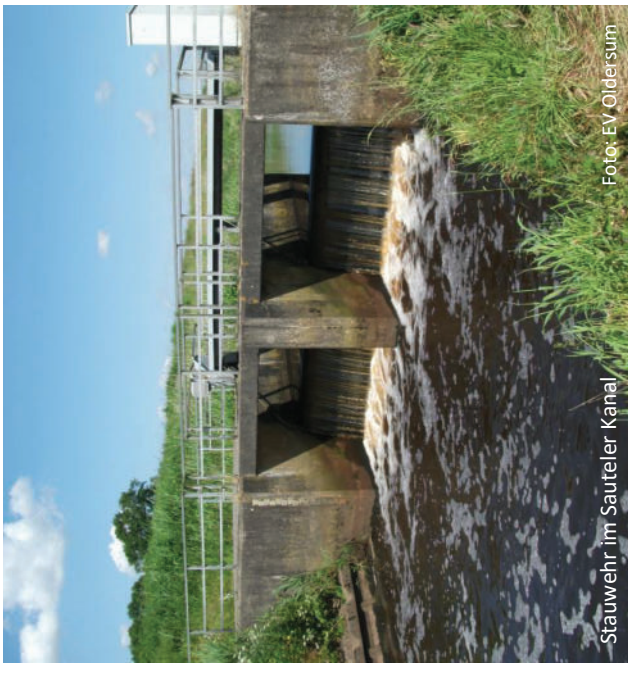




Schöpfwerk Moormerland



Stufenschöpfwerk Oldersumer Grashaus



Stauwehr im Sauteler Kanal

Foto: EV Oldersum



Siel und Schöpfwerk Sautel



Sauteler Kanal



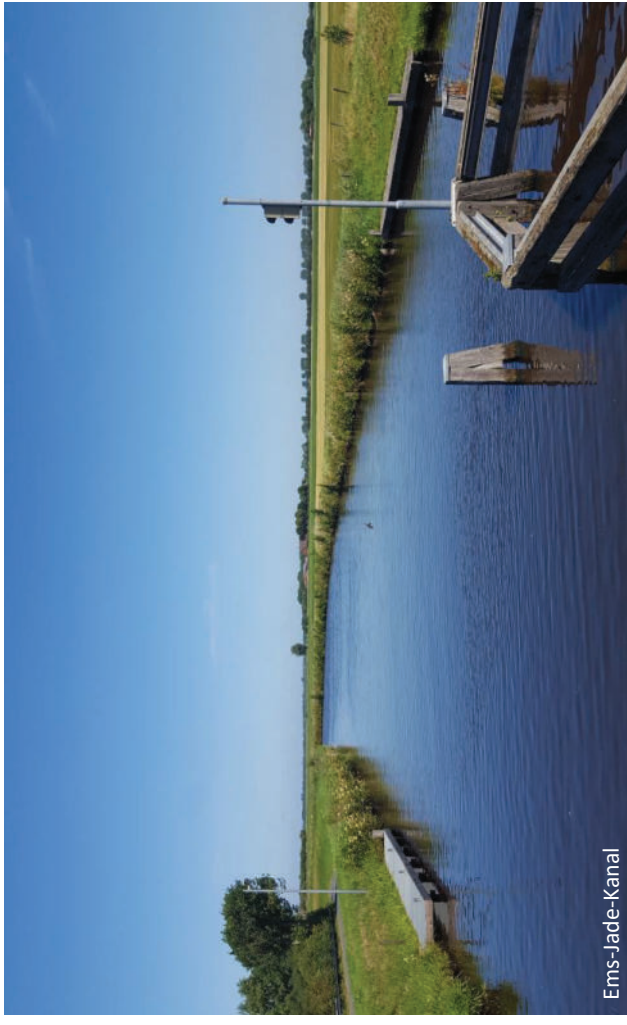
Heikeschloot



Ems-Jade-Kanal in Emden



Oldersumer Sieltief



Ems-Jade-Kanal



Niederschlags- und Abflussmengen

Durch die räumliche Nähe und die geringe topographische Variabilität ist die Niederschlagsverteilung in den vier Verbandsgebieten des Betrachtungsraums ähnlich. Der mittlere Jahresniederschlag basierend auf Radarniederschlagsdaten (RADOLAN) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) lag für den Zeitraum 2006 bis 2019 im Bereich zwischen 850 und 900 mm. Das feuchteste Jahr in der Zeitreihe war das Jahr 2007 mit Niederschlägen zwischen 1100 mm im Gebiet des EV Norden und 1340 mm im Obergebiet des EV Oldersum. Das trockenste Jahr der Zeitreihe war das Jahr 2018 mit 560 mm im Gebiet des I. EV Emden bis 760 mm im Gebiet des EV Aurich.

Der **Niederschlag** verteilt sich auf unterschiedliche **Abflusskomponenten**, die von der Niederschlagsverteilung und -intensität, der Wasseraufnahme- und Speicherefähigkeit der Böden sowie den Witterungsbedingungen und der Vegetationsaktivität abhängig sind. In kleinem Maße tragen zudem Fremdwasserzuflüsse, wie der permanente Wasserzuström aus Kläranlagen, zur Abflussbildung in den Vorflutgewässern bei. Aufgrund der anthropogenen Steuerung des Gewässersystems ist es nicht möglich, den Abfluss über eine Schlüsselkurve zu bestimmen, und kontinuierliche Abflussmessungen sind sehr aufwändig. Um den-

noch den Abfluss aus den Gebieten quantitativ zu beschreiben, wird dieser möglichst genau aus den **Siel- und Pumpmengen** geschätzt. Sielmengen werden anhand einer Sielzugformel abgeleitet, sofern eine solche vorhanden ist. Ist dies nicht der Fall, werden Schätzungen aus Erfahrungswerten anhand von Sielöffnungszeiten und Strömungsverhältnissen vorgenommen. Die Wassermenge, welche die Einzugsgebiete mit Hilfe von Pumpkraft verlässt, lässt sich gut anhand der Pumpenkennlinie berechnen. Voraussetzung dafür ist, dass die Pumpenparameter aufgezeichnet werden. Für einige Siel- und Schöpfwerksstandorte an der Nordseeküste werden die benötigten Parameter bereits minütlich mittels Datenlogger erfasst und ermöglichten somit eine genaue Abschätzung.

An Standorten mit durchlässigeren, tiefgründigeren Böden, wie zum Beispiel den Sandböden in der Geest, dringt ein Teil des infiltrierten Wassers tief in den Boden ein und erreicht die Grundwasseroberfläche. Damit trägt dieser Anteil des Abflusses zur **Grundwasserneubildung** tiefer liegender Grundwasserleiter bei. Zur großflächigen Bestimmung der Grundwasserneubildung wird in Niedersachsen ein Grundwassermodell genutzt, welches auf Basis der Topographie, Bodenbeschaffenheit und klimatischen Bedingungen die Grundwasserneubildungsraten berechnet.

Die Verbandsgebiete unterscheiden sich in ihrer Fläche-, Größe und Bodenbeschaffenheit, wodurch sowohl die Niederschlagsmengen als auch die Abflussmengen naturgemäß sehr unterschiedlich ausfallen (s. Abb. 3). Der flächengrößte Verband, der I. EV Emden, weist die größten Niederschlags-, Siel- und Pumpmengen auf. Anteilig ist hier die geringste Grundwasserneubildung zu beobachten, da das Gebiet nur einen kleinen Anteil tiefgründiger, durchlässiger Böden aufweist. In den anderen Verbandsgebieten ist die Grundwasserneubildung umso größer, je höher der Anteil an sandigen Geestböden ist. Die Gesamtneubildungsmenge verhält sich proportional zur Gebietsgröße.

Da es sich bei den Entwässerungsgebieten um anthropogen gesteuerte Einzugsgebiete mit regulierten Wasserständen handelt, ergeben sich größere **Unsicherheiten** hinsichtlich der Abschätzung der Wasserbilanzen. Besonders in trockenen Perioden dient das ausgedehnte Grabensystem auch als Speicher, in dem Niederschläge zurückgehalten werden können. In solchen Zeiten folgen auf Niederschlagsereignisse nicht zwangsläufig Pump- und Siel-Ereignisse. Auch bei hohen Niederschlägen kann es zu Fehlabschätzungen kommen, da Wassermengen, die die Leistung der Siel- und Schöpfwerke übersteigen, zu einem Anstieg der Wasserstände im Grabensystem führen und es dadurch zu einer Verzögerung des Abflusses kommt. Diese Verzögerung wird bei der hydrologischen Modellierung des Systems berücksichtigt. Die Modellierung kann aber nicht im Detail die anthropogene Steuerung der Gewässer abbilden, die zwar in den meisten Fällen regelbasiert erfolgt, in manchen Fällen aber auch auf langjährigen Erfahrungen fußt. Weitere Unsicherheiten können, wie bei anderen Messungen, zudem aus technischen Fehlern, Übertragungsfehlern oder Sondersituationen (wie z. B. nicht erfassten Wasserflüssen im Zuge von Schleusungsvorgängen) resultieren.



Wasserbilanzen der Verbandsgebiete

Die Abbildungen 4 bis 8 zeigen die mittleren monatlichen Wasserbilanzen der betrachteten Verbandsgebiete Emden, Norden, Oldersum (unterteilt in Ober- und Untergebiet) und Aurich über die Jahre 2006 bis 2009. Der gemessene Niederschlag (dunkelblaue Säulen) ist dabei jeweils den Anteilen der erfassten Siel- und Pumpmengen, der sielierten Grundwasserneubildung und der Verdunstung (Restgröße) gegenübergestellt. Da für den Entwässerungsverband Aurich keine Abflussmessungen vorliegen, sind sielierte Abflussmengen dargestellt.

Die monatlich anfallenden Niederschlagsmengen liegen in den vier Gebieten im betrachteten Zeitraum zwischen 40 und 157 mm. Die monatlichen Siel- und Pumpmengen bewegen sich zwischen 2 mm in den Sommermonaten (Juni-August) und 67 mm in den Wintermonaten (Dezember-

Februar). In den Wintermonaten, wenn die pflanzliche Aktivität und die Verdunstung am geringsten sind, entstehen in allen Verbandsgebieten die größten Abflussmengen mit einem Anteil von bis zu 90 % des anfallenden Niederschlags. Davon gelangt ein gewisser Anteil in tiefere Bodenschichten und wird der Grundwasserneubildung zugeschlagen. Der Großteil des Wassers gelangt aber auf direktem Weg oder etwas verzögert in die Gräben des Entwässerungssystems. Im Jahresverlauf nimmt der Abflussanteil am Niederschlag bis zum Sommer kontinuierlich auf 8 % ab und steigt zum Herbst und Winter wieder an.

Die monatlichen Wasserbilanzen der Verbandsgebiete (s. Abb. 4 bis 8) korrelieren eng mit den jeweiligen Gebietseigenschaften:

- Der Anteil der Pumpmenge ist im l. EV Emden am größten, da der Binnenwasserstand am niedrigsten liegt. Mit

steigenden Binnenwasserständen erhöht sich der Anteil der gesielten Wassermenge, da insgesamt mehr Sielmöglichkeiten zur Verfügung stehen.

- Grundsätzlich wird im Winter mehr Wasser über die Schöpfwerke entwässert als im Sommer, da der Entwässerungsbedarf in den Wintermonaten deutlich größer ist und es aufgrund stürmischer Wetterlagen zudem häufiger zu hohen Außenwasserständen kommt.
- Aufgrund der geringen Entwässerungsbedarfe im Sommer kann die Entwässerung zeitlich flexibler gestaltet werden, sodass in dieser Jahreszeit vermehrt die kostengünstigeren Siele genutzt werden können.

- Die Grundwasserneubildung ist in Gebieten mit hohem Sandbodenanteil am größten und nimmt mit steigendem Marschbodenanteil ab. Grundwasserzehrung tritt im Sommer überwiegend in der Marsch auf, da die schweren Böden den kapillaren Aufstieg begünstigen.

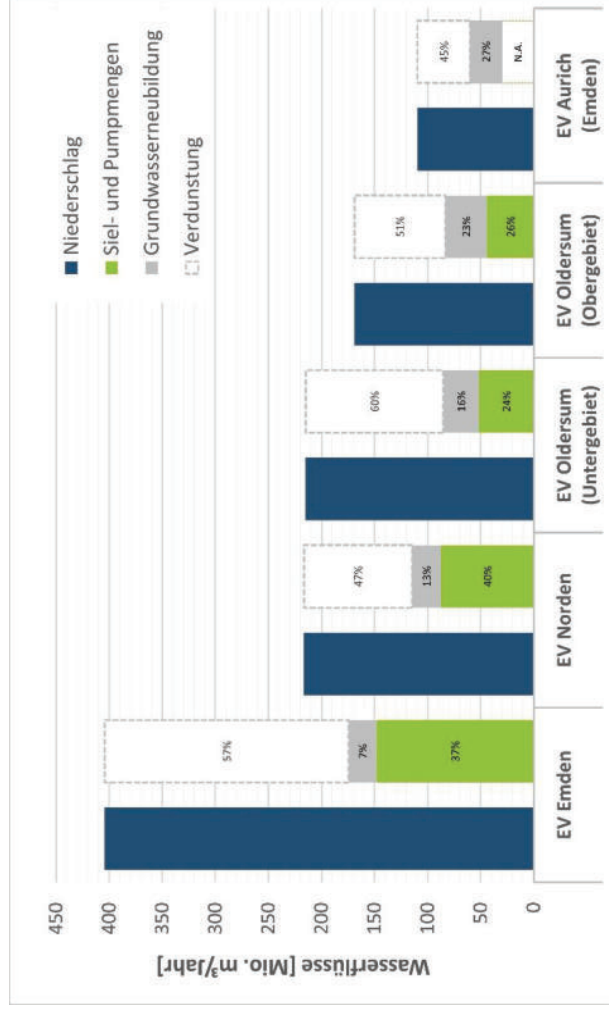


Abb. 3: Jahresmittelwerte der Niederschlagsmengen und Grundwasserneubildung im Zeitraum 1981-2010 und Jahresmittelwerte der Siel- und Pumpmengen im Zeitraum 2006-2019 (außer EV Norden: 2006-2015). Werte prozentual zur Niederschlagsmenge dargestellt.

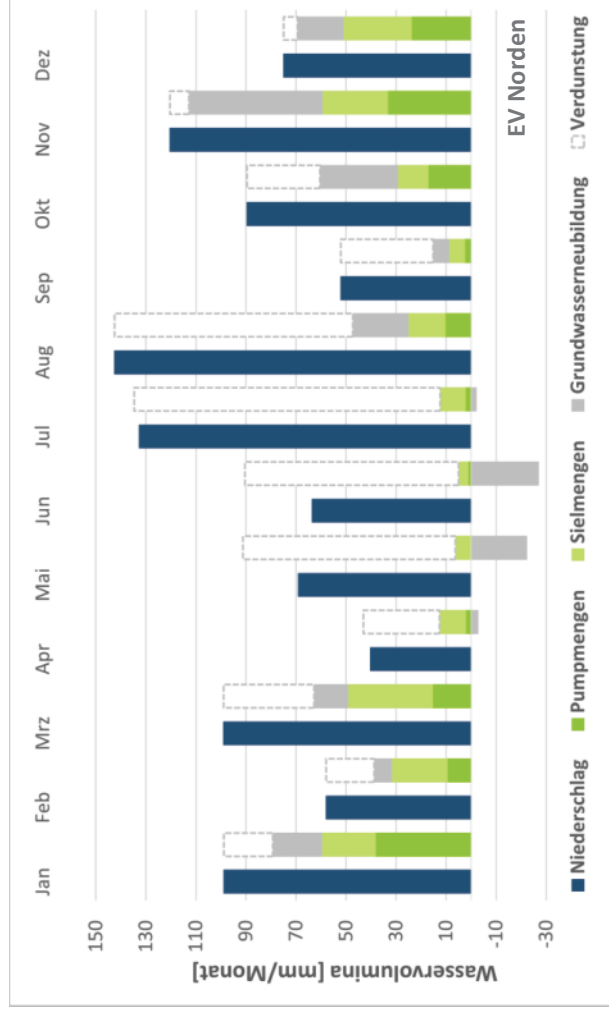


Abb. 4: Mittlere monatliche Wasserbilanz im EV Norden in den Jahren 2006-2009

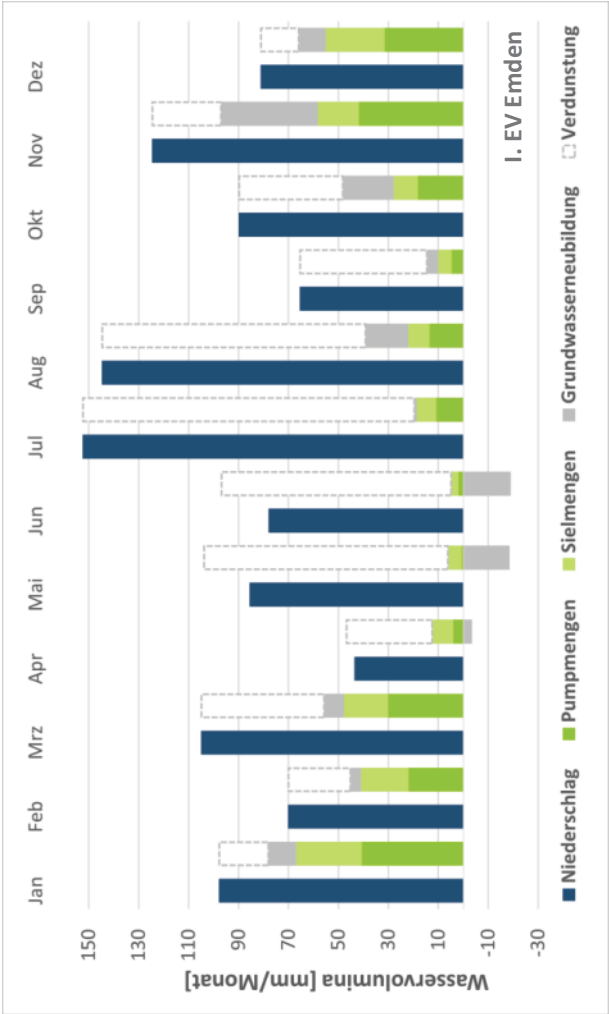


Abb. 5: Mittlere monatliche Wasserbilanz im I. EV Emden in den Jahren 2006-2009

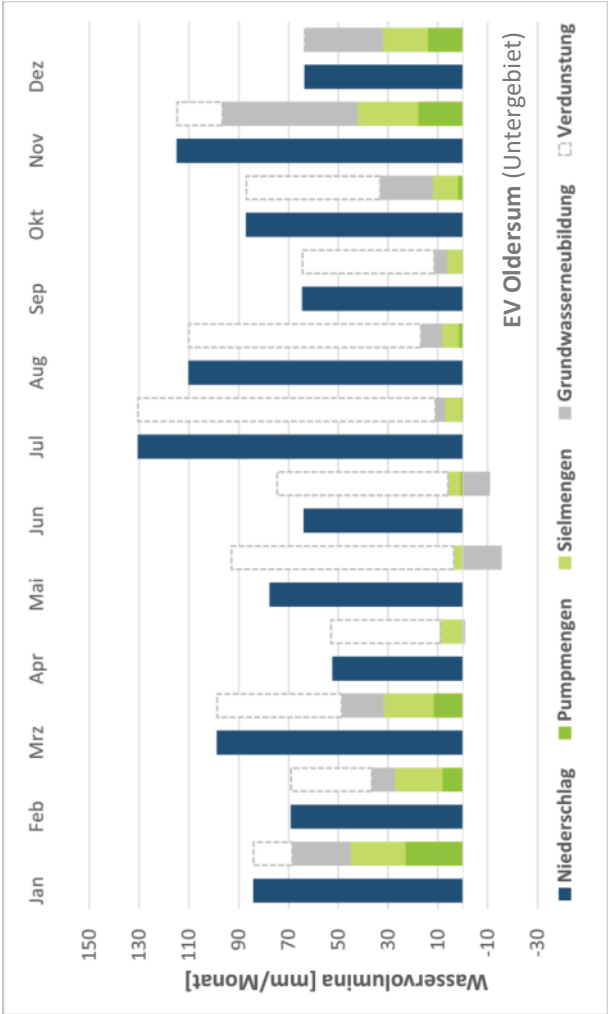


Abb. 6: Mittlere monatliche Wasserbilanz im EV Oldersum (Untergebiet) in den Jahren 2006-2009

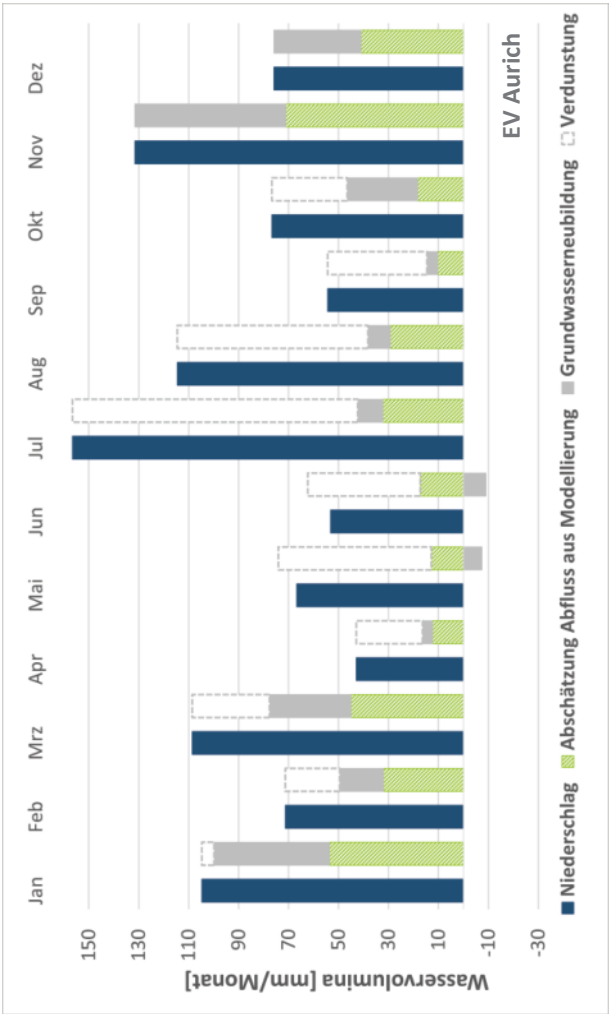


Abb. 8: Mittlere monatliche Wasserbilanz im EV Aurich in den Jahren 2006-2009

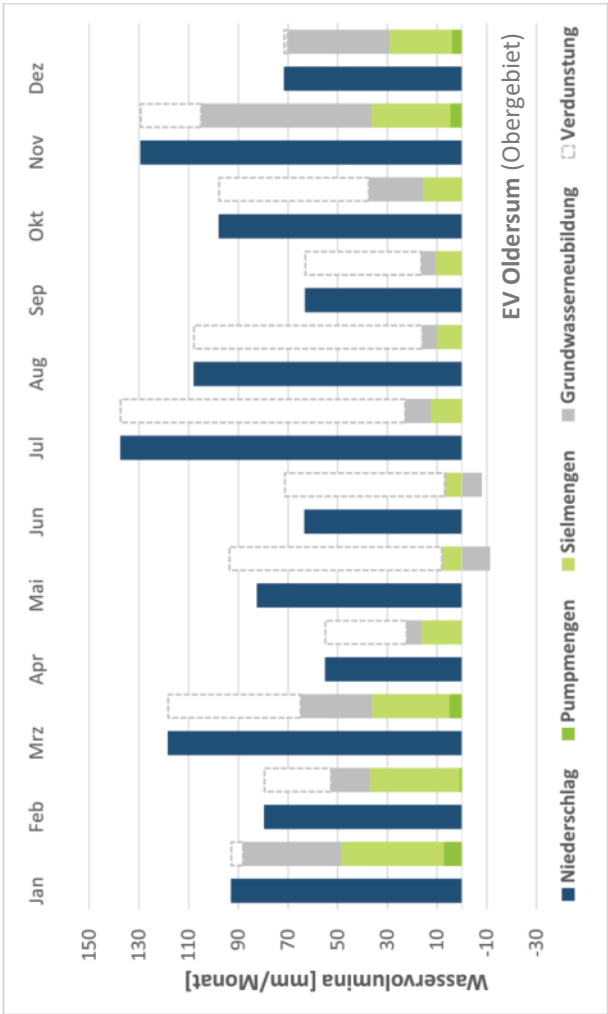


Abb. 7: Mittlere monatliche Wasserbilanz im EV Oldersum (Obergebiet) in den Jahren 2006-2009

3 Auswirkungen von Klimawandel und Meeresspiegelanstieg auf die Entwässerung

Die Wetteraufzeichnungen der letzten 100 Jahre zeigen eindeutige Veränderungen der gemessenen Temperaturen und Niederschläge. Die Klimaforschung projiziert diese Veränderungen mit Hilfe von Klimamodellen in die Zukunft und geht von einer weiteren Beschleunigung des Temperaturanstiegs, einer Zunahme der Winterniederschläge zu Lasten der Sommerniederschläge und einer Zunahme von Extremwetterereignissen an der Nordseeküste aus.

Bereits im Rahmen des KLEVER-Projekts wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt des Verbandsgebietes des I. EV Emden quantifiziert. Die Simulationen von Klimamodellen wurden zum Antrieb eines Wasserbilanzmodells verwendet, um Veränderungen der

Wasserflüsse für die Zukunft abzuschätzen. Ein grundlegendes Ziel von KLEVER bestand nun darin, zu prüfen, ob die für das Emden Verbandsgebiet zu erwartenden Klimawandeleffekte auch auf die benachbarten Verbandsgebiete übertragbar sind, um für diese Entwässerungsbänder ebenfalls über eine solide Kenntnis der potenziellen Folgen des Klimawandels zu verfügen.

Klimamodelle und Klimaszenarien

Um Aussagen über mögliche zukünftige Klimaentwicklungen machen zu können, bedarf es zum einen mathematischer Modelle, um die globalen physikalischen Prozesse in der Atmosphäre sowie den angrenzenden Systemen (Ozeane, Landoberflächen) abzubilden und zum anderen Annahmen, die als Randbedingungen für diese Art von Modellen festgelegt werden. Für die Darstellung der zukünftigen Klimaentwicklung werden insbesondere Annahmen über die zukünftigen Treibhausgasemissionen und -konzentrationen benötigt. Diese sind vom Wachstum der Bevölkerung, von der wirtschaftlichen Entwicklung

und der Nutzung unterschiedlicher Energiequellen (fossil, erneuerbar) sowie der Wirksamkeit der Klimapolitik abhängig. Da diese Entwicklungen nicht eindeutig vorhersagbar sind, werden sie durch unterschiedliche Szenarien (= plausible zukünftige Entwicklungspfade) beschrieben, die vom Weltklimarat (IPCC) erstellt werden (s. Abb. 9). Die Klimamodelle werden anschließend für verschiedene Szenarien durchgerechnet, deren Kombinationen dann sogenannte Ensembles ergeben.

Das Spektrum der in Abbildung 9 dargestellten „alten“ SRES- und „neuen“ RCP-Szenarien des IPCC bewegt sich zwischen einem sehr erfolgreichen Klimaschutz (Szenario RCP2.6, optimistisch), einer Entwicklung wie sie aktuell zu beobachten ist (Szenario A1B, realistisch) und einer Verschlechterung der Entwicklung (Szenarien RCP8.5 oder A2, pessimistisch). Im Rahmen von KLEVER-Risk wurden – wie schon im KLEVER-Projekt – sowohl „alte“ (SRES) als auch „neue“ (RCP) IPCC-Szenarien genutzt und deren Effekte quantifiziert, um die Ergebnisse aktueller Klimafolgenimulationen auch in frühere Studien einordnen zu können.

Globale Klimamodelle können aufgrund ihrer Rasterweite und der aggregierten Datengrundlagen nicht direkt für regionale Klimafolgenabschätzungen verwendet werden. Dafür werden regionale Klimamodelle mit höherer räumlicher Auflösung genutzt, die in die globalen Modelle „genestet“ werden. In KLEVER-Risk wurde ein Modellensemble aus drei regionalen Klimamodellen (REMO, WETTREG und XDS) und fünf unterschiedlichen Szenarien genutzt, um das Spektrum möglicher Zukünfte abzubilden (Szenarien RCP8.5, RCP4.5, A2, A1B und B1).

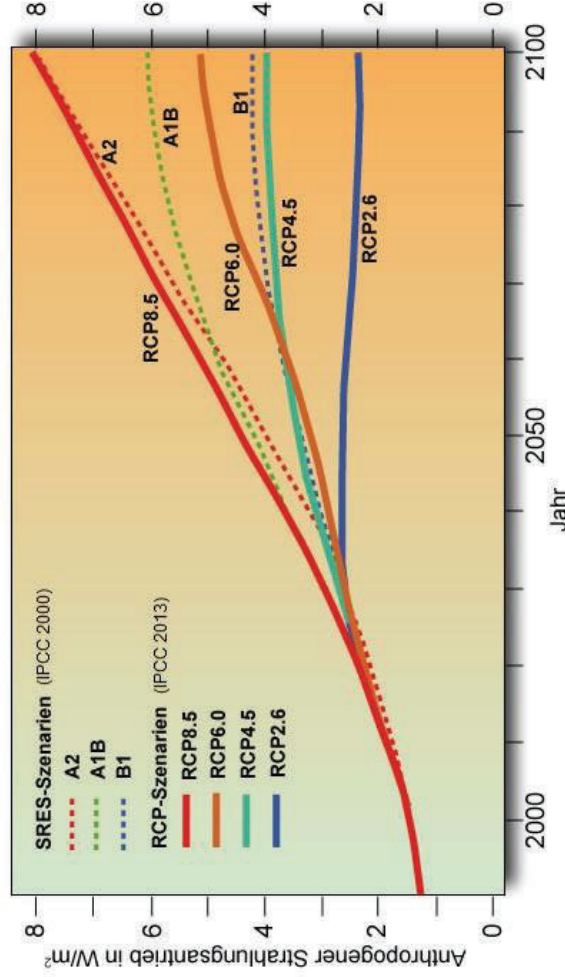


Abb. 9: Globale Klimaszenarien: Strahlungsantrieb verschiedener Klimaszenarien des IPCC (Quelle: Hamburger Bildungsserver)

Klimawandel in der Region

Im Rahmen von KLEVER-Risk wurden dieselben Klimaprojektionen wie auch schon im KLEVER-Projekt verwendet, um eine Vergleichbarkeit herzustellen und die Übertragbarkeit der Simulationsergebnisse auf Nachbargebiete mit ähnlichen Klimawandelbedingungen zu testen und zu quantifizieren. Zwar stehen inzwischen auch aktualisierte Klimasimulationen aus verschiedenen globalen und nationalen Klimainitiativen zur Verfügung. Diese weichen aber nicht grundlegend von früheren Studien ab.

Auch das Spektrum an praxisorientierten Klimadienstleistungen wurde weiter ausgebaut. So wurden zum Beispiel im Juni 2021 vom Climate Service Center Germany (GERICS) Auswertungen zu zukünftigen Klimaänderungen auf Landkreisebene basierend auf den Ergebnissen von 85 regionalen Klimamodellsimulationen zur Verfügung gestellt (www.gerics.de/klimaausblick-landkreise). Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse aus dieser Studie für den Landkreis Aurich vorgestellt, die die zukünftige Klimaentwicklung im Betrachtungsraum von KLEVER-Risk abbilden.

Temperatur

Die Temperatur ist die Klimavariablen, für die von allen Klimamodellen und für alle Szenarien ein robustes Änderungssignal projiziert wird. Der globale Klimawandel wird auch im Landkreis Aurich zu einer Erwärmung führen, die bis Ende des 21. Jahrhunderts konsistent zunimmt. Allerdings ist das Spektrum der Änderungssignale groß (Unsicherheitsbereich). Für den Landkreis Aurich projiziert der Ensemble-Median der von GERICS ausgewerteten Modelle für die drei betrachteten Szenarien (RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5) eine Temperaturzunahme im Bereich von 1–3 °C bezogen auf den Referenzzeitraum 1971–2000 (s. Abb. 10, links). Einzelne Modelle liegen aber deutlich darüber oder darunter. Die Temperaturzunahme ist jahreszeitlich zwar unterschiedlich, es wird jedoch ganzjährig signifikant wärmer werden (s. Abb. 10, rechts).

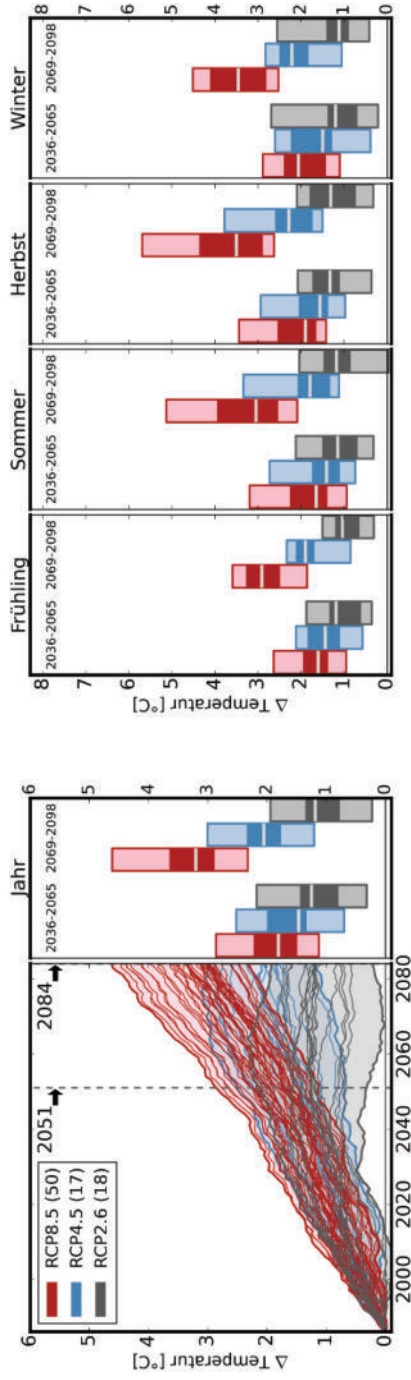


Abb. 10: Projizierte Änderung der mittleren jährlichen und saisonalen **Temperaturen** im Landkreis Aurich für zwei Zeitscheiben in der Zukunft; pessimistische (rot, RCP8.5), moderate (blau, RCP4.5) und optimistische (grau, RCP2.6) Szenarien (Quelle: GERICS)

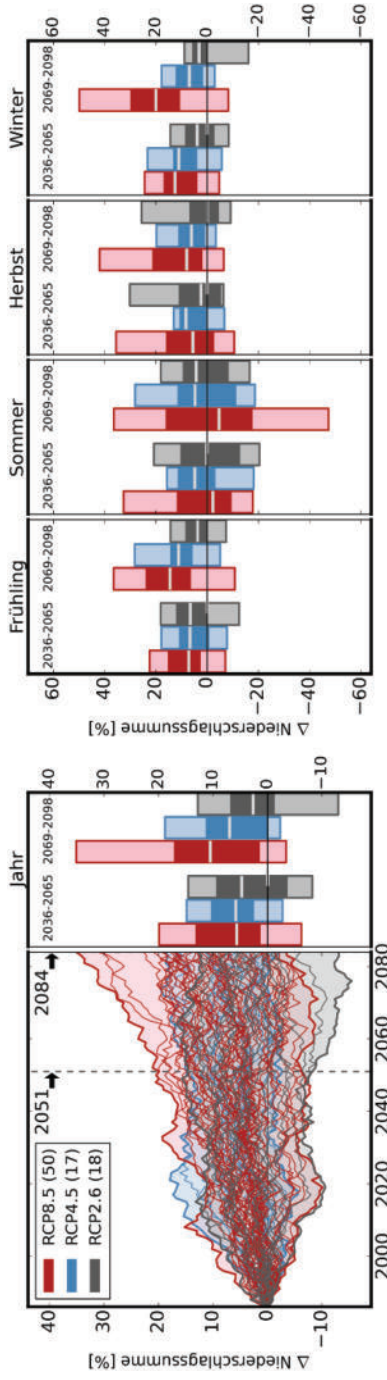
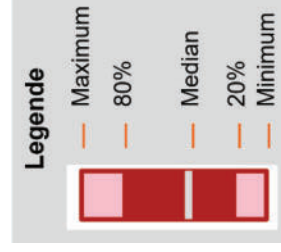


Abb. 11: Projizierte Änderung der jährlichen und saisonalen **Niederschläge** im Landkreis Aurich für zwei Zeitscheiben in der Zukunft; pessimistische (rot, RCP8.5), moderate (blau, RCP4.5) und optimistische (grau, RCP2.6) Szenarien (Quelle: GERICS)



In Bezug auf die Wasserbilanz wird die Temperaturzunahme zur Folge haben, dass die Verdunstung ganzjährig zunehmen wird, wenn Wasser in ausreichender Menge zur Verfügung steht.

Jährlicher und saisonaler Niederschlag

Im Vergleich zur Temperatur müssen die Änderungssignale bezüglich des Niederschlags differenzierter bewertet werden. Zwar wird die Erwärmung der Atmosphäre insgesamt zu einer globalen Zunahme der Niederschläge führen, jedoch wird es deutliche regionale und saisonale Muster geben. Schon heute ist der Niederschlag global wie regional sehr ungleich verteilt und es ist zu erwarten, dass sich die bestehenden Muster verstärken werden.

Für den ostfriesischen Küstenraum bedeutet dies, dass tendenziell mit einer Zunahme der **jährlichen Niederschläge** gerechnet werden muss. Die Ensemble-Mediane aller Szenarien und Zeithorizonte weisen in diese Richtung (s. Abb. 11, links). Deutliche Signale sind allerdings eher am Ende des 21. Jahrhunderts zu erwarten, wobei die Zunahme auch hier nur für die moderaten und pessimistischen Szenarien robust ist. Und für alle Szenarien gibt es zumindest einzelne Modelle, die eine Abnahme der Niederschläge projizieren. Die Unsicherheiten bei der Projektion der Niederschläge sind also erheblich größer als bei der Projektion der Temperatur.

Etwas deutlichere Muster zeigen sich bei der Analyse der **saisonalen Niederschläge**. Eine deutliche Zunahme des Niederschlags ist in den Wintermonaten für das pessimistische Szenario zu erwarten (Median für die ferne Zukunft im Bereich von +20 %). Die Mehrzahl der Modelle projiziert auch für das Frühjahr und den Herbst zunehmende Niederschläge, wohingegen für die Sommermonate überwiegend abnehmende Niederschlagsmengen erwartet werden (s. Abb. 11, rechts).

In Bezug auf die Wasserbilanz werden die zunehmenden Winterniederschläge mit großer Wahrscheinlichkeit dazu führen, dass sich die Abflussbildung erhöhen wird. Daraus lässt sich für die Zukunft ein generell zunehmender Entwässerungsbedarf vermuten, was im Rahmen der hydrologischen Modellierung bestätigt wurde (s. nächste Seite).

Sowohl bezüglich der Änderungssignale der Temperatur als auch für die Veränderung des Niederschlags stimmen die von GERICs vorgestellten Auswertungen gut mit den im Rahmen von KLEVER und KLEVER-Risk gemachten Annahmen überein (robuste ganzjährige Zunahme der Temperatur, robuste Zunahme des Winterniederschlags, robuste Zunahme der Tage mit extremen Niederschlägen). Trotzdem sind natürlich die erheblichen Unsicherheiten hinter all diesen Szenarien und Projektionen bei allen Bewertungen und Planungen zu berücksichtigen.

Starkniederschlagsereignisse

Auch wenn die Projektionen in Bezug auf die jährlichen und saisonalen Niederschläge eine breite Streuung aufweisen, so stimmen sie in der Hinsicht überein, dass eine Zunahme von Starkregenereignissen zu erwarten ist (von GERICs definiert als ein Tagesniederschlag ≥ 20 mm). Die stärkste Zunahme wird von den pessimistischen Szenarien bis Ende des Jahrhunderts projiziert (s. Abb. 12, links), aber auch in den moderaten und optimistischen Szenarien ist die Zunahme deutlich. Das Starkregenmanagement wird daher in Zukunft eine zunehmend wichtige Rolle spielen.

Trockentage

Das zunehmend von Extremereignissen beherrschte Witterungsgeschehen wird besonders im Sommer auch längere Trockenphasen mit sich bringen. Neben der Abnahme der Sommerniederschläge zeigen die Szenarien in den Sommermonaten relativ konsistent eine Zunahme der Anzahl der Trockentage. Darauf wird sich das Wassermanagement vorbereiten müssen, auch wenn einige wenige Modelle gegenläufige Entwicklungen projizieren (s. Abb. 12, rechts).

Aus der Zunahme der Extreme sowohl bezüglich der Starkniederschläge als auch der Trockentage und aus der sich verstärkenden Saisonalität der Niederschläge (Zunahme im Winter, Abnahme im Sommer) lässt sich schließen, dass der Bedarf für ein integratives Wassermanagement zukünftig voraussichtlich steigen wird.

Weiterführende Informationen zum historischen Klimawandel (basierend auf Messungen) und zukünftigen Klimaprojektionen (basierend auf Modellsimulationen) finden sich unter:

www.norddeutscher-klimamonitor.de (Vergangenheit)
www.norddeutscher-klimaatlas.de (Zukunft)

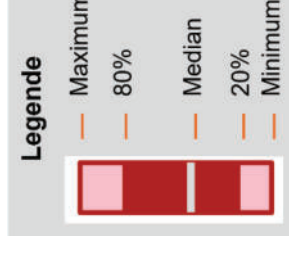
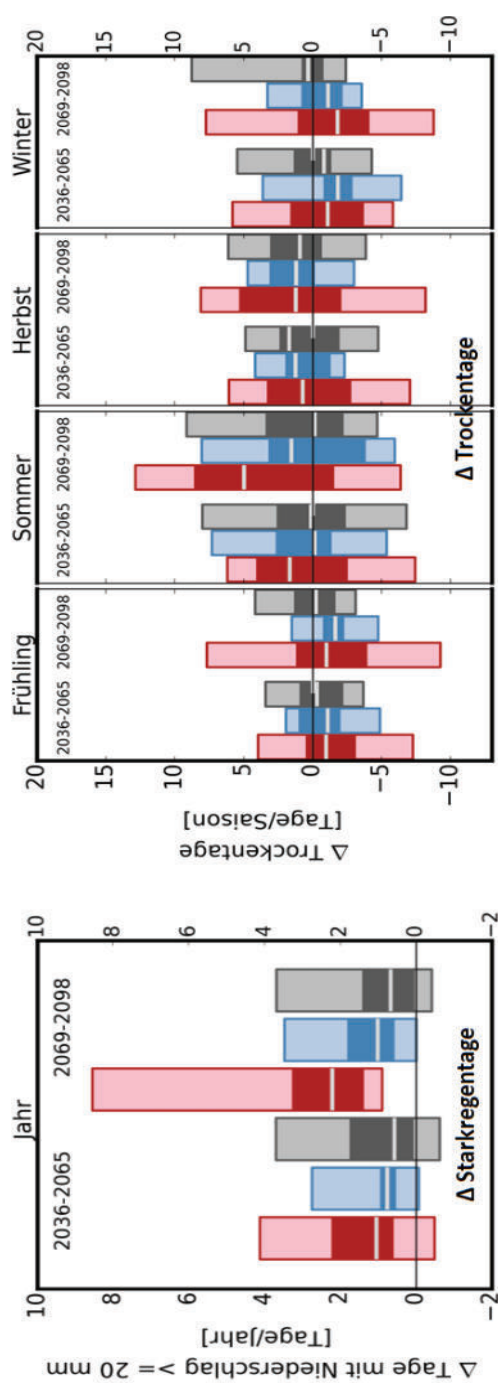


Abb. 12: Projizierte Änderung von **Starkregentagen** (Tagesniederschlag ≥ 20 mm) und **Trockentagen** im Landkreis Aurich für zwei Zeitscheiben in der Zukunft; pessimistische (rot, RCP8.5), moderate (blau, RCP4.5) und optimistische (grau, RCP2.6) Szenarien (Quelle: GERICs)



Auswirkungen des Klimawandels auf die Abflussbildung in den Verbandsgebieten

Um die potenziellen Auswirkungen der Klimaszenarien auf den Wasserhaushalt im Betrachtungsraum abzuschätzen, können – wie bereits im KLEVER-Projekt nachgewiesen – Wasserhaushaltsmodelle eingesetzt werden. Voraussetzung dafür ist, dass sich solche Modelle für die Vergangenheit als ausreichend valide erwiesen haben.

Zur Überprüfung der räumlichen Übertragbarkeit der in KLEVER für das Verbandsgebiet des I. EV Emden quantifizierten hydrologischen Klimawandeleffekte (s. Abb. 13) wurde dieselbe Methodik auf die in KLEVER-Risk beteiligten Nachbarverbände Norden, Oldersum und Aurich angewendet. Auch für diese Verbandsgebiete wurde nach vorgegangener individueller Kalibrierung und Validierung das Wasserhaushaltsmodell SIMULAT eingesetzt. Das Gebiet des EV Oldersum wurde dabei vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Gebietseigenschaften von Unter- und Obergebiet (Marsch bzw. Geest) sowie der entkoppelten Binnenentwässerung der beiden Teilgebiete in zwei Simulationseinheiten unterteilt.

Für das Verbandsgebiet des EV Aurich konnte keine Modellvalidierung erfolgen, da für dieses Gebiet bislang keine ausreichend lange Messreihe zur Verfügung stand. Allerdings konnte aufgrund der ähnlichen Gebietscharakteristik des Obergebiets des EV Oldersum das dortige Modell-Setup auf das Auricher Gebiet übertragen werden. Ein erster Eindruck zur Güte der Modellierung für das Verbandsgebiet Aurich konnte kurz vor Abschluss des Projektes anhand jüngster Messdaten gewonnen werden (s. Exkurs: Modellvalidierung EV Aurich).

Vergleichbar mit dem Ansatz in KLEVER wurde das Wasserhaushaltsmodell separat für alle Verbandsgebiete von den auf Seite 12 genannten Klimasimulationen regionaler Klimamodelle angetrieben. Für die detaillierte Betrachtung wurden fünf Modell-Szenario-Kombinationen ausgewählt: REMO-A1B, REMO-A2, WETTREG-A1B, WETTREG-A2 und XDS-RCP8.5, die zusammen realistische bis pessimistische sozioökonomische Entwicklungen darstellen. Die gerechneten Ensembles wurden mit dem Kontrollzeit-

raum basierend auf erfassten Siel- und Pumpmengen der Vergangenheit verglichen. Die Differenz zwischen der Abflussbildung im Kontrollzeitraum und in den Klimamodellrechnungen ergibt das Änderungssignal. In den Abbildungen 13 und 14 sind für die Ensemblerechnungen jeweils der Mittelwert (graue Säulen) sowie der kleinste und größte Wert (unteres und oberes Ende der abgebildeten Antennen) der modellierten Abflussbildung für die Zeitscheibe 2071-2100 dargestellt.

Von Interesse war primär die Frage der Übertragbarkeit der bereits im Rahmen von KLEVER für den I. EV Emden simulierten klimawandelbedingten Änderungen der saisonalen Abflussbildung auf die in KLEVER-Risk zusätzlich betrachteten Nachbarverbände. Wie die Abbildungen 13 und 14 sowie die Tabelle 2 veranschaulichen, ergab die Modellanwendung auf die benachbarten Verbandsgebiete vergleichbare Auswirkungen des Klimawandels.

Die Abschätzungen hinsichtlich der Veränderungen der Abflussbildung im Winterhalbjahr sowie für Extremereignisse zeigen, dass künftig klimawandelbedingt von erhöhten Entwässerungsbedarfen in allen Entwässerungsverbänden im westlichen Ostfriesland auszugehen ist.

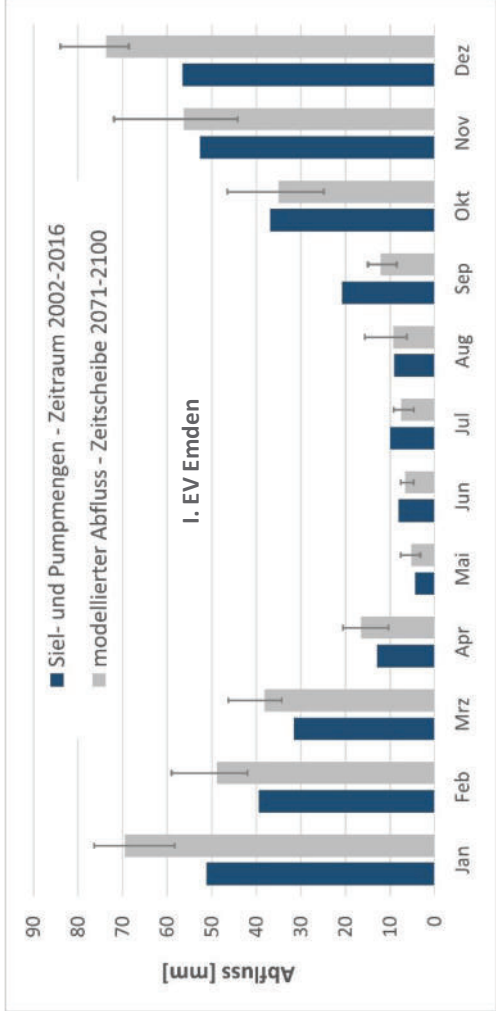


Abb. 13: Modellbasierte Abschätzung der Veränderung der mittleren monatlichen Abflussbildung im Verbandsgebiet Emden für die Zeitscheibe 2071-2100 im Vergleich zum Kontrollzeitraum

Tab. 2: Simulierte klimawandelbedingte Veränderungen der Abflussbildung (ΔQ) in den betrachteten Verbandsgebieten für die Zeitscheibe 2071-2100 im Vergleich zum Kontrollzeitraum

Verbandsgebiet	ΔQ Jahr [%]	ΔQ Winter [%]	ΔQ Sommer [%]
I. EV Emden	+11 bis +13	+18 bis +26	-22 bis -13
EV Norden	+6 bis +11	+20 bis +26	-14 bis -9
EV Oldersum (Untergebiet)	+2 bis +7	+16 bis +20	-14 bis -10
EV Oldersum (Obergebiet)	+10 bis +11	+19 bis +28	-7 bis -4
EV Aurich	+7 bis +10	+16 bis +28	-7 bis -6

3 Auswirkungen von Klimawandel und Meeresspiegelanstieg auf die Entwässerung

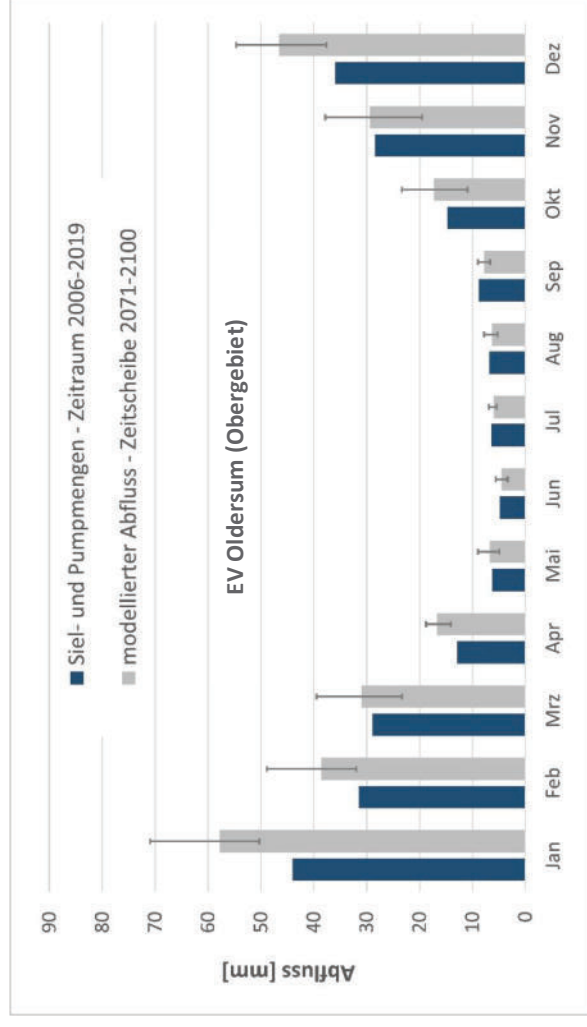
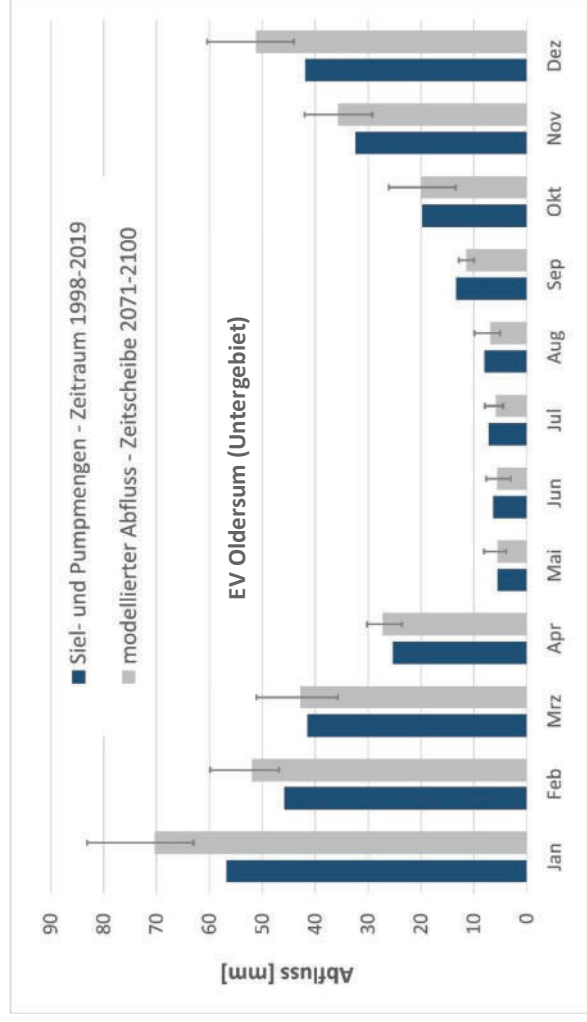
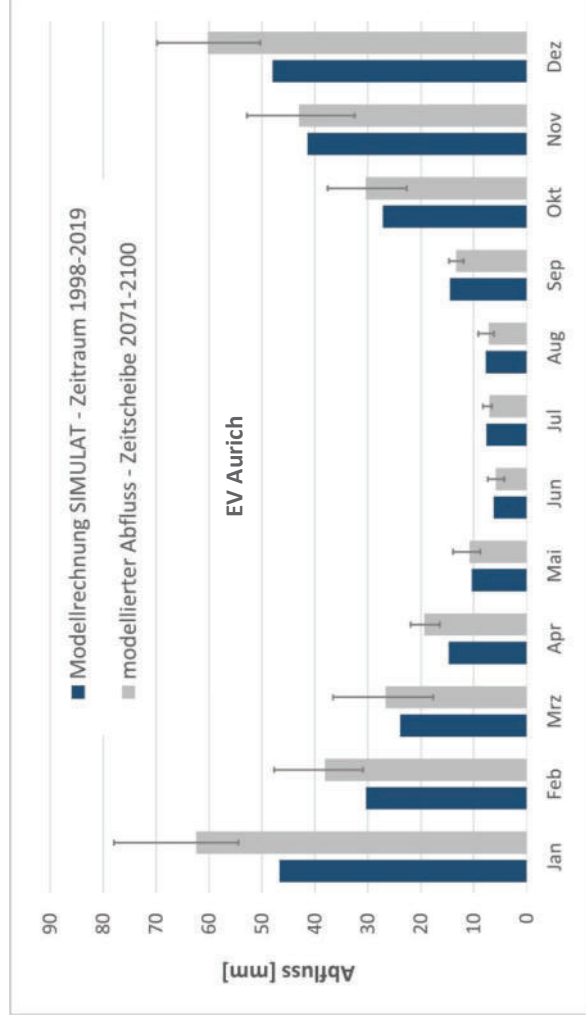
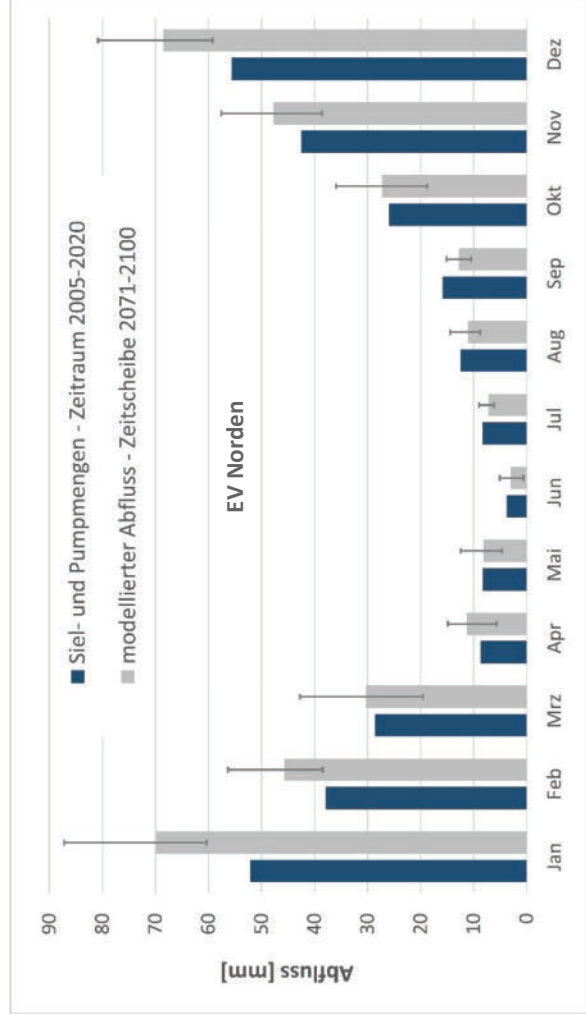


Abb. 14: Modellbasierte Abschätzung der klimawandelbedingten Veränderungen der mittleren monatlichen Abflussbildung in den Verbandsgebieten Norden, Oldersum (getrennt nach Unter- und Obergebiet) und Aurich (blaue Säulen: Mittelwert der Siel- und Pumpmengen im Kontrollzeitraum; graue Säulen: Mittelwert der modellierten Abflussbildung für die Zeitscheibe 2071-2100; Antennen: Spanweite zwischen dem kleinsten und größten Wert des Szenarien-Ensembles)