

August 2022

Auswirkungen des Klimawandels auf das Wasserdargebot Deutschlands

Überblick zu aktuellen Ergebnissen
der deutschen Klimaforschung



Der Klimawandel stellt alle Beteiligten in der Wasserwirtschaft und der öffentlichen Wasserversorgung vor enorme Herausforderungen. Nicht zuletzt die extremen Trockenperioden in den letzten Jahren haben den Fokus in Richtung des verfügbaren Wasserdargebotes zur Deckung des erhöhten Wasserbedarfes gelenkt.

Aktuell wurden mehrere Klimaprojektionen bzw. Studien durchgeführt, die die zukünftige klimatische Entwicklung in Deutschland bis zum Jahr 2100 und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit beleuchten. Darüber hinaus wurden Ergebnisse aus Satellitenbeobachtungen medial stark beachtet und auch neuere Prognosetools mittels Künstlicher Intelligenz

veröffentlicht. Dies war Anlass in einem Fachdialog am 15. Juni 2022 die Gemeinsamkeiten oder gar Widersprüche der jeweiligen Ergebnisse zu diskutieren. Im vorliegenden Papier werden die aktuellen und wesentlichen Aussagen sowie Klimaprojektionen der relevanten Arbeitsgruppen zur deutschen Klimaforschung im Hinblick auf das zukünftige Wasserdargebot aufgezeigt. Insbesondere für die wasserentnahmerechtlichen Genehmigungsverfahren ist es wichtig, diese aktuellen Erkenntnisse hinsichtlich ihrer Tendenzen und der damit verbundenen Maßnahmen umfänglich zu bewerten, um letztlich ein gemeinsames Systemverständnis zu den Auswirkungen des Klimawandels auf das zukünftige Wasserdargebot ableiten zu können.

Klimaauswertungen der Vergangenheit zeigen bereits heute eine steigende Tendenz bei Temperaturen und Niederschlägen.

Die Klimadaten der letzten Jahrzehnte zeigen für Deutschland bei den Lufttemperaturen und den Niederschlägen bereits eine steigende Tendenz. Insbesondere wird dies bei der Anzahl der heißen Tage und bei den Winterniederschlägen deutlich, wobei eine hohe Variabilität bei den Niederschlägen

zu beobachten ist (siehe **Bild 1**). Der süd- und ostdeutsche Raum ist durch längere Trockenheitsphasen und Niedrigwasser gekennzeichnet. Überdurchschnittliche Lufttemperaturen und trockene Winterhalbjahre sind dort hervorzuheben.

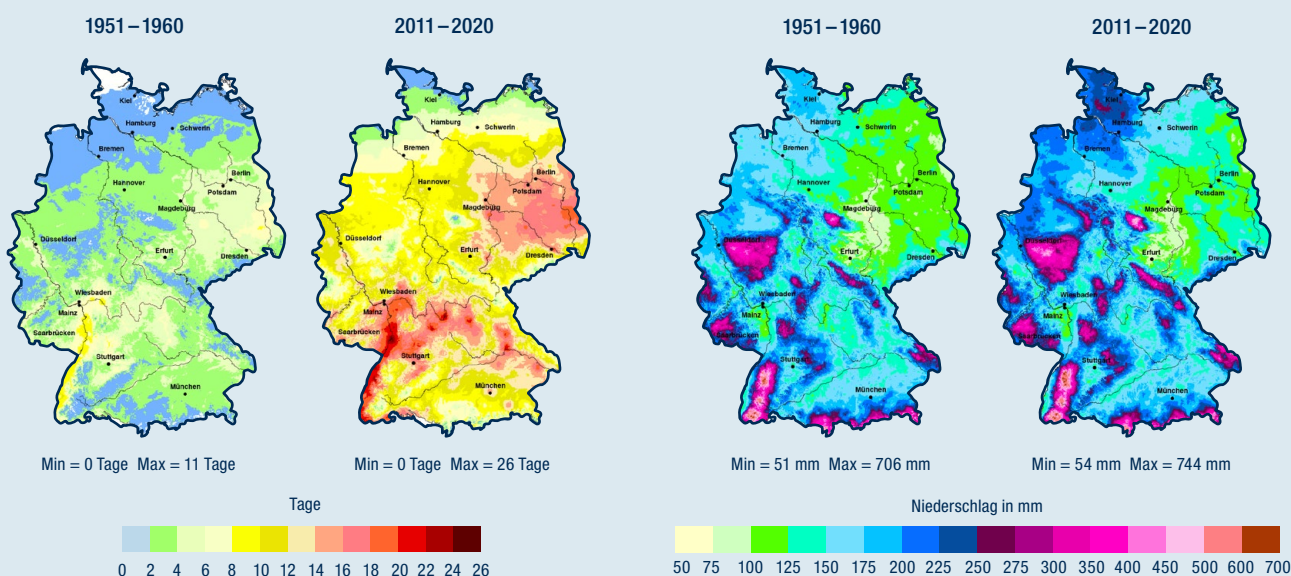


Bild 1: Veränderungen der Anzahl der heißen Tage ($T \geq 30^\circ\text{C}$; links) und des Winterniederschlages (in den Monaten Dezember-Februar; rechts);
Quelle: Deutscher Wetterdienst

GRACE-Satellitendaten korrelieren mit anderen Beobachtungen zu Trockenperioden und Grundwasserstandsdaten der letzten 20 Jahre.

GRACE-Satellitenbeobachtungen zeigen seit ca. 20 Jahren in grober räumlicher (200 – 300 km) und zeitlich monatlicher Auflösung die Variationen der globalen terrestrischen Gesamtwasserspeichermenge (Gletschermassen – Schnee – Bodenfeuchte – Oberflächengewässer – Grundwasser) an. Insgesamt können damit die Auswirkungen von Feucht- und Trockenperioden auf den Wasserkreislauf und die Wasserressourcen quantifiziert werden. Über den Beobachtungszeitraum 2002 – 2021 nahm die terrestrische Gesamtwasserspeichermenge in Deutschland im Mittel um ca. 0,8 Mrd. m³/Jahr ab. Welcher Anteil davon nur auf das Grundwasser fällt, ist bislang für Deutschland nicht abgeschätzt worden.

Die Ergebnisse der Satellitenbeobachtungen korrelieren gut mit den Entwicklungen der Grundwasserstände in vielen Regionen Deutschlands. Allerdings können daraus keine einfachen Aussagen wie „Deutschland ist ein Hotspot der Wasserverluste weltweit“ abgeleitet werden, weil allein eine Verschiebung des Betrachtungszeitraumes die Trendergebnisse zum Teil deutlich verändert. Für eine Projektion oder gar Prognose zukünftiger Entwicklungen kann dieses Verfahren nicht eingesetzt werden. Die Daten können jedoch für die Validierung, Kalibrierung oder Assimilation in entsprechende Prognosemodelle von Bedeutung sein.

Grundwasserstandsvorhersagen mit künstlichen neuronalen Netzen zeigen gegenüber den Klimaprojektionen mit Koppelung von Boden-/Wasserhaushaltsmodellen ein differenziertes Bild.

Diese Methodik fußt je nach Klima-Szenario auf jeweils 5–6 regionalen Klimamodellen aus dem Kernensemble des Deutschen Wetterdienstes. Aus den jeweiligen Klimaprojektionen dienen die Parameter Niederschlag und Temperatur als einzige Grundlage zur Vorhersage der Grundwasserstände in 118 deutschlandweit ausgesuchten Grundwassermessstellen

mittels künstlicher neuronaler Netze. Im Ergebnis zeigt sich im Klima-Szenario RCP 8.5 eine Tendenz zu sinkenden Grundwasserständen (siehe **Bild 2**). Dieses Ergebnis weicht von den anderen Klimaprojektionen mit Koppelung der regionalen Klimamodelle mit Boden-/Wasserhaushaltsmodellen ab.

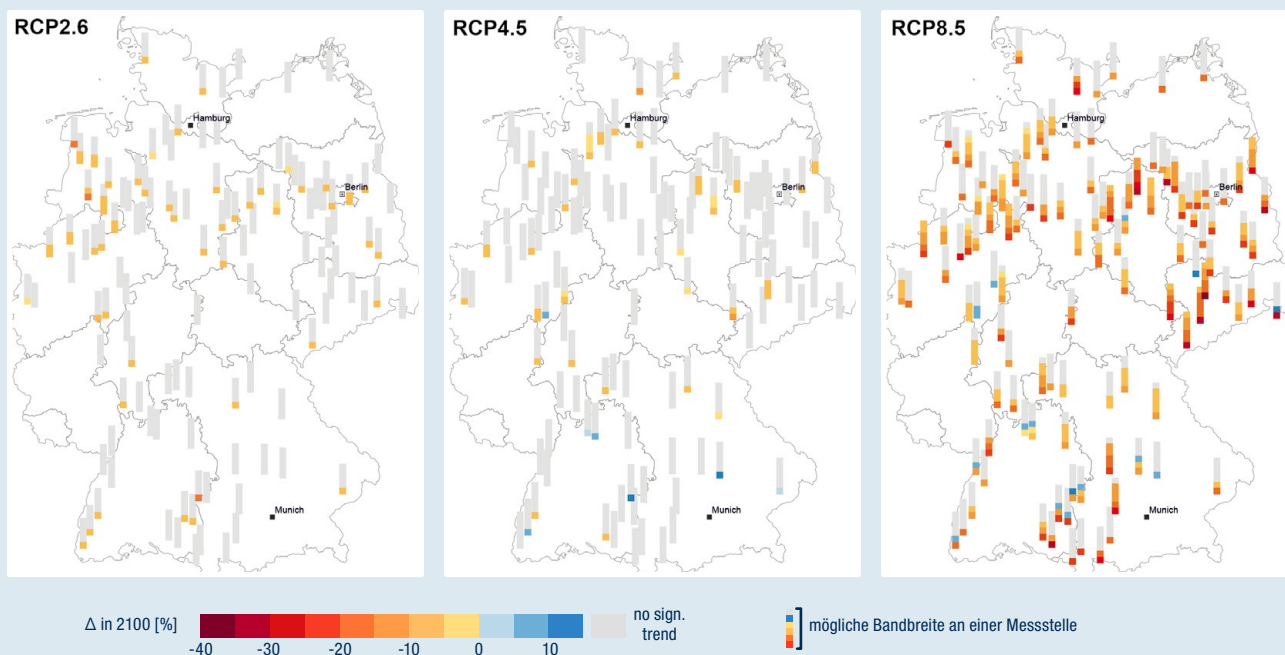


Bild 2: Relative Änderung der Grundwasserstände als Mittelwert in Prozent zwischen 2014 und 2100; Quelle: KIT/BGR

Im Folgenden werden die Ergebnisse aktueller Klimaprojektionen des Deutschen Wetterdienstes, des Forschungszentrums Jülich, der KLIWA-Gruppe und des UFZ vorgestellt.

Tabelle 1 gibt einen Überblick zu den jeweiligen Kontextinformationen der einzelnen Studien.

	DWD	FZ Jülich	KLIWA	UFZ (DVGW)
Anzahl Regionaler Klimamodelle (RCM)	RCP 2.6: 19 RCP 4.5: 11 RCP 8.5: 10	RCP 2.6: 9 RCP 4.5: 10 RCP 8.5: 17	RCP 8.5: 13	RCP 2.6: 21 RCP 8.5: 49
Art der RCM	dynamisch	dynamisch	9 dynamisch 4 statistisch	dynamisch
Koppelung mit (Boden) Wasserhaushaltsmodell	nein	mGROWA	GWN-BW	mHM
Rasterauflösung	12,5 km x 12,5 km	RCM: 12 km x 12 km mGROWA: 100 m x 100 m		RCM 12,5 km x 12,5 km mHM: 1,2 km x 1,2 km
Vergleichsperiode	1971 – 2000	1971 – 2000	1971 – 2000	1971 – 2000
Prognostizierte Perioden	2031 – 2060 2071 – 2100	2011 – 2040 2041 – 2070 2071 – 2100	2021 – 2050 2071 – 2100	2021 – 2050 2036 – 2065 2070 – 2099
Robustheit des Ensembles	–	Signifikanztest Übereinstimmungstest	–	Signifikanztest Übereinstimmungstest
Räumliche Zuordnung der Projektionen	Deutschland	NRW (9 hydrogeologische Großeinheiten)	5 Bundesländer (BY, BW, HE, RP, SL)	Deutschland in 10 Flusseinzugsgebieten + Ursprungsgebiete

RCP 2.6: Szenario mit deutlichen Anstrengungen beim Klimaschutz

RCP 4.5: Szenario mit moderaten Anstrengungen beim Klimaschutz

RCP 8.5: "Weiter so wie bisher"-Szenario

Tabelle 1: Überblick der Ausgangsbedingungen der jeweiligen Klimaprojektionen

Alle Klimaprojektionen zeigen eine deutliche Zunahme der Temperaturen mit geringer Projektionsbandbreite.

Alle vier genannten Klima-Projektionen kommen zu dem Ergebnis, dass sowohl die Anzahl der Sommertage ($T \geq 25^\circ\text{C}$) als auch die Anzahl der heißen Tage ($T \geq 30^\circ\text{C}$) in Deutschland flächendeckend deutlich zunehmen wird.

Laut der UFZ-Studie ist die Zunahme der Sommertage insbesondere in dem RCP 8.5-Szenario sehr stark erkennbar (siehe **Bild 3**). Ein Großteil Deutschlands dürfte dann Ende des Jahrhunderts über 60 Sommertage im Jahr haben. Ein

Niveau, das man heute nur in den Hot-Spot-Regionen des Oberrheingraben erreicht.

Laut Deutschem Wetterdienst ist bei den heißen Tagen eine Steigerung für den Zeitraum 2031 – 2060 im Median auf rund 12 Tage und im Zeitraum 2071 – 2100 sogar auf rund 25 Tage zu erwarten. Im Referenzzeitraum 1971 – 2000 betrug die Anzahl der heißen Tage rund 5 Tage pro Jahr.

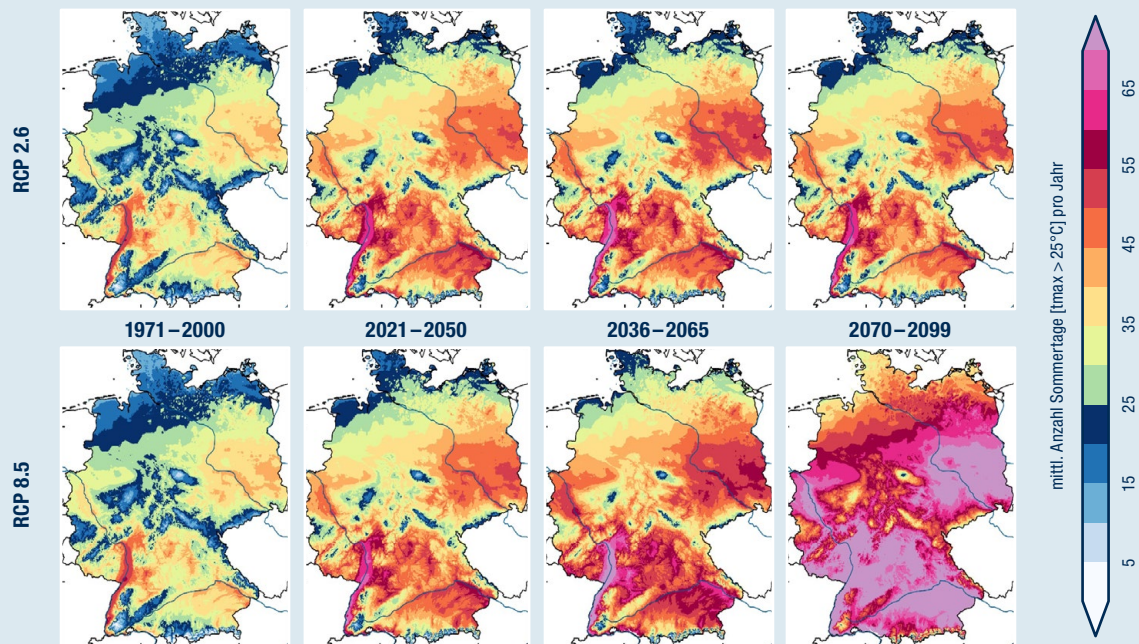


Bild 3: Entwicklung der Anzahl der Sommertage in den Klima-Szenarien RCP 2.6 und RCP 8.5; Quelle: UFZ

Trockenperioden werden insbesondere in den Sommermonaten an Dauer und Intensität zunehmen.

Sowohl die Klimaprojektion des Deutschen Wetterdienstes als auch die Ergebnisse des UFZ zeigen eine steigende Tendenz bei der der Anzahl der Trockentage bzw. bei der Entwicklung

agrarischer Dürren (siehe **Bild 4**). Beides wirkt sich stärker im Südwesten und Westen Deutschlands aus.

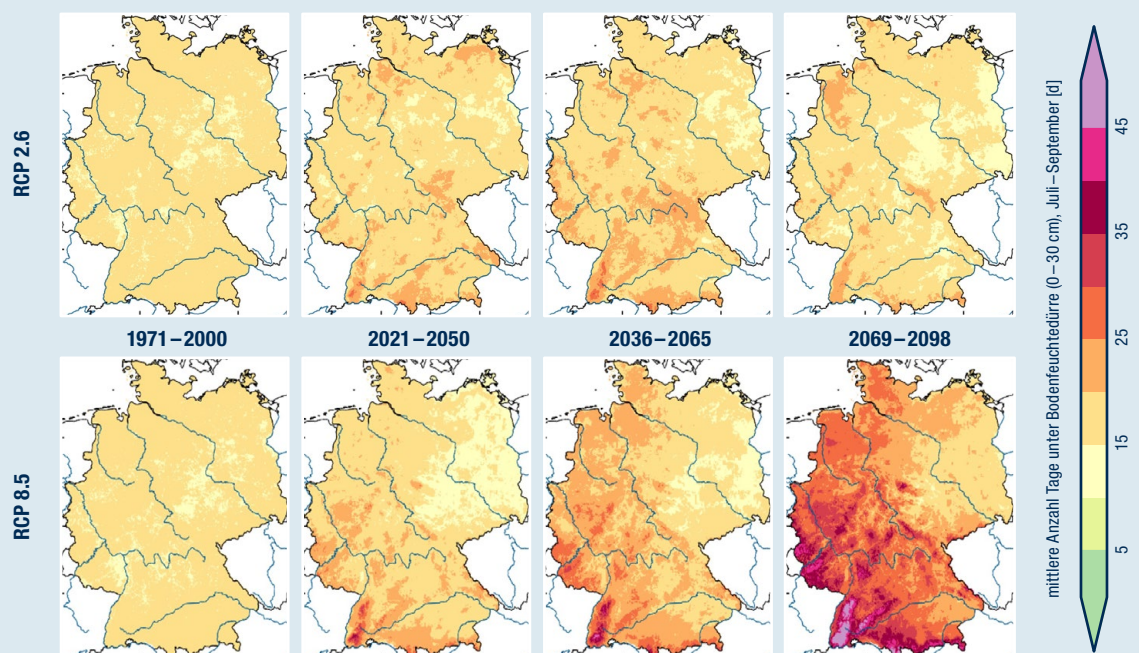


Bild 4: Entwicklung agrarischer Dürren in den Sommermonaten; Quelle: UFZ

Alle Ensemble-Klimaprojektionen zeigen im Mittel mit steigenden Temperaturen eine Zunahme der Niederschläge mit größerer Projektionsbandbreite als bei den Temperaturen.

Sieht man steigende Temperaturen und die Zunahme von Niederschlägen im Zusammenhang, liefern alle Klima-Projektionen ein eindeutiges Ergebnis: Die Jahresniederschläge und insbesondere die Niederschläge im hydrologischen Winterhalbjahr nehmen flächendeckend in Deutschland zu. Die folgende Grafik stellt die Zunahme der Niederschläge exemplarisch anhand der Ergebnisse der DWD-Projektionen

dar (siehe **Bild 5**). In den fünf Bundesländern, die im Rahmen der KLIWA-Projektion untersucht wurden, reicht die Bandbreite der zukünftigen Entwicklung der Niederschlagshöhe im Winterhalbjahr von moderaten Abnahmen bis hin zu einer deutlichen Zunahme. Die Mehrzahl der Projektionen weist hier eine Zunahme aus.

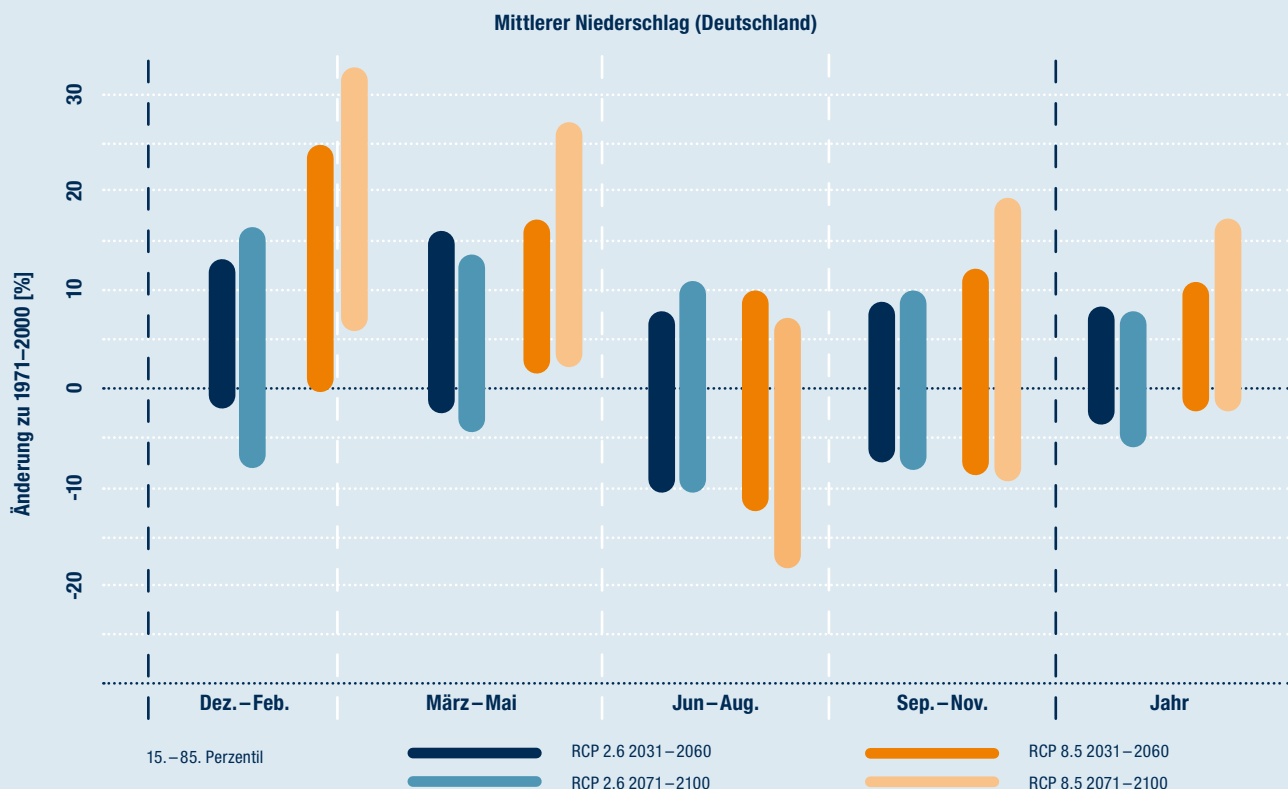


Bild 5: Entwicklung des Niederschlages in Deutschland; Quelle: DWD

In den meisten Regionen Deutschlands wird es zukünftig gleichbleibende Verhältnisse bzw. einen leichten Anstieg bei der Grundwasserneubildung geben. Die Projektionsbandbreite ist größer als bei den Niederschlägen.

Durch höhere Temperaturen wird neben dem Niederschlag auch die Verdunstung zunehmen; allerdings wird dies das zu erwartende Niederschlagsplus nicht aufzehren. Es bleibt somit in der Bilanz Wasser übrig. In den meisten Regionen Deutschlands sind deshalb gleichbleibende Verhältnisse bzw.

ein leichter Anstieg bei der Grundwasserneubildung zu erwarten (siehe **Bild 6**). Ebenso steigen im Zuge der zunehmenden Erwärmung die Abflüsse in den Vorflutern und damit auch die Zuflüsse zu Talsperren.

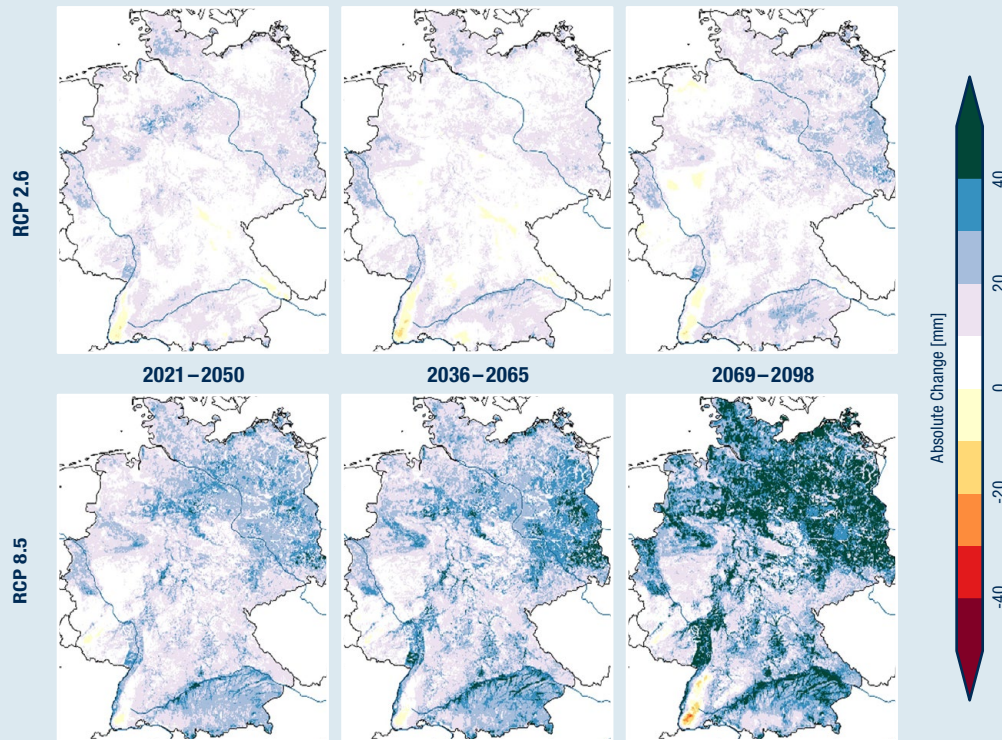


Bild 6: Entwicklung der Grundwasserneubildung in Deutschland; Quelle: UFZ

Die zukünftige Entwicklung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung zeigt im KLIWA-Gebiet deutlich größere Projektionsspannbreiten gegenüber den anderen Projektionen (siehe **Bild 7**). Dies lässt sich durch die Anwendung der vier statistischen regionalen Klimamodelle in dem Ensemble

erklären, welche größtenteils eine deutlich geringere Grundwasserneubildung induzieren als die dynamischen Klimamodelle. Im Durchschnitt bleibt aber auch hier die langjährige mittlere Grundwasserneubildung in der nahen und fernen Zukunft quasi unverändert.

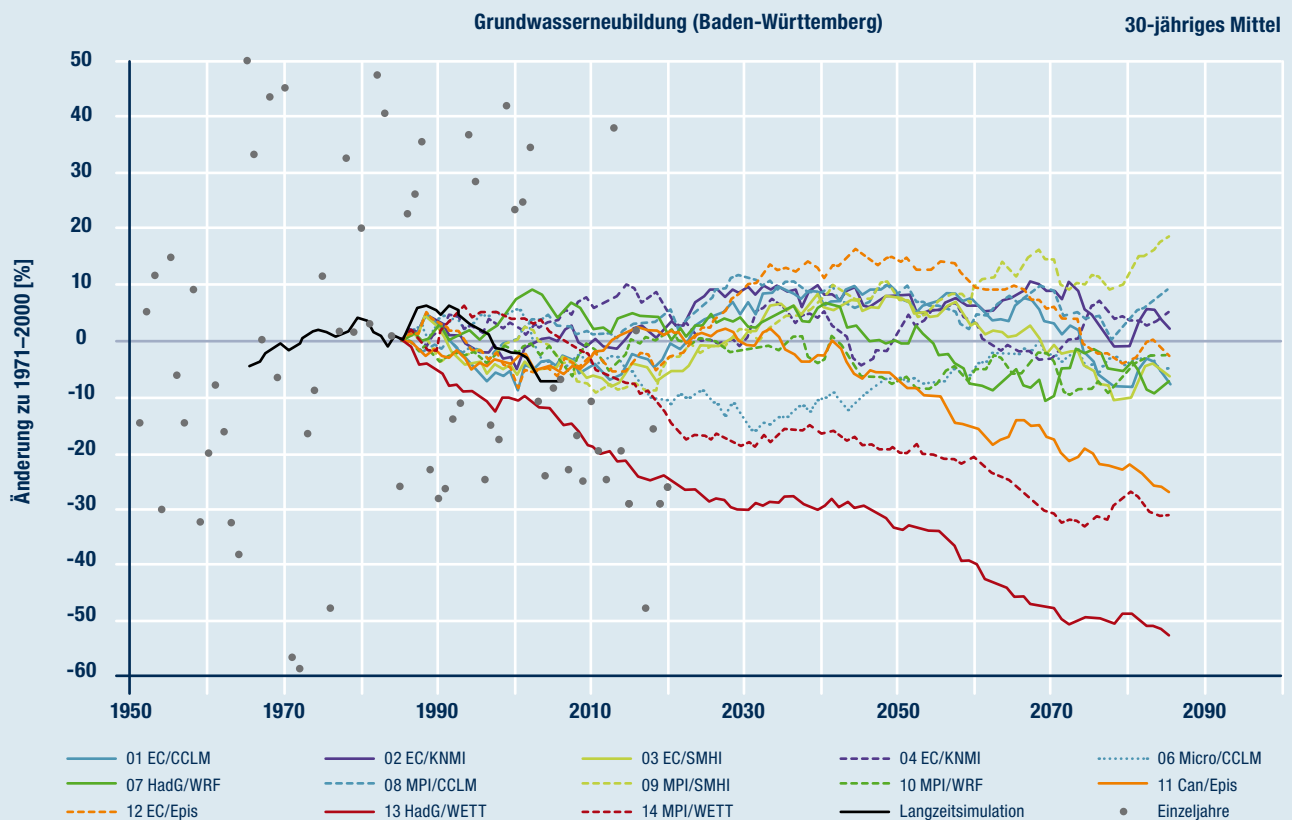


Bild 7: Entwicklung der Grundwasserneubildung am Beispiel Baden-Württembergs; Quelle: LUBW

Als Gesamtergebnis zeigen alle Klimaprojektionen vergleichbare Tendenzen bei Temperatur, Trockenheit, Niederschlag und Grundwasserneubildung auf. Je stärker der Klimawandel ausfällt, umso ausgeprägter sind diese Tendenzen und die Extrema nehmen zu.

Ausgehend von den unterschiedlichen Ansätzen bzw. Grundlagen der einzelnen Klimaprojektionen (Unterschiede durch Anzahl und Art der Regionalen Klimamodelle, verschiedene Szenarien, unterschiedliche Prognosezeiträume, unterschiedliche Impact-Modelle etc.) kristallisiert sich dennoch eine weitgehende Übereinstimmung in den Tendenzen der verschiedenen Projektionen heraus (siehe **Tabelle 2**). Je stärker sich der Klimawandel ausprägt (RCP 2.6 bis RCP 8.5), desto stärker bilden sich die entsprechenden Tendenzen aus. Die Studien zeigen bis 2050 für Gesamtdeutschland im Median zunehmende Jahresniederschläge sowie gleichbleibende bis leicht zunehmende Verhältnisse bei der Grundwasserneubildung.

Zu beachten ist, dass – wie bereits heute auch – eine deutliche regionale Differenzierung vorliegt, die insbesondere in einigen Regionen geringe Grundwasserneubildungsmengen erwarten lassen.

Größte Herausforderung für die Zukunft ist die extreme Variabilität: Hitze, Dürre, mehrjährige Trockenheit vs. Starkregenereignisse, Überflutungen. Klimaextreme können zunehmen, das heißt Hitzewellen und Dürren ebenso wie Nassperioden könnten tendenziell länger andauern und intensiver sein. Dies wird insgesamt den Bewirtschaftungsdruck auf die Wasserressourcen gerade in den Sommermonaten erhöhen.

	DWD	FZ Jülich	KLIWA	UFZ (DVGW)
Temperatur	steigende Tendenz	–	–	steigende Tendenz
Anzahl heiße Tage	steigende Tendenz	–	–	steigende Tendenz
Jahresniederschlag	steigende Tendenz	–	leicht steigende Tendenz	steigende Tendenz
Winterniederschlag	deutlich steigende Tendenz	–	steigende Tendenz	deutlich steigende Tendenz
GW-Neubildung	–	gleichbleibende bis sehr leicht steigende Tendenz	gleichbleibende Tendenz	gleichbleibende bis sehr leicht steigende Tendenz
Abflussgeschehen	–	–	–	leicht steigende Tendenz
Aktuelle Evapotranspiration	–	–	–	leicht steigende Tendenz
Trockenheit / Dürre	steigende Tendenz	keine einheitliche Tendenz	–	steigende Tendenz

Tabelle 2: Überblick der Tendenzen der jeweiligen Klimaprojektionen für Deutschland bzw. ausgewählte Regionen im Zeithorizont bis 2100

Klimafolgenabschätzung und -anpassung sind die zentralen Themen der öffentlichen Wasserversorgung. Um diese auch zukünftig versorgungssicher und resilient zu gestalten, ist die örtliche Wasserwirtschaft in den Regionen gefordert.

Die Auswertung der Klimaprojektionen zeigt, dass es zumeist einheitliche, deutschlandweite Trends bei der Entwicklung der einzelnen Indikatoren gibt, die das Wasserdargebot beeinflussen. Gleichzeitig ist die Situation in den einzelnen Regionen unterschiedlich, in einigen Landesteilen sogar sehr ernst. Die örtliche Wasserwirtschaft und die öffentliche Wasserversorgung müssen daher jeweils ihren eigenen regionalen Anpassungspfad finden. Bundeseinheitliche Methoden und Verfahren, z.B. zur Abschätzung des nutzbaren Wasserdargebotes, wären für Versorgungsunternehmen, Behörden und Dienstleister gleichermaßen hilfreich. Aktuell entwickelt das UFZ gemeinsam mit dem DVGW in seinem Zukunftsprogramm Wasser eine Plattform für die Bereitstellung von handlungsrelevanten Wasserhaushaltsdaten für Versorger, Politik und Behörden sowie Consultants.

Der Fachdialog am 15. Juni 2022 hat den Mehrwert eines Austausches zu den Ergebnissen einzelner Untersuchungen zur Entwicklung des Wasserdargebots noch einmal aufgezeigt. Es ist daher wichtig, auch zukünftig Wissen und Informationen zu dem Thema nachhaltig auszutauschen und gemeinsam Lösungskonzepte zu entwickeln. Für die Nutzung

einer einheitlichen Methodik und Datengrundlage und für eine solide Ausgestaltung bei den Anpassungsmaßnahmen gilt es, eine breit abgestimmte Vorgehensweise zu etablieren. Aktuell haben sich der DVGW und der LAWA-Ausschuss „Grundwasser und Wasserversorgung“ darauf verständigt, eine gemeinsame neue DVGW/LAWA-Regelwerksreihe zu Wasserentnahmeverfahren in den kommenden Jahren zu erarbeiten.

In Vorbereitung auf zukünftige Anpassungen muss die bestehende Wasserversorgungsinfrastruktur analysiert und im Hinblick auf Versorgungssicherheit (Wasser Verfügbarkeit, Wasserbedarf) und Resilienz (Robustheit, Anpassungsfähigkeit) bewertet werden. Wo bereits heute notwendig, müssen zeitnah zusätzliche Wasserressourcen verfügbar gemacht werden, zum Beispiel durch die verstärkte Rückhaltung und Speicherung des Winterniederschlages zur Nutzung in den Trockenphasen des Sommers. Auf dieser Basis können dann regional bzw. überregional die notwendigen Maßnahmen getroffen werden, auch zur Sicherung der Wasserbedarfe der Landwirtschaft, der Industrie und anderer Nutzer.

DVGW-Zukunftsprogramm Wasser

Im Zukunftsprogramm Wasser entwickelt der DVGW – gemeinsam mit allen Akteuren der Wasserversorgung – zukunfts-sichere Lösungen, damit auch langfristig Trinkwasser in hoher Qualität und ausreichender Menge für alle zur Verfügung steht. Über einen Zeitraum von drei Jahren greift das Forschungsprogramm drängende Schwerpunktthemen der zukünftigen Trinkwasserversorgung in Deutschland auf – wie die Anpas-

sung an die Folgen des Klimawandels, ein effizientes und klimaresilientes Asset Management sowie die Sicherstellung der Wasserqualität. Ziel ist es, Wissenslücken zu identifizieren und zu schließen, innovative Lösungen zu entwickeln und zu erproben sowie eine nachhaltige Nutzung aller Wasserressourcen im Wasserkreislauf für Deutschland zu ermöglichen.

Mehr Informationen: www.dvgw.de/zukunft-wasser