

Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit – Anpassung an Trockenheit und Dürre in Deutschland

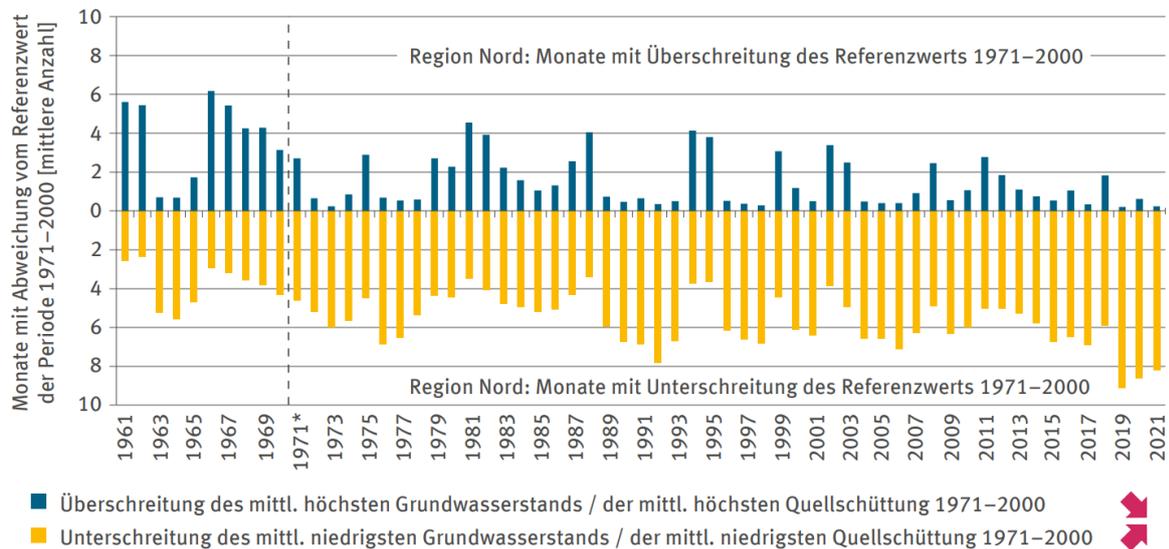
Ergebnisse der Grundlagenstudie „WADKlim“ im Auftrag des Umweltbundesamts)

1 Hintergrund

Der Klimawandel und seine Folgen sind bereits jetzt in Deutschland spürbar und lassen sich durch die Beobachtungen vieler Institutionen eindeutig belegen. Die Auswirkungen des Klimawandels durch vermehrt auftretende Hitzewellen und Dürren führen auch in Deutschland zu Niedrigwasserständen, regionaler Wasserknappheit und Wassernutzungskonflikten. So zeigen die im Monitoringbericht der Deutschen Anpassungsstrategie von 2023 dargestellten Daten ausgewählter Grundwasserstände, dass im Vergleich zum langjährigen Mittel Monate mit unterdurchschnittlich niedrigen Grundwasserständen signifikant häufiger werden - im Norden Deutschlands deutlicher ausgeprägt als im Süden und statistisch signifikant (Abb. 1). Treten Niederschlagsdefizite über mehrere Jahre auf, führt das zu verringerten Grundwasserständen. In beiden Regionen kam es als Folge der extrem trockenen Jahre 2018 bis 2020 ab 2019 zu Rekordniedrigständen (UBA 2023).

Eine zunehmende Anzahl von Wassernutzungskonflikten verdeutlicht die Notwendigkeit, die heutige Situation und die zu erwartenden Entwicklungen der Wasserverfügbarkeit in den nächsten Jahren detaillierter zu analysieren. Wenn weniger Wasser zur Verfügung steht und neue Nutzungsansprüche (wie. z.B. weitere landwirtschaftliche Bewässerung oder Wasserstoffproduktion) hinzukommen, werden zukünftig mehr Personengruppen als heute um die knapper werdende Ressource Wasser konkurrieren. Um die Auswirkungen des Klimawandels zu begrenzen und damit zusammenhängende zukünftige ökologische, wirtschaftliche und soziale Schäden zu mindern, müssen verstärkt Anpassungsmaßnahmen „nachgesteuert“ und neue Handlungsoptionen geprüft werden. In diesem Zusammenhang ist die zukünftige Entwicklung des Wasserdargebots auf regionaler Ebene von bedeutender Rolle. Es besteht die Notwendigkeit, Handlungsoptionen auf verschiedenen Ebenen zu analysieren, um mit potenziellen Wassernutzungskonflikten in Deutschland umzugehen und diese zu vermeiden.

Abbildung 1: In den nördlichen Bundesländern führten die extrem trockenen Jahre 2018 bis 2020 dazu, dass die Grundwasserstände vieler Messstellen zuletzt Rekordtiefstände verzeichneten. Im Durchschnitt der Jahre 2019 bis 2021 lagen – über alle betrachteten Messstellen gemittelt – die Monatsmittel der Grundwasserstände oder Quellschüttungen an mehr als 8,5 Monaten im Jahr unter dem langjährigen Mittel der niedrigsten Grundwasserstände oder Quellschüttungen.



Region Nord: Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein
 * Erweitertes Messstellenkollektiv ab 1971

Datenquelle:
 Grundwassermessnetze der Länder

Quelle: Umweltbundesamt

2 Zielsetzung und methodisches Vorgehen

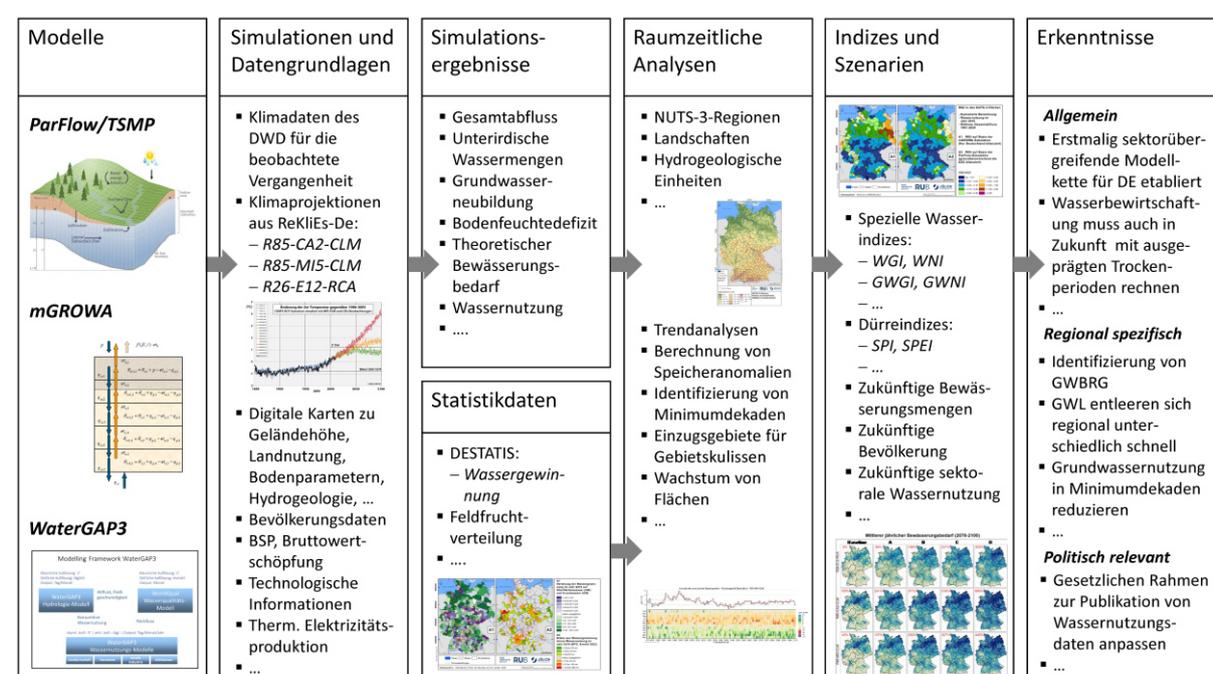
Vor diesem Hintergrund hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) zusammen mit dem Umweltbundesamt (UBA) das Projekt „Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit / Anpassung an Trockenheit und Dürre in Deutschland“ (WADKlim) initiiert. Im Vorhaben sollten die Auswirkungen von Trockenheit und Dürre auf die Wasserverfügbarkeit, den Bodenwasserhaushalt und das Grundwasser in Deutschland untersucht und mögliche Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen für die Wasserbewirtschaftung entwickelt werden. Damit liefert WADKlim einen Beitrag für die in der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel und in der Nationalen Wasserstrategie formulierten Zielstellungen.

WADKlim in Kürze

Das Umweltbundesamt (UBA)-Projekt „Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit – Anpassung an Trockenheit und Dürre in Deutschland“ (WADKlim) erforscht die Auswirkungen von Trockenheit und Dürre auf Flüsse und Seen, das Wasserdargebot, den Bodenwasserhaushalt und die Grundwasserverfügbarkeit in Deutschland. Das Projekt schafft einen **Überblick über die gegenwärtige Wasserverfügbarkeit in Deutschland**, sowie deren **zukünftige Entwicklung** unter Klimawandelbedingungen. Weiterhin analysiert das Vorhaben aktuelle und zukünftige **Wassernutzungskonflikte in Deutschland** und entwickelt **Lösungsstrategien und Maßnahmen**, die zum vorausschauenden Umgang und zur Vermeidung von Nutzungskonflikten beitragen können. Zudem werden die Möglichkeiten, Chancen und Risiken der **Wasserwiederverwendung zur Bewässerung im urbanen Raum** dargestellt und bewertet.

Das Projekt führt klimatische, hydrologische und wassernutzungsgetriebene Indizes zusammen. Mit der eingesetzten sektorübergreifenden Modellkette wurden erstmalig regional-spezifische Erkenntnisse gewonnen, die verdeutlichen, dass auch in Zukunft mit ausgeprägten Trockenperioden und Wasserknappheit gerechnet werden muss. Abbildung 2 verschafft einen Überblick über die Herangehensweise im WADKlim-Projekt.

Abbildung 2: Schema und Überblick zu den Modellen, Daten, Analysen, Indizes und Szenarien, die im Projekt WADKlim zu Erkenntnissen führen.



Quelle: Forschungszentrum Jülich und Ruhr-Universität Bochum.

Die Ergebnisse des WADKlim Vorhabens werden ausführlich und detailliert im [Abschlussbericht](#) und dessen Anlagen beschrieben. Im Folgenden werden zentrale Ergebnisse des WADKlim Vorhabens dargestellt.

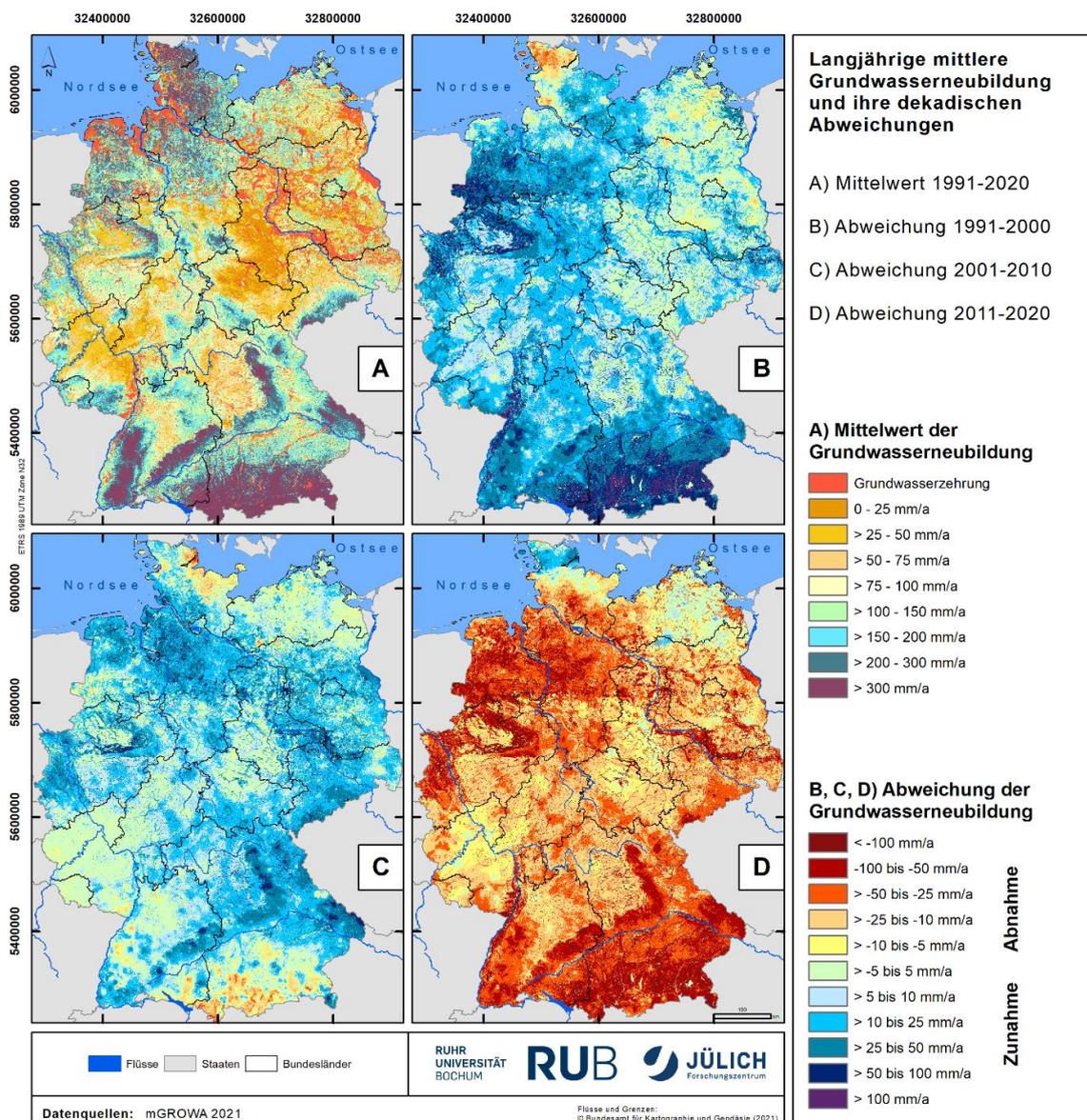
3 Zentrale Ergebnisse

3.1 Aktuelle und zukünftige Entwicklungen des Wasserdargebotes und der Grundwasserverfügbarkeit

- ▶ **Der Rückgang des Wasserdargebotes der letzten Dekade ist statistisch signifikant, jedoch räumlich variabel.** Der statistisch signifikante Rückgang des Dargebotes in der vergangenen Dekade 2011 – 2020 hat seine Ursachen einerseits in der natürlichen Klimavariabilität, andererseits werden mittlerweile die Auswirkungen des anthropogen verursachten Klimawandels auf den Wasserhaushalt sichtbar, welcher durch leicht veränderte saisonale Niederschlagsmuster, erhöhte Lufttemperaturen und damit einem veränderten Verdunstungsniveau wirksam wird. Letztendlich ist die Überlagerung von natürlicher Klimavariabilität und anthropogenem Klimawandel für die als sehr stark ausgeprägt wahrgenommene Trockenheit und damit einhergehende Reduzierung des Dargebotes in der vergangenen Dekade verantwortlich.

Mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA wurde eine räumlich und zeitlich hochaufgelöste Simulation des Wasserhaushalts in Deutschland für die Zeit von 1961 bis 2020 durchgeführt. Im Hinblick auf die Fragestellungen im Projekt WADKlim wurde insbesondere die modellierte Grundwasserneubildung detaillierter analysiert (Abbildung 3). Die Kartendarstellung zeigt deutlich, dass in vielen Regionen Deutschlands in den beiden Dekaden von 2001 bis 2020 gegenüber den Dekaden von 1981 bis 2000 nur eine unterdurchschnittliche Grundwasserneubildung (GWNB) stattgefunden hat.

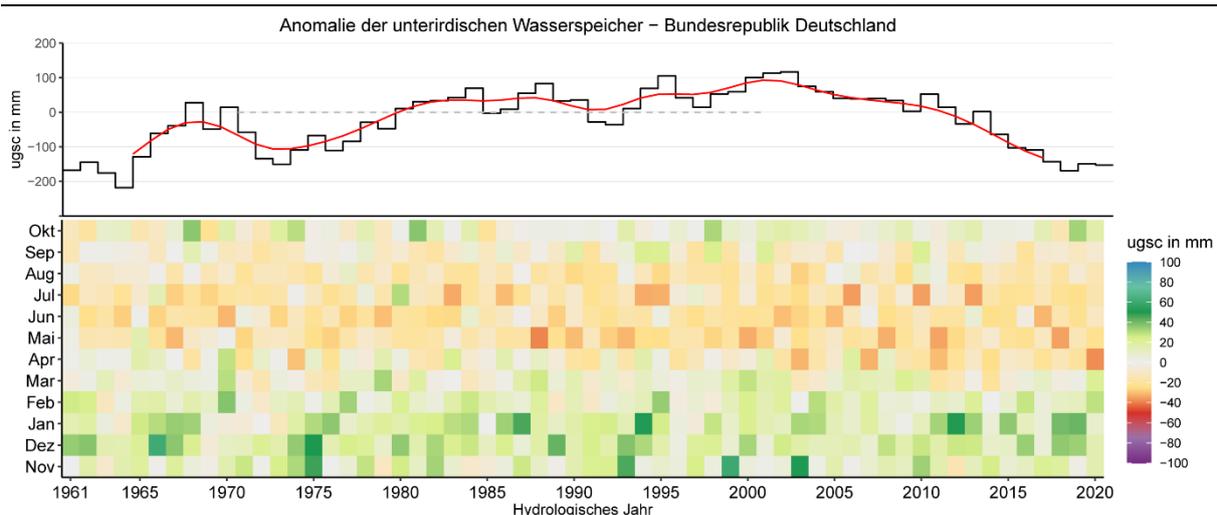
Abbildung 3: Auf Basis von Simulationen berechnete langjährige mittlere Grundwasserneubildung (GWNB) in der Periode 1991-2020 und die mittleren Abweichungen gegenüber der langjährigen mittleren GWNB in den 3 einzelnen Dekaden dieser Periode. Die Abweichungen im Bereich -5 bis 5 mm/a deuten auf eine praktisch unveränderte GWNB hin.



Quelle: Forschungszentrum Jülich.

Aufgrund der veränderten zeitlichen Niederschlags- und Verdunstungsmuster der vergangenen Dekaden sind auch die Veränderungen im Füllstand des Bodengewässerspeichers in den Fokus genauerer Untersuchungen gerückt. Einen ersten Überblick über die zeitlich und räumlich stark variierenden Anomalien im Füllstand der unterirdischen Wasserspeicher (FUWS) gibt die Abbildung 4. Für diese sind die Daten über das gesamte Gebiet der Bundesrepublik Deutschland aggregiert worden. Im oberen Teil der Abbildung sind die Abweichungen der Füllstände zum langjährigen mittleren Füllstand Ende Oktober des Wasserwirtschaftsjahres der 30-Jahres-Perioden 1971-2000 dargestellt. Zusätzlich ist in Rot die Tiefpass-gefilterte Zeitreihe dargestellt, d.h. es werden dadurch die mittelfristigen Schwankungen hervorgehoben und längerfristige Trends deutlicher sichtbar. In Grau gestrichelt ist außerdem dieser Mittelwert dargestellt. Negative Werte zeigen einen geringeren Füllstand an. Der untere Teil der Abbildung 4 zeigt farblich kodiert die Veränderungen zum jeweiligen Vormonat und damit die saisonalen Muster der Auffüllung im Winterhalbjahr und der Entleerung im Sommerhalbjahr. Monate mit Zunahmen erscheinen in grünen Farbtönen, Monate mit Abnahmen in gelben Farbtönen.

Abbildung 4: Simulierte Veränderung des Füllstands unterirdischer Wasserspeicher (FUWS in Millimeter Wassersäule) in Bezug auf den mittleren Füllstand von 1971-2000, aggregiert für das gesamte Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. (ugsc - underground storage change, Änderung im FUWS). Die Spannweite der Legende ist auch für die Darstellung in individuellen Grundwasserkörpern gedacht, die im Abschlussbericht für einzelne Landkreise (NUTS-3-Regionen) gezeigt werden.



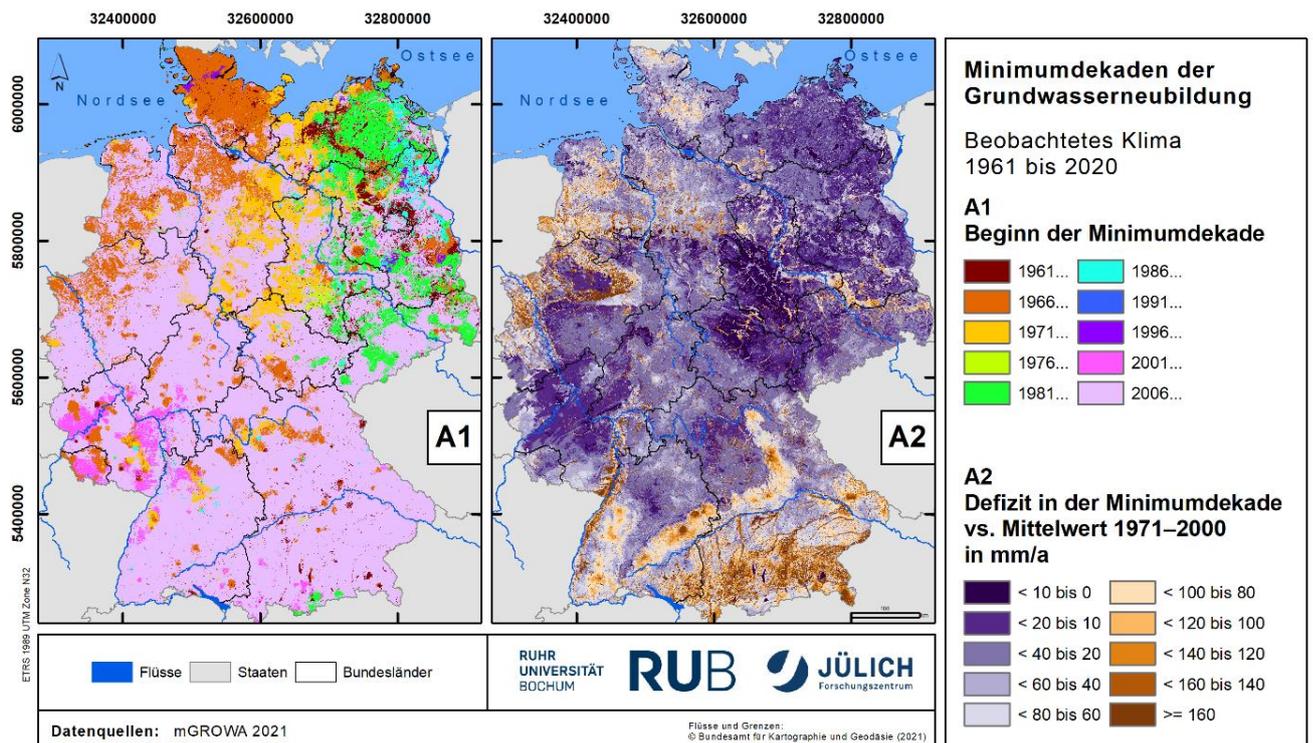
Quelle: Forschungszentrum Jülich.

Deutlich erkennen lässt sich im oberen Teil der Abbildung 4, dass der Füllstand unterirdischer Wasserspeicher (FUWS) in Deutschland bis ungefähr zum Jahr 2000 aufgrund der überdurchschnittlichen Grundwasserneubildung tendenziell gestiegen ist. Seitdem findet tendenziell eine Entleerung statt, die jedoch räumlich unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Insgesamt haben sich die Wasserspeicher in Deutschland in Bezug auf den gezeigten langjährigen Mittelwert 1971-2000 nur durch das Zusammenspiel aus Sickerwasserbildung und Basisabfluss deutlich entleert. Die absoluten Werte sind derzeit noch Gegenstand wissenschaftlicher Diskussion. So sind z.B. Vergleiche mit Ergebnissen aus der Satellitengravimetrie empfehlenswert.

- **Anwendung des Konzepts der Minimumdekade für die Grundwasserneubildung.** Dadurch können Veränderungen der hydrologischen Größen gezeigt werden, die bei der Verwendung von 30jährigen Mittelwerten nicht entsprechend hervortreten würden, z.B. zeigt sich für die Grundwasserneubildung (GWNB), dass der Beginn der identifizierten Mini-

mumdekade in vielen Regionen Deutschlands nach dem Jahr 2006 liegt (Abbildung 5). Bemerkenswert ist jedoch, dass in räumlicher Nähe zu den Bereichen mit einem Beginn nach 2006 die Minimumdekaden schon in den 1960-iger oder 1970-iger Jahren stattfanden, im Osten Deutschlands auch in den 1980igern. Daraus kann geschlossen werden, dass sich derzeit in sehr vielen Regionen die GWNB praktisch auf das Niveau der Minimumdekade hinbewegt oder dieses kürzlich erreicht hatte. Von dieser Entwicklung ausgenommen scheint der Norden Deutschland zu sein.

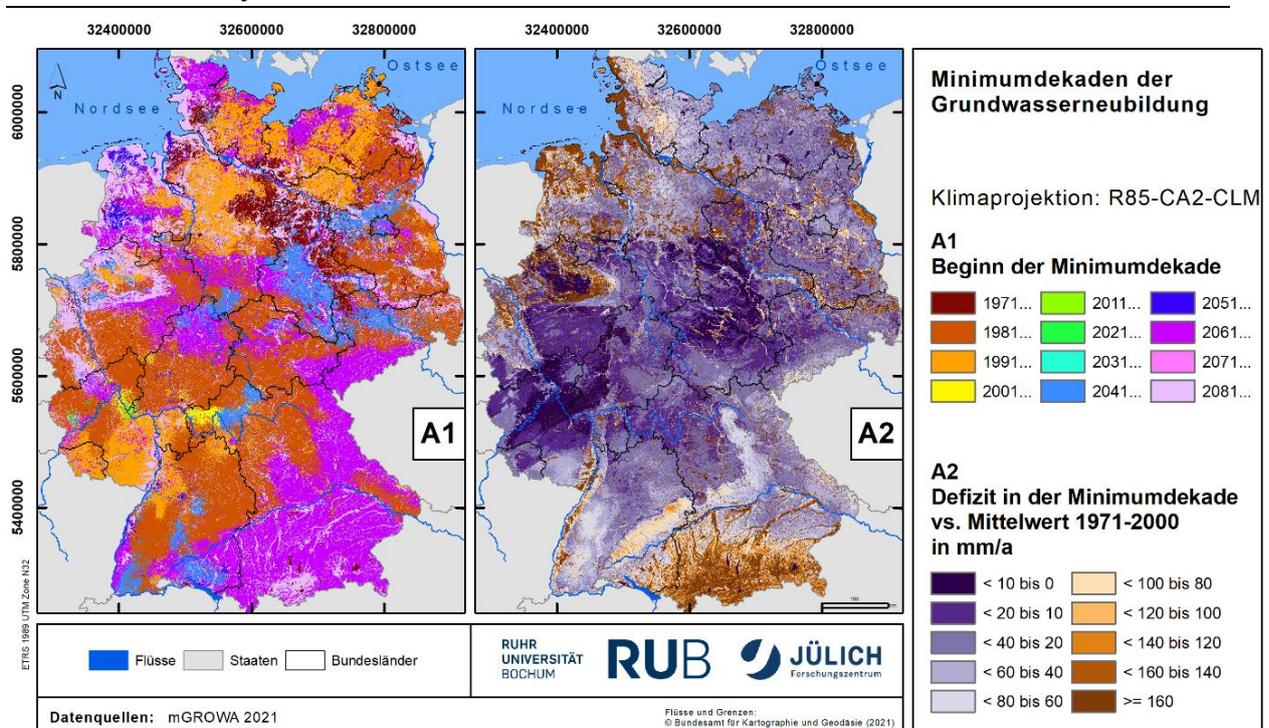
Abbildung 5: Beginn der Minimumdekade und Defizit der Grundwasserneubildung (GWNB) in der jeweiligen Minimumdekade im Vergleich zum Mittelwert 1971-2000.



Quelle: Forschungszentrum Jülich.

Die zukünftige Entwicklung stellt sich je nach verwendetem Klimaszenarium unterschiedlich dar. Es gibt deutliche Tendenzen, dass in großen Teilen Deutschlands die Minimumdekaden eher in der Zukunft liegen, als in der Vergangenheit (z.B. R85-MI5-CLM, Abbildung 6).

Abbildung 6: Minimumdekaden der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung (GWNB). Projektion basierend auf R85-CA2-CLM und mGROWA.



Quelle: Forschungszentrum Jülich.

Insgesamt ergibt sich ein sehr diverses Bild des möglichen Auftretens der Minimumdekaden, d.h. es deutet in den drei im WADKlim-Projekt betrachteten Projektionen nichts darauf hin, dass in Zukunft alle Regionen Deutschlands nahezu gleichzeitig von ausgeprägten und aus klimatologischer Perspektive minimaler Grundwasserneubildung betroffen sein könnten.

3.2 Modellierung der theoretischen zukünftigen Bewässerungsbedarfe

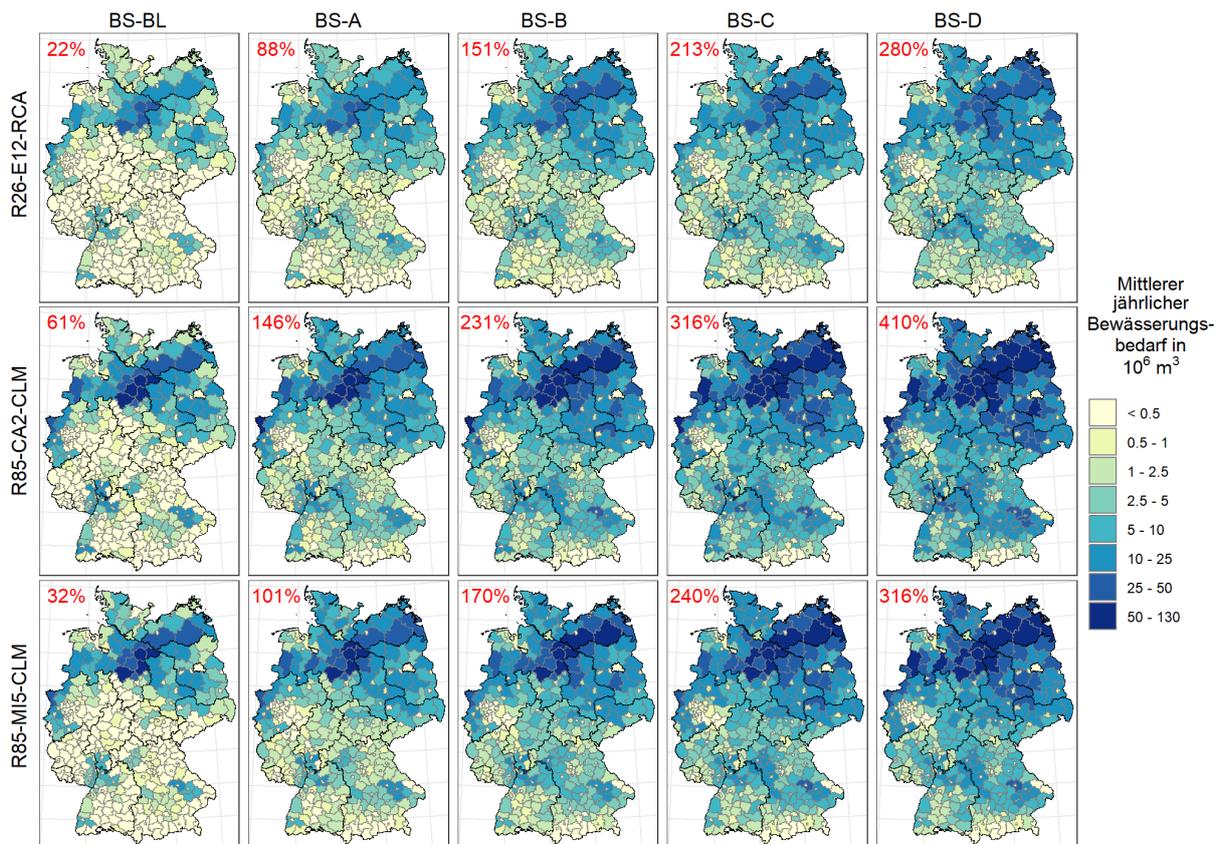
Die Projektion der zukünftigen theoretischen Bewässerungsbedarfe für acht sehr häufig angebaute Feldfrüchte von 1971 bis 2100 wurde ebenfalls auf Basis der drei im WADKlim-Projekt ausgewählten Klimaprojektionen R26-E12-RAC, R85-CA2-CLM und R85-MI5-CLM durchgeführt. Die mittlere jährliche Zunahme der für Bewässerung ausgestatteten Flächen in Deutschland betrug von 2009 bis 2019 nach Angaben des statistischen Bundesamts 1,86 % (in Abbildung 7 zwischen den Szenarien C und D). Die gesamte landwirtschaftliche Fläche in Deutschland beträgt ca. 132.000 km². Im „Baseline“-Szenario verbleibt der Anteil der in Deutschland für die Bewässerung ausgestatteten Flächen bei 5,8 %, während er im Szenario D bis 2100 auf 30,7 % ansteigt.

Darauf aufbauend wurden dann für 15 Kombinationen (drei Klimaprojektionen und fünf Szenarien der bewässerten Ackerfläche), sowie unter der Annahme, dass die historische räumliche Verteilung der Feldfrüchte konstant bleibt, die zukünftig möglichen jährlichen Bewässerungsmengen für jeden Landkreis und kreisfreie Stadt (NUTS-3-Region) ermittelt. Dargestellt in Abbildung 7 sind die Ergebnisse für die 30-Jahre-Periode 2061-2090. Die

Karten illustrieren die räumliche Verteilung und Bandbreite zukünftiger Bewässerungsmengen, die aus heutiger Sicht auf den drei klimatischen Entwicklungspfaden möglich erscheinen. Die Prozentwerte oben links in jeder Darstellung zeigen die prozentuale Veränderung des mittleren jährlichen Bedarfs in Deutschland im Vergleich zum Zeitraum 1971-2000 in der entsprechenden Klimaprojektion.

Für den Zeitraum 2061-2090 weist das ausgewählte R26-E12-RAC Klimamodell erwartungsgemäß den geringsten mittleren Bedarf auf. In den beiden regionalen Klimamodellen (RCM) auf Basis des RCP8-5-Szenarios gibt es eine erhebliche Änderung der Gesamtwerte, womit der Einfluss des Klimawandels und der veränderten Klimavariabilität noch deutlicher zum Ausdruck kommt. Der Schwerpunkt der Feldbewässerung würde zukünftig in der hier vorgestellten Sammlung an Szenarien weiterhin in Norddeutschland liegen. Deutlich sichtbar würden jedoch auch in West- und Süddeutschland die derzeit noch verhältnismäßig klein ausgeprägten Cluster mit relevanter Feldbewässerung an Größe und damit Nachfrage nach Wasser für Bewässerungszwecke zulegen. Inwieweit sich diese Nachfrage aus den regionalen Wasserressourcen bedienen lässt, kann aus den Ergebnissen nicht geschlossen werden.

Abbildung 7: Mittlerer jährlicher Bewässerungsbedarf in den NUTS-3-Regionen und den 15 Szenarien in der 30-Jahre-Periode 2061–2090. (BS-Bewässerungsszenario; BL-Baseline). Die Prozentwerte oben links zeigen die Veränderung in Deutschland im Vergleich zum Zeitraum 1971-2000 der entsprechenden Klimaprojektion.

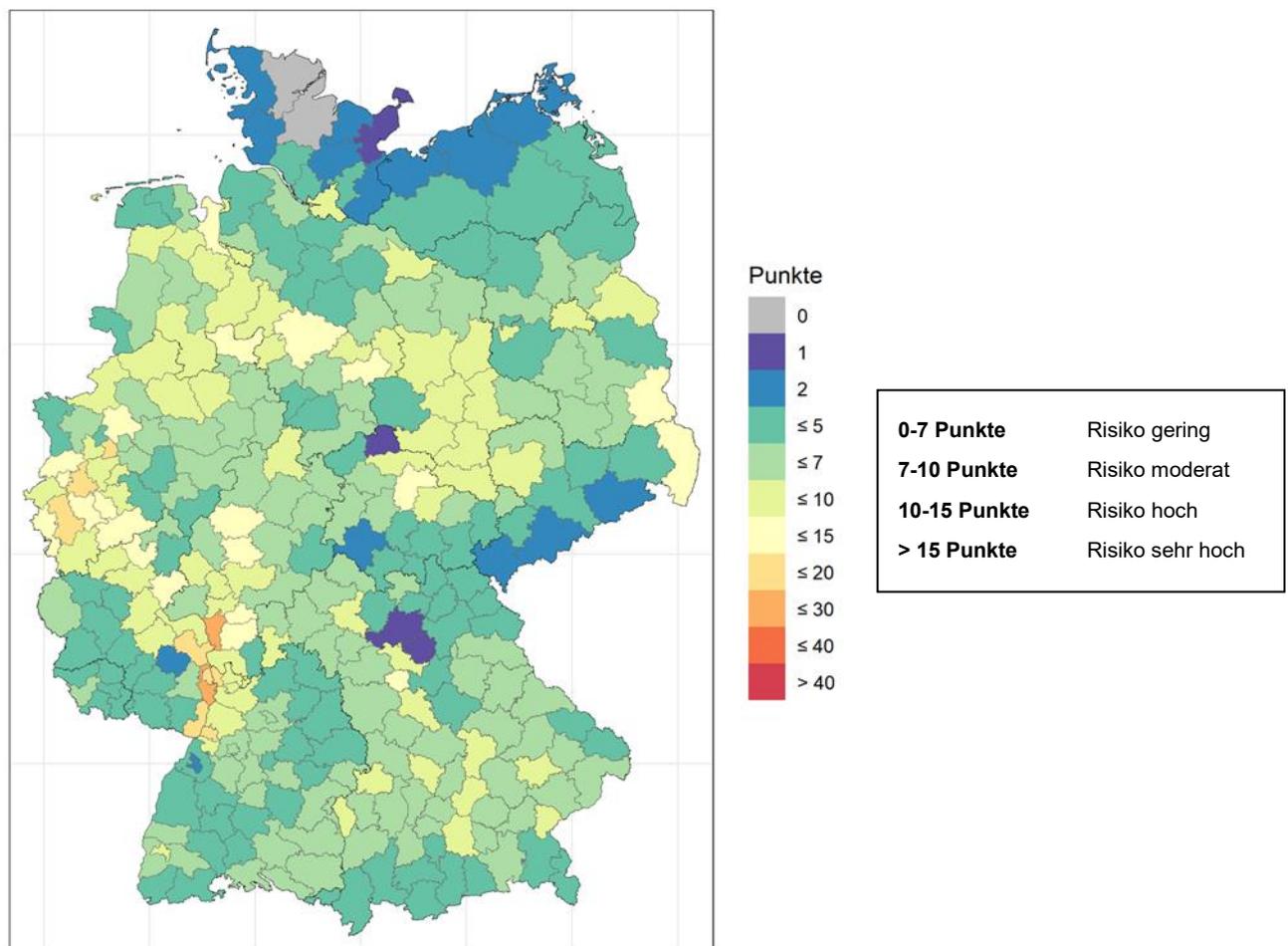


Quelle: Forschungszentrum Jülich.

3.3 Vorschlag einer Methodik zur Bestimmung von (Grund-) Wasserbilanzrisikogebieten

Die Idee zur Darstellung besteht in einem Punktesystem, bei dem verschiedene Grundwasserthemen (GWT) auf Basis von Simulationsergebnissen, räumlichen Analysen, Statistiken oder anderen relevanten Datenbeständen Punkte zugeordnet werden, die eine Relevanz für die Herausforderungen in der Grundwasserbewirtschaftung zum Ausdruck bringen. Die sukzessive Darstellung, d.h. das schrittweise Aufsummieren der in den GWT vergebenen Punkten in einer sinnvollen Reihenfolge, erlaubt Einblicke in die räumliche Verteilung der Herausforderungen. Durch hohe Punktzahlen werden die Regionen sichtbar, in denen viele GWT relevant sind (Abbildung 8). Für Regionen, die Punktschichten kleiner 7 aufweisen, wird das Risiko von Gefahren durch den derzeit stattfindenden Klimawandel und für die derzeit tatsächlich stattfindende Grundwassergewinnung als *gering* eingestuft. Für Regionen, in denen die Punktesumme im Bereich 7 bis kleiner 10 liegt, wird das Risiko als *moderat* eingestuft. Für Regionen, in denen die Punktesumme im Bereich 10 bis kleiner 15 liegt, wird das Risiko als *hoch* eingestuft und in Regionen mit mehr als 15 Punkten als *sehr hoch*. Es ist vorstellbar, die Zusammenstellung an Themen so zu erweitern, dass die Ergebnisse dann dem allgemeiner gefassten Begriff der Wasser-Bilanz-Risiko-Gebiete (WBRG) gerecht werden. Mit dem Fokus auf GWT ist es zunächst sinnvoll, die Darstellung von Grundwasser-Bilanz-Risiko-Gebieten (GWBRG) zu diskutieren.

Abbildung 8: Grundwasserbilanzrisikogebiete (GWBRG) – aufsummierte Punkte der im Projekt WADKlim untersuchten einzelnen Grundwasserthemen (eine ausführliche Erläuterung der Grundwasserthemen findet sich im Abschlussbericht).

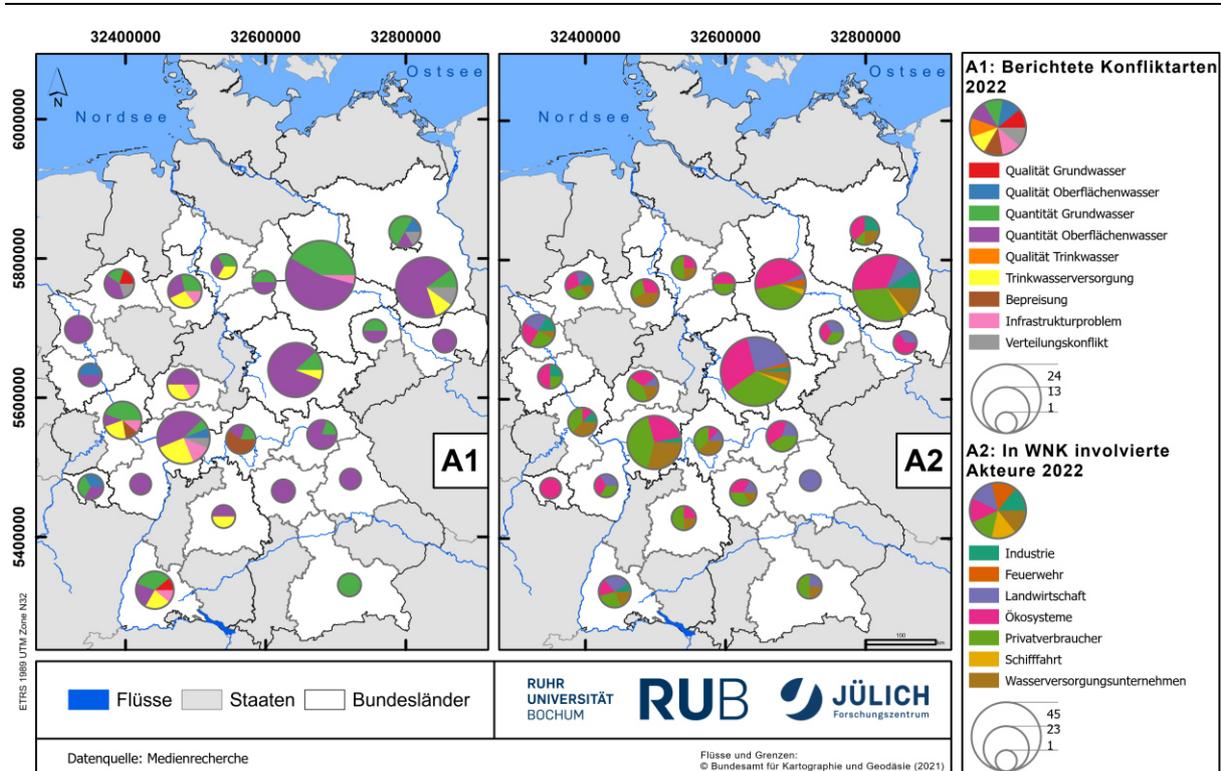


Quelle: Forschungszentrum Jülich.

3.4 Umgang mit Nutzungskonflikten

- **Nutzungskonflikte treten in Deutschland auf.** Bis zum Ende der Recherche zum Stichtag 31.12.2022 wurden insgesamt 358 Wassernutzungskonflikte (WNK) in Deutschland identifiziert. Berichte zu WNK reichen vom Jahr 2022 bis in die 1950er-Jahre zurück, wobei zu berücksichtigen ist, dass in den Jahren vor 2015 höchstens 2 WNK pro Jahr berichtet wurden. Eine Ausnahme bilden die Jahre 2003 und 2006, die insbesondere durch sommerliche Hitzewellen charakterisiert waren (jeweils 20 bzw. 15 berichtete WNK). Seit dem Jahr 2015 ist eine regelmäßige Berichterstattung über WNK vorhanden. Zur Vermeidung und Reduzierung von Wassernutzungskonflikten bestehen eine Vielzahl von Maßnahmen, die in unterschiedlichen Literaturquellen – und häufig sektorspezifisch – dokumentiert und analysiert wurden.

Abbildung 9: Räumliche Verteilung der Konfliktarten (A1) und der in WNK involvierten Akteure (A2) auf Ebene von NUTS-2-Regionen im Jahr 2022.



Quelle: Ruhr-Universität Bochum.

- **Wichtige Maßnahmen, die das Potenzial haben, Nutzungskonflikte zu mindern,** sind Wassersparmaßnahmen, Wasserversorgungskonzepte, Maßnahmen zum Wasserrückhalt in der Fläche sowie die Einrichtung von Wasserbeiräten. Im Vorhaben wurde ein Überblick zu Maßnahmen zur Vermeidung und Reduzierung von Wassernutzungskonflikten, die im deutschen Kontext sinnvoll sein könnten, erstellt. Hierbei wurden vorrangig Maßnahmen recherchiert und analysiert, die bei Nutzungskonflikten aufgrund verringerter Wasserverfügbarkeit anwendbar sind. In dem Maßnahmenkatalog „Reduzierung Wassernutzungskonflikte“ wurden 62 Maßnahmen aufgenommen, beschrieben und bewertet. Der Katalog soll sowohl als systematische Aufstellung als auch als Entscheidungshilfe für die Auswahl von Maßnahmen zur Vermeidung und Reduzierung von Wassernutzungskonflikten dienen.

- ▶ **Wasserversorgungskonzepte:** Um eine Übernutzung von Wasserressourcen und damit das Entstehen solcher Nutzungskonflikte erst gar nicht entstehen zu lassen, werden zunehmend so genannte Wasserversorgungskonzepte (WVK) entwickelt. Die Maßnahmen können grob in vier Kategorien unterteilt werden: Anpassung von Infrastruktur, Erhöhung des verfügbaren Wasserdargebots, regulatorische Maßnahmen und Schließen von Datenlücken. Eine detaillierte Beschreibung und Charakterisierung der WVK und der eingesetzten Maßnahmen liefert die im Projekt erstellte Datenbank zu Wasserversorgungskonzepten.
- ▶ **Wasserrückhalt in der Fläche:** Der im Projekt entwickelte Maßnahmenkatalog zum Wasserrückhalt umfasst 69 Maßnahmen zur Erhöhung des Wasserrückhalts in der Landschaft sowie ihre Wirkungen für den Wasserhaushalt und andere Schutzziele. Die Auswertung zeigt, dass die meisten Maßnahmen positive oder sehr positive Wirkungen auf die verschiedenen Ziele für den lokalen Wasserhaushalt, u.a. Abflussverzögerung, Wasserrückhalt in Böden, Grundwasserneubildung oder Wasserdargebot in Trockenzeiten haben. Die Maßnahmen haben auch positive oder sehr positive Wirkungen auf andere Schutzziele, wie den Klimaschutz, die Biodiversität, die Boden- und die Wasserqualität. Sechs besonders empfehlenswerte Maßnahmen wurden identifiziert, die einen positiven Effekt sowohl auf den Hochwasserschutz als auch auf das Wasserdargebot in Trockenzeiten, geringe Kosten für Bau und Planung, Transaktionen und Flächenbereitstellung und eine kurzfristige Wirkung zeigen.

Besonders empfehlenswerte Maßnahmen zum Wasserrückhalt in der Fläche

- ▶ Reaktivierung von Binneneinzugsgebieten (Landwirtschaft, naturbasierte Lösung)
- ▶ Anlage von Sedimentauffangteichen (Forstwirtschaft, naturbasierte Lösung)
- ▶ Angepasste Auswahl der Kulturen und der Fruchtfolge zum besseren Wasserrückhalt (Landwirtschaft, Bewirtschaftung)
- ▶ Flächen hangparallel bewirtschaften (Landwirtschaft, Bewirtschaftung)
- ▶ Etablierung von Pufferstreifen/Ackerrandstreifen (Landwirtschaft und Wasserwirtschaft, naturbasierte Lösung)
- ▶ Verschluss, Rückbau oder Steuerung von Drainagen oder Entwässerungsgräben (Wasserwirtschaft und Landwirtschaft, Bewirtschaftung)

3.5 Leitplanken für die Wasserwiederverwendung zur Bewässerung im urbanen Raum

- ▶ **Potenzial der Wasserwiederverwendung zur Bewässerung urbaner Grünflächen in Deutschland:** In dem Vorhaben wurde ein theoretischer Bewässerungsbedarf für urbanes Grün zwischen 415 Mio. m³ in normalen Jahren und 1.359 Mio. m³ in sehr trockenen Jahren ermittelt. Dem Gesamtabwasseraufkommen in allen deutschen Städten (ca. 7.040 Mio. m³/a) gegenübergestellt, könnten demnach 5-19 % des Abwassers (je nach Stadtgröße und Trockenheit) den ermittelten Bewässerungsbedarf decken.
- ▶ **Aufbereitungsverfahren:** Die Auswertung internationaler Best-Practice-Studien zur Wasserwiederverwendung für die urbane Bewässerung zeigt, dass die Aufbereitung von kommunalem Abwasser häufig einen drei-stufigen Klärprozess mit anschließender Filtration und Desinfektion umfasst, um die jeweiligen nationalen Qualitätsanforderungen einzuhalten.
- ▶ **Bewertungsansätze:** Um Verantwortlichen für eine mögliche Umsetzung eines Wasserwiederverwendungsprojekts erste Anhaltspunkte zu geben, wurde eine Bewertungsmatrix er-

stellt. Diese berücksichtigt die Bewässerungsbedürftigkeit, abwasserbezogene Gegebenheiten (Herkunft des Abwassers, Klär-/ Aufbereitungstechnik), die Spezifikationen des urbanen Grüns (Flächennutzung, Zugangsberechtigungen, Bewässerungssystem) sowie die infrastrukturelle Anbindung.

- ▶ **Risikomanagement für Umwelt- und Gesundheitsrisiken:** Zudem wurde ein Risikomanagementansatz für die Wasserwiederverwendung zur Bewässerung urbaner Grünflächen erarbeitet, der auf den Kernelementen des Risikomanagements der EU-Verordnung zur landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung (EU-Verordnung 2020/741) aufbaut und der Identifikation und Minimierung von Gesundheits- und Umweltrisiken dient.
- ▶ **Für eine realistische Abschätzung des Potenzials und der möglichen Umsetzung** einer Wasserwiederverwendung im urbanen Raum fehlen bisher noch zuverlässige Daten zu den Grünflächen, deren tatsächlichen Bewässerungsbedarfen sowie eine umfassendere Risikobewertung. Mögliche Herausforderungen stellen die Verteilung des aufbereiteten Wassers, die Kosten für die zusätzliche Infrastruktur und der bisher fehlende Rechtsrahmen dar.

4 Gutachterliche Empfehlungen

- ▶ **Wasserknappheit ist ein vielschichtiges Problem.** Die Ursachen für Wasserknappheit in verschiedenen Regionen Deutschlands umfassen klimatische Bedingungen mit geringem Wasserdargebot, Wasserqualitätsprobleme wie Nitratbelastung, Einflüsse durch Bergbau, zunehmende Wasserentnahmen für die Landwirtschaft und hohe Bedarfe in Metropolregionen. Es wurden bereits regionspezifische Maßnahmen ergriffen, um Wasserknappheit vorzubeugen, wie bspw. die Einrichtung von Fernwasserleitungssystemen oder die Limitierungen für Wasserentnahmen. Allerdings haben die anhaltende Trockenheit in der letzten Dekade und die Unsicherheiten bei der zukünftigen Wassernutzung und Klimavariabilität gezeigt, dass diese Maßnahmen möglicherweise nicht ausreichen, um strukturelle oder temporäre Wasserknappheit zu bewältigen. Die zukünftige Wasserknappheit wird als komplexes Problem erkannt, das aufgrund der Unsicherheiten schwer zu prognostizieren ist.
- ▶ **Verschiedene Lösungsstrategien wurden vorgestellt**, die dazu beitragen können, die nachhaltige Nutzung von Wasserressourcen in Deutschland zu fördern und zukünftige Konflikte in der Wassernutzung zu minimieren. Dazu gehören bspw. Maßnahmen zum verbesserten Wasserrückhalt, die Förderung von Wassereffizienz und standortangepasste Wasserwiederverwendung, die Implementierung von Anpassungsmaßnahmen und die Stärkung der Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Nutzergruppen.
- ▶ **Unterstützung für die Umsetzung der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) an den Klimawandel, der Nationalen Wasserstrategie und des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz**, indem politische Entscheidungsträger*innen und Stakeholdern ein umfassendes Verständnis für die aktuellen Herausforderungen in Bezug auf die Wassernutzung in Deutschland vermittelt wird. Die dargelegten Lösungsstrategien können auch konkrete Handlungsempfehlungen für politische Maßnahmen, technologische Innovationen und soziale Veränderungen bieten. Zum Beispiel kann die Wasserwiederverwendung in urbanen Räumen zur mengenmäßigen Entlastung der Grundwasserressourcen beitragen.
- ▶ **Ein zentrales Ziel der Nationalen Wasserstrategie** ist es, die Verfügbarkeit von Wasser für alle Nutzergruppen in ausreichender Menge und Qualität sicherzustellen und dabei ökologische Belange zu berücksichtigen. Die vorliegenden Projektergebnisse skizzieren aufkommende regionale Nutzungskonflikte und schlagen mögliche Lösungsstrategien vor, die hel-

fen, die Ziele der Nationalen Wasserstrategie umzusetzen. Darüber hinaus können die Ergebnisse dazu beigetragen werden, ein Bewusstsein für die Dringlichkeit des Themas zu schaffen und die breite Öffentlichkeit für eine nachhaltige Wassernutzung zu sensibilisieren.

- ▶ **Es ist wichtig, dass politische Entscheidungsträger*innen und Stakeholder** die vorgestellten Lösungsstrategien in ihre Entscheidungsprozesse integrieren und gemeinsam an einer nachhaltigen Wassernutzung arbeiten. Nur so kann die Wasserverfügbarkeit in Deutschland langfristig gesichert werden. Dafür ist es unerlässlich, bisher fehlende Daten regelmäßig zu erheben und insbesondere die Datenbestände zur Wassernutzung zu vervollständigen und sie transparent und öffentlich zu machen. Zum Beispiel: Verpflichtende Erfassung von Bewässerungsmengen in zentralen Meldestellen. Für eine zukünftig bessere Vergleichbarkeit von Studien sollte stärker auf standardisierte Indikatoren zurückgegriffen werden.
- ▶ **Wasserwiederverwendung im urbanen Raum** kann zukünftig eine wichtige Rolle, bspw. bei der Bewässerung von Grünflächen, spielen. Gerade in Wasserbilanz-Risikogebieten ist dieser Ansatz eine sinnvolle Handlungsoption. Dazu müssen die notwendigen rechtlichen und institutionellen Rahmenbedingungen sowie neue infrastrukturelle Lösungen geschaffen werden.
- ▶ **Grundsätzlich sinkt zukünftig die Verfügbarkeit von Wasser in vielen Regionen in Deutschland** unter dem Einfluss des Klimawandels, insbesondere in Trockenperioden kann es regional zu erheblichen Engpässen in der Wasserverfügbarkeit kommen, was zur Entstehung von Nutzungskonflikten führen oder bestehende Konflikte verschärfen kann. Es ist daher notwendig, eine nachhaltige Wassernutzung zu fördern, um eine sichere und gerechte Versorgung für alle Nutzergruppen zu gewährleisten. Dabei ist es essenziell, dass natürliche Ökosysteme nicht nur in der Kommunikation, sondern auch in der wasserwirtschaftlichen Gesamtbetrachtung eine stärkere Rolle einnehmen.

5 Bewertung und Einordnung der Studienergebnisse

Das WADKlim-Vorhaben leistet einen wichtigen Beitrag zu bereits bestehenden Untersuchungen und Strategien im Themenbereich Trockenheit, Niedrigwasser und Dürre und schafft einen Überblick über die gegenwärtige Wasserverfügbarkeit in Deutschland, sowie deren mögliche zukünftige Entwicklung unter Klimawandelbedingungen. Es wird gezeigt, dass die Überlagerung von natürlicher Klimavariabilität und anthropogen verursachtem Klimawandel für die als sehr stark ausgeprägt wahrgenommene Trockenheit und damit einhergehende Reduzierung des Angebotes in der vergangenen Dekade verantwortlich ist. Nach aktuellem Stand des Wissens werden Dürren und Trockenheit zukünftig häufiger und langanhaltender auftreten und bilden die „neue Normalität“, der sich die Wasserwirtschaft und die wassernutzenden Sektoren (z. B. Landwirtschaft, Energiewirtschaft, Industrie) in Deutschland stellen müssen. Ein Ziel im Vorhaben war es künftige „Hotspots“ in Deutschland zu identifizieren. Die im WADKlim-Projekt entwickelte Methodik zur Bestimmung von (Grund-) Wasserbilanzrisikogebieten (siehe Abschnitt 3.3) zeigt Regionen, in denen aufgrund der Veränderungen in den letzten Jahrzehnten seit dem Jahr 2000 die Grundwasserbewirtschaftung mit einer klimatologischen Gefährdung der Grundwassergewinnung konfrontiert ist und sich deshalb schon jetzt an veränderte Rahmenbedingungen anpassen muss. Dabei wurde deutlich, dass

- ▶ **die Datenbasis zum anthropogenen Einfluss auf den Wasserhaushalt** nicht den Erfordernissen entspricht. Obwohl zuletzt große Fortschritte bei der Erfassung und Bereitstellung vielfältiger Daten zum menschlichen Einfluss auf den Wasserhaushalt gemacht wurden, müs-

sen diese Datenbestände besser strukturiert, häufiger aktualisiert und räumlich höher aufgelöst geo-referenziert werden. Nur dadurch wird eine realistische Bewertung des Einflusses einzelner Akteure auf den Wasserhaushalt und eine gerechte Verteilung von Wasserressourcen überhaupt erst möglich.

- ▶ **die Erfassungs- und Bereitstellungspraxis von statistischen Daten zur Wassergewinnung und -nutzung nicht mehr zeitgemäß ist.** Um die Nachhaltigkeit der Wassernutzung regional oder lokal realistisch einzuschätzen, müssen zuverlässige und räumlich genau verteilte Daten erhoben und zugänglich gemacht werden. Dies umfasst Informationen zu Gewinnung, Transfer, Endnutzung, Verschmutzung und Verbleib des Wassers.

Deutlich wurde im WADKlim Projekt, dass aufgrund der oben genannten Herausforderungen eine kleinräumige regionale Identifizierung von künftigen Wasserbilanzrisikogebieten (WBRG, Hotspots) nicht möglich ist. Mit dem Fokus auf Grundwasser wird im Bericht deshalb zunächst eine Darstellung von Grundwasser-Bilanz-Risiko-Gebieten (GWBRG) diskutiert. Erst wenn entsprechende statistische Daten, insbesondere zur regionalen Wassernutzung vorliegen, werden Einschätzungen möglich sein, die dem allgemeiner gefassten Begriff der Wasser-Bilanz-Risiko-Gebiete (WBRG) gerecht werden.

Ein weiteres Ziel des WADKlim Projekts war es, Instrumente und Anpassungsmaßnahmen im Umgang mit Wassermangel und daraus resultierenden Nutzungskonflikten zu erarbeiten. Die im Vorhaben erarbeiteten Bewertungen, Instrumente und Anpassungsmaßnahmen tragen zur Umsetzung der Nationalen Wasserstrategie (NWS) und der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) bei, zum Beispiel:

- ▶ **Wissenschaftliche Grundlage hinsichtlich wasserbezogener Nutzungskonflikte:** Die WADKlim-Studie kann als wissenschaftliche Grundlage für den Stresstest von Wasserdargebot und Wassernutzung unter Klimawandelszenarien in Deutschland dienen.
- ▶ **Beitrag von Wasserversorgungskonzepten (WVK) zur Nationalen Wasserstrategie:** Wasserversorgungskonzepte werden in der Nationalen Wasserstrategie als Möglichkeit gesehen, proaktiv zukünftige Herausforderungen in der Wasserwirtschaft anzugehen. Die Arbeiten in WADKlim geben einen Überblick über Umfang und Inhalt aktueller WVK.
- ▶ **Beitrag von Maßnahmen zum Wasserrückhalt in der Fläche zur Nationalen Wasserstrategie:** Viele der Maßnahmen des WADKlim-Maßnahmen-Katalogs haben Synergien mit der Vision „Naturnaher Wasserhaushalt im Jahr 2050“ der Nationalen Wasserstrategie, z. B. die Wiederherstellung von Auenlebensräumen und Ausweitung von naturnahen Retentionsflächen.

Die Untersuchungen zu den **Leitplanken für die Wasserwiederverwendung zur Bewässerung im urbanen Raum** leisten einen wichtigen Beitrag zu den Arbeiten an Aktion 54 der Nationalen Wasserstrategie (Stärkung der Wasserwiederverwendung).

Forschungsvorhaben WADKlim „Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit / Anpassung an Trockenheit und Dürre in Deutschland (FKZ 3720 48 278 0)

Ulf Stein (Ecologic Institut, Berlin); Martina Flörke (Ruhr-Universität Bochum, Bochum); Frank Herrmann, (Forschungszentrum Jülich, Institut für Bio- und Geowissenschaften, Agrosphäre (IBG-

3), Jülich); Matthias Barjenbruch (Technische Universität Berlin, Berlin); Thomas Dworak (Fresh Thoughts Consulting, Wien)

Veröffentlichung der Ergebnisse: UBA-Texte 143/2024 - Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit - Anpassung an Trockenheit und Dürre in Deutschland | Umweltbundesamt

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
www.umweltbundesamt.de
[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)
[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Autorenschaft, Institution

Ulf Stein, Jenny Tröltzsch, Rodrigo Vidaurre, Hannes Schritt, Benedict Bueb, Johanna Reineke (Ecologic Institut, Berlin); Martina Flörke, Thorben Uschan (Ruhr-Universität Bochum, Bochum); Frank Herrmann, Stefan Kollet, Niklas Wagner, Ian McNamara (Forschungszentrum Jülich, Institut für Bio- und Geowissenschaften, Agrosphäre (IBG-3) Jülich); Tom Guggenberger, Matthias Barjenbruch (Technische Universität Berlin, Berlin); Thomas Dworak, Guido Schmidt (Fresh Thoughts Consulting, Wien)

Corinna Baumgarten, Manuela Helmecke, Bernd Kirschbaum (FG II 2.1, Umweltbundesamt)

Stand: 10/2024