



Methodik – Papier zum Handlungsfeld Wasserwirtschaft: Klimatische Wasserbilanz

Klimatische Wasserbilanz

Die Klimatische Wasserbilanz, als Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung, wird direkt durch Veränderungen von Temperatur und Niederschlag beeinflusst. Sie weist sowohl eine hohe regionale als auch zeitliche Variabilität auf. Durch die Kombination von Niederschlagsdaten mit den Daten zur Verdunstung können deutlich aussagefähigere Angaben gemacht werden, inwieweit Trockenheit oder eine ausreichende Wasserversorgung vorliegt. Die Daten zur **Klimatischen Wasserbilanz** stehen nun für die Klimanormalperioden des beobachteten Zeitraums 1961-2020 und die Zukunftsprojektionen 2031-2060 und 2071-2100 zur Verfügung.



Leerer Möhnesee. Foto: MH Foto/stock-adobe.com.

Grundlagen

Die klimatische Wasserbilanz (KWB) ist eine abgeleitete Größe, die sich als Differenz der Niederschlagshöhe (P) und der potenziellen Verdunstung (V) ergibt:

$$\text{KWB} = P - V$$

Angegeben wird die klimatische Wasserbilanz in mm Wassersäule (1 mm entspricht 1 Liter pro Quadratmeter [l/m²]). Sie stellt eine quantitative Gegenüberstellung von Wassergewinn und -verbrauch in einem bestimmten Gebiet für einen festgelegten Zeitraum dar und beschreibt, wie sich die meteorologischen Bedingungen auf den Bodenwasserhaushalt auswirken: Ist der Niederschlag größer als die Verdunstung, so ist die Wasserbilanz positiv und man spricht von einem humiden, also feuchten Klima. Den umgekehrten Fall nennt man trocken bzw. arid.

Als Verdunstung bezeichnet man die Umwandlung von Wasser in Wasserdampf bei Temperaturen unterhalb des Siedepunktes. Hier wird die Gesamtverdunstung von einer natürlich bewachsenen Bodenoberfläche, die Evapotranspiration betrachtet. Sie setzt sich aus der Evaporation (Verdunstung über einer freien Wasserfläche oder vegetationslosen Erdoberfläche) und der Transpiration (Abgabe von Wasserdampf durch Pflanzen in die Atmosphäre) zusammen.

Die Messung der Verdunstung ist sehr aufwendig, da sie u.a. von der Bodenbeschaffenheit, der Art des Bewuchses und vom Wasservorrat im Boden abhängt. Sie kann deshalb nur punktuell ermittelt werden. Daher betrachtet man für räumliche Berechnungen die sogenannte Grasreferenzverdunstung, welche die Verdunstung einer standardisierten Grasdecke in standardisiertem Boden bei optimaler Wasserversorgung angibt. Sie wird mit Hilfe der folgenden Formel (nach Penman-Monteith und Wendling (Wendling 1995)) berechnet:

$$V = ((RG + 93 * k) * (T + 22)) / (165 * (T + 123) * (1 + 0,00019 * h))$$

wobei:

V: Grasreferenzverdunstung in mm

RG: Globalstrahlung in W/m²

T: Monatsmittel der Lufttemperatur in °C

k: Küstenfaktor (0,5 an der Küste, 1 im Binnenland)

h: Seehöhe in m (für h > 600 m wird h = 600 m gesetzt)

Datenbasis und Kartenerstellung

Die Datenerhebung und Auswertung der Beobachtungsdaten der Vergangenheit (1961-2020) sowie der Klimamodellsimulationen für die Zukunftszeiträume Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst (DWD) (Brienen et al. 2020)) wurden vom Deutschen Wetterdienst zur Verfügung gestellt. Die Beobachtungsdaten der klimatischen Wasserbilanz sowie die zugrundeliegenden Daten des Niederschlags und der potenziellen Verdunstung werden in monatlicher bzw. jährlicher Auflösung durch den DWD berechnet und bereitgestellt. Der DWD interpoliert die Stationsdaten unter Berücksichtigung der Geländetopographie auf ein Raster von 1 km × 1 km, sodass sich Flächenkarten für NRW ergeben. Die Flächenkarten auf Jahres-, Jahreszeiten-, und Monatsbasis werden zu zeitlichen Mittelwerten für verschiedene 30-Jahres-Perioden aggregiert. Die Auswertung erfolgte für die Zeiträume 1961-1990, 1971-2010, 1981-2010 sowie 1991-2020. Bei den Klimaprojektionen greift der DWD auf Daten aus den Projekten EURO-CORDEX und ReKliEs-DE zurück. Die Datenbasis stellt ein Ensemble aus verschiedenen Klimamodellen dar, das sogenannte DWD-Referenzensemble v2018, zum Stand Juni 2018. Das Modellensemble liegt für verschiedene Klimaszenarien vor. Für die Auswertung des RCP-Szenarios 2.6 (Klimaschutz-Szenario) stand ein Modellensemble aus 11 Modellen zur Verfügung; für die Auswertung des RCP4.5-Szenarios (moderates Szenario) von 12 Modellen sowie des RCP8.5-Szenarios ("weiter-wie-bisher"-Szenario) von 21 Modellen. Im Rahmen des BMVI-Expertenetzwerks (heute BMVD-Expertenetzwerk) fand ein Downscaling der Daten in ein Raster von 5 km x 5 km statt (Brienen et al. 2020). Für den KlimaAtlas wurden neben den bekannten Karten der projizierten Änderungssignale gegenüber der Referenzperiode 1971-2000 auch die absoluten Projektionswerte zur Verfügung gestellt, in dem nach Absprache mit dem DWD die Änderungssignale entsprechend der Szenarien und Bandbreiten (Perzentile) auf die Beobachtungsraster 1971-2020 aufaddiert wurden.

Kartenbeschreibung

Sämtliche Klimanormalperioden des beobachteten und projizierten Zeitraumes können in der Einstellung Klima NRW.Plus über den Zeitschieber angewählt werden. Bei der Einstellung Klima.NRW werden die Projektionen nur für das „Klimaschutz-Szenario“ (RCP2.6) = „mit Klimaschutz“ und das „weiter-wie-bisher“-Szenario (RCP8.5) = „ohne Klimaschutz“ dargestellt.

Die räumliche Struktur der Karten zur klimatischen Wasserbilanz entspricht in den Beobachtungsdaten weitgehend der räumlichen Verteilung des Niederschlags. Im Jahresmittel ist die klimatische Wasserbilanz in Nordrhein-Westfalen fast flächendeckend positiv; eine Ausnahme stellt ein Bereich in der Zülpicher Börde, im Wind- und Regenschatten der Eifel, dar, der im Jahresmittel eine negative klimatische Wasserbilanz (lachsfarbene bis rote Farbtöne, > -100 mm bis 0 mm und < -100 mm) aufweist. Insgesamt treten die niedrigsten positiven Werte, unter 100 mm (grün), in dem Gebiet zwischen Bonn, Jülich und dem Rurtal, sowie dem Westrand des Niederrheinischem Tieflandes, dem Westfälischem Tiefland und der Warburger Börde auf. Weite Teile NRWs, insbesondere die tieferen Gebiete, liegen in einem Wertebereich von > 100 mm bis 200 mm (mintgrün), welche flächenmäßig die am weitesten verbreitete Klasse darstellt, zumindest bei den Beobachtungsrastern (abgesehen von 1981-2010). Der Wertebereich > 200 mm bis 300 mm (hellblau) kommt in den Vorländern der Mittelgebirge und auch im westlichen Münsterland häufiger vor. Ab > 300 mm an jährlicher klimatischer Wasserbilanz (grau) befindet man sich im Bereich der kühleren und regenreicheren Mittelgebirge. Alle höheren Klassen bei der klimatischen Wasserbilanz sind in den Mittelgebirgen anzutreffen. Die größten Bilanzüberschüsse finden sich im Bergischen- sowie Sauer- und Siegerland mit Werten von über 1200 mm. Danach folgen das Weserbergland und die Eifel mit Werten über 800 mm. In den folgenden Abbildung 1 und Abbildung 2 werden jeweils Einzelkarten der Klimatischen Wasserbilanz für 1961-1990 und 1991-2020 dargestellt.

Klimatische Wasserbilanz
1961-1990

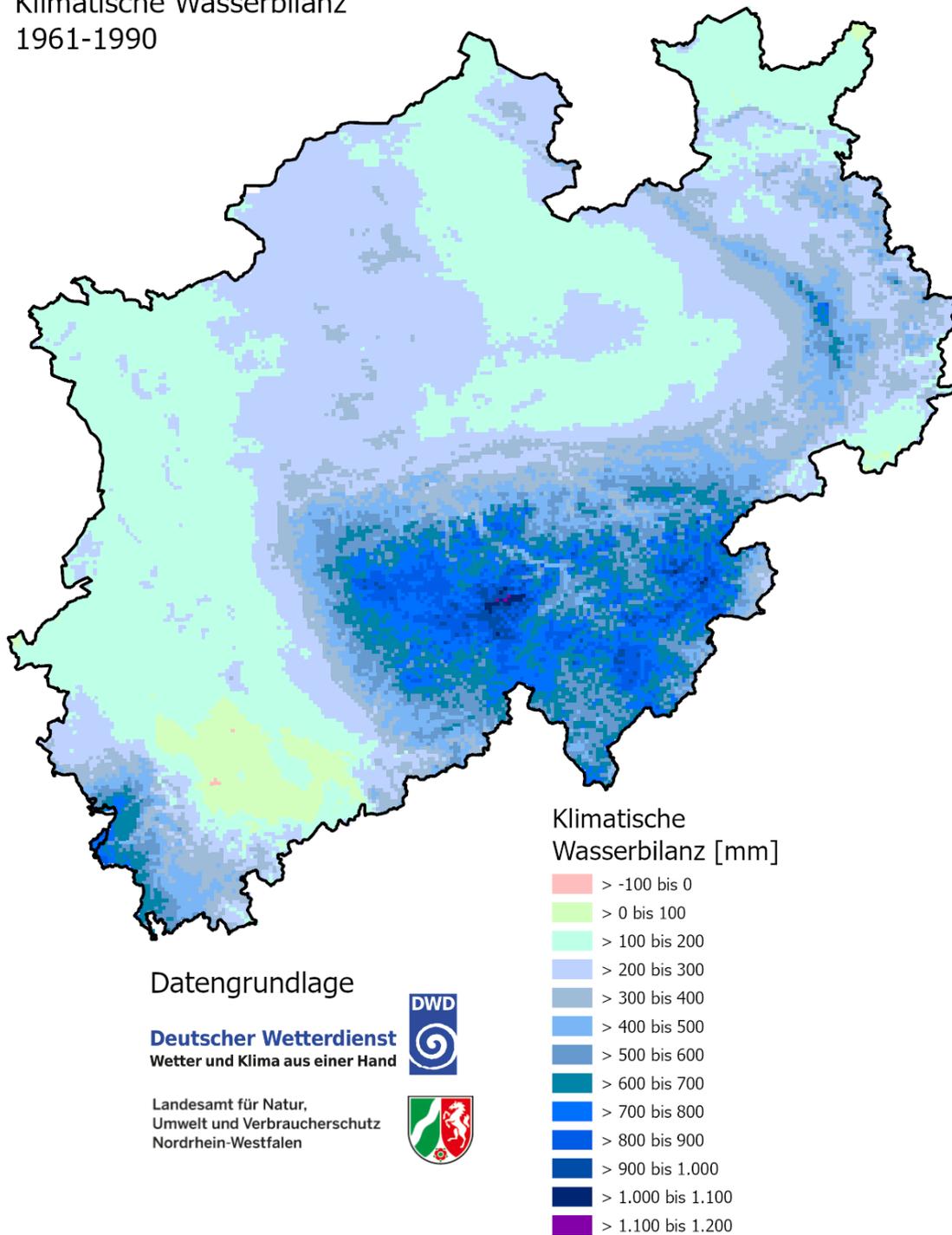


Abbildung 1: Mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz in NRW im Zeitraum 1961-1990. Datenquelle: Deutscher Wetterdienst.

Klimatische Wasserbilanz
1991-2020

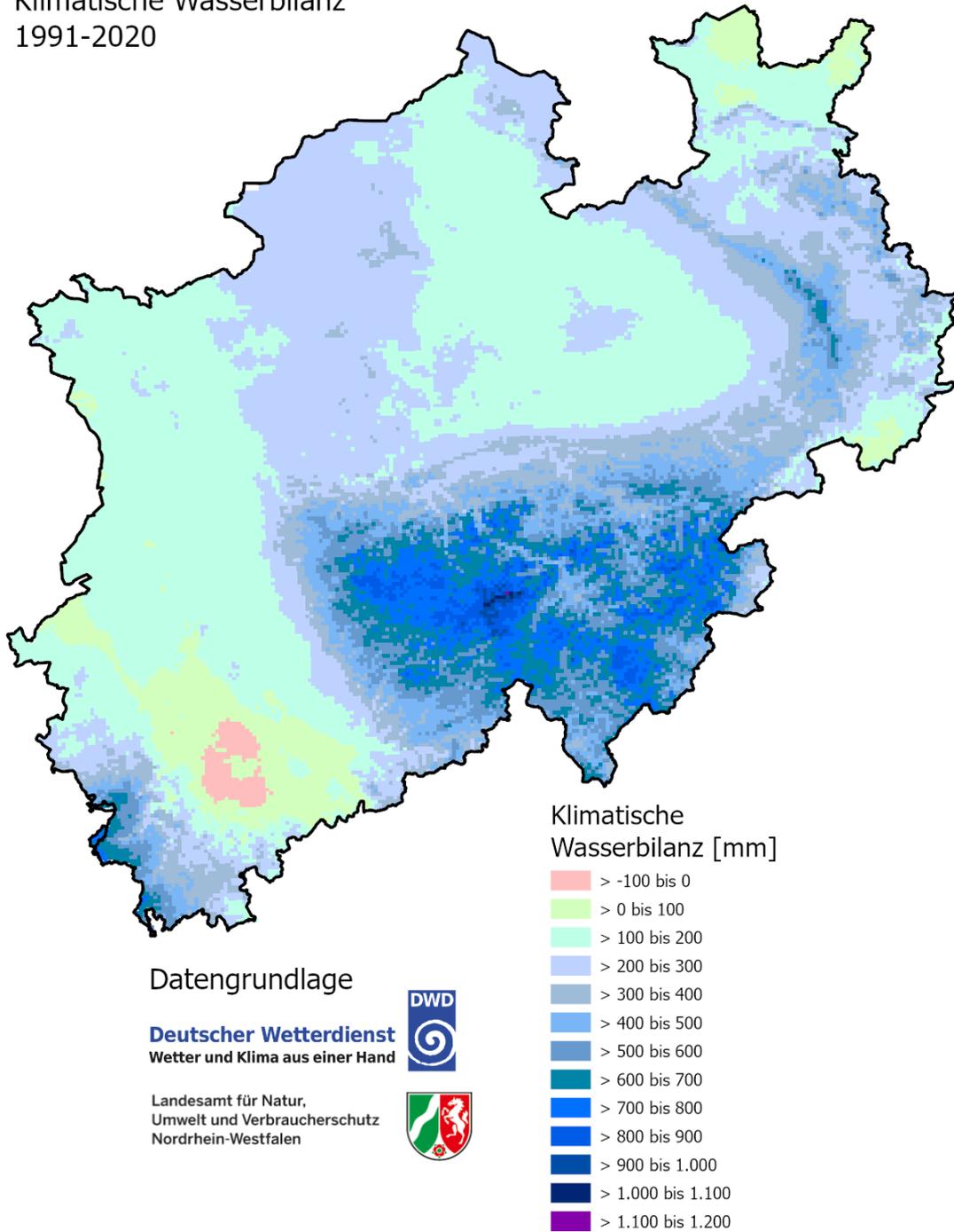


Abbildung 2: Mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz in NRW im Zeitraum 1991-2020. Datenquelle: Deutscher Wetterdienst.

Beim Vergleich der mittleren jährlichen klimatischen Wasserbilanz der ersten verfügbaren Klimanormalperiode 1961-1990 (Abbildung 1) mit der letzten verfügbaren Klimanormalperiode 1991-2020 (Abbildung 2) wird erkennbar, dass aktuell (1991-2020) trockenere Bedingungen herrschen. Tatsächlich zeigt auch Tabelle 1, dass die aktuelle Klimanormalperiode die trockenste bisher ist. Den bisher höchsten Mittelwert bei der klimatischen Wasserbilanz wurde während der KNP 1981-2010 beobachtet. Der für die Klimaprojektionen als Referenzperiode gewählte Zeitraum 1971-2000 hat den zweit-geringsten Mittelwert. Sowohl an der Größe des Gebietes mit negativer Wasserbilanz in der Zülpicher Börde als auch an der Größe der Flächen mit den Klassen 0 mm – 100 mm und 100 mm – 200 mm wird ein Unterschied schnell sichtbar (vgl. Abbildung 1 und Abbildung 2). Hier gab es eine Vergrößerung der 0 mm – 100 mm Klasse zugunsten der nächst höheren. Aber auch die Flächenanteile 200 mm – 300 mm haben, besonders gut erkennbar im Münsterland, zugunsten der darunterliegenden Klasse abgenommen.

Tabelle 1: NRW-Mittelwerte der klimatischen Wasserbilanz für Klimanormalperioden im Beobachtungszeitraum ab 1961. Datenquelle: Deutscher Wetterdienst.

Zeitraum	Klimatische Wasserbilanz [mm]
1961-1990	316
1971-2000	303
1981-2010	343
1991-2020	289

Betrachtet man die in der Kartenanwendung über den Zeitschieber ebenfalls verfügbaren Karten der Zukunftsprojektionen, wird deutlich, dass auch hier noch nicht eindeutig klar ist, ob es in der Mitte des Jahrhunderts und in der fernen Zukunft eher geringere oder eher höheren Mittelwert bei der klimatischen Wasserbilanz als aktuell (1991-2020) geben wird. Die in der folgenden Abbildung 3 dargestellte Übersicht der Bandbreiten der Klimaszenarien RCP2.6 vs. RCP 8.5 (wobei das 15. Perzentil hier für das „trockene“ Ende der Bandbreite und das 85. Perzentil für das „feuchtere Ende der Bandbreite aller Projektionen für jedes Szenario steht), jeweils für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100), zeigt bei der klimatischen Wasserbilanz entweder nochmals zum Teil erheblich geringere Mittelwerte als 1991-2020, welche bisher die trockenste beobachtete Klimanormalperiode war; oder die Projektionen zeigen sowohl auf der Karte als auch bei den absoluten Mittelwerten (s. Tabelle 2) ähnlich hohe klimatische Wasserbilanzen an, wie sie im bisher feuchtesten Zeitraum 1981-2010 beobachtet wurden. In der nachfolgenden Tabelle 2 werden die möglichen zukünftigen absoluten Mittelwerte aus den Projektionen für NRW übersichtlich dargestellt. Ordnet man den bisher trockensten Mittelwert der beobachteten klimatischen Wasserbilanz von 289 mm während der KNP 1991-2020 dort ein, findet man vergleichbar trockene Mittelwerte erst im Median (50. Perzentil) der Szenarien RCP2.6 und RCP4.5 am Ende des Jahrhunderts (2071-2100) wieder. Ähnliche Beobachtungen, wo bereits heute schon vergleichbar trockene Werte wie in der fernen Zukunft projiziert erreicht werden, werden auch bei der

Niederschlagsmenge, der Grundwasserneubildung und beim Netto-Gesamtabfluss gemacht. Dort unterschreiten die aktuellen Mittelwerte 1991-2020 sogar teilweise die projizierten Mittelwerte des 15. Perzentils (welches auch bei diesen Parametern trockene Bedingungen repräsentiert) am Ende des Jahrhunderts. Bei der klimatischen Wasserbilanz ist noch Spielraum zu noch trockeneren Verhältnissen in der Zukunft vorhanden. Hier macht sich beim 15. Perzentil zum Ende des Jahrhunderts auch die extrem gestiegene mögliche Mitteltemperatur stark bemerkbar. Erst durch die daraus resultierende mögliche höhere Verdunstung werden so niedrige Mittelwerte bei der klimatischen Wasserbilanz, wie in Tabelle 2 sichtbar, möglich. Hier stehen die 163 mm des RCP8.5, 15. Perzentil nochmal deutlich hervor.

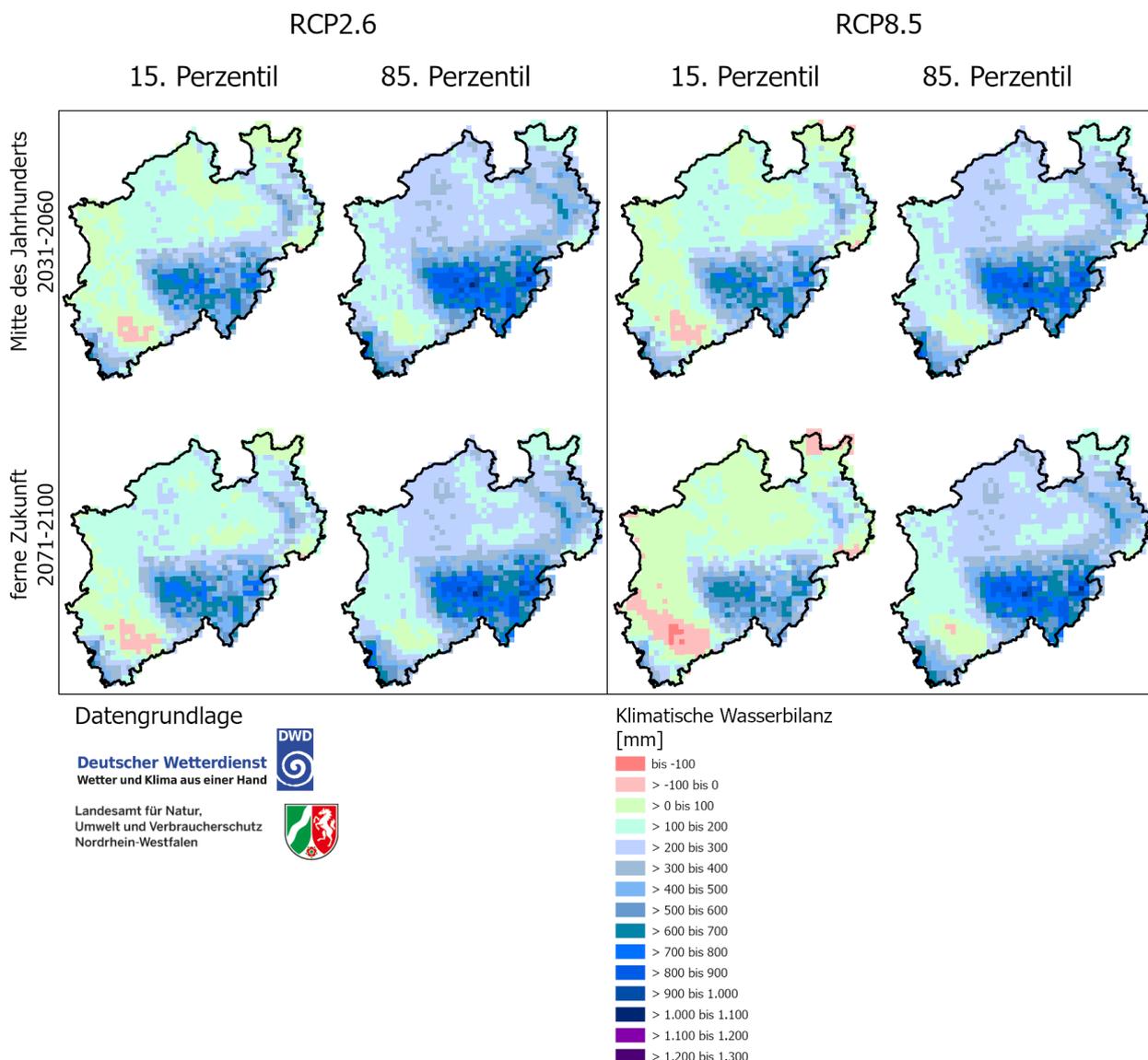


Abbildung 3: Übersicht möglicher Zukunftsprojektionen absolute klimatische Wasserbilanz, RCP2.6 und RCP8.5, jeweils 15. und 85. Perzentil für die Zeiträume 2031-2060 und 2071-2100. Datenquelle: Deutscher Wetterdienst

Tabelle 2: Übersicht möglicher zukünftiger NRW-Mittelwerte der absoluten klimatischen Wasserbilanz in mm. Datenquelle Deutscher Wetterdienst.

Zeitraum	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
2031-2060	15. Perzentil	232	245	236
	50. Perzentil	303	311	300
	85. Perzentil	348	345	339
2071-2100	15. Perzentil	219	243	163
	50. Perzentil	284	293	259
	85. Perzentil	331	349	336

Fazit klimatische Wasserbilanz

Die Daten zur klimatischen Wasserbilanz des Deutschen Wetterdienstes liegen nun als Karten für die Klimanormalperioden der beobachteten Zeit 1961-2020 und die der möglichen Zukunft für 2031-2060 und 2071-2100 gesammelt im Klimaatlas vor. Mit Hilfe der als absolute Werte (nicht nur als Änderungssignal) vorliegenden Klimaprojektionen kann der aktuelle Mittelwert 1991-2020 der klimatischen Wasserbilanz mit den aktuell verfügbaren Klimaprojektionen in Bezug gesetzt werden. Hier wird deutlich, dass die Zukunftsprojektionen für die klimatische Wasserbilanz noch deutlich trockener ausfallen



Leerer Mohnesee. Foto: MH Foto/stock-adobe.com.

könnten als in der aktuellen Klimanormalperiode 1991-2020, die bereits als sehr trocken gilt. Dem gegenüber wird es den uns zur Verfügung stehenden Zukunftsprojektionen nach nicht wesentlich feuchter als im Zeitraum 1981-2010. Die je nach Klimaschutzpfad der Szenarien erheblich steigenden Mitteltemperaturen sind mit ihrem deutlich erhöhtem möglichen Verdunstungspotenzial dafür die Hauptursache. Bei der klimatischen Wasserbilanz zeigen die Klimaprojektionen ein möglicherweise realistischeres Bild der Zukunft als die anderen Parameter zur Wasserwirtschaft, wie Grundwasserneubildung, Netto – Gesamtabfluss oder auch den Niederschlag selbst. Denn dort wurden bereits heute (1991-2020) die Verhältnisse der trockenen Projektionsergebnisse des „weiter-wie-bisher“ Szenarios am Ende des Jahrhunderts erreicht. Ob es noch trockener wird, oder ob es in Zukunft wieder feuchter wird, können und müssen die nächste Generation der Klimaprojektionen – und natürlich der Anteil der Klimaschutz-Maßnahmen, beantworten. So oder so ist es absolut wichtig, sich auf möglicherweise trockenere Verhältnisse, insbesondere im Frühjahr und Sommer, einzustellen.

Literaturverzeichnis

Brienen, S.; Walter, A.; Brendel, C.; Fleischer, C.; Ganske, A.; Haller, M. et al. (2020): Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre: Schlussbericht des Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP-101) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks. Hg. v. Deutscher Wetterdienst, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Bundesanstalt für Gewässerkunde und Bundesanstalt für Wasserbau, zuletzt geprüft am 22.04.2021.

Wending, U. (1995): Berechnung der Gras-Referenzverdunstung mit der FAO Penman-Monteith-Beziehung. In: *Wasserwirtschaft* (85), S. 602–604.