

Stresstest: Zukünftige Grundwasserverfügbarkeit für öffentliche Wasserversorgung und landwirtschaftliche Bewässerung

04.02.2025 | Frank Herrmann (FZJ), Martina Flörke (RUB)

Mitarbeit im Arbeitspaket: Stefan Kollet (FZJ), Thorben Uschan (RUB), Ian McNamara (FZJ), Niklas Wagner (FZJ)



Motivation im Projekt WADKlim

- Die temporären Auswirkungen meteorologischer Trockenheit auf die Nutzung und die Verfügbarkeit von Grundwasser müssen stärker in den Fokus wissenschaftlicher Studien rücken.
 - **Übergeordnete Ziele sind die Vermeidung von Wasserknappheit und die Minimierung von Nutzungskonflikten während „ausgeprägten Dürrezeiten“!**
- Aus Perspektive der (Grund-) Wasserbewirtschaftung müssen **Regionen** mit besonders starker Gefährdung für Wasserknappheit identifiziert und objektiv bewertet werden.
- Eine zunehmende Nachfrage nach Bewässerungswasser in der Landwirtschaft ist in der vergangenen Dekade deutlich geworden, wobei zeitgleich eine reduzierte Grundwasserneubildung beobachtet wurde.
 - **Der Nutzungsdruck auf (Grund-) Wasserressourcen wird vermutlich weiter steigen!**
- Entwicklung von Maßnahmen zum Management von gegenwärtigen und zukünftigen Wassernutzungskonflikten.

Modelle

Simulationen und Datengrundlagen

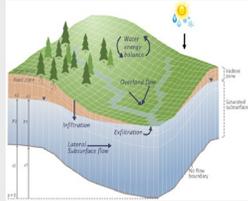
Simulationsergebnisse

Raumzeitliche Analysen

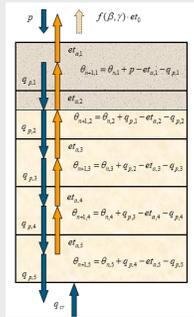
Indizes und Szenarien

Erkenntnisse

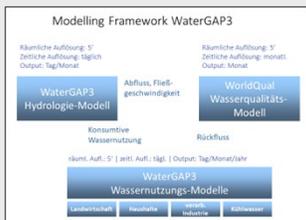
ParFlow/TSMP



mGROWA



WaterGAP3



- Klimadaten des DWD für die beobachtete Vergangenheit
- Klimaprojektionen aus ReKliEs-De:
 - R85-CA2-CLM
 - R85-MI5-CLM
 - R26-E12-RCA
- DESTATIS:
 - Wassergewinnung
- ...

- Unterirdische Wassermengen
- Grundwasserneubildung
- Theoretischer Bewässerungsbedarf
- ...

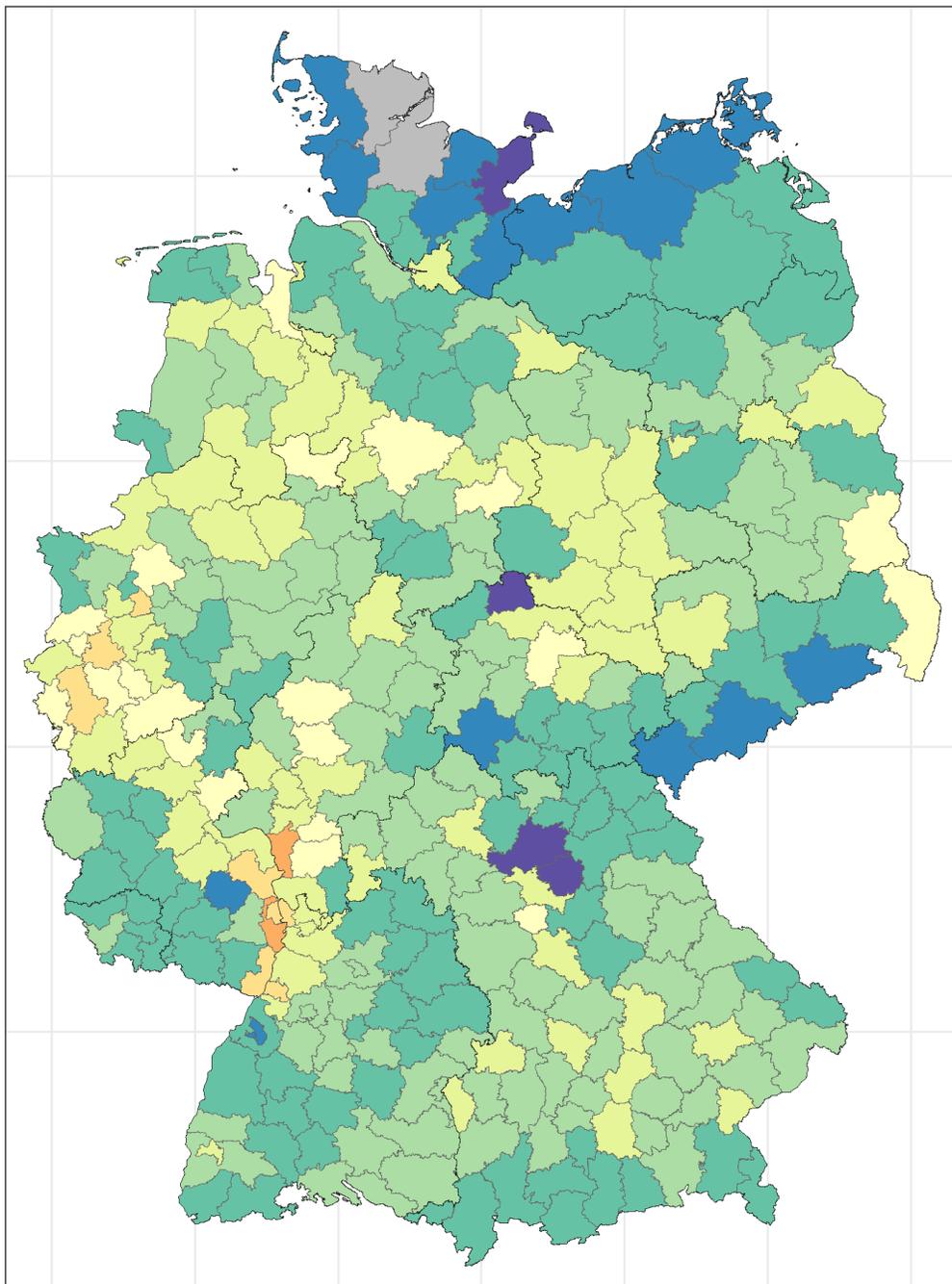
- Identifizierung von Minimumdekaden
- Wachstum der bewässerten Flächen
- ...

- Spezielle Wasserindizes:
 - GWGI, GWNi
- **Wasser-Bilanz-Risiko-Gebiete**
- ...

- Regional spezifisch**
- **Grundwasser-nutzung in Minimumdekaden reduzieren**
 - ...

Modell- und Analyseketten im Projekt WADKlim hilft Unsicherheiten zu reduzieren

WADKlim liefert wichtige Studien zur Bewertung von Wasserknappheit

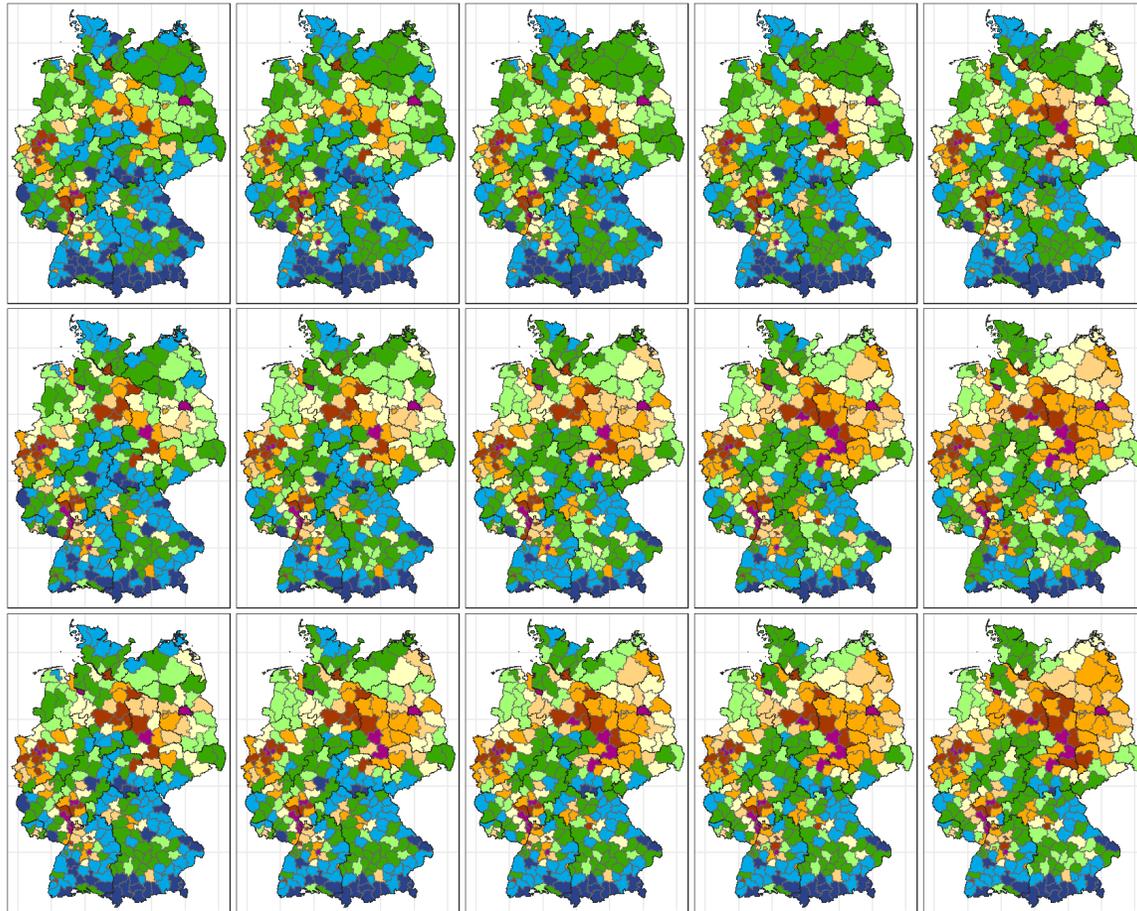


1. Grundwasser-Bilanz-Risiko-Gebiete

Ein Konzept und Punktesystem zur Bewertung der Herausforderungen in der Grundwasserbewirtschaftung:

- Basierend auf objektiven Ergebnissen der Modellkette (Grundwasserthemen)
- Konzeptionell erweiterbar für zukünftige Fragestellungen

WADKlim liefert wichtige Studien zur Bewertung von Wasserknappheit

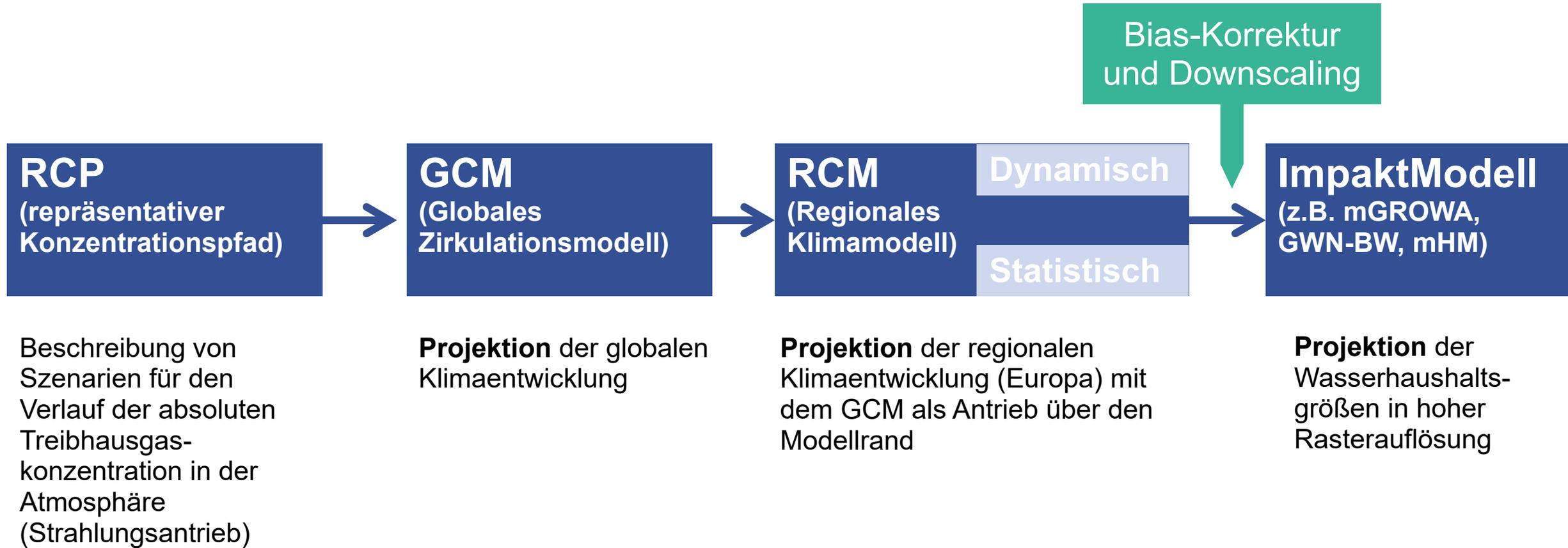


Zukunftsszenarien für den Grundwassernutzungsindex im Stresstest

2. Stresstest Grundwasserverfügbarkeit Wasserversorgung und Bewässerungslandwirtschaft:

- Wachstumsgrenzen der landwirtschaftlichen Bewässerung
- Konzeptionell erweiterbar um ökonomische Fragestellungen

Modellkette für Impact-Modellierungen

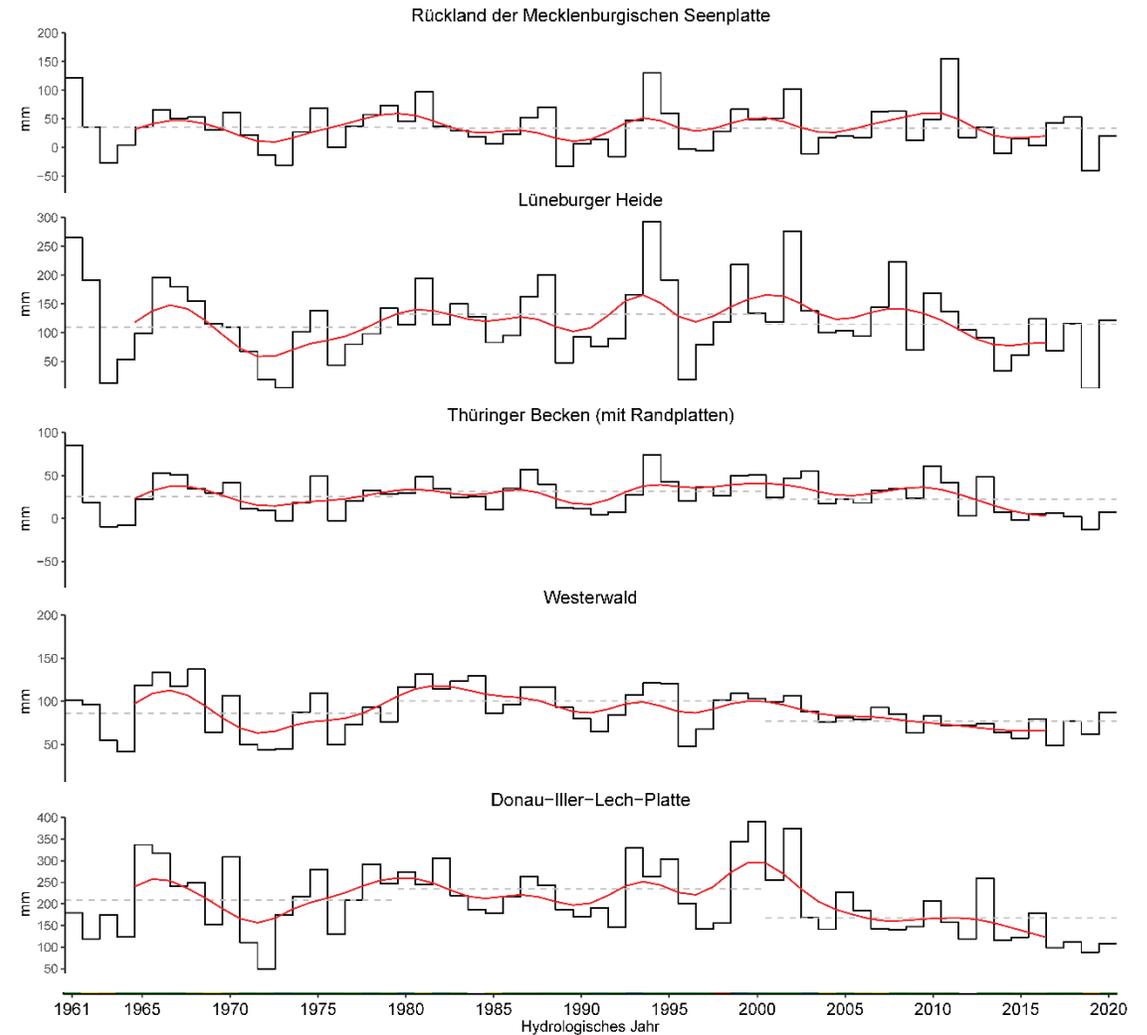
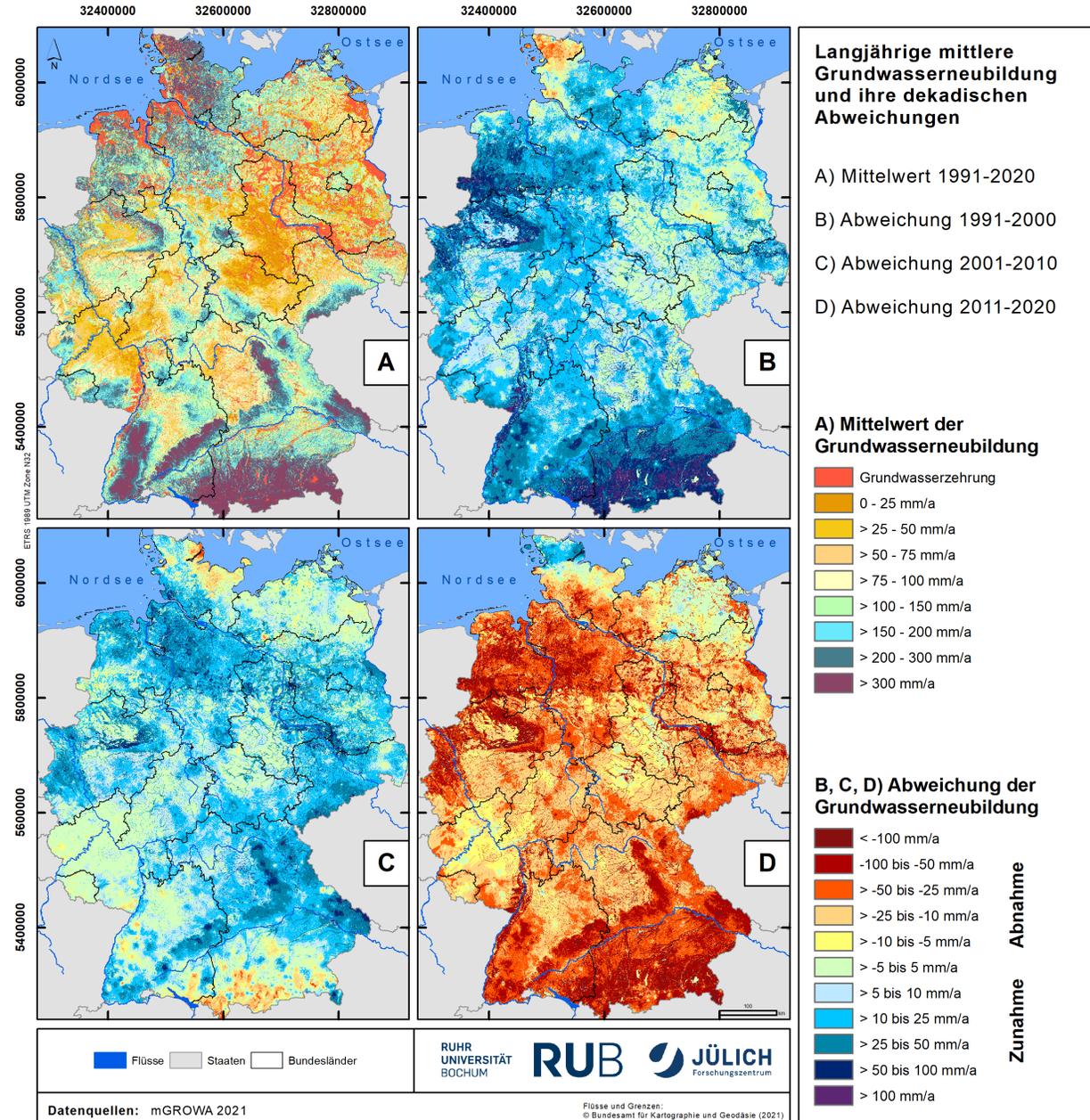


➤ **Modellkette: RCP-GCM-RCM+ImpactModell+Sozioökonomie**

Design des Stresstests „Zukünftige Grundwasserverfügbarkeit für öffentliche Wasserversorgung und landwirtschaftliche Bewässerung“

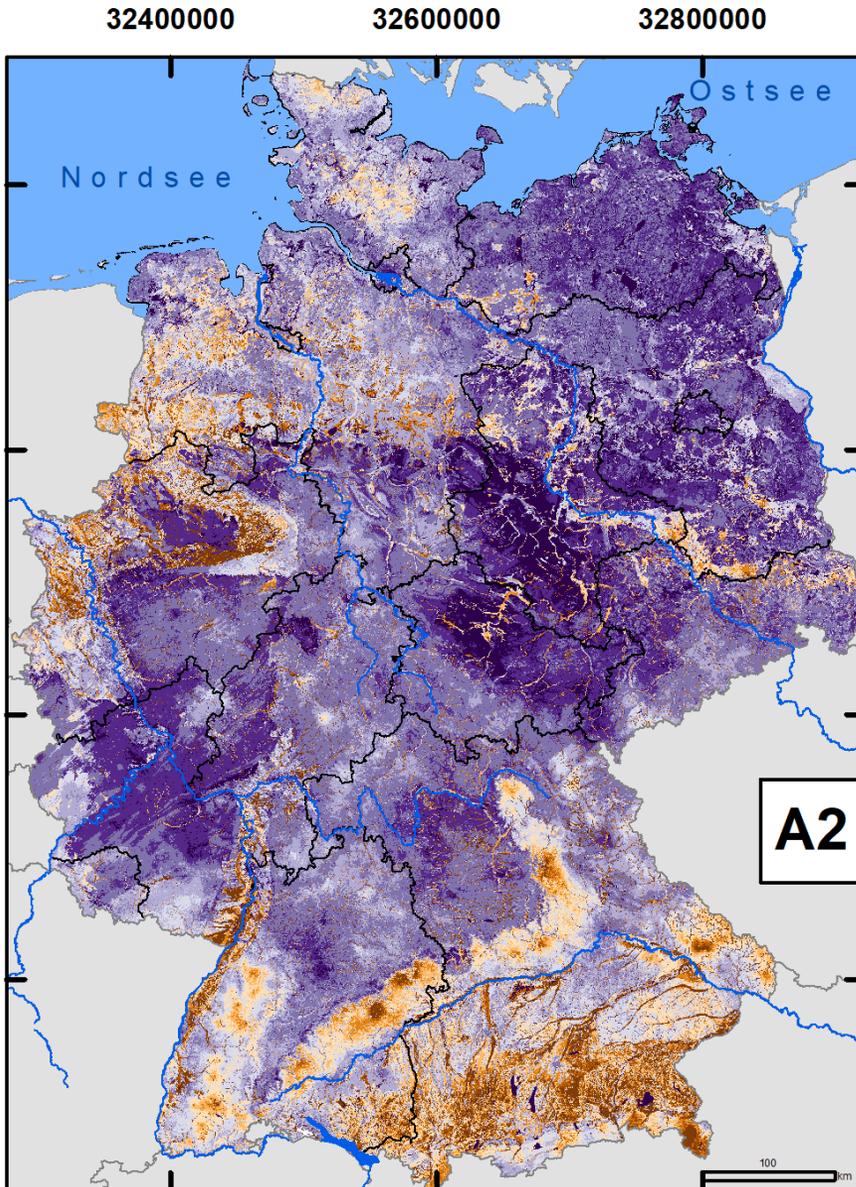
- Drei Klimaprojektionen treiben mGROWA an:
 - Projektion der **Grundwasserneubildung** bis 2100
 - Projektion der **Bewässerungsbedarfe** für 8 Feldfrüchte bis 2100
- Fünf Szenarien für das **Wachstum der tatsächlich für die Bewässerung ausgestatteten Ackerfläche** in Deutschland.
- Ein Szenario für die **gegenwärtige und zukünftige Wassernutzung** (Projektion der Wasserabgabe an die Bevölkerung 2020 bis 2070).
- **Grundannahme:** die Wassernutzung der zwei Sektoren (Bewässerungslandwirtschaft und öffentliche Wasserversorgung) soll ausschließlich aus dem Grundwasser erfolgen.
- **Vorgehensweise:** Berechnung des **Grundwassernutzungsindex (GWNl)** auf der NUTS-3-Ebene für die Kombinationen aus Projektionen und Szenarien **und räumliche Analyse der Veränderungen** der GWNl.

Grundwasserneubildung in Deutschland



➤ **Jährliche Grundwasserneubildung variiert regional unterschiedlich**

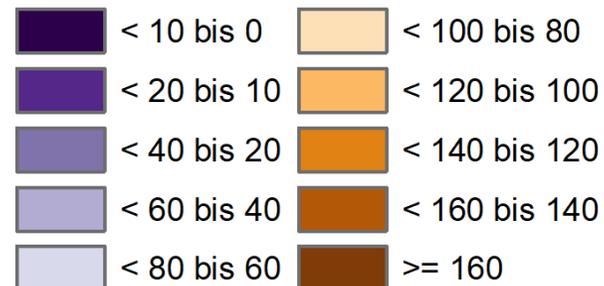
Minimumdekaden der Grundwasserneubildung



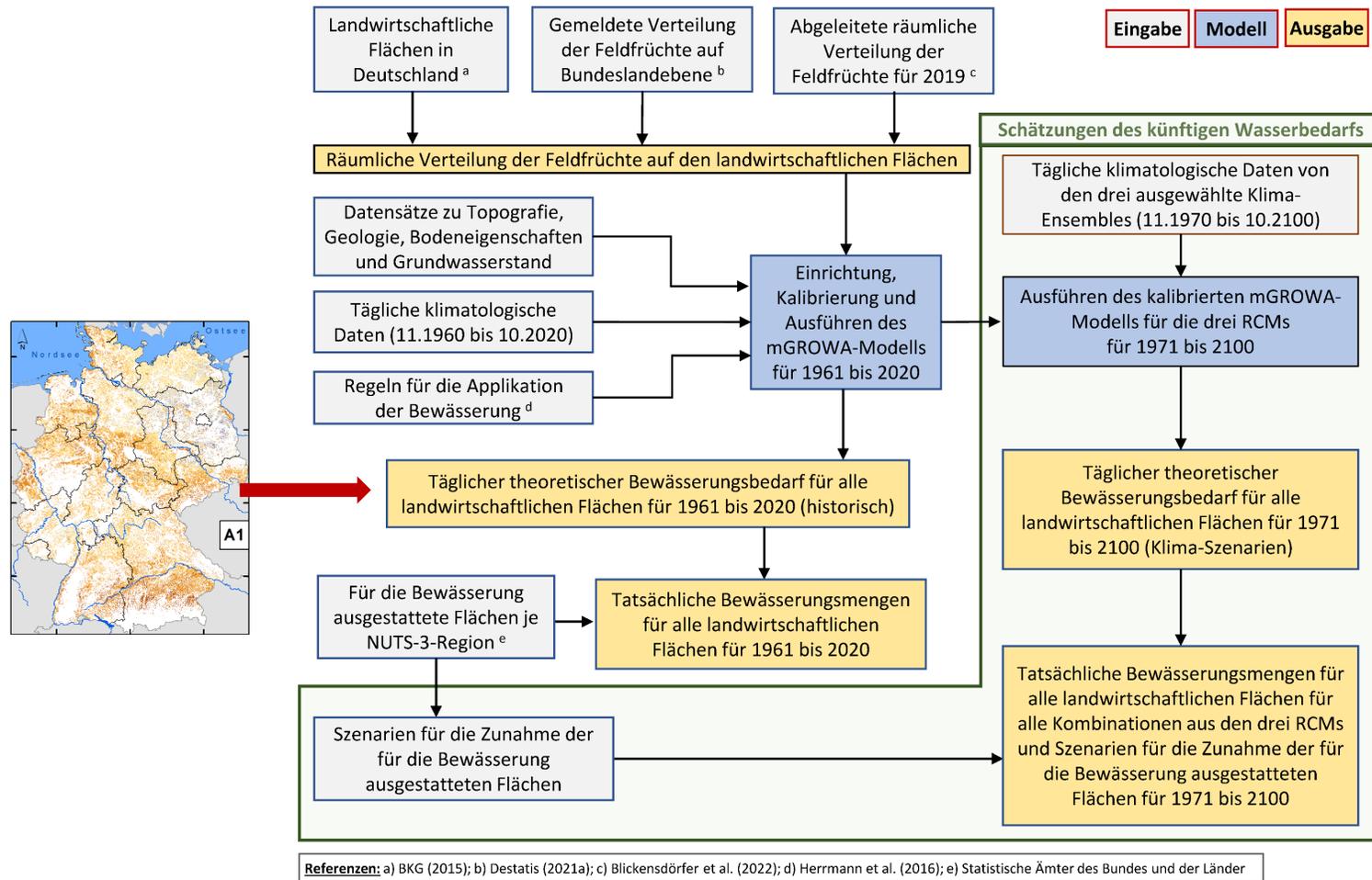
- **Empfehlung:** Berücksichtigung der reduzierten GWNB in längeren Trockenperioden in der wasserwirtschaftlichen Planung (Fliß, R. et al., 2021, Grundwasser, 10.1007/s00767-021-00477-z)

Antwort auf die Frage: **Wie empfindlich reagieren Grundwasserleiter auf Trockendekaden?**

Defizit in der Minimumdekade vs. Mittelwert 1971–2000 in mm/a



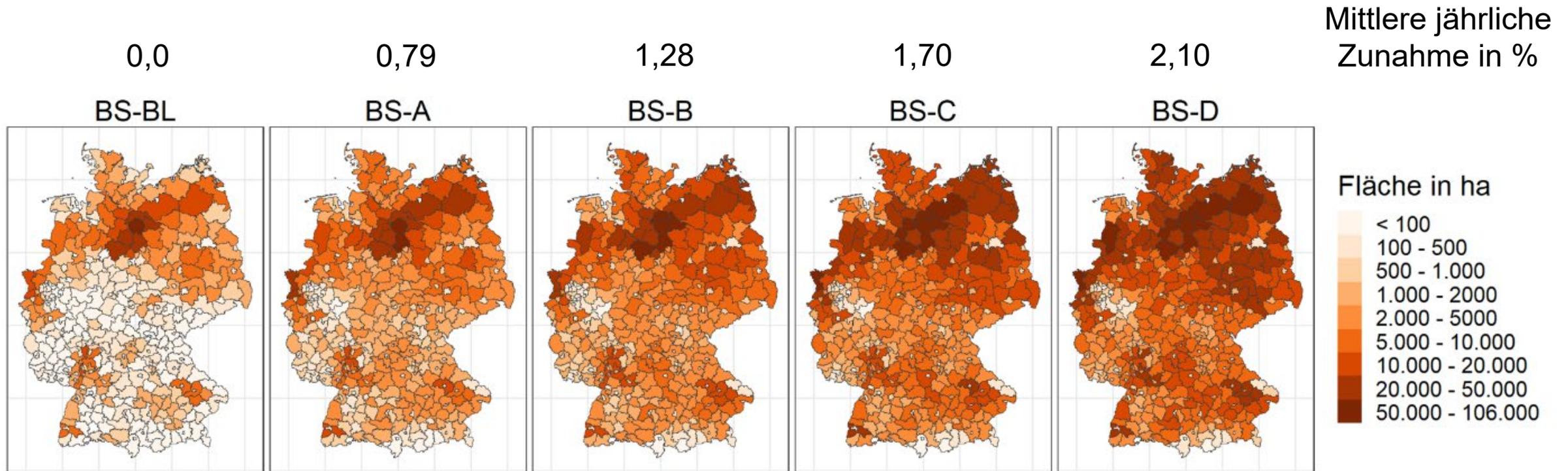
Infografik zur Abschätzung von projizierten tatsächlichen Bewässerungsmengen



Größte Herausforderungen und Quellen für Unsicherheiten:

- Bestimmung der Flächen, die tatsächlich bewässert werden.
- Verteilung der Feldfrüchte in der Zukunft.
- Regeln für die Bewässerungssteuerung in der Zukunft.
- Ökonomie des Wachstums der für Bewässerung ausgestatteten Flächen.

Entwickelte Szenarien für das Wachstum der tatsächlich für die Bewässerung ausgestatteten Ackerfläche bis 2100

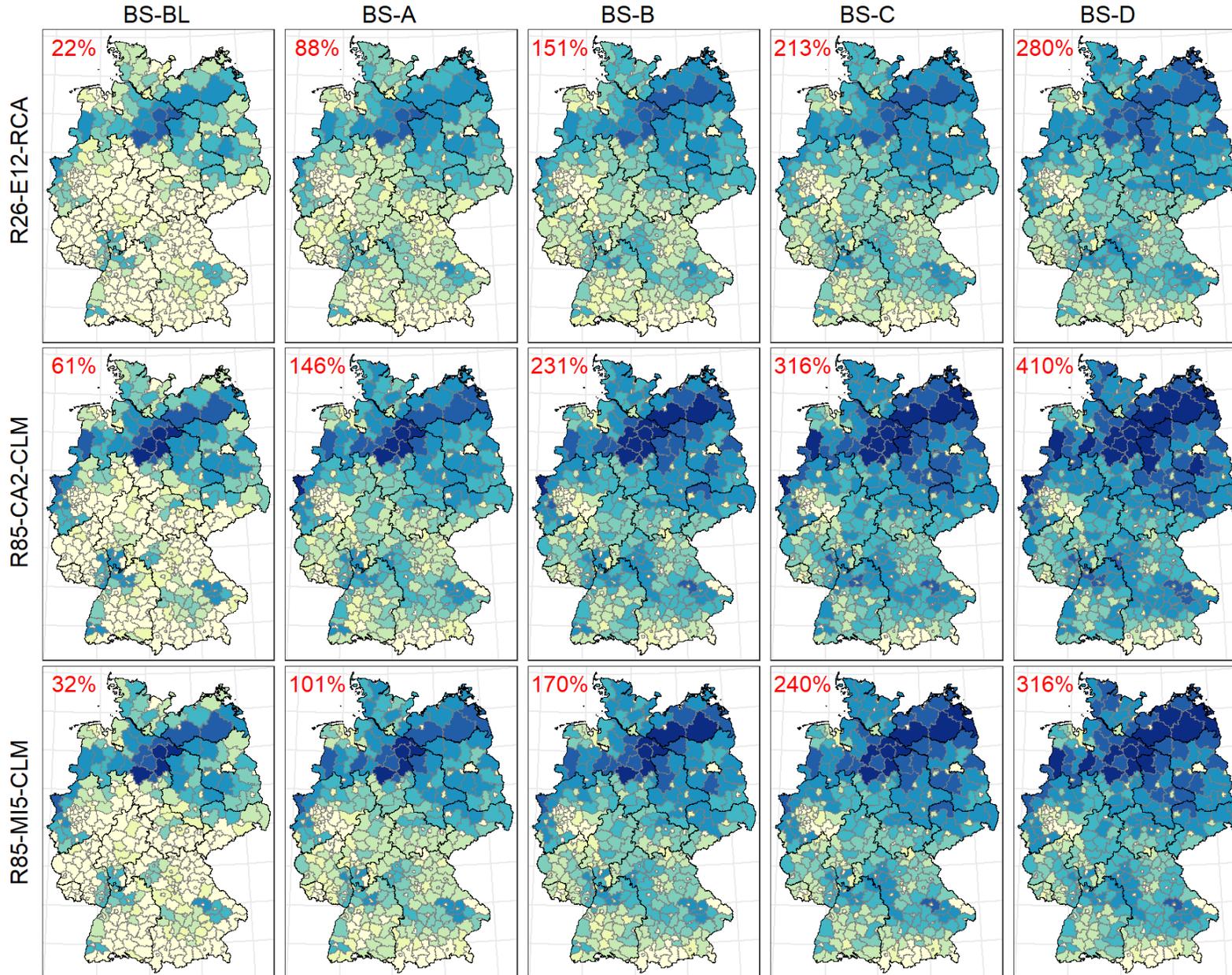


Die beobachtete mittlere jährliche Zunahme der für Bewässerung ausgestatteten Flächen von **1,86 %** im Zeitraum 2009 bis 2019 liegt zwischen den Zuwachsraten der Szenarien C und D.

Bewässerungsbedarf in 5 Wachstums-szenarien für bewässerte Ackerfläche

Zukunftsszenarien zum Bewässerungsbedarf

3 Klimaprojektionen



Mittelwert 2061-2090

Mittlerer jährlicher Bewässerungsbedarf in 10^6 m^3

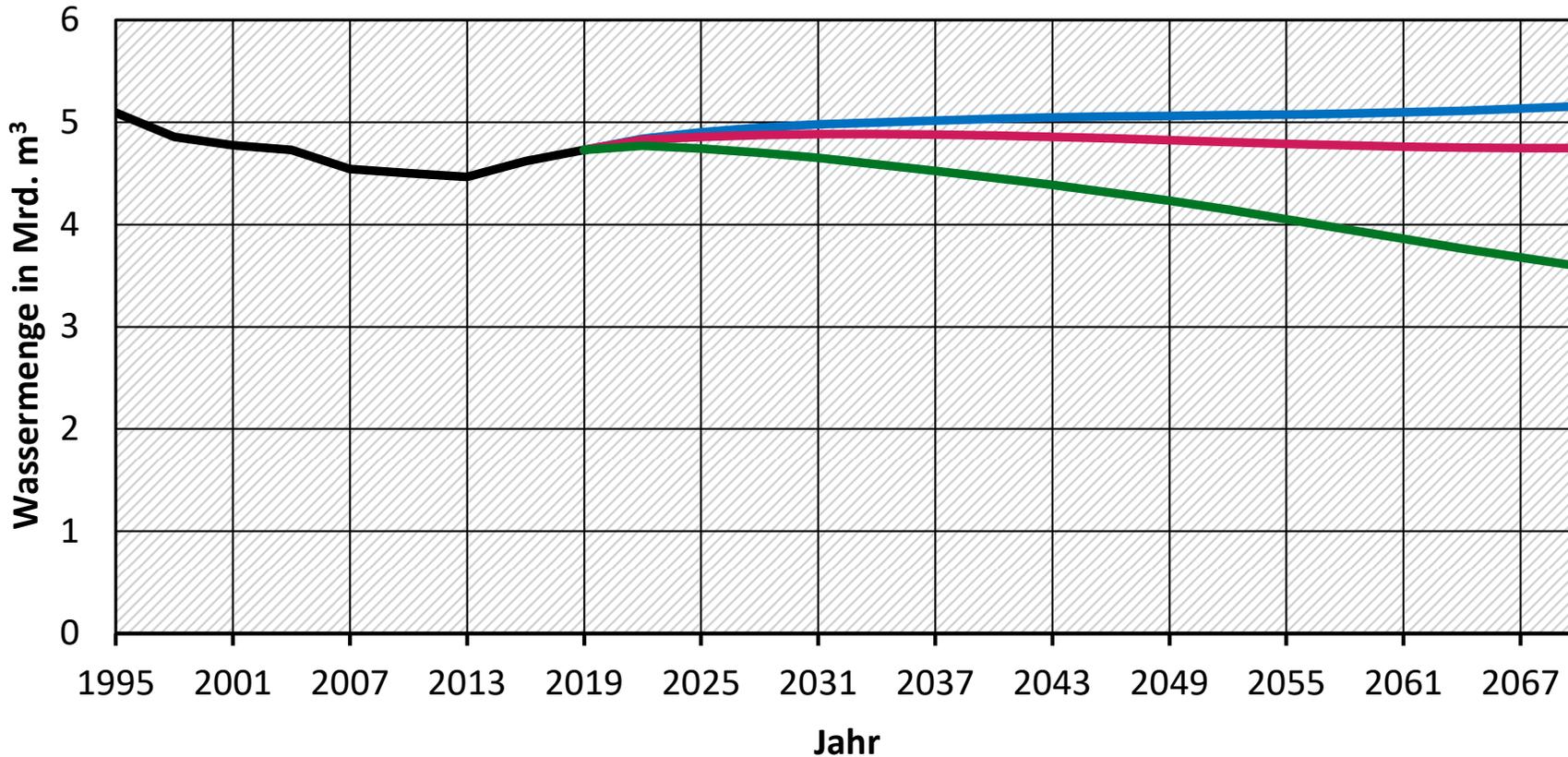


Einflussfaktoren:

- Veränderte Klimavariabilität durch globale Erwärmung
- Wachstumsrate der bewässerten Ackerfläche

Die Prozentwerte oben links zeigen die prozentuale Veränderung in Deutschland im Vergleich zum Zeitraum 1971-2000 der entsprechenden Klimaprojektion.

Projektion der Wasserabgabe an die Bevölkerung



— Reale Entwicklung — Szenario 1 — Szenario 2 — Szenario 3

Szenario 1:

Moderate Entwicklung von Geburtenhäufigkeit und Lebenserwartung, hoher Wanderungssaldo

Szenario 2:

Wie Szenario 1, jedoch moderater Wanderungssaldo

Szenario 3:

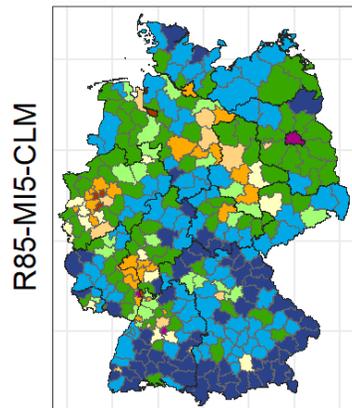
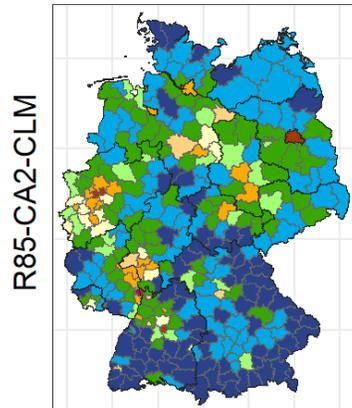
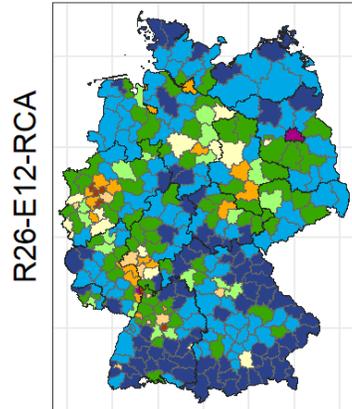
Low Fertility der UN: geringe Fertilität, mittlere Sterblichkeit und internationale Migration

Grundwassernutzung plus 5 Wachstums- szenarien für bewässerte Ackerfläche

Zukunftsszenarien zum Grundwasser- nutzungsindex (GWNI)

3 Klimaprojektionen

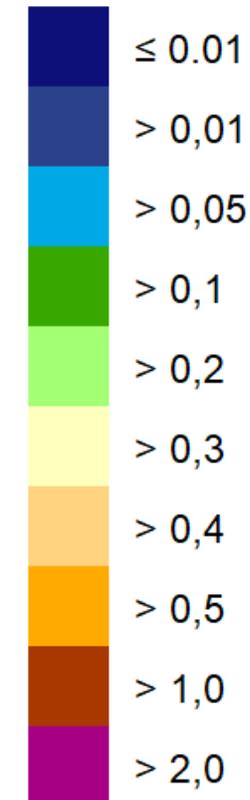
S1 + BS-BL



$$GWNI = \frac{\text{Grundwassernutzung}}{\text{Grundwasserneubildung}}$$

| GWNI | Wasserknappheit |
|-------------|-----------------|
| < 0,2 | keine |
| 0,2 bis 0,4 | evtl. temporäre |
| > 0,4 | schwere |

GWNI



Ist-Zeit-Szenario:

„Ähnlich wie die
Gegenwart“

Wassernutzung:

S1 im Jahr 2020

Bewässerungsbedarf:

Mittelwert 2001-2030

Grundwasserneubildung:

Mittelwert 2001-2030

Grundwassernutzung plus 5 Wachstums- szenarien für bewässerte Ackerfläche

Zukunftsszenarien zum Grundwasser- nutzungsindex (GWNI)

Zukunfts-Szenario:

„2. Hälfte des
Jahrhunderts“

Wassernutzung:

Szenario 1 im Jahr 2070

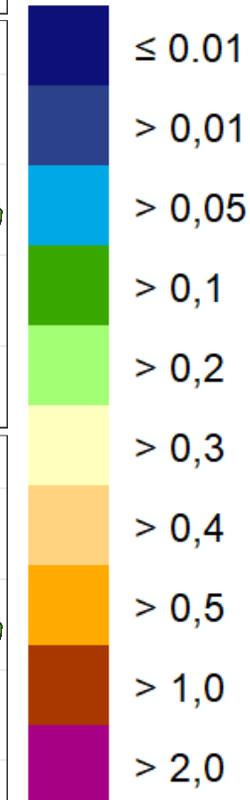
Bewässerungsbedarf:

Mittelwert 2061-2090

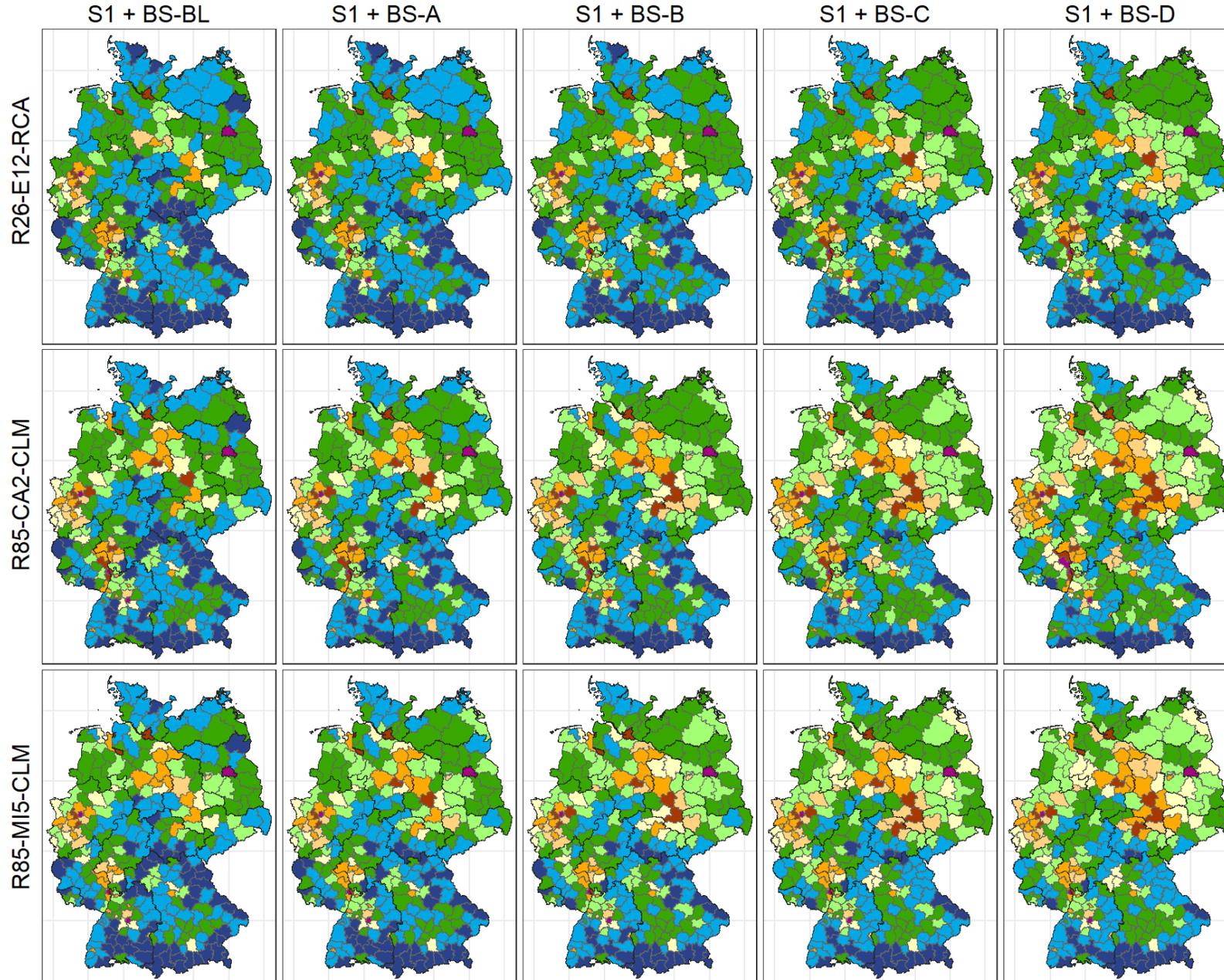
Grundwasserneubildung:

Mittelwert 2061-2090

GWNI



3 Klimaprojektionen



Grundwassernutzung plus 5 Wachstums- szenarien für bewässerte Ackerfläche

Zukunftsszenarien zum Grundwasser- nutzungsindex (GWNI)

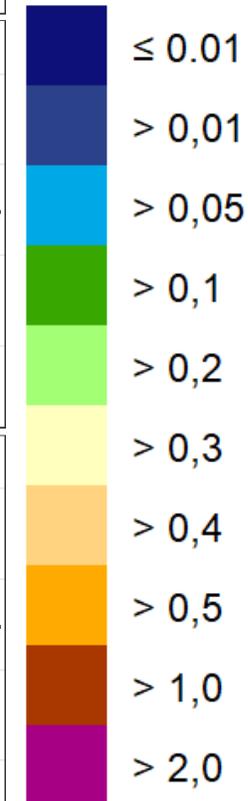
Zukunfts-Szenario:
„Dürre in der 2. Hälfte
des Jahrhunderts“

Wassernutzung:
Szenario 1 im Jahr 2070

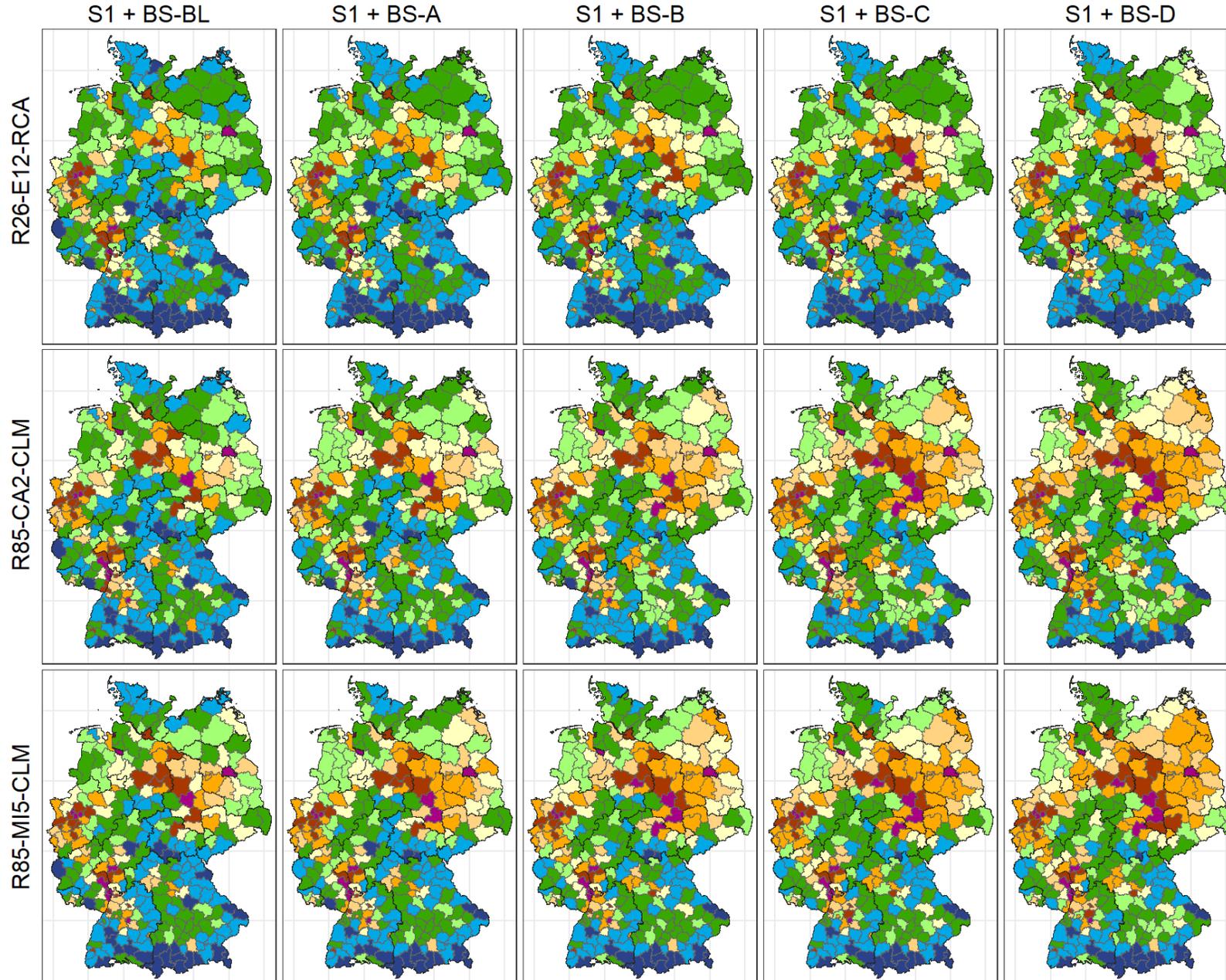
Bewässerungsbedarf:
Mittelwert 2061-2090

Grundwasserneubildung:
Minimumdekade der
Projektionen

GWNI



3 Klimaprojektionen



Zukunftsszenarien zum Grundwassernutzungsindex (GWNI)

Ist-Zeit-Szenario:

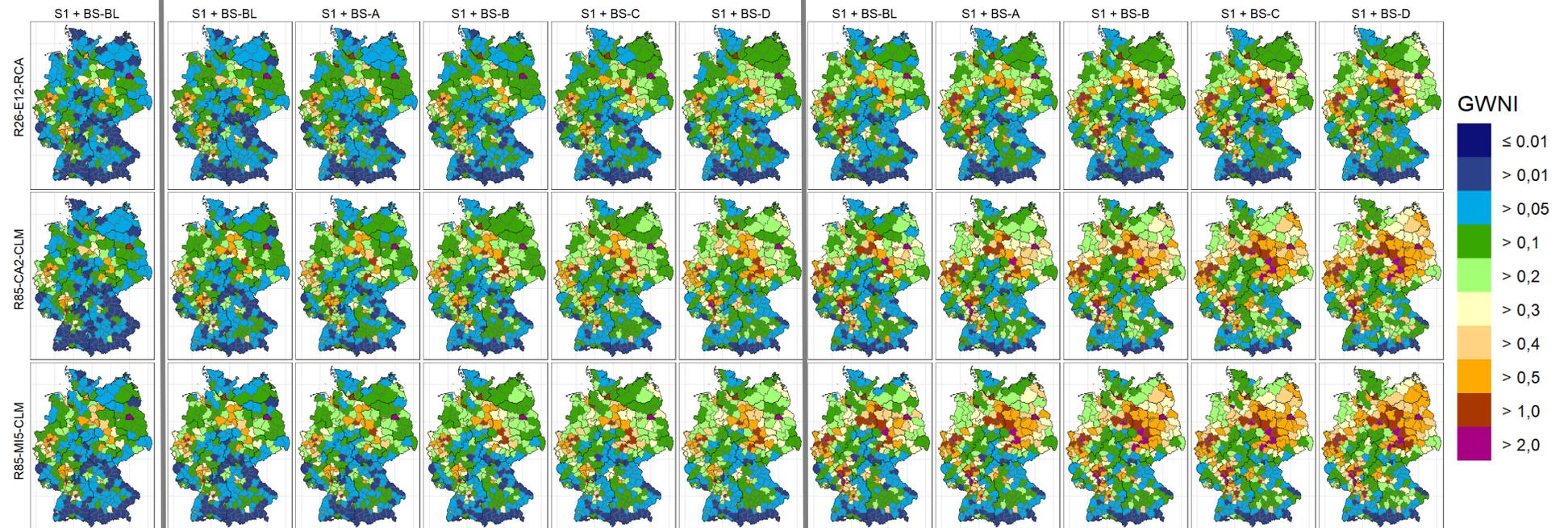
„Ähnlich wie die Gegenwart“

Zukunfts-Szenario:

„2. Hälfte des Jahrhunderts“

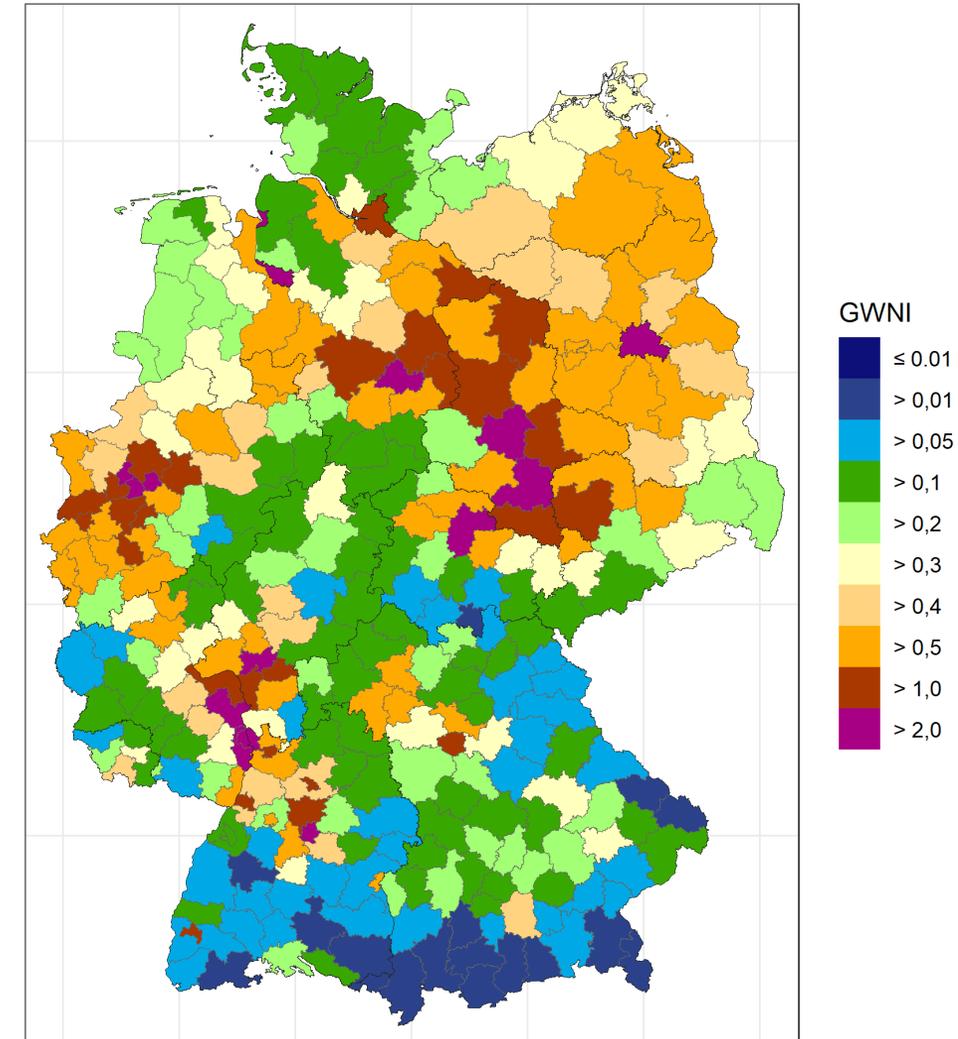
Zukunfts-Szenario:

„Dürre in der 2. Hälfte des Jahrhunderts“



Bewertung und Interpretation

- In Zukunft zunehmender Nutzungsdruck auf Grundwasserressourcen aus der Landwirtschaft (für Bewässerung).
- Stresstest zeigt für Regionen in Deutschland Konfliktpotentiale.
- Schon gegenwärtig regionale Hot-Spots mit Wasserknappheit während Dürrezeiten bekannt.
- Das Wachstum von Bewässerungsflächen hat großen Einfluss auf Veränderung des GWNI.
- Möglichkeiten für Wassertransfers können identifiziert werden.
- Aus den Szenarien kann indirekt auf die maximale Wachstumsrate der Bewässerungsflächen geschlossen werden.
- **Regionen mit GWNI > 0,4 sollten in Detailstudien genauer untersucht werden um Nutzungskonflikten vorzubeugen !!!**



Schlussfolgerungen

- **Anschlussfähigkeit der Methodik:**
 - Anwendbar auf andere Gebietskulissen, z.B. Grundwasserkörper.
 - Modelloffen, d.h. Substitution von Modellen und Bilanzen ist möglich (z.B. von Landwirtschaftskammern, Bewässerungsverbänden, Thünen-Institut, etc.).
- **Einschränkungen zum Stresstest:**
 - In einigen Regionen müssten die Ergebnisse durch Detailstudien präzisiert werden, z.B.:
 - Regionen, die schon heute von relevanten Wassertransfers abhängig sind.
 - Regionen, in denen Wasserversorgung hauptsächlich aus Trinkwassertalsperren stattfindet.
 - Für Gemüse wurden noch keine flächendeckenden Bewässerungsmengen projiziert.
- **Weiterer Forschungsbedarf und Verbesserung der Datenbasis:**
 - Berücksichtigung ökonomischer Anreize, dürre-resistenter Feldfrüchte, klimaangepasster Fruchtfolgen, Verschiebung von Entwicklungsstadien und effizienter Bewässerungstechnologien in den Projektionen der Bewässerungsbilanzen.

Auswahl von Schlussfolgerungen aus dem Projekt WADKlim

- Eine umfassende objektive Datenbasis zum Wasserdargebot und zur Wassernutzung ist zwingend notwendig, um Wassernutzungskonflikte frühzeitig zu erkennen und ihnen strategisch zu begegnen.
- Die Wasserbewirtschaftung muss neue erweiterte Planungsgrundlagen zur Charakterisierung von Dürre in ihre Prozesse integrieren.
- Die Wasserbedarfe der Ökosysteme sind derzeit nicht flächendeckend in die „Gesamtrechnungen“ einbezogen, dies ist aber zwingend notwendig.
- Die Priorisierungsfrage für Wassermangel-Situationen ist zu stellen.
- Der **WADKlim-Maßnahmenkatalog** liefert vielfältige Interventionsmöglichkeiten zur Konfliktvermeidung für alle betroffenen Sektoren.

Vielen Dank!

Download des Berichts *open access* über das Umweltbundesamt:

<https://www.umweltbundesamt.de/dokument/wadklim-abschlussbericht-texte-1432024>

Website des Umweltbundesamt mit zusätzlichen Ergebnissen:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/extremereignisse/niedrigwassertrockenheit>

McNamara, et al.: Estimates of irrigation requirements throughout Germany under varying climatic conditions. *Agricultural Water Management* 291 (2024) DOI: 10.1016/j.agwat.2023.108641

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377423005061>

<https://datapub.fz-juelich.de/mgrowa/>

Die Studien wurden im Rahmen des Projektes WADKlim (Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit – Anpassung an Trockenheit und Dürre in Deutschland) durch das Umweltbundesamt gefördert. Die Fachbegleitung am Umweltbundesamt wurde durch das Fachgebiet II 2.1 Übergreifende Angelegenheiten Wasser & Boden geleistet. Projektnummer FKZ: 3720 48 278 0

U n s e r D a n k g e h t a n C o r i n n a B a u m g a r t e n u n d B e r n d K i r s c h b a u m

**Umwelt
Bundesamt** 