Niedrigwasserabfluss

Trend des Niedrigwasserabflusses (NQ) pro (Halb-)Jahr im Zeitraum 1951-2023



Wasserhaushaltsjahr
(April - März)

Wasserhaushaltsjahr (Sommer)
(April - September)

Wasserhaushaltsjahr (Winter)
(Oktober - März)



0 100 km

Fachdaten:
Kooperation KLIWA

Nicht nur
durch
Klimawandel
beeinflusst!

Auch HQ, MQ



Vergangene Entwicklung des Wasserhaushalts – Kernbotschaften

Mittlerer Abfluss

- ▶ Während der mittlere Abfluss im Sommerhalbjahr von 1951 bis heute größtenteils abgenommen hat, hat er im Winterhalbjahr eher zugenommen.

Niedrigwasser

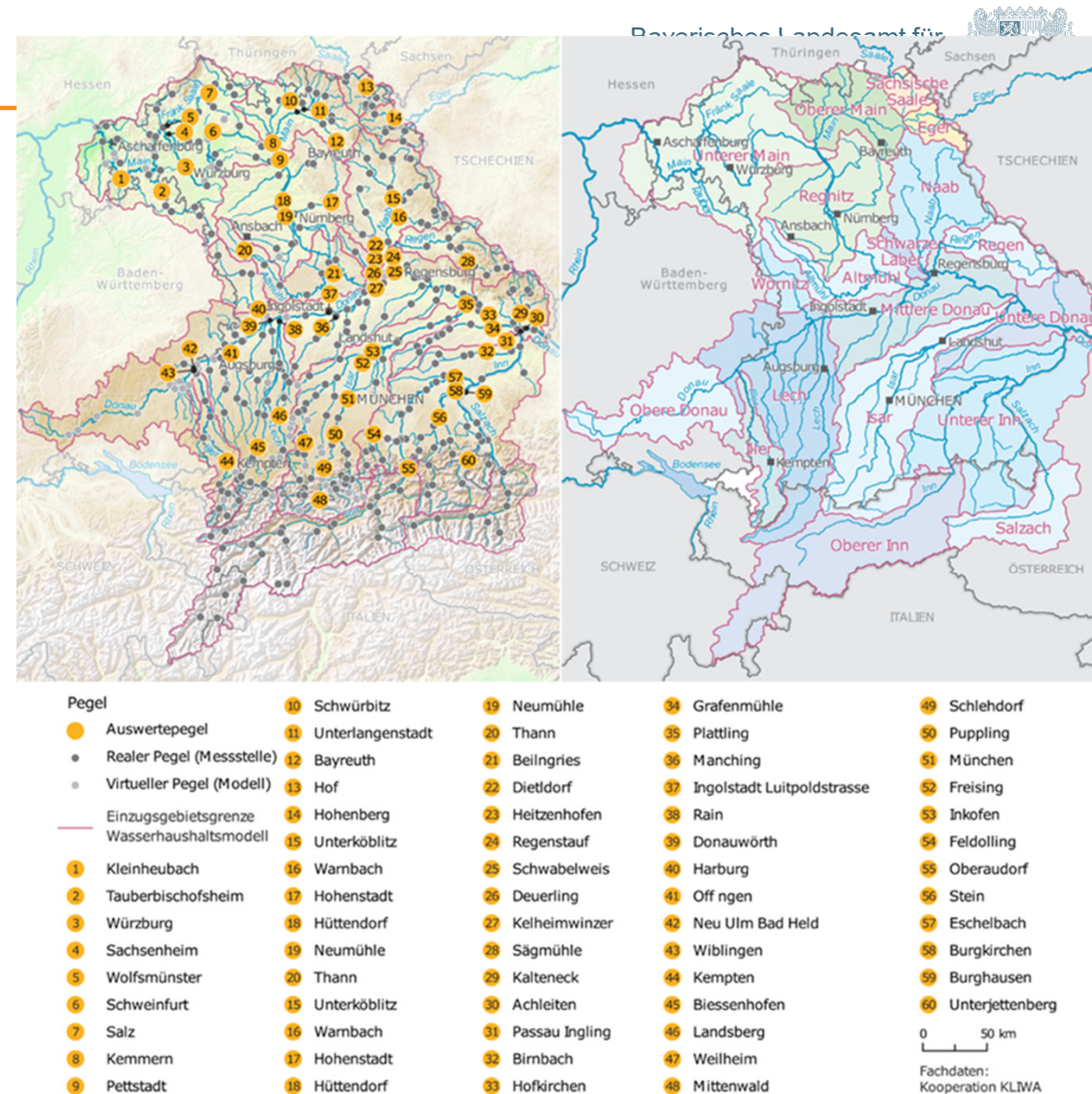
- ▶ Die Niedrigwasserabflüsse haben seit 1951 im Sommerhalbjahr für Gesamtbayern abgenommen. Diese Entwicklung ist bei vielen Pegel signifikant (anthropogene Beeinflussung neben Klimawandel!).
- ▶ Im Winterhalbjahr zeigen viele Pegel eine Zunahme oder auch keine Veränderungen.

Hochwasser

- ▶ Die Hochwasserabflüsse haben in beiden Halbjahren größtenteils zugenommen.
- ▶ Jedoch sind diese Trends in den meisten Fällen nicht signifikant.

Abflussprojektionen für Bayern

- Wasserhaushaltsmodell WaSiM (1 x 1 km, 1d)
- Ca. 430 Pegel, standardmäßige Betrachtung von **60 Pegeln als Überblick**
- 9 Klimaprojektionen für RCP8.5, 7 für RCP2.6 verwendet; gegenüber Bayern Ensemble für Gesamtumgriff nicht alle Klimamodelldaten verfügbar
- Auswertungen für 30-jährige Mittel für
 - Mittlerer Abfluss MQ
 - Niedrigwasserabfluss NQ
 - Hochwasserabfluss HQ





Zukünftige Entwicklung – Abflussregime



Abflussregime in Bayern
für den Referenzzeitraum
1971 - 2000

- ✱ nival
- nivopluvial
- ▲ pluvial

0 25 50 km
Fachdaten:
Kooperation KLIWA

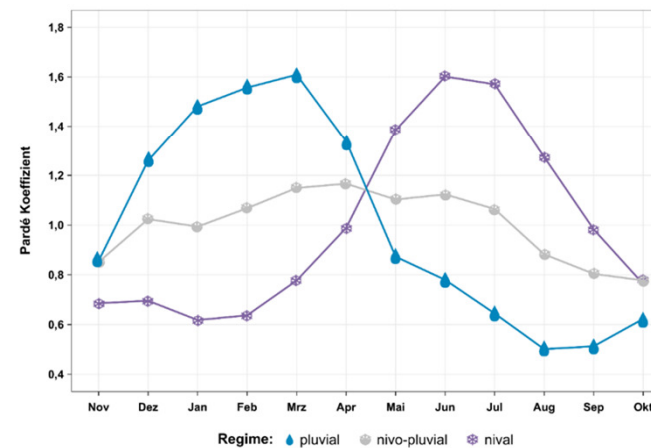
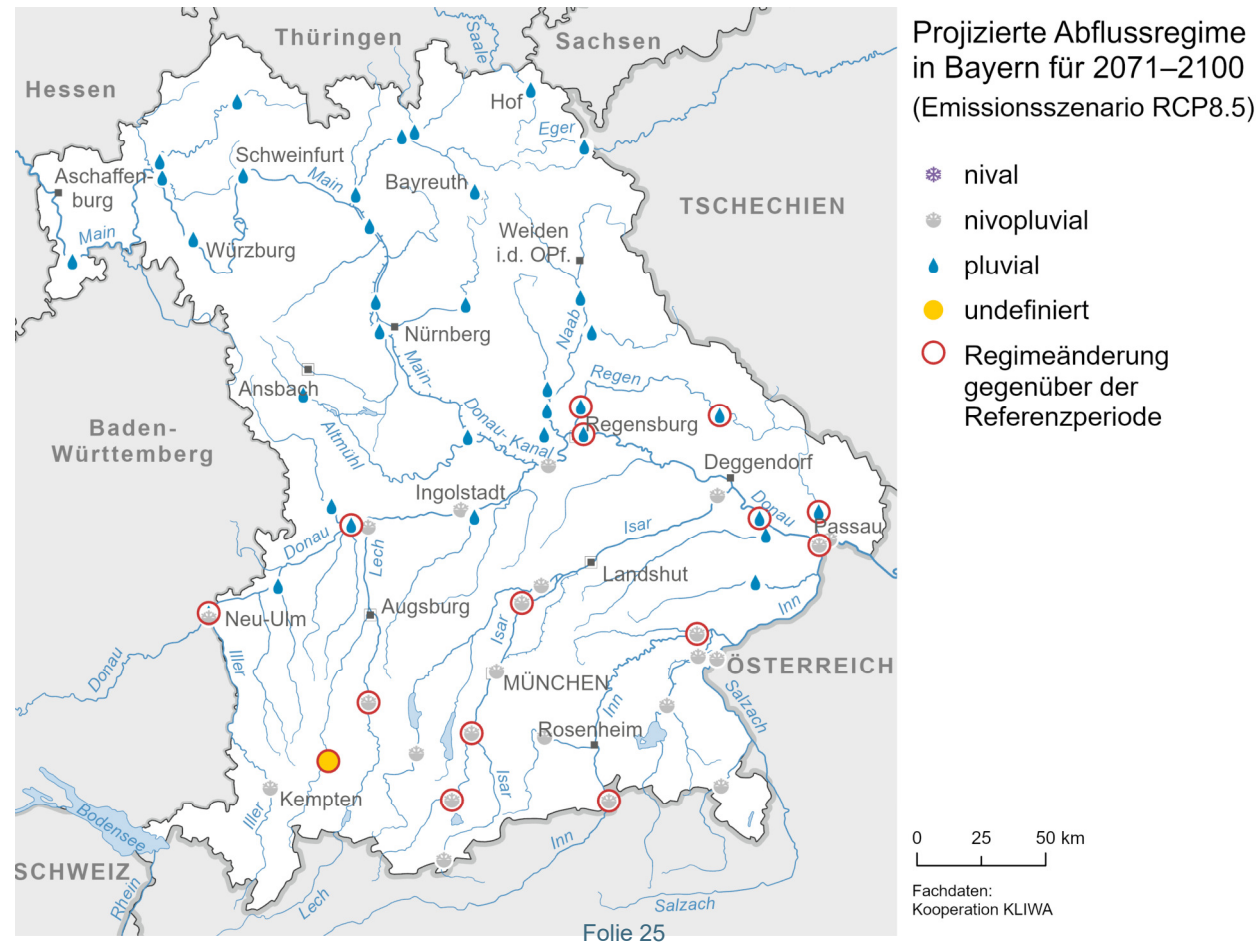


Abb. 1: Die drei Hauptkategorien der Abflussregimetypen. Dargestellt sind die Pardé-Koeffizienten von drei Pegeln bayerischer Einzugsgebiete (Passau-Ingling: Nival, Hofkirchen: Nivo-Pluvial und Kleinheubach: Nival).

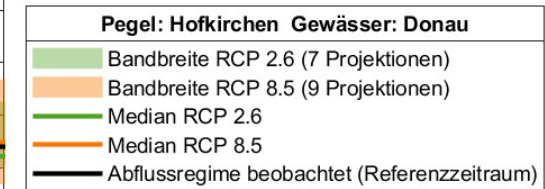
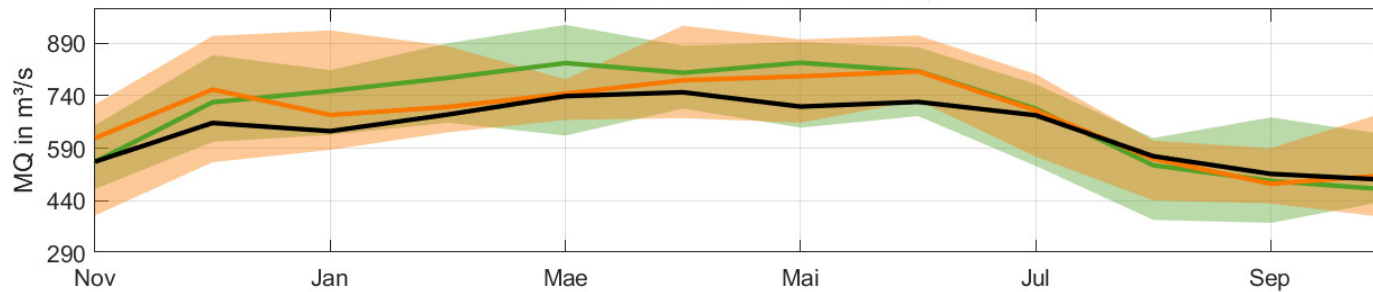


Zukünftige Entwicklung – Abflussregime

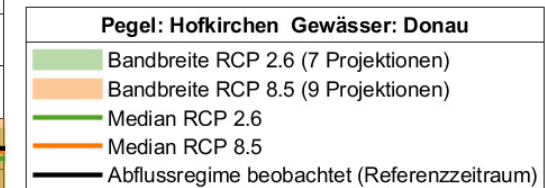
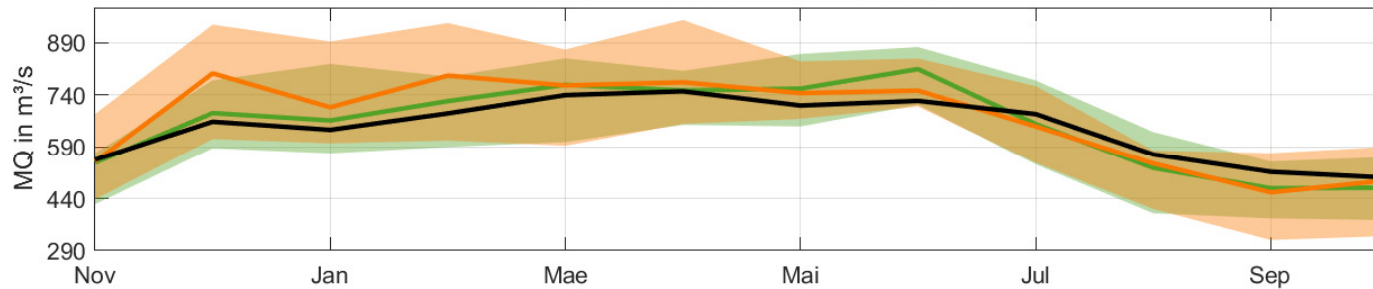




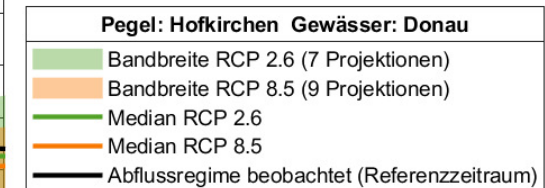
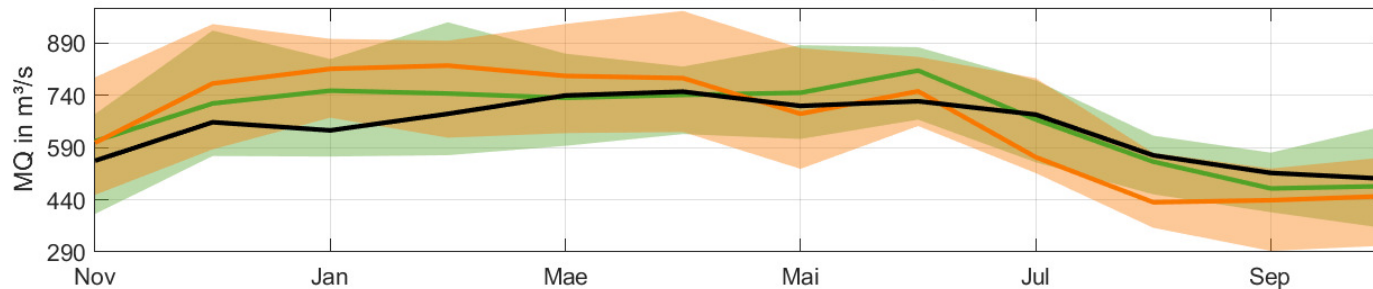
Nahe Zukunft für Kennwert MQ



Mittlere Zukunft für Kennwert MQ

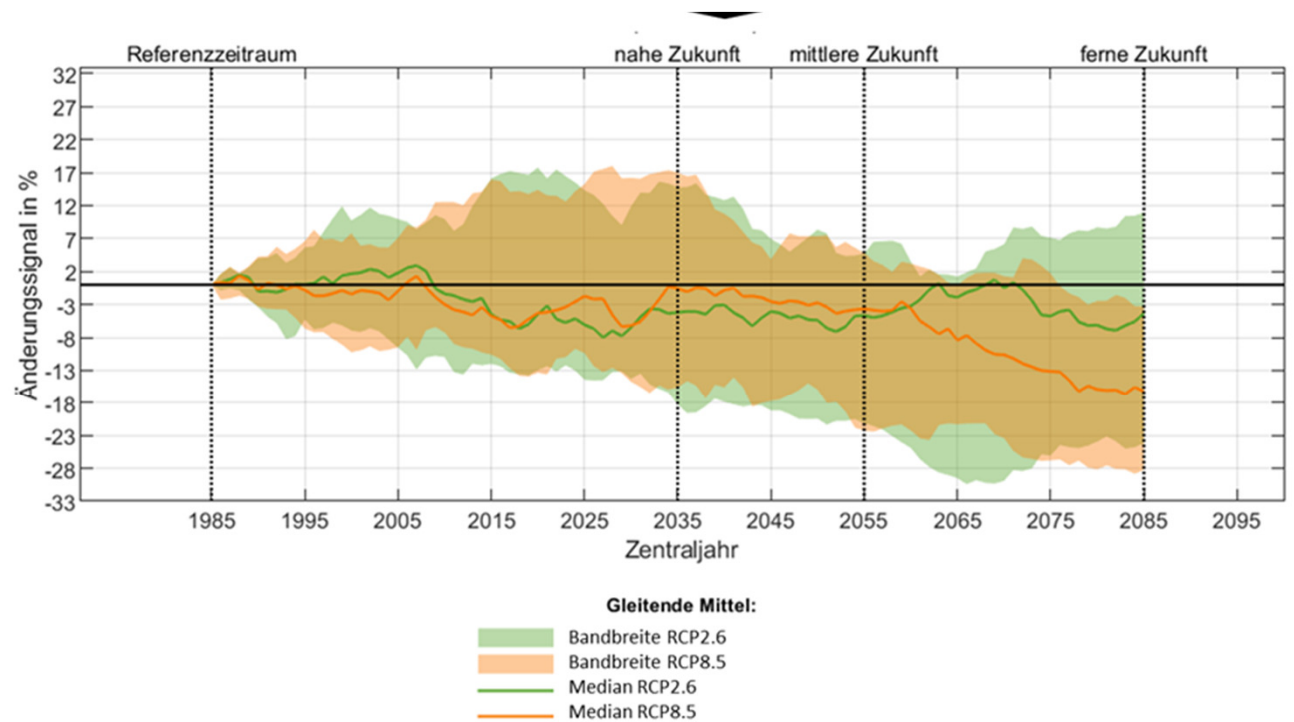
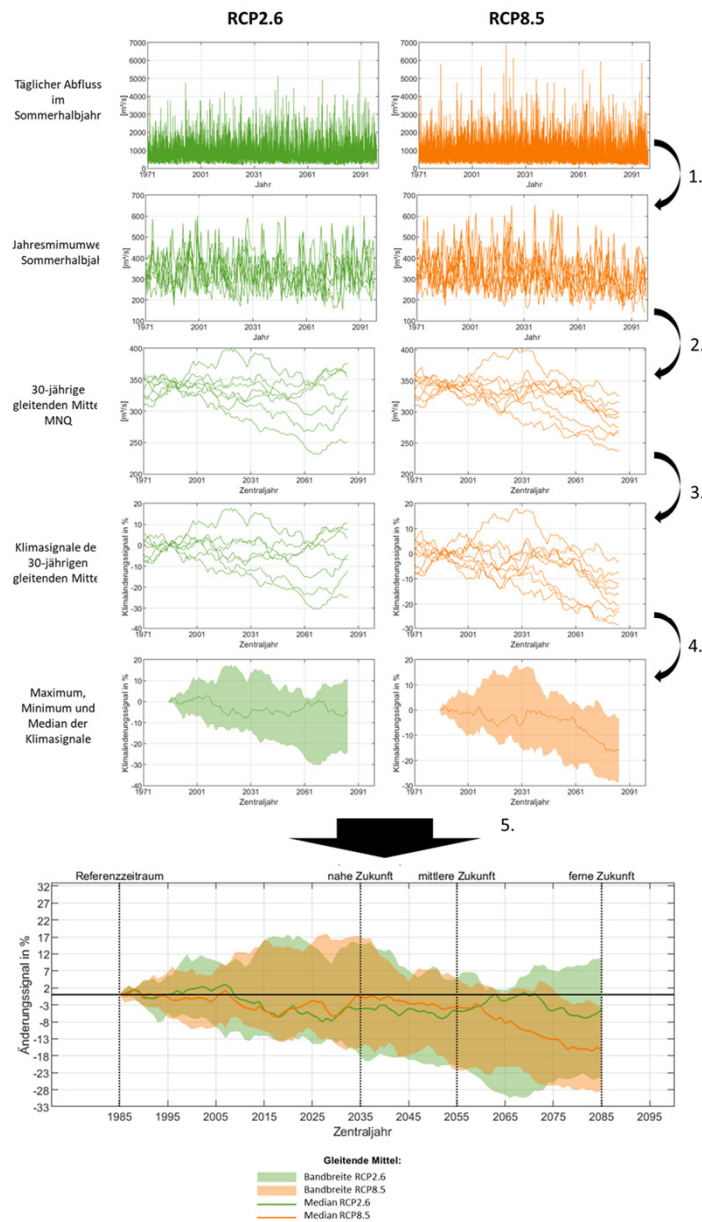


Ferne Zukunft für Kennwert MQ





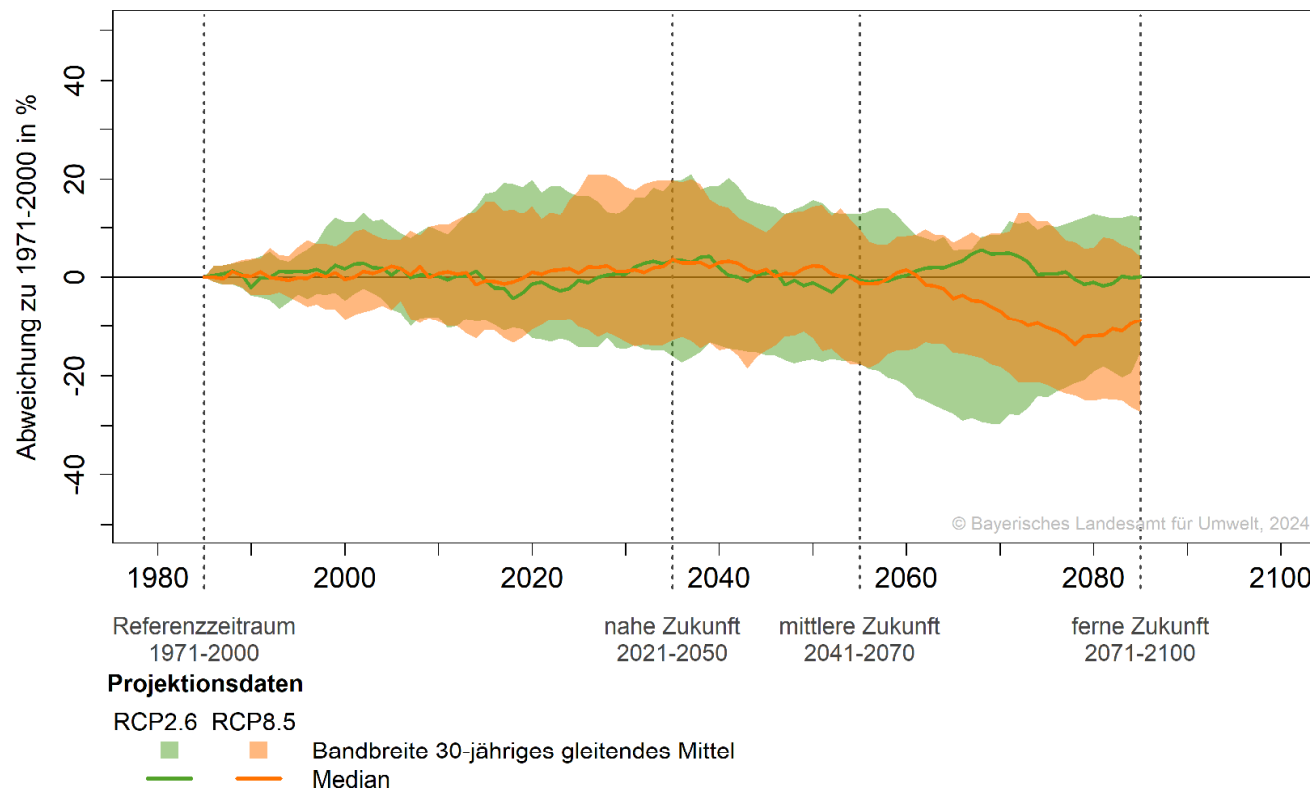
Der Weg zum Ensemble und Darstellung der Veränderungen





Beispiel Mittlerer Abfluss an der Donau hydr. Sommerhalbjahr

Hofkirchen (Donau)
mittlerer Abfluss (MQ) im Sommerhalbjahr



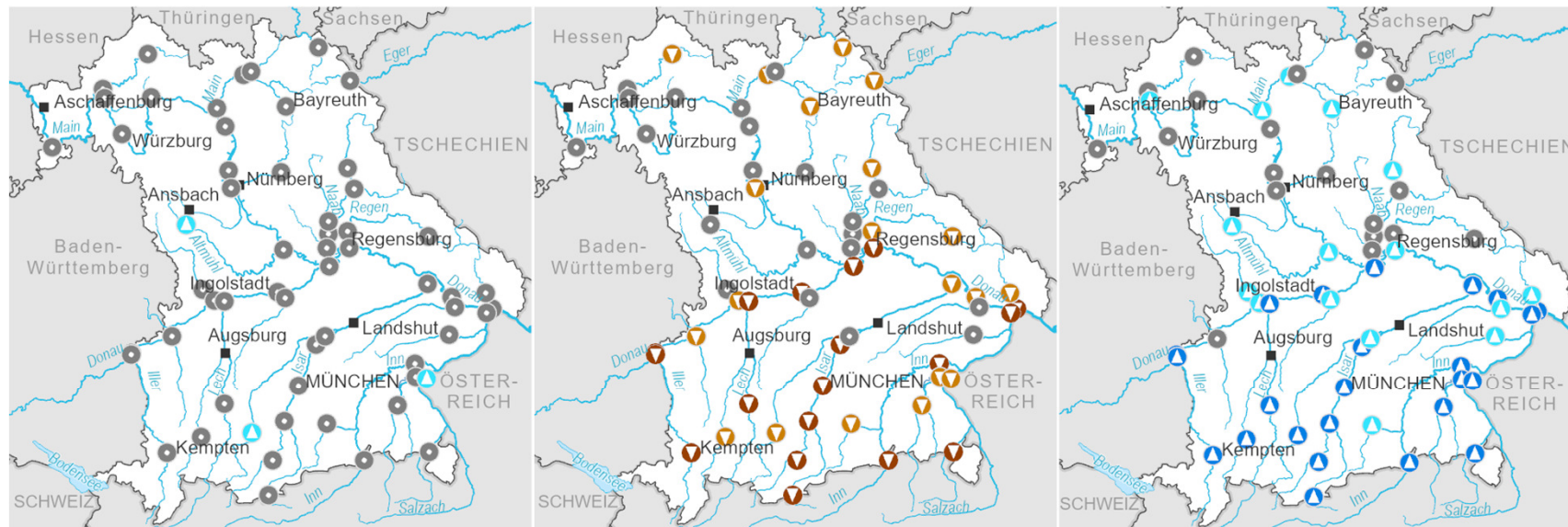
Zukunft:
Ohne Klimaschutz
Abnahmen; in einzelnen
Sommermonaten stärker
ausgeprägt

- ⇒ **Aber schwierig interpretierbar, was bedeutet das genau (Median, Min, Max)?**
- ⇒ **Vereinfachte Betrachtung aus Basis Bandbreite!**



Zukünftige Entwicklung – Mittlerer Abfluss

Projizierte Veränderung des MQ in Bayern 2071-2100 gegenüber 1971-2000 (Emissionsszenario RCP8.5)



hydrologisches Jahr
(November bis Oktober)

hydrologisches Sommerhalbjahr
(Mai bis September)

hydrologisches Winterhalbjahr
(November bis April)



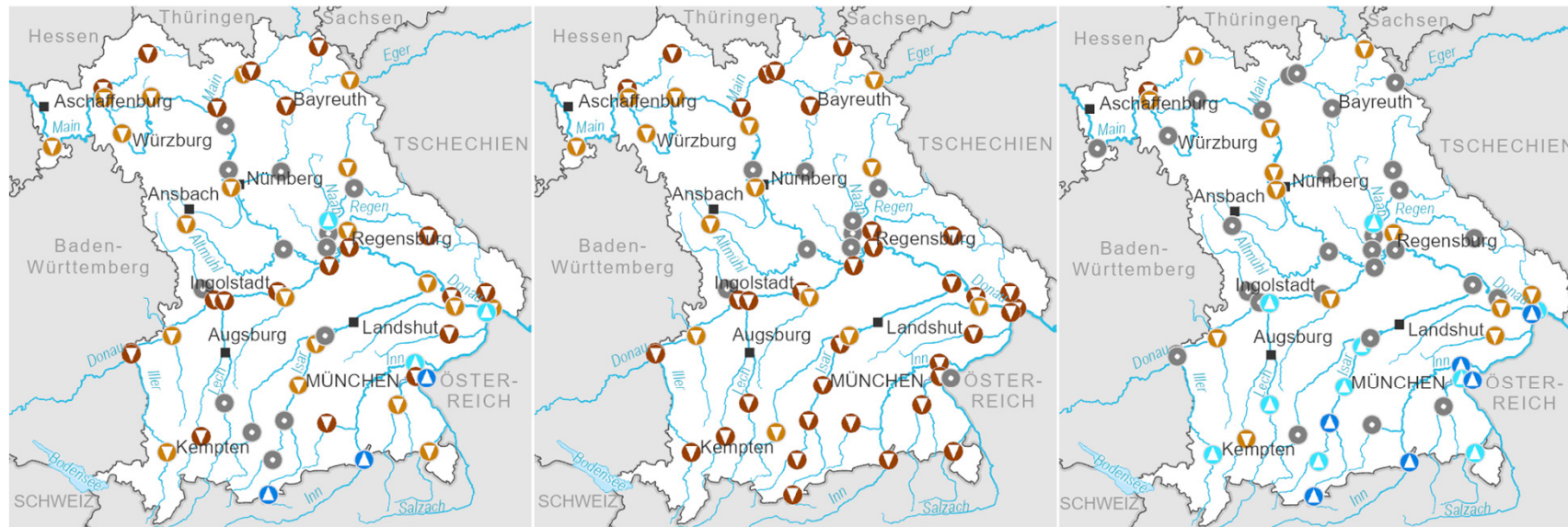
0 100 km

Fachdaten:
Kooperation KLIWA



Zukünftige Entwicklung – Niedrigwasser

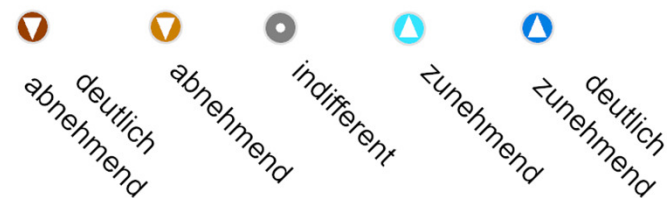
Projizierte Veränderung des MNQ in Bayern 2071-2100 gegenüber 1971-2000 (Emissionsszenario RCP8.5)



Wasserhaushaltsjahr
(April - März)

Wasserhaushaltsjahr (Sommer)
(April - September)

Wasserhaushaltsjahr (Winter)
(Oktober - März)



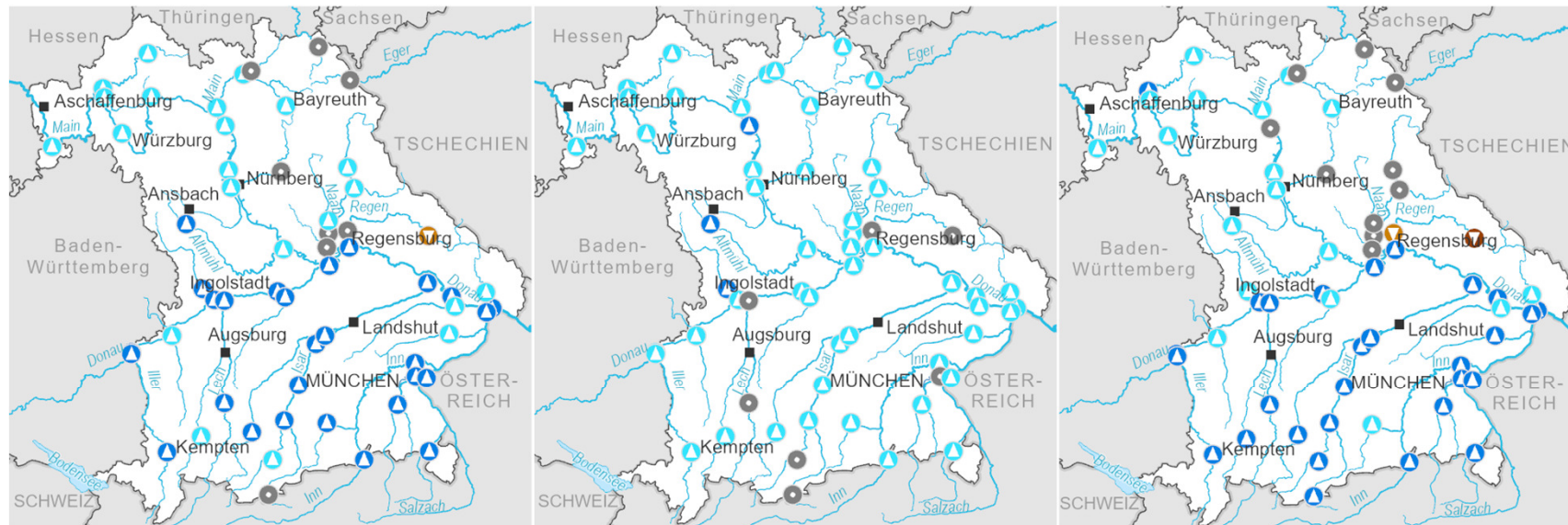
0 100 km

Fachdaten:
Kooperation KLIWA



Zukünftige Entwicklung – Hochwasser

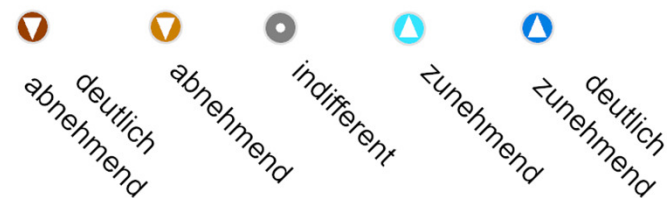
Projizierte Veränderung des MHQ in Bayern 2071-2100 gegenüber 1971-2000 (Emissionsszenario RCP8.5)



hydrologisches Jahr
(November bis Oktober)

hydrologisches Sommerhalbjahr
(Mai bis September)

hydrologisches Winterhalbjahr
(November bis April)



0 100 km

Fachdaten:
Kooperation KLIWA



Zukünftige Entwicklungen Abfluss in Bayern – Kernbotschaften

Mittlerer Abfluss

- Nordbayern: Es zeigt sich ein indifferentes Bild mit keinem klaren Trend.
- Südbayern: Im Sommerhalbjahr werden überwiegend Abnahmen und im Winterhalbjahr überwiegend Zunahmen projiziert.
- Abflussregime werden zunehmend von Regen anstatt von Schnee geprägt.

Niedrigwasser

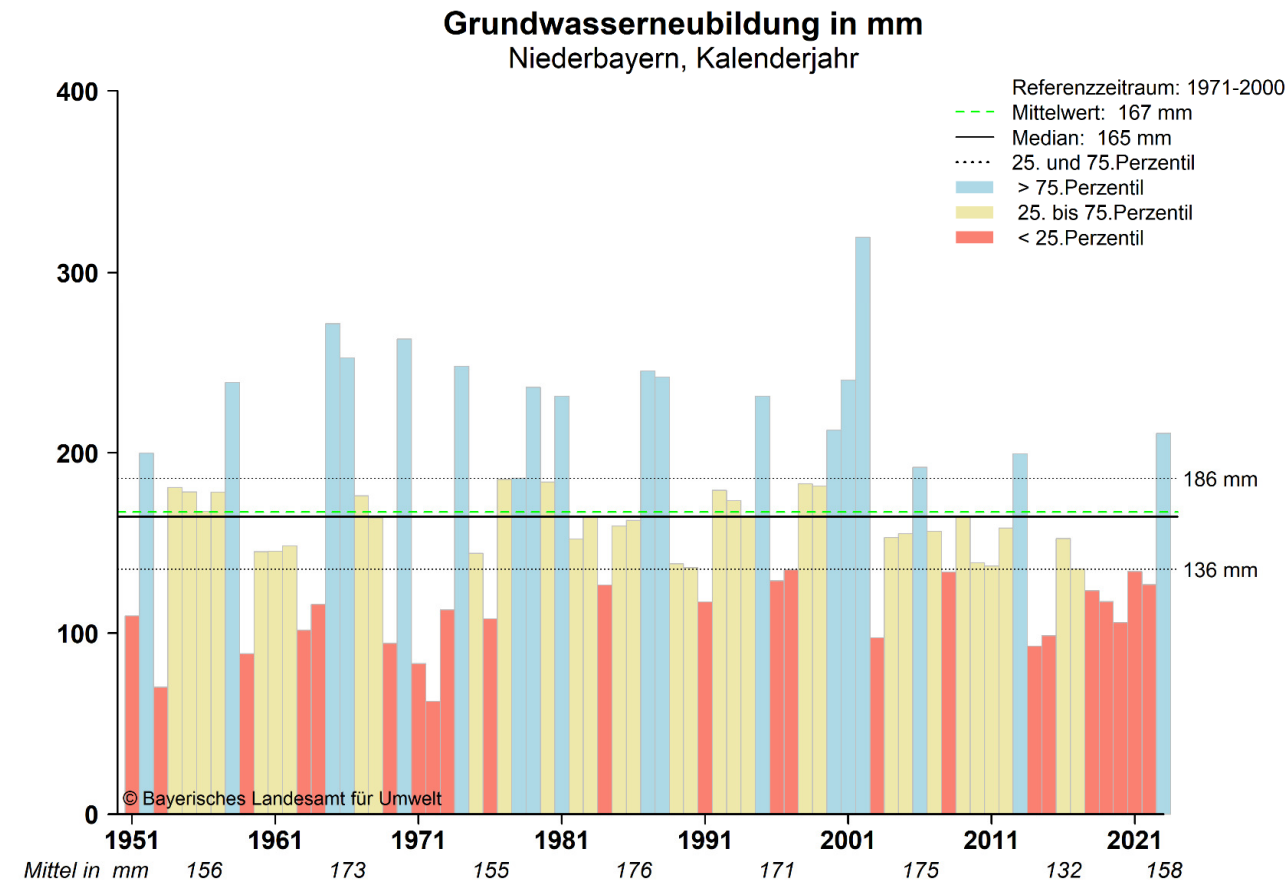
- Im Sommerhalbjahr nimmt der MNQ voraussichtlich für Gesamtbayern ab.
- Für Nordbayern sind die Abnahmen im Sommer weniger deutlich als für Südbayern.
- Im Winterhalbjahr nimmt der MNQ in Südbayern voraussichtlich eher zu und in Nordbayern eher ab.

Hochwasser

- Der MHQ im Sommerhalbjahr wird voraussichtlich in ganz Bayern zunehmen.
- Im Winterhalbjahr wird der MHQ in Südbayern voraussichtlich zunehmen.
- In Nordbayern zeigen die Abflussprojektionen für das Winterhalbjahr keinen eindeutigen Trend.



Veränderungen in der Grundwasserneubildung – Niederbayern bis 2023



Datenquelle: Berechnung mit dem Modell GWN-BW auf Grundlage von Klimastationsdaten, HYRAS-Daten (DWD), CORINE2018 Landnutzung und der BÜK200

Rückgang der Neubildung

Zwischen 2003 und 2023 gegenüber 1971 und 2000:

- für Bayern: -15 %
- für Niederbayern: -15 %

Das Aufgebaute Defizit beträgt für diesen Zeitraum

- für Bayern: > 540 L/m²
- für Niederbayern: > 525 L/m²

Entwicklung von Grundwasserständen in der Vergangenheit

Rund 85% der betrachteten Messstellen* in Bayern zeigen von Beginn der Messungen bis 2021 eine (langfristige) Entwicklung zu niedrigeren Werten.

→ Statistisch nachweisbare Veränderungen von Grundwasserständen und Quellschüttungen!

*Datengrundlage:

66 Grundwassermessstellen und Quellen in Bayern mit möglichst langen und wenig beeinflussten Zeitreihen



Trends im Langzeitverhalten

Grundwassermessstellen

- steigender Trend
- kein Trend
- fallender Trend

Quellen

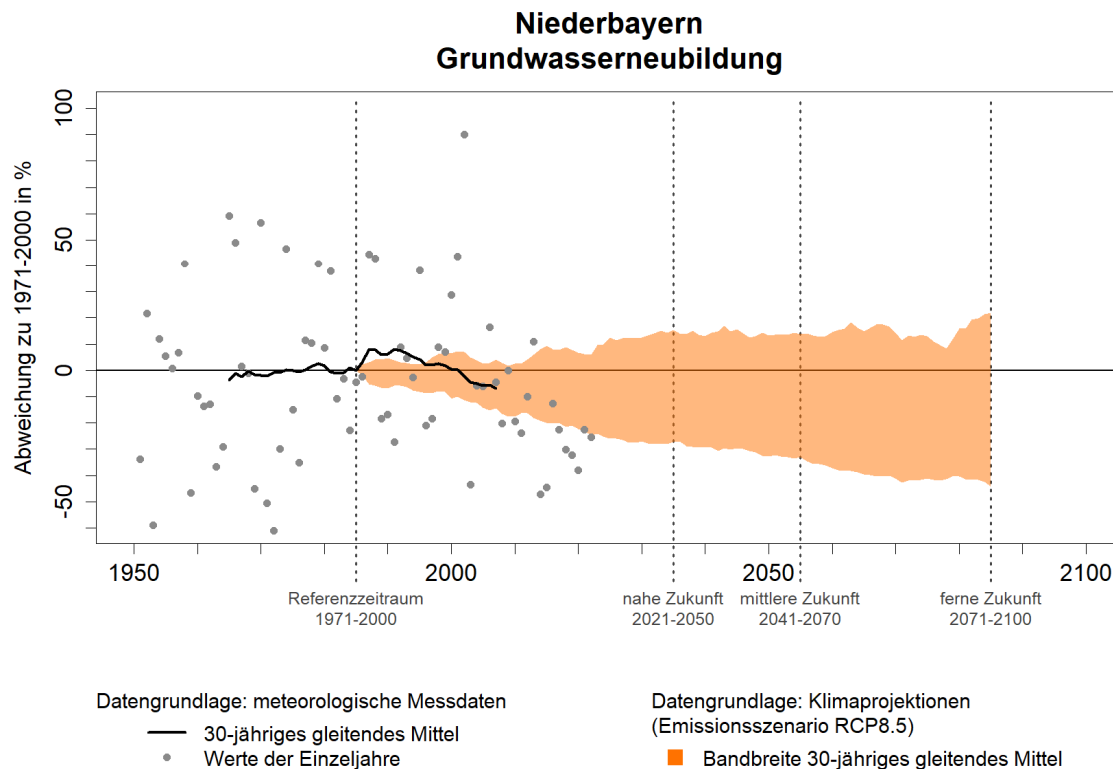
- ▲ steigender Trend
- ▲ kein Trend
- ▲ fallender Trend

0 25 50 km

Fachdaten:
Kooperation KLIWA



Bodenwasserhaushalt in der Zukunft Grundwasserneubildung: Ausblick in die Zukunft



- Antrieb des Bodenwasserhaushaltsmodells GWN-BW mit Klimaprojektionen (Hochemissionsszenario RCP8.5) bis zum Jahr 2100
- Die Ergebnisse zeigen große Bandbreite & hohe Unsicherheiten
- Aktuelle Entwicklung (auf Basis von Messdaten) am trockenen Rand des Ensembles



Zusammenfassung

- Klimawandel ist da und wirkt sich bereits aus -> wärmer / Niederschlagsveränderungen (Starkregen, Trockenheit).
- Zukünftig weitere Verstärkung Veränderungen Klimawandel -> z.B. Zunahme Verdunstung; Winter werden niederschlagsreicher, Sommer niederschlagsärmer (trockener); Starkregenereignisse häufiger und intensiver, mehr Trockenperioden.
- Auswirkungen auf die Abflüsse -> tw. Unterschiede Ausprägung Nord- / Südbayern; nivale geprägte Regime nehmen stark ab, Bedeutung Schneedecke geht zurück
- Die Grundwasserneubildung der letzten 20 Jahre weist ein erhebliches Defizit auf. Die zukünftige Entwicklung der Grundwasserneubildung ist unklar, jedoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass sie weiterhin sinken wird.
- Aber nicht alle Veränderungen klar und deutlich, teilweise Projektionen für die Zukunft noch uneinheitlich (aktueller Stand der Wissenschaft).



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Holger Komischke

Tel.: 09281/ 1800 - 4810

E-Mail: holger.komischke@lfu.bayern.de

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Klima-Zentrum

Dienststelle Hof

Hans-Högn-Straße 12

95030 Hof



Klima-Zentrum

im Bayerischen Landesamt
für Umwelt