

Eine sichere Ressource für uns alle!



Deutscher Verein des
Gas- und Wasserfaches e.V.



👉 www.dvgw.de/zukunft-wasser

Klimafolgenstudie für das DVGW-Innovationsprogramm „Zukunftsstrategie Wasser“

Kurzfassung

Friedrich Boeing & Andreas Marx

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ

mit Beiträgen von Luis Samaniego, Oldrich Rakovec, Chaitanya Malla, Özge Can, Timo Houben, Sebastian Müller, Stephan Thober, Rohini Kumar, Matthias Kelbling, Mariaines Di Dato und Sabine Attinger



Kurzfassung

Januar 2023

DVGW-Förderkennzeichen W 202122

Zusammenfassung

Der globale Klimawandel wirkt sich auch in Deutschland auf für den Wassersektor wichtige Einflussgrößen aus. Dazu zählen z.B. Änderungen von mittleren Temperaturen und der Ausprägung von Hitzewellen, aber auch Änderungen im Niederschlag oder in der Grundwasserneubildung. Diese können sowohl den zukünftigen Wasserbedarf als auch die Wasserverfügbarkeit beeinflussen.

In der Vergangenheit sind zahlreiche Studien auf der Basis einzelner oder einer geringen Anzahl von Klimasimulationen durchgeführt worden. Die Auswahl einer einzelnen Simulation bedeutet aber ein Würfeln eines Ergebnisses in den Unsicherheitsraum. Dies hat maßgeblich dazu beigetragen, dass Studien in der Vergangenheit zu unterschiedlichen Ergebnissen geführt haben. Dies betrifft Änderungen im Niederschlag und der Grundwasserneubildung stärker als Änderungen in der Temperatur. Um die Unsicherheit der Simulationsergebnisse einschätzen zu können, wurden in diesem Projekt insgesamt 70 Klimasimulationen eingesetzt, die jeweils das Wasserhaushaltsmodell mHM antreiben. Wir nutzen zwei Emissionsszenarien zur Abbildung von verschiedenen Erwärmungsgraden: Das RCP 2.6 mit 21 Klimasimulationen stellt ein Klimaschutzszenario dar, während im pessimistischen RCP 8.5 („Weiter-so-wie-bisher“ Szenario), mit 49 eingesetzten Simulationen, sehr starke zukünftige Treibhausgasemissionen zugrunde gelegt werden. In diesen Klimamodelldaten wurde im Rahmen der Helmholtz-Klimainitiative der systematische Fehler beseitigt und mit *einem external drift kriging* eine räumliche Disaggregation auf 1.2 x 1.2 km² erreicht.

Die Ergebnisse zeigen für Deutschland, dass die klimabedingten Veränderungen auch unter dem Klimaschutzszenario ungefähr bis zur Mitte des Jahrhunderts voranschreiten und sich danach stabilisieren, während unter dem „Weiter-so-wie-bisher“ Szenario die Änderungen bis zum Ende des Jahrhunderts fortschreiten.

Basierend auf dem Median aller RCP 2.6 und RCP 8.5 Simulationen ergeben sich im Mittel für Deutschland folgende Änderungen bis zum Ende des Jahrhunderts (2069-2098 zu 1971-2000):

- Mittlere Jahrestemperatur: RCP 2.6: +1.2 °C, RCP 8.5: +3.6 °C (1971-2000: 8.6 °C)
- Hitzetage: RCP 2.6: +3.5 d/a, RCP 8.5: +15.5 d/a (1971-2000: 5.8 d/a)
- Sommertage: RCP 2.6: +9.3 d/a, RCP 8.5: +31.4 d/a (1971-2000: 29.3 d/a)
- Jahresniederschlag: RCP 2.6: +5.7 %, RCP 8.5: +15.3 % (1971-2000: 793.5 mm/a)
- Winterniederschlag RCP 2.6: + 5.8 %, RCP 8.5: +30.2 % (1971-2000: 180.6 mm/Winter)
- Aktuelle Verdunstung: RCP 2.6: +3.2 % RCP 8.5: +9.5 % (1971-2000: 505.5 mm/a)
- Grundwasserneubildung: RCP 2.6: +12.4 % RCP 8.5: +31.4 % (1971-2000: 129.4 mm/a)
- Mittlerer Jahresabfluss: RCP 2.6: +13.7 % RCP 8.5: +29 % (1971-2000: 2346 Mio. m³/a)
- Jährlicher Talsperrenzufluss (>50km² EZG): RCP 2.6: +3.5 % RCP 8.5: +10.3 % (1971-2000: 4738 m³/a)

- Agrarische Dürredauer April-Juni: RCP 2.6: +3.1 d/a, RCP 8.5: -0.5 d/a (1971-2000: 15.4 d/a)
- Agrarische Dürredauer Juli-September: RCP 2.6: +2.7 d/a, RCP 8.5: +11.4 d/a (1971-2000: 15.5 d/a)
- Jährliche hydrologische Dürredauer: RCP 2.6: -14 d/a, RCP 8.5: -14 d/Jahr (1971-2000: 58 d/a)

Es bleibt zu beachten, dass sich regional andere sowie gegenläufige Signale ausprägen können. Als Beispiel sei die Entwicklung der jährlichen hydrologischen Dürredauer unter RCP8.5 bis zum Ende des Jahrhunderts genannt. Während über Deutschland im Median eine Abnahme um -14 d/a erwartet wird, ist diese an der Elbe mit -34 d/a stärker ausgeprägt. Demgegenüber steigen die Dürretage an Rhein und Maas um etwa 5 d/a an.

Die hier eingesetzte Ensemble-Strategie erlaubt eine umfassende Auswertung sowohl der im Rahmen der Modellunsicherheiten wahrscheinlichsten Entwicklung (Median der Änderungen über alle Klimasimulationen in einem Klimaszenario) als auch die Gesamtspannbreite (best case / worst case Betrachtungen) der möglichen Veränderungen unter verschiedenen Szenarien des Klimawandels. Der Median der Veränderungen über alle Klimasimulationen stellt die wahrscheinlichste Entwicklung dar und ist somit als Richtwert für die Klimaanpassung in der Wasserversorgung geeignet. Danach nimmt die terrestrische Wasserverfügbarkeit (Niederschlag minus aktuelle Verdunstung) in beiden Klimaszenarien im Median leicht zu. Die Auswertung aller Klimasimulationen zeigt für die Temperatur eine eindeutige Trendstabilität. In allen Simulationen nehmen in den zehn betrachteten Einzugsgebieten z.B. die Jahresmitteltemperatur und die Sommertage bis zum Ende des Jahrhunderts zu. Anders stellt sich dies bei der Entwicklung des Niederschlags dar. Hier ist die wahrscheinlichste Entwicklung eine Zunahme des Jahresniederschlags, einige Klimasimulationen enthalten aber auch zukünftige Niederschlagsrückgänge. Diese Simulationen sind möglich, jedoch weniger wahrscheinlich. Zur Einordnung der Gesamtensembles wird für jedes der zehn Haupteinzugsgebiete in Deutschland in Kapitel 3 des Endberichtes ein Boxplot gezeigt.

Die Anzahl der **Sommertage** im historischen Zeitraum 1971-2000, welcher den Ausgangspunkt für die zukünftigen Änderungen in dieser Auswertung darstellt, sind deutschlandweit unterschiedlich verteilt. Sommertage treten in Deutschland in südlicher Richtung tendenziell häufiger auf und sind, genau wie die Temperaturen, auch abhängig von der Höhe ü.NN. Während die mittlere Anzahl der Sommertage in den Haupteinzugsgebieten Eider, Schlei-Trave und Warnow-Peene im Mittel 14.6, 17.8 und 20.1 betragen, liegen diese im Rheingebiet im Mittel bei 32.1. Im Alpenraum und den Mittelgebirgen treten Sommertage nur vereinzelt auf. Für beide Klimaszenarios ist eine Erhöhung der Sommertage im Mittel um ~6 (Eider) bis ~12 (Donau) Tage für die Zukunftszeitscheibe 2021-2050 zu verzeichnen. Danach kommt es zu einer Stabilisierung der Veränderungen unter RCP 2.6 und einem weiteren Anstieg der Sommertage unter RCP 8.5. Die größten Anstiege sind dabei im Oberrheingraben mit mehr als 40 zusätzlichen Sommertagen zu erwarten. Auch in den Mittelgebirgen und im Alpenraum werden zukünftig vermehrt Sommertage auftreten.

Die **Hitzetage** weisen eine ähnliche räumliche Verteilung wie die Sommertage auf. Regionen mit historisch relativ vielen Hitzetagen sind der Oberrheingraben und Südostbrandenburg. Die Zunahme der Hitzetage weist einen starken Nord-Süd Gradienten auf, der durch die tendenziell stärkere Temperaturerhöhung im Süden Deutschlands im Sommer zu erklären ist.

Generell zu bemerken ist, dass es sich bei der Auswertung der Hitzeindikatoren um klimatologische Kennzahlen (gemittelt über 30 Jahre) handelt. Einzelne Jahre können eine deutlich größere Anzahl an Hitze- und Sommertagen aufweisen.

Generell wird gezeigt, dass mit fortschreitender Erwärmung auch die **Jahresniederschlags-summe** leicht ansteigt. Im Ensemblemedian unter RCP 2.6 bis 2050 eine Zunahme um +4.5 % (Donau, Rhein) bis +6.8 % (Oder) erwartet, danach treten uneinheitliche und nur leichte Änderungen auf. Demgegenüber wird für das Szenario RCP 8.5 eine Zunahme der mittleren Jahresniederschlagssummen um ungefähr 11 % (Maas) bis knapp 20 % im Oder und Warnow-Peene Gebiet in der Zukunftszeitscheibe 2069-2098 ersichtlich.

Die Niederschlagsänderungen fallen saisonal sehr unterschiedlich aus. Im **Sommer** zeigen sich die stärksten mittleren Niederschlagsabnahmen unter dem RCP 8.5 Szenario von ca. -7 % (Rhein) bis -9 % (Maas) und leichten Zunahmen im Oder Gebiet von ca. 7 %. Im **Winter** werden im Median über alle Simulationen Niederschlagszunahmen erwartet. Diese fallen unter RCP 8.5 an Maas (+27 %) und Warnow-Peene (+33 %) am stärksten aus.

In den letzten Jahren wurde in Deutschland der Anstieg der **Verdunstung** als maßgeblicher Treiber der Wasserhaushaltsänderung diskutiert. Am Beispiel des Elbe-Einzugsgebietes unter RCP 8.5 bis zum Ende des Jahrhunderts zeigt sich, dass die mit mHM simulierte Zunahme der aktuellen Verdunstung aET (+51 mm/a) weniger stark ausfällt als die PET (+61 mm/a). Die aET war bisher in Deutschland in der Vergangenheit im Wesentlichen energielimitiert. Bei abnehmenden Sommerniederschlägen und regelmäßig unter Klimawandel stärker austrocknenden Böden in der Vegetationsperiode II (Juli-September) tritt zukünftig jedoch vermehrt eine Wasserlimitation der Verdunstung auf. Weiterhin zeigt sich, dass die zukünftige jährliche atmosphärische Bilanz P-aET in allen betrachteten Einzugsgebieten positiv ist und somit terrestrisch zukünftig eine leicht höhere Wasserverfügbarkeit entsteht.

Wie schon beim Winterniederschlag nimmt der Median der **jährlichen Grundwasserneubildung** mit zunehmender Erwärmung über 30-jährige Zeiträume zu, die Änderungen sind jedoch insgesamt klein. Neben der Niederschlagszunahme führt auch die Abnahme der Frost- und Eistage zu einer höheren Infiltration. Die hier berechneten Änderungen auf 30-jährigen Zeiträumen bilden mittlere Zustände ab. Inwieweit mehrjährige Grundwasserneubildungsdürren auftreten könnten, wurde nicht untersucht.

Sowohl im Klimaschutzszenario RCP 2.6 als auch im pessimistischen Szenario Weiter-so-wie-bisher RCP 8.5 nehmen die **mittleren Jahresabflüsse** über alle zehn Haupteinzugsgebiete Deutschlands zu.

Dabei nehmen die Abflüsse mit steigenden Temperaturen im Median tendenziell zu, wobei ein räumlicher Gradient erkennbar ist. Während im Südwesten regional leichte Abnahmen erkennbar sind, werden im Nordosten Deutschlands die stärksten Zunahmen des mittleren Jahresabflusses erreicht. Auch saisonal ist dieser räumliche Gradient vor allem im Sommer im Südwesten mit zum Teil deutlich rückgängigen Abflüssen unter starkem Klimawandel bis zum Ende des Jahrhunderts sichtbar. Dagegen ist im Winter mit einer flächendeckenden Abflusszunahme zu rechnen. Eine mögliche Erklärung ist der Rückgang von Frost- und Eistagen und die damit verbundene geringere Wasserspeicherung in Form einer Schneedecke. Die Ergebnisse zeigen im Median zunehmende **jährliche Talsperrenzuflüsse** mit steigender Erwärmung. Auch hier finden sich in der Gesamtspannbreite der Ensembles zumeist auch Simulationen mit zukünftig abnehmenden jährlichen Talsperrenzuflüssen, die möglich, aber nicht wahrscheinlich sind.

Die Änderungen der **jährlichen hydrologischen Dürredauer** sind unter beiden Klimaszenarien im Median bei geringer Trendstabilität bis zum Ende des Jahrhunderts insgesamt abnehmend. Im Südwesten Deutschlands ist dabei eine Verlängerung und im Nordosten eine deutliche Abnahme der Tage unterhalb des Niedrigwasserschwellenwertes festzustellen. Dieses räumliche Muster findet sich unter RCP 8.5 sowie saisonal im Sommer stärker ausgeprägt wieder, während die hydrologische Dürredauer in den Wintermonaten in allen Einzugsgebieten rückläufig ist. Die Änderung der jährlichen **hydrologischen Dürreintensitäten** ist im Klimaschutzszenario zukünftig klein und abnehmend. Nur über die Einzugsgebiete von Rhein und Maas nehmen zum Ende des Jahrhunderts unter dem pessimistischen Weiter-so-Szenario die mittleren jährlichen Niedrigwasserdefizite im Median über das Ensemble zu. Diese jährlichen Änderungen der hydrologischen Dürreintensität sind durch die Zunahmen im Sommer und Herbst getrieben, die sich auch im Mittel über das Donau-EZG wiederfinden.

In der Vegetationsperiode I von April bis Juni sind die Änderungen der **mittleren agrarischen Dürredauer** sowohl im Klimaschutz- als auch im Weiter-so-Szenario klein und wenig trendstabil. Eine mögliche Erklärung liegt in den gegenläufigen Entwicklungen des im Median zunehmenden Frühjahrsniederschlags bei gleichzeitig steigenden Temperaturen. In der Vegetationsperiode II von Juli bis September zeigt sich bis zum Ende des Jahrhunderts dementsprechend im pessimistischen Weiter-so-Szenario regelmäßig eine stärkere Austrocknung des Oberbodens und eine Verlängerung der mittleren agrarischen Dürreandauer. Regional sind davon nur Teile der neuen Bundesländer ausgenommen.

Die **agrarische Dürreintensität** ist ein dimensionsloses Maß, um die Stärke einer Dürre abzuschätzen. In die Berechnung fließen die Länge der Dürreperiode in zweijährigen Zeiträumen und die absolute Trockenheit als negative Abweichung des 20. Perzentils im zeitlichen Verlauf ein. Der Vergleich der zweijährigen agrarischen Dürreereignisse zeigt, dass unter beiden Klimaszenarien zukünftig größere Intensitäten über die Gesamtfläche Deutschlands auftreten und dass diese unter dem Weiter-so Szenario häufiger auftreten und stärker ausgeprägt sind. Insgesamt steigt also in Deutschland mit zunehmender Erwärmung die Wahrscheinlichkeit zweijähriger Ereignisse mit größeren Dürreintensitäten.

Das **Verhältnis von Grundwasserneubildung zu Gesamtabfluss** ändert sich sowohl in den jährlichen als auch in den saisonalen Auswertungen nur wenig, wobei sich das Verhältnis leicht in Richtung des Oberflächenabflusses verschiebt.

Zu diesem Projekt wurde ein kondensierter Ergebnisüberblick in **Marx et al (2022)** gegeben:

A. Marx, F. Boeing, and L. Samaniego. Zur Entwicklung des Wasserdargebotes im Kontext des Klimawandels: Ergebnisse des Forschungsprojekts „UFZ Klimafolgenstudie“ für das DVGW Zukunftsprogramm Wasser, p.16–21, Aug. 2022. <https://www.dvgw.de/meldien/dvgw/forschung/berichte/2208marx.pdf>

Impressum

DVGW Deutscher Verein des
Gas- und Wasserfaches e. V.
Technisch-wissenschaftlicher Verein
Josef-Wirmer-Straße 1–3
53123 Bonn

Tel.: +49 228 9188-5
Fax: +49 228 9188-990
E-Mail: info@dvgw.de
Internet: www.dvgw.de

Download als PDF unter: www.dvgw.de

Nachdruck und Vervielfältigung nur im
Originaltext, nicht auszugsweise, gestattet.