



Management von Binnenhochwasserrisiken im Küstenraum

Roadmap für eine erfolgreiche Klimaanpassung im westlichen Ostfriesland

Impressum

Diese Broschüre ist entstanden im Rahmen des im DAS-Programm vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) geförderten Projektes „Klimaanpassung und Extremwettervorsorge – Verbandsübergreifendes Management von Binnenhochwasserrisiken im westlichen Ostfriesland (KLEVER-Risk)“. An dem Projekt haben die unten aufgeführten Institutionen mitgewirkt.

Projektbearbeitung



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Kooperationspartner



Autoren und Autorinnen

Jan Spiekermann
Helge Bormann
Jenny Kebschull
Nadine Kramer

*Universität Oldenburg
Jade Hochschule
Jade Hochschule
Universität Oldenburg*

Redaktion und Layout

Jan Spiekermann

Fotos

Jan Spiekermann und Nadine Kramer (sofern nicht anders angegeben)
Titelseite: © Europäische Union, enthält Copernicus Sentinel-2 Daten [2023],
verarbeitet durch das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)
Rückseite: © Nds. Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

Druck

WIRMachenDRUCK GmbH, Backnang
Auflage: 1.000

Oldenburg, April 2023

Kontakt

Dr. Peter Schaal
Universität Oldenburg
peter.schaal@uol.de
+49 (0) 441 / 798-4689

Dr. Helge Bormann
Jade Hochschule
helge.bormann@jade-hs.de
+49 (0) 441 / 7708-3775

Weitere Informationen

www.uol.de/klever-risk

Vorwort der Entwässerungsverbände

Der vom Weltklimarat auf globaler Ebene untersuchte Klimawandel ist seit vielen Jahren bekannt und rückt zunehmend stärker in den Fokus der öffentlichen Aufmerksamkeit. Zwar hat es in der Erdgeschichte fortwährend Veränderungen der klimatischen Bedingungen gegeben, die Geschwindigkeit des menschengemachten Klimawandels durch den Ausstoß von Treibhausgasen stellt jedoch eine völlig neue Dimension dar. Neben der primären Zielrichtung, den Prozess der Erderwärmung durch effektive Klimaschutzmaßnahmen noch so weit wie möglich zu verlangsamen und aufzuhalten, werden auch Anpassungsmaßnahmen an die nicht mehr vermeidbaren Folgen des Klimawandels erforderlich sein.

Mittlerweile spüren wir die Auswirkungen des Klimawandels auch in unserer Region schon deutlich in Form des Meeresspiegelanstiegs, der Zunahme von Starkregenereignissen und der Verschiebung der Niederschlagsverteilung vom Sommer in den Winter, zum Teil verbunden mit langanhaltenden Trockenphasen und Hitzeperioden in den Sommermonaten.

Diese Entwicklungen können wir als Unterhaltungsverbände nicht verhindern, jedoch sind wir uns der Herausforderung bewusst, mit den Folgen umgehen zu müssen. Für uns besteht die Aufgabe darin, die Auswirkungen des Klimawandels auf den Küsten- und Binnenhochwasserschutz möglichst detailliert zu analysieren, die entsprechenden Schlussfolgerungen daraus zu ziehen und unser verbandliches Handeln an die sich ändernden Gegebenheiten anzupassen. Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels wird künftig eine bedeutende Aufgabe der Verbände sein, denn die Veränderungen werden mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit eintreten, und es wird sich dann die Frage stellen, wie gut wir vorbereitet sind.

Im Jahr 2015 begann der I. Entwässerungsverband Emden mit Hilfe der Wissenschaft im Rahmen des vom Bundesumweltministerium geförderten KLEVER-Projektes den Ist-Zustand im Verbandsgebiet in puncto Entwässerung und Binnenhochwasserschutz detailliert zu analysieren und mittels Modellrechnungen die zu erwartenden Klimaveränderungen zu quantifizieren. Es stellte sich am Ende ein enormer Bedarf an Anpassungsnotwendigkeiten heraus, denen man nur mit gezielten Maßnahmenoptionen entgegentreten kann.

Im anschließenden Projekt KLEVER-Risk wurde systematisch auf den Ergebnissen aus KLEVER aufgebaut, der Betrachtungsraum vom Emden Verbandsgebiet auf die benachbarten Entwässerungsverbände Norden, Oldersum und Aurich ausgedehnt und der Landkreis Aurich, die Stadt Emden sowie der NLWKN als Kooperationspartner mit einbezogen. Wissenschaftlich begleitet vom Projektteam der Universität Oldenburg und der Jade Hochschule sowie unter Mitwirkung des Büros „Küste und Raum“ konnten verbandsübergreifend Maßnahmenoptionen eruiert und letztendlich auch definiert werden.

KLEVER-Risk gibt somit eine Reihe von Antworten auf die zwingend notwendigen Klimaanpassungsmaßnahmen primär aus Sicht des Binnenhochwasserschutzes. Aber auch die Aspekte einer notwendigen Wasserhaltung in zukünftigen Trockenphasen werden beleuchtet. Mit dieser Broschüre möchten wir der Allgemeinheit die Ergebnisse des Projektes vorstellen, die zumindest teilweise sicherlich auch auf andere Verbände im norddeutschen Küstenraum übertragen werden können.

Die Ergebnisse des Projektes sollten jetzt einfließen in den niedersächsischen „Generalplan Siel- und Schöpfbauwerke“, der im aktuellen Koalitionsvertrag von 2022 (Seite 16) schon thematisiert wird und die Grundlage bildet für die dringend erforderlichen Planungen in puncto kurzfristige Erhöhung der aktuellen Schöpfkapazitäten an den Abschlagsbauwerken, Schaffung von Retentionsflächen bzw. Pumpspeicherpoldern zur Wasserhaltung und mittelfristigem Ersatz der gesamten, in die Jahre gekommenen Schöpfwerksinfrastruktur.

Wir Verbände haben mit den Ergebnissen aus den Projekten KLEVER und KLEVER-Risk unseren Teil zur Wissensfindung im Zuge der gebotenen Klimaanpassungsmaßnahmen beigetragen.

Jetzt ist es an der Zeit für konkrete Planungen, Finanzierungskonzepte und Umsetzungen. Die Zeit drängt, die Natur wartet nicht, wir müssen handeln.

I. Entwässerungsverband Emden

Obersielrichter
Reinhard Behrends

Entwässerungsverband Oldersum

Obersielrichter
Heiko Albers

Entwässerungsverband Norden

Obersielrichter
Rainer Mellies

Entwässerungsverband Aurich

Verbandsvorsteher
Werner Geyken

Inhalt

1	Hintergrund und Zielsetzung von KLEVER-Risk	1
2	Betrachtungsraum – Das westliche Ostfriesland	2
3	Auswirkungen von Klimawandel und Meeresspiegelanstieg auf die Entwässerung	12
4	Management von Binnenhochwasserrisiken im Küstenraum	26
5	Fokusthemen des Binnenhochwasserrisikomanagements im Rahmen von KLEVER-Risk	32
5.1	Ertüchtigung von Pumpkapazitäten	34
5.2	Schaffung von Retentionskapazitäten	38
5.3	Anpassung der Entwässerungsinfrastruktur im Bereich Leyhörn	46
5.4	Anpassung der Entwässerungsinfrastruktur im Bereich „Emder Wasserspiele“ & Ems-Jade-Kanal	56
5.5	Aufstellung verbandlicher Binnenhochwasser-Alarmpläne	72
5.6	Verbesserung der Binnenhochwasservorsorge seitens der Kommunen und Verbände	80
5.7	Erstellung von Binnenhochwassergefahren- und -risikokarten	82
5.8	Umgang mit Binnenhochwasser- und Starkregengefahren in der Raumplanung	94
5.9	Stärkung der Binnenhochwasser- und Starkregen-Eigenvorsorge der Bevölkerung	98
5.10	Sensibilisierung der Öffentlichkeit: Tag der offenen Tür am Schöpfwerk Leybuchtziel	102
6	Ausblick: Strategische Ausrichtung des Binnenhochwasserrisikomanagements im Küstenraum	104



1 Hintergrund und Zielsetzung von KLEVER-Risk

Erkenntnisse aus dem Vorläufer-Projekt KLEVER

Die Untersuchungen des KLEVER-Projekts (Klimaoptimiertes Entwässerungsmanagement im Verbandsgebiet Emden, 2015 bis 2018) haben deutlich gemacht, dass sich in den Küstenniederungen Ostfrieslands unter Annahme des projizierten Klimawandels neben Sturmfluten auch die winterlichen Niederschlagsabflüsse aus dem Deichhinterland intensivieren werden und die Binnenentwässerung damit vor große Herausforderungen gestellt wird. Die Eintrittswahrscheinlichkeit von extremen Ereignissen, die zu Binnenhochwassersituationen führen können, wird künftig aller Voraussicht nach erheblich steigen. Soll das Hochwasserrisiko nicht in gleichem Maße zunehmen, müssen geeignete Maßnahmen des Risikomanagements konzipiert und umgesetzt werden, die zu einer Resilienzsteigerung der Küstenräume beitragen. Nicht zuletzt hat die mehrtägige Sturmtiefserie im Februar 2022 mit hohen Tidewasserständen und großen Niederschlagsmengen in Erinnerung gerufen, dass jederzeit Extremsituationen auftreten können, die die Systeme der Binnenentwässerung in der Küstenregion an ihre Grenzen bringen.



Die Ergebnisse aus KLEVER haben darüber hinaus gezeigt, dass technische Hochwasserschutzmaßnahmen allein die zukünftigen Herausforderungen nicht vollständig werden lösen können. Zusätzlich müssen ebenfalls Maßnahmen verfolgt werden, die auf eine signifikante Senkung und ein Management der Schadenspotenziale abzielen. Diese Aufgabe kann nur mit integrativen Ansätzen und im Verbund aller relevanten Akteure einschließlich der Bevölkerung gelöst werden. Dies steht im Einklang mit der „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ der Bundesregierung aus dem Jahr 2008, die die Anpassung an die Folgen des Klimawandels als eine gesamtgesellschaftliche Herausforderung darstellt, die ein querschnittsorientiertes Handeln und ein Zusammenwirken aller relevanten Akteure erfordert.

Vertiefende Betrachtungen im Projekt KLEVER-Risk

Das Projekt KLEVER-Risk hat sich in den Jahren 2019 bis 2023 dieser Fragestellung angenommen. In enger Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern wurden Konzept- und Maßnahmenvorschläge für eine Reduzierung des Binnenhochwasserrisikos unter Berücksichtigung künftiger klimatischer Veränderungen in den nordwestdeutschen Küstenniederungen entwickelt und die für die Umsetzung notwendigen Akteursnetzwerke gestärkt. Dabei konnte direkt an Aktivitäten angeknüpft werden, die sich bereits im Rahmen von KLEVER als sehr relevant für den Küstenraum herausgestellt haben.

Am Beispiel der Gebiete der vier benachbarten Entwässerungsverbände Emden, Norden, Oldersum und Aurich wurden die Potenziale der unterschiedlichen Handlungsbereiche des Binnenhochwasserrisikomanagements untersucht, Defizite identifiziert und Konzepte für Verbesserungsmöglichkeiten entwickelt. Ein besonderer Fokus lag dabei auf verbandsübergreifenden Lösungsansätzen. Insgesamt wurden folgende Themenfelder betrachtet:

- Ertüchtigung von Pumpkapazitäten,
- Schaffung von Retentionskapazitäten,
- Anpassung der verbandsübergreifenden Entwässerungsinfrastrukturen im Bereich Leyhörn sowie im Bereich der „Emder Wasserspiele“,
- Aufstellung von Binnenhochwasser-Alarmplänen,
- Verbesserung der Binnenhochwasservorsorge seitens der Kommunen und Verbände,
- Erstellung von Binnenhochwassergefahren- und -risikokarten,
- Umgang mit Binnenhochwasser- und Starkregengefahren in der Raumplanung,
- Stärkung der Binnenhochwasser- und Starkregen-Eigenvorsorge der Bevölkerung,
- Sensibilisierung der Öffentlichkeit für das Thema Binnenhochwasserrisikomanagement

Die wesentlichen Ergebnisse der Arbeiten im Rahmen von KLEVER-Risk sind in dieser Broschüre dokumentiert.

2 Betrachtungsraum – Das westliche Ostfriesland

Das Projektgebiet von KLEVER-Risk liegt im westlichen Ostfriesland und erstreckt sich über die Verbandsgebiete der vier benachbarten Entwässerungsverbände Norden, Emden, Oldersum und Aurich. Es umfasst die kreisfreie Stadt Emden, einen Großteil des Landkreises Aurich sowie Teilbereiche der Landkreise Leer und Wittmund. Innerhalb des ca. 1.330 km² großen Betrachtungsraums befindet sich zudem eine zweistellige Zahl an kreisangehörigen Städten und Gemeinden, die vollständig oder anteilig in den vier Verbandsgebieten liegen (s. Karte auf Seite 4).

Flächennutzung

Der Betrachtungsraum ist überwiegend ländlich geprägt. Mit einem Anteil von 73 % wird der Großteil der Flächen landwirtschaftlich genutzt, knapp 17 % entfallen auf Siedlungs- und Verkehrsflächen. Gewässerflächen nehmen rund 3 % des Gebietes ein, während der Anteil an Wald-, Gehölz- und Sumpfflächen bei etwa 7 % liegt.

Auch wenn Ostfriesland im niedersächsischen Vergleich eher geringe Versiegelungsraten aufweist, zeigt sich seit Ende der 1970er-Jahre ein steter Trend der Flächeninanspruchnahme. In diesem Zeitraum wurden über 5 % der Gesamtfläche des Betrachtungsraumes zusätzlich als Siedlungs- oder Verkehrsfläche genutzt (s. Abb. 1). Neben klimatischen Veränderungen stellt auch die Zunahme der Flächenversiegelung eine Herausforderung für die Binnenentwässerung dar, da das Wasser auf versiegelten Flächen nicht mehr in den Boden infiltrieren kann, sondern direkt über die Kanalisation und das engmaschige Grabensystem in die Verbandsgewässer abgeführt werden muss.

Topographie

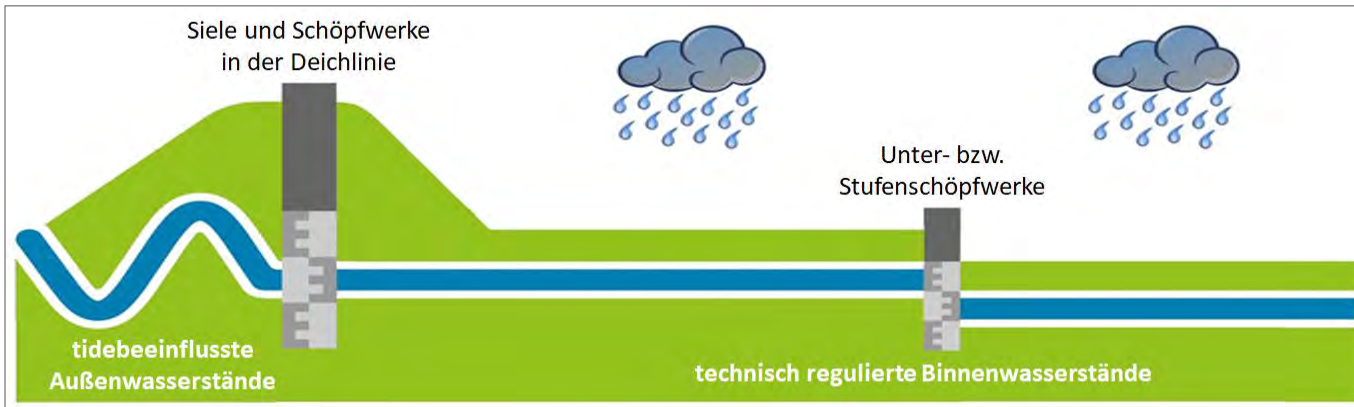
Das Gebiet der vier Entwässerungsverbände umfasst sowohl die tief gelegenen Marschenbereiche im Deichhinterland als auch höher liegende Geestbereiche (s. Karte auf Seite 5). In großen Teilen der deichgeschützten Niederungsgebiete liegen die Geländeoberflächen unterhalb von Normalhöhen-Null (NHN), der tiefste Punkt befindet sich bei rund -2,5 m NHN. In den östlich gelegenen Geestgebieten erreichen die Geländehöhen hingegen Werte von bis zu +12 m NHN. Um die Entwässerungslast in den Niederungsgebieten zu reduzieren, wurden die Geestgebiete – wo es möglich war – als separate Einzugsgebiete von den Marschengebieten getrennt. Ein Beispiel dafür ist die Aufteilung des EV Oldersum in ein Ober- und ein Untergebiet.

Entwässerung

Die Entwässerung stellt eine Grundvoraussetzung für die Besiedlung sowie die landwirtschaftliche und gewerbliche Nutzung des Betrachtungsraumes dar. Ohne ein zuverlässiges Entwässerungsmanagement würde es bei ergiebigen Niederschlägen vor allem in den eingedeichten Küstenniederungen regelmäßig zu großflächigen Überschwemmungen kommen. Nur mit Hilfe der historisch gewachsenen Entwässerungssysteme, bestehend aus überwiegend künstlich angelegten Gewässern mit regulierten Wasserständen und technischen Anlagen wie Sielen und Schöpfwerken, können überschüssige Niederschlagsmengen abgeführt und kritische Hochwassersituationen weitestgehend vermieden werden.

In den vier Verbandsgebieten, die jeweils voneinander abgegrenzte Einzugsgebiete darstellen, haben sich basierend auf den topographischen Gegebenheiten unterschiedliche Entwässerungsstrukturen entwickelt:

- Im **I. Entwässerungsverband Emden** und im **Untergebiet des Entwässerungsverbands Oldersum** befindet sich ein Großteil der Flächen unterhalb von NHN (s. Tab. 1). Die Geländehöhen liegen hier nur knapp oberhalb bzw. teilweise sogar unterhalb der Sollwasserstände der Hauptentwässerungssysteme, weshalb in diesen Bereichen eine Vielzahl an Unter- bzw. Stufenschöpfwerksgebieten entstanden sind, in denen vom Hauptentwässerungsnetz getrennte, niedrigere Sollwasserstände gehalten werden.
- Der **Entwässerungsverband Norden** weist hingegen kaum Flächen unterhalb von NHN auf und kommt daher ohne Unterschöpfwerksgebiete aus. Der Abfluss aus den Gewässern am Geesthang im südöstlichen Teil des Verbandsgebietes wird – wie auch bei den anderen Entwässerungsverbänden mit Geestanteil – über Stauwehre geregelt.
- Der **Entwässerungsverband Aurich** und das **Obergebiet des Entwässerungsverbands Oldersum** sind durch ihre Geestlage charakterisiert. Hier ist ein freier Abfluss, reguliert durch Stauwehre, möglich. Aus dem EV Aurich wird das Wasser in den Ems-Jade-Kanal geleitet und zu ca. zwei Dritteln in Richtung Emden und zu ca. einem Drittel in Richtung Wilhelmshaven entwässert. Der nach Emden entwässernde Anteil wird im Regelfall über den Emdener Hafen und im Ausnahmefall über das Schöpf-



werk Borssum in die Ems abgeführt. Das Wasser aus dem Obergebiet des EV Oldersum wird über den Sauteler Kanal durch das benachbarte Verbandsgebiet der Sielacht Moormerland zum Siel- und Schöpfwerk Sautel geleitet und dort in die Ems entwässert.

Tabelle 1 enthält eine Übersicht zu den Eckdaten der vier Entwässerungsverbände.

Zwischen den betrachteten Verbandsgebieten existieren zwei **verbandsübergreifende Schnittstellen der Entwässerungsinfrastrukturen**, die im Rahmen von KLEVER-Risk besonders in den Blick genommen wurden. Dabei handelt es sich zum einen um das Speicherbecken Leyhörn mit dem vom NLWKN betriebenen Sperrwerk Leysiel (s. Kap. 5.3) und zum anderen um die sogenannten „Emder Wasserspiele“ (s. Kap. 5.4), zu denen u. a. das ebenfalls vom NLWKN betriebene Schöpfwerk Borssum zählt.

Verbandsgebiet		EV Norden	I. EV Emden	EV Oldersum		EV Aurich
				Untergebiet	Obergebiet	
Gebietsgröße		245 km ²	465 km ²	246 km ²	191 km ²	186 km ²
Einwohner		41.000	87.000	68.000		34.000
mittlere Geländehöhe	Median	1,33 m NHN	0,38 m NHN	0,05 m NHN	5,91 m NHN	8,51 m NHN
	Mittelwert	1,71 m NHN	0,65 m NHN	0,73 m NHN	5,98 m NHN	8,19 m NHN
Anteil unterhalb von Normalhöhen-Null		2,4 %	35 %	48 %	0,3 %	0,0 %
Anteil der Siedlungs- und Verkehrsflächen		16,9 %	16,8 %	13,2 %	17,7 %	19,3 %
Anteil der Gewässerflächen		2,0 %	4,0 %	3,7 %	1,4 %	2,7 %
mittlerer Jahresniederschlag (2006-2019)		858 mm	852 mm	822 mm	868 mm	894 mm
Entwässerungsinfrastruktur						
Mündungsbauwerke	Siele	Leybuchtziel	Knock, Greetsiel	Petkum, Oldersum	Sautel	Einlaufbauwerke zum Ems-Jade-Kanal
	Schöpfwerke	Leybuchtziel	Knock, Greetsiel	Moormerland (in Oldersum)	Sautel	
Binnenpegel	Sommer	-0,80 m NHN	-1,27 m NHN	-1,05 m NHN	±0,00 m NHN	-
	Winter	-1,00 m NHN	-1,40 m NHN	-1,20 m NHN		
Unter-/Stufenschöpfwerksgebiete		-	22	17	3	2
Verbandsgewässer	II. Ordnung	320 km	949 km	352 km	260 km	158 km
	III. Ordnung	-	160 km	264 km	28 km	-

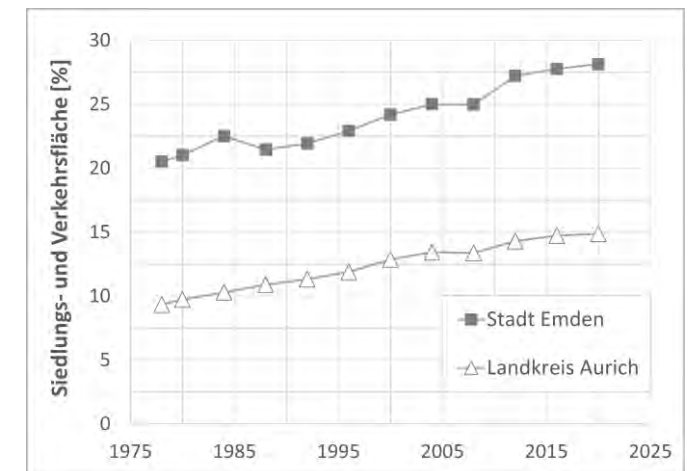
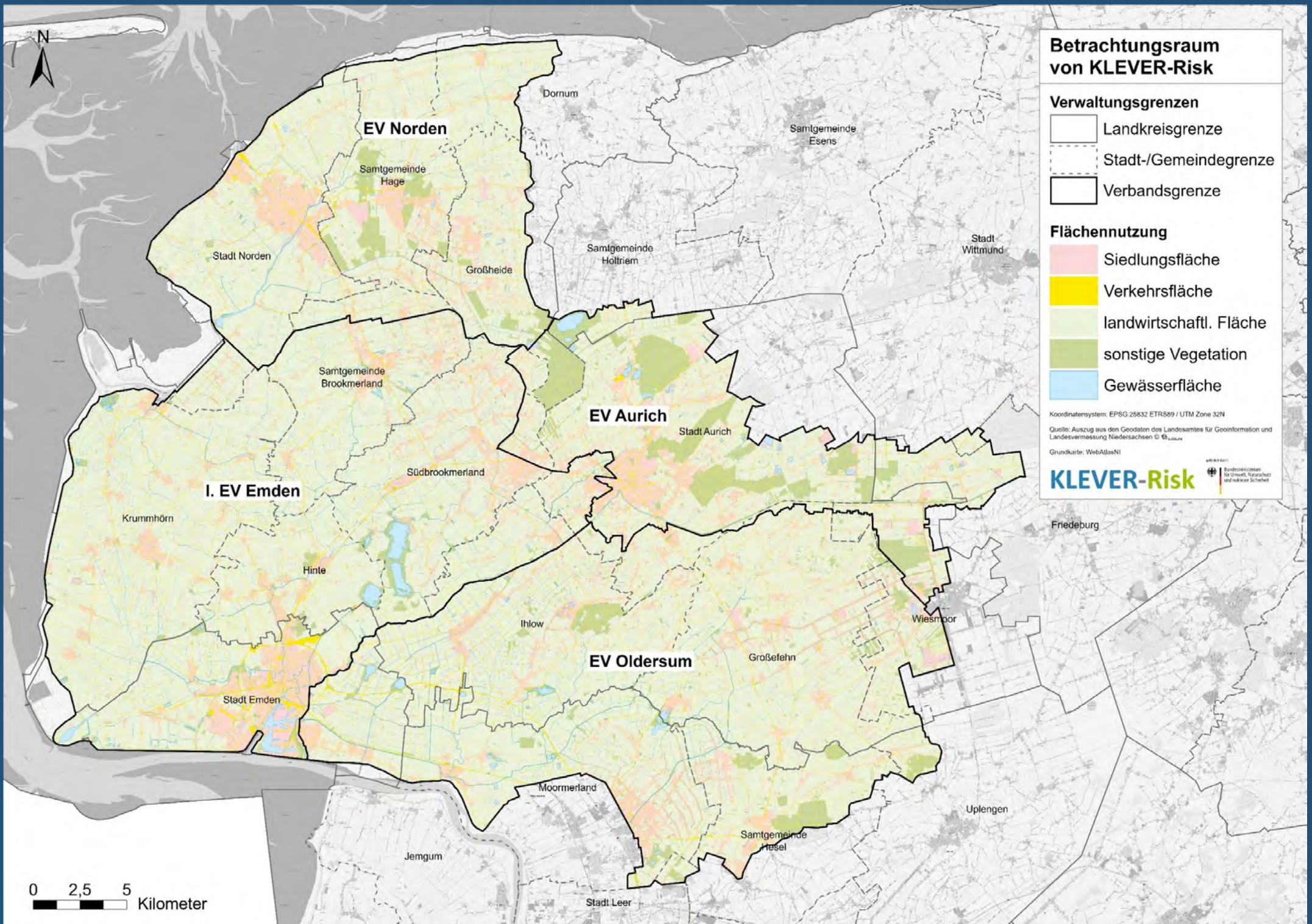
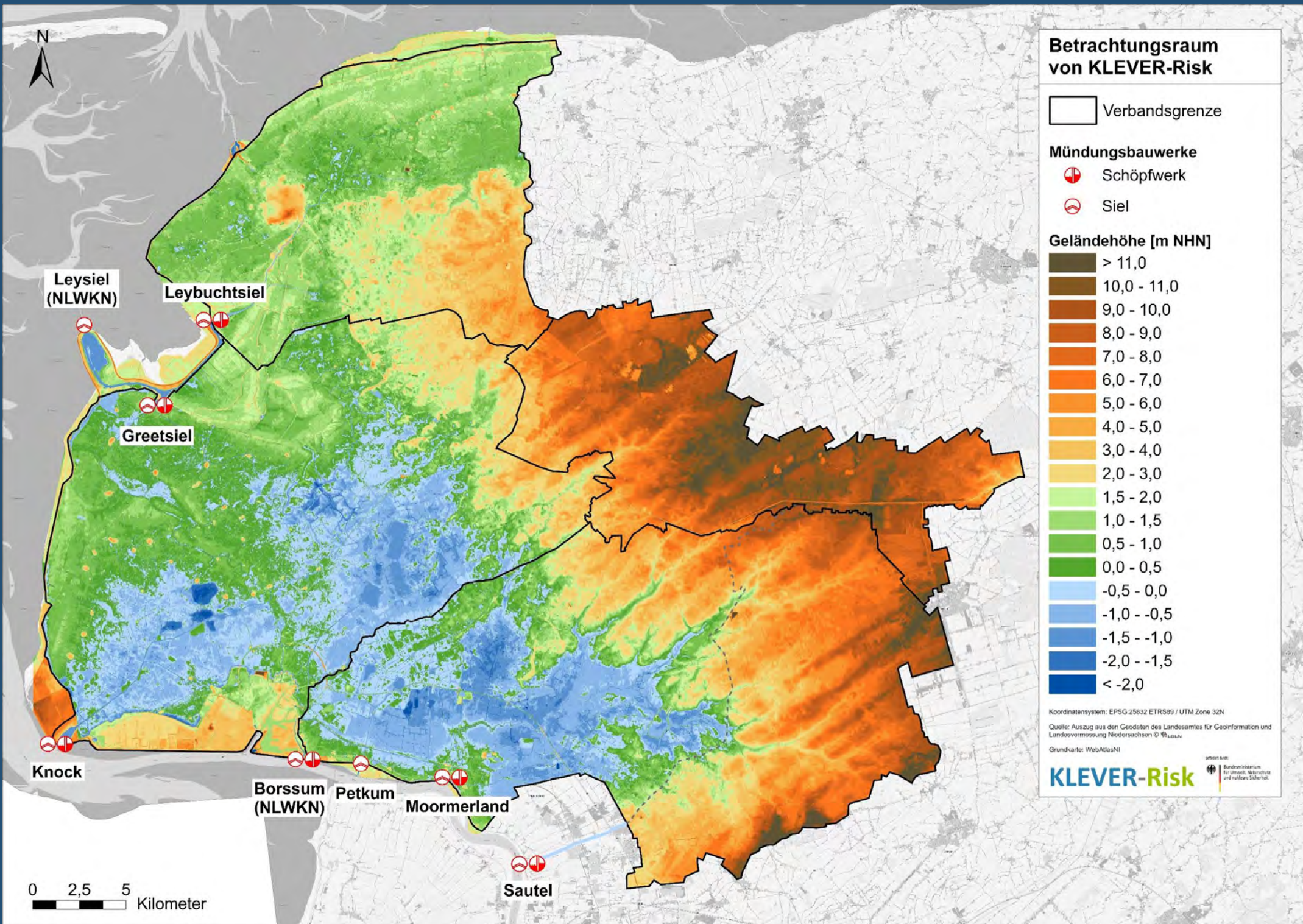


Abb. 1: Anteil der Siedlungs- und Verkehrsflächen an der Gesamtfläche im Landkreis Aurich und in der Stadt Emden

Abb. 2 (re. oben): Entwässerungsprinzip in Küstenniederungen

Tab. 1: Eckdaten zu den Entwässerungsverbänden









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



Norder Tief bei hohem Wasserstand

Foto: EV Norden

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 Speicherfähigkeit der Böden sowie den Witterungsbedingungen und der Vegetationsaktivität abhängig sind. In kleinem Maße tragen zudem Fremdwasserzuflüsse, wie der permanente Wasserzustrom 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 ermöglichen 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 Flächengröße 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 Gesamtentwässerungsmenge 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.



Berumerfehnhkanal bei hohem Wasserstand

Foto: EV Norden

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 simulierten Grundwasserneubildung und der Verdunstung (Restgröße) gegenübergestellt. Da für den Entwässerungsverband Aurich keine Abflussmessungen vorliegen, sind simulierte 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 I. 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.

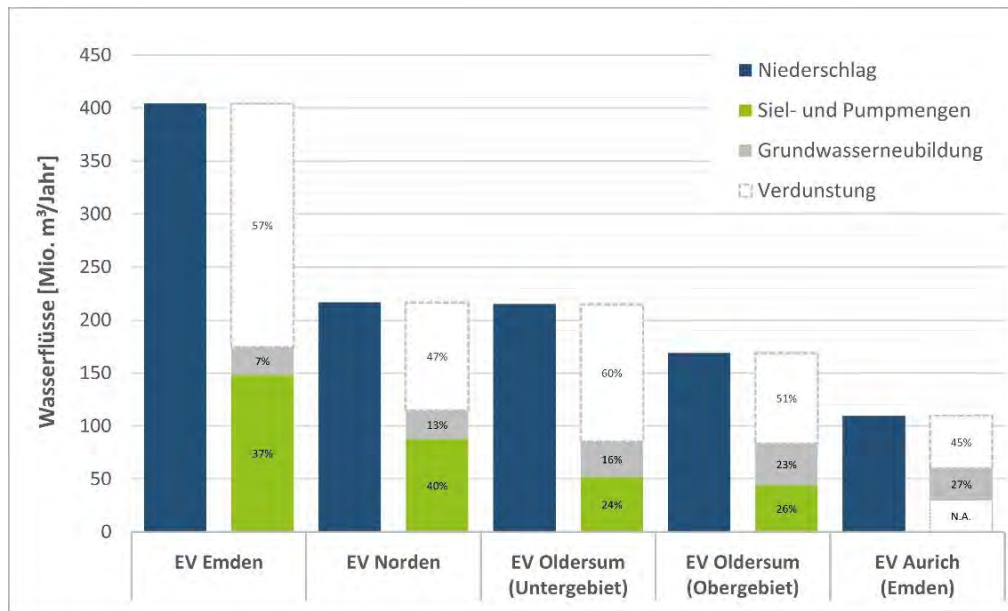


Abb. 3: Jahresmittelwerte der Niederschlagsmengen und Grundwasserneubildung im Zeitraum 1981-2010 und Jahresmittelwerte der Siel- und Pumpmengen im Zeitraum 2006-2019 (außer EV Norden: 2006-2015). Werte prozentual zur Niederschlagsmenge dargestellt.

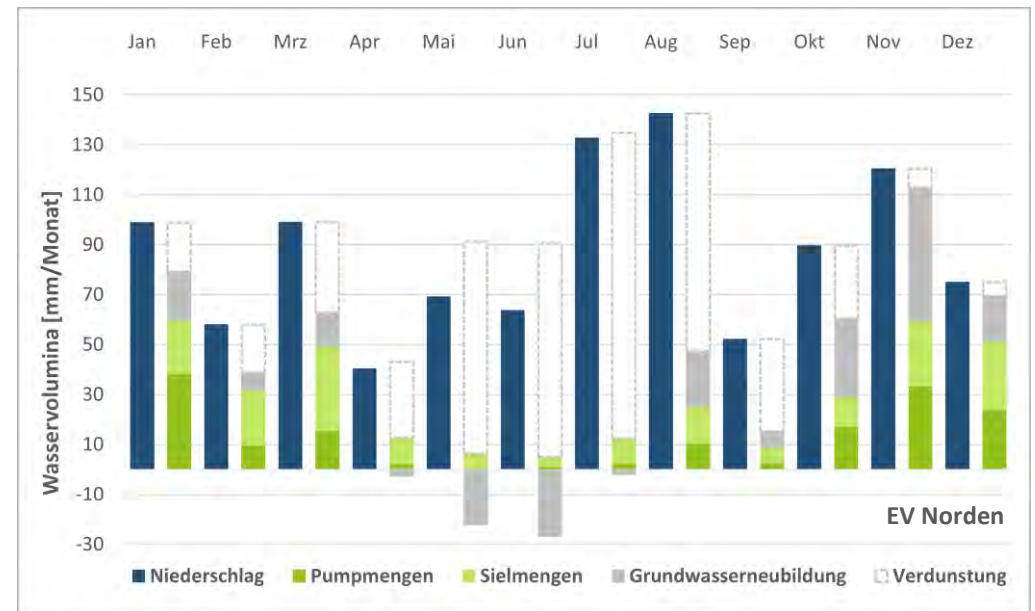


Abb. 4: Mittlere monatliche Wasserbilanz im EV Norden in den Jahren 2006-2009

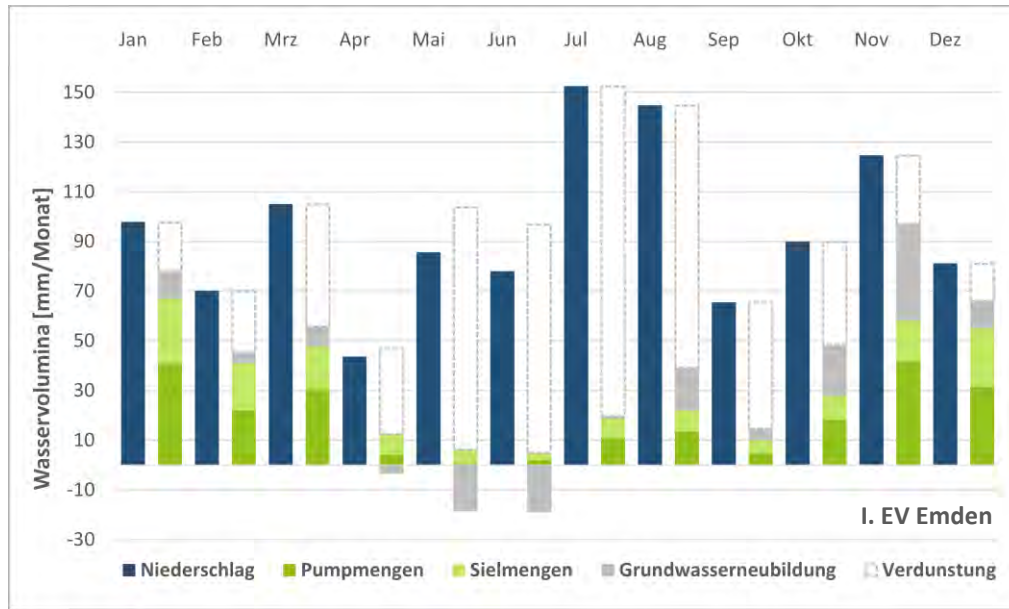


Abb. 5: Mittlere monatliche Wasserbilanz im I. EV Emden in den Jahren 2006-2009

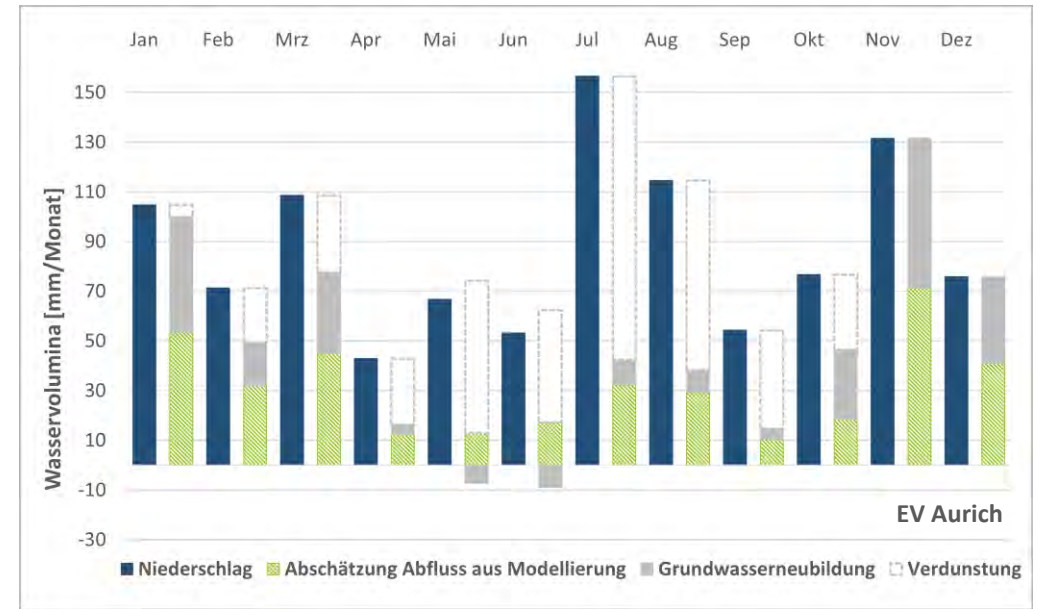


Abb. 8: Mittlere monatliche Wasserbilanz im EV Aurich in den Jahren 2006-2009

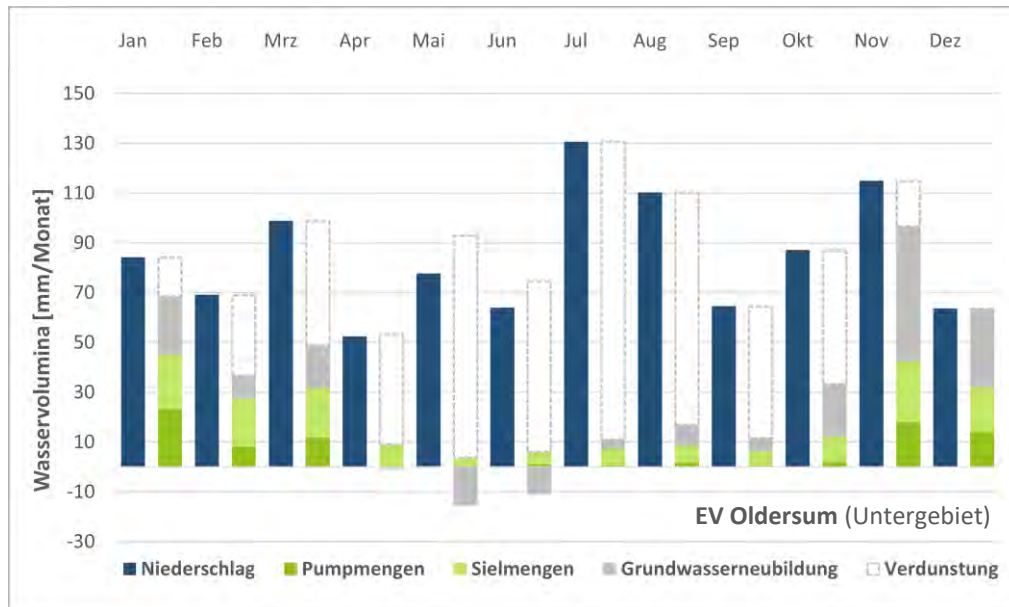


Abb. 6: Mittlere monatliche Wasserbilanz im EV Oldersum (Untergebiet) in den Jahren 2006-2009

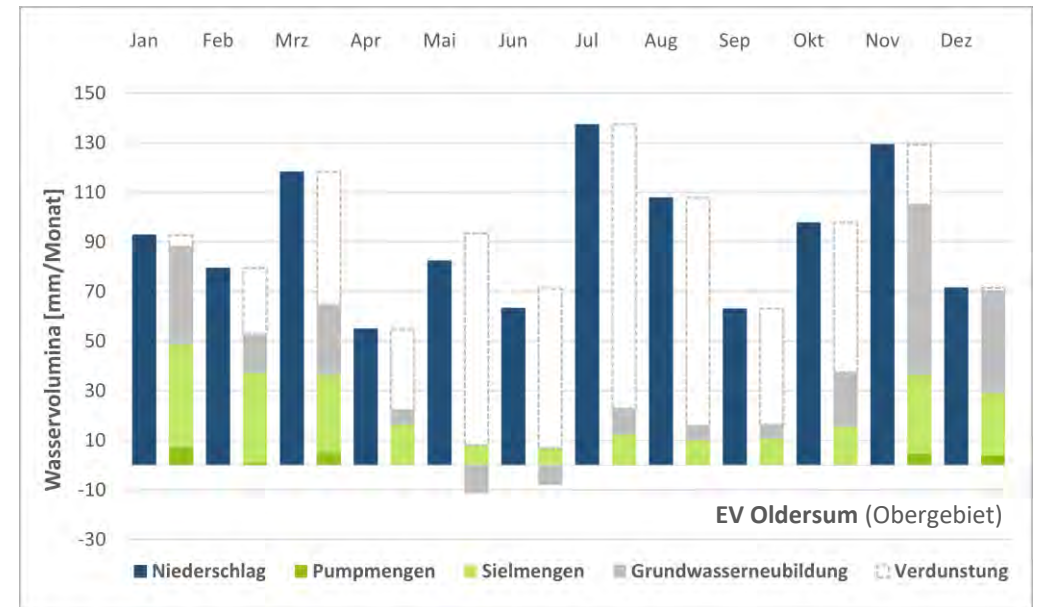


Abb. 7: Mittlere monatliche Wasserbilanz im EV Oldersum (Obergebiet) in den Jahren 2006-2009

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-Risk bestand nun darin, zu prüfen, ob die für das Emden Verbandsgebiet zu erwartenden Klimawandeleffekte auch auf die benachbarten Verbandsgebiete übertragbar sind, um für diese Entwässerungsverbände 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 Klimafolgensimulationen 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).

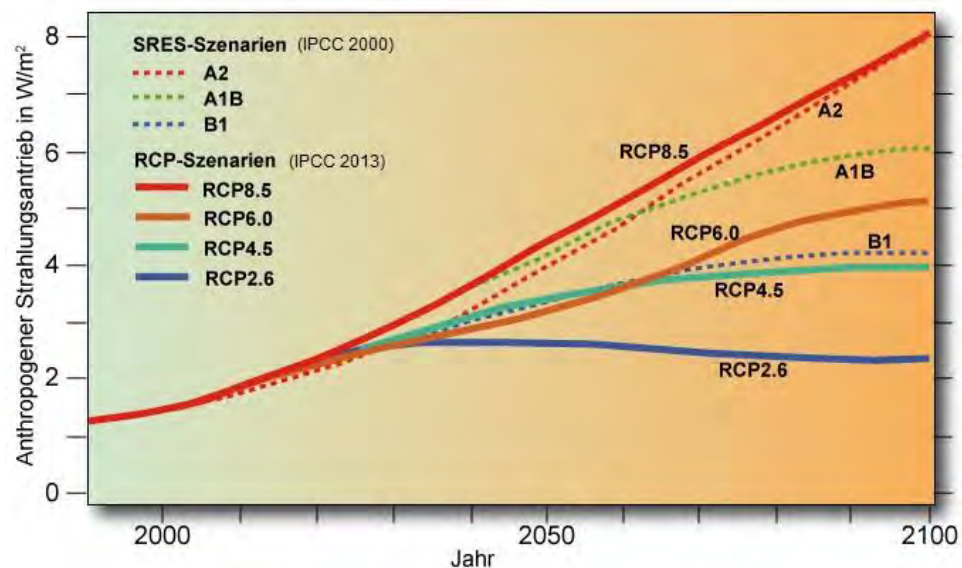


Abb. 9: Globale Klimaszenarien: Strahlungsantrieb verschiedener Klimaszenarien des IPCC (Quelle: Hamburger Bildungsserver)

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 Klimadienleistungen 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).

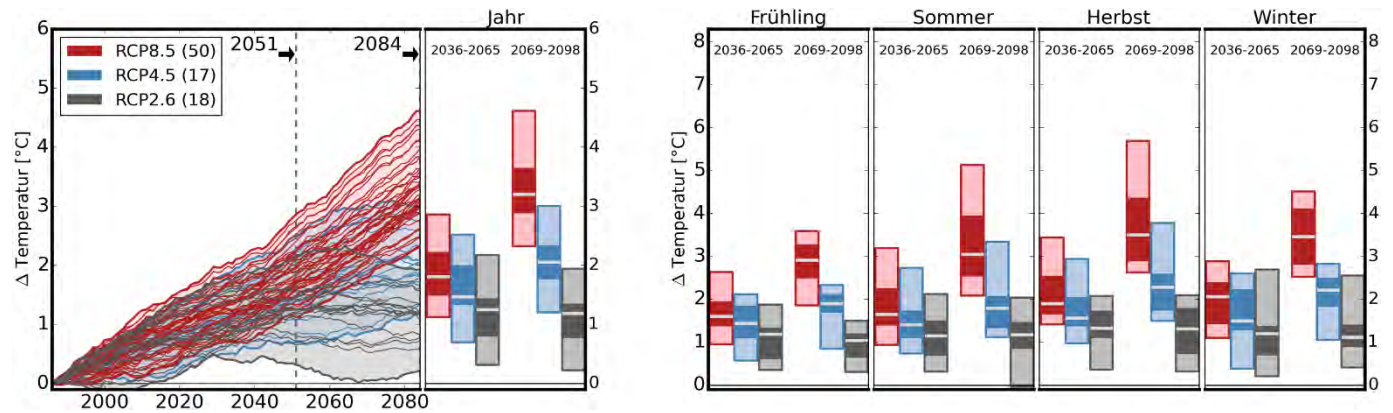


Abb. 10: Projizierte Änderung der mittleren jährlichen und saisonalen Temperaturen im Landkreis Aurich für zwei Zeitscheiben in der Zukunft; pessimistische (rot, RCP8.5), moderate (blau, RCP4.5) und optimistische (grau, RCP2.6) Szenarien (Quelle: GERICS)

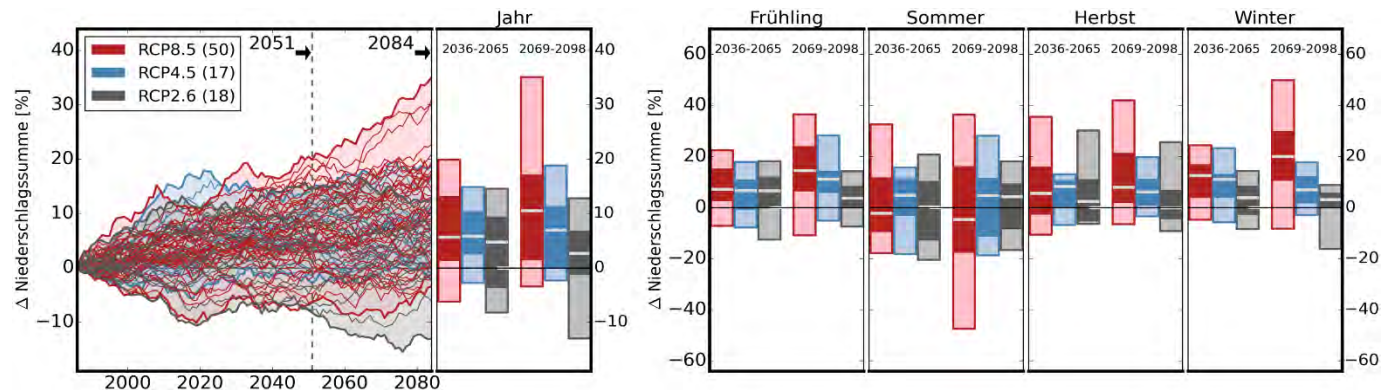
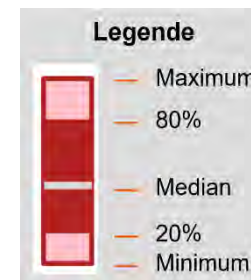


Abb. 11: Projizierte Änderung der jährlichen und saisonalen Niederschläge im Landkreis Aurich für zwei Zeitscheiben in der Zukunft; pessimistische (rot, RCP8.5), moderate (blau, RCP4.5) und optimistische (grau, RCP2.6) Szenarien (Quelle: GERICS)

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

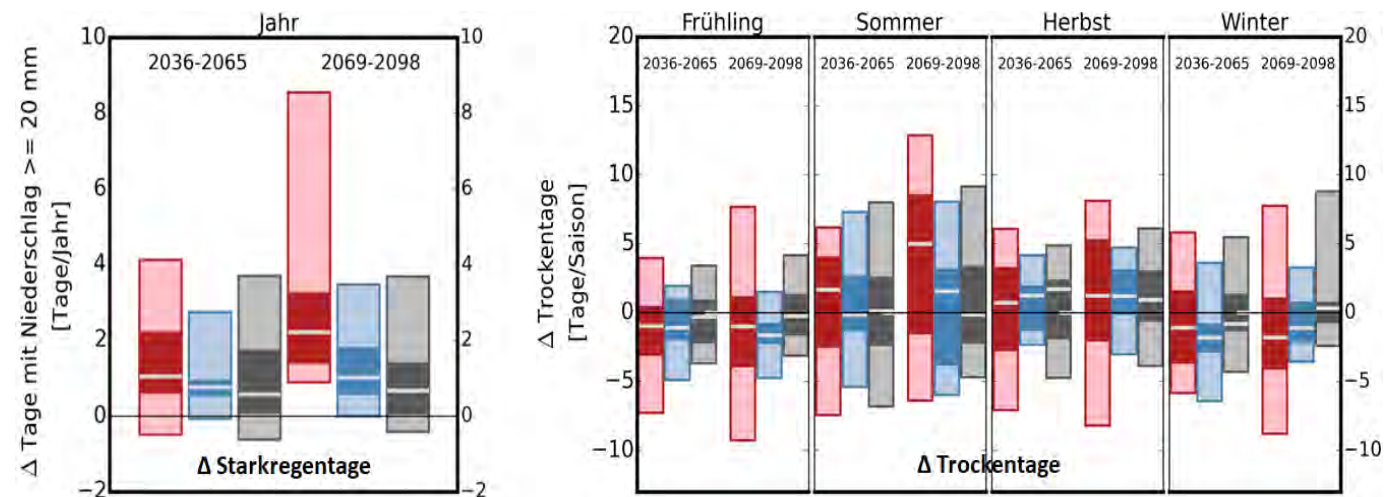
Das zunehmend von Extremereignissen beherrschte Witterungsgeschehen wird besonders im Sommer auch längere Trockenphasen mit sich bringen. Neben der Abnahme der Sommerniederschläge zeigen die Szenarien in den Sommermonaten relativ konsistent eine Zunahme der Anzahl der Trockentage. Darauf wird sich das 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 Wassermengenmanagement 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)



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 vorausgegangener 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.

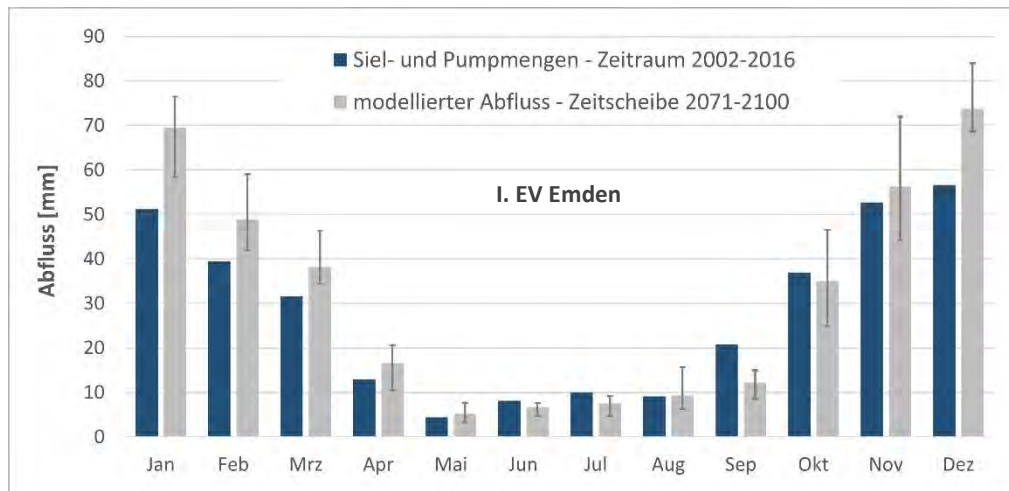


Abb. 13: Modellbasierte Abschätzung der Veränderung der mittleren monatlichen Abflussbildung im Verbandsgebiet Emden für die Zeitscheibe 2071-2100 im Vergleich zum Kontrollzeitraum

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

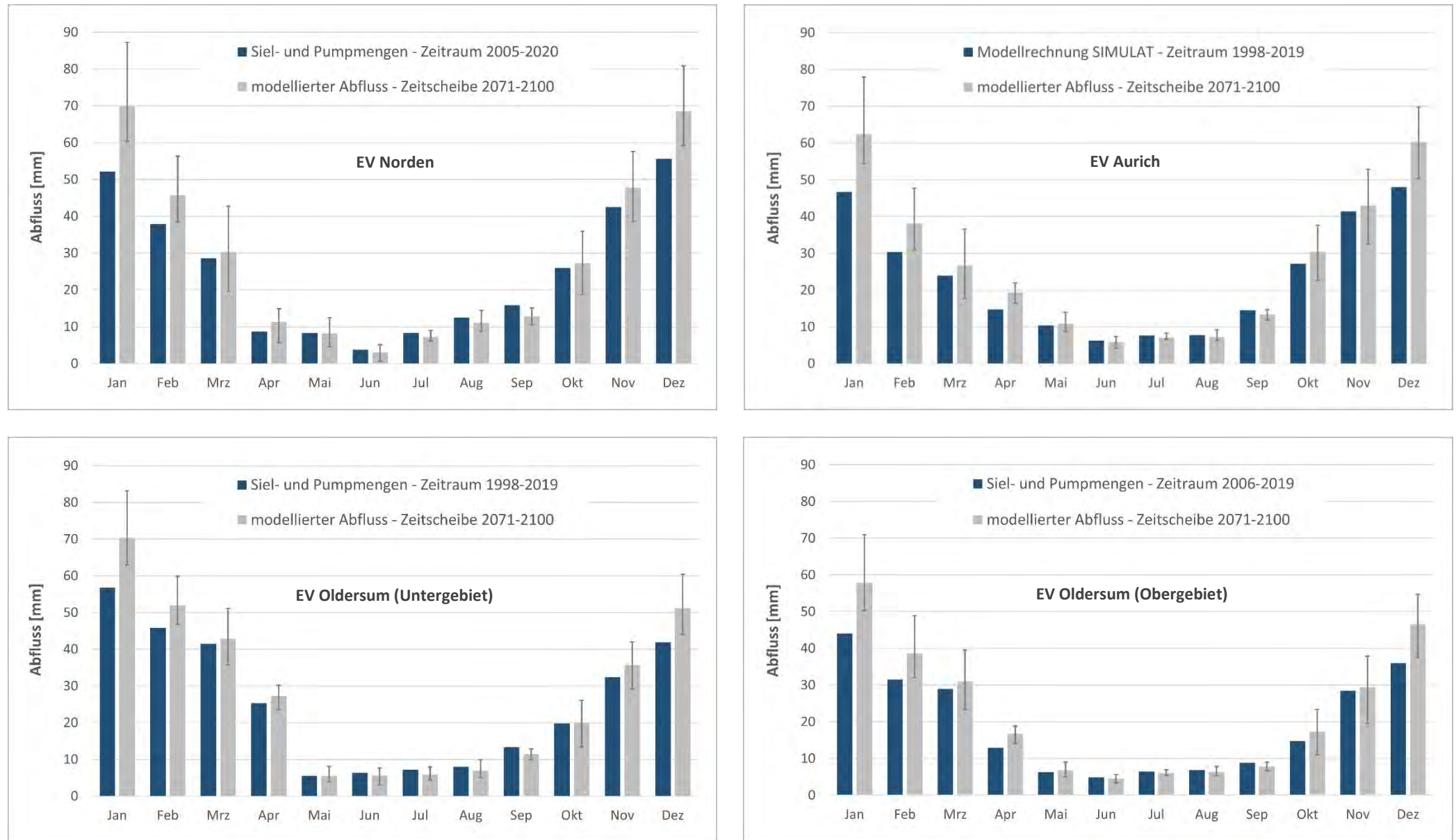


Abb. 14: Modellbasierte Abschätzung der klimawandelbedingten Veränderungen der mittleren monatlichen Abflussbildung in den Verbandsgebieten Norden, Oldersum (getrennt nach Unter- und Obergebiet) und Aurich (blaue Säulen: Mittelwert der Siel- und Pumpmengen im Kontrollzeitraum; graue Säulen: Mittelwert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

Exkurs: Modellvalidierung EV Aurich

Das Einzugsgebiet des Entwässerungsverbandes Aurich wird über den Ems-Jade-Kanal entwässert, der das Wasser sowohl in Richtung Wilhelmshaven als auch in Richtung Emden abführt. Daher ist das Verbandsgebiet Aurich hydrologisch in zwei Gebiete unterteilt (s. Karte auf Seite 59). Für das Einzugsgebiet des EV Aurich, das in Richtung Emden entwässert, wurden im Rahmen des Projektes Wasserhaushaltssimulationen durchgeführt, um den Abfluss aus diesem Gebiet zu ermitteln und Aussagen über Klimawandeleffekte machen zu können.

Im Jahr 2021 wurde am Standort Wolthuser Brücke eine Messstation zur Abflussmessung im Ems-Jade-Kanal mit Fließrichtung Emders Hafen installiert, die vom NLWKN betrieben wird. Die Station registriert die Wasserstände, den Abfluss und die Fließgeschwindigkeit im Abstand von 5 Minuten. Kurz vor dem Erscheinen dieser Broschüre konnten Abflussmengen von November 2021 bis Januar 2023 (15 Monate) ausgewertet werden. Für die vorhandenen Daten wurden Monatsmittelwerte gebildet. Dieser Messdatensatz lässt einen ersten Vergleich mit den für die Jahre 1998 bis 2019 simulierten Abfluss-

mengen zu. Eine Validierung des Modells ist dadurch allerdings noch nicht möglich.

Die Abbildung 15 zeigt die simulierten Monatsmittelwerte (blaue Säulen) und die gemessenen Monatsmittelwerte (grüne Säulen) im Vergleich. Zusätzlich ist für die simulierten Werte mit den Antennen die gesamte Spannweite der Daten aus den 22 simulierten Jahren angegeben. Bis auf den Februar 2022 befinden sich alle Messwerte innerhalb dieser Spannweiten. Das bedeutet, dass die Modellierung die Messwerte aus den ersten 15 Monaten der Messzeitreihe statistisch gut abbildet. Im Februar 2022 fielen im nach Emden entwässernden Einzugsgebiet des EV Aurich mit mehr als 200 mm außergewöhnlich hohe Niederschläge. Daher stellt die Messung aus dem Februar einen extremen Abflusswert dar, der in vergleichbarer Höhe im simulierten Zeitraum aber bereits in anderen Wintermonaten aufgetreten ist.

Eine Validierung der Abflussmodellierung für den EV Aurich kann in Zukunft anhand einer längeren Zeitreihe der Abflussdaten der Messstation Wolthuser Brücke vorgenommen werden.

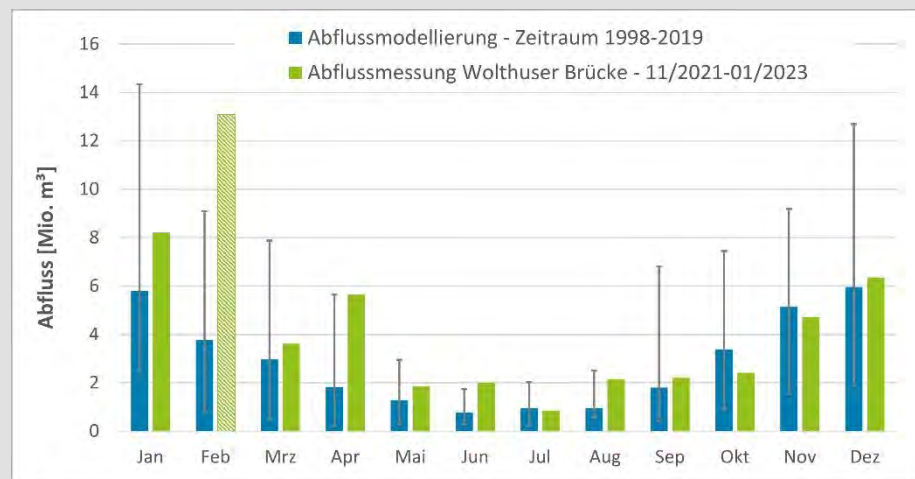


Abb. 15: Vergleich der Monatsmittelwerte der Modellierung für das in Richtung Emden entwässernde Einzugsgebiet des EV Aurich für den Zeitraum 1998 bis 2019 (blaue Säulen) mit Angabe der Spannweiten der Daten (Antennen) und der Monatsmittelwerte der Messdaten für den Zeitraum November 2021 bis Januar 2023 (grüne Säulen) mit dem Extremereignis vom Februar 2022 (Einzelwert, grün schraffierte Säule)

Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs auf die Entwässerungsbedingungen der Verbandsgebiete

Die globalen Klimamodelle berechnen neben den atmosphärischen Veränderungen auch den Einfluss der Klimaänderungen auf die Ozeane. Steigende Temperaturen bewirken, dass sich Wasser ausdehnt. Dadurch wird an vielen Küsten auf der Welt ein steigender Meeresspiegel beobachtet. Auch abschmelzendes Wasser der Inlandeis-schilde und Gletscher trägt zum Meeresspiegelanstieg bei. Von 1880 bis 2009 ist der Meeresspiegel im globalen Mittel um 21 cm gestiegen. Dieser Trend wird sich in Zukunft fortsetzen und wahrscheinlich deutlich beschleunigen.

Der globale Meeresspiegelanstieg wirkt sich aufgrund der Meeresströmungen und der Küstenmorphologie regional unterschiedlich aus. Für die Analysen hinsichtlich der künftigen Entwicklung an der ostfriesischen Nordseeküste wurden wie im KLEVER-Projekt die regionalen Modellrechnungen der IPCC-Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 ausgewertet. Jedes Szenario wird auch hier von einer Vielzahl von Klimamodellen quantifiziert. Im Rahmen von KLEVER-Risk wurden sowohl die Mittelwerte aller Modelle (Ensemble-Mittelwert) als auch die 95%-Perzentile (Wert, der von 5 % der Modelle überschritten wird) für die Szenarien betrachtet. Würde allein der Mittelwert betrachtet, müsste davon ausgegangen werden, dass etwa die Hälfte der Modelle einen höheren Meeresspiegelanstieg projiziert als der Mittelwert aller Modelle. Da unbekannt ist, welches der Modelle die Zukunft am besten „vorhersagen“ kann, läge das Risiko dann bei 50 %, dass der Meeresspiegelanstieg im Rahmen der Folgenabschätzung und Maßnahmenplanung unterschätzt wird. Bei der Betrachtung des 95%-Perzentils beträgt dieses Risiko nur 5 %.

Die betrachteten Projektionen zeigen für die Deutsche Bucht einen zu erwartenden Meeresspiegelanstieg zwischen 50 und 110 cm bis zum Ende des Jahrhunderts (s. Abb. 16). Mit einbezogen ist bei diesen Werten bereits die Landsenkung, die zu einer relativen Erhöhung des

Meeresspiegels führt. Sie wurde bei den Analysen mit einer Senkungsrate von 1 mm/Jahr berücksichtigt. Weiterführende Informationen zum Meeresspiegelanstieg an der norddeutschen Küste finden sich auch unter: www.meeresspiegel-monitor.de

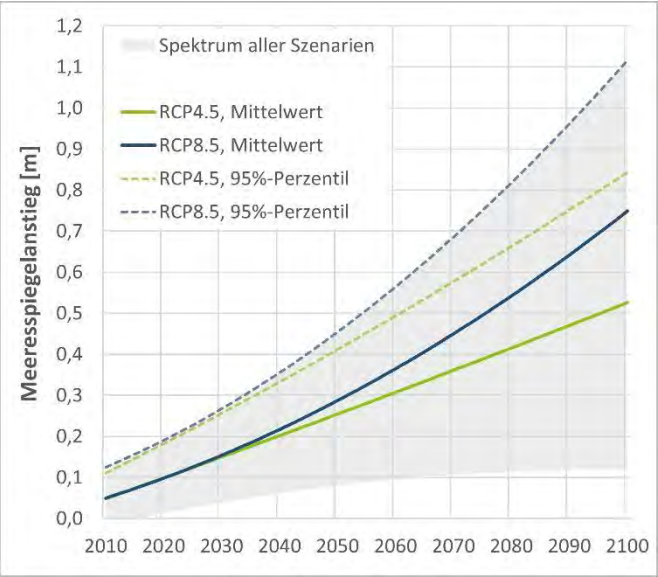


Abb. 16: Meeresspiegelanstieg in der Deutschen Bucht nach IPCC 2013

Der Anstieg des Meeresspiegels wirkt sich auf die Binnenentwässerung sowohl durch die Veränderungen des Tide-niedrig- als auch des Tidehochwassers aus. Über das Tide-niedrigwasser nimmt der Meeresspiegelanstieg Einfluss auf die künftigen Sielmöglichkeiten. Sinkt der Wasserstand bei Ebbe weniger tief ab, wird die Entwässerung im Sielbetrieb eingeschränkt oder sogar gänzlich unmöglich, sodass verstärkt auf den Pumpenbetrieb ausgewichen werden muss. Durch den Anstieg des Tidehochwassers wird künftig allerdings auch der Pumpenbetrieb erschwert. Die Pumpen der Mündungsschöpfwerke sind für eine bestimmte geodätische Förderhöhe (Höhendifferenz

zwischen Binnen- und Außenwasserstand) ausgelegt. Wird bei hohen Außenwasserständen eine kritische geodätsche Förderhöhe überschritten, nimmt die Pumpleistung sichtlich ab, teilweise müssen die Pumpen zum Schutz der Technik sogar ganz abgestellt werden. Steigende Außenwasserstände bedeuten damit, dass die Pumpen künftig entsprechend häufiger unter größerer Belastung laufen bzw. abgeschaltet werden müssen und weniger Wasser fördern können.

Um die oben beschriebenen Effekte zu quantifizieren, wurden im Rahmen von KLEVER-Risk für einen zugrunde gelegten Meeresspiegelanstieg von 110 cm bis 2100 (RCP8.5, 95%-Perzentil) zum einen die Veränderung der potenziellen Sielstunden im Winterhalbjahr und zum anderen die Veränderung der Entwässerungsleistung der Siel- und Schöpfwerke ermittelt.

Veränderung der potenziellen Sielstunden im Winterhalbjahr

In Abbildung 18 auf Seite 20 ist exemplarisch für den Pegel Knock die Normaltidekurve über einen Tidezyklus (12,5 Stunden) dargestellt. Unter heutigen Bedingungen (durchgezogene blaue Linie) fällt der Außenwasserstand im Winterhalbjahr (Oktober bis März) für 1,3 Stunden unter den angestrebten Binnenwasserstand von -1,4 m NHN. In diesem Zeitraum besteht bei vorhandenem Entwässerungsbedarf die Möglichkeit, die Sielläufe zu nutzen. In der restlichen Zeit des Tidezyklus müssen zur Entwässerung hingegen die Pumpen eingesetzt werden. Unter der Annahme, dass das Tideniedrigwasser in gleicher Weise wie der mittlere Meeresspiegel ansteigt, würden sich die zur Verfügung stehenden Sielstunden künftig entsprechend verringern. Die blau gestrichelte Linie in Abbildung 18 zeigt die um 110 cm nach oben verschobene Normaltidekurve (entsprechend des 95%-Perzentils des Meeresspiegelanstiegs-szenarios RCP8.5 für das Jahr 2100). An der Knock würden dann keine Sielzeiten mehr bestehen.

Die Diagramme in Abbildungen 17 veranschaulichen die Abnahme der potenziellen Sielstunden bis zum Jahr 2100 für die verschiedenen Sielbauwerke im Betrachtungsraum. Die potenziellen Sielstunden wurden bezogen auf einen fixen Binnenwasserstand berechnet, der jeweils in den Abbildungen angegeben ist. Die dunkelblaue Linie beschreibt den Mittelwert der vier gerechneten Szenarien (RCP4.5 und RCP8.5, jeweils 50%- und 95%-Perzentil). Der graue Bereich stellt das Spektrum zwischen dem größten Änderungssignal (RCP8.5, 95%-Perzentil) und dem kleinsten Änderungssignal (RCP4.5, 50%-Perzentil) dar. Sofern für den Zeitraum von 2010 bis heute Aufzeichnungen zu den tatsächlich genutzten Sielstunden vorliegen, sind diese als grüne bzw. blaue Säulen dargestellt.

Die Abhängigkeit der Sielmöglichkeiten vom jeweiligen Binnenwasserstand ist in den Abbildungen deutlich zu erkennen. Je größer das Gefälle zwischen Binnenwasserstand und Tideniedrigwasser ist, desto länger besteht am entsprechenden Bauwerk die Möglichkeit über die Siele zu entwässern. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tab. 3: Abnahme der potenziellen Sielstunden im Winterhalbjahr bei einem Meeresspiegelanstieg von 110 cm bis zum Jahr 2100 (entsprechend RCP8.5, 95%-Perzentil)

Sielbauwerk	heute [Std]	2100 [Std]	Abnahme [%]	
Knock	430	0	100	↓
Moormerland / Petkum	1.020	170	83	↓
Sautel	1.800	790	56	↘
Leysiel	700	0	100	↓
Emder Hafen	2.600	1.750	33	↘

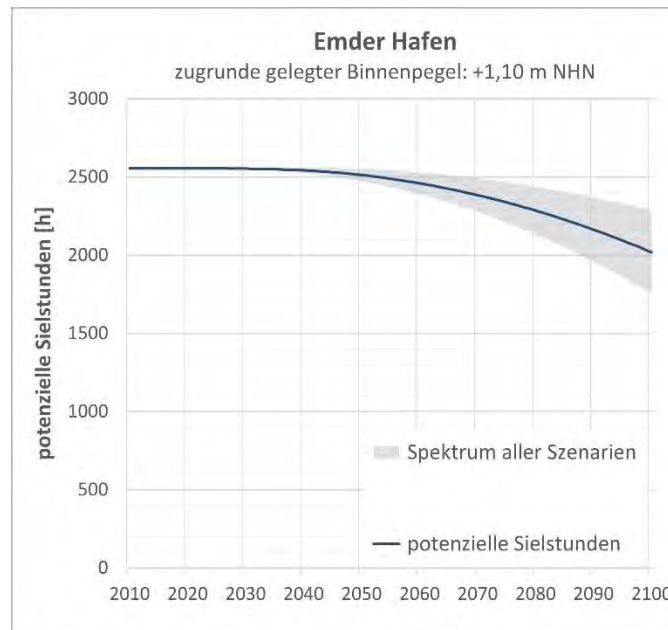
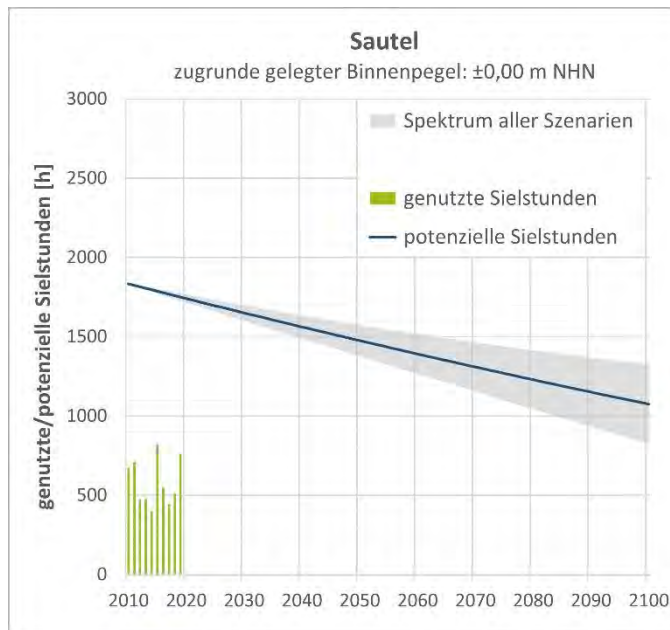
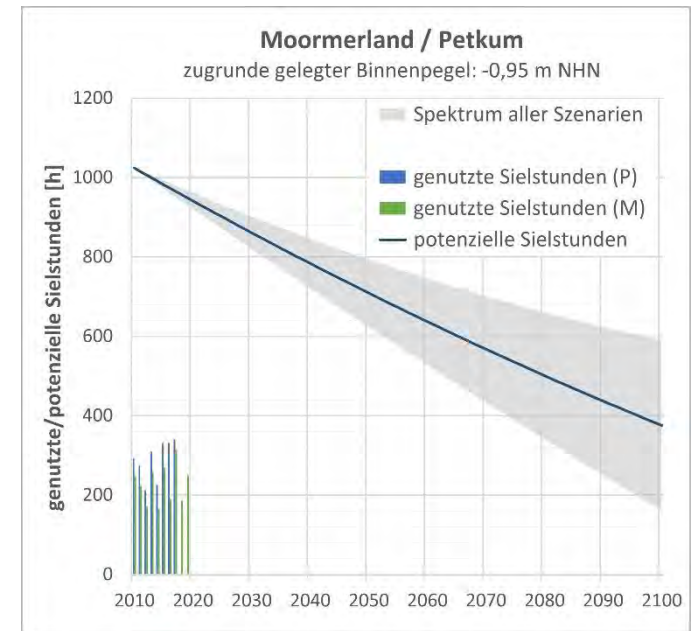
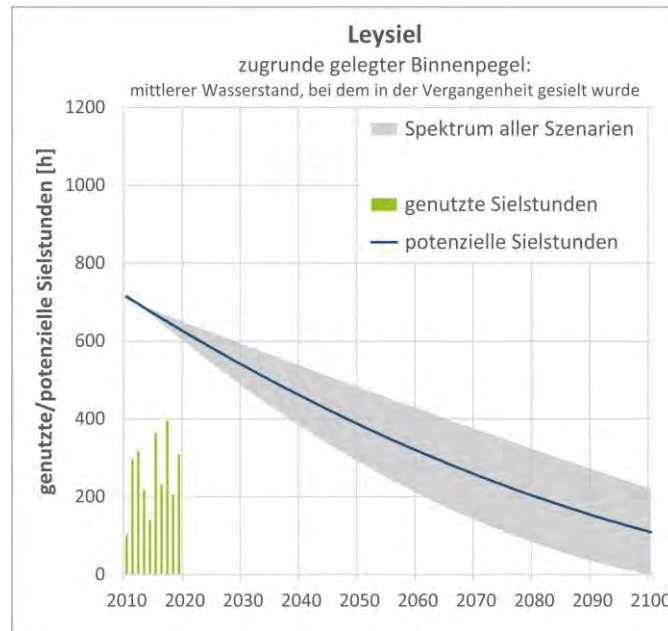
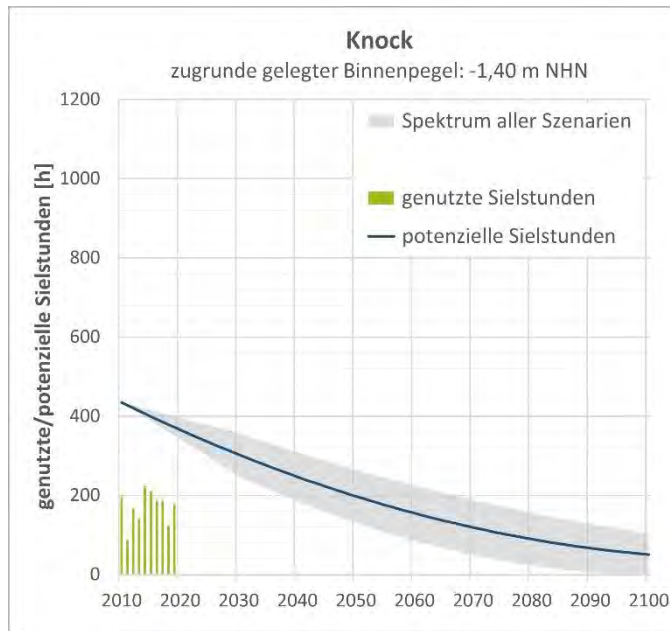


Abb. 17: Änderungseffekte der Meeresspiegelanstiegsszenarien auf die potenziellen Sielstunden im Winterhalbjahr von Oktober bis März (dunkelblaue Linie: Mittelwert der Änderungssignale der berechneten Szenarien; grauer Bereich: Spannweite zwischen dem Szenario mit dem geringsten Änderungssignal (RCP4.5, 50%-Perzentil) und dem größten Änderungssignal (RCP8.5, 95%-Perzentil; grüne bzw. blaue Säulen: genutzte Sielstunden)

Veränderung der Entwässerungsleistung der Siel- und Schöpfwerke

Um die Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs auf die Entwässerungsmöglichkeiten der vier Verbandsgebiete zu beschreiben, wurde die Veränderung der Entwässerungsleistung der Siel- und Schöpfwerke abgeschätzt. Dabei wurde zwischen der Entwässerungsleistung bei Normaltide- und bei Sturmflutbedingungen (Referenz-Kettentide von Januar 2012) unterschieden. Wie auch bei der Untersuchung der potenziellen Sielstunden (s. o.) wurde die vereinfachende Annahme getroffen, dass sich die Tidehoch- und Tideniedrigwasserscheitel der zugrunde gelegten Tidekurven jeweils in gleichem Maße wie der angenommene mittlere Meeresspiegelanstieg (RCP8.5, 95%-Perzentil) bis zum Jahr 2100 um 110 cm nach oben verschieben (s. Abb. 18).

Bei der Ermittlung der unter den jeweiligen Außenwasserstandsverhältnissen realisierbaren Entwässerungsleistungen wurde von einem über mehrere Tidezyklen anhalten-

den Dauerbetrieb der Siel- und Schöpfwerke aufgrund hohen Entwässerungsbedarfes ausgegangen. Unter Berücksichtigung der drei nachfolgend beschriebenen und in Abbildung 18 exemplarisch für die Knock dargestellten Betriebszustände wurden dann die vom jeweiligen Tideverlauf abhängigen durchschnittlichen Entwässerungsleistungen der Siel- und Schöpfwerke berechnet:

- 1) **Entwässerung im Sielbetrieb:** Der erste Zustand beschreibt die Zeiten, in denen der Außenwasserstand niedriger liegt als der Binnenwasserstand am jeweiligen Siel- und Schöpfwerk. In der Berechnung der Entwässerungsleistung wurden diese Zeiträume mit einer vom NLWKN angegebenen mittleren Sielleistung des entsprechenden Bauwerks abgebildet.
- 2) **Entwässerung im Pumpbetrieb:** Der zweite Zustand beschreibt die Zeiten, in denen der Außenwasserstand höher als der Binnenwasserstand ausfällt. In diesen

Zeiträumen entspricht die Entwässerungsleistung der Pumpleistung des jeweiligen Schöpfwerks, die von der geodätischen Förderhöhe (Differenz zwischen Außen- und Binnenwasserstand) abhängig ist. Der Zusammenhang zwischen Pumpleistung und geodätischer Förderhöhe ist in den entsprechenden Pumpenkennlinien beschrieben. Bei der Berechnung der Entwässerungsleistung wurden die über den Pumpzeitraum variierenden geodätischen Förderhöhen entsprechend berücksichtigt.

- 3) **kein Entwässerungsbetrieb möglich:** Der dritte Zustand beschreibt die Zeitpunkte in der Tidekurve, in denen der Außenwasserstand so hoch ansteigt, dass die Pumpen aus technischen Gründen nicht mehr eingesetzt werden können. In diesen Zeiträumen ist keine Entwässerung möglich, die Entwässerungsleistung ist gleich null.

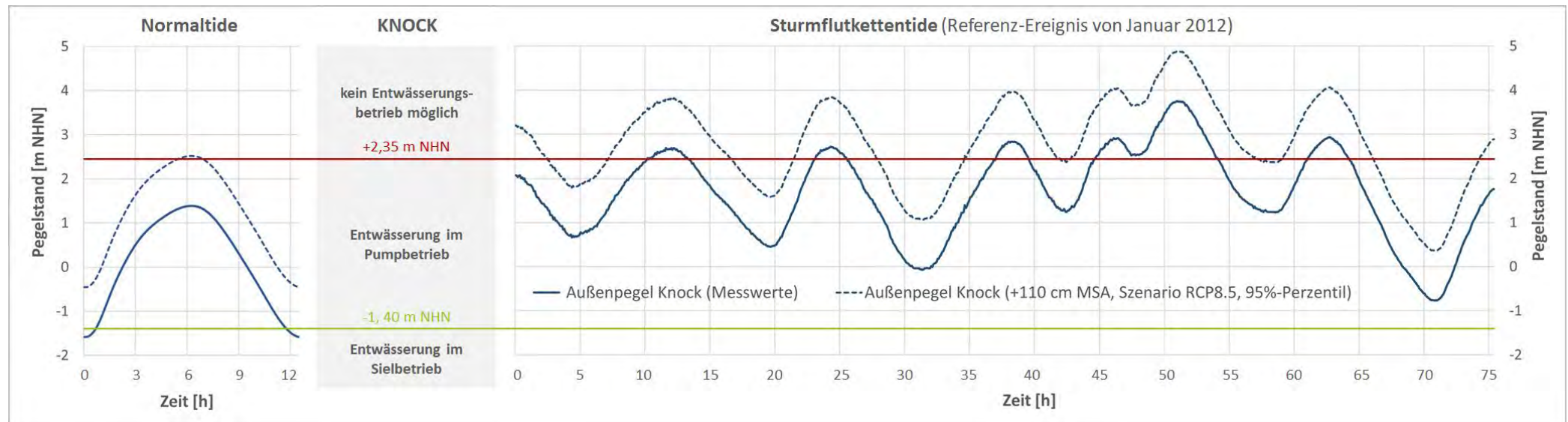


Abb. 18: Entwässerungsmöglichkeiten am Siel- und Schöpfwerk Knock bei Normaltidebedingungen (links) und bei Sturmflutbedingungen (rechts); heute (durchgezogene blaue Linie) und bei einem Meeresspiegelanstieg von 110 cm bis zum Jahr 2100 (blau gestrichelte Linie)

Da die Siel- und Schöpfwerke Leybucht siel und Greetsiel nicht direkt in die Nordsee, sondern in das Speicherbecken Leyhörn entwässern, konnten die zugrunde gelegten Normal- und Kettentidenkurven bei diesen Bauwerken nicht unmittelbar als Eingangsgrößen für die Berechnung verwendet werden. Stattdessen mussten Annahmen zum Wasserstand im Speicherbecken getroffen werden, die aus Messdaten abgeleitet wurden. Für den Fall der Normaltide wurde angenommen, dass der Wasserstand im Becken zwischen den regelmäßigen Sielmöglichkeiten am Sperrwerk Leysiel jeweils moderat ansteigt und dann wieder absinkt. Für den Verlauf der Kettentide reduzieren sich die Sielmöglichkeiten am Leysiel hingegen deutlich. Daher steigt der Wasserstand im Becken wesentlich stärker an und erreicht mit fortschreitendem Meeresspiegelanstieg immer schneller den kritischen Einstaupegel von +1,5 m NHN, der eine Abschaltung der Schöpfwerke Leybucht siel und Greetsiel erforderlich macht (s. hierzu auch Kap. 5.3). Die angenommene Wasserstandsentwicklung im Speicherbecken bei Kettentide wurde aus den Messdaten des Kettentidenereignisses vom Januar 2012 abgeleitet.

In den Diagrammen in Abbildung 19 sind die berechneten Veränderungen der Entwässerungsleistungen der bestehenden Siel- und Schöpfwerke in den vier Verbandsgebieten bei einem Meeresspiegelanstieg von 110 cm bis zum Jahr 2100 (RCP8.5, 95%-Perzentil) dargestellt. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse für die Betrachtung unter Normaltidebedingungen und in Tabelle 5 für die Betrachtung unter Sturmflutbedingungen (Referenz-Kettentide) zusammengefasst.

Unter **Normaltidebedingungen** wirkt sich der zugrunde gelegte Meeresspiegelanstieg wenig auf die Entwässerungsleistung der Siel- und Schöpfwerke im Betrachtungsraum aus, da die meisten Pumpen auch bei entsprechend erhöhten Normaltidewasserständen weiterhin in einem guten bis sehr guten Förderleistungsbereich arbeiten könnten. Eine Ausnahme stellt das Siel- und Schöpfwerk

Knock dar, für das bis zum Jahr 2100 ein Leistungsverlust von 25 % ermittelt wurde. Die starke Abnahme liegt darin begründet, dass die dortigen Pumpen bei einem Meeresspiegelanstieg von 110 cm gegen Ende des Jahrhunderts bereits bei einem normalen Tidehochwasser an ihre Betriebsgrenze stoßen und entsprechend gedrosselt bzw. ganz abgeschaltet werden müssten (s. Abb. 18). Bei den anderen Mündungsbauwerken verringert sich die Entwässerungsleistung hingegen kaum bzw. steigt beim Siel- und Schöpfwerk Sautel sogar leicht an. Dies ist damit zu erklären, dass sich die Zeiträume, in denen dort gesielt werden kann, erheblich verkürzen und entsprechend mehr gepumpt werden müsste. Da die Pumpleistung größer ist als die zugrunde gelegte mittlere Sielleistung ergibt sich rechnerisch ein Anstieg der Entwässerungsleistung.

Unter **Sturmflutbedingungen** (Referenz-Kettentide) führt der zugrunde gelegte Meeresspiegelanstieg hingegen bei allen betrachteten Siel- und Schöpfwerken – mit Ausnahme von Sautel – zu einer sehr deutlichen Abnahme der Entwässerungsleistungen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Pumpen über immer längere Zeiträume große Förderhöhen überwinden müssen, in denen sie nur mit geringer Leistung oder gar nicht arbeiten können (s. Darstellung am Beispiel der Knock in Abb. 18). Die besonders starken Leistungsverluste bei den Siel- und Schöpfwerken Leybucht siel und Greetsiel ergeben sich daraus, dass sich das Speicherbecken Leyhörn bei steigenden Sturmfluttidewasserständen zunehmend schneller bis zum maximalen Einstaupegel füllt und die Schöpfwerkspumpen somit für immer längere Zeiträume abgeschaltet werden müssen. Die Sonderstellung des Siel- und Schöpfwerks Sautel ist durch seine Lage im Schutze des Emssperrwerks begründet. Wird eine Sturmflut mit einem Wasserstand höher als +3,5 m NHN erwartet, wird das Sperrwerk geschlossen, was zur Folge hat, dass das Schöpfwerk Sautel auch bei einer Sturmflut durchgehend bei vergleichsweise guten Pumpbedingungen arbeiten kann.

Tab. 4: Veränderung der Entwässerungsleistung der Siel- und Schöpfwerke bezogen auf **Normaltidebedingungen** bei einem Meeresspiegelanstieg von 110 cm bis zum Jahr 2100 (RCP8.5, 95%-Perzentil)

Siel- und Schöpfwerk	heute [m³/s]	2100 [m³/s]	Abnahme [%]	
Knock	57,5	43,1	25	⬇️
Moormerland	41,7	40,1	4	➡️
Sautel	34,7	35,7	-	➡️
Borssum (ohne Emder Hafen)	20,0	18,2	9	➡️
Leybucht siel	45,0	45,0	0	➡️
Greetsiel	13,5	13,5	0	➡️

Tab. 5: Veränderung der Entwässerungsleistung der Siel- und Schöpfwerke bezogen auf **Sturmflutbedingungen** (Referenz-Kettentide) bei einem Meeresspiegelanstieg von 110 cm bis zum Jahr 2100 (RCP8.5, 95%-Perzentil)

Siel- und Schöpfwerk	heute [m³/s]	2100 [m³/s]	Abnahme [%]	
Knock	36,4	14,9	59	⬇️
Moormerland	34,7	18,8	46	⬇️
Sautel	34,5	32,1	7	➡️
Borssum (ohne Emder Hafen)	17,2	10,3	40	⬇️
Leybucht siel	41,5	13,4	68	⬇️
Greetsiel	13,3	4,7	65	⬇️

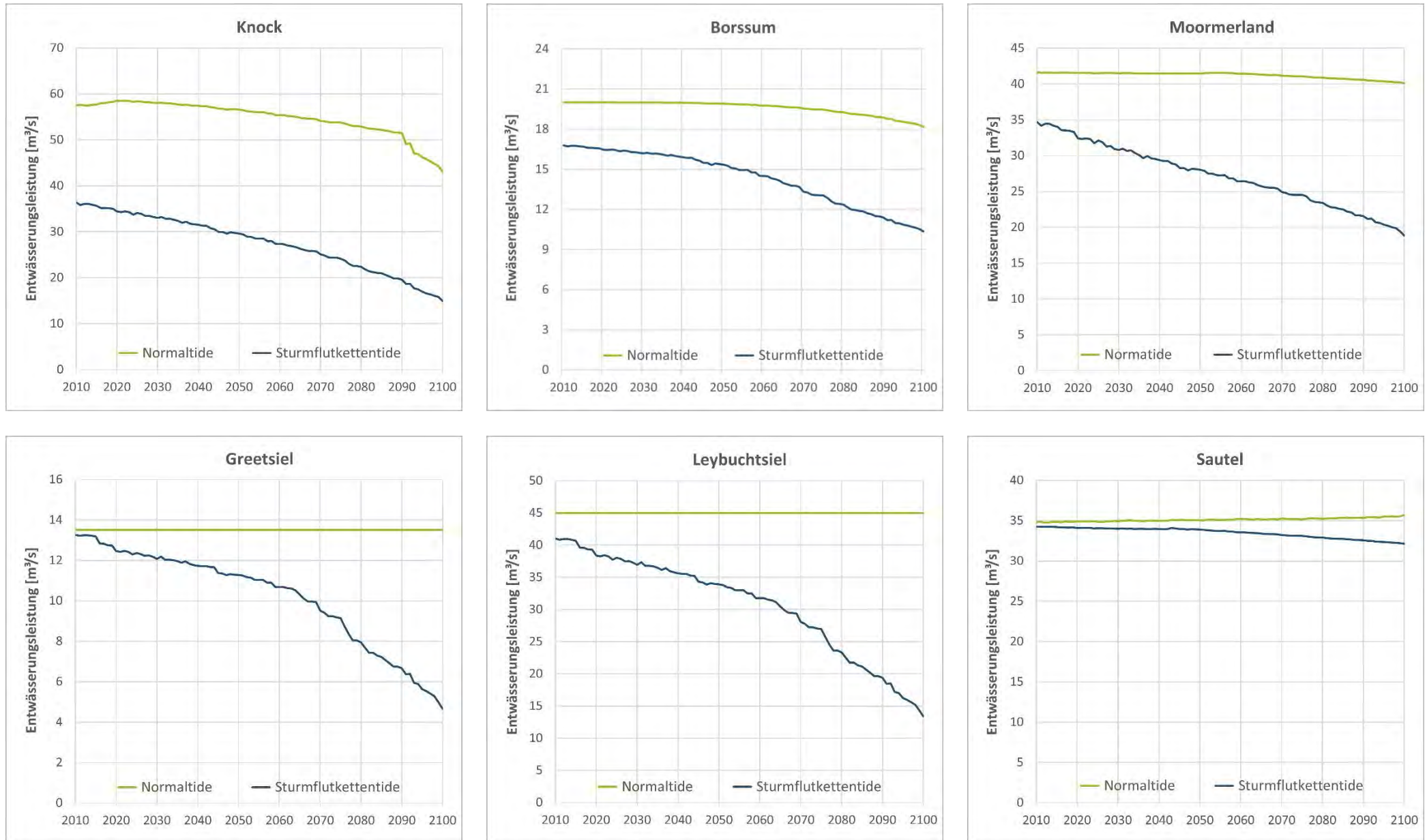


Abb. 19: Veränderungen der Entwässerungsleistungen der Siel- und Schöpfwerke bezogen auf **Normaltidebedingungen** (grüne Linie) und **Sturmflutbedingungen** (Referenz-Kettentide; blaue Linie) bei einem Meeresspiegelanstieg von 110 cm bis zum Jahr 2100 (RCP8.5, 95%-Perzentil)

Klimawandelbedingte Veränderungen der Überlastungshäufigkeiten und -volumina der Entwässerungssysteme der Verbandsgebiete

Wie die Analysen zeigen, beeinflussen verschiedene Klimawandelfolgen die Entwässerungssysteme im Betrachtungsraum. Vermehrte Niederschläge im Winterhalbjahr wirken sich stark auf die Abflussbildung aus. Aufgrund des Meeresspiegelanstiegs verringert sich langfristig (insbesondere bei Kettentiden) die Entwässerungsleistung. Treffen hohe Abflüsse und eine verringerte Entwässerungsleistung zusammen, kommt es zur Überlastung der Entwässerungssysteme, was zu Binnenhochwasser führen kann.

Um die Effekte zu quantifizieren, wurden aufbauend auf den für die Klimaszenarien durchgeführten Abflusssimulationen und den Berechnungen zur Entwicklung der Entwässerungsleistungen der Siel- und Schöpfwerke die potenziellen Veränderungen der Überlastungshäufigkeiten und -volumina der Entwässerungssysteme in den vier Verbandsgebieten abgeschätzt. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

- 1) Für jeden Zeitschritt (Tag) wurde die für die Klimaszenarien simulierte Abflussbildung im Zeitraum bis zum Jahr 2100 mit der zum jeweiligen Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Entwässerungsleistung der Siel- und Schöpfwerke unter Normaltidebedingungen (s. Abb. 19) abgeglichen. Lag die Abflussbildung eines Verbandsgebietes über der Entwässerungsleistung der jeweiligen Bauwerke, wurde ein entsprechendes Überlastungsvolumen (Tagesüberschuss) ermittelt.
- 2) Sofern die Abflussbildung auch im nächsten Zeitschritt (Folgetag) die Entwässerungsleistung überstieg, wurde das Überlastungsvolumen kumuliert. Fiel die Abflussbildung hingegen unter die Entwässerungsleistung wurde das Volumen entsprechend reduziert.
- 3) Ein Überlastungsereignis galt dann als beendet, wenn kein (kumuliertes) Überlastungsvolumen mehr vorhanden war.

Abbildung 20 zeigt exemplarisch für den EV Norden die Veränderung der Überlastungshäufigkeiten für die Zeitscheibe 2071-2100 im Vergleich zum Kontrollzeitraum. Die Säulen geben die durchschnittliche Anzahl der Überlastungsereignisse *aller gerechneten Szenarien* an. Die Antennen zeigen das Maximum der Überlastungsereignisse, die innerhalb *eines Szenarios* aufgetreten sind. Das Maximum der simulierten Überlastungsereignisse pro Szenario liegt sowohl für den Kontrollzeitraum als auch für die Zeitscheibe 2071-2100 bei vier Ereignissen in 30 Jahren. Der Mittelwert über alle betrachteten Szenarien steigt allerdings von 0,83 auf 1,46 Überlastungsereignisse in 30 Jahren an. Das heißt, dass in den Szenarien für das Ende des Jahrhunderts insgesamt mehr Überlastungsereignisse auftreten als im Kontrollzeitraum.

Klassifiziert man die für den EV Norden ermittelten Überlastungsereignisse anhand ihres Volumens, zeigt sich, dass es sich überwiegend um Ereignisse in der Größenordnung 0 bis 2 Mio. m³ handelt (s. Abb. 21). Diese Mengen können noch überwiegend im Gewässersystem des EV Norden aufgenommen werden. Sie führen zwar zu deutlich erhöhten Wasserständen, bei denen sich das Schadenspotenzial allerdings in Grenzen hält. Interessant für Fragestellungen der Klimawandelanpassung sind die Ereignisse, die darüber liegen. Im Kontrollzeitraum sind es 0,23 Ereignisse und in der fernen Zukunft (2071-2100) 0,38 Ereignisse in 30 Jahren. Dies entspricht einer Steigerung um 65 %.

In den Abbildungen 22 und 23 auf Seite 25 sind die für die anderen Verbandsgebiete ermittelten Veränderungen bezüglich der Anzahl der Überlastungsereignisse und der dabei auftretenden Überlastungsvolumina bei **Normaltidebedingungen** dargestellt. Auch hier zeigt sich durchgehend, dass es zu häufigeren und größeren Überlastungsereignissen kommen wird. Auffällig ist die vergleichsweise

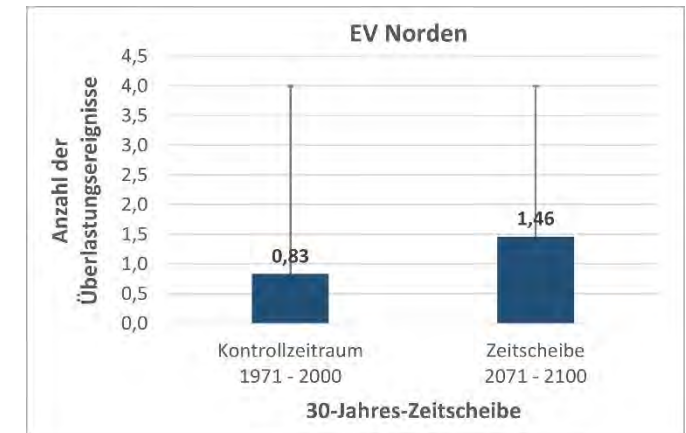


Abb. 20: Klimawandelbedingte Veränderung der **Anzahl der Überlastungsereignisse bei Normaltidebedingungen** in der Zeitscheibe 2071-2100 im Vergleich zum Kontrollzeitraum (Säulen: mittlere Anzahl der Überlastungsereignisse *aller gerechneten Szenarien*; Antennen: maximale Anzahl an Überlastungsereignissen, die innerhalb *eines Szenarios* aufgetreten sind)

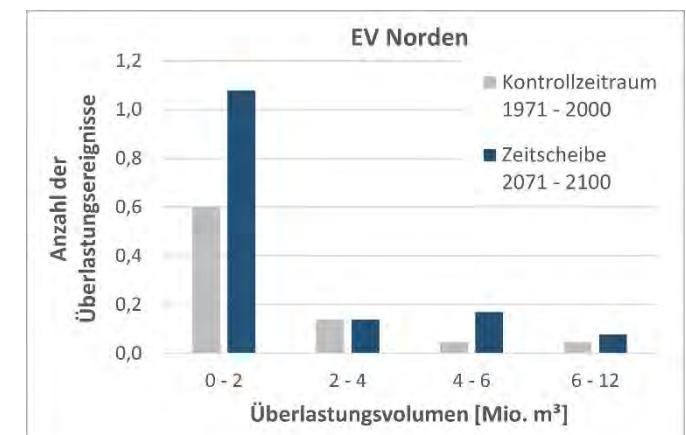


Abb. 21: Klimawandelbedingte Veränderung der **Anzahl der Überlastungsereignisse bei Normaltidebedingungen, aufgeteilt nach Überlastungsvolumen**, in der Zeitscheibe 2071-2100 im Vergleich zum Kontrollzeitraum (Säulen: mittlere Anzahl der Überlastungsereignisse *aller gerechneten Szenarien*)

hohe Anzahl an Überlastungsereignissen im Verbandsgebiet des I. EV Emden, die sich durch die tiefe Lage, die vergleichsweise geringe relative Schöpfwerksleistung und den hohen Anteil von Marschböden im Gebiet erklären lässt. Allerdings bewegt sich der überwiegende Teil dieser Überlastungsereignisse im Größenordnungsbereich zwischen 0 und 4 Mio. m³. Solche Überlastungsmengen führen zwar zu deutlich erhöhten Wasserständen, können aber noch relativ schadlos im Gewässersystem des großen Verbandsgebietes zurückgehalten werden. Stärkere Überlastungsereignisse von über 4 Mio. m³, die zu gravierenden Problemen führen, sind entsprechend seltener.

Anhaltspunkte bezüglich der potenziellen Rückhaltevolumina in den Gewässersystemen der betrachteten Verbandsgebiete finden sich in Tabelle 23 in Kapitel 5.7.

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen auf der einen Seite, dass große Überlastungsereignisse in Zukunft häufiger auftreten werden, aber auf der anderen Seite auch, dass das bestehende Entwässerungssystem unter **Normaltidebedingungen** einen Großteil der Überlastungsereignisse bewältigen kann.

Treffen hohe winterliche Abflüsse hingegen mit Sturmfluten zusammen, ist von einer deutlich geringeren Entwässerungsleistung der Siel- und Schöpfwerke auszugehen (s. Tab. 5 und Abb. 19), wodurch sich sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeiten als auch die Größenordnungen von Überlastungsereignissen erhöhen. Unter der Berücksichtigung von **Sturmflutbedingungen** würden sich daher sowohl die Anzahl der Überlastungsereignisse als auch die jeweiligen Überlastungsvolumina entsprechend erhöhen.

Im Rahmen der Modellierung konnte dies jedoch nicht betrachtet werden, da für die verwendeten Klimaszenarien keine konsistenten Projektionen der Tidewasserstände für die Deutsche Bucht in der dafür erforderlichen hohen zeitlichen Auflösung verfügbar waren.

Aktuell wird in der Klimaforschung anhand der sich verändernden Windverhältnisse untersucht, ob es regional zu häufigeren oder längeren Sturmfluten kommen könnte, die eine zusätzliche Belastung für die Küstenschutz- und Entwässerungssysteme darstellen würden. In dem Zusammenhang werden auch die Wasserstände in der Deutschen Bucht simuliert, was in Zukunft eine gemeinsame Betrachtung von hohen winterlichen Abflüssen und Sturmflutwasserständen als Compound Event (Ereignisbündel) ermöglichen wird.



Foto: EV Oldersum

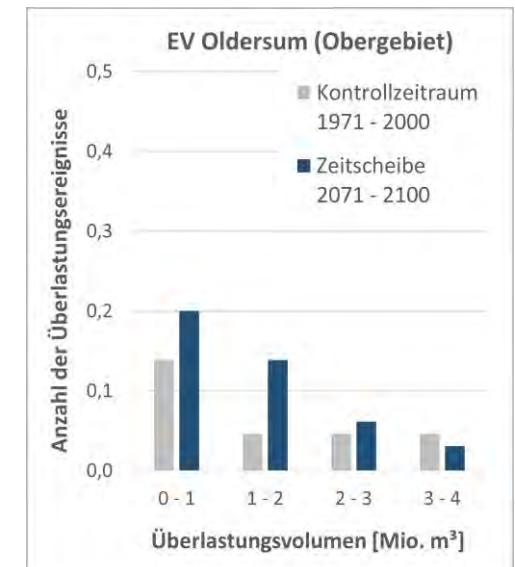
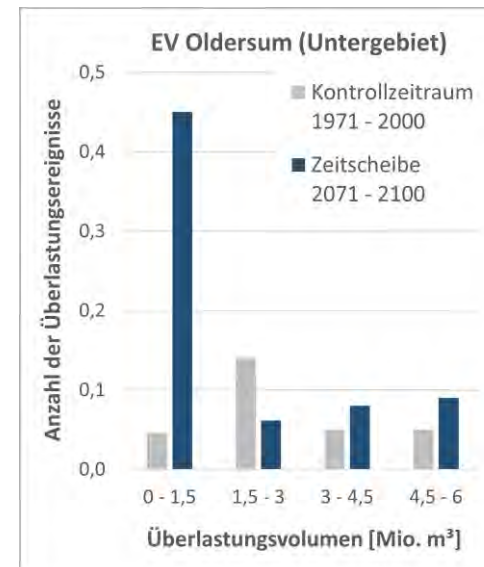
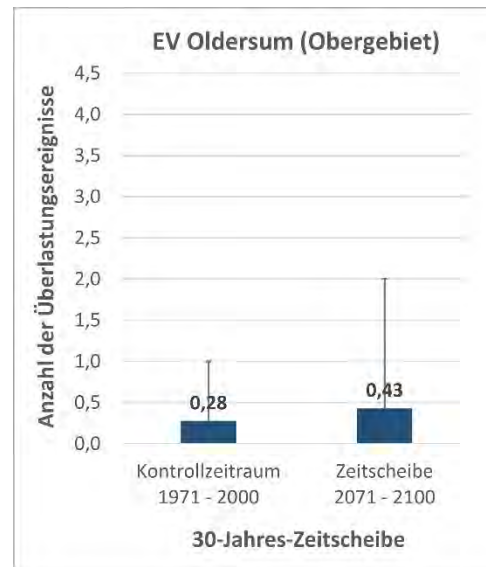
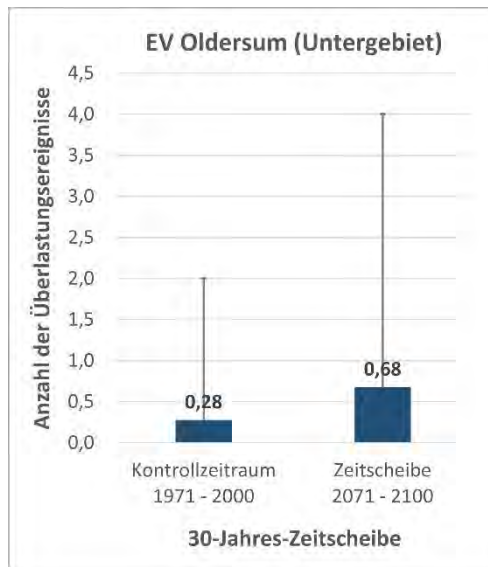
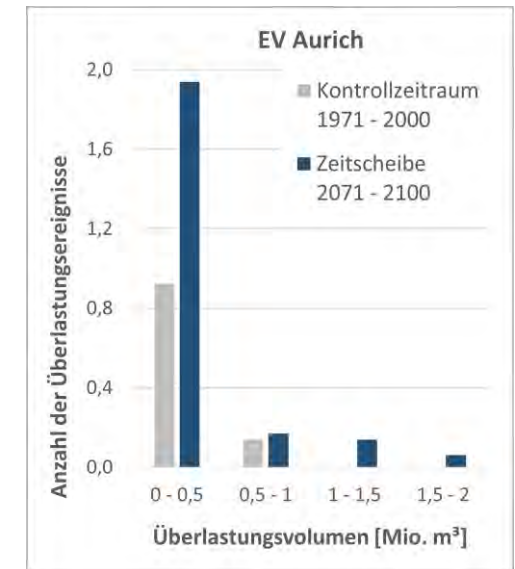
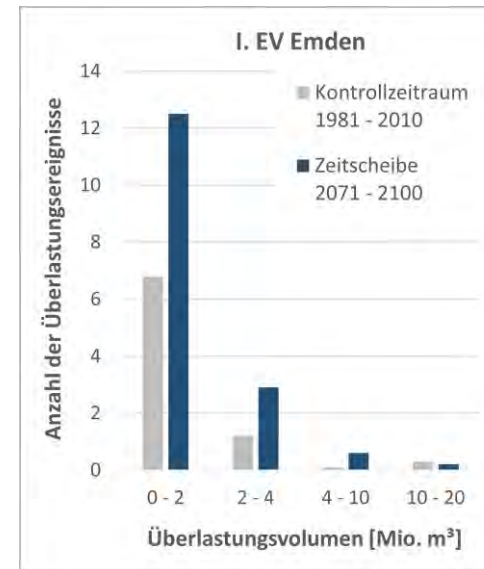
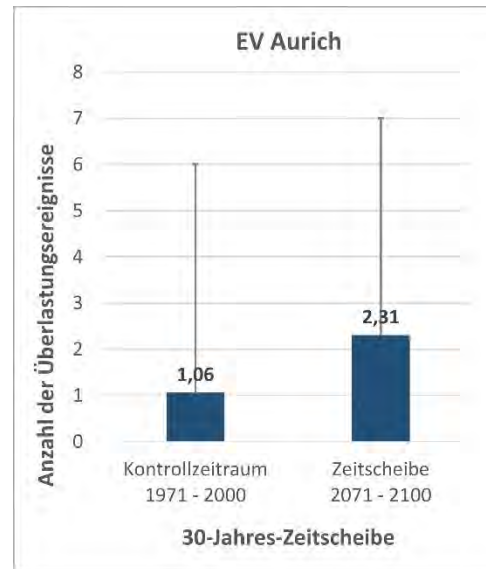
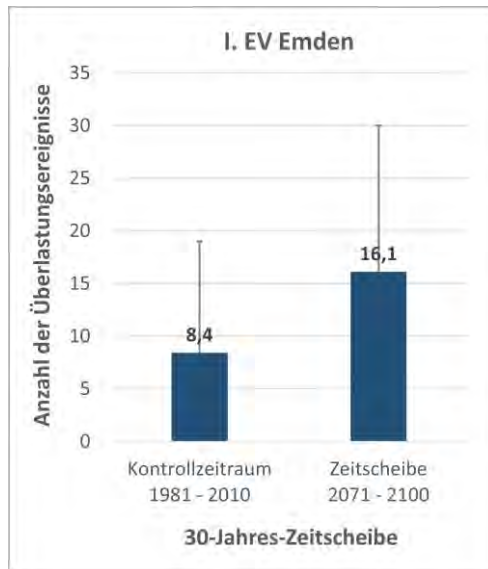


Abb. 22: Klimawandelbedingte Veränderung der **Anzahl der Überlastungsereignisse bei Normaltidebedingungen** in der Zeitscheibe 2071-2100 im Vergleich zum Kontrollzeitraum (Säulen: mittlere Anzahl der Überlastungsereignisse *aller gerechneten Szenarien*; Antennen: maximale Anzahl an Überlastungsereignissen, die innerhalb *eines Szenarios* aufgetreten sind)

Abb. 23: Klimawandelbedingte Veränderung der **Anzahl der Überlastungsereignisse bei Normaltidebedingungen, aufgeteilt nach Überlastungsvolumen**, in der Zeitscheibe 2071-2100 im Vergleich zum Kontrollzeitraum (Säulen: mittlere Anzahl der Überlastungsereignisse *aller gerechneten Szenarien*)

4 Management von Binnenhochwasserrisiken im Küstenraum

Im Nordseeküstenraum stellen sich seit jeher eine Reihe besonderer Herausforderungen für den Hochwasserschutz und das Wassermanagement. Die Landschaft ist infolge der Sedimentablagerungen durch regelmäßige Überschwemmungen sowie den Einfluss von Sturmfluten entstanden und liegt in großen Teilen nur knapp über dem Meeresspiegel, teilweise auch darunter. Der Bau von Deichen entlang der Nordseeküste, der vor etwa 1000 Jahren begann, brachte für die Menschen zwar einerseits einen deutlich verbesserten Schutz vor Tidehochwassern und Sturmfluten, unterbrach andererseits aber auch den bis dahin existierenden kontinuierlichen Übergang zwischen Land und Meer. Binnendeichs anfallendes Niederschlagswasser konnte fortan nicht mehr auf natürlichem Wege in die Nordsee abfließen, sodass mit der Eindeichung der Küste gleichzeitig eine anthropogen gesteuerte Entwässerung des Deichhinterlandes erforderlich wurde, um neben dem Sturmflutschutz auch den Binnenhochwasserschutz gewährleisten zu können. Seither werden mit Hilfe der historisch gewachsenen und stetig ausgebauten Entwässerungssysteme die Wasserstände in den Binnengewässern künstlich reguliert und überschüssige Niederschlagsmengen durch Siele und Schöpfwerke in die Nordsee abgeführt. Nur so kann die in der Küstenregion entstandene Kulturlandschaft als Siedlungs- und Wirtschaftsraum in der heutigen Form genutzt werden.

Mit dem massiven Ausbau der Entwässerungssysteme im Küstenraum seit den 1950/60er-Jahren sind auch die gesellschaftlichen Erwartungshaltungen an den damit verbundenen Binnenhochwasserschutz kontinuierlich gestie-

gen. Während es bis zur damaligen Zeit noch zur Normalität gehörte, dass Niederungsbereiche in den Wintermonaten großflächig unter Wasser standen, sind derartige Überschwemmungen mit den heutigen Nutzungsansprüchen nicht mehr vereinbar. Die wachsenden Standards in Bezug auf die Binnenentwässerung haben dazu geführt, dass es in den letzten Jahrzehnten auch in tiefliegenden Bereichen der Küstengebiete zu einer zunehmenden Intensivierung der Landwirtschaft und zu einer Ansiedlung von Industrie-, Gewerbe- und Wohnbauflächen gekommen ist. Hierdurch haben sich die Schadenspotenziale in diesen Bereichen – und damit auch die Anforderungen an den Binnenhochwasserschutz – deutlich erhöht.

Binnenhochwassergefahren im Betrachtungsraum

Trotz des erreichten Ausbauzustands der Entwässerungssysteme im Betrachtungsraum kann kein absoluter Schutz vor Binnenhochwasser garantiert werden. Bei bestimmten Extremwetterereignissen, bei längerfristigem Stromausfall oder bei technischen Defekten an Siele und Schöpfwerken besteht die grundsätzliche Gefahr, dass die Kapazitätsgrenzen der Entwässerungssysteme überschritten werden bzw. deren Funktionen teilweise oder vollständig ausfallen. Dies kann zur Folge haben, dass die Wasserstände in den Binnengewässern deutlich über die festgelegten Sollpegel hinaus ansteigen und es in Teilgebieten zu Hochwasser- und Überschwemmungssituationen kommt, die zu Schäden an Gebäuden, Infrastrukturen und landwirtschaftlich genutzten Flächen führen können. Wie Abbildung 24 veranschaulicht, kann hinsichtlich der poten-

ziellen Entstehungsursachen von Binnenhochwasserereignissen im Betrachtungsraum zwischen verschiedenen wetter- und systembedingten Faktoren unterschieden werden, die sich bei gleichzeitigem Auftreten in ihrer Wirkung jeweils überlagern und verstärken können.

wetterbedingte Entstehungsursachen

Eine Extremwetterkonstellation, bei der die Binnenentwässerung im Betrachtungsraum wiederkehrend an ihre Kapazitätsgrenzen stößt, besteht aus dem Zusammentreffen von

- **ergiebigen Winterniederschlägen**, die auf bereits wassergesättigte Böden fallen und innerhalb kurzer Zeit besonders hohe Abflussmengen hervorrufen, mit
- **langanhaltend starken Westwindlagen**, die zu reduzierten Entwässerungsleistungen der Mündungsbauwerke aufgrund hoher Außenwasserstände (Sturmflutkettentide) sowie zu Rückstauwirkungen in den Vorflutgewässern aufgrund von Windstau führen.

In solchen Situationen trifft ein erhöhter Entwässerungsbedarf auf eine eingeschränkte Entwässerungskapazität, was zur Folge hat, dass die Binnenwasserstände trotz Dauerbetriebs der Schöpfwerkspumpen ansteigen und mitunter kritische Marken erreichen können. So geschehen zuletzt während der niederschlagsreichen Sturmtief-Serie (Ylenia, Zeynep und Antonia) vom 16.-21. Februar 2022, als die Wassermassen der ergiebigen Niederschläge (>50 mm in 3 Tagen) aufgrund der hohen Außenwasserstände nur eingeschränkt abgeführt werden konnten, sodass es in den Niederungsbereichen vielerorts zu Überschwemmungen

gen kam. Am Großen Meer stand nach einer Dammüberströmung eine Ferienhaussiedlung in Teilen unter Wasser (s. Foto rechts).

Ein anderes Beispiel für eine derartige Extremwetterkonstellation stellt ein Ereignis aus dem Januar 2012 dar. Damals führten langanhaltend hohe Tidewasserstände am Sperrwerk Leysiel zu erheblichen Einschränkungen der dortigen Sielmöglichkeiten, sodass es im Speicherbecken Leyhörn aufgrund der gleichzeitig hohen Abflussmengen aus den Verbandsgebieten Norden und Emden zu einem starken Wasserstandsanstieg bis auf den bisherigen Maximalpegel von +1,55 m NHN kam (s. hierzu auch Kap. 5.3). Durch die resultierende Überstauung der Kajegebiete im Greetsieler Hafen (s. Foto unten rechts) traten verschiedene Schäden auf.

Aufgrund der klimawandelbedingt zunehmenden Winterniederschläge und steigender Sturmflutwasserstände infolge des Meeresspiegelanstiegs wird sich die Wahrscheinlichkeit oben beschriebener Extremwetterereignisse künftig weiter erhöhen.

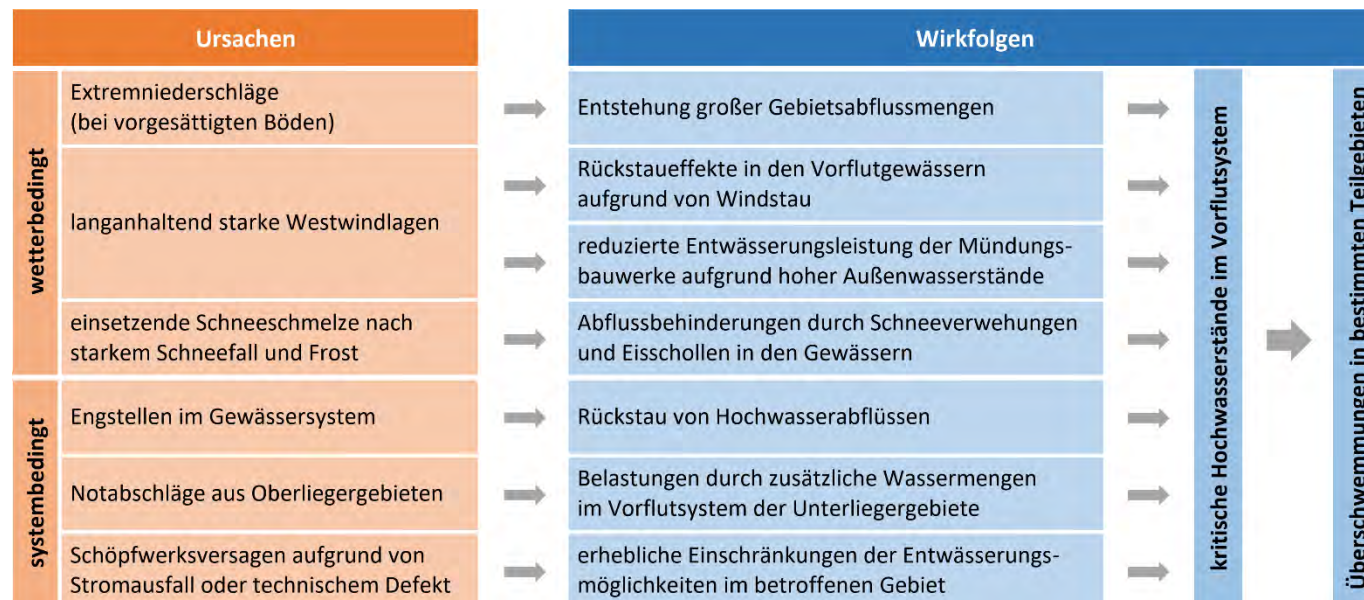
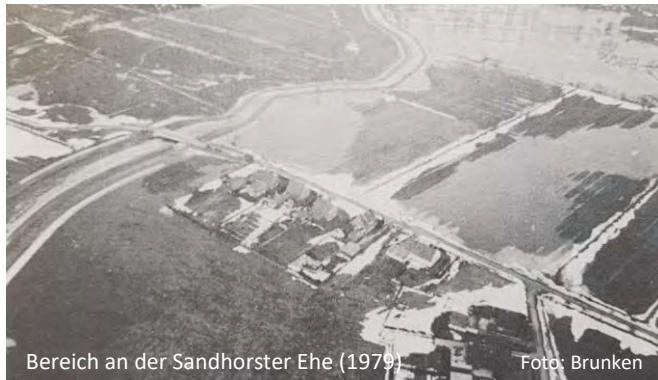


Abb. 24: Potenzielle wetter- und systembedingte Entstehungsursachen von Binnenhochwasserereignissen im Betrachtungsraum



Dass auch **starker Schneefall und Frost** zu Hochwasserereignissen im Küstenraum führen können, zeigte sich eindrücklich im Schneewinter 1979. Nach enormen Schneemengen im Januar und Februar 1979 kam es durch das im März einsetzende Tauwetter zu erheblichen Überschwemmungen in ganz Ostfriesland (s. Fotos oben). Das Schmelzwasser konnte aufgrund von Schneeverwehungen und Eischollen in den Gewässern großflächig nicht abfließen, sodass Felder und Wiesen wie auch zahlreiche Straßen und Keller zum Teil wochenlang unter Wasser standen. Die Feuerwehren waren im Dauereinsatz, Bagger mussten die Schnee- und Eismassen aus den Gräben entfernen, um den Abfluss wieder zu ermöglichen. Trotzdem waren selbst im April noch viele Flächen überschwemmt.



systembedingte Entstehungsursachen

Zu den systembedingten Entstehungsursachen potenzieller Binnenhochwasserereignisse im Projektgebiet zählen

- **Engstellen im Gewässersystem**, durch die es zu einem Rückstau von Hochwasserabflüssen und lokal begrenzten Überschwemmungssituationen kommen kann,
- **Notabschläge aus den Oberliegergebieten**, die zu Zusatzbelastungen der Vorflutsysteme in den aufnehmenden Unterliegergebieten und damit zu einer Verschärfung dortiger Hochwasserlagen führen können (z. B. Notabschlag aus dem Ems-Jade-Kanal in das Emder Verbandsgebiet oder Notabschlag vom Oldersumer Oberins Untergebiet),

- mögliches **Schöpfwerksversagen** aufgrund von Stromausfall oder technischem Defekt, mit dem erhebliche und unter Umständen auch langwierige Einschränkungen der Entwässerungsmöglichkeiten im betroffenen Einzugsgebiet verbunden wären.

Letzteres ist insbesondere deshalb als sehr ernstzunehmende Gefahr einzustufen, weil – abgesehen vom Verbandsgebiet des I. EV Emden – in allen Einzugsgebieten des Betrachtungsraumes jeweils nur ein Mündungsschöpfwerk vorhanden ist. Es gibt daher so gut wie keine Redundanzen für den Fall eines Schöpfwerksversagens, sodass in der Regel allenfalls die Möglichkeit des Sielens verbliebe – sofern die Außenwasserstände dies zuließen.

Exkurs: Starkregengefahren in Siedlungsbereichen

Neben den im Rahmen von KLEVER-Risk betrachteten großräumigen Binnenhochwassergefahren, die aus den in Abbildung 24 dargestellten wetter- und systembedingten Überlastungsereignissen der Binnenentwässerung resultieren können, sind auf lokaler Ebene auch die eher kleinräumig wirkenden Starkregengefahren von Bedeutung. Als Starkregen wird ein Phänomen bezeichnet, das vor allem im Sommer auftritt und auf in der Regel eng begrenztem Raum zu sehr hohen Niederschlagsmengen innerhalb kurzer Zeit führt. Während sich derartige Niederschläge in den Hauptvorflutgewässern relativ schnell verteilen und nur geringe Pegelanstiege bewirken, können sie in kleineren Gewässern und in Siedlungsbereichen erhebliche Problemlagen nach sich ziehen.

Die Ableitung von Niederschlagsabflüssen aus den Siedlungsgebieten in das Vorflutsystem (Verbandsgewässer) erfolgt im Betrachtungsraum sowohl über offene Entwässerungsgräben als auch durch Verrohrungen und Kanalisationssysteme. Bei Starkregenereignissen kann es dazu kommen, dass die Kapazitäten der vorhandenen Siedlungsentwässerungsanlagen überschritten werden

und lokal begrenzte Rückstau- und Überflutungssituationen auftreten, die zu Schäden an Gebäuden (Wassereintritt in Keller- und Erdgeschosse) und Infrastrukturen führen können. Häufig sind derartige Problemlagen zusätzlich auf einen unsachgemäßen Umgang der Grundstückseigentümerinnen und -eigentümer mit Gewässern III. Ordnung zurückzuführen (z. B. mangelnde Gewässerunterhaltung, Querschnittsverengungen durch Uferbefestigungen, fehldimensionierte Verrohrungen und illegale Verfüllungen von Gräben).

Ein extremes Starkregenereignis, bei dem innerhalb von 24 Stunden Niederschlagsmengen von bis zu 114 mm gemessen wurden (Quelle: I. EV Emden), ereignete sich im September 2021 im Bereich Moordorf in der Gemeinde Südbrookmerland. Zahlreiche Straßen und Grundstücke wurden überflutet (s. Fotos), in einigen Häusern stand das Wasser bis zu 40 cm hoch. Aber auch in anderen Siedlungsbereichen des Betrachtungsraumes sind in der Vergangenheit bereits starkregenbedingte Schadensereignisse aufgetreten, so z. B. in Emden, Aurich und Pewsum (s. Fotos).



Aurich

Foto: Feuerwehr (aus: Ostfriesische Nachrichten)



Moordorf

Foto: Böhmer (aus: Ostfriesische Nachrichten)



Pewsum

Foto: Feuerwehr (aus: Ostfriesen-Zeitung)



Moordorf

Foto: Feuerwehr (aus: Ostfriesen-Zeitung)



Moordorf

Foto: Böhmer (aus: Ostfriesische Nachrichten)

Notwendigkeit eines Binnenhochwasserrisikomanagements

Die skizzierten Binnenhochwassergefahren in den Küstenniederungen verdeutlichen, wie wichtig es ist, sich insbesondere vor dem Hintergrund klimawandelbedingt zunehmender Häufigkeiten und Intensitäten von Extremwetterereignissen damit auseinanderzusetzen, wie die Risiken potenzieller Binnenhochwässer gesenkt werden können. Der Risiko-Begriff ist allgemein als Produkt aus der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses und dessen Schadenspotenzial definiert. Steigen klimawandelbedingt die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Binnenhochwasserereignissen oder erhöht sich das Schadenspotenzial betroffener Bereiche durch Schaffung zusätzlicher Werte (z. B. durch Neubaugebiete), steigt folglich auch das Risiko für Schäden, die durch Binnenhochwassersituationen hervorgerufen werden können.

Wie Abbildung 25 veranschaulicht, sind als Kernbestandteile des Risikomanagements demnach zum einen die **Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit** von schadensträchtigen Binnenhochwasserereignissen (rot unterlegt) und zum anderen die **Verminderung des Schadenspotenzials** in hochwassergefährdeten Bereichen (grün unterlegt) von Bedeutung. Durch Maßnahmen in den verschiedenen Handlungsbereichen der drei Managementkategorien „**Vermeidung** (hochwasserbedingter nachteiliger Folgen)“, „**Schutz** (vor Hochwasser)“ und „**Vorsorge** (für den Hochwasserfall)“ kann das Risiko gesenkt werden. Es ist allerdings unvermeidbar, dass selbst bei umfangreichen Maßnahmen immer noch ein gewisses Restrisiko verbleibt.

In der Vergangenheit wurden im Küstenraum schwerpunktmäßig Maßnahmen des technischen Binnenhochwasserschutzes (z. B. Ausbau von Pumpkapazitäten) umgesetzt, wohingegen die übrigen Handlungsbereiche des Risikomanagements weitgehend unterrepräsentiert blieben. Gerade im Hinblick auf die Folgen des Klimawandels sollte zur Minimierung der Binnenhochwasserrisiken künf-

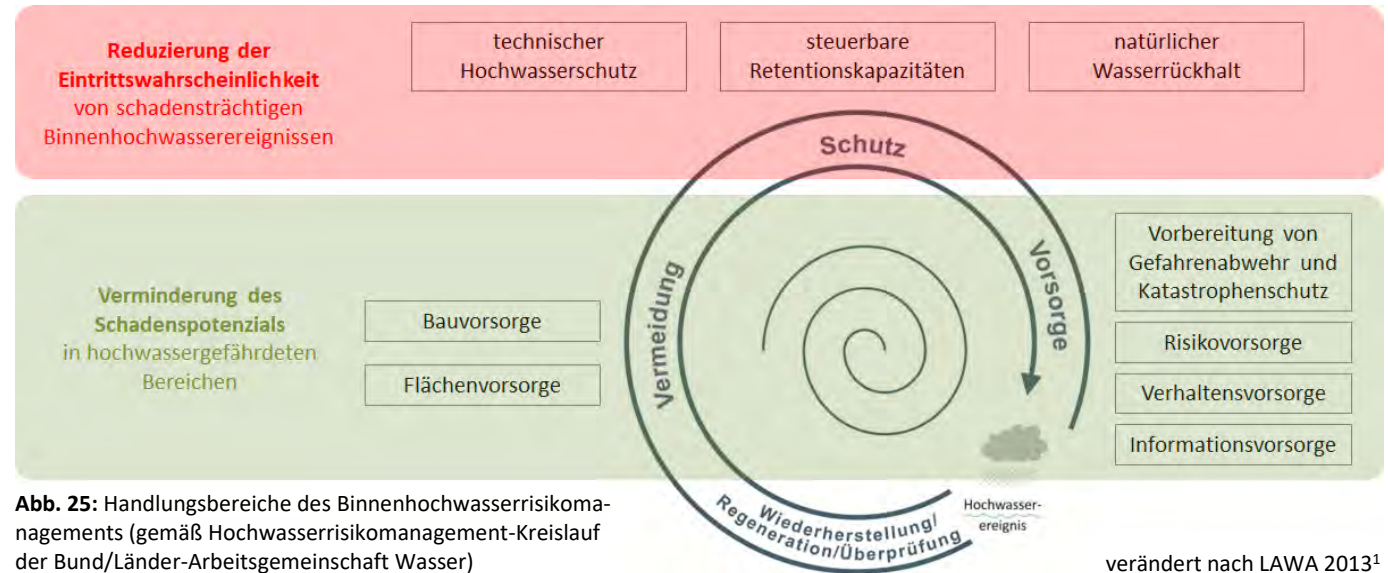


Abb. 25: Handlungsbereiche des Binnenhochwasserrisikomanagements (gemäß Hochwasserrisikomanagement-Kreislauf der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser)

verändert nach LAWA 2013¹

Exkurs: EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie

Die EU-Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken, kurz EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (EU-HWRM-RL), ist im Jahr 2007 in Kraft getreten und wurde 2010 über das Wasserhaushaltsgesetz in nationales Recht überführt. Ziel der Richtlinie ist die Verdeutlichung von Hochwasserrisiken und eine Verbesserung der Hochwasservorsorge und des Risikomanagements.

Die EU-HWRM-RL sieht dazu ein dreistufiges Verfahren bestehend aus 1.) der vorläufigen Bewertung des Hochwasserrisikos und der Bestimmung von Risikogebieten, 2.) der Erstellung von Gefahren- und Risikokarten sowie 3.) der Aufstellung von Risikomanagementplänen, die das gesamte Spektrum an Vermeidungs-, Schutz- und Vorsorgemaßnahmen (s. Abb. 25) berücksichtigen sollen, vor. Alle sechs Jahre muss eine Überprüfung und gegebenenfalls Aktualisierung der Ergebnisse erfolgen, bei der ausdrücklich auch den voraussichtlichen Auswir-

kungen des Klimawandels auf das Hochwasserrisiko Rechnung zu tragen ist. In Niedersachsen ist der NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) für die Umsetzung der EU-HWRM-RL zuständig.

Im Küstenraum liegt der Fokus der Umsetzung bislang allein auf den Sturmflutrisiken. Dies äußert sich darin, dass die Vorgaben des Wasserhaushaltsgesetzes zur Erstellung von Gefahren- und Risikokarten für die Küstengebiete lediglich die Betrachtung eines Hochwassers mit geringer Wahrscheinlichkeit (HQ_{extrem}), d. h. einer extremen Sturmflut, vorsehen. Anders als im Binnenland sind im Küstenraum keine Gefahren- und Risikokarten für Hochwasserereignisse mit hoher (HQ_{20}) und mittlerer Wahrscheinlichkeit (HQ_{100}) zu erstellen. Niederschlagsbedingte Binnenhochwassergefahren und -risiken werden daher im Rahmen der bisherigen Vorgehensweise im Küstenraum nicht betrachtet.

tig aber das gesamte Spektrum des Hochwasserrisikomanagements in den Fokus genommen werden. Technische Maßnahmen allein sind hierbei nicht ausreichend.

Das Kernanliegen des Projektes KLEVER-Risk bestand somit darin, Ansatzpunkte für ausgewogene Aktivitäten in verschiedenen Handlungsbereichen der drei Risikomanagementkategorien „Vermeidung“, „Schutz“ und „Vorsorge“ zu entwickeln (s. hierzu Kap. 5). Die in Abbildung 25 zusätzlich enthaltene vierte Risikomanagementkategorie „Wiederherstellung/Regeneration/Überprüfung“ deckt die Evaluierung, die Nachsorge und den Wiederaufbau nach einem Hochwasserereignis ab. Nicht zuletzt die Hochwasserkatastrophe im Ahrtal von 2021 hat gezeigt, welche Bedeutung auch diesen Aspekten zukommt. Im Rahmen von KLEVER-Risk wurde dieser Bereich jedoch nicht betrachtet.

Akteure des Hochwasserrisikomanagements

Wie Abbildung 25 verdeutlicht, besteht ein ganzheitliches Binnenhochwasserrisikomanagement aus einer Kombination verschiedener Vermeidungs-, Schutz- und Vorsorgemaßnahmen, die eine Vielzahl von Akteuren betreffen und von diesen umgesetzt werden müssen. Im Folgenden werden die wesentlichen Akteure kurz vorgestellt:²

- Die **Gemeinden und Städte** regeln alle Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft in eigener Verantwortung. Zu den Aufgaben im Rahmen der allgemeinen Daseinsvorsorge gehört auch der Hochwasserschutz, sofern diese Aufgabe nicht an Dritte (d. h. an Unterhaltungsverbände) übertragen worden ist. Im Rahmen der Bauleitplanung sind die Gemeinden und Städte mit der Aufstellung von Flächennutzungsplänen und Bebauungsplänen unmittelbar für die Flächen- und Bauvorsorge zuständig. Die städtebauliche Entwicklung ist grundsätzlich auch im Hinblick auf die Gefährdung durch Hochwasser abzuwägen. Zudem sind die Gemeinden und Städte für die örtliche Gefahrenabwehr, u. a. gegen Hochwasser, zuständig.

- Die **Landkreise und kreisfreien Städte** übernehmen im Hochwasserschutz behördliche Aufgaben auf der Grundlage verschiedener Fachgesetze. Als untere Wasser-, Naturschutz-, Raumordnungs- und Bauaufsichtsbehörden nehmen sie im übertragenen Wirkungskreis Aufgaben für das Land wahr. Dabei agieren sie auch als Rechtsaufsicht für die Unterhaltungsverbände. Im Rahmen der Hochwasservorsorge haben die Landkreise als Träger der Regionalplanung eine wichtige Rolle hinsichtlich der Flächenvorsorge. Mit dem Vollzug baurechtlicher und sonstiger Vorschriften können sie zudem eine risikoangepasste Bauvorsorge sicherstellen. Wird durch Landkreise oder kreisfreie Städte der Katastrophenfall ausgerufen (z. B. aufgrund eines Hochwasserereignisses), sind sie als Katastrophenschutzbehörden für die Anordnung und Umsetzung aller erforderlichen Maßnahmen federführend zuständig.
- Die **Unterhaltungsverbände** (Entwässerungsverbände) sind für die Abführung des Niederschlagswassers aus den jeweiligen Verbandsgebieten zuständig und damit zentrale Akteure des Binnenhochwasserschutzes im Küstenraum. Sie haben den Ausbau und die Unterhaltung der Gewässer II. Ordnung und teilweise auch III. Ordnung sowie den Bau, den Betrieb und die Unterhaltung der erforderlichen Anlagen in und an den Gewässern (z. B. Siele und Schöpfwerke) zur Aufgabe. Die Grundstückseigentümer im Verbandsgebiet sind beitragspflichtige Mitglieder der Unterhaltungsverbände; teilweise sind auch Kommunen Verbandsmitglieder.
- Das **Land** übernimmt im Hochwasserschutz übergeordnete koordinierende und konzeptionelle Aufgaben. Zudem unterstützt es die unmittelbar zuständigen Akteure bei der Aufgabenwahrnehmung im vorbeugenden Hochwasserschutz und bei der Finanzierung investiver Maßnahmen. Der Landesbetrieb **NLWKN** (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz)

agiert im Hochwasserschutz je nach Fall als Zulassungsbehörde, Aufsichtsbehörde, Bewilligungsstelle oder Dienstleister und nimmt begleitende operative Aufgaben des Hochwasserschutzes wahr. Unter anderem ist der NLWKN für die Umsetzung der EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (s. Infokasten) zuständig. Mit der Einrichtung des Hochwasserkompetenzzentrums (HWK) beim NLWKN in Verden unterstützt das Land seit dem Jahr 2020 die Umsetzung des vorsorgenden Hochwasserschutzes, indem Kommunen und Unterhaltungsverbände in Fragen des Hochwasserrisikomanagements beraten werden.

- Die potenziell von Hochwasser **Betroffenen** (Privatpersonen, Industrie- und Gewerbebetriebe etc.) sind angehalten, Eigenvorsorge unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Risikosituation zu betreiben. Nach dem Wasserhaushaltsgesetz ist jede Person, die von einem Hochwasserereignis betroffen sein kann, verpflichtet, im Rahmen des Möglichen und Zumutbaren geeignete Vorsorgemaßnahmen zur Verringerung von Hochwasserfolgen und -schäden zu treffen. Dazu gehört insbesondere, die Nutzung von Grundstücken an das Hochwasserrisiko anzupassen. Allerdings ist diese Verpflichtung vielen Bürgerinnen und Bürgern nicht bewusst. Durch öffentlich bereitgestellte Informationen zur Hochwassergefährdung und zu individuellen Handlungsmöglichkeiten können Bürgerinnen und Bürger für das Thema sensibilisiert werden. Zur Eigenvorsorge zählen beispielsweise Maßnahmen der Bauvorsorge (z. B. bauliche Anpassung von Gebäuden oder ihrer Nutzung) oder der Verhaltensvorsorge (z. B. hochwassersichere Lagerung von Hab und Gut).

¹ LAWa (2013): Empfehlungen zur Aufstellung von Risikomanagementplänen (S. 9).

² vgl. NLWKN (2022): Masterplan Hochwasserschutz – Technischer Hochwasserschutz (Kap. 4).

5 Fokusthemen des Binnenhochwasserrisiko- managements im Rahmen von KLEVER-Risk

Insbesondere in Anbetracht der klimawandelbedingt zunehmenden Häufigkeiten und Intensitäten von Extremwetterereignissen ist es erforderlich, die Risiken potenzieller Binnenhochwasserereignisse in den Küstenniederungen stärker in den Blick zu nehmen. Ziel von KLEVER-Risk war es daher, am Beispiel des Projektgebietes geeignete Handlungsoptionen aufzuzeigen, die zu einer Stärkung des Binnenhochwasserrisikomanagements beitragen können.

Hierzu wurden im Kreise der Kooperationspartner zu Beginn des Projektes mehrere Fokusthemen aus den drei in Abbildung 25 dargestellten Risikomanagementbereichen „Schutz (vor Hochwasser)“, „Vermeidung (hochwasserbedingter nachteiliger Folgen)“ und „Vorsorge (für den Hochwasserfall)“ festgelegt, die im weiteren Projektverlauf vertiefter betrachtet wurden und deren Ergebnisse in den folgenden Unterkapiteln vorgestellt werden.



Zur Bearbeitung der verschiedenen Fokusthemen wurden im Rahmen des Projektes zahlreiche themenspezifisch zusammengesetzte Akteursforen und Akteursworkshops durchgeführt, an denen Vertreterinnen und Vertreter folgender Institutionen beteiligt waren:

- Entwässerungsverbände Norden, Emden, Oldersum und Aurich,
- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) (mit Teilnehmenden aus verschiedenen Geschäftsbereichen der Betriebsstelle Aurich sowie von der Naturschutzstation Ems),
- Landkreis Aurich, Landkreis Leer und kreisfreie Stadt Emden (mit Teilnehmenden aus den Aufgabenbereichen Wasserwirtschaft, Naturschutz, Raumordnung, Bauaufsicht und Katastrophenschutz),
- Gemeinden und Städte aus dem Projektgebiet (mit Teilnehmenden aus den Aufgabenbereichen Gemeindeentwicklung, Bauleitplanung und Siedlungsentwässerung),
- Interessenverbände aus den Bereichen Naturschutz und Landwirtschaft,
- Niedersachsen Ports (Hafenstandort Emden)

Die Beteiligungsformate dienten dazu, möglichst alle relevanten Stakeholder in den Ideenfindungsprozess zur Stärkung des Binnenhochwasserrisikomanagements einzubeziehen. Auf diese Weise war es möglich, die im Betrachtungsraum vorhandene Expertise institutionenübergreifend zu bündeln, um auf dieser Basis abgestimmte Maßnahmenvorschläge zu entwickeln und dafür erforderliche Umsetzungsschritte zu diskutieren.

5.1	Ertüchtigung von Pumpkapazitäten	34
5.2	Schaffung von Retentionskapazitäten	38
5.3	Anpassung der Entwässerungsinfrastruktur im Bereich Leyhörn	46
5.4	Anpassung der Entwässerungsinfrastruktur im Bereich „Emder Wasserspiele“ & Ems-Jade-Kanal	56
5.5	Aufstellung verbandlicher Binnenhochwasser-Alarmpläne	72
5.6	Verbesserung der Binnenhochwasservorsorge seitens der Kommunen und Verbände	80
5.7	Erstellung von Binnenhochwassergefahren- und -risikokarten	82
5.8	Umgang mit Binnenhochwasser- und Starkregengefahren in der Raumplanung	94
5.9	Stärkung der Binnenhochwasser- und Starkregen-Eigenvorsorge der Bevölkerung	98
5.10	Sensibilisierung der Öffentlichkeit: Tag der offenen Tür am Schöpfwerk Leybuchtziel	102



5.1 Ertüchtigung von Pumpkapazitäten

Wie die im Rahmen von KLEVER-Risk durchgeführten Analysen (s. Kap. 3) zeigen, wird sich der Klimawandel in doppelter Hinsicht auf die Entwässerungssysteme der Küstenniederungen auswirken:

- Zum einen wird es aufgrund der zunehmenden winterlichen Niederschlagsmengen zu einer deutlichen Zunahme der Entwässerungsbedarfe in der ohnehin schon abflussintensivsten Jahreszeit kommen.
- Zum anderen werden die aufgrund des Meeresspiegelanstiegs sukzessive rückläufigen Förderleistungen der bestehenden Mündungsschöpfwerke eine kontinuierliche Abnahme der Entwässerungskapazitäten, insbesondere bei Sturmflutiden, nach sich ziehen.

Um zu verhindern, dass diese Entwicklungen zukünftig zu häufigeren und intensiveren Überlastungsereignissen der Entwässerungssysteme führen, sind entsprechende Anpassungsmaßnahmen der wasserwirtschaftlichen Infrastruktur erforderlich. Hierfür kommen sowohl die Ertüchtigung von Pumpkapazitäten als auch die Schaffung von Retentionskapazitäten (s. Kap. 5.2) bzw. eine Kombination beider Möglichkeiten in Betracht. Die Ertüchtigung der Pumpkapazitäten kann dabei durch eine Leistungssteigerung bestehender und/oder eine Errichtung zusätzlicher Mündungsschöpfwerke realisiert werden.

Mögliche Anpassungen der Pumpkapazitäten werden in dieser Broschüre auch bei der Analyse der verbandsübergreifenden Entwässerungsinfrastrukturen im Bereich Leyhörn (s. Kap. 5.3) sowie im Bereich der „Emder Wasserspiele“ und des Ems-Jade-Kanals (s. Kap. 5.4) tiefergehend betrachtet.

Leistungssteigerung bestehender Schöpfwerke

Soll die Leistung bestehender Mündungsschöpfwerke gesteigert werden, um die Folgen des Klimawandels zu kompensieren, muss sowohl eine Erhöhung des Fördervolumens (als Reaktion auf zunehmende Abflussmengen) als auch eine Vergrößerung der Förderhöhe (als Reaktion auf den Meeresspiegelanstieg) in Betracht gezogen werden. Abhängig vom Typ, Alter und Zustand des zu ertüchtigen Bauwerks können entsprechende Leistungsanpassungen grundsätzlich auf verschiedene Arten erfolgen:

- a) durch eventuell mögliche leistungssteigernde Optimierungen der vorhandenen Pumpentechnik,
- b) durch einen Einbau leistungstärkerer Pumpen in das bestehende Schöpfwerksgebäude oder
- c) durch einen kompletten Ersatzneubau des gesamten Schöpfwerks.

Eine erhebliche Umsetzungserschwerung im Zusammenhang mit einer Leistungssteigerung bestehender Mündungsschöpfwerke besteht darin, dass neben den Ertüchtigungsmaßnahmen der Bauwerke selber in aller Regel zusätzlich auch noch ein Ausbau der angeschlossenen Hauptvorflutgewässer notwendig ist, da deren Abflussquerschnitte lediglich auf die bisherigen Fördervolumina der Schöpfwerke ausgelegt sind. Die erforderlichen Gewässeraufweitungen sind nicht nur mit entsprechenden Flächenbedarfen und Baggararbeiten, sondern auch mit erheblichen Anpassungsmaßnahmen an bestehenden Infrastrukturen wie z. B. Brückenbauwerken, Düken und Spundwänden sowie mit umfangreichen Genehmigungsverfahren verbunden. Besonders aufwändig stellen sich Querschnittserweiterungen im Falle einer unmittelbar an die Gewässer angrenzenden Siedlungsbebauung dar.



Siel- und Schöpfwerk Knock

Errichtung zusätzlicher Schöpfwerke

Eine andere Möglichkeit, den klimawandelbedingten Ausbaubedarfen der Pumpkapazitäten nachzukommen, besteht darin, zusätzliche (kleinere) Mündungsschöpfwerke an geeigneten dezentralen Standorten zu errichten. Hierfür eignen sich insbesondere ehemalige Sielstandorte, die über eine noch vorhandene bzw. mit vertretbarem Aufwand wiederherstellbare Anbindung an das Vorflutsystem verfügen. Neben dem Vorteil, dass bei einer dezentralen Anordnung zusätzlicher Pumpkapazitäten in der Regel kein aufwändiger Ausbau der zentralen Hauptvorflutgewässer (s. o.) notwendig ist, erhöht sich durch die Schaffung weiterer Mündungsschöpfwerke zudem die Redundanz der Entwässerungssysteme. So kann bei einem möglichen Ausfall einzelner Schöpfwerke zumindest ein gewisser Anteil der Gesamtentwässerungsleistung aufrechterhalten werden.

In Tabelle 7 und in der Karte auf Seite 37 sind mögliche Standorte für zusätzliche Mündungsschöpfwerke im Pro-

jektgebiet von KLEVER-Risk aufgeführt, die von den beteiligten Entwässerungsverbänden als potenziell geeignet angesehen werden. Gegebenenfalls könnte an einem dieser Standorte ein erstes Pilotprojekt zur Erprobung der nachfolgend beschriebenen modularen und standardisierten Schöpfwerkstechnik realisiert werden.

Idee einer modularen und standardisierten Schöpfwerkstechnik

Im März 2022 haben der I. Entwässerungsverband Emden und die Interessengemeinschaft der Deich- und Sielverbände Weser-Ems dem Niedersächsischen Umweltministerium die Idee einer modularen und standardisierten Schöpfwerkstechnik vorgetragen. Die Idee zielt darauf ab, bei anstehenden Erneuerungen der in die Jahre gekommenen Mündungsschöpfwerke sowie bei klimawandelbedingt erforderlichen Kapazitätserhöhungen nicht mehr auf einen Neubau von Schöpfwerken in der bisherigen technisch aufwändigen Form der Blockbauweise zu setzen. Stattdessen wird vorgeschlagen, künftige Schöpfwerke in aufgelöster Bauweise zu errichten, bei denen innerhalb der Deichlinie lediglich Rohrleitungen, Sickerschürzen und ein Auslaufbereich herzustellen sind, während die erforderlichen Pumpen binnenseitig des Deiches installiert werden (s. Abb. 26). Je nach Leistungsbedarf könnten entsprechende Schöpfwerke aus einem oder mehreren Modulen bestehen, wobei die eingesetzte Anlagentechnik definierten Standards unterliegen sollte (beispielsweise Tauchmotorpumpen ohne Flügelverstellung mit frequenzgesteuerten, drehzahlvariablen Motoren in zwei unterschiedlichen Leistungsklassen, z. B. 5 m³/s und 10 m³/s).

Im Folgenden sind die wesentlichen Vorteile der oben skizzierten Idee zusammengefasst:

- Für die modulare und standardisierte Schöpfwerkstechnik werden vergleichsweise geringere Kosten erwartet, sodass Finanzmittel effizienter eingesetzt werden könnten. Während für einen klassischen Großschöpfwerks-

neubau nach Schätzungen des Verbandes ein Investitionsvolumen von mindestens 60 bis 80 Millionen Euro zu veranschlagen wäre, könnten in der vorgeschlagenen Modularbauweise für denselben Betrag gleich mehrere Pumpenmodule (an verschiedenen Stellen) errichtet werden, die in Summe über eine größere Förderleistung verfügen würden.

- Durch die modulare Bauweise bestünde die Möglichkeit, die in den kommenden Jahrzehnten anstehende Erneuerung des Schöpfwerksparks entlang der gesamten Nordseeküste sowie den zusätzlichen klimawandelbedingten Anpassungsbedarf schrittweise zu realisieren, indem sukzessive entsprechende Ersatz- bzw. Ausbaupkapazitäten installiert werden, die die bisherigen Bauwerke nach und nach ersetzen und die Entwässerungssysteme an den Klimawandel anpassen. Hierbei könnte aufgrund der Nachrüstbarkeit zusätzlicher Module flexibel auf künftige Entwicklungen und veränderte Bedarfe reagiert werden.
- Da die Schöpfwerke bei der aufgelösten Bauweise nicht wie bisher vollständig in den Hauptdeich hineingebaut werden, sondern – abgesehen von den im Deichkörper zu errichtenden Rohrleitungen, Sickerschürzen und Auslaufbereichen – binnenseitig des Deiches platziert sind, könnten bauliche Eingriffe in die bestehende Deichlinie verringert und künftige Deicherhöhungen tendenziell einfacher realisiert werden.
- Die vorgeschlagene Standardisierung der Anlagentechnik würde es ermöglichen, einen verbandsübergreifenden Pool an Ersatzpumpen vorzuhalten, die bei erforderlichen Wartungsarbeiten oder im Schadensfall unmittelbar gegen Pumpen desselben Typs ausgetauscht werden könnten. Dies würde die Betriebssicherheit der Schöpfwerke gegenüber dem Status Quo deutlich erhöhen, da es bei heutigen Wartungs- und Reparaturarbeiten oftmals zu monatelangen Ausfallzeiten der instand zu setzenden Pumpen und damit einhergehenden Leistungsverlusten der betroffenen Schöpfwerke kommt.



5.1 Ertüchtigung von Pumpkapazitäten

Tab. 6: Übersicht der bestehenden Mündungsschöpfwerke im Projektgebiet

Entwässerungs- gebiet	Schöpfwerk	Inbetriebnahme	Pumpen- anzahl	Nenn- leistung
EV Norden	Leybuchtziel	1962	3	45 m³/s
I. EV Emden	Greetsiel	1957	3	13,5 m³/s
	Knock	1969	4	60 m³/s
EV Aurich	Borssum	1929	3	24 m³/s
EV Oldersum	Moormerland	1935 (Sanierung 2002)	2	40 m³/s
	Sautel	1970	4	32 m³/s

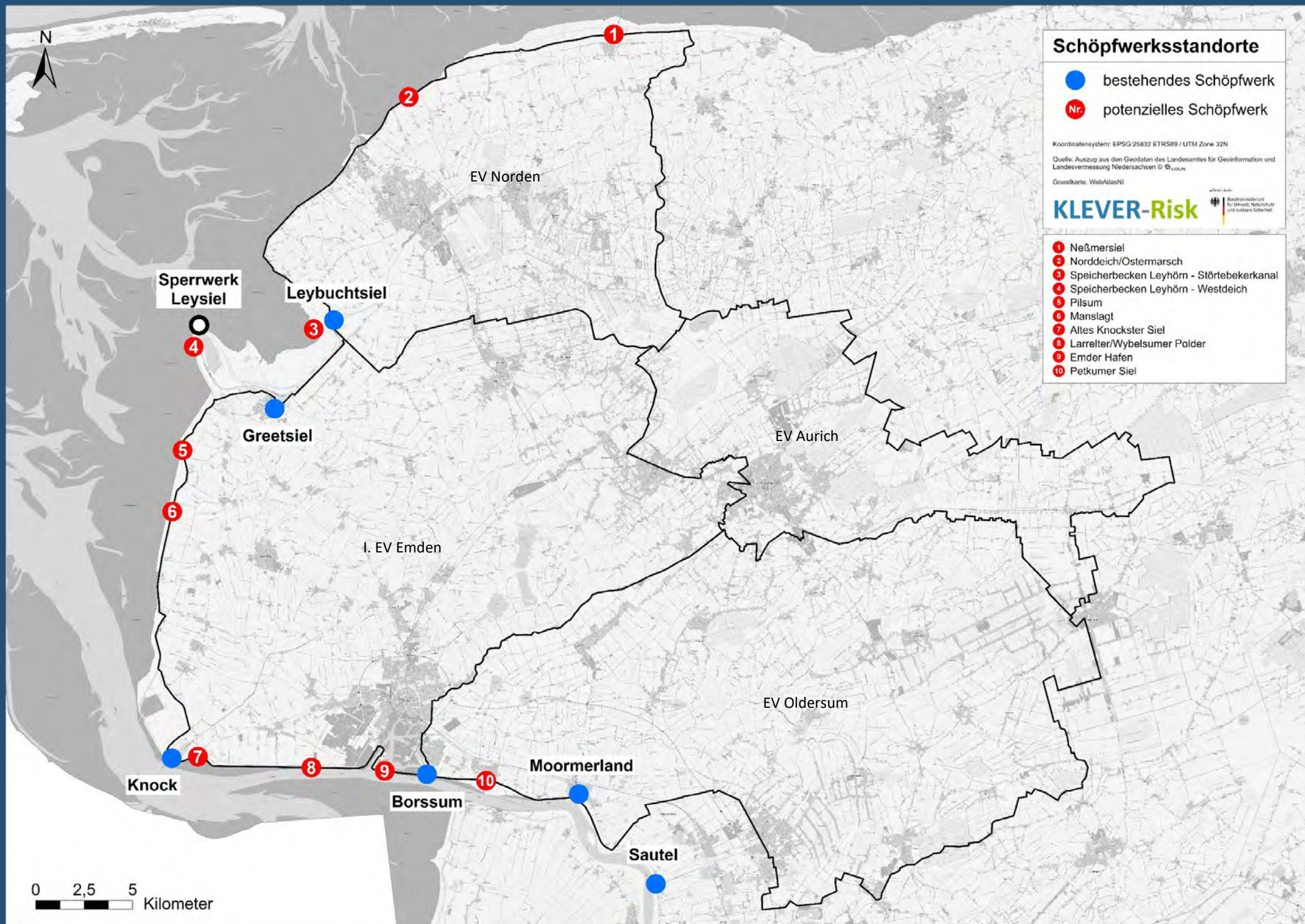
Tab. 7: Übersicht potenzieller Standorte für mögliche zusätzliche Mündungsschöpfwerke

Entwäs- serungs- gebiet	potenzieller Schöpfwerks- standort	Erläuterung
EV Norden	Neßmersiel	- Anbindung an den Westerneßmer Polderschloot (Abzweig bis zum Hauptdeich erforderlich) und darüber an das Harketief, - Anpassungen der Sohltiefe der oben genannten Gewässer erforderlich, - Entwässerung in den im Sommerpolder gelegenen Spülsee des Hafenbeckens und von dort aus in die Nordsee, - zusätzliche Nutzung von Sommerpolderflächen als Zwischenspeicher im Falle einer sturmflutbedingten Schließung des im Sommerdeich befindlichen Spülsee-Sperrwerks
	Norddeich/ Ostermarsch	- Anbindung an den Sieltog, der bis zum Hauptdeich zu verlängern wäre (z. B. durch einen entsprechenden Ausbau des Verbandsgewässers Roo-Pal-Schloot), - Anpassungen des Fließquerschnittes (Sohltiefe und ggfs. Gewässerbreite) des Sieltogs erforderlich
	Speicher- becken Leyhörn	- Errichtung im Bereich des Westdeiches der Leyhörn oder am nördlichen Ende des Störtebekerkanaals (gegenüber vom Schöpfwerk Leybuchtziel), - zur Kompensation der sich infolge des Meeresspiegelanstiegs reduzierenden Sielmöglichkeiten des Sperrwerks Leysiel (siehe hierzu auch Kap. 5.3)
I. EV Emden		

I. EV Emden	Pilsum	- Anbindung an das Pilsumer Tief, - Anpassungen des Fließquerschnittes (Sohltiefe und Gewässerbreite) des Pilsumer Tiefs mindestens im Abschnitt zwischen Ortslage Pilsum und Hauptdeich erforderlich
	Manslagt	- Anbindung an das Manslagter Tief, - Anpassungen des Fließquerschnittes (Sohltiefe und Gewässerbreite) des Manslagter Tiefs mindestens im Abschnitt zwischen Ortslage Manslagt und Hauptdeich erforderlich
	Altes Knockster Siel	Anbindung an den zum ehemaligen Sielstandort führenden Altarm des Knockster Tiefs, in den aus östlicher Richtung das Wybelsumer Poldertief einmündet
	Larrelter/ Wybelsumer Polder	- Anbindung an das Wybelsumer Poldertief, - Möglichkeit der direkten Entwässerung der zunehmend versiegelten Industrie- und Gewerbeflächen im Bereich des Larrelter und Wybelsumer Polders, - ggfs. Herstellung einer Verbindung zum Logumer Tief zwecks zusätzlicher Anbindung an das Hauptvorflutsystem
EV Aurich	Emder Hafen	- Errichtung z. B. zwischen der Großen Seeschleuse und dem Südkai, - als Ersatz der bisherigen Entwässerungsfunktion des Schöpfwerks Borssum für die über den Ems-Jade-Kanal zufließenden Abflussmengen aus dem Auricher Verbandsgebiet (siehe hierzu auch Kap. 5.4)
EV Oldersum	Petkumer Siel	- Anbindung an das Petkumer Sieltief, - Ergänzung des bestehenden Sielbauwerkes



Abb. 26: Prinzipskizze der modularen und standardisierten Schöpfwerkstechnik (Quelle: I. Entwässerungsverband Emden)



5.2 Schaffung von Retentionskapazitäten

In der Diskussion der an KLEVER-Risk beteiligten Projektpartner hat sich gezeigt, dass hinsichtlich der Anpassung der Entwässerungssysteme an die Folgen des Klimawandels neben der Ertüchtigung von Pumpkapazitäten (s. Kap. 5.1) vor allem auch dem Ausbau von Retentionskapazitäten eine hohe Bedeutung zukommt. Durch Schaffung von Retentionsraum kann der Bedarf an zusätzlichen Pumpkapazitäten reduziert und das Entwässerungsmanagement flexibler gestaltet werden, was sowohl für Zwecke der Hochwasserentlastung als auch der Wasserbevorratung von Vorteil ist:

- **Hochwasserentlastung:** Mit Hilfe entsprechender Retentionsmaßnahmen ist es möglich, klimawandelbedingt zunehmende Niederschlagsmengen temporär in den Verbandsgebieten zurückzuhalten und erst zeitversetzt in die (Außen-)Ems abzuführen. Auf diese Weise können Abflussspitzen abgepuffert und die entstehen-

den Entwässerungsbedarfe reduziert bzw. zeitlich gestreckt werden, was zu einer Entlastung der Mündungsschöpfwerke führt. Insbesondere dezentral verortete Retentionskapazitäten können zudem dazu dienen, Rückstaueffekte in den Vorflutgewässern aufgrund von Windstau oder Abflussengstellen zu lindern. Die Schaffung von Retentionsmaßnahmen trägt somit in zweifacher Hinsicht zur Reduktion von Kapazitätsengpässen der Entwässerungssysteme und daraus resultierender Hochwasserrisiken bei.

- **Wasserbevorratung:** Vor dem Hintergrund der klimawandelbedingten Zunahme sommerlicher Trockenperioden (s. Kap. 3) sowie der sich abzeichnenden Entwicklungen hinsichtlich künftiger Nutzungsbedarfe der Ressource Wasser (s. Tab. 8) bieten geeignete Retentionskapazitäten zudem das Potenzial, Wasserüberschüsse zu bevorraten und damit für eine zeitversetzte Nutzung

verfügbar zu machen. Zusätzlich zu den Retentionsmaßnahmen wäre hierfür allerdings eine entsprechende (gegebenenfalls verbands- oder sogar regionsübergreifend ausgerichtete) wasserwirtschaftliche Infrastruktur für den Transport des zwischengespeicherten Wassers zu den jeweiligen Bedarfsorten erforderlich.

Die Bewirtschaftung multifunktionaler Retentionskapazitäten wäre zugleich mit einer **Erweiterung des wasserwirtschaftlichen Aufgabenspektrums** verbunden, das sich vom reinen Entwässerungsmanagement hin zu einem **integrierten Wassermengenmanagement** wandeln müsste. Für die Verbände hieße dies, dass neben ihre ursprüngliche Zuständigkeit der schadlosen Abführung von Niederschlagswasser und des damit einhergehenden Binnenhochwasserschutzes verstärkt auch die Aufgabe der Wasserhaltung treten würde. Aufgrund der Fokussierung auf das Thema Binnenhochwasserrisikomanagement wurde der Aspekt des Wassermengenmanagements im Rahmen von KLEVER-Risk allerdings nicht tiefergehend betrachtet. Diesbezüglich besteht weiterer Untersuchungsbedarf.

Identifikation von Retentionspotenzialen im Projektgebiet

Im Rahmen von KLEVER-Risk wurde für die vier Verbandsgebiete Norden, Emden, Oldersum und Aurich sowie für das vom NLWKN betriebene Teilsystem „Ems-Jade-Kanal/Ringkanal“ ein Katalog potenzieller Retentionsmaßnahmen erstellt, die schwerpunktmäßig auf den Zweck der Hochwasserentlastung abzielen. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

Tab. 8: Übersicht möglicher Nutzungsbedarfe für bevorratete Wasserüberschüsse

mögliche Nutzungsbedarfe		Bedarfszeiten
Ökosystemschatz	Zuwässerung in trockenheitssensible Ökosysteme, wie z. B. Gewässer (insb. in Geestbereichen), Feuchtgrünlandflächen und Mooregebiete	Frühjahr/Sommer
Trinkwasserversorgung	Verwendung von Oberflächenwasser zur künstlichen Grundwasseranreicherung auf der Geest	ganzjährig
Landwirtschaft	Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen durch Wasserentnahmen aus Oberflächengewässern	Frühjahr/Sommer
Industrie	Nutzung von (aufbereitetem) Oberflächenwasser für wasserintensive Produktionsprozesse (z. B. Wasserstoffherzeugung, Batterieherstellung)	ganzjährig

1) Identifikation und Kategorisierung von potenziellen Retentionsmaßnahmen

Zunächst wurden im Rahmen mehrerer Workshops mit Vertretern der vier Entwässerungsverbände potenzielle Retentionsmaßnahmen in den jeweiligen Verbandsgebieten identifiziert und schrittweise konkretisiert. Auf diese Weise konnten insgesamt über 30 Maßnahmenoptionen zusammengetragen werden (s. Karte auf Seite 45 sowie Tab. 10a und 10b), die in folgende **Maßnahmentypen** kategorisiert wurden:

- **Speicherpolder:** Hierbei handelt es sich um Flächen, die durch entsprechende Maßnahmen (z. B. Verwallungen, technische Bauwerke) für eine temporäre Aufnahme von Wasser hergerichtet werden könnten. Grundsätzlich lassen sich folgende Poldertypen unterscheiden:
 - *Tiefpolder mit zeitlich nachgelagertem Pumpbedarf:* Geländesenken, in die Wasser zunächst im freien Gefälle hineinfließen kann und anschließend durch Pumpeneinsatz wieder hinausbefördert wird;
 - *Hochpolder mit zeitlich vorgelagertem Pumpbedarf:* verwallte Bereiche, in die Wasser zunächst durch Pumpeneinsatz hineinbefördert wird und anschließend im freien Gefälle wieder hinausfließen kann;
 - *Freigefällepolder ohne Pumpbedarf:* topographisch geeignete Bereiche, in die Wasser sowohl im freien Gefälle hinein- als auch hinausfließen kann;
 - *Ausuferungsbereiche ohne steuerbare Retentionsfunktion:* tief gelegene Gewässerrandbereiche, in die sich das Wasser bei Hochwasserständen natürlich ausdehnen kann
- **Gewässereinstau:** Hierbei handelt es sich um Maßnahmen, die auf einen gesteuerten Einstau bestehender Gewässer durch technische Anlagen (z. B. Stauwehre, Pumpen) abzielen.
- **Gebietsretention:** Hierbei handelt es sich um abgegrenzte Einzugsbereiche wie Unterschöpfwerksgebiete und Wiedervernässungsflächen, in denen die Möglich-

keit besteht, Gebietsabflüsse durch technische Maßnahmen (z. B. Abschaltung von Pumpen, Anhebung von Stauwehren, Erhöhung von Verwallungen) temporär im jeweiligen Gebiet zurückzuhalten.

Zusätzlich wurden die Maßnahmenoptionen hinsichtlich ihrer potenziellen **Retentionseignung** unterschieden in

- Maßnahmen mit ausschließlicher Eignung zur kurzfristigen **Hochwasserentlastung** und
- Maßnahmen mit zusätzlicher Eignung zur längerfristigen **Wasserbevorratung** (s. Tab. 10a und 10b).

2) Vertiefende Betrachtung der Maßnahmenoptionen

Im Zuge einer vertiefenden Betrachtung der einzelnen Maßnahmenoptionen wurden **Detaillkarten** erstellt, die die Gebietsabgrenzung und Topographie der jeweiligen Potenzialflächen veranschaulichen sowie eine Symbolisierung der bereits vorhandenen bzw. zusätzlich erforderli-

Tab. 9: Kriterien für die Maßnahmenbewertung

Bewertungskriterien	Beispiele für bewertungsrelevante Aspekte
wasserwirtschaftliche Wirksamkeit	▪ potenzielles Retentionsvolumen ▪ Einbindung in das Entwässerungssystem ▪ Hochwasserentlastungseffekt ▪ Eignung zur Wasserbevorratung
Realisierungsaufwand	▪ Aufwand der Flächenakquise ▪ baulich-technischer Aufwand ▪ Kosten-Nutzen-Verhältnis
Umsetzungswahrscheinlichkeit	▪ etwaige zweckdienliche Vorüberlegungen oder Gebietsfestlegungen (Vorrang-/Vorbehaltsgebiete Hochwasserrückhaltebecken) ▪ Ausprägung möglicher Interessenkonflikte bzw. Synergieeffekte mit anderen Nutzungsansprüchen (insb. Naturschutz, Landwirtschaft)

chen wasserwirtschaftlichen Infrastruktur enthalten (s. Abb. 27 links und mittig). Des Weiteren sind verschiedene **Einstauszenarien** visualisiert (s. Abb. 27 rechts) und die potenziellen **Retentionsvolumina** quantifiziert worden (s. Tab. 10a und 10b).

Basierend darauf wurden **Maßnahmensteckbriefe** verfasst, die grundlegende Informationen zur Gebietscharakteristik der jeweiligen Potenzialflächen (Lage, Größe, Geländehöhe, Flächennutzungen, Schutzgebietsfunktionen), eine Maßnahmenbeschreibung (Funktionsweise, technische Ausführung, potenzielles Retentionsvolumen) sowie das Ergebnis der akteursbasierten Maßnahmenbewertung (s. u.) umfassen. Die Maßnahmensteckbriefe sind über die Projekt-Website (www.uol.de/klever-risk) abrufbar.

3) Bewertung der Maßnahmenoptionen

Abschließend erfolgte eine Bewertung der Maßnahmenoptionen durch die Vertreter der jeweiligen Entwässerungsverbände (s. Ergebnisse in Tab. 10a und 10b). Hierzu wurde auf Basis einer dreistufigen Skala (hoch, mittel, gering) eine entsprechende Einschätzung hinsichtlich der in Tabelle 9 aufgeführten Kriterien „wasserwirtschaftliche Wirksamkeit“, „Realisierungsaufwand“ und „Umsetzungswahrscheinlichkeit“ vorgenommen.

Einordnung der identifizierten Maßnahmenoptionen

Die **räumliche Verteilung** der identifizierten Maßnahmenoptionen (s. Karte auf Seite 45) zeigt, dass sich aufgrund der unterschiedlichen topographischen Verhältnisse nicht alle Verbandsgebiete gleichermaßen für die verschiedenen Maßnahmentypen eignen:

- **Speicherpolder** lassen sich prinzipiell in allen Verbandsgebieten umsetzen, sind aber zum Teil mit hohem baulichen Aufwand verbunden, da entsprechende Verwallungen und Pumpkapazitäten geschaffen werden müssen. Dieser Maßnahmentyp ist am ehesten multifunktional einsetzbar und kann bei entsprechender Eignung

5.2 Schaffung von Retentionskapazitäten

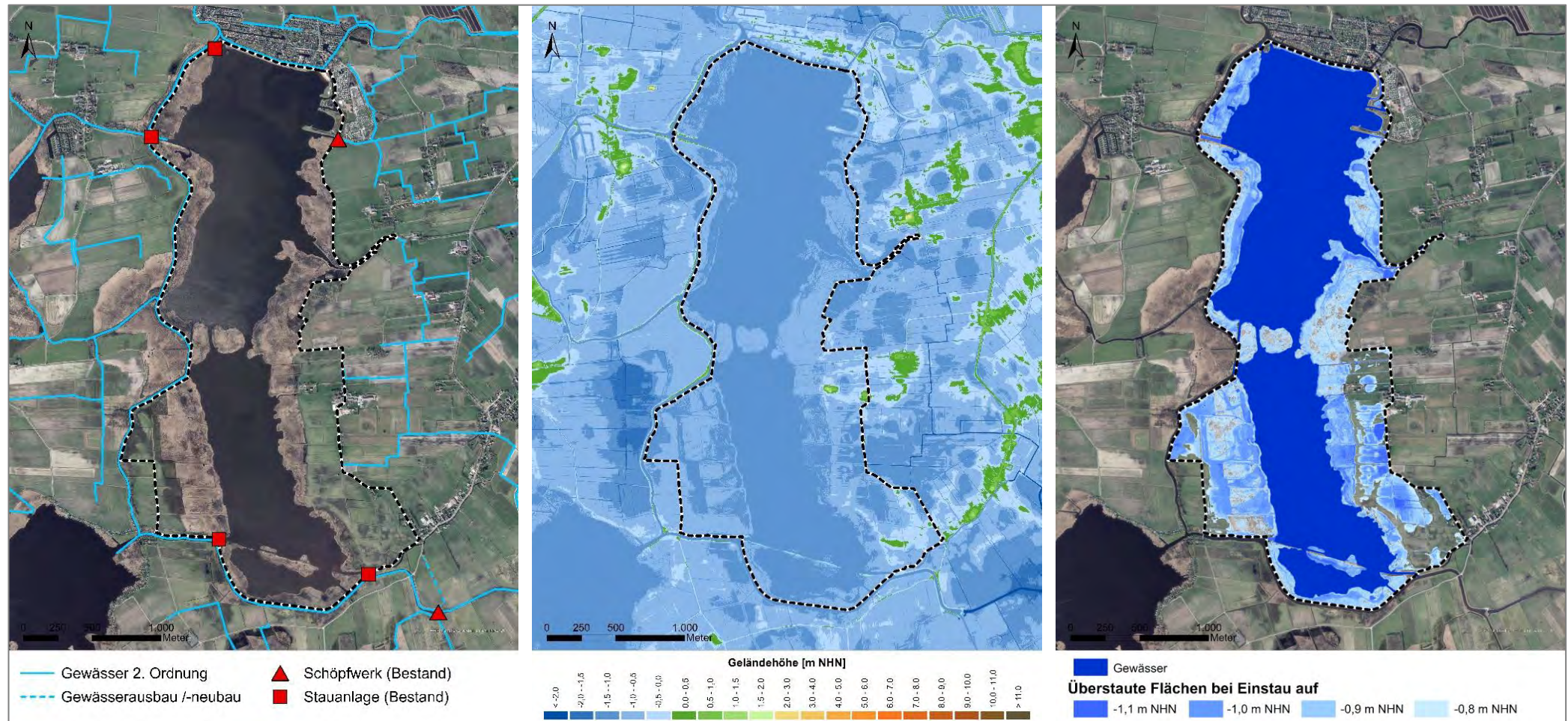
der Potenzialflächen sowohl der Hochwasserentlastung als auch der Wasserbevorratung dienen.

- **Gewässereinstau** in relevantem Umfang lässt sich nur in den Verbandsgebieten umsetzen, die potenziell nutzbare Stillgewässer mit Anschluss an das Vorflutsystem (z. B. Großes Meer im I. EV Emden und Boekzeteler Meer/Timmeler Meer im EV Oldersum) oder einstaubare Fließgewässer mit großen Ausuferungsbereichen (z. B. Flumm-Niederung im EV Oldersum) aufweisen.

- Maßnahmen zur **Gebietsretention** lassen sich in unterschiedlichen Bereichen des Projektgebietes umsetzen. Lediglich für den EV Norden wurden aufgrund der geländebedingt geringen Potenziale keine derartigen Maßnahmenoptionen vorgeschlagen. Als geeignet werden vor allem die Unter- und Stufenschöpfwerksgebiete im I. EV Emden und im EV Oldersum angesehen. Potenziell kann eine Gebietsretention aber auch in Wiedervernässungsbereichen umgesetzt werden.

Die abgeschätzten **potenziellen Retentionsvolumina** der vorgeschlagenen Maßnahmenoptionen erreichen in der Summe durchaus eine Größenordnung, mit der kleine und mittlere Binnenhochwasserereignisse schadlos zurückgehalten werden könnten (vgl. Kap. 3: Veränderungen der Überlastungshäufigkeiten und -volumina).

Abb. 27: Detailkarten zu den Maßnahmenoptionen (am Bsp. von EVE-8: Erweiterung der Retentionsfunktion des Großen Meeres)



Im Hinblick auf die **Bewertung** der Maßnahmenoptionen durch die Vertreter der Entwässerungsverbände lassen sich bezüglich der Bewertungskriterien folgende allgemeinen Schlussfolgerungen ziehen:

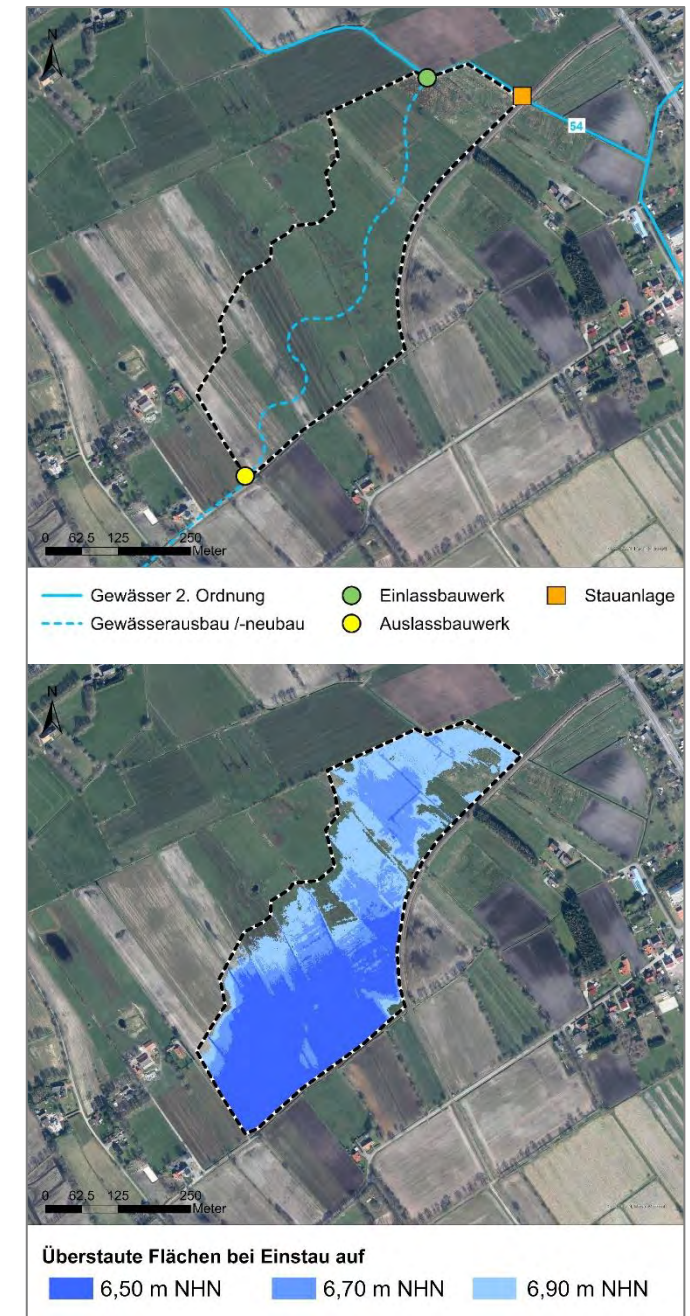
- Die wasserwirtschaftliche Wirksamkeit der gemeinsam identifizierten Maßnahmenoptionen wird überwiegend als hoch (ca. zwei Drittel der Maßnahmen) bewertet. Nur wenigen Maßnahmenoptionen wird eine geringe Wirksamkeit zugesprochen.
- Der Realisierungsaufwand und die damit verbundene Umsetzungswahrscheinlichkeit werden dagegen etwas zurückhaltender eingeschätzt. So wird nur etwa ein Drittel der Maßnahmen als mit hoher Wahrscheinlichkeit realisierbar angesehen.
- Nach erster Einschätzung ist der überwiegende Teil der vorgeschlagenen Maßnahmenoptionen aufgrund von Zielkonflikten mit naturschutzfachlichen Belangen (Lage der Potenzialflächen in Schutzgebieten) oder wegen

sonstiger Flächennutzungskonflikte nur für Zwecke der kurzfristigen (winterlichen) Hochwasserentlastung geeignet. Potenziale für eine längerfristige Wasserbevorratung werden überwiegend bei außerhalb von Schutzgebieten gelegenen Speicherpoldern gesehen.

Detailliertere Informationen zu den einzelnen Maßnahmenoptionen finden sich in den jeweiligen Steckbriefen, die über die Projekt-Website (www.uol.de/klever-risk) abrufbar sind.

Das Thema Retentionskapazitäten wird in dieser Broschüre auch bei der Analyse der verbandsübergreifenden Infrastrukturen im Bereich Leyhörn (s. Kap. 5.3) sowie im Bereich der „Emder Wasserspiele“ und des Ems-Jade-Kanals (s. Kap. 5.4) betrachtet.

Abb. 28: Detailkarten zu den Maßnahmenoptionen (am Bsp. von EVA-2: Speicherpolder an der Tannenhausener Ehe)



5.2 Schaffung von Retentionskapazitäten

Tab. 10a: Übersichtstabelle der identifizierten Maßnahmenoptionen zur Schaffung von Retentionskapazitäten in den Verbandsgebieten Norden, Emden und Oldersum

	Nr.	Maßnahmenoption	potenzielles Retentionsvolumen	Retentionseignung		Maßnahmenbewertung		
				Hochwasser-entlastung	Wasser-bevorratung	wasserwirtschaft-liche Wirksamkeit	Realisierungs-aufwand	Umsetzungs-wahrscheinlichkeit
EV Norden	EVN-1	Speicherpolder im Buscher Polder	bis zu 600.000 m ³	☒	☒	hoch	hoch	gering
	EVN-2	Speicherpolder am Langhauser Tief (im Bereich Altendeichsweg)	bis zu 680.000 m ³	☒	☒	hoch	gering	hoch
	EVN-3	Speicherpolder am Addingaster Tief (im Bereich Leegland)	bis zu 480.000 m ³	☒	☒	hoch	gering	hoch
	EVN-4	Speicherpolder am Marschtief (im Bereich Nordoog)	bis zu 565.000 m ³	☒	☒	hoch	mittel	mittel
	EVN-5	Speicherpolder am Kibbelschloot (im Bereich Lottjeshausen)	bis zu 920.000 m ³	☒	☒	hoch	gering	hoch
	EVN-6	Speicherpolder bei Neßmersiel	bis zu 44.000 m ³	☒	☒	gering	hoch	gering
I. EV Emden	EVE-1	Speicherpolder im Unterschöpfwerksgebiet Freepsumer Meer	bis zu 1.340.000 m ³	☒	☐	mittel	mittel	mittel
	EVE-2	Speicherpolder im Unterschöpfwerksgebiet Rheidermeer	bis zu 175.000 m ³	☒	☐	mittel	mittel	mittel
	EVE-3	Speicherpolder in den Unterschöpfwerks-gebieten Longwehr und Aland	bis zu 385.000 m ³	☒	☒ (eingeschränkt)	mittel	gering	mittel
	EVE-4	Speicherpolder an der Abelitz	bis zu 390.000 m ³	☒	☐	hoch	mittel	mittel
	EVE-5	Speicherpolder im Bereich zwischen Abelitz und Abelitz-Moordorf-Kanal	bis zu 450.000 m ³	☒	☐	mittel	mittel	mittel
	EVE-6	Speicherpolder am Alten Greetsieler Sieltief	bis zu 600.000 m ³	☒	☒	hoch	mittel	mittel
	EVE-7	Speicherpolder im Bereich Siersmeer/Herrenmeeder Meer	bis zu 385.000 m ³	☒	☐	hoch	gering	mittel

I. EV Emden	EVE-8	Erweiterung der Retentionsfunktion des Großen Meeres		bis zu 1.080.000 m ³ (zusätzliches Volumen)	☒	☒ (eingeschränkt)	hoch	gering	hoch
	EVE-9	Einstau der Westerender Ede (inkl. der tiefliegenden Bereiche südlich des Großen Meeres)		bis zu 230.000 m ³	☒	☐	mittel	hoch	gering
	EVE-10	Retention in den Unterschöpfwerksgebieten		bis zu 1.000.000 m ³ (im Notfall bis zu 2.100.000 m ³)	☒	☐	hoch	gering	hoch
EV Oldersum	EVO-1	Speicherpolder am Unterlauf des Sauteler Kanals		bis zu 600.000 m ³	☒	☐	hoch	gering	hoch
	EVO-2	Speicherpolder am Sauteler Kanal im Stufenschöpfwerksgebiet Brookschloot		bis zu 260.000 m ³	☒	☒	hoch	gering	gering
	EVO-3	Speicherpolder am Unterlauf des Spetzerfehnkanals		bis zu 90.000 m ³	☒	☒	gering	mittel	hoch
	EVO-4	Erweiterung des bestehenden Speicherpolders im Bereich der Bagbander Meeden im Stufenschöpfwerksgebiet Boekzeteler Meer		bis zu 285.000 m ³ (zusätzliches Volumen)	☒	☐	hoch	mittel	hoch
	EVO-5	Einstau des Boekzeteler und Timmeler Meeres		bis zu 590.000 m ³	☒	☐	hoch	hoch	gering
	EVO-6	Erweiterung der bestehenden Einstaumöglichkeit in der Flumm-Niederung		bis zu 225.000 m ³ (zusätzliches Volumen)	☒	☐	mittel	mittel	mittel
	EVO-7	Einstau des Krummen Tiefs und des Ihlowerfehnkanals		bis zu 120.000 m ³	☒	☐	gering	hoch	gering
	EVO-8	Retention in den Stufenschöpfwerksgebieten	im Untergebiet	bis zu 2.300.000 m ³ (im Notfall bis zu 5.300.000 m ³)	☒	☐	hoch	gering	hoch
			im Obergebiet	bis zu 245.000 m ³ (im Notfall bis zu 370.000 m ³)					

5.2 Schaffung von Retentionskapazitäten

Tab. 10b: Übersichtstabelle der identifizierten Maßnahmenoptionen zur Schaffung von Retentionskapazitäten im Verbandsgebiet des EV Aurich und im Teilsystem „Ems-Jade-Kanal“

	Nr.	Maßnahmenoption	potenzielles Retentionsvolumen	Retentionseignung		Maßnahmenbewertung		
				Hochwasser-entlastung	Wasser-bevorratung	wasserwirtschaft-liche Wirksamkeit	Realisierungs-aufwand	Umsetzungs-wahrscheinlichkeit
EV Aurich	EVA-1	Ausuferungsbereiche an der Sandhorster Ehe	bis zu 39.000 m ³	☒	☐	mittel	mittel	mittel
	EVA-2	Speicherpolder an der Tannenhausener Ehe	bis zu 59.000 m ³	☒	☒	hoch	gering	hoch
	EVA-3	Speicherpolder am Abelitz-Moordorf-Kanal (oberhalb des Stauwehrs)	bis zu 34.000 m ³	☒	☐	mittel	mittel	mittel
	EVA-4	Speicherpolder am Abelitz-Moordorf-Kanal (unterhalb des Stauwehrs)	bis zu 50.000 m ³	☒	☒	hoch	mittel	hoch
	EVA-5	Speicherpolder am Molkereischloot	bis zu 19.000 m ³	☒	☒	hoch	gering	mittel
	EVA-6	Retention innerhalb von Wiedervernässungsbereichen	k. A.	☒	☒ (eingeschränkt)	hoch	hoch	mittel
Ems-Jade-Kanal	EJK-1	Speicherpolder am Ems-Jade-Kanal (im Bereich zwischen Alte Maar und Mittelhaus-Brücke)	bis zu 700.000 m ³	☒	☐	hoch	mittel	mittel
	EJK-2	Speicherpolder am Ems-Jade-Kanal (im Bereich Alter Meedeweg/Haageweg)	bis zu 280.000 m ³	☒	☒	hoch	mittel	mittel
	EJK-3	Speicherpolder am Ringkanal (beim Wehr Debelts)	bis zu 120.000 m ³	☒	☒	mittel	hoch	mittel



Retentionspotenziale

-  Speicherpolder
-  Gewässereinstau
-  Gebietsretention

Koordinatensystem: EPSG:25832 ETRS89 / UTM Zone 32N

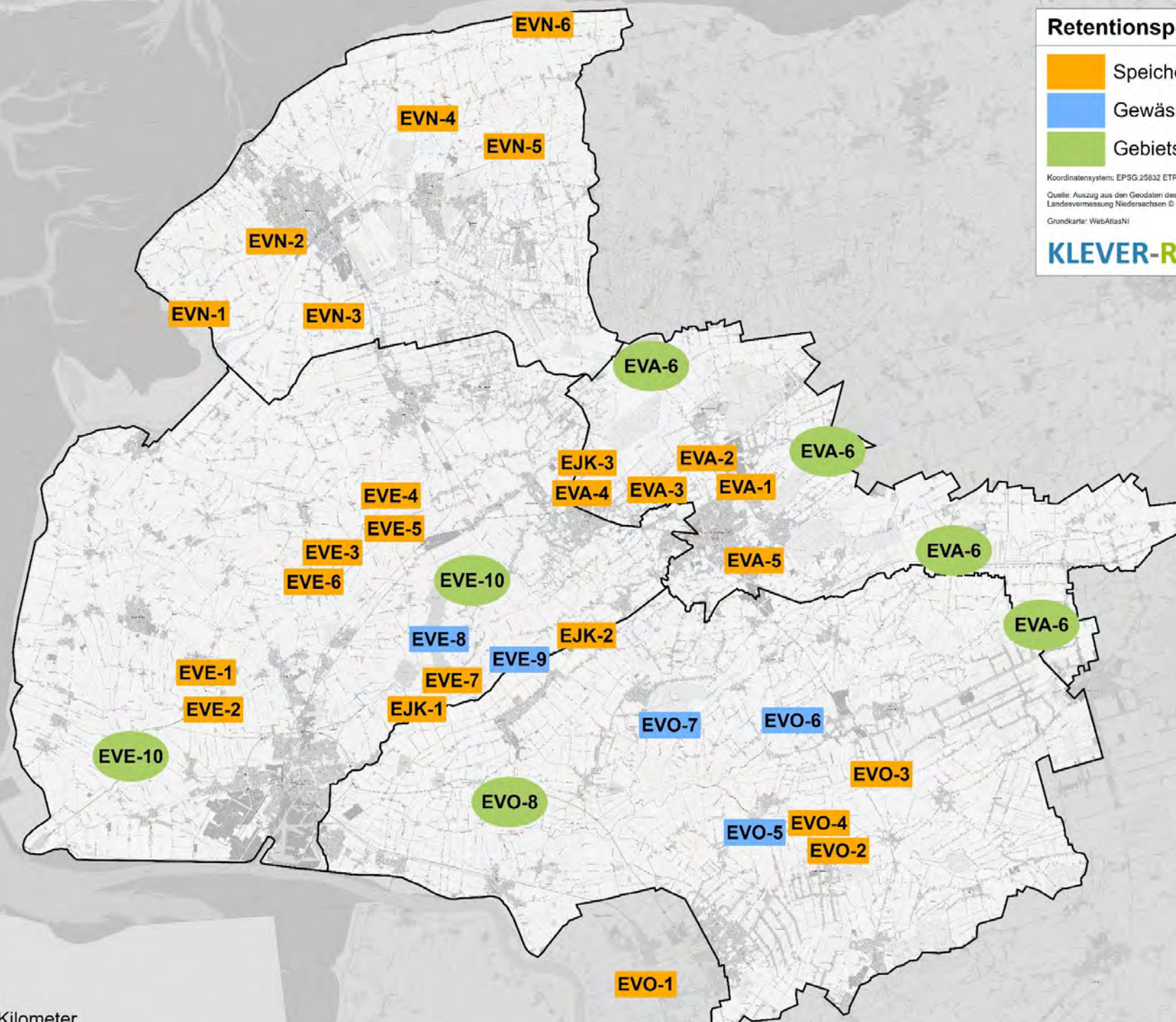
Quelle: Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen ©  LGN

Grundkarte: WebAtlasNI

KLEVER-Risk

 Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

0 2,5 5
 Kilometer



5.3 Anpassung der Entwässerungsinfrastruktur im Bereich Leyhörn

Systembeschreibung

Das **Speicherbecken Leyhörn** wird gemeinsam durch die **Entwässerungsverbände Emden und Norden** genutzt. Es ist über die Verbindungsgewässer Leyhörner Sieltief und Störtebekerkanal an die **Siele und Schöpfwerke in Greet-siel und Leybucht-siel** angebunden. Während der I. EV Emden lediglich einen Teil seines Verbandsgebietes (ca. 11.000 ha) auf diesem Wege entwässert, leitet der EV Norden die Abflüsse seines gesamten Verbandsgebietes (ca. 24.500 ha) in das Speicherbecken ab. Aus dem Becken wird das Wasser anschließend über das **Sperrwerk Leysiel** mit Hilfe von drei je 10 m breiten Sielläufen in die Außenems abgeführt. Da es sich bei Speicherbecken und Sperrwerk um landeseigene Bauwerke handelt ist für deren Betrieb und Unterhaltung der **NLWKN** (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) zuständig. Neben seiner wasserwirtschaftlichen Funktion kommt dem Speicherbecken Leyhörn zudem ein hoher naturschutzfachlicher Wert zu. Als **Naturschutzgebiet** hat es eine besondere Bedeutung als Biotop für salz- und süßwasserbeeinflusste Lebensgemeinschaften sowie als küstennahes Brut- und Rastvogelgebiet.

Die angestrebten **Wasserstände im Speicherbecken** sind auf -1,40 m NHN im Sommer bzw. -1,60 m NHN im Winter festgelegt. In der Praxis werden diese Werte allerdings insbesondere in den Wintermonaten oftmals deutlich überschritten, da das Tideniedrigwasser in der Außenems dann häufig so hoch ausfällt, dass der angestrebte Pegelstand im Speicherbecken aufgrund fehlender Sielmöglichkeiten am Sperrwerk Leysiel nicht eingehalten werden kann

Abb. 29: Übersichtskarte des betrachteten Systems





Siel und Schöpfwerk Leybuchtseil (EV Norden)



Störtebekerkanal



Siel und Schöpfwerk Greetsiel (I. EV Emden)



Sperrwerk Leysiel

(s. Abb. 30 und Abb. 31). Zudem wird von Seiten der Greet-sieler Kutterfischerei ein bestimmter Mindesttiefgang der durch das Speicherbecken zur Schleuse Leysiel verlaufen-den Fahrrinne eingefordert, der bei fortgeschrittener Fahr-rinnenverschlickung mit den oben genannten Soll-wasserständen in Konflikt gerät, sodass diese selbst bei vorhandenen Sielmöglichkeiten nicht immer konsequent eingehalten werden können.

Für den **I. Entwässerungsverband Emden** bieten sich in Greetsiel aufgrund eines lediglich zeitweise vorhandenen geringen Gefälles zwischen den Pegelständen im Speicher-becken und den Zielwasserständen im Verbandsgebiet (-1,27 m NHN im Sommer und -1,40 m NHN im Winter) grundsätzlich nur sehr eingeschränkte Sielmöglichkeiten. Schon bei leicht erhöhten Wasserständen im Speicher-becken müssen die abzuführenden Wassermengen mit Hilfe des Schöpfwerkes hineingepumpt werden. Wie Abbildung

32 zeigt, betrug das Verhältnis der Siel- und Pumpmengen in Greetsiel im Zeitraum 2005 bis 2015 im Mittel ca. ein Viertel zu drei Viertel. Im **Entwässerungsverband Norden** liegen die Sommer- und Winterpeile mit -0,80 m NHN bzw. -1,00 m NHN dagegen deutlich höher, sodass am Ley-buchtsiel bessere Sielmöglichkeiten bestehen und dort im selben Zeitraum im Mittel nur gut die Hälfte der Abfluss-mengen gepumpt werden musste. Pro Jahr wurden zu-sammen durchschnittlich rund 121 Mio. m³ Wasser über Leybuchtsiel (ca. 70 %) und Greetsiel (ca. 30 %) in das Spei-cherbecken abgeführt (s. Abb. 32), wovon knapp 80 % auf das Winterhalbjahr (Oktober - März) und gut 20 % auf das Sommerhalbjahr (April - September) entfielen (s. Abb. 33).

Der **maximale Einstaupegel im Speicherbecken** liegt bei +1,5 m NHN. Oberhalb dieses Pegels droht ein Wasserein-tritt in das Sielgebäude des Sperrwerkes Leysiel (mit mögli-chen Schäden für die Stromversorgung und die Steue-

rungstechnik) und in die Kellerräume der dortigen Wohn-häuser der Sperrwerkwärter. Zudem können Betroffen-heiten im Greetsieler Hafen entstehen (insb. am Hafenkie-ker-Gebäude). Unter Zugrundelegung der Einstaugrenze von +1,5 m NHN beträgt das **maximale Retentionsvolu-men des Speicherbeckens** rund 10,1 Mio. m³ (bezogen auf einen Ausgangswasserstand in Höhe des winterlichen Soll-Wasserstandes von -1,6 m NHN) (s. Tab. 11). Dieses Volu-men entspricht rechnerisch der Gesamtpumpmenge eines 48-stündigen Volllastbetriebs der beiden Schöpfwerke Leybuchtsiel (45 m³/s) und Greetsiel (13,5 m³).

Da am Sperrwerk Leysiel keine Pumpen vorhanden sind, kann die **Entleerung des Speicherbeckens ausschließlich im Sielbetrieb** erfolgen. Bei gleichzeitigem Auftreten gro-ßer Abflussmengen aus den beiden Verbandsgebieten und langanhaltend hohen Sturmflutwasserständen (Kettenti-den) in der Außenems, die über längere Zeit kein effekti-

Tab. 11: Retentionsvolumina des Speicherbeckens bei verschiedenen Einstaupegeln (berechnet mit Hilfe des digitalen Geländemodells DGM1)

Bezugshöhe	Einstau- pegel [m NHN]	Retentionsvolumen [Mio. m ³] bei einem Ausgangswasserstand von...	
		-1,60 m NHN (Winterpeil)	-1,40 m NHN (Sommerpeil)
max. Einstaupegel im Speicherbecken	+1,50	10,1	9,6
	+1,00	8,0	7,5
	+0,50	6,2	5,7
	±0,00	4,6	4,0
	-0,50	3,1	2,5
Sommerwasserstand im EV Norden	-0,80	2,2	1,7
Winterwasserstand im EV Norden	-1,00	1,6	1,1
Sommerwasserstand im I. EV Emden	-1,27	0,9	0,4
Winterwasserstand im I. EV Emden	-1,40	0,5	-



Sperrwerk Leysiel und Speicherbecken Leyhörn

Foto: NLWKN

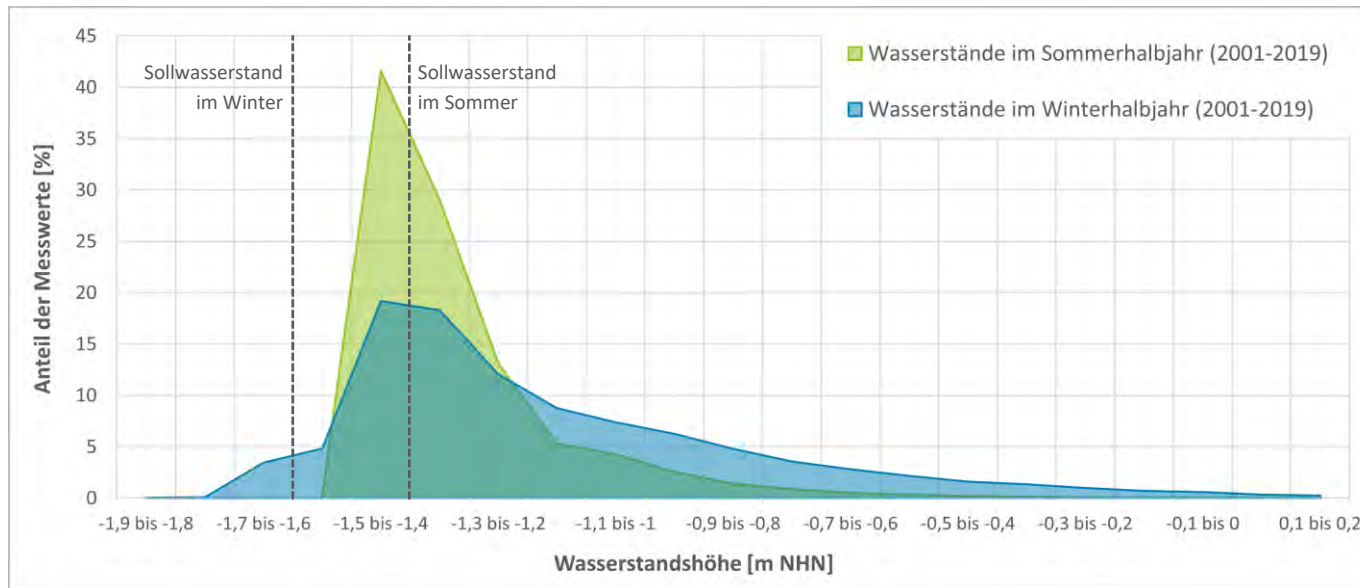


Abb. 30: Wasserstände im Speicherbecken Leyhörn im Zeitraum 2001-2019

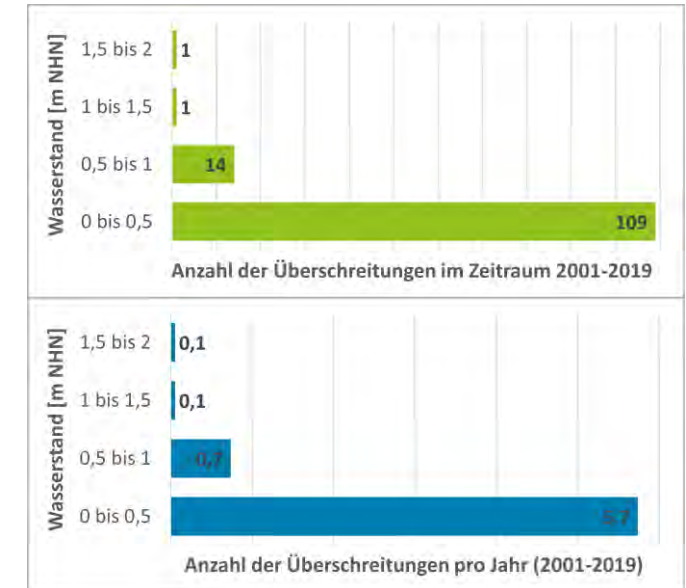


Abb. 31: Wasserstandsextreme im Speicherbecken Leyhörn

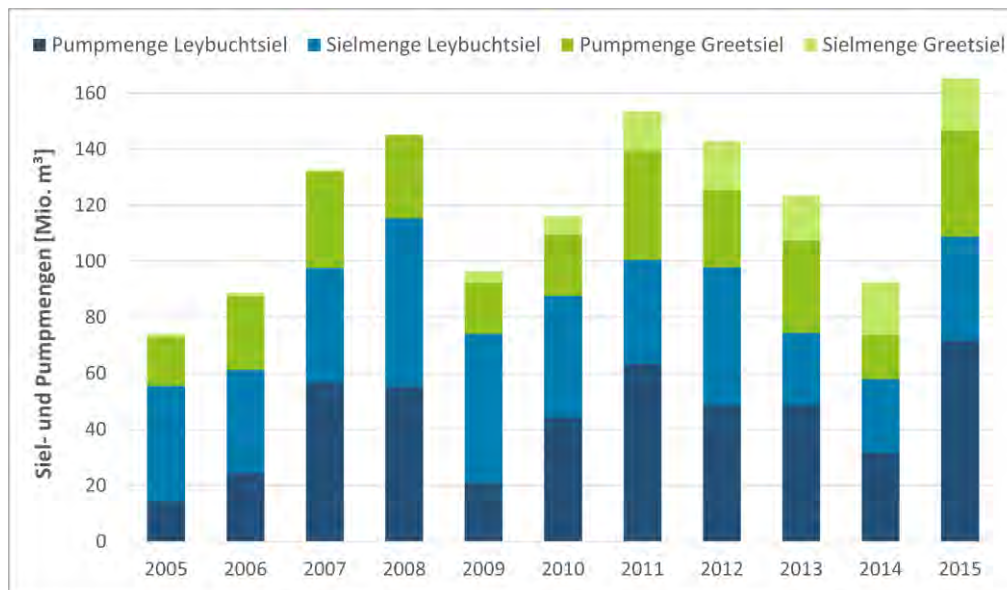


Abb. 32: Jährliche Siel- und Pumpmengen der Siel- und Schöpfwerke Leybuchtziel (EV Norden) und Greetsiel (I. EV Emden) im Zeitraum 2005-2015

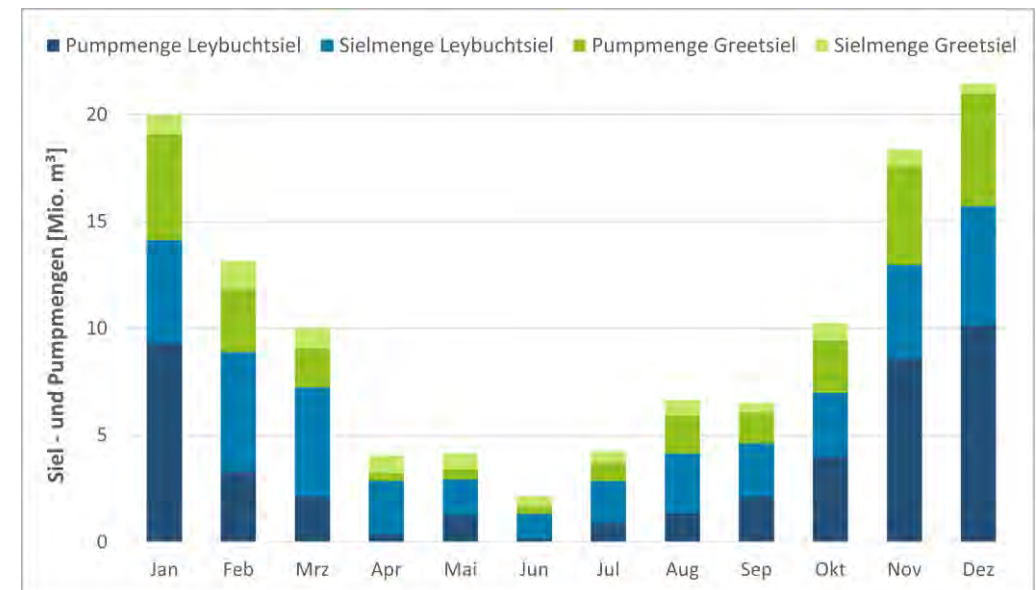


Abb. 33: Mittlere monatliche Siel- und Pumpmengen der Siel- und Schöpfwerke Leybuchtziel (EV Norden) und Greetsiel (I. EV Emden) im Zeitraum 2005-2015

ves Sielen am Sperrwerk Leysiel zulassen, können daher **Kapazitätsengpässe** auftreten. Im Extremfall kann es dazu kommen, dass der maximale Einstaupegel des Speicherbeckens (+1,5 m NHN) erreicht wird und keine Entwässerung auf diesem Wege mehr möglich ist. Während der I. EV Emden in einem solchen Falle zumindest weiterhin über das Schöpfwerk Knock entwässern könnte, bestünde für den EV Norden, der lediglich über das Mündungsbauwerk Leybuchtziel verfügt, keine andere Möglichkeit, überschüssiges Wasser aus seinem Verbandsgebiet abzuführen.

Seit Inbetriebnahme des Sperrwerks Leysiel wurde der maximale Einstaupegel in Höhe von +1,5 m NHN bisher einmal erreicht bzw. sogar leicht übertroffen. Anfang Januar 2012 stieg der Wasserstand im Speicherbecken aufgrund fehlender Sielmöglichkeiten am Sperrwerk Leysiel infolge einer ausgeprägten Kettentide bei gleichzeitig hohem Niederschlagsaufkommen in den Verbandsgebieten Norden und Emden in der Spitze auf einen Wert von fast +1,55 m NHN (s. Abb. 34). Damals öffnete sich gerade noch rechtzeitig ein geeignetes Tidfenster zur Entleerung des Speicherbeckens, sodass ein länger andauernder Kapazitätsengpass, der einen Zwangsstopp des Schöpfwerksbetriebs in Leybuchtziel und Greetsiel erfordert hätte, knapp abgewendet werden konnte.



Einstau im Greetsieler Hafen im Januar 2012 Foto: EV Norden

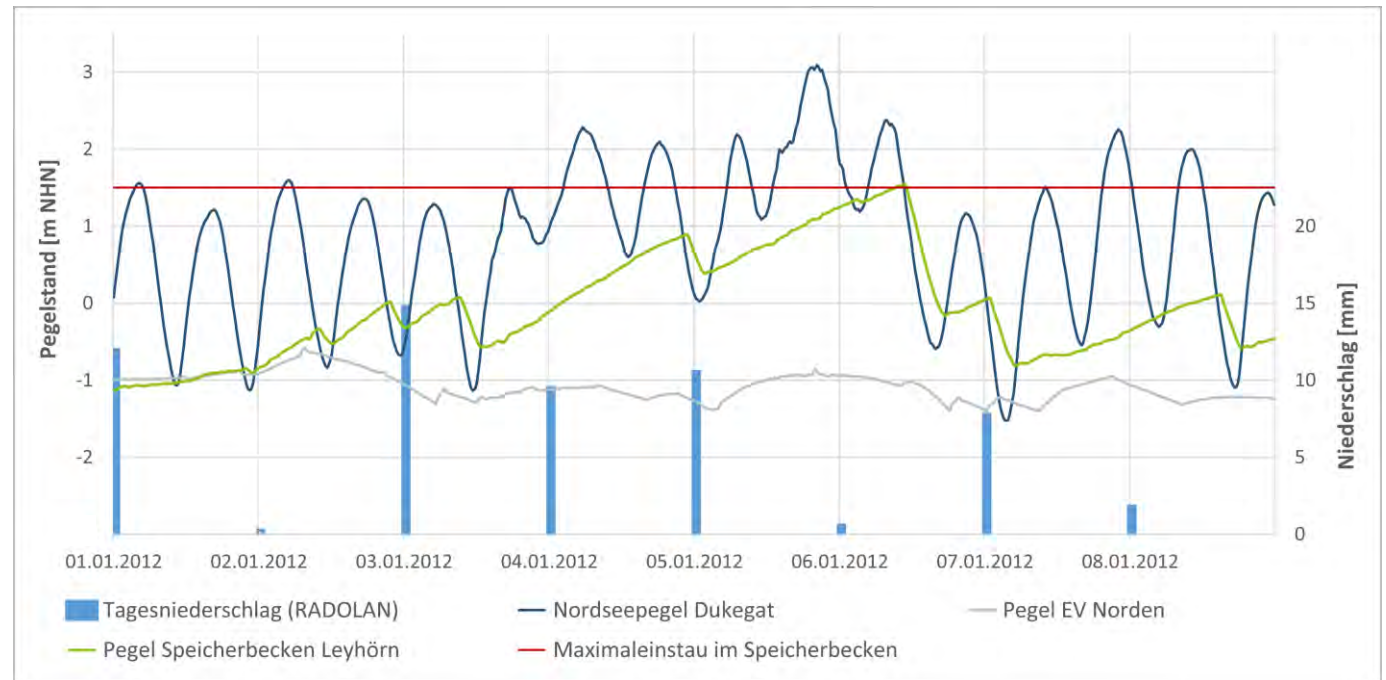


Abb. 34: Darstellung des kritischen Einstauereignisses im Speicherbecken Leyhörn von Januar 2012

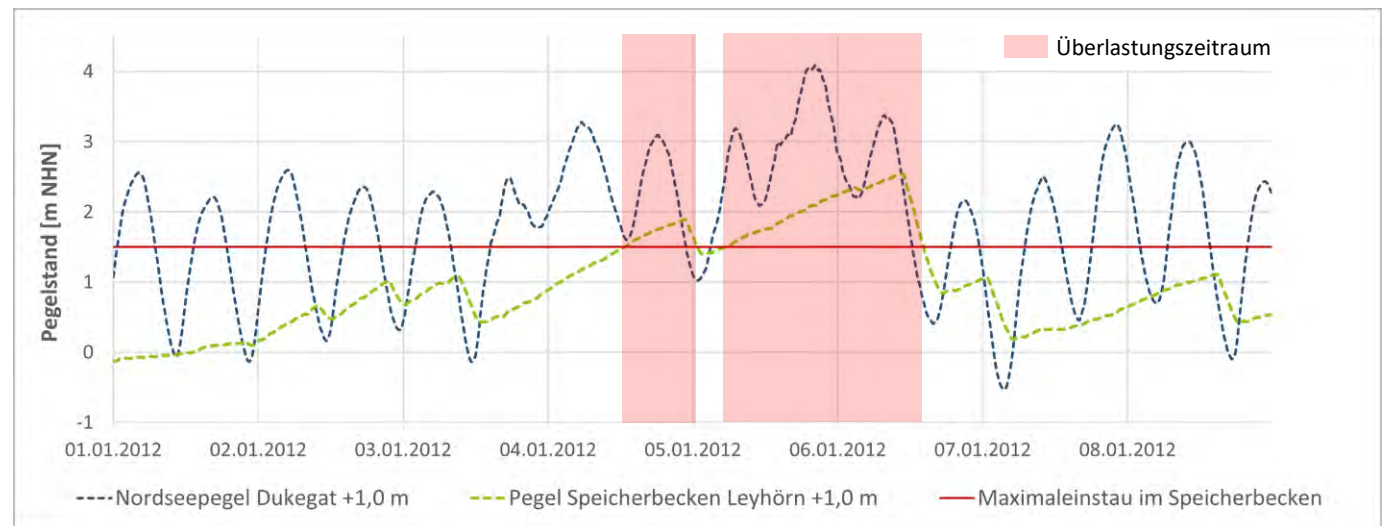


Abb. 35: Szenario des Ereignisses von Januar 2012 bei Zugrundelegung eines um +1 m erhöhten Meeresspiegels

Auswirkungen des Klimawandels auf das System

Wie Abbildung 36 veranschaulicht, werden sowohl der Anstieg des Meeresspiegels als auch die klimawandelbedingten Veränderungen des Niederschlagsregimes verschiedene Wirkfolgen auf das betrachtete System haben und – sofern keine Anpassungsmaßnahmen vorgenommen werden – zu folgenden Konsequenzen führen:

steigende Wahrscheinlichkeit von Kapazitätsengpässen des Speicherbeckens Leyhörn

Bei einem zeitlichen Zusammentreffen langanhaltend hoher Außenwasserstände am Sperrwerk Leysiel (Kettentide) und großer Abflussmengen aus den Verbandsgebieten Norden und Emden kann es zu einem Kapazitätsengpass des Speicherbeckens kommen. Dieser ist dadurch gekennzeichnet, dass der Wasserstand im Speicherbecken aufgrund fehlender Sielmöglichkeiten am Sperrwerk Leysiel bis zum maximalen Einstaupegel von +1,5 m NHN ansteigt, woraufhin die Schöpfwerke Leybuchtziel und Greetsiel abgeschaltet werden müssen und aus den angrenzenden Verbandsgebieten für einen gewissen Zeitraum kein Wasser mehr abgeführt werden kann, um die oben beschriebenen Schäden im Bereich des Sperrwerks Leysiel und des Greetsieler Hafens zu verhindern. Ein solches Szenario ist in den rund 30 Jahren seit Bestehen des Speicherbeckens Leyhörn bisher nur einmal für einen kurzen Zeitraum eingetreten (im Januar 2012; s. Abb. 34). Infolge des Klimawandels wird sich die Eintrittswahrscheinlichkeit derartiger Ereignisse allerdings kontinuierlich erhöhen. Ursächlich hierfür sind folgende drei Wirkfolgen, die im Zusammenspiel sowohl zu häufigeren als auch zu längeren Kapazitätsengpässen des Speicherbeckens führen können:

- Zunahme der Zeitspannen mit erheblich eingeschränkten Sielmöglichkeiten am Sperrwerk Leysiel,
- Abnahme des nutzbaren Retentionsvolumens des Speicherbeckens,
- Zunahme extremer Abflussspenden aus den Verbandsgebieten Norden und Emden

In Abbildung 35 ist schematisch veranschaulicht, wie das Ereignis von Januar 2012 bei einem exemplarisch zugrunde gelegten Meeresspiegelanstieg von +1 m ausgesehen hätte. Der Anstieg wurde hierzu in vereinfachender Weise direkt auf die Kettentidenkurve und den sielregulierten Basiswasserstand des Speicherbeckens bei Ereignis-

nisbeginn übertragen. In einem solchen Szenario wäre der maximale Einstaupegel des Speicherbeckens von +1,5 m NHN bereits deutlich früher erreicht worden, sodass die Schöpfwerke Leybuchtziel und Greetsiel für insgesamt fast zwei Tage hätten abgeschaltet werden müssen (rot eingefärbte Überlastungszeiträume), sofern keine größeren

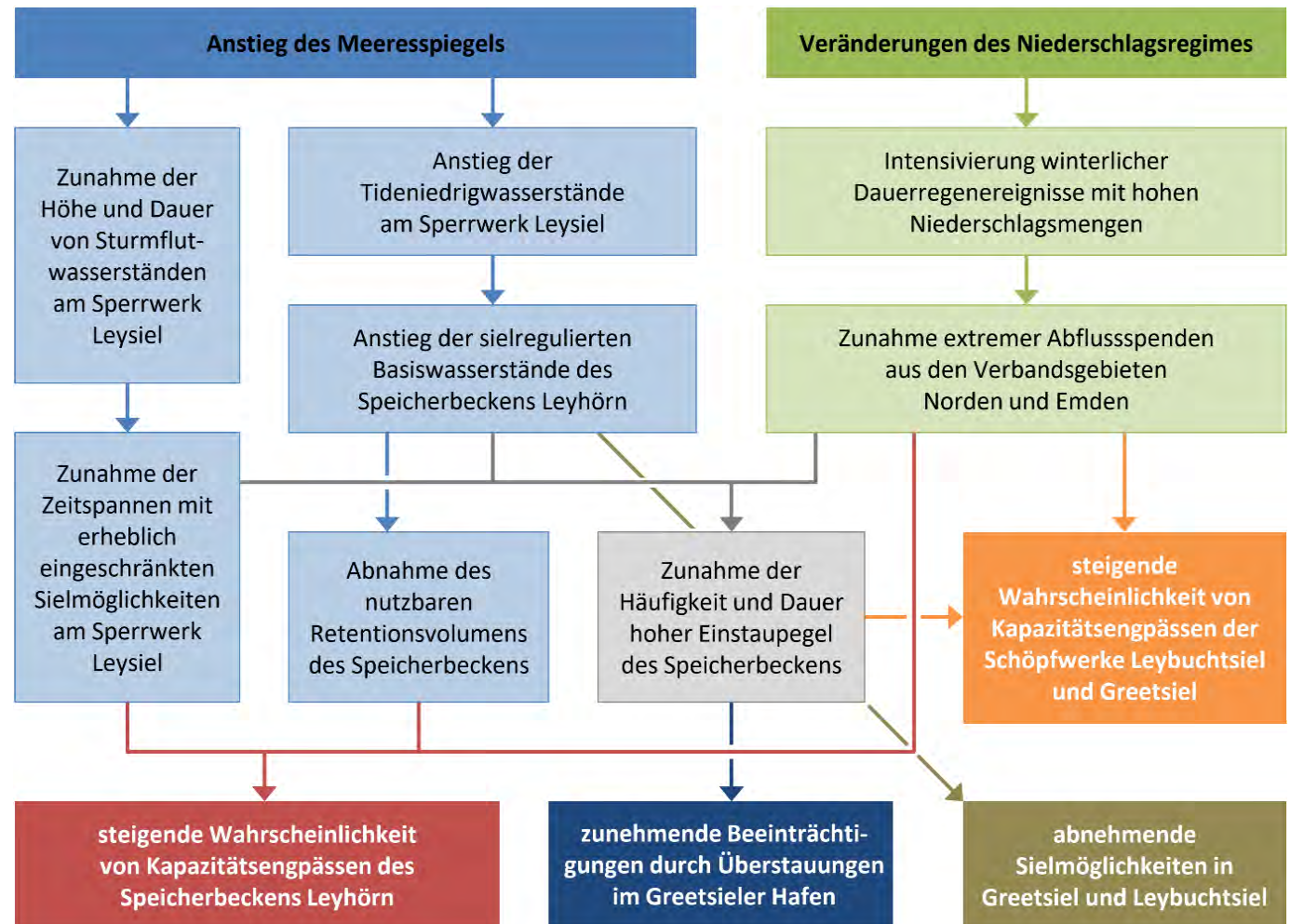
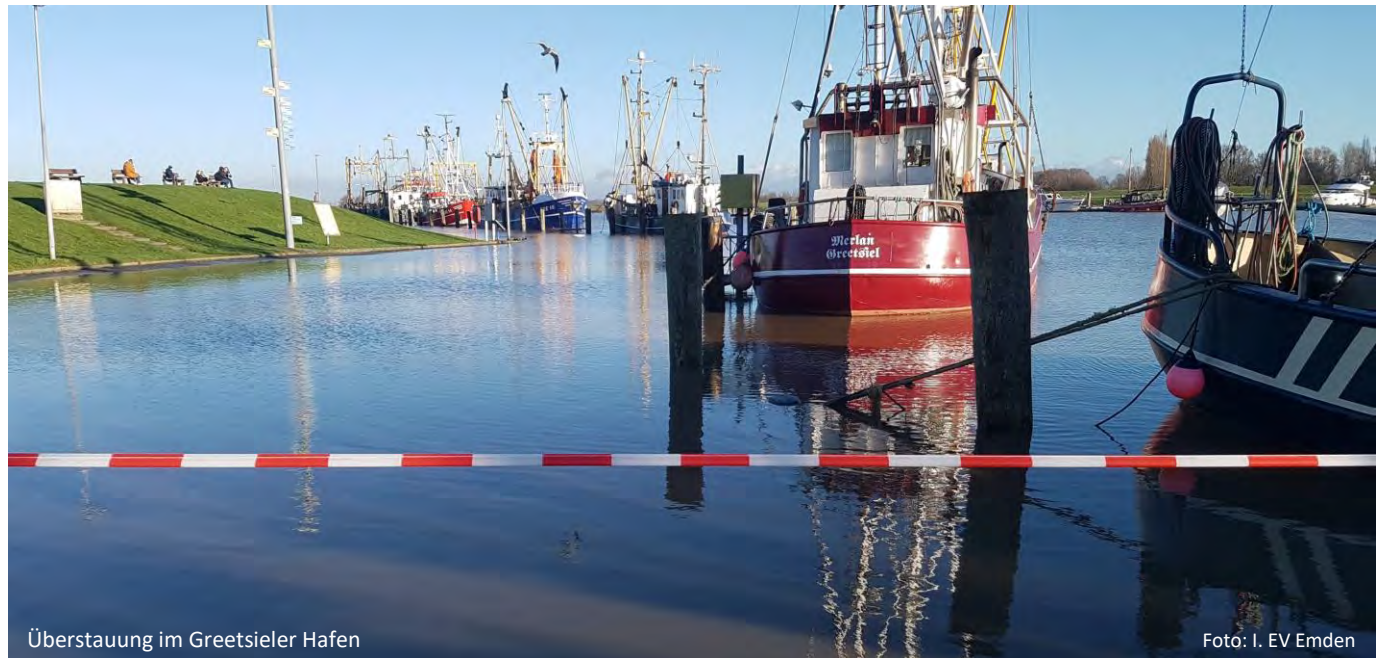


Abb. 36: Auswirkungen des Klimawandels auf das betrachtete System

Schäden im Bereich des Speicherbeckens hätten in Kauf genommen werden sollen. Ein derart langwieriger Schöpfwerksstopp hätte zur Konsequenz gehabt, dass große Wassermengen in den Verbandsgebieten verblieben wären.

zunehmende Beeinträchtigungen durch Überstauungen im Greetsieler Hafen

Im Greetsieler Hafen kommt es aufgrund hoher Wasserstände im Speicherbecken unter heutigen Bedingungen durchschnittlich an 12,5 Tagen pro Jahr zu Überstauungen der Löschkaje (Geländehöhe: ca. -0,25 m NHN) und an 1,8 Tagen pro Jahr auch der höher gelegenen Liegekaje (ca. +0,30 m NHN). Dies führt zu entsprechenden Nutzungsbeeinträchtigungen (erschwerter Erreichbarkeit der Kutter, Störung der Betriebsabläufe etc.). Infolge der klimawandelbedingten *Zunahme der Häufigkeit und Dauer hoher Einstaupegel des Speicherbeckens* werden solche Überstauungsereignisse und die damit einhergehenden Beeinträchtigungen künftig öfter auftreten und länger anhalten.



abnehmende Sielmöglichkeiten in Greetsiel und Leybucht-siel

Der Meeresspiegelbedingte Anstieg der sielregulierten Basiswasserstände des Speicherbeckens wird eine kontinuierliche Abnahme der potenziellen Sielfenster in Greetsiel und Leybucht-siel bewirken, was mittel- bis langfristig zu einem vollständigen Entfall der dortigen Sielmöglichkeiten führen wird. Dies hat zur Folge, dass die Abflussmengen aus den Verbandsgebieten Emden und Norden künftig zu stetig wachsenden Anteilen über die Schöpfwerke abgeführt werden müssen. Außerdem wird sich der Rückgang der Sielmöglichkeiten entsprechend negativ auf die Fischdurchgängigkeit zwischen dem Speicherbecken und den angrenzenden Binnengewässern auswirken.

steigende Wahrscheinlichkeit von Kapazitätsengpässen der Schöpfwerke Leybucht-siel und Greetsiel

Aufgrund der klimawandelbedingten Zunahme extremer Abflussspenden aus den Verbandsgebieten Norden und Emden wird sich die Wahrscheinlichkeit von Kapazitätsengpässen der Schöpfwerke Leybucht-siel und Greetsiel künftig erhöhen (s. hierzu auch Kap. 3: Veränderungen der Überlastungshäufigkeiten und -volumina). Zusätzlich verstärkt wird diese Entwicklung durch die Zunahme der Häufigkeit und Dauer hoher Einstaupegel des Speicherbeckens, die zu ausgeprägteren förderhöhenbedingten Leistungsverlusten der in das Speicherbecken hineinpumpenden Schöpfwerke führen wird. Davon betroffen ist insbesondere das Schöpfwerk Leybucht-siel, dessen Förderleistung ab einer Förderhöhe von 2 m (d. h. ab einem Wasserstand von rund +1,0 m NHN im Speicherbecken) merklich abfällt.



Maßnahmenoptionen zur Anpassung des Systems

Zur Anpassung des bestehenden Systems an die skizzierten Auswirkungen des Klimawandels wurden seitens der an KLEVER-Risk beteiligten Projektpartner folgende vier Maßnahmenoptionen benannt, die im Weiteren näher betrachtet werden:

- Errichtung eines Schöpfwerks zur Regulation des Wasserstands im Speicherbecken,
- Volumenvergrößerung des Speicherbeckens durch Anhebung des maximalen Einstaupegels,
- Schaffung von Retentionskapazitäten innerhalb der Verbandsgebiete,
- Entlastung der Schöpfwerke Leybucht siel und Greetsiel durch Errichtung zusätzlicher Pumpkapazitäten an anderen Standorten der Verbandsgebiete

Errichtung eines Schöpfwerks zur Regulation des Wasserstands im Speicherbecken

Mit der Errichtung eines Schöpfwerks würde die Möglichkeit geschaffen, den Wasserstand des Speicherbeckens per Pumpeneinsatz regulieren zu können, sodass im Bedarfsfall auch bei hohen Außenwasserständen, die am Sperrwerk Leysiel über einen längeren Zeitraum kein effektives Sielen zulassen, ein ausreichendes Retentionsvolumen vorgehalten werden könnte. Um der steigenden Wahrscheinlichkeit möglicher Kapazitätsengpässe entgegenzuwirken, müsste das Schöpfwerk so dimensioniert sein, dass der Wasserstand des Speicherbeckens auch bei sich klimawandelbedingt verschärfenden Ausnahmesituationen (zeitliches Zusammentreffen von langanhaltend hohen Außenwasserständen und großen Abflussmengen) zuverlässig unterhalb des Maximaleinstaupegels von +1,5 m NN gehalten werden kann. Hierzu wären bei der Bemessung eines solchen Schöpfwerks die systemrelevanten Wirkfolgen des Klimawandels in ausreichendem Maße zu berücksichtigen. Dazu zählen die Zunahme der Zeitspannen mit erheblich eingeschränkten Sielmöglichkeiten am

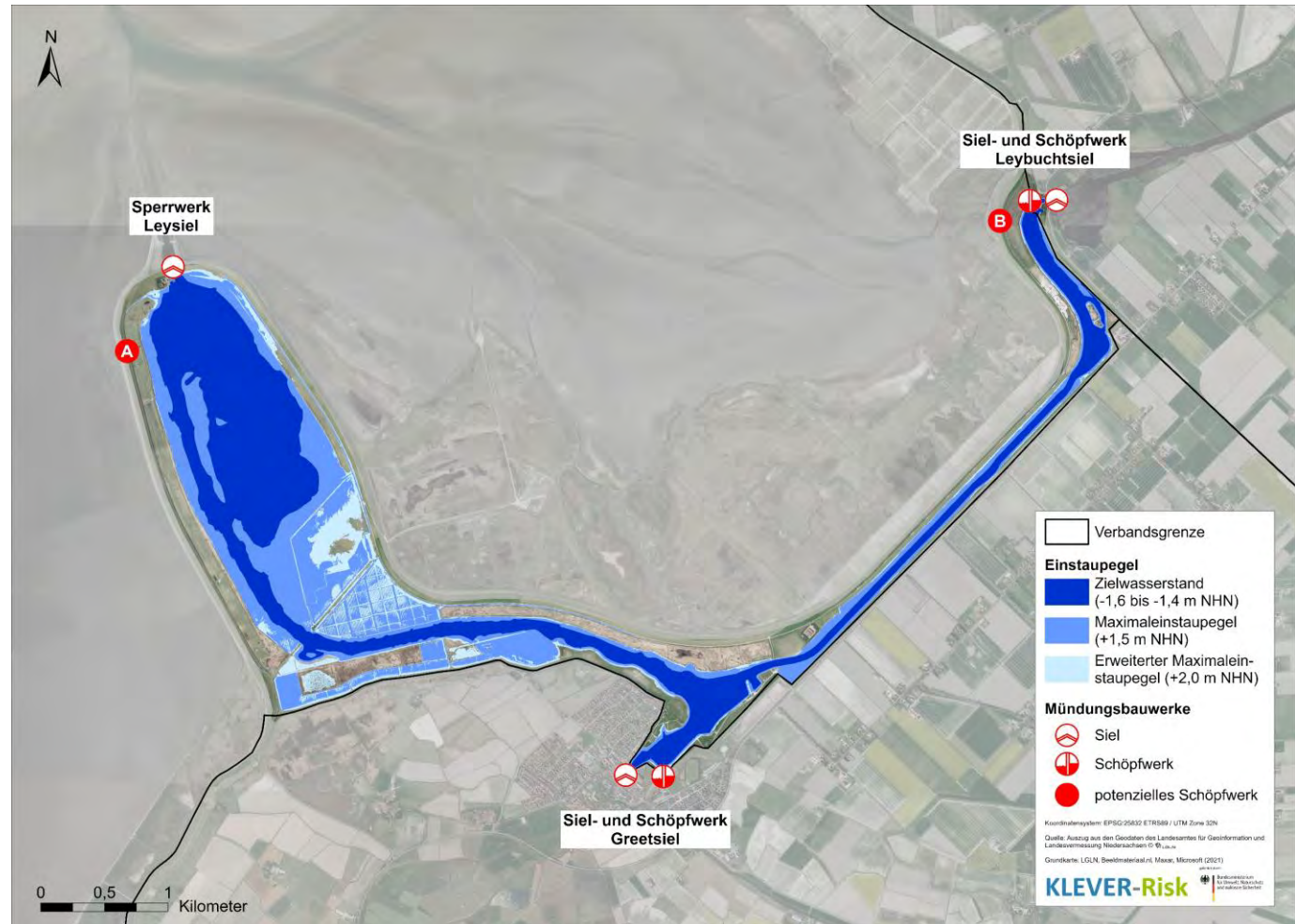


Abb. 37: Übersichtskarte zu Maßnahmenoptionen zur Anpassung des betrachteten Systems

Sperrwerk Leysiel, die Abnahme des nutzbaren Retentionsvolumens des Speicherbeckens sowie die Zunahme extremer Abflussspenden aus den Verbandsgebieten Norden und Emden (s. Abb. 36).

Neben seiner Entlastungsfunktion in Ausnahmesituationen könnte ein solches Schöpfwerk auch im normalen Entwässerungsbetrieb zur Unterstützung des Sperrwerks Ley-

siel eingesetzt werden. Durch die tideunabhängige Regulierbarkeit des Wasserstands im Speicherbecken wäre es möglich, den Durchschnittspegel weiterhin auf einem relativ niedrigen Niveau zu halten und hohe Einstaupegel weitgehend zu vermeiden, mit dem Effekt, dass

- auch künftig noch gewisse Sielmöglichkeiten in Greetsiel und Leybucht siel aufrechterhalten werden könnten,

- förderhöhenbedingte Leistungsverluste der in das Speicherbecken hineinpumpenden Schöpfwerke Greetsiel und Leybucht-siel minimiert werden könnten und
- zunehmende Nutzungsbeeinträchtigungen im Speicherbecken (z. B. häufigere Überschwemmungen der Lösch- und Liegekajen im Greetsieler Hafen) verhindert werden könnten.

Darüber hinaus würde die Errichtung eines Schöpfwerks zur Unterstützung des Sperrwerks Leysiel mit einem Redundanzeffekt für den Entwässerungsverband Norden einhergehen. Denn hierdurch könnte bei einem potenziellen Ausfall des Schöpfwerks Leybucht-siel der Pegel im Speicherbecken entsprechend niedrig gehalten werden, sodass zumindest über das Sielbauwerk in Leybucht-siel noch eine gewisse „Notentwässerung“ des Norder Verbandsgebietes möglich wäre.

Als potenzielle Schöpfwerksstandorte kämen insbesondere der nordwestliche Bereich des Speicherbeckens (Westdeich der Leyhörn) und der nördlichste Abschnitt des Störtebekerkanals (gegenüber vom Schöpfwerk Leybucht-siel) in Frage (s. Abb. 37). Eine Realisierung könnte gegebenenfalls als Pilotprojekt der in Kapitel 5.1 dargestellten modularen und standardisierten Schöpfwerkstechnik erfolgen.

Volumenvergrößerung des Speicherbeckens durch Anhebung des maximalen Einstaupegels

Eine andere Möglichkeit, der klimawandelbedingt zunehmenden Wahrscheinlichkeit von Kapazitätsengpässen des Speicherbeckens entgegenzuwirken, bestünde zudem darin, durch eine Anhebung des maximalen Einstaupegels eine Volumenvergrößerung des Speicherbeckens vorzunehmen. Um dem entstehenden Anpassungsbedarf allein auf diese Weise nachzukommen, müsste die Volumenvergrößerung

- sowohl den Verlust an nutzbarem Retentionsvolumen kompensieren, der aus dem meeresspiegelbedingten

Anstieg der sielregulierten Basiswasserstände des Speicherbeckens resultiert

- als auch den Zusatzbedarf an Speichervolumen decken, der sich aus der *Zunahme der Zeitspannen mit erheblich eingeschränkten Sielmöglichkeiten am Sperrwerk Leysiel* sowie aus der *Zunahme extremer Abflussspenden aus den Verbandsgebieten Norden und Emden* ergibt (s. Abb. 36).

Die im Rahmen von KLEVER-Risk diskutierte Anhebung des maximalen Einstaupegels um einen halben Meter von +1,5 m NHN auf +2,0 m NHN, durch die ein zusätzliches Volumen von ca. 2,5 Mio. m³ generiert werden könnte, würde hierfür langfristig womöglich nicht ausreichen. Dieses Volumen wäre bei einem potenziellen Meeresspiegelanstieg von rund 1 m bis zum Ende des Jahrhunderts (s. Kap. 3) nahezu vollständig alleine durch den Verlust an nutzbarem Retentionsvolumen aufgezehrt (s. Tab. 11), sodass zur Deckung des entstehenden Zusatzbedarfes an Speichervolumen kaum mehr etwas übrig bliebe. Als Übergangslösung für die nächsten Jahrzehnte bzw. als Teillösung im Rahmen einer Maßnahmenkombination wäre die Volumenvergrößerung des Speicherbeckens aber prinzipiell geeignet.

Bezüglich einer möglichen Realisierung wurden seitens der beteiligten Projektpartner allerdings mehrere Umsetzungshemmnisse bzw. -erschwernisse angeführt:

- Bei einer Anhebung des maximalen Einstaupegels des Speicherbeckens wäre aufgrund der zunehmenden Förderhöhen eine entsprechende Leistungsanpassung der Schöpfwerke Leybucht-siel und Greetsiel erforderlich, um deren Entwässerungsleistung aufrechterhalten zu können.
- Des Weiteren wären bei einer Anhebung des maximalen Einstaupegels entsprechende Objektschutzmaßnahmen für andernfalls von Wassereintritt betroffene bauliche Anlagen im Bereich des Speicherbeckens notwendig. Dies gilt insbesondere für das Sielgebäude und die Wohnhäuser (insb. Kellergeschosse) am Sperrwerk

Leysiel sowie ggfs. für das „Hafenkieker“-Gebäude im Greetsieler Hafen.

- Da die Anhebung des maximalen Einstaupegels mit einer Vergrößerung der potenziellen Überstauungsflächen und -tiefen in den Randbereichen des Speicherbeckens einhergehen würde (s. Abb. 37), wären zudem etwaige Auswirkungen auf die dortigen Nutzungsbelange zu berücksichtigen. Hierzu zählen insbesondere
 - mögliche Beeinträchtigungen der Schutzziele des Naturschutzgebietes Leyhörn aufgrund der Ausdehnung der potenziell von einer Überstauung betroffenen Flächen (insb. während der Brutsaison) sowie
 - mögliche Gefährdungen der Versorgungsinfrastrukturen (z. B. Stromanschlüsse) und Störungen der Betriebsabläufe im Greetsieler Hafen aufgrund größerer Überstauhöhen der Lösch- und Liegekajen.
- Außerdem wäre zu prüfen, ob höhere Einstaupegel im Speicherbecken eine Gefährdung für die Deichsicherheit (Durchnässung) oder die Statik baulicher Anlagen (z. B. Spundwände) darstellen könnten.

Schaffung von Retentionskapazitäten innerhalb der Verbandsgebiete

Durch Schaffung von Retentionskapazitäten innerhalb der Verbandsgebiete Norden und Emden wäre es möglich, einen Teil der Abflussmengen temporär im Binnenland zurückzuhalten und erst zeitversetzt zu entwässern. Auf diese Weise könnten sowohl die Schöpfwerke Leybucht-siel und Greetsiel als auch das Speicherbecken Leyhörn entlastet und damit in zweifacher Hinsicht künftige klimawandelbedingte Kapazitätsengpässe des betrachteten Systems abgepuffert werden. Je nach Umfang der geschaffenen Retentionsvolumina könnte diese Maßnahmenoption in unterschiedlich starkem Maße zur Deckung des künftigen Anpassungsbedarfes beitragen. Nähere Ausführungen hinsichtlich der Potenziale zur Schaffung von Retentionskapazitäten in den Verbandsgebieten Norden und Emden finden sich in Kapitel 5.2 sowie in den zugehörigen

Maßnahmensteckbriefen (EVN-1 bis EVN-6 bzw. EVE-1 bis EVE-10), die über die Projektwebsite (www.uol.de/klever-risk) abrufbar sind.

Entlastung der Schöpfwerke Leybucht siel und Greetsiel durch Errichtung zusätzlicher Pumpkapazitäten an anderen Standorten der Verbandsgebiete

Durch die Errichtung zusätzlicher Pumpkapazitäten an anderen Standorten der Verbandsgebiete Norden und Emden würde die Möglichkeit geschaffen, einen Teil der Gebietsabflüsse über andere Wege zu entwässern. Bei einer entsprechenden Dimensionierung der zusätzlichen Pumpkapazitäten könnte diese Maßnahmenoptionen sowohl eine Entlastung der Schöpfwerke Norden und Greetsiel als auch des Speicherbeckens Leyhörn bewirken und somit ebenfalls der Vermeidung künftiger Kapazitätsengpässe des betrachteten Systems dienen. Insbesondere für den Entwässerungsverband Norden, der mit dem Siel und Schöpfwerk Leybucht siel nur über ein Mündungsbauwerk verfügt, wäre die Realisierung eines zusätzlichen Schöpfwerksstandortes zudem mit einem Redundanzeffekt verbunden, da auf diese Weise bei einem möglichen Ausfall des Schöpfwerks Leybucht siel zumindest noch eine gewisse „Notentwässerung“ des Verbandsgebietes erfolgen könnte. Als potenzielle Standorte zur Errichtung zusätzlicher Pumpkapazitäten kämen im Norden Verbandsgebiet die Bereiche Neßmersiel oder Norddeich/Ostermarsch und im Emden Verbandsgebiet die Bereiche Pilsum oder Manslagt in Frage (s. hierzu auch Kap. 5.1).

Maßnahmenpriorisierung seitens der beteiligten Projektpartner

In den gemeinsamen Diskussionen der beteiligten Projektpartner hat sich als favorisierte Anpassungslösung für das betrachtete System eine Kombination der beiden Maßnahmenoptionen *Errichtung eines Schöpfwerks zur Regulation des Wasserstands im Speicherbecken und Schaffung von Retentionskapazitäten in den Verbandsgebieten Norden und Emden* herauskristallisiert. Letzteres wird vor allem dann als besonders sinnvoll angesehen, wenn mögliche Retentionskapazitäten neben ihrer Hochwasserentlastungsfunktion zusätzlich auch einem künftigen integrierten Wassermengenmanagement dienen könnten.



Außenmuhde am Sperrwerk Leysiel

5.4 Anpassung der Entwässerungsinfrastruktur im Bereich „Emder Wasserspiele“ & Ems-Jade-Kanal

Systembeschreibung

Die Bezeichnung „**Emder Wasserspiele**“ wird als Umschreibung für die komplexe Entwässerungsinfrastruktur im Umfeld des Emder Hafens verwendet. Dort treffen mit dem von NPorts betriebenen Hafenbereich, den vom NLWKN unterhaltenen Gewässern Ems-Jade-Kanal, Verbindungskanal und Emder Vorflutkanal sowie den angrenzenden Vorflutsystemen der Entwässerungsverbände Emden und Oldersum **vier unterschiedliche Wasserstandshaltungen** aufeinander (s. Karte). Neben diversen **Schleusen-, Abschlags- und Dükerbauwerken** stellt insbesondere das vom NLWKN betriebene **Mündungsbauwerk in Borssum** einen wichtigen Bestandteil dieses Systems dar.

Die zentrale wasserwirtschaftliche Funktion des Gesamtsystems besteht darin, die über den **Ems-Jade-Kanal** in Richtung Emden erfolgende **Entwässerung des Verbandsgebietes Aurich** zu gewährleisten (s. Infokasten: Ems-Jade-Kanal). Im Regelfall werden die Abflussmengen des Ems-Jade-Kanals durch die Kesselschleuse in den **Emder Hafen** und von dort aus durch die Umlaufkanäle der Großen Seeschleuse im freien Gefälle in die Ems abgeleitet (s. Infokasten: Emder Hafen). Sofern eine Entwässerung über diesen Weg mangels Fließgefälle nicht möglich ist, werden die Abflüsse mit Hilfe der am Ems-Jade-Kanal und am abzweigenden Verbindungskanal gelegenen Abschlagsbauwerke in den Emder Vorflutkanal abgeführt und von dort aus über das **Schöpfwerk Borssum** in die Ems gepumpt (s. Infokasten: Schöpfwerk Borssum). Dies ist in der Regel lediglich bei langanhaltenden Regenereignissen kombiniert mit starken Westwindlagen erforderlich, da dann

- wegen hoher Tidewasserstände in der Ems nur eine eingeschränkte Entwässerung über die Umlaufkanäle der Großen Seeschleuse möglich ist und/oder
- aufgrund von Windstauwirkungen im Ems-Jade-Kanal an der Kesselschleuse kein wirksames Fließgefälle in Richtung Hafen vorhanden ist.

Im Bedarfsfall kann überschüssiges Wasser aus dem Ems-Jade-Kanal zur Entlastung des Schöpfwerks Borssum auch in die angrenzenden Vorflutgewässer der **Entwässerungsverbände Emden und Oldersum** abgeschlagen und über deren Mündungsbauwerke entwässert werden. Der Wasserabschlag aus dem Ems-Jade-Kanal in die beiden Verbandsgebiete ist dabei über folgende Wege möglich:

- über die Schütze der Kesselschleuse in den Emder Stadtgraben (I. EV Emden) und in das Fehntjer Tief (EV Oldersum),
 - über die Schütze der Verbindungsschleuse in die untere Haltung des Verbindungskanals (EV Oldersum),
 - über die Abschlagsbauwerke am Ems-Jade-Kanal und am Verbindungskanal in den Emder Vorflutkanal und von dort aus durch den unter dem Ems-Jade-Kanal verlaufenden Düker in den Borssumer Kanal (I. EV Emden)
- Da der Düker unter dem Ems-Jade-Kanal dauerhaft geöffnet ist, kommt der letztgenannte Weg zwangsläufig auch in solchen Fällen zum Tragen, in denen das Schöpfwerk Borssum die aus dem Ems-Jade-Kanal in den Emder Vorflutkanal abgeschlagenen Wassermengen (s. o.) aufgrund bestehender Kapazitätsengpässe (s. Infokasten: Schöpfwerk Borssum) nicht vollständig bewältigen kann.

In umgekehrter Weise kann das Schöpfwerk Borssum in Notsituationen aber prinzipiell auch zur Unterstützung der Entwässerung der Verbandsgebiete Emden und Oldersum eingesetzt werden. Während der I. EV Emden mit der unter dem Ems-Jade-Kanal verlaufenden Dükerverbindung zwischen dem Borssumer Kanal und dem Emder Vorflutkanal über eine direkte Anbindung nach Borssum verfügt, kann der EV Oldersum für diesen Zweck auf ein kleines Abschlagsbauwerk an der Borssumer Schleuse zurückgreifen, über das jedoch nur sehr geringe Mengen an Wasser in den Emder Vorflutkanal abgeführt und dem Schöpfwerk Borssum zugeleitet werden können.

Des Weiteren besteht in Ausnahmesituationen die Möglichkeit für einen **Wassertransfer** zwischen den Verbandsgebieten Oldersum und Emden. Aufgrund der unterschiedlichen Sollwasserstände in den jeweiligen Vorflutsystemen sind die Voraussetzungen für den EV Oldersum dabei deutlich günstiger. Für ihn ist es möglich, Wasser im vorhandenen Gefälle durch die Kesselschleuse in das benachbarte Emder Verbandsgebiet abzuführen. Umgekehrt ist der I. EV Emden aufgrund des niedrigeren Sollwasserstands allenfalls bei Hochwassersituationen in der Lage, auf diesem Wege Wasser in das Vorflutsystem des EV Oldersum abzuleiten. Im Falle eines Wassertransfers zwischen den beiden Verbänden besteht allerdings das generelle Problem, dass dann der Abflussweg des Ems-Jade-Kanals durch die Kesselschleuse in den Emder Hafen unterbrochen ist.



Ems-Jade-Kanal

Der vom **NLWKN** (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) unterhaltene Ems-Jade-Kanal dient neben seiner Funktion als Binnenwasserstraße als **Hauptvorfluter für den Entwässerungsverband Aurich**. Von den insgesamt rund 186 km² Verbandsgebietsfläche werden ca. 126 km² in **Richtung Emden** und ca. 60 km² in **Richtung Wilhelmshaven** entwässert (s. nebenstehende Karte). Zur Überwindung von Geländehöhenunterschieden ist der Ems-Jade-Kanal in mehrere **Stauhaltungen** unterteilt, die durch **Schleusen** voneinander getrennt sind. Im Bereich des Geestrückens zwischen den Schleusen Rahe und Wiesede ist der Kanal in das Gelände eingeschnitten, entlang der übrigen Strecke verläuft er als Damm- bzw. Hochkanal. Die Scheitelhaltung des Ems-Jade-Kanals befindet sich zwischen den Schleusen Wiesens und Upschört. Da diese Haltung vollständig in östliche Richtung entwässert, markiert die Schleuse Wiesens die Entwässerungsgrenze des Kanals: Westlich davon wird überschüssiges Wasser nach Emden und östlich davon nach Wilhelmshaven abgeführt (s. nebenstehende Karte).

In den nach Emden entwässernden Teil des Ems-Jade-Kanals mündet unterhalb der Schleuse Rahe der ebenfalls vom NLWKN unterhaltene **Ringkanal** ein, der die Abflüsse der Sandhorster Ehe und des Abelitz-Moordorf-Kanals aufnimmt. Der Ringkanal ist durch das Stauwehr Debelts in zwei Stauhaltungen unterteilt (s. nebenstehende Karte).

Im Falle hoher Abflussmengen aus dem Auricher Verbandsgebiet kommt es insbesondere bei gleichzeitig auftretenden starken Westwindlagen wiederkehrend zu rückstaubedingten Hochwassersituationen im Ems-Jade-Kanal, die sich über den Ringkanal bis in die Sandhorster Ehe und in den Abelitz-Moordorf-Kanal fortsetzen. Dies führt zu unterschiedlichen **Problemlagen**:

- Im Abschnitt des Ems-Jade-Kanals zwischen der Kesselschleuse und der Schleuse Rahe steigt der Wasserstand in oben beschriebenen Situationen um mehrere Dezimeter an. Dies hat zur Folge, dass es im unterhalb der Schleuse Rahe einmündenden Ringschloot ebenfalls zu einem entsprechenden Rückstau kommt, der in angrenzenden Siedlungsbereichen lokale Überstauungen von Straßen und Grundstücksflächen nach sich ziehen kann. Im Bereich Riepe wurde zudem Anfang der 2000er

Jahre infolge eines um 70 bis 80 cm erhöhten Wasserstands der Damm des Ems-Jade-Kanals überströmt. Im Nachgang wurden die Dämme entsprechend erhöht.

- Auch im Ringkanal kommt es in solchen Situationen zu erheblichen Rückstauwirkungen, die durch bestehende Abflussengstellen in Form nicht ausreichend dimensionierter Brückendurchlässe noch zusätzlich verstärkt werden. Am Stauwehr Debelts gleichen sich das Ober- und Unterwasser dann an. Bei der niederschlagsreichen Wintersturm-Serie im Februar 2022 mit drei aufeinanderfolgenden Sturmtiefs innerhalb weniger Tage wurde dort ein Hochwasserstand von +2,6 m NHN erreicht. Der Ringkanal war stellenweise bordvoll und es fehlte zum Teil nicht mehr viel, bevor das Wasser über den Damm getreten wäre.
- Der Rückstau im Ringkanal wirkt sich bis in die Sandhorster Ehe und in den Abelitz-Moordorf-Kanal und dort wiederum bis in die einmündenden Gräben aus, die dann häufig bordvoll sind. In angrenzenden Niederrubereichen kommt es mitunter zu lokalen Überschwemmungen.



Ems-Jade-Kanal in Wolthusen (Emden)

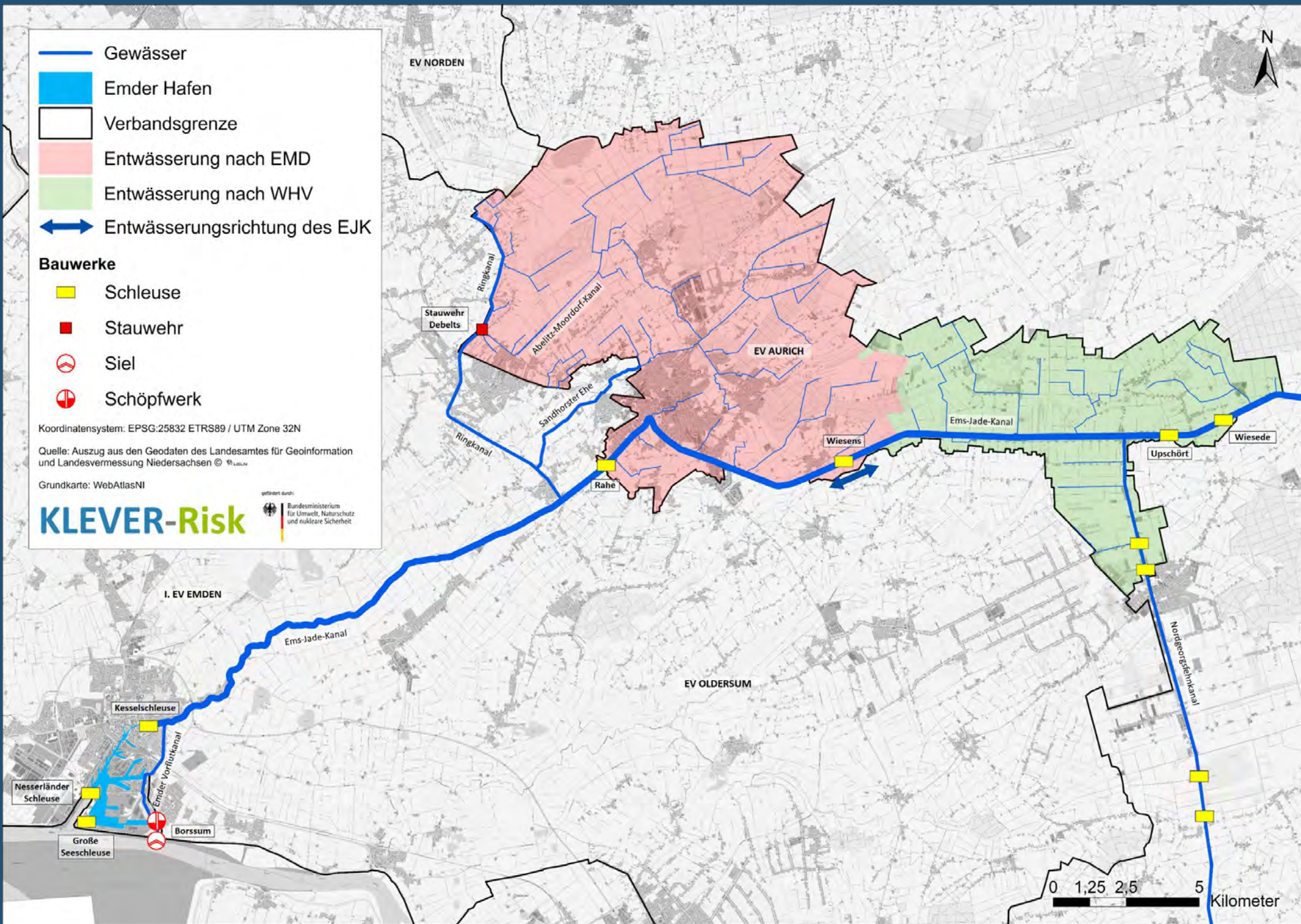


Schleuse Rahe



Rückstauwirkungen bei Hochwasser im Ems-Jade-Kanal

(Foto: NLWKN)



Düker des Emder Vorflutkanals		Kapazität	Tab. 12: Düker- und Ab- schlagsbauwerke im Be- reich der „Emder Wasser- spiele“ (Quelle der Kapazi- tätsangaben: NLWKN)
Düker unter dem Ems-Jade-Kanal		ca. 80 m³/s	
Düker unter dem Fehntjer Tief		ca. 40 m³/s	
Düker unter der Borssumer Schleuse		ca. 55 m³/s	
Abschlagsmöglichkeiten des Ems-Jade-Kanals		Kapazität	aufnehmendes Gewässer
Abschlagsbauwerk in Wolthusen		ca. 10-12 m³/s	Emder Vorflutkanal
Abschlagsbauwerk am Verbindungskanal		ca. 10-12 m³/s	Emder Vorflutkanal
Kesselschleuse	Schütze in Richtung des I. EVE	ca. 9-10 m³/s	Emder Stadtgraben
	Schütze in Richtung des EVO	ca. 9-10 m³/s	Fehntjer Tief
Schütze der Verbindungsschleuse		ca. 18 m³/s	Fehntjer Tief
Abschlagsmöglichkeit des EV Oldersum		Kapazität	aufnehmendes Gewässer
Abschlagsbauwerk an der Borssumer Schleuse		k. A. (gering)	Emder Vorflutkanal



Emder Hafen

Neben seiner hafenwirtschaftlichen Funktion dient der von **NPorts** (Niedersachsen Ports) betriebene Emder Hafen (dessen Sollwasserstand +1,1 m NHN beträgt) auch als regulärer **Entwässerungsweg für den Ems-Jade-Kanal** (dessen Sollwasserstand oberhalb der Kesselschleuse bei +1,2 m NHN liegt), indem die in den Binnenhafen zufließenden Abflussmengen über die **Umlaufkanäle der Großen Seeschleuse** im freien Gefälle in die Ems abgeführt werden.

Bei normalen Tideverhältnissen (MTnw: -1,8 m NHN; MThw: +1,5 m NHN) ist die Entwässerung des Ems-Jade-Kanals auf diesem Wege problemlos möglich, da die beiden Umlaufkanäle (selbst bei geringen Wasserstandsunterschieden zwischen Binnenhafen- und Außenwasserstand) hohe Durchflussleistungen aufweisen (s. Abb. 38). Zur Überbrückung der Zeiträume des Tidehochwassers und der mehrmals täglich stattfindenden Schiffsschleusungen, während derer die Umlaufkanäle der Großen Seeschleuse nicht zur Entwässerung genutzt werden können, verfügt der Binnenhafen zudem über ein **Retentionsvolumen** von bis zu ca. 550.000 m³. Dieses Volumen resultiert aus

der potenziell nutzbaren Speicherlamelle (bis zu 30 cm) zwischen dem realisierbaren Minimal- und Maximalwasserstand (+0,9 m NHN bzw. +1,2 m NHN) des Binnenhafens, dessen Wasserfläche ca. 184 ha umfasst. In welchem Umfang dieses Retentionsvolumen in der Praxis tatsächlich ausgeschöpft werden kann, ist allerdings abhängig von den erforderlichen Tauchtiefen der im Binnenhafen abzufertigenden Schiffe. Bei Schiffen mit großem Tiefgang kann der Hafenwasserstand nicht in jedem Fall bis zum generellen Minimalpegel von +0,9 m NHN abgesenkt werden, so dass sich die nutzbare Speicherlamelle und das daraus resultierende Retentionsvolumen entsprechend verringern.

Bei **Sturmflutkettentiden** sind die Entwässerungsmöglichkeiten des Ems-Jade-Kanals über den Emder Hafen stark eingeschränkt, da die Tidewasserstände dann nur vergleichsweise kurz oder sogar gar nicht unter den Wasserstand des Binnenhafens fallen (s. Abb. 41 auf Seite 63). In solchen Situationen muss die Kesselschleuse in Richtung Emder Hafen geschlossen und der Abfluss aus dem Ems-Jade-Kanal zum **Schöpfwerk Borssum** oder in die Vorflutsysteme der angrenzenden **Entwässerungsverbände Emden und/oder Oldersum** abgeschlagen werden.

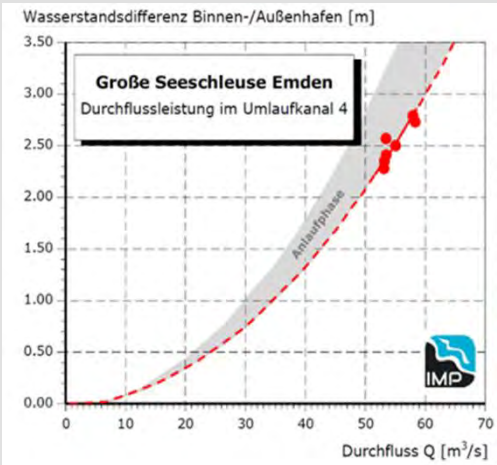


Abb. 38: Durchflussleistung eines der beiden Umlaufkanäle der Großen Seeschleuse im Emder Hafen (Quelle: IMP Ingenieure GmbH & Co. KG (2020): Durchführung und Auswertung einer Durchflussmessung im Umlaufkanal der Großen Seeschleuse Emden – Mess- und Ergebnisdokumentation; bereitgestellt von NPorts)

Schöpfwerk Borssum

Das Schöpfwerk Borssum wurde 1929 errichtet und wird seit 1997 als landeseigene Anlage vom **NLWKN** (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) unterhalten und betrieben. Es verfügt über drei Pumpen mit einer maximalen Förderleistung von jeweils 9 bis 10 m³/s, die seit der Inbetriebnahme im Jahr 1929 bis heute im Einsatz sind und mittlerweile ein Alter von fast 100 Jahren aufweisen.

Aufgrund der nachfolgend beschriebenen Umstände kann das Schöpfwerk Borssum im Ernstfall nicht durchgängig auf Volllast betrieben werden, sodass es bei der Entwässerung des Ems-Jade-Kanals wiederholt zu **Kapazitätsengpässen** kommt:

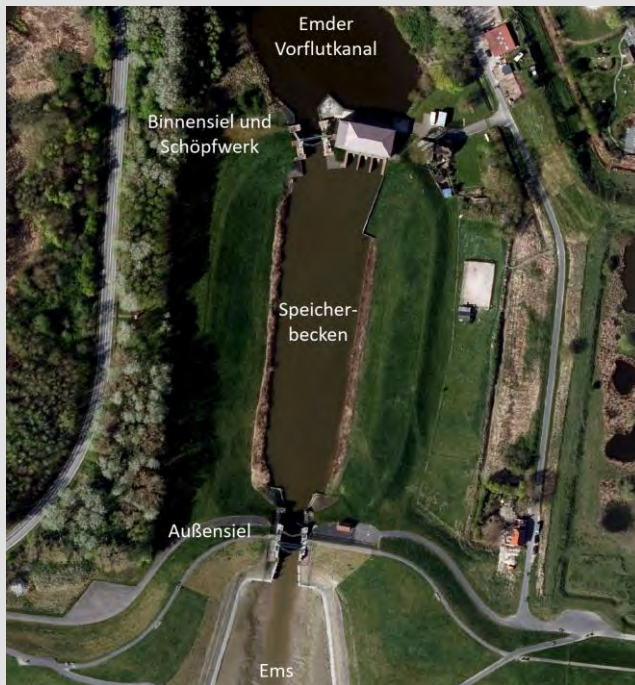


Abb. 39: Siel und Schöpfwerk Borssum (Orthophoto: LGLN)

- 1) Der Durchlass der über den Emdor Vorflutkanal verlaufenden Eisenbahnbrücke der Strecke Emden – Leer stellt eine **Abflussengstelle** dar, die dazu führt, dass es bei einem Volllastbetrieb des Schöpfwerks Borssum zu einem **Rückstau im Emdor Vorflutkanal** kommt und nicht genügend Wasser nachfließen kann. Die eingeschränkte Vorflutsituation hat zur Folge, dass bei längerem Betrieb nur noch zwei der drei Schöpfwerkspumpen gleichzeitig genutzt werden können und sich die Förderleistung des Schöpfwerks somit um ein Drittel reduziert.
- 2) Die Lage des Schöpfwerks Borssum, das sich in „zweiter Linie“ hinter dem vorgelagerten Außensiel befindet (s. Abb. 39), geht mit erheblichen **Limitationen der Entwässerungskapazitäten** einher. Diese resultieren daraus, dass das Schöpfwerk nicht direkt in die Ems, sondern in das zwischen Binnen- und Außensiel gelegene Speicherbecken pumpt. Je nach Außenwasserstand in der Ems stellt sich die Situation folgendermaßen dar:
 - Bei Außenwasserständen unterhalb des mittleren Tidehochwassers von +1,5 m NHN bleibt das Außensiel durchgehend geöffnet, sodass die Pumpmengen des Schöpfwerks ungehindert in die Ems abfließen können und – abgesehen von der eingeschränkten Vorflutsituation (s. o.) – noch keine Limitationen entstehen.
 - Bei Außenwasserständen oberhalb des mittleren Tidehochwassers von +1,5 m NHN wird das Außensiel hingegen temporär geschlossen. Die Pumpmengen des Schöpfwerks können dann nur noch durch die Schütze des Außensiels in die Ems entwässert werden. Deren Durchflussleistungen werden von der jeweiligen Höhendifferenz (Gefällewirkung) zwischen dem aufgepumpten Einstaupegel des Speicherbeckens und dem Außenwasserstand der Ems bestimmt. Um eine ausreichende Gefällewirkung zu

erzeugen, sind entsprechend hohe Einstaupegel erforderlich, die jedoch zu förderhöhenbedingten Leistungsverlusten der Schöpfwerkspumpen führen. Da die realisierbare Gefällewirkung durch den maximalen Einstaupegel im Speicherbecken (+3,3 m NHN) nach oben begrenzt ist, tritt bei hohen Außenwasserständen zudem die Situation ein, dass die noch erzielbare Durchflussleistung der Schütze des Außensiels zunehmend geringer ausfällt als die potenzielle Förderleistung des Schöpfwerks, woraufhin dieses entsprechend gedrosselt werden muss. Die geschilderten Umstände führen insgesamt zu deutlichen Einschränkungen der Entwässerungskapazitäten des Schöpfwerks Borssum bei geschlossenem Außensiel.

- Bei Sturmflutwasserständen oberhalb des Maximalinstaupegels des Speicherbeckens von +3,3 m NHN muss das Schöpfwerk vollständig abgeschaltet werden, da über die Schütze des Außensiels dann keinerlei Entwässerung mehr möglich ist. Der maximale Einstaupegel ist dadurch begründet, dass es oberhalb eines Wasserstandes von +3,3 m NHN im Speicherbecken zu einer Durchnässung der Stauwand des Schöpfwerks kommen würde. Die Schöpfwerkspumpen hingegen wären technisch in der Lage, auch noch einige Dezimeter höher zu fördern, wobei die potenzielle Leistung bei derartigen Förderhöhen nur noch relativ gering ausfallen würde (ca. 4 m³/s pro Pumpe).
- 3) Das zwischen Schöpfwerk und Außensiel gelegene **kleine Speicherbecken** verfügt über ein maximales Fassungsvermögen von nur rund 55.000 m³. Es hat keine nennenswerte Retentionsfunktion für die Entwässerung des Ems-Jade-Kanals, durch die die vorgenannten Limitationen abgepuffert werden könnten.

Auswirkungen des Klimawandels auf das System

Wie in Abbildung 40 dargestellt, werden sowohl der Anstieg des Meeresspiegels als auch die klimawandelbedingten Veränderungen des Niederschlagsregimes verschiedene Wirkfolgen auf das betrachtete System haben und – sofern keine Anpassungsmaßnahmen vorgenommen werden – zu folgenden Konsequenzen führen:

zunehmende Kapazitätsengpässe bei der Entwässerung des Ems-Jade-Kanals

Die Entwässerungsmöglichkeiten des Ems-Jade-Kanals sind abhängig von den vorherrschenden Tidewasserständen in der Ems (s. Abb. 41): Bei Tidewasserständen bis knapp unterhalb des Hafenwasserstands, d. h. bis etwa +1,0 m NHN, können die anfallenden Abflussmengen in vollem Umfang über den Emder Hafen abgeführt werden (s. Infokasten: Emder Hafen). Bei Tidewasserständen zwischen +1,0 und +3,3 m NHN kommt hingegen das Schöpfwerk Borssum zum Einsatz. Aufgrund der bestehenden Limitationen ist die Entwässerung des Ems-Jade-Kanals während solcher Zeiträume nur in eingeschränktem Umfang möglich (s. Infokasten: Schöpfwerk Borssum). Bei Sturmfluttidewasserständen oberhalb von +3,3 m NHN, bei denen das Schöpfwerk Borssum vollständig abgeschaltet werden muss, kann lediglich noch ein Notabschlag in die angrenzenden Vorflutsysteme der Entwässerungsverbände Emden und/oder Oldersum erfolgen.

Wie in Abbildung 41 dargestellt, wird der Anstieg des Meeresspiegels insbesondere bei Kettentiden zu einer *Abnahme der Entwässerungsmöglichkeiten über den Emder Hafen* und zu einer entsprechenden *Zunahme der Entwässerungsbedarfe über das Schöpfwerk Borssum* führen. Gleichzeitig wird es infolge zunehmender Förderhöhen und längerer Abschaltzeiten aufgrund von Sturmflutwasserständen oberhalb von +3,3 m NHN zu einer *Reduktion der (ohnehin schon eingeschränkten) Entwässerungsleistung des Schöpfwerks Borssum* kommen (s. hierzu auch

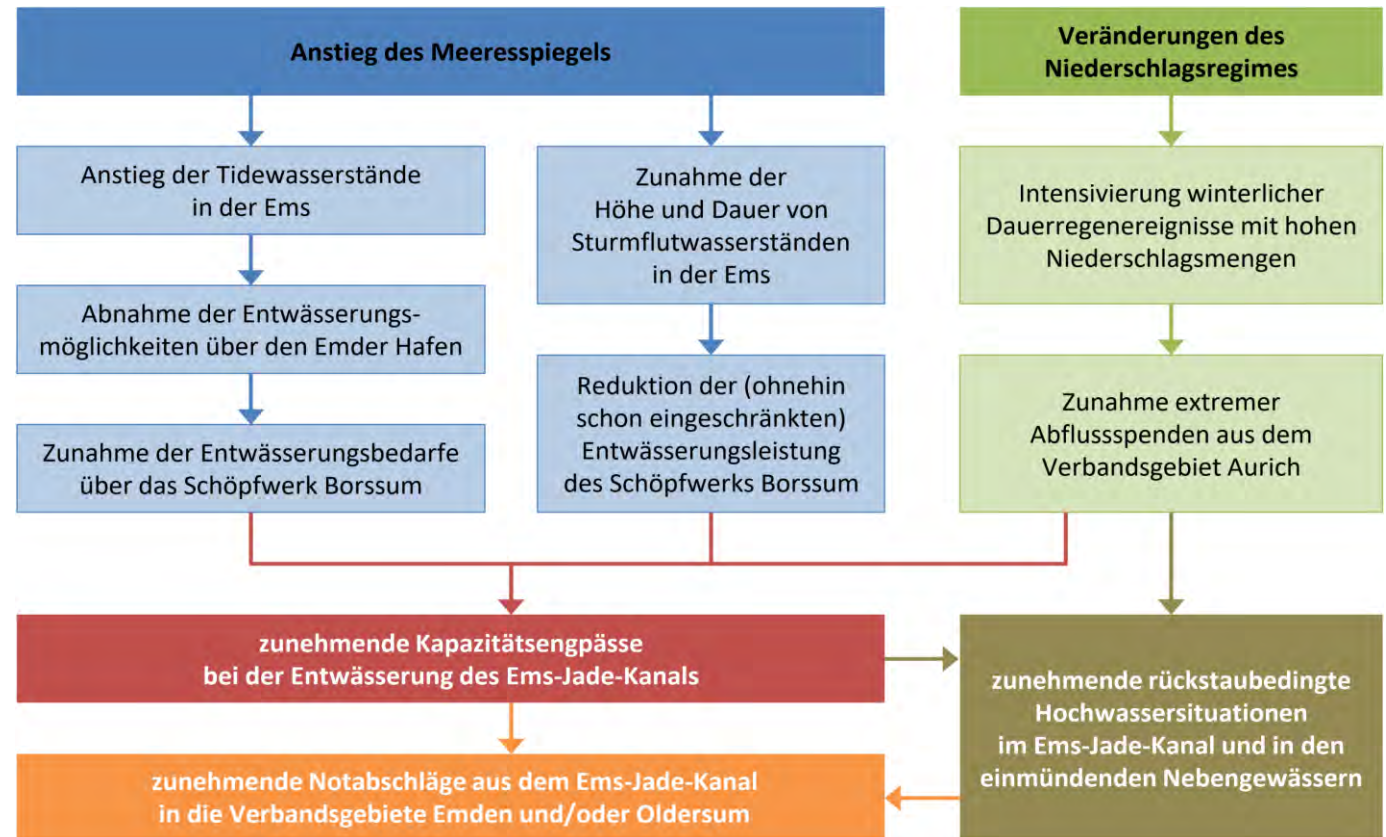


Abb. 40: Auswirkungen des Klimawandels auf das betrachtete System

Kap. 3: Veränderung der Entwässerungsleistung der Siel- und Schöpfwerke), sodass insbesondere bei Kettentidenereignissen von deutlich zunehmenden Kapazitätsengpässen bei der Entwässerung des Ems-Jade-Kanals auszugehen ist. Zusätzlich verstärkt wird diese Entwicklung durch die klimawandelbedingte *Zunahme extremer Abflussspenden aus dem Verbandsgebiet Aurich*.

Weitergehende Ausführungen zu den resultierenden Veränderungen der Überlastungshäufigkeiten und -volumina des betrachteten Systems infolge des Klimawandels finden sich in Kapitel 3.

zunehmende Notabschläge aus dem Ems-Jade-Kanal in die Verbandsgebiete Emden und/oder Oldersum

In Extremsituationen, in denen weder über den Emder Hafen noch über das Schöpfwerk Borssum eine ausreichende Entwässerung des Ems-Jade-Kanals gewährleistet werden kann, sind über verschiedene Wege Notabschläge in die angrenzenden Vorflutsysteme der Entwässerungsverbände Emden und/oder Oldersum möglich (s. Systembeschreibung). Auf diese Weise können kritische Wasserstände im Ems-Jade-Kanal und dessen Nebengewässern verhindert werden, die unter Umständen zu einer unkontrollierten

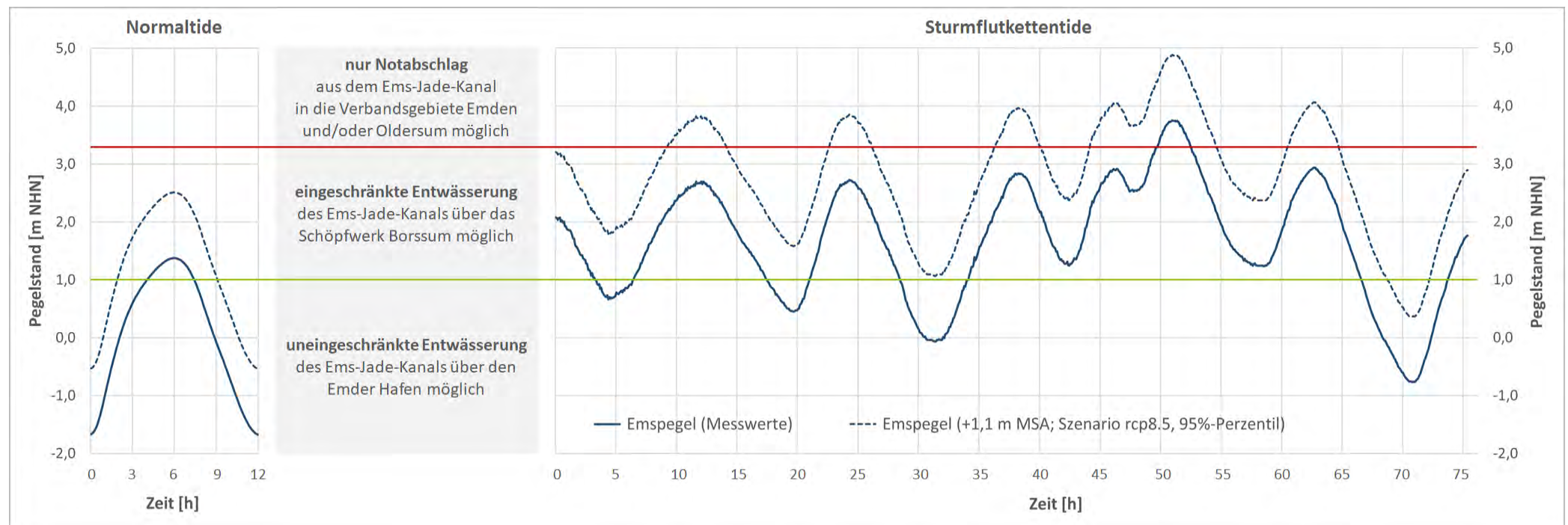
Überströmung der Dämme bis hin zu möglichen Dammbrüchen führen könnten. In den aufnehmenden Entwässerungssystemen der angrenzenden Verbandsgebiete, die in solchen Situationen häufig bereits selbst an ihre Kapazitätsgrenzen stoßen, bewirken derartige Notabschläge allerdings entsprechende Mehrbelastungen. So geschehen zuletzt während der niederschlagsreichen Wintersturmserie im Februar 2022, als der I. EV Emden einen Teil der Abflussmengen des Ems-Jade-Kanals aufnehmen musste, obwohl in den eigenen Vorflutgewässern bereits kritische Hochwasserstände erreicht waren. Infolge der klimawandelbedingt zunehmenden Kapazitätsengpässe bei der Entwässerung des Ems-Jade-Kanals (s. o.) und zunehmender rückstaubedingter Hochwassersituationen (s. u.) werden künftig ohne Anpassungsmaßnahmen auch die resultierenden Notabschläge in die Verbandsgebiete Emden und/oder Oldersum größer werden.

zunehmende rückstaubedingte Hochwassersituationen im Ems-Jade-Kanal und in den einmündenden Gewässern

Im Falle hoher Abflussmengen aus dem Auricher Verbandsgebiet kommt es insbesondere bei gleichzeitig auftretenden starken Westwindlagen wiederkehrend zu Rückstau-effekten im Ems-Jade-Kanal, die sich über den Ringkanal bis in die Sandhorster Ehe und in den Abelitz-Moordorf-Kanal fortsetzen und zu unterschiedlichen Problemlagen führen können (s. Infokasten: Ems-Jade-Kanal). Aufgrund der klimawandelbedingten Zunahme extremer Abflussspenden aus dem Verbandsgebiet Aurich und einer eventuellen Intensivierung damit einhergehender Westwindlagen wird sich die Wahrscheinlichkeit rückstaubedingter Hochwassersituationen im Ems-Jade-Kanal und in den einmündenden Nebengewässern künftig erhöhen. Zusätzlich verschärft wird diese Entwicklung durch die zunehmenden

Kapazitätsengpässe bei der Entwässerung des Ems-Jade-Kanals (s. o.), die zu reduzierten Absenkungsmöglichkeiten des Wasserstands in der unteren Stauhaltung (Kesselschleuse bis Schleuse Rahe) und damit zu schnelleren und stärkeren Rückstauwirkungen führen werden.

Abb. 41: Entwässerungsmöglichkeiten des Ems-Jade-Kanals bei Normaltide- und Sturmfluttidewasserständen (Referenz-Kettentide von Januar 2012), dargestellt mit und ohne Meeresspiegelanstieg von +1 m



Maßnahmenoptionen zur Anpassung des Systems

Zur Anpassung des bestehenden Systems an die skizzierten Auswirkungen des Klimawandels wurden seitens der an KLEVER-Risk beteiligten Projektpartner verschiedene Maßnahmenoptionen vorgeschlagen, die sich in folgende vier Kategorien unterteilen lassen und im Folgenden näher betrachtet werden:

- Optimierung der vorausschauenden Wasserstandsabsenkung im Emder Hafen, Ems-Jade-Kanal und Ringkanal,
- Erweiterung von Pumpkapazitäten zur Sicherung der Entwässerungsmöglichkeiten des Systems,
- Schaffung von Retentionskapazitäten zur gezielten Hochwasserentlastung des Systems,
- Verminderung von Rückstauwirkungen im Ringkanal

Optimierung der vorausschauenden Wasserstandsabsenkung im Emder Hafen, Ems-Jade-Kanal und Ringkanal

Sowohl im Emder Hafen als auch in den einzelnen Stauhaltungsabschnitten des Ems-Jade-Kanals und des Ringkanals besteht die Möglichkeit, die jeweiligen Sollwasserstände im Bedarfsfall temporär bis auf bestimmte Minimalpegel abzusenken (s. Tab. 13). Auf diese Weise kann zum einen das Fließgefälle erhöht und zum anderen das Retentionsvolumen zur temporären Speicherung von Abflussmengen aus dem Auricher Verbandsgebiet vergrößert werden, wodurch sowohl rückstaubedingte Hochwassersituationen als auch Engpässe der bestehenden Entwässerungskapazitäten reduziert werden können. Wie Tabelle 13 zeigt, weisen vor allem der Emder Hafen und die untere Stauhaltung des Ems-Jade-Kanals zwischen Kesselschleuse und Schleuse Rahe erhebliche zusätzliche Retentionspotenziale auf, die durch eine vorausschauende Absenkung der Sollwasserstände prinzipiell nutzbar gemacht werden können. In welchem Umfang die Retentionspotenziale des Emder Hafens in der Praxis tatsächlich ausgeschöpft wer-

den können, ist allerdings von den erforderlichen Tauchtiefen der zum jeweiligen Zeitpunkt abzufertigenden Schiffe abhängig. Nicht jederzeit ist im Emder Hafen eine Wasserstandsabsenkung bis auf den Minimalpegel von +0,9 m NHN möglich (s. Infokasten: Emder Hafen). Von diesen Einschränkungen ist auch die untere Stauhaltung des Ems-Jade-Kanals betroffen, die über den regulären Abflussweg nur dann bis auf ihren Minimalpegel von +0,95 m NHN abgesenkt werden kann, wenn an der Kesselschleuse ein ausreichendes Fließgefälle in den Emder Hafen vorhanden ist. Andernfalls kann eine vorausschauende Absenkung dieser Stauhaltung nur durch einen entsprechenden Wasserabschlag zum Schöpfwerk Borssum oder in die angrenzenden Verbandsgebiete Emden bzw. Oldersum erfolgen.

Um die grundsätzlich vorhandenen Potenziale zur temporären Absenkung des Wasserstands im Emder Hafen künftig optimal nutzen zu können, wurde von den Projektpartnern eine verbesserte Kommunikation und Abstimmung zwischen NLWKN und NPorts hinsichtlich der jeweiligen

Tab. 13: Abschätzung der Retentionsvolumina des betrachteten Systems

Gewässer	Stauhaltungsabschnitt	Sollwasserstand (Winter) [m NHN]	Gewässerfläche (ALKIS) [ha]	Retentionsvolumen innerhalb des Systems bei Erreichen des kritischen Hochwasserpegels			zusätzliches Retentionsvolumen bei vorheriger Absenkung	
				kritischer Hochwasserpegel [m NHN]		Retentionsvolumen berechnet auf Basis der ALKIS-Gewässerfläche [Mio. m³]	realisierbarer Absenkpegel (temporär) [m NHN]	Retentionsvolumen berechnet auf Basis der ALKIS-Gewässerfläche [Mio. m³]
				„unten“ in der Haltung	„oben“ in der Haltung			
Emder Hafen	Große Seeschleuse ↔ Kesselschleuse	+1,10	184	+1,20	+1,20	0,18	+0,90	0,37
Ems-Jade-Kanal	Kesselschleuse ↔ Schleuse Rahe	+1,20	52	+1,40	+1,75	0,19	+0,95	0,13
	Schleuse Rahe ↔ Schleuse Wiesens	+3,20	21	+3,45	+3,70	0,08	+3,00	0,04
Ringkanal	Einmündung Ems-Jade-Kanal ↔ Wehr Debelts	+1,20	12	+1,75	+2,60	0,12	+0,95	0,03
	Wehr Debelts ↔ oberes Ende des Ringkanals	+1,95	4	+2,60	+2,80	0,03	+1,50	0,02
Summe			273			0,60		0,59

situationsbedingten wasser- und hafenwirtschaftlichen Anforderungen angeregt. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Erfassung und der gegenseitige Austausch der für ein entsprechendes Wasserstandsmanagement erforderlichen Echtzeit-Daten. Als Ansätze in diese Richtung sind das von Seiten NPorts im Rahmen des NON-STOP-Projektes geplante Dashboard für ein koordiniertes Sediment- und Wassermanagement im Emden Hafen sowie das in KLEVER-Risk angestoßene verbandsübergreifende Pegelinformationssystem (s. Kap. 5.6), das perspektivisch zu einem Wassermanagement-Informationssystem ausgebaut werden könnte, zu nennen.

Aufgrund der genannten Zielkonflikte zwischen den wasserwirtschaftlichen und den prioritären hafenwirtschaftlichen Interessen (Gewährleistung ausreichender Tauchtiefen im Hafenbecken) sind die Optimierungspotenziale des Wasserstandsmanagements im Emden Hafen insgesamt jedoch als eher gering einzuschätzen.

Erweiterung von Pumpkapazitäten zur Sicherung der Entwässerungsmöglichkeiten des Systems

Eine Erweiterung der Pumpkapazitäten würde die Voraussetzungen dafür schaffen, auch in jenen Situationen eine ausreichende Entwässerung des Ems-Jade-Kanals sicherstellen zu können, in denen 1.) der reguläre Entwässerungsweg über den Emden Hafen nicht genutzt werden kann und 2.) das bestehende Schöpfwerk in Borssum aufgrund der dortigen Limitationen überlastet ist.

Im Rahmen von KLEVER-Risk wurden seitens der beteiligten Projektpartner verschiedene Maßnahmenoptionen zum Ausbau der Pumpkapazitäten benannt, mit Hilfe derer potenzielle Kapazitätsengpässe bei der Entwässerung des Ems-Jade-Kanals und daraus resultierende Notabschläge in die Vorflutsysteme der angrenzenden Entwässerungsverbände Emden und Oldersum vermindert werden könnten.



Binnensiel und Schöpfwerk in Borssum

- **Ersatzneubau des Schöpfwerks Borssum:** Wie im Infokasten auf Seite 61 beschrieben, kann das vorhandene Schöpfwerk in Borssum aufgrund verschiedener Limitationen im Ernstfall nicht durchgängig auf Volllast betrieben werden, sodass bei der Entwässerung des Ems-Jade-Kanals wiederholt Kapazitätsengpässe auftreten, die aufgrund des Meeresspiegelanstiegs und der klimawandelbedingten Veränderungen des Niederschlagsregimes künftig zunehmen werden. Um die bestehenden Limitationen auszuräumen und den Folgen des Klimawandels entgegenzuwirken, wurde seitens der beteiligten Projektpartner ein leistungsstarker Ersatzneubau des nunmehr fast 100 Jahre alten Schöpfwerks vorgeschlagen, der nicht wie bisher in „zweiter Reihe“ hinter dem Außensiel, sondern direkt in der Hauptdeichlinie platziert sein sollte. Zusätzlich wäre die Abflussengstelle des Emden Vorflutkanals im Bereich der Eisenbahnbrücke (s. Infokasten: Schöpfwerk Borssum) zu beheben.

Ein Neubau des Schöpfwerks Borssum böte die Option, dieses als verbandsübergreifend nutzbares Bauwerk zu konzipieren und zu dimensionieren. Ein solches Schöpfwerk würde nicht mehr nur allein der Entwässerung des Ems-Jade-Kanals dienen, sondern könnte zusätzlich auch eine Entwässerungsfunktion für die Verbandsgebiete Emden und/oder Oldersum übernehmen. Neben der damit verbundenen Steigerung der nutzbaren Pumpkapazitäten würde sich zudem die Redundanz der Entwässerungssysteme erhöhen.

Während der I. EV Emden mit der unter dem Ems-Jade-Kanal verlaufenden Dükerverbindung zwischen Borssumer Kanal und Emden Vorflutkanal bereits über eine ausreichend dimensionierte Anbindung an den Schöpfwerksstandort Borssum verfügt, müsste für den EV Oldersum eine solche erst noch geschaffen werden. Denkbar wäre beispielsweise die Errichtung eines Abschlagsbauwerks am Düker Fehntjer Tief, wo Wasser aus dem Oldersumer Verbandsgebiet in den Emden Vorflutkanal

abgeschlagen werden könnte. Alternativ könnte auch im Bereich der schmalen Landzunge zwischen dem unteren Abschnitt des Verbindungskanals und dem Emder Vorflutkanal ein Abschlagsbauwerk für den EV Oldersum geschaffen werden (s. Karte auf Seite 57).



- **Errichtung eines Schöpfwerks am Petkumer Siel:** Als mögliche Alternative oder Ergänzung zum bestehenden Schöpfwerksstandort in Borssum wurde zudem die Errichtung eines Schöpfwerks am Petkumer Siel (s. Foto) in die Diskussion gebracht. Prinzipiell könnte auch dort ein verbandsübergreifend nutzbares und redundanzsteigerndes Bauwerk entstehen, das sowohl der Entwässerung des Ems-Jade-Kanals als auch der des Oldersumer und – mit Einschränkungen – des Emder Verbandsgebietes dienen könnte. Während das Vorflutsystem des EV Oldersum über das Petkumer Sieltief per se an ein solches Schöpfwerk angeschlossen wäre, kämen zur Anbindung der anderen Teilsysteme folgende Möglichkeiten in Betracht:

- Aus dem Ems-Jade-Kanal könnte überschüssiges Wasser durch die Schütze der Verbindungsschleuse in den unteren Abschnitt des Verbindungskanals abgeschlagen werden und von dort aus durch den Ems-Seitenkanal in das Petkumer Sieltief fließen (s. Karte auf Seite 57).

- Aus dem Vorflutsystem des I. EV Emden könnte überschüssiges Wasser aufgrund des niedrigeren Sollwasserstands grundsätzlich nur bei Hochwasserereignissen in das Oldersumer Verbandsgebiet abgegeben werden. Die Kesselschleuse – als bereits bestehende Schnittstelle – wäre für einen solchen Wassertransfer allerdings nur bedingt geeignet, da bei deren Nutzung der reguläre Abflussweg des Ems-Jade-Kanals in den Emder Hafen unterbrochen wäre. Daher wäre zu diesem Zweck die Schaffung einer zusätzlichen Schnittstelle zwischen den Entwässerungsverbänden Emden und Oldersum erforderlich, z. B. durch Errichtung eines entsprechenden Abschlags- bzw. Verbindungsbauwerkes im Bereich zwischen dem Emder Vorflutkanal (an den der I. EV Emden durch den Düker unter dem Ems-Jade-Kanal unmittelbar angebunden ist) und dem unteren Abschnitt des Verbindungskanals (s. Karte auf Seite 57).



- **Errichtung eines Schöpfwerks im Emder Hafen:** Mit der Errichtung eines Schöpfwerks im Emder Hafen, z. B. im Bereich zwischen der Großen Seeschleuse und dem Südkai, würde die Möglichkeit geschaffen, die Abflussmengen des Ems-Jade-Kanals auch bei hohen Tidewasserständen auf dem regulären Entwässerungsweg durch die Kesselschleuse und den Binnenhafen in die

Ems abführen zu können. Allerdings wäre hierbei einschränkend zu berücksichtigen, dass der Wasserstand im Binnenhafen aufgrund der Anforderungen an die vorzuhaltende Tauchtiefe nicht jederzeit auf den Minimalpegel von +0,9 m NHN abgesenkt werden kann (s. Infokasten: Emder Hafen), sodass bei Windstau im Ems-Jade-Kanal unter Umständen kein ausreichendes Fließgefälle erzeugt werden könnte, um auch tatsächlich über den Hafen entwässern zu können. In solchen Situationen müssten die Abflussmengen des Ems-Jade-Kanals daher (zumindest teilweise) weiterhin zum Schöpfwerk Borssum abgeschlagen werden.

Durch den mit dieser Maßnahmenoption einhergehenden (teilweisen) Ersatz der bisherigen (Not-)Entwässerungsfunktion des Schöpfwerks Borssum für den Ems-Jade-Kanal ergäbe sich das Potenzial, die freiwerdenden Schöpfwerkskapazitäten am Standort Borssum künftig für die Entwässerung der Verbandsgebiete Emden und/oder Oldersum zu nutzen.

- **Errichtung von Pumpkapazitäten an der Schleuse Wiesens:** Durch Schaffung von Pumpkapazitäten an der Schleuse Wiesens wäre es prinzipiell möglich, im Bedarfsfall einen Teil der zwischen den Schleusen Rahe und Wiesens anfallenden Abflussmengen des Ems-Jade-Kanals nicht in Richtung Emden zu entwässern, sondern stattdessen in die obere Stauhaltung zwischen Wiesens und Upschört zu befördern und von dort aus im natürlichen Gefälle nach Wilhelmshaven abzuführen. Auf diese Weise könnte insbesondere bei durch starke Westwindlagen hervorgerufenen Rückstauwirkungen eine gewisse Entlastung des nach Emden entwässernden Teils des Ems-Jade-Kanals herbeigeführt werden. Auch wenn der Wasserabfluss nach Wilhelmshaven bei Westwinden stark begünstigt wäre, ist es dennoch mehr als fraglich, ob in diese Richtung tatsächlich zusätzliche Wassermengen abgeführt werden könnten, ohne dabei die Hochwassersicherheit des Ems-Jade-Kanals zu gefährden.

Schaffung von Retentionskapazitäten zur gezielten Hochwasserentlastung des Systems

Durch Entlastungspolder am Ems-Jade-Kanal bzw. Ringkanal sowie durch Retentionsmaßnahmen im Verbandsgebiet des EV Aurich wäre es möglich, einen Teil der Hochwasserabflüsse temporär zurückzuhalten und die Entwässerungsbedarfe entsprechend zu reduzieren bzw. zeitlich zu strecken. Auf diese Weise könnten potenzielle Kapazitätsengpässe bei der Entwässerung des Ems-Jade-Kanals und daraus resultierende Notabschläge in die Vorflutssysteme der angrenzenden Entwässerungsverbände Emden und Oldersum vermindert werden. Zudem wären insbesondere Entlastungspolder prädestiniert dafür, rückstaubedingten Hochwassersituationen im Ems-Jade-Kanal und in den einmündenden Nebengewässern entgegenzuwirken, da hierdurch bereits weit im Binnenland eine effektive Absenkung der Hochwasserpegel möglich wäre. Je nach Umfang der geschaffenen Retentionsvolumina könnten derartige Maßnahmen in unterschiedlich starkem Maße zur Deckung der künftigen Anpassungsbedarfe beitragen. Im Rahmen von KLEVER-Risk wurden seitens der beteiligten Projektpartner folgende Maßnahmenoptionen vorgeschlagen:

- **Entlastungspolder am Ems-Jade-Kanal:** Entlang des Ems-Jade-Kanals wurden im angrenzenden Verbandsgebiet des I. EV Emden verschiedene Potenzialflächen für eine mögliche Realisierung eines oder mehrerer Entlastungspolder identifiziert (s. Abb. 42 und 43). Das jeweilige Retentionsvolumen der einzuwallenden Potenzialflächen wäre abhängig von den realisierbaren Einstaupegeln. Das mögliche Spektrum reicht von relativ moderaten Einstaupegeln bis hin zu einem potenziellen Maximaleinstau in Höhe des Hochwasserstands des Ems-Jade-Kanals. Je nach zugrunde gelegten Einstaupegeln würden sich die in Tabelle 14 angegebenen Retentionsvolumina ergeben. Bei den in Abbildung 42 dargestellten Potenzialflächen wäre eine Nutzung als Ent-

lastungspolder aufgrund ihres naturschutzrechtlichen Status als Bestandteile des EU-Vogelschutzgebietes „V09 Ostfriesische Meere“ nur im Falle der Vereinbarkeit mit den dortigen Erhaltungszielen möglich.

Die Entlastungspolder würden nach dem Prinzip eines Freigefällepolders ohne Pumpbedarf funktionieren. D. h., anfallendes Überschusswasser aus dem Ems-Jade-Kanal würde durch Einlassbauwerke im freien Gefälle in die tiefer gelegenen Polderflächen hineinfließen und nach erfolgter Zwischenspeicherung ebenfalls im freien Gefälle auf folgenden Wegen wieder abgeführt werden:

- Nach einem Hochwassereinstau der Polder mit potenziellen Einstaupegeln von bis zu +1,7 m NHN wäre die anschließende Polderentleerung bis zur Höhe des Sollwasserstands des Ems-Jade-Kanals (d. h. bis +1,2 m NHN) zunächst in umgekehrter Fließrichtung durch die Einlassbauwerke zurück in den Kanal möglich.
- Die verbleibende Restentleerung der Polder könnte dann über entsprechende Auslassbauwerke in das Gewässersystem des I. EV Emden erfolgen.

Weitere Ausführungen finden sich in den zugehörigen Maßnahmensteckbriefen (EJK-1 und EJK-2), die über die Projektwebsite (www.uol.de/klever-risk) abrufbar sind.

- **Entlastungspolder am Ringkanal:** Die in Abbildung 44 dargestellten Potenzialflächen für einen möglichen Entlastungspolder (bestehend aus einer Hauptfläche A und einer möglichen Erweiterungsfläche B) liegen unmittelbar westlich des Ringkanals auf Höhe des Stauwehres Debelts innerhalb des Verbandsgebietes des I. EV Emden. Das potenzielle Retentionsvolumen wäre abhängig von der Höhe der Speicherlamelle, die durch entsprechende Bodenentnahmen in der Hauptfläche A bzw. in der Erweiterungsfläche B zu realisieren wäre. Ausgehend von bereits eingetretenen Hochwasserpegelständen in der oberen Haltung des Ringkanals von bis zu +2,6 m NHN könnte durch eine Auskofferung der Potenzialflächen

bis auf Höhe des Sollwasserpegels der unteren Haltung des Ringkanals (+1,2 m NHN) eine Speicherlamelle von bis zu 1,4 m geschaffen werden. Hierdurch würden sich potenzielle Retentionsvolumina von bis zu ca. 55.000 m³ in der Hauptfläche A (4,0 ha) bzw. von bis zu ca. 65.000 m³ in der Erweiterungsfläche B (4,8 ha) ergeben (zusammen bis zu ca. 120.000 m³).

Der Entlastungspolder würde nach dem Prinzip eines Freigefällepolders ohne Pumpbedarf funktionieren. D. h., anfallendes Überschusswasser würde durch ein oberhalb des Stauwehres gelegenes Einlassbauwerk im freien Gefälle aus der oberen Haltung des Ringkanals in die abgesenkten Polderflächen hineinfließen und nach erfolgter Zwischenspeicherung durch ein unterhalb des Stauwehres gelegenes Auslassbauwerk ebenfalls im freien Gefälle in die untere Haltung des Ringkanals zurückgeführt werden.

Weitere Ausführungen finden sich im zugehörigen Maßnahmensteckbrief (EJK-3), der über die Projektwebsite (www.uol.de/klever-risk) abrufbar ist.

- **Retentionsmaßnahmen im Verbandsgebiet des EV Aurich:** Durch Schaffung von Retentionskapazitäten innerhalb des Verbandsgebietes des EV Aurich wäre es möglich, einen Teil der Abflussmengen temporär im Gebiet zurückzuhalten und erst zeitversetzt in den Ringkanal und Ems-Jade-Kanal zu entwässern. Dies würde zu einer entsprechenden Entlastung des betrachteten Systems führen, wobei die identifizierten Retentionspotenziale innerhalb des Auricher Verbandsgebietes verglichen mit denen der oben genannten Speicherpolder eher gering ausfallen. Nähere Ausführungen zu den Maßnahmenoptionen im Verbandsgebiet des EV Aurich finden sich in Kapitel 5.2 sowie in den zugehörigen Maßnahmensteckbriefen (EVA-1 bis EVA-6), die über die Projektwebsite (www.uol.de/klever-risk) abrufbar sind.

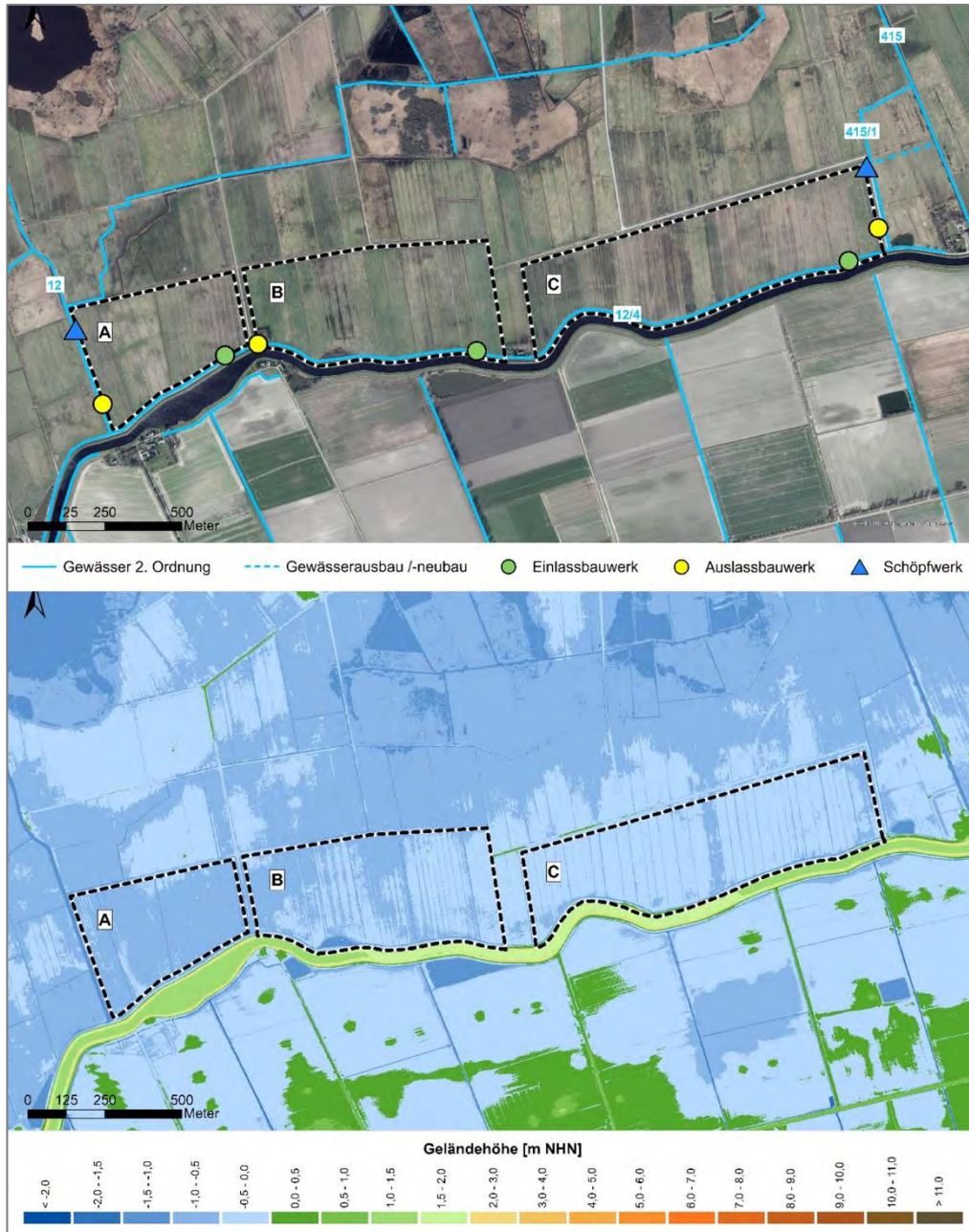


Abb. 42: Potenzielle Entlastungspolder am Ems-Jade-Kanal zw. Alte Maar und Mittelhaus-Brücke

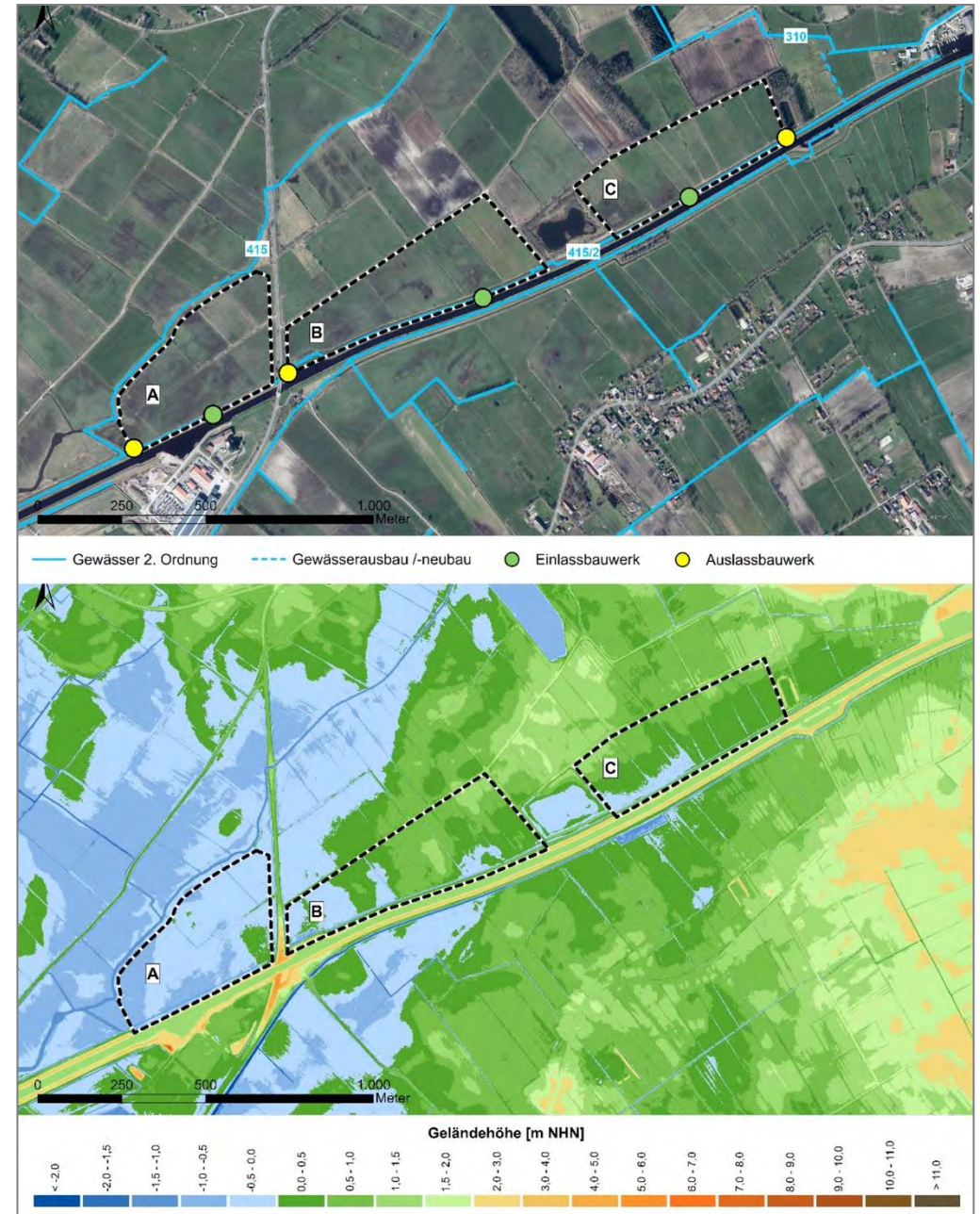
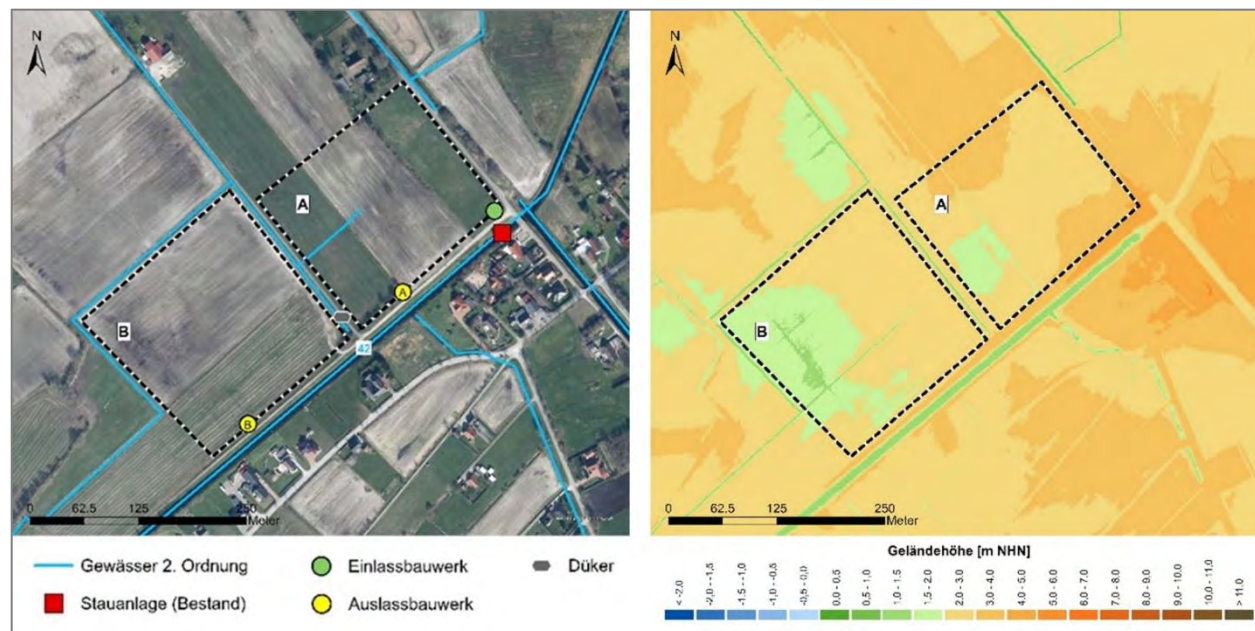


Abb. 43: Potenzielle Entlastungspolder am Ems-Jade-Kanal im Bereich Alter Meedeweg/Haagweg

Tab. 14: Potenzielle Retentionsvolumina der Entlastungspolder am Ems-Jade-Kanal

Entlastungspolder am Ems-Jade-Kanal	Einstaupegel	Retentionsvolumen		
Potenzialflächen im Bereich zwischen Alte Maar und Mittelhaus-Brücke		Fläche A (16,6 ha)	Fläche B (27,8 ha)	Fläche C (33,5 ha)
	±0,0 m NHN	ca. 100.000 m³	ca. 135.000 m³	ca. 130.000 m³
	+0,5 m NHN	ca. 185.000 m³	ca. 270.000 m³	ca. 300.000 m³
	+1,0 m NHN	ca. 265.000 m³	ca. 410.000 m³	ca. 465.000 m³
	+1,2 m NHN (Sollwasserstand des Ems-Jade-Kanals)	ca. 300.000 m³	ca. 465.000 m³	ca. 530.000 m³
	+1,7 m NHN (Hochwasserstand des Ems-Jade-Kanals)	ca. 385.000 m³	ca. 610.000 m³	ca. 700.000 m³
Potenzialflächen im Bereich Alter Meedeweg/ Haageweg		Fläche A (13,7 ha)	Fläche B (15,7 ha)	Fläche C (12,8 ha)
	+1,2 m NHN (Sollwasserstand des Ems-Jade-Kanals)	ca. 215.000 m³	ca. 125.000 m³	ca. 100.000 m³
	+1,7 m NHN (Hochwasserstand des Ems-Jade-Kanals)	ca. 280.000 m³	ca. 205.000 m³	ca. 165.000 m³


Abb. 44: Potenzieller Entlastungspolder am Ringkanal im Bereich des Stauwehrs Debelts


Verminderung von Rückstauwirkungen im Ringkanal

Bei Hochwasserabflüssen aus dem Auricher Verbandsgebiet und gleichzeitigem Windstau im Ems-Jade-Kanal kommt es insbesondere in der unteren Haltung des Ringkanals zu starken Rückstauwirkungen, die durch bestehende Abflussengstellen in Form nicht ausreichend dimensionierter Brückendurchlässe zusätzlich verstärkt werden. Nach Aussage des NLWKN und des EV Aurich tragen hierzu folgende Brückenbauwerke bei:

- die Brücke der K 118 (Neue Straße) (s. Foto), deren Überbau so tief liegt, dass das abfließende Wasser bei sehr hohen Wasserständen an der Brücke zurückstaut,
- die Brücke der B 72/210 und der parallel geführten Bahnstrecke (s. Foto), deren Durchlass so schmal ist, dass es bei Hochwasserabflüssen zu einem Rückstau kommt und
- die Brücke der L 1 (Auricher Straße) (s. Foto), die ebenfalls eine Verengung des Fließquerschnittes darstellt.

Durch bauliche **Anpassungen der abflussbehindernden Brückenbauwerke** (im Zuge künftiger Erneuerungsarbeiten) könnten rückstaubedingte Hochwassersituationen im Ringkanal und in den einmündenden Gewässern Sandhorster Ehe und Abelitz-Moordorf-Kanal entsprechend vermindert werden.

Darüber hinaus könnte Rückstauwirkungen im Ringkanal auch durch die **Schaffung einer Abschlagsmöglichkeit in das angrenzende Vorflutsystem des I. EV Emden** begegnet werden. Ein hierfür erforderliches Abschlagsbauwerk könnte unmittelbar oberhalb des Stauwehres Debelts errichtet werden (s. Abb. 45), wo ein Wasserabschlag in das im Emder Verbandsgebiet gelegene Teilstück des beim Bau des Ringkanals durchtrennten Abelitz-Moordorf-Kanals möglich wäre. Hierzu müsste der damals verfüllte kurze Gewässerabschnitt westlich des Ringkanals wieder geöffnet und je nach Durchflussleistung des zu errichtenden Abschlagsbauwerks gegebenenfalls ein entsprechender Ausbau des Abelitz-Moordorf-Kanals im Emder Gebiet vorgenommen werden. Als erheblicher Nachteil dieser Maßnahmenoption sind allerdings die zusätzlichen Belastungen des Entwässerungssystems des I. EV Emden anzuführen, das bei Hochwassersituationen im Ringkanal in der Regel bereits selbst am Rande seiner Kapazitätsgrenze arbeitet.

Eine weitere Alternative zur Verminderung von Rückstauwirkungen wäre die **Errichtung eines Entlastungspolders** am Ringkanal und/oder am Ems-Jade-Kanal (s. auch Maßnahmenkategorie: Schaffung von Retentionskapazitäten), durch den eine gezielte Absenkung der Hochwasserpel herbeigeführt werden könnte.



Abb. 45: Möglichkeit zur Schaffung eines Abschlagsbauwerks am Ringkanal oberhalb des Stauwehres Debelts (Orthophoto: LGLN)



Brücke der K 118 (Neue Straße)

Foto: NLWKN



Brücke der B 72/210

Foto: NLWKN



Brücke der L 1 (Auricher Straße)

Foto: NLWKN

Maßnahmenpriorisierung seitens der beteiligten Projektpartner

Wie die gemeinsamen Diskussionen der beteiligten Projektpartner ergeben haben, werden sowohl die *Erweiterung von Pumpkapazitäten* als auch die *Schaffung von Retentionskapazitäten* als geeignete Anpassungsmaßnahmen für das betrachtete System angesehen.

Hinsichtlich des Ausbaus von Pumpkapazitäten wird vor allem der Neubau eines verbandsübergreifend nutzbaren Schöpfwerks am Standort Borssum favorisiert, da für das bereits sehr alte Bestandsbauwerk in absehbarer Zukunft ohnehin Erneuerungsbedarf besteht. Als mögliche Standortalternative wird aber auch das Petkumer Siel in Betracht gezogen.

Durch die Umsetzung von Retentionsmaßnahmen kann der Bedarf an zusätzlichen Pumpkapazitäten reduziert werden. Der Retention wird insbesondere dann ein hoher Mehrwert beigemessen, wenn entsprechende Maßnahmen neben ihrer Hochwasserentlastungsfunktion zusätzlich auch dem Wassermengenmanagement dienen können.



Speicherbecken am Schöpfwerk Borssum

Foto: NLWKN

5.5 Aufstellung verbandlicher Binnenhochwasser-Alarmpläne

Zur Verbesserung der Vorsorge für mögliche Binnenhochwassersituationen wurde im Rahmen von KLEVER-Risk mit den beteiligten Entwässerungsverbänden ein gemeinsames Konzept zur Aufstellung verbandlicher Binnenhochwasser-Alarmpläne erarbeitet, die als Handlungsleitfaden und Informationssammlung für das verbandliche Agieren im Hochwasserfall dienen sollen. Konkret ging es dabei um den Entwurf einer verbandsübergreifend nutzbaren Mustergliederung sowie um die Erarbeitung von Informationsgrundlagen zu den Verbandsgebieten.

Entwurf einer Mustergliederung

Als Ausgangspunkt für die entworfene Mustergliederung diente der bereits existierende Hochwasser-Alarmplan des I. EV Emden, der inhaltlich um weitere relevante Aspekte ergänzt und in eine vereinheitlichte, verbandsübergreifend nutzbare Struktur überführt wurde. Diese umfasst folgende Hauptgliederungspunkte, die in Tabelle 15 weiter untergliedert und tiefergehend erläutert werden:

- 1) Binnenhochwasser-Frühwarnung und -Alarmierung,
- 2) Binnenhochwassergefährdung des Verbandsgebietes,
- 3) Managementoptionen im Binnenhochwasserfall,
- 4) Kataster über vorhandene Notfallausrüstung,
- 5) Informationen zur wasserwirtschaftlichen Infrastruktur im Verbandsgebiet,
- 6) Verzeichnis relevanter Kontaktdaten

Aufgrund der spezifischen Gegebenheiten in den jeweiligen Verbandsgebieten sind nicht sämtliche der in Tabelle 15 aufgeführten Unterpunkte der Mustergliederung für je-

den der vier beteiligten Entwässerungsverbände relevant, sodass bei der Planerstellung gegebenenfalls einzelne Aspekte unberücksichtigt bleiben können bzw. müssen.

Um die verbandlichen Binnenhochwasser-Alarmpläne bestmöglich in die bestehenden Katastrophenschutzpläne der Landkreise integrieren zu können, ist bei der Planerstellung eine enge Abstimmung zwischen den Entwässerungsverbänden und den zuständigen Katastrophenschutzbehörden ratsam. Damit die Binnenhochwasser-Alarmpläne stets auf dem neuesten Stand sind, ist zudem eine regelmäßige Aktualisierung erforderlich. Dies gilt insbesondere für das Kataster über die vorhandene Notfallausrüstung und das Verzeichnis der relevanten Kontaktdaten. Unter Umständen könnten derartige Planinhalte direkt verbandsübergreifend erhoben und gepflegt werden, um den Aktualisierungsaufwand insgesamt zu reduzieren. Dies wäre z. B. über gemeinsam angelegte Datenbestände innerhalb der internetbasierten Katastrophenschutzpläne der Landkreise möglich, für die den Entwässerungsverbänden entsprechende Zugriffsberechtigungen eingeräumt werden könnten.

Erarbeitung von Informationsgrundlagen

Um den Entwässerungsverbänden hilfreiche Informationsgrundlagen für die Erstellung von Binnenhochwasser-Alarmplänen zur Verfügung zu stellen, wurden im Rahmen des Projektes diverse GIS-Analysen zur Binnenhochwassergefährdung der Verbandsgebiete und zu den Potenzialen eines Binnenhochwasser-Notfallmanagements von Unter- bzw. Stufenschöpfwerksgebieten durchgeführt.

Binnenhochwassergefährdung der Verbandsgebiete

Entsprechend der Gliederungspunkte 2.1 und 2.2 der Mustergliederung (s. Tab. 15) wurden für die Verbandsgebiete des EV Norden und des I. EV Emden sowie für das Untergebiet des EV Oldersum die potenziellen Gefährdungsbereiche möglicher Binnenhochwasserstände und die jeweils betroffenen Raumnutzungen ermittelt. Hierzu wurden die Binnenpegel ausgehend von den Sollwasserständen sukzessive in 20-cm-Schritten erhöht und auf Basis des digitalen Geländemodells (DGM1) die entsprechenden Gefährdungsbereiche (potenziell überstaute Bereiche) identifiziert. Durch Verschneidung der jeweiligen Gefährdungsbereiche mit den ALKIS-Daten und weiteren Flächennutzungsinformationen konnten anschließend die betroffenen Raumnutzungen bestimmt werden. Die Ergebnisse wurden sowohl in Form von hochauflösenden digitalen Karten als auch in tabellarischen Auswertungen dargestellt. Abbildung 46 und Tabelle 17 zeigen exemplarisch die Resultate für das Verbandsgebiet des EV Norden.

Binnenhochwasser-Notfallmanagement von Unter- bzw. Stufenschöpfwerksgebieten

Wie in Gliederungspunkt 3.2 der Mustergliederung (s. Tab. 15) dargestellt, können die Binnenhochwasser-Alarmpläne u. a. Aussagen zum Notfallmanagement von Unter- bzw. Stufenschöpfwerksgebieten (sofern im Verbandsgebiet vorhanden) beinhalten. Denn diese Gebiete haben das Potenzial, im Binnenhochwasserfall auf zwei unterschiedliche Arten zur Entlastung des Gesamtentwässerungssystems beizutragen:

- a) Durch eine **temporäre Abschaltung von Unter- bzw. Stufenschöpfwerken** wäre es möglich, anfallende Abflussmengen (zu gewissen Anteilen) in den jeweiligen Gebieten zurückgehalten und erst zeitverzögert in das Hauptvorflutsystem abzugeben. Durch Nutzung vorhandener Retentionsvolumina in den Gewässern und besonders tiefliegenden Bereichen der Unter- bzw. Stufenschöpfwerksgebiete könnte das Gesamtentwässerungssystem im Binnenhochwasserfall entsprechend entlastet werden. Um temporäre Abschaltungen zu realisieren, wäre eine entsprechende Schöpfwerkssteuerung erforderlich, die entweder manuell durch die Schöpfwerksbetreuer oder – sofern vorhanden – per Fernwirktechnik aus der Steuerungszentrale des Entwässerungsverbandes erfolgen könnte.
- b) Bei ausreichend großen Retentionsvolumina, die nicht bereits im Zuge einer temporären Schöpfwerksabschaltung durch gebietseigene Abflussmengen ausgeschöpft würden, wäre zur zusätzlichen Entlastung des Hauptvorflutsystems zudem eine **gezielte Flutung von Unter- bzw. Stufenschöpfwerksgebieten** mittels Wasserabschlag aus angrenzenden Hauptgewässern denkbar. Um möglichst kurzfristig Wasser aus dem Hauptvorflutsystem in geeignete Unter- und Stufenschöpfwerksgebiete ablassen zu können, müssten ausreichend dimensionierte Abschlags- bzw. Überlaufbauwerke geschaffen werden. In einer akuten Notsituation wäre aber auch die gezielte Öffnung von Verwallungen mittels Baggereinsatz denkbar. Die Rückführung der abgeschlagenen Wassermengen in das Hauptvorflutsystem könnte anschließend mit Hilfe der vorhandenen Pumpkapazitäten der Unter- bzw. Stufenschöpfwerke (und ggfs. zusätzlicher mobiler Pumpen) erfolgen.

Zur Abschätzung der Eignungspotenziale der einzelnen Unter- bzw. Stufenschöpfwerksgebiete für eine temporäre Abschaltung oder sogar eine gezielte Flutung wurden im Rahmen des Projektes detaillierte GIS-Analysen für alle 22 Unterschöpfwerksgebiete des I. EV Emden und alle 20 Stufenschöpfwerksgebiete des EV Oldersum durchgeführt. Dabei wurden für verschiedene Einstaupegel (abgestuft in 20-cm-Schritten) die resultierenden Retentionsvolumina und Überstauflächen sowie die jeweils betroffenen Raumnutzungen in den einzelnen Gebieten ermittelt (analog zur Vorgehensweise der zuvor beschriebenen Betrachtung der Binnenhochwassergefährdung der Verbandsgebiete). Die Ergebnisse wurden sowohl in Form von hochauflösenden digitalen Karten als auch in tabellarischen Auswertungen dargestellt. Exemplarisch sind an dieser Stelle die Resultate für das Stufenschöpfwerksgebiet Blitz im EV Oldersum und für das Unterschöpfwerksgebiet Longewehr im I. EV Emden (s. Abb. 47 und Tab. 18) veranschaulicht.

Auf Basis der erarbeiteten Informationsgrundlagen können die Entwässerungsverbände konkrete Überlegungen hinsichtlich der Ausgestaltungsmöglichkeiten eines Binnenhochwasser-Notfallmanagements in den einzelnen Unter- bzw. Stufenschöpfwerksgebieten

tätigen. Allerdings wurde im Rahmen der gemeinsamen Diskussionen der Projektpartner deutlich, dass hinsichtlich der gezielten Einstauung oder sogar Flutung von Gebieten mit geringem Schadenspotenzial zum Schutze schadensträchtigerer Bereiche noch erheblicher Klärungsbedarf hinsichtlich der Rechtssicherheit und der Haftungsrisiken derartiger verbandlicher Notfallmanagement-Entscheidungen besteht.

Tab. 15: Mustergliederung zur Erstellung verbandlicher Binnenhochwasser-Alarmpläne

1 Binnenhochwasser-Frühwarnung und Binnenhochwasser-Alarmierung	
1.1 Frühwarnung	
1.1.1 Frühwarnung auf Basis von Niederschlagsvorhersagen	▪ Festlegung von Schwellenwerten bezüglich des Frühwarnindikators <i>prognostizierte Niederschlagsspende</i> (verbandsgebietsweite Niederschlagshöhe innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls, z. B. mm/Tag, mm/2 Tage, mm/3 Tage), bei deren Überschreitung eine Binnenhochwasser-Frühwarnung ausgelöst wird, sofern zum jeweiligen Zeitpunkt bereits eine kritische Wassersättigung der Böden im Verbandsgebiet vorliegt (Ermessensspielraum), ▪ <u>Informationsquelle der Prognosedaten:</u> Warnungen des DWD bezüglich der Warnkriterien <i>Starkregen</i> und <i>Dauerregen</i>
1.1.2 Frühwarnung auf Basis von Sturmflutvorhersagen	▪ Festlegung von Schwellenwerten bezüglich des Frühwarnindikators <i>Höhe und Dauer prognostizierter Sturmflutwasserstände</i> (aufgrund der damit verbundenen Einschränkungen der Siel- und Pumpkapazitäten), bei deren Überschreitung eine Binnenhochwasser-Frühwarnung ausgelöst wird, sofern gleichzeitig mit hohem Entwässerungsbedarf zu rechnen ist, ▪ <u>Informationsquelle der Prognosedaten:</u> Wasserstandsvorhersage des Sturmflutwarndienstes des NLWKN
1.2 Alarmierung	
1.2.1 Normalwasserstände	▪ Übersicht der Normalwasserstände (sommerliche/winterliche Sollwasserstände) im Entwässerungssystem des Verbandsgebietes sowie in ggfs. relevanten benachbarten Teilsystemen (z. B. Speicherbecken Leyhörn, Ems-Jade-Kanal)

5.5 Aufstellung verbandlicher Binnenhochwasser-Alarmpläne

1.2.2 Binnenhochwasser-Alarmstufen und Binnenhochwasser-Meldeordnung	▪ Festlegung von Wasserstands-Schwellenwerten für definierte Messpegel innerhalb des Entwässerungssystems sowie in den ggfs. relevanten benachbarten Teilsystemen, bei deren Überschreitung entsprechende Binnenhochwasser-Alarmstufen ausgelöst werden, z. B. in folgender Abstufung: ▪ Stufe 1 – leicht erhöhter Wasserstand, ▪ Stufe 2 – erhöhter Wasserstand, ▪ Stufe 3 – stark erhöhter Wasserstand, ▪ Stufe 4 – kritischer Wasserstand, ▪ Festlegung einer nach den Binnenhochwasser-Alarmstufen gestaffelten Meldeordnung mit Vorgaben zu den verbandsinternen und -externen Meldewegen: ▪ <i>verbandsintern</i>: Meldungen an das zu alarmierende Verbandspersonal, ▪ <i>verbandsextern</i>: Meldungen an die zu alarmierenden Behörden (insb. Untere Wasserbehörde und Katastrophenschutzbehörde des Landkreises)
2 Binnenhochwassergefährdung des Verbandsgebietes	
2.1 Gefährdungsbereiche bei potenziellen Binnenhochwasserpegeln	▪ Kartendarstellungen zu den Gefährdungsbereichen bei potenziellen Binnenhochwasserpegeln, ▪ Angaben zur Größe der Überschwemmungsflächen und -volumina der potenziellen Gefährdungsbereiche
2.2 Betroffenheiten von Raumnutzungen bei potenziellen Binnenhochwasserpegeln	▪ Kartendarstellung der Raumnutzungen im Verbandsgebiet, ▪ Angaben zur Betroffenheit von Raumnutzungen bei potenziellen Binnenhochwasserpegeln, z. B. untergliedert nach: ▪ Flächennutzungen (Siedlungsflächen, Verkehrsflächen, Landwirtschaftsflächen etc.), ▪ Gebäude, ▪ sensible Infrastrukturen, ▪ Schutzgebiete

3 Managementoptionen im Binnenhochwasserfall	
3.1 Nutzung vorhandener Retentionskapazitäten	▪ Beschreibung etwaiger Potenziale vorhandener Retentionskapazitäten (z. B. Hochwasserentlastungspolder, regulierbarer Gewässereinstau etc.) für das Management von Binnenhochwassersituationen
3.2 Binnenhochwasser-Notfallmanagement von Unter- bzw. Stufenschöpfwerksgebieten	▪ Darlegung etwaiger Potenziale eines hochwasserangepassten Managements von Unter- bzw. Stufenschöpfwerksgebieten, ▪ Übersicht der potenziellen Retentionsvolumina, die a) durch eine temporäre Abschaltung von Unter-/Stufenschöpfwerken und den damit einhergehenden Einstau der jeweiligen Gebiete erzielt bzw. b) durch eine gezielte Flutung von Unter-/Stufenschöpfwerksgebieten mittels Wasserabschlag aus dem Hauptvorflutsystem generiert werden könnten, ▪ Kartendarstellungen zur jeweiligen Einstausituation (überstaute Flächen) und Angaben zur damit verbundenen Betroffenheit von Raumnutzungen in den Unter-/Stufenschöpfwerksgebieten
3.3 Verbandsübergreifende Zusammenarbeit im Binnenhochwasserfall	▪ Beschreibung etwaiger Potenziale einer verbandsübergreifenden Zusammenarbeit im Binnenhochwasserfall, z. B. im Hinblick auf ▪ mögliche Vereinbarungen über den Zugriff auf gemeinsam genutzte/nutzbare Entwässerungsinfrastruktur, ▪ Abschlagsmöglichkeiten in benachbarte Entwässerungssysteme
4 Kataster über vorhandene Notfallausrüstung	
4.1 Notstromaggregate	▪ Auflistung der beim Verband oder bei Dritten vorhandenen Notfallausrüstung für den Binnenhochwasserfall, insb. Notstromaggregate, Pumpen und Schläuche, Hochwasserbarrieren und Sandsäcke, Baumaschinen (z. B. Bagger, Bodentransportgeräte), ▪ Verzeichnis der Unter-/Stufenschöpfwerke mit Informationen zu ggfs. vorhandenen Anschlussmöglichkeiten für Notstromaggregate und den jeweils einsetzbaren Aggregatetypen
4.2 Pumpen und Schläuche	
4.3 Hochwasserbarrieren und Sandsäcke	
4.4 Baumaschinen	

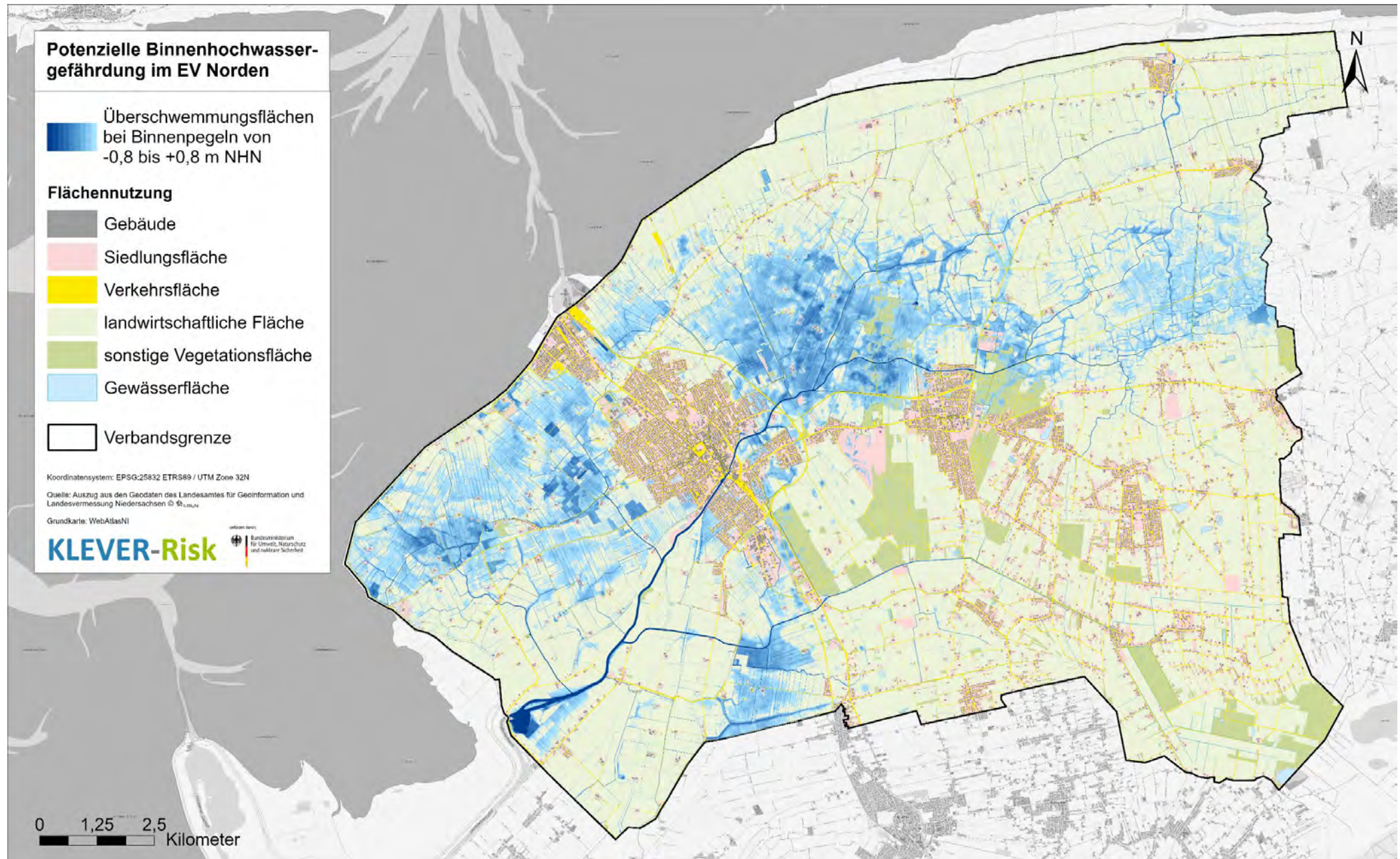
5 Informationen zur wasserwirtschaftlichen Infrastruktur im Verbandsgebiet	
5.1 Übersichtskarten zur wasserwirtschaftlichen Infrastruktur	▪ Kartendarstellungen mit Informationen zur wasserwirtschaftlichen Infrastruktur, z. B. ▪ Gewässersystem, ▪ Unter-/Stufenschöpfwerksgebiete, ▪ Pegelmessstellen, ▪ Siele und Schöpfwerke, ▪ Stauwehre und Schleusen, ▪ Abschlagsbauwerke, ▪ etc.
5.2 Technische Daten zur wasserwirtschaftlichen Infrastruktur	▪ Übersicht relevanter technischer Daten zur wasserwirtschaftlichen Infrastruktur, z. B. ▪ Leistungsdaten von Sielen und Schöpfwerken, ▪ Einstauhöhen von Stauwehren, ▪ Verwaltungshöhen von Vorflutgewässern, ▪ etc.
6 Verzeichnis relevanter Kontaktdaten	
6.1 Verbandspersonal	▪ Kontaktdaten des Verbandspersonals, z. B. ▪ Vorstands- und Ausschussmitglieder, ▪ Mitarbeiter in Geschäftsstelle und Bauhof, ▪ Schöpfwerksmeister, ▪ Grabenaufseher, ▪ Betreuer von Unter-/Stufenschöpfwerken, ▪ Betreuer von Stauwehren
6.2 Nachbarverbände und Deichverbände	▪ Kontaktdaten der benachbarten Entwässerungsverbände und der Deichverbände
6.3 Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)	▪ relevante Kontaktdaten beim NLWKN, z. B. ▪ Betriebsstelle Norden (Sturmflutwarndienst), ▪ Betriebsstelle Aurich, ▪ Sperrwerk Leysiel, ▪ Kesselschleuse Emden, ▪ Schöpfwerk Borssum, ▪ Emssperrwerk Gandersum
6.4 Kommunale Gebietskörperschaften	▪ relevante Kontaktdaten bei den Landkreisen, Städten und Gemeinden in den Zuständigkeitsbereichen ▪ Wasserwirtschaft und ▪ Gefahrenabwehr/Katastrophenschutz

6.5 Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben	▪ Kontaktdaten der relevanten Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS), z. B. ▪ Polizei, ▪ Feuerwehr, ▪ Technisches Hilfswerk
6.6 Infrastrukturbetreiber	▪ Kontaktdaten relevanter Infrastrukturbetreiber, z. B. ▪ Stromnetzbetreiber (EWE, Stadtwerke), ▪ Trinkwasserver- und Abwasserentsorger (OOWV, Stadtwerke, Kommunen), ▪ Hafenbetreiber (Niedersachsen Ports in Emden, Hafen Greetsiel)

Tab. 16: Binnenhochwasser-Alarmstufen und -Meldeordnung am Beispiel des EV Norden

Binnenhochwasser-Alarmstufe			Meldeordnung
0	unkritischer Wasserstand	< 0,20 m über Sollwasserstand	-
1	leicht erhöhter Wasserstand	0,20 - 0,40 m über Sollwasserstand	▪ Schöpfwerksmeister informiert Rendant und Grabenaufseher
2	erhöhter Wasserstand	0,40 - 0,60 m über Sollwasserstand	▪ Rendant informiert Obersielrichter und Ltd. Sielrichter sowie die UWB des LK Aurich, ▪ Grabenaufseher optimiert die Einstellung der Wehre
3	stark erhöhter Wasserstand	0,60 - 0,75 m über Sollwasserstand	▪ Obersielrichter informiert den KatS beim LK Aurich, ▪ Grabenaufseher versetzt alle Mitarbeiter in Alarmbereitschaft, ▪ Rendant informiert den Ausschuss, ▪ Vor-Ort-Kontrolle kritischer Punkte durch die Ltd. Sielrichter und Sielrichter
4	kritischer Wasserstand	> 0,75 m über Sollwasserstand	▪ Obersielrichter und Rendant besetzen das Verbandsbüro, ▪ kontinuierliche Meldung der Vor-Ort-Zustände durch Ltd. Sielrichter und Sielrichter an das Verbandsbüro, ▪ Verbandsbüro meldet kritische Lagen an den KatS beim LK Aurich

Abb. 46: Potenzielle Binnenhochwassergefährdungsbereiche im Verbandsgebiet des EV Norden



Tab. 17: Potenzielle Überschwemmungsflächen und betroffene Raumnutzungen bei möglichen Binnenhochwasserpegeln im Verbandsgebiet des EV Norden

EV Norden			BINNENPEGEL [m NHN]								
Verbandsgebiet: 24.506 ha			-0,80	-0,60	-0,40	-0,20	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80
ÜBERSCHWEMMUNGSFLÄCHEN UND -VOLUMINA											
Überschwemmungsfläche		ha	157	201	276	388	594	986	1.616	2.777	4.982
entspricht einem Gebietsanteil von		%	0,6	0,8	1,1	1,6	2,4	4,0	6,6	11,3	20,3
Überschwemmungsvolumen*		Mio. m³	0,3	0,7	1,1	1,8	2,8	4,4	6,9	11,3	18,9
entspricht einer Gebietsabflusshöhe von		mm	1,3	2,7	4,7	7,4	11,4	17,8	28,3	46,0	77,3
BETROFFENHEIT VON RAUMNUTZUNGEN											
Flächennutzung (ALKIS)	Siedlungsflächen ¹	ha	0	1	2	5	9	20	36	68	136
	Verkehrsflächen		0	3	9	17	30	50	78	120	183
	Landwirtschaftsflächen		1	24	56	119	262	562	1.068	2.052	4.017
	sonstige Vegetationsflächen ²		0	4	11	24	47	84	135	213	300
	Gewässerflächen		156	169	199	224	247	272	298	324	345
Gebäude (ALKIS)	Gebäude mit (partieller) Wohnfunktion ³	Anzahl	0	1	1	2	4	18	39	76	358
	Gebäude für öffentliche Zwecke ⁴		0	0	0	0	0	0	0	1	2
	Gebäude für Gewerbe und Industrie ⁵		0	0	0	0	4	22	53	187	625
sensible Infrastruktur	Windenergieanlagen ⁶	Anzahl	0	0	1	1	1	10	21	40	63
	Biogasanlagen ⁶		0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Umspannwerke ⁷		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kläranlagen ⁷		0	0	0	0	0	0	0	0	0

* bezogen auf den winterlichen Sollwasserstand von -1,0 m NHN im Hauptvorflutsystem

¹ Wohnbauflächen, Flächen gemischter Nutzung, Flächen besonderer funktionaler Prägung, Sport-/Freizeit-/Erholungsflächen, Friedhof, Industrie- und Gewerbeflächen, Halde, Tagebau/Grube/Steinbruch

² Wald, Gehölz, Heide, Moor, Sumpf, Unland

³ Gebäudefunktion (FKT): 1000-1223; Hinweis: Ist ein Gebäude (partiell) betroffen, so wird die Grundfläche des gesamten Gebäudes in die Berechnung einbezogen.

⁴ Gebäudefunktion (FKT): 3000-3281; Hinweis: Ist ein Gebäude (partiell) betroffen, so wird die Grundfläche des gesamten Gebäudes in die Berechnung einbezogen.

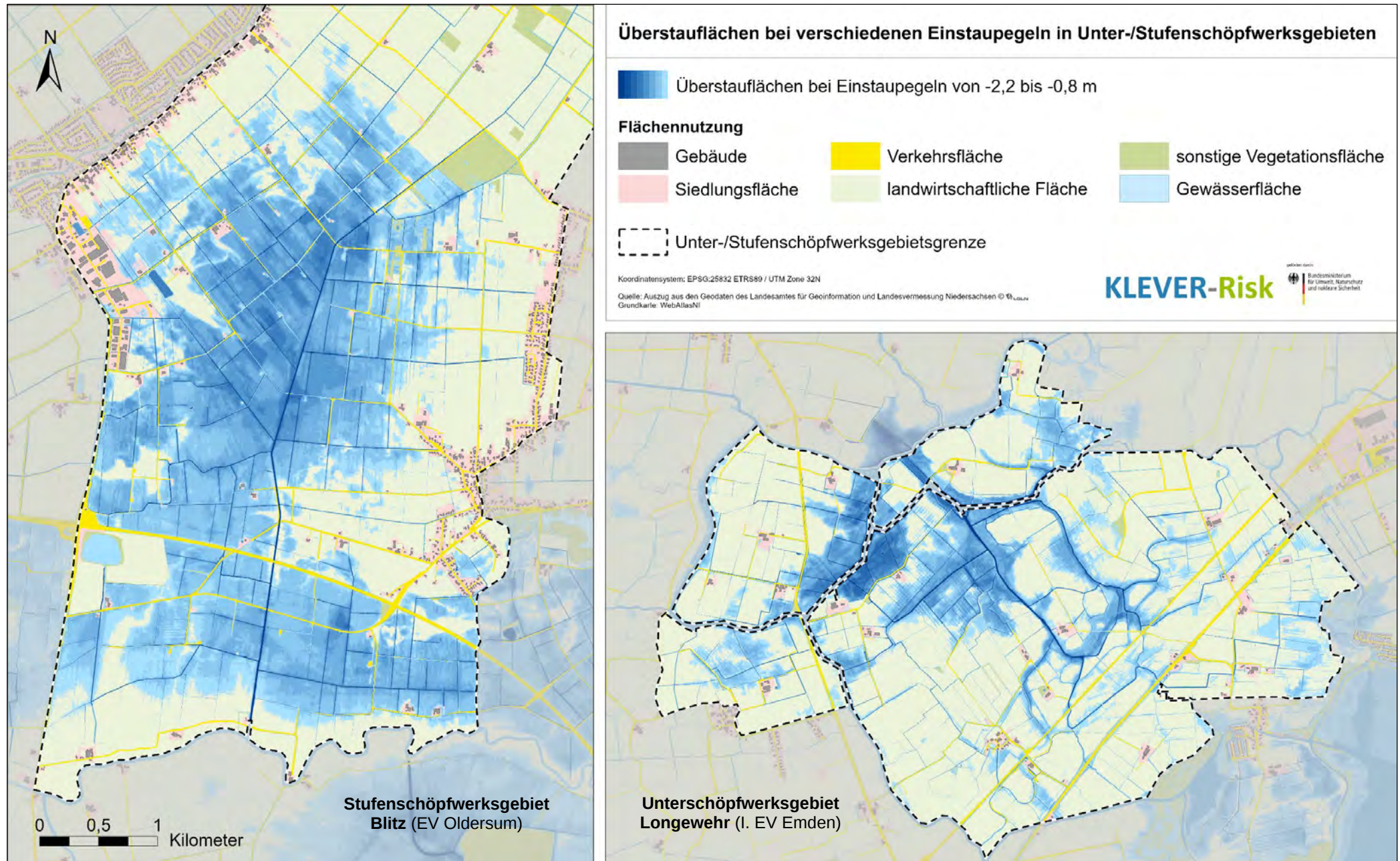
⁵ Gebäudefunktion (FKT): 2000-2740; Hinweis: Ist ein Gebäude (partiell) betroffen, so wird die Grundfläche des gesamten Gebäudes in die Berechnung einbezogen.

⁶ Datenquelle: Energieatlas Niedersachsen

⁷ Datenquelle: OpenStreetMap

5.5 Aufstellung verbandlicher Binnenhochwasser-Alarmpläne

Abb. 47: Überstaupläche bei verschiedenen Einstaupegeln in den Stufen-/Unterschöpfungwerksgebieten Blitz (EV Oldersum) und Longwehr (I. EV Emden)



Tab. 18: Überstauplächen, Retentionsvolumina und betroffene Raumnutzungen bei verschiedenen Einstaupegeln in den Stufen-/Unterschöpfungswerkgebieten Blitz (EV Oldersum) und Longewehr (I. EV Emden)

Stufenschöpfungswerkgebiet Blitz		EINSTAUPEGEL [m NHN]								
Gebietsgröße: 3.104 ha		-2,20	-2,00	-1,80	-1,60	-1,40	-1,20	-1,00	-0,80	
ÜBERSTAUPFLÄCHEN UND RETENTIONSOLUMINA										
Überstaupläche	ha	20,0	26,7	36,2	80,1	217,8	499,4	881,0	1.158	
entspricht einem Gebietsanteil von	%	0,6	0,9	1,2	2,6	7,0	16,1	28,4	37,3	
Retentionsvolumen	Mio. m³	0,04	0,09	0,15	0,26	0,54	1,24	2,65	4,72	
entspricht einer Gebietsabflusshöhe von	mm	1	3	5	8	17	40	85	152	
BETROFFENHEIT VON RAUMNUTZUNGEN										
Flächennutzung (ALKIS)	Siedlungsflächen ¹	ha	0,0	0,0	0,1	0,2	0,9	3,2	6,9	13,8
	Verkehrsflächen		0,4	1,0	2,3	4,7	8,2	14,2	23,5	34,4
	Landwirtschaftsflächen		0,3	0,6	3,5	37,2	162,2	427,3	782,3	1.025,7
	Ackerland ²		0,0	0,0	0,0	0,4	6,5	29,6	66,4	105,2
	Grünland ²		0,0	0,1	2,2	33,6	142,2	352,8	633,9	816,5
	Mischblock ²		0,0	0,0	0,4	1,9	12,1	43,2	72,4	87,9
	sonstige Vegetationsflächen ³		0,0	0,1	0,2	0,5	1,4	3,3	7,5	11,9
	Gewässerflächen		19,3	25,1	30,1	37,6	45,2	51,5	60,7	72,3
Gebäude (ALKIS)	Gebäude mit (partieller) Wohnfunktion ⁴	Anzahl	0	0	0	0	0	0	2	3
	Gebäude für öffentliche Zwecke ⁵		0	0	0	0	0	0	0	0
	Gebäude für Gewerbe und Industrie ⁶		0	0	0	0	0	0	8	19
sensible Infrastruktur	Windenergieanlagen ⁷	Anzahl	0	0	0	0	0	2	5	12
	Biogasanlagen ⁷		0	0	0	0	0	0	0	1
	Umspannwerke ⁸		0	0	0	0	0	0	1	1
	Kläranlagen ⁸		0	0	0	0	0	0	0	0
Verkehrswege	Bahnlinie ⁸	m	0	0	0	0	0	0	0	0
	Autobahn/Kraftfahrstraße ⁹		0	0	0	0	0	0	0	0
	Bundesstraße ¹⁰		0	0	0	0	0	0	0	0
	Landesstraße ¹¹		0	0	0	0	0	0	0	0
	Kreisstraße ¹²		8	8	9	10	10	11	11	13
	sonstige Verkehrswege ¹³		17	22	37	71	290	1.337	3.333	7.062
Schutzgebiete	Schutzgebietsflächen ¹⁴	ha	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,9	4,5	7,4
	EU-Vogelschutzgebiete		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	FFH-Gebiete		0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,7	4,2	6,5
	Naturschutzgebiete		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Landschaftsschutzgebiete		0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,9
	Wasserschutzgebiete Zone II		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	Wasserschutzgebiete Zone III		17,9	22,9	30,7	71,0	198,0	436,9	754,5	974,1

¹ Wohnbauflächen, Flächen gemischter Nutzung, Flächen besonderer funktionaler Prägung, Sport-/Freizeit-/Erholungsflächen, Friedhof, Industrie- und Gewerbeflächen, Halde, Tagebau/Grube/Steinbruch

² Datenquelle: Servicezentrum für Landentwicklung und Agrarförderung (InVeKos-Referenzparzellen (Feldblöcke))

³ Wald, Gehölz, Heide, Moor, Sumpf, Unland

⁴ Gebäudefunktion (FKT): 1000-1223; Hinweis: Ist ein Gebäude (partiell) betroffen, so wird die Grundfläche des gesamten Gebäudes in die Berechnung einbezogen.

⁵ Gebäudefunktion (FKT): 3000-3281; Hinweis: Ist ein Gebäude (partiell) betroffen, so wird die Grundfläche des gesamten Gebäudes in die Berechnung einbezogen.

⁶ Gebäudefunktion (FKT): 2000-2740; Hinweis: Ist ein Gebäude (partiell) betroffen, so wird die Grundfläche des gesamten Gebäudes in die Berechnung einbezogen.

⁷ Datenquelle: Energieatlas Niedersachsen

⁸ Datenquelle: OpenStreetMap

⁹ Datenquelle: OpenStreetMap; Straßen der Verkehrsbedeutung: motorway(_link), trunk(_link)

¹⁰ Datenquelle: OpenStreetMap; Straßen der Verkehrsbedeutung: primary(_link)

¹¹ Datenquelle: OpenStreetMap; Straßen der Verkehrsbedeutung: secondary(_link)

¹² Datenquelle: OpenStreetMap; Straßen der Verkehrsbedeutung: tertiary(_link)

¹³ Datenquelle: OpenStreetMap; Straßen der Verkehrsbedeutung: unclassified; residential; living_street; track_grade1_grade2_grade3

¹⁴ Die Oberkategorie "Schutzgebietsflächen" umfasst die Gesamtfläche der vier genannten Unterkategorien, wobei Gebietsüberlagerungen herausgerechnet wurden.

Unterschöpfungswerkgebiet Longewehr		EINSTAUPEGEL [m NHN]								
Gebietsgröße: 1.430 ha		-2,20	-2,00	-1,80	-1,60	-1,40	-1,20	-1,00	-0,80	
ÜBERSTAUPFLÄCHEN UND RETENTIONSOLUMINA										
Überstaupfläche		ha	11,0	15,5	29,1	52,4	99,9	174,6	270,7	428,2
entspricht einem Gebietsanteil von		%	0,8	1,1	2,0	3,7	7,0	12,2	18,9	29,9
Retentionsvolumen		Mio. m³	0,02	0,05	0,09	0,17	0,32	0,60	1,04	1,73
entspricht einer Gebietsabflusshöhe von		mm	2	3	6	12	23	42	73	121
BETROFFENHEIT VON RAUMNUTZUNGEN										
Flächennutzung (ALKIS)	Siedlungsflächen ¹	ha	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9	1,4	2,5
	Verkehrsflächen		0,2	0,6	1,0	1,8	2,9	4,7	7,4	11,6
	Landwirtschaftsflächen		3,1	5,3	14,1	33,3	76,2	145,5	234,0	381,1
	Ackerland ²		0,0	0,0	0,0	0,1	1,7	7,0	15,1	23,3
	Grünland ²		0,1	0,6	7,0	23,1	60,8	119,9	194,0	325,6
	Mischblock ²		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4
	sonstige Vegetationsflächen ³		0,6	0,9	1,4	2,1	2,9	4,0	6,0	8,7
	Gewässerflächen		7,1	8,7	12,4	14,9	17,3	19,6	22,0	24,3
Gebäude (ALKIS)	Gebäude mit (partieller) Wohnfunktion ⁴	Anzahl	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gebäude für öffentliche Zwecke ⁵		0	0	0	0	0	0	0	0
	Gebäude für Gewerbe und Industrie ⁶		0	0	0	0	0	0	2	4
sensible Infrastruktur	Windenergieanlagen ⁷	Anzahl	0	0	0	0	0	0	0	0
	Biogasanlagen ⁷		0	0	0	0	0	0	0	0
	Umspannwerke ⁸		0	0	0	0	0	0	0	0
	Kläranlagen ⁸		0	0	0	0	0	0	0	0
Verkehrswege	Bahnlinie ⁸	m	0	0	0	4	6	8	11	16
	Autobahn/Kraftfahrstraße ⁹		0	0	0	0	0	0	0	0
	Bundesstraße ¹⁰		0	0	0	0	0	0	0	0
	Landesstraße ¹¹		0	0	0	0	0	0	0	0
	Kreisstraße ¹²		0	0	0	0	0	0	0	0
	sonstige Verkehrswege ¹³		5	8	22	119	213	359	666	1.604
Schutzgebiete	Naturschutz ¹⁴	ha	7,2	9,4	13,8	23,6	51,3	96,4	147,8	233,7
	EU-Vogelschutzgebiete		6,4	8,5	12,8	22,3	49,4	93,4	141,9	221,0
	FFH-Gebiete		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	Naturschutzgebiete		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	Landschaftsschutzgebiete		7,2	9,4	13,8	23,5	51,1	96,1	147,4	233,1
	Wasserschutzgebiete		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

¹ Wohnbauflächen, Flächen gemischter Nutzung, Flächen besonderer funktionaler Prägung, Sport-/Freizeit-/Erholungsflächen, Friedhof, Industrie- und Gewerbeflächen, Halde, Tagebau/Grube/Steinbruch

² Datenquelle: Servicezentrum für Landentwicklung und Agrarförderung (InVeKos-Referenzparzellen (Feldblöcke))

³ Wald, Gehölz, Heide, Moor, Sumpf, Unland

⁴ Gebäudefunktion (FKT): 1000-1223; Hinweis: Ist ein Gebäude (partiell) betroffen, so wird die Grundfläche des gesamten Gebäudes in die Berechnung einbezogen.

⁵ Gebäudefunktion (FKT): 3000-3281; Hinweis: Ist ein Gebäude (partiell) betroffen, so wird die Grundfläche des gesamten Gebäudes in die Berechnung einbezogen.

⁶ Gebäudefunktion (FKT): 2000-2740; Hinweis: Ist ein Gebäude (partiell) betroffen, so wird die Grundfläche des gesamten Gebäudes in die Berechnung einbezogen.

⁷ Datenquelle: Energieatlas Niedersachsen

⁸ Datenquelle: OpenStreetMap

⁹ Datenquelle: OpenStreetMap; Straßen der Verkehrsbedeutung: motorway(_link), trunk(_link)

¹⁰ Datenquelle: OpenStreetMap; Straßen der Verkehrsbedeutung: primary(_link)

¹¹ Datenquelle: OpenStreetMap; Straßen der Verkehrsbedeutung: secondary(_link)

¹² Datenquelle: OpenStreetMap; Straßen der Verkehrsbedeutung: tertiary(_link)

¹³ Datenquelle: OpenStreetMap; Straßen der Verkehrsbedeutung: unclassified; residential; living_street; track_grade1_grade2_grade3

¹⁴ Die Oberkategorie "Naturschutz" umfasst die Gesamtfläche der vier genannten Unterkategorien, wobei Gebietsüberlagerungen herausgerechnet wurden.

5.6 Verbesserung der Binnenhochwasservorsorge seitens der Kommunen und Verbände

Neben den im vorangegangenen Kapitel thematisierten Binnenhochwasser-Alarmplänen wurden im Rahmen von KLEVER-Risk weitere Verbesserungsmöglichkeiten der Binnenhochwasservorsorge im Zuständigkeitsbereich der Kommunen und/oder Verbände identifiziert. Von den beteiligten Projektpartnern wurden insbesondere folgende Optimierungspotenziale benannt:

- Sicherung der Funktionsfähigkeit von Schöpfwerken im Falle eines Stromausfalls,
- koordinierte Beschaffung und Vorhaltung von Notfallausrüstung,
- Einrichtung eines verbandsübergreifenden Pegelinformationssystems,
- Intensivierung der institutionenübergreifenden Zusammenarbeit

Sicherung der Funktionsfähigkeit von Schöpfwerken im Falle eines Stromausfalls

Sowohl durch einen lokal begrenzten (z. B. aufgrund eines defekten Umspannwerks) als auch durch einen großräumigen Stromausfall (z. B. infolge eines Blackouts) kann es zur Unterbrechung der Stromversorgung für ein oder mehrere Schöpfwerke kommen. Trifft ein solcher Stromausfall mit größeren Niederschlagsmengen und fehlenden Sielmöglichkeiten zusammen, können Binnenhochwassersituationen entstehen, die tendenziell umso stärker ausfallen, je länger die Stromversorgung unterbrochen ist.

Um dieser Gefahr vorzubeugen, könnten Schöpfwerke mit einer **Notstromversorgung** ausgestattet werden, wobei

hinsichtlich der Realisierungsmöglichkeiten deutliche Unterschiede zwischen den Unter- bzw. Stufenschöpfwerken und den Mündungsschöpfwerken bestehen.

Unter- bzw. Stufenschöpfwerke

Eine Notstromversorgung der Unter- bzw. Stufenschöpfwerke ist prinzipiell mit Hilfe mobiler Notstromaggregate möglich. Hierfür sind allerdings entsprechende Anschlussmöglichkeiten erforderlich, die längst noch nicht bei allen Schöpfwerken vorhanden sind. Im Zuge ohnehin anstehender Erneuerungsmaßnahmen können fehlende Anschlüsse aber sukzessive nachgerüstet werden.

Um eine ausreichende Anzahl passfähiger Notstromaggregate vorzuhalten, wäre die Schaffung eines verbandsübergreifenden Pools verschiedener Aggregatetypen denkbar, die im Bedarfsfall jeweils flexibel für bestimmte Unter- bzw. Stufenschöpfwerke eingesetzt werden könnten.

Mündungsschöpfwerke

Für eine Notstromversorgung der Mündungsschöpfwerke kämen nur große Aggregate in Form von Container-Lösungen in Frage, die bis zu einer gewissen Leistung unter Umständen noch als mobile Anlagen ausgeführt werden könnten, in der Regel aber eher stationär errichtet werden müssten. Die Dimensionierung entsprechender Notstromaggregate wäre neben den technischen Voraussetzungen des jeweiligen Mündungsschöpfwerks insbesondere von der Frage abhängig, wie viele der vorhandenen Schöpfwerkspumpen im Notfall mit Hilfe der Anlage in Betrieb gehalten werden sollen. Derartige Notstromaggregate werden in der Regel mit Diesel (oder alternativ mit Me-

thanol) betrieben und weisen einen Verbrauch von bis zu mehreren hundert Litern pro Stunde auf, sodass für den Fall eines längerfristig erforderlichen Notstrombetriebs eine ausreichende Bevorratung bzw. Nachlieferung des benötigten Kraftstoffes zu gewährleisten wäre.

Vor dem Hintergrund des immensen Investitionsaufwands, der bei einer Realisierung von Notstromaggregaten dieser Größenordnung entstehen würde, stellt sich die Frage, wie derartige Maßnahmen finanziert werden könnten. Für die Entwässerungsverbände allein wäre dies nicht leistbar. Vielmehr müsste die Notstromversorgung der Mündungsschöpfwerke als Aufgabe der kommunalen Daseinsvorsorge definiert und von Seiten des Landes finanziell unterstützt werden.

Neben der Ausstattung mit Notstromaggregaten bestünde theoretisch auch die Möglichkeit, Mündungsschöpfwerke durch eine **Direkteinspeisung von Strom aus einer nahegelegenen Windkraftanlage** energieautark zu machen, um den Schöpfwerksbetrieb auch im Falle eines Stromausfalls (zumindest mit einem Teil der Pumpen) aufrecht erhalten zu können. So gibt es seitens des I. EV Emden entsprechende Bestrebungen, genauer zu eruieren, ob und inwieweit das Schöpfwerk Knock bei einem kompletten Stromnetzausfall mit Hilfe der dortigen Windkraftanlage im Inselbetrieb weitergenutzt werden könnte. Sollte sich dieser Ansatz künftig tatsächlich realisieren lassen, könnte der Aspekt „autarke Energieversorgung bei Stromausfall“ ein gewichtiges Argument dafür sein, auch bei anderen Mündungsschöpfwerken eine (Ausnahme-)Genehmigung entsprechender Windkraftanlagen zu ermöglichen.

koordinierte Beschaffung und Vorhaltung von Notfallausrüstung

Um für potenzielle Binnenhochwasserereignisse möglichst gut aufgestellt zu sein, wurde vorgeschlagen, die Beschaffung und Vorhaltung von Notfallausrüstungsgegenständen stärker verbands- und kommunenübergreifend zu koordinieren, um auf diese Weise Synergieeffekte zu schaffen. Auf Basis einer umfassenden Bestandsaufnahme bei den Landkreisen, bei den Städten und Gemeinden (insb. Ortsfeuerwehren) sowie bei den Entwässerungs- und Deichverbänden könnten abgestimmte Konzepte für eine zielgerichtete Optimierung der erforderlichen Notfallausrüstung zur Bekämpfung von Hochwasserereignissen (z. B. mobile Notstromaggregate und Pumpen, mobile Hochwasserbarrieren, Depots zur Befüllung und Lagerung von Sandsäcken etc.) erarbeitet werden. Dabei wären auch die kurzfristigen Bereitstellungsmöglichkeiten für bestimmte Notfallausrüstungsgegenstände durch Hilfsorganisationen wie das Technische Hilfswerk (THW) abzuklären.

Des Weiteren wäre unter Umständen auch bei der Vorhaltung von Ersatzteilen für die Entwässerungstechnik (z. B. für Pumpen), die im Bedarfsfall (d. h. bei einem technischen Defekt) möglichst schnell verfügbar sein müssen, eine verbandsübergreifende Kooperation möglich. Dies wird allerdings durch die zum Teil sehr spezifischen Pumpensysteme erschwert, die häufig individuelle Ersatzteile benötigen. Abhilfe könnte diesbezüglich in Zukunft möglicherweise die seitens der Entwässerungsverbände vorgeschlagene Modularisierung und Standardisierung der Schöpfwerkstechnik (s. Kap. 5.1) schaffen.

Einrichtung eines verbandsübergreifenden Pegelinformationssystems

Während die vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) sowie von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) betriebenen Pegel an Tidegewässern

und Binnenflüssen im webbasierten Informationsportal (www.pegelonline.nlwkn.niedersachsen.de) zusammengeführt werden und öffentlich einsehbar sind, gibt es für die von den Entwässerungsverbänden und vom NLWKN betriebenen Pegel in den Binnengewässern des Küstenraumes bislang keine vergleichbare Lösung. Um diese Lücke zu schließen, wurde im Rahmen von KLEVER-Risk unter Federführung des Landkreises Aurich und des I. EV Emden eine Initiative zur Einrichtung eines verbandsübergreifenden Pegelinformationssystems im westlichen Ostfriesland gestartet, das künftig unter Umständen auch auf weitere Bereiche des Küstenraumes ausgedehnt werden könnte.

Die Idee besteht – ähnlich wie beim oben genannten Portal – darin, die Daten der von den Entwässerungsverbänden und vom NLWKN betriebenen Binnenpegel der einzelnen Verbandsgebiete in einer webbasierten Plattform zu bündeln und in Form eines Ampelsystems (**normale**, **erhöhte**, **kritische** Pegelstände) in einer Karte darzustellen. Neben der verbandlichen und behördlichen Nutzung zur Beobachtung von (kritischen) Wasserstandsentwicklungen könnte eine solche Plattform auch zur Verbesserung der öffentlichen Hochwasserwarnung genutzt werden, indem die Bevölkerung bei Überschreitung bestimmter Pegelwerte mittels geeigneter Kommunikationswege (z. B. gängige Warn-Apps) über mögliche Gefahren informiert wird. Über einen öffentlichen Online-Zugang könnten zudem bestimmte Interessengruppen, wie z. B. Gewässeranrainer, Landwirte oder Bootfahrer, in die Lage versetzt werden, sich jederzeit über aktuelle Pegelstände zu informieren.

Perspektivisch könnte ein verbandsübergreifendes Pegelinformationssystem darüber hinaus zu einem regionalen Wassermanagement-Informationssystem ausgebaut werden, in dem neben Pegeldaten zusätzlich auch Daten zu Niederschlags- und Abflussmengen sowie Betriebsdaten technischer Anlagen (Siele, Schöpfwerke, Stauwehre, Schleusen etc.) erfasst und für den jeweils zugriffsberech-

tigten Personenkreis angezeigt werden könnten. Dies wäre für die wasserwirtschaftliche Praxis mit großen Vorteilen verbunden, da auf diese Weise u. a. eine Optimierung bestimmter Managemententscheidungen und eine erhebliche Verbesserung der systematischen Datenerfassung und -archivierung möglich wäre.

Intensivierung der institutionenübergreifenden Zusammenarbeit

Als weitere Vorsorgemaßnahme wurde seitens der Projektpartner ein intensiverer Austausch zwischen den wasserwirtschaftlichen Institutionen (Entwässerungsverbände, NLWKN) einerseits sowie den Behörden der Gefahrenabwehr (Städte und Gemeinden) und des Katastrophenschutzes (Landkreise und kreisfreie Städte) andererseits angeregt. Neben einer engen Abstimmung im Rahmen der Aufstellung verbandlicher Binnenhochwasser-Alarmpläne (s. Kap. 5.5) wurde vor allem die regelmäßige **Durchführung gemeinsamer Katastrophenschutzübungen** für extreme Binnenhochwassersituationen unter Zugrundelegung spezifischer Katastrophenszenarien (z. B. Ausfall eines oder mehrerer Mündungsschöpfwerke) vorgeschlagen. Da derartige Ereignisse mit großräumigen Wirkungen verbunden wären, sollten entsprechende Übungen verbands- und kreisgebietsübergreifend angelegt sein.

Darüber hinaus wurde ein noch stärkerer **Wissens- und Informationsaustausch zwischen den Entwässerungsverbänden** angeregt. Als konkrete Vorsorgemöglichkeit wurde beispielsweise eine gegenseitige Schulung des Schöpfwerkspersonals bezüglich des Betriebs der jeweiligen Mündungsschöpfwerke benannt. Auf diese Weise könnte Sorge dafür getragen werden, dass im Falle eines möglichen Ausfalls aller (beider) Schöpfwerksmeister eines Verbandes (z. B. aufgrund einer gleichzeitigen Erkrankung während einer Epidemie) der dortige Schöpfwerksbetrieb vertretungsweise durch geschulte Schöpfwerksmeister eines Nachbarverbandes aufrechterhalten werden kann.

5.7 Erstellung von Binnenhochwassergefahren- und -risikokarten

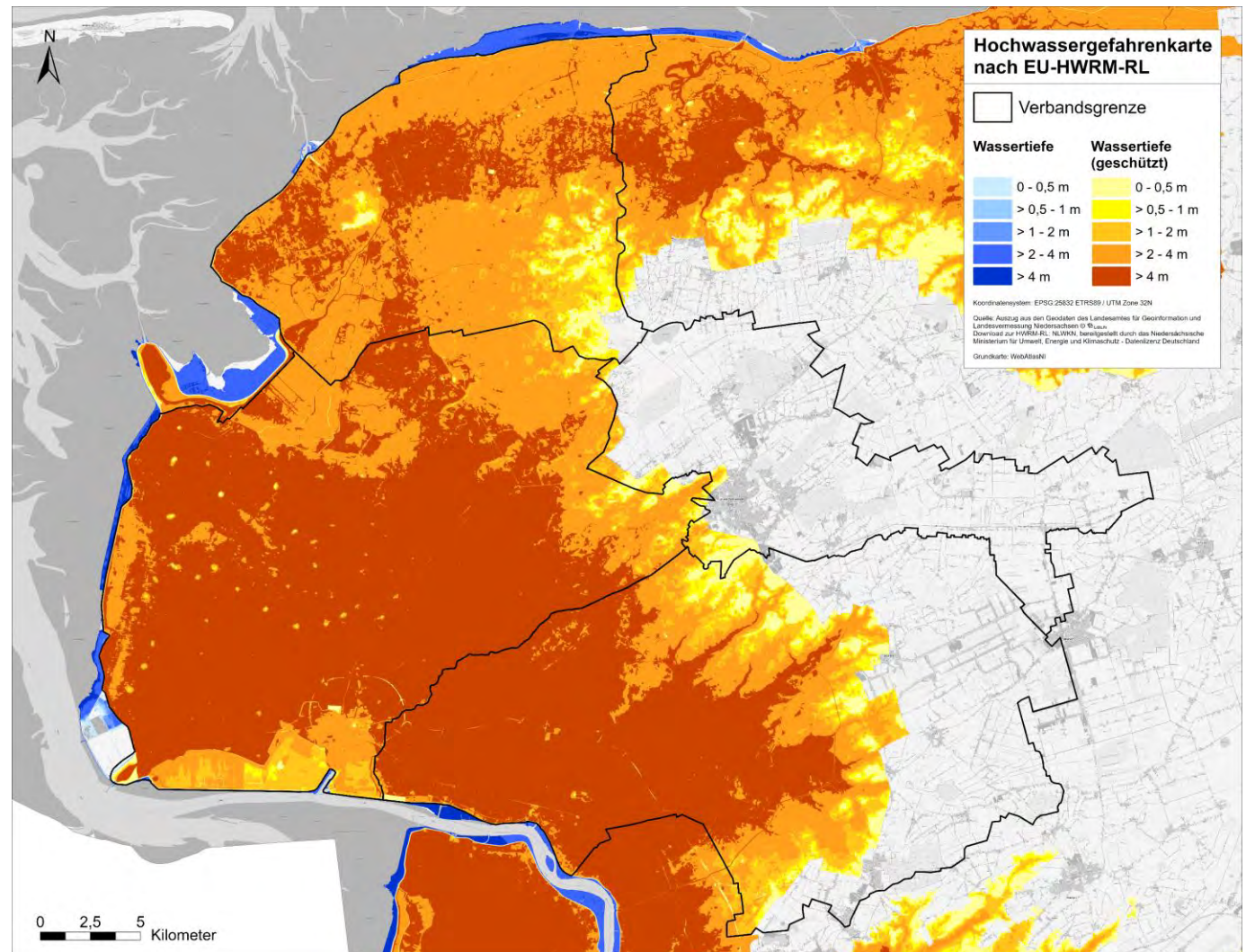
Während im Binnenland im Rahmen der Umsetzung der EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (EU-HWRM-RL) Gefahren- und Risikokarten für Hochwasserereignisse mit hoher (HQ_{20}), mittlerer (HQ_{100}) und geringer (HQ_{extrem}) Wahrscheinlichkeit erstellt sowie Risikomanagementpläne erarbeitet und umgesetzt werden, konzentriert man sich im Küstenraum bislang lediglich auf das größte Risiko: das einer Sturmflut.

„Das Küstengebiet wird als gesondertes Gebiet betrachtet, da dort vorrangig eine Gefahr durch Sturmfluten besteht. Für das ausreichend geschützte Küstengebiet wird die Darstellung in den Karten auf das Extremereignis beschränkt (gemäß §74 Abs. 2 WHG)“.

In den entsprechenden Karten ist das durch die Hauptdeiche geschützte Gebiet dargestellt (s. Abb. 48). Die potenziellen Überflutungshöhen entsprechen der Differenz zwischen den zugrunde gelegten Sturmflutwasserständen und der Geländehöhe. Der Nutzen derartiger Karten, z. B. für den Katastrophenschutz, ist aber gering, da auch im Falle einzelner Deichbrüche kaum das gesamte geschützte Gebiet betroffen sein würde.

Die potenziellen Gefahren von Binnenhochwasserereignissen in Küstenniederungen werden hingegen bisher nicht quantifiziert, obwohl sie für ein Risikomanagement und die Konzipierung von Maßnahmen eine zentrale Rolle spielen. In KLEVER-Risk wurde hierfür ein methodischer Ansatz entwickelt, der im Folgenden beschrieben wird.

Abb. 48: Gefahrenkarte nach EU-HWRM-RL für das westliche Ostfriesland (ausschließliche Darstellung der Sturmflutgefahren)



Quantifizierung der Binnenhochwassergefahren als besondere Herausforderung

Binnenhochwassergefahren entstehen in den Küstenniederungen dadurch, dass die Abflussbildung eines Entwässerungsgebietes dessen Entwässerungskapazität übersteigt. Können Abflussbildung und Entwässerungskapazität kontinuierlich quantifiziert werden, ist eine Abschätzung der potenziellen Überlastung eines definierten Entwässerungssystems möglich. Für eine statistische Auswertung ausreichende langfristige Messungen stehen in der Region allerdings nicht zur Verfügung.

Ein alternativer Ansatz wäre die Nutzung der Klimafolgsimulationen (s. Kap. 3), in denen die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf Basis von regionalisierten Klimaszenarien abgeschätzt werden. Die Klimafolgsimulationen zeigen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts eine deutliche saisonale Veränderung der Wasserbilanz (konsistente Zunahme der Abflussbildung in den Wintermonaten, Abnahme der Abflussbildung in den Sommermonaten) sowie eine Zunahme der Häufigkeit von extremen Abflussereignissen, die zu einer potenziellen Überlastung des Entwässerungssystems führen können. Allerdings kann den simulierten Ereignissen aufgrund der begrenzten Anzahl von Modellläufen keine Jährlichkeit bzw. keine Veränderung der Jährlichkeit bestimmter Ereignisse zugeordnet werden. Darüber hinaus stehen bisher keine dazu passenden Zeitreihen der Außenwasserstände zur Verfügung, um eventuelle Einschränkungen der Entwässerungskapazitäten zu quantifizieren.

Kombination von Ereignis- und Versagensszenarien

Im Rahmen von KLEVER-Risk wurde diese Lücke durch einen szenariobasierten Ansatz geschlossen. Entscheidend für die Verwendung von Binnenhochwassergefahren- und -risikokarten in der (wasserwirtschaftlichen) Planungspraxis ist die Akzeptanz der Karten durch die potenziellen Nutzergruppen. Ein wesentlicher Aspekt dabei besteht darin,

die der Erstellung zugrundeliegenden Annahmen bzw. Ereignisse mit eigenen Erfahrungen in Bezug auf Extremereignisse zu verknüpfen. Da es sich bei den Entwässerungssystemen in den Küstenniederungen um stark anthropogen gesteuerte Systeme handelt, bietet es sich an, extreme Ereignisszenarien mit technischen Versagensszenarien zu kombinieren.

Die Auswahl entsprechender Szenarien erfolgte im Rahmen der in KLEVER-Risk durchgeführten Workshops zum Themenfeld „Binnenhochwasservorsorge“. Die beteiligten Praxisakteure konnten aufgrund von in jüngerer Vergangenheit erlebter Ereignisse eine schnelle Einigung erzielen, welche Arten bzw. Intensitäten von Extremereignissen dargestellt werden sollten. Es wurde eine Kombination folgender Ereignisse vorgeschlagen:

1. **Auftreten ergiebiger Niederschläge** bei vorgesättigten Böden, die zu großen Abflussmengen und damit zu hohen Entwässerungsbedarfen führen (wie z. B. im Februar 2022 im gesamten Projektgebiet),
2. **Auftreten einer ausgeprägten Kettentide**, die mit stark eingeschränkten Entwässerungskapazitäten einhergeht (wie z. B. im Januar 2012 u. a. am Leysiel),
3. **Ausfall der Entwässerungstechnik**, verursacht durch technisches Versagen von Pumpsystemen oder durch einen langanhaltenden (gebietsweiten) Stromausfall (wie z. B. im Münsterland im November 2005).

Auf Basis dieser Ereignis-Komponenten wurden drei Szenarien definiert, die eine abgestufte Verschärfung eines ungünstigen Zusammentreffens mehrerer Ereignisse darstellen (s. Tab. 19). Die Szenarien bestehen aus dem Auftreten eines Extremniederschlags (Szenario 1), einer gleichzeitig auftretenden Kettentide (Szenario 2) sowie eines zusätzlichen Schöpfwerksausfalls (Szenario 3). Die Szenarien 2 und 3 stellen insofern Compound Events bzw. Ereignisbündel dar.

Zur Quantifizierung der einzelnen Szenarien war es zudem erforderlich, eine bestimmte Ereignisdauer zu definieren.

Diese wurde in Abstimmung mit den beteiligten Praxisakteuren auf drei Tage (72 Stunden) festgelegt.

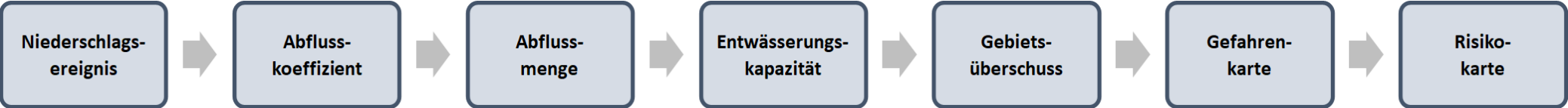
Tab. 19: Szenarien für die Betrachtung der Binnenhochwassergefahren im Projektgebiet

Szenario 1	Extremniederschlag bei normalen Außenwasserständen (mittlere Tide)
Szenario 2	Extremniederschlag in Kombination mit langanhaltend hohen Sturmflutwasserständen (Kettentide)
Szenario 3	Extremniederschlag in Kombination mit langanhaltend hohen Sturmflutwasserständen (Kettentide) und einem zusätzlichen Schöpfwerksausfall

Methodisches Vorgehen bei der Quantifizierung der Binnenhochwassergefahren

Um die jeweiligen Binnenhochwassergefahren der in Tabelle 19 dargestellten Szenarien quantifizieren und darauf basierende Gefahren- und Risikokarten erstellen zu können, wurde im Rahmen von KLEVER-Risk folgendermaßen vorgegangen (s. Abb. 49):

Zunächst wurden extreme Niederschlagsereignisse einer bestimmten Jährlichkeit ermittelt, für die mit Hilfe definierter Abflusskoeffizienten der abflusswirksame Teil des Niederschlags (Abflussmenge) bestimmt wurde. Danach wurde die Entwässerungskapazität abgeschätzt, die von den in den Szenarien zugrunde gelegten Außenwasserständen abhängig ist. Auf dieser Basis konnte dann bilanziert werden, wie groß der potenzielle Gebietsüberschuss ist, der bei den jeweiligen Szenarien nicht entwässert werden kann. Anschließend wurde das überschüssige Wasser im jeweiligen Verbandsgebiet entsprechend der Topographie verteilt (Gefahrenkarte) und mit Informationen zur Landnutzung verschnitten (Risikokarte). Im Folgenden werden die Arbeitsschritte im Einzelnen erläutert.



Ermittlung extremer Niederschläge

Bei den in den Szenarien zugrunde gelegten Niederschlagsereignissen handelt es sich um winterliche Ereignisse. Daher wurden nach der KOSTRA-Methodik des Deutschen Wetterdienstes (DWD) 20-jährliche und 100-jährliche Winter-Niederschläge der Dauerstufe 72 Stunden aus den Messwerten der Niederschlagsstationen im Projektgebiet abgeleitet (s. Tab. 20). Zum Vergleich wurden die für die Sturmtief-Serie im Februar 2022 (Ylenia, Zeynep, Antonia) aus dem Radarprodukt des DWD (RADOLAN) ermittelten 3-Tages-Niederschlagsmengen gegenübergestellt, die im Gebietsmittel in etwa einem 20-jährlichen Niederschlag entsprachen.

Ermittlung des Abflusskoeffizienten

Der Abflusskoeffizient beschreibt den Quotienten aus Abflussbildung und Niederschlag für ein betrachtetes Gebiet in einem bestimmten Zeitraum. Ist dieser Wert für ein Gebiet bzw. für eine Jahreszeit charakteristisch, kann daraus für Extremereignisse die Abflussbildung abgeschätzt werden. Zur Ermittlung entsprechender Abflusskoeffizienten für die Quantifizierung der Szenarien wurden für die Wintermonate (Dezember, Januar, Februar) den Siel- und Pumpmengen der einzelnen Verbandsgebiete die mittels RADOLAN abgeschätzten Niederschlagsmengen gegenübergestellt. Unter der Annahme, dass nicht mehr Wasser zum Abfluss kommen kann, als Niederschlag fällt, wurden die maximalen monatlichen Abflusskoeffizienten auf den Wert 1 begrenzt (s. Tab. 21). Da für den EV Aurich keine langjährigen Daten über Abflussmengen vorliegen, wurden für dieses Gebiet die Werte des naturräumlich vergleichbaren Obergebietes des EV Oldersum angenommen.

Berechnung der Abflussmenge

Die Berechnung der Abflussmenge erfolgte durch die Multiplikation des zugrundeliegenden Niederschlagsereignisses mit dem Abflusskoeffizienten und der Flächengröße des jeweiligen Verbandsgebietes (s. Tab. 22).

Abschätzung der Entwässerungskapazität

Zur Abschätzung der Entwässerungskapazität wurden die vom Außenwasserstand abhängigen Siel- und Pumpleistungen der Mündungsbauwerke herangezogen. Diese wurden sowohl für normale Außenwasserstände (mittlere Tide) als auch für Sturmflutwasserstände (Referenz-Kettentide aus dem Januar 2012) bestimmt (s. hierzu auch Kap. 3). Durch Multiplikation der ermittelten durchschnittlichen Entwässerungsleistungen (m³/s) aller relevanten Mündungsbauwerke mit der zugrunde gelegten Ereignisdauer der Szenarien von 72 Stunden konnten die jeweiligen Entwässerungskapazitäten der Verbandsgebiete für die Szenarien 1 (mittlere Tide) und 2 (Kettentide) berechnet werden (s. Tab. 22). Bei der Berechnung der Entwässerungskapazitäten für das Verbandsgebiet Aurich wurden die variierenden Entwässerungswege über den Emder Hafen bzw. über das Schöpfwerk Borssum entsprechend ihrer vom Außenwasserstand abhängigen Nutzungszeitfenster jeweils anteilig berücksichtigt.

In Szenario 3 (Kettentide + Schöpfwerksausfall) besteht allenfalls noch die Möglichkeit für eine Entwässerung durch notstrombetriebenes Sielen. Bei den zugrunde gelegten Kettentidewasserständen ergeben sich jedoch lediglich für das Auricher Verbandsgebiet (über die Große Seeschleuse im Emder Hafen) und das Obergebiet des EV Oldersum

Abb. 49: Arbeitsschritte zur Quantifizierung der Binnenhochwassergefahren

Tab. 20: 20- und 100-jährliche Winterniederschläge (berechnet nach KOSTRA-Methodik) im Vergleich zum Ereignis im Februar 2022 (ermittelt aus RADOLAN)

Verbandsgebiet	Winterniederschläge [mm/72 h]		
	20-jährliches Ereignis	100-jährliches Ereignis	Ereignis im Feb 2022
Norden	55	66	59
Emden	54	64	50
Oldersum UG	55	66	46
Oldersum OG	56	66	58
Aurich	57	67	66
Mittelwert	55	65	56

Tab. 21: Mittlere und maximale Abflusskoeffizienten für die Wintermonate

Verbandsgebiet	mittlerer Abflusskoeffizient	maximaler Abflusskoeffizient
Norden	0,88	0,93
Emden	0,92	1,00
Oldersum UG	0,73	1,00
Oldersum OG	0,68	0,93
Aurich	0,68	0,93

(über das Siel in Sautel) aufgrund der vergleichsweise hohen Binnenwasserstände des Ems-Jade-Kanals bzw. des Sauteler Kanals noch nennenswerte Sielmöglichkeiten. In den anderen Gebieten liegen die Entwässerungskapazitäten im Szenario 3 dagegen bei null (s. Tab. 22).

Berechnung des Gebietsüberschusses

Der Gebietsüberschuss für die drei Szenarien ergab sich schließlich als Differenz der Abflussmenge und der Entwässerungskapazität innerhalb des zugrunde gelegten Ereigniszeitraums von 72 Stunden s. Tab. 22).

Tab. 22: Bilanzierung der Gebietsüberschüsse der betrachteten Szenarien für die Verbandsgebiete Norden, Emden, Oldersum (getrennt in Unter- und Obergebiet) und Aurich

EV Norden		Extremniederschlag 72 h-Winterereignis	
Gebietsgröße:	245 km ²	20-jährlich	100-jährlich
Abflusskoeffizient:	0,93		
Gebietsniederschlag	[mm]	55	66
Abflussmenge	[Mio. m ³]	12,6	15,0
Szenario 1			
Entwässerungskapazität [Mio. m ³]		11,7	11,7
Gebietsüberschuss	[Mio. m ³]	0,9	3,3
Szenario 2			
Entwässerungskapazität [Mio. m ³]		10,6	10,6
Gebietsüberschuss	[Mio. m ³]	1,9	4,3
Szenario 3			
Entwässerungskapazität [Mio. m ³]		0,0	0,0
Gebietsüberschuss	[Mio. m ³]	12,6	15,0

I. EV Emden		Extremniederschlag 72 h-Winterereignis	
Gebietsgröße:	465 km ²	20-jährlich	100-jährlich
Abflusskoeffizient:	1,00		
Gebietsniederschlag	[mm]	54	64
Abflussmenge	[Mio. m ³]	25,1	29,9
Szenario 1			
Entwässerungskapazität [Mio. m ³]		18,4	18,4
Gebietsüberschuss	[Mio. m ³]	6,7	11,5
Szenario 2			
Entwässerungskapazität [Mio. m ³]		12,9	12,9
Gebietsüberschuss	[Mio. m ³]	12,3	17,0
Szenario 3			
Entwässerungskapazität [Mio. m ³]		0,0	0,0
Gebietsüberschuss	[Mio. m ³]	25,1	29,9

EV Oldersum (Untergebiet)		Extremniederschlag 72 h-Winterereignis	
Gebietsgröße:	246 km ²	20-jährlich	100-jährlich
Abflusskoeffizient:	1,00		
Gebietsniederschlag	[mm]	55	66
Abflussmenge	[Mio. m ³]	13,6	16,2
Szenario 1			
Entwässerungskapazität [Mio. m ³]		10,8	10,8
Gebietsüberschuss	[Mio. m ³]	2,8	5,4
Szenario 2			
Entwässerungskapazität [Mio. m ³]		9,0	9,0
Gebietsüberschuss	[Mio. m ³]	4,6	7,2
Szenario 3			
Entwässerungskapazität [Mio. m ³]		0,0	0,0
Gebietsüberschuss	[Mio. m ³]	13,6	16,2

EV Aurich		Extremniederschlag 72 h-Winterereignis	
Gebietsgröße:	126 km ²	20-jährlich	100-jährlich
Abflusskoeffizient:	0,93		
Gebietsniederschlag	[mm]	57	67
Abflussmenge	[Mio. m ³]	6,5	7,8
Szenario 1			
Entwässerungskapazität [Mio. m ³]		6,1	7,0
Gebietsüberschuss	[Mio. m ³]	0,4	0,8
Szenario 2			
Entwässerungskapazität [Mio. m ³]		4,9	5,3
Gebietsüberschuss	[Mio. m ³]	1,6	2,6
Szenario 3			
Entwässerungskapazität [Mio. m ³]		1,6	2,0
Gebietsüberschuss	[Mio. m ³]	4,9	5,8

EV Oldersum (Obergebiet)		Extremniederschlag 72 h-Winterereignis	
Gebietsgröße:	191 km ²	20-jährlich	100-jährlich
Abflusskoeffizient:	0,93		
Gebietsniederschlag	[mm]	56	66
Abflussmenge	[Mio. m ³]	10,0	11,8
Szenario 1			
Entwässerungskapazität [Mio. m ³]		9,0	9,0
Gebietsüberschuss	[Mio. m ³]	0,9	2,8
Szenario 2			
Entwässerungskapazität [Mio. m ³]		8,9	8,9
Gebietsüberschuss	[Mio. m ³]	1,1	2,9
Szenario 3			
Entwässerungskapazität [Mio. m ³]		0,8	0,8
Gebietsüberschuss	[Mio. m ³]	9,2	11,0

Erstellung der Binnenhochwassergefahrenkarten

Da eine hydrodynamische Simulation zur Verteilung der Gebietsüberschüsse innerhalb der Verbandsgebiete aufgrund fehlender Informationen und erforderlicher Annahmen nicht realistisch durchführbar war, wurden die Binnenhochwassergefahrenkarten mittels eines kaskadierenden Vorgehens erstellt. Dabei wurde auf Basis des digitalen Geländemodells folgendermaßen vorgegangen:

1. Auffüllen der Speichervolumina des Gewässersystems,
2. sukzessive „Flutung“ von Unter- bzw. Stufenschöpfwerksgebieten (soweit vorhanden) in Abhängigkeit ihrer Verwaltungshöhen,
3. Verteilung verbleibender Überschüsse in den tiefst gelegenen Bereichen der Verbandsgebiete

Schritt 3 entspricht damit quasi der Vorgehensweise der Gefahrenkarten im Küstenraum für den Sturmflutfall, bei deren Erstellung die Sturmflutwasserstände ins Binnenland projiziert und die gefährdeten Gebiete entsprechend der Topographie abgeleitet werden.

Für das Verbandsgebiet des EV Aurich und für das Obergebiet des EV Oldersum konnten aufgrund der dortigen Reliefeigenschaften (Geestgebiete) mit der oben skizzierten Methodik keine Gefahrenkarten erzeugt werden.

Erstellung der Binnenhochwasserrisikokarten

Die erstellten Binnenhochwasserrisikokarten basieren auf einer Verschneidung der Binnenhochwassergefahrenkarten mit der Landnutzung der von den potenziellen Überflutungen betroffenen Gebiete entsprechend der ALKIS-Daten (Flächennutzungen, Gebäude) (s. Abb. 50). Als weitere relevante Nutzungen, die in einer entsprechenden Risikokarte Berücksichtigung finden können, kommen z. B. Standorte besonders umweltrelevanter Industrieanlagen, kritische Infrastrukturen, Verkehrswege (im Hinblick auf die Erreichbarkeit bestimmter Gebiete im Hochwasserfall) sowie Schutzgebiete und Kulturgüter in Betracht.

Binnenhochwassergefahrenkarten der Verbandsgebiete

Wie ein Abgleich der in Tabelle 22 aufgeführten Gebietsüberschüsse mit den in Tabelle 23 dargestellten Speichervolumina in den Gewässersystemen zeigt, kommt es beim 20-jährlichen Niederschlagsereignis in der Regel ab Szenario 2 (Kettentide) zu mehr oder weniger starken Überlastungen der Entwässerungssysteme. Beim 100-jährlichen Niederschlagsereignis treten hingegen in der Regel bereits ab Szenario 1 (mittlere Tide) deutliche Kapazitätsüberschreitungen auf.

Beispielhaft werden auf den folgenden Seiten die Gefahrenkarten für das Szenario eines 100-jährlichen 3-Tages-Winterniederschlagsereignisses bei Kettentide und zusätzlichem Schöpfwerksausfall (Szenario 3) für die Verbandsgebiete Norden, Emden und Oldersum (Untergebiet) gezeigt.

EV Norden

Da es im Verbandsgebiet des EV Norden keine Unterschöpfwerksgebiete gibt, wurde der Gebietsüberschuss von 15,0 Mio. m³ nach Auffüllung des Gewässersystems entsprechend der Topographie direkt im Gesamtgebiet verteilt. Der resultierende Binnenhochwasserpegel läge beim zugrunde gelegten Szenario 3 mit 100-jährlichem Niederschlag bei ca. +0,7 m NHN (gegenüber dem winterlichen Sollwasserstand von -1,0 m NHN), sodass es zu einer flächenhaften Überflutung der niedrig gelegenen Marschengebiete käme. In den betroffenen Flächen würden sich Wassertiefen von bis zu 1 m und stellenweise auch etwas mehr ergeben (s. Karte auf Seite 89).

I. EV Emden

Für das Verbandsgebiet des I. EV Emden sind für das zugrunde gelegte Szenario 3 mit 100-jährlichem Niederschlag, bei dem sich ein Gebietsüberschuss von 29,9 Mio. m³ ergäbe, zwei unterschiedliche Binnenhochwassergefahrenkarten dargestellt. Während in der ersten Karte

(s. Seite 90) sämtliche Unterschöpfwerksgebiete unabhängig von ihrer jeweiligen Verwaltungshöhe als „geflutet“ angesehen wurden, wurde bei der zweiten Karte (s. Seite 91) differenzierter vorgegangen. Hier wurden nur diejenigen Unterschöpfwerksgebiete mit in den Überflutungsbereich einbezogen, deren Verwaltungen laut Geländemodell (DGM1) bei dem sich einstellenden Binnenhochwasserpegel auch tatsächlich (in stärkerem Maße) überströmt würden, wohingegen Unterschöpfwerksgebiete mit ausreichend hoher Verwaltung als nicht betroffen eingestuft wurden (Freepsum-Canum, Freepsumer Meerkompanie, Uhlsmeer und Logumer Vorwerk). Aufgrund der unterschiedlichen räumlichen Verteilungsmuster ergäben sich leicht differierende Binnenhochwasserpegel (-0,55 m NHN in der ersten Karte und -0,50 m NHN in der zweiten Karte), die jeweils deutlich über dem winterlichen Sollwasserstand im Hauptvorflutsystem von -1,4 m NHN lägen und im überwiegenden Teil der überfluteten Flächen zu Wassertiefen von bis zu 1 m bzw. in Teilbereichen einzelner Unterschöpfwerksgebiete auch von mehr als 1 m führen würden.

EV Oldersum (Untergebiet)

Auch für das Untergebiet des EV Oldersum sind für das zugrunde gelegte Szenario 3 mit 100-jährlichem Niederschlag, bei dem sich ein Gebietsüberschuss von 16,2 Mio. m³ ergäbe, zwei unterschiedliche Binnenhochwassergefahrenkarten dargestellt. In der ersten Karte (s. Seite 92) wurden – wie auch im Gebiet des I. EV Emden – sämtliche Stufenschöpfwerksgebiete unabhängig von ihrer jeweiligen Verwaltungshöhe als „geflutet“ angesehen. Da der hieraus resultierende Binnenhochwasserpegel von -0,75 m NHN allerdings deutlich unterhalb der Verwaltungshöhen der Stufenschöpfwerksgebiete liegt, stellt die Karte kein realistisches Flutungsszenario dar. In der zweiten Karte (s. Seite 93) wurde der Gebietsüberschuss stattdessen so verteilt, dass nur diejenigen Stufenschöpfwerksgebiete in den Überflutungsbereich einbezogen wurden, die

bei steigendem Wasserstand im Hauptvorflutsystem laut Geländemodell (DGM1) als erstes von einer tatsächlichen Überströmung ihrer Verwallungen betroffen wären (Uhlkamp, Kolken, Türkmeer, Uphuser Meer, Oldersumer Grashaus). In diesem Fall läge der resultierende Binnenhochwasserpegel bei ca. -0,35 m NHN (gegenüber dem winterlichen Sollwasserstand im Hauptvorflutsystem von -1,2 m NHN), sodass es neben den oben genannten stark betroffenen Stufenschöpfwerksgebieten – anders als in der ersten Karte – auch im Hauptgebiet zu ausgedehnten Überflutungen (mit dort allerdings eher geringen Wassertiefen) käme.

EV	Speichervolumen im Gewässersystem	
EV Norden	Speichervolumen im Hauptvorflutsystem (Berechnung mittels DGM1): → Volumen zwischen Winter-Sollpegel von -1,0 m NHN und kritischem Hochwasserpegel von -0,2 m NHN:	1,8 Mio. m ³
	Speichervolumen in höher gelegenen Gewässern (Abschätzung): → 195 ha Gewässerfläche (ALKIS) mit Wasserständen über -0,2 m NHN → Volumen bei Wasserstandsanstieg um beispielsweise 0,5 m:	1,0 Mio. m ³
	Speichervolumen insgesamt:	2,8 Mio. m³
I. EV Emden	Speichervolumen im Hauptvorflutsystem (Berechnung mittels DGM1): → Volumen zwischen Winter-Sollpegel von -1,4 m NHN und kritischem Hochwasserpegel von -0,9 m NHN:	4,8 Mio. m ³
	Speichervolumen in höher gelegenen Gewässern (Abschätzung): → 413 ha Gewässerfläche (ALKIS) mit Wasserständen über -0,9 m NHN → Volumen bei Wasserstandsanstieg um beispielsweise 0,5 m:	2,1 Mio. m ³
	Speichervolumen in Unterschöpfwerksgebieten: → Förderleistung der Unterschöpfwerke liegt i.d.R. bei 2 l/s*ha → Überlastung daher i.d.R. erst ab Abflusshöhen von > 50 mm/72 h	abhängig vom Management
	Speichervolumen insgesamt:	6,9 Mio. m³
EV Oldersum (Untergebiet)	Speichervolumen im Hauptvorflutsystem (Berechnung mittels DGM1): → Volumen zwischen Winter-Sollpegel von -1,2 m NHN und kritischem Hochwasserpegel von -0,6 m NHN:	3,4 Mio. m ³
	Speichervolumen in höher gelegenen Gewässern (Abschätzung): → 88 ha Gewässerfläche (ALKIS) mit Wasserständen über -0,6 m NHN → Volumen bei Wasserstandsanstieg um beispielsweise 0,5 m:	0,4 Mio. m ³
	Speichervolumen in Stufenschöpfwerksgebieten: → Förderleistung der Stufenschöpfwerke liegt i.d.R. bei 2 l/s*ha → Überlastung daher i.d.R. erst ab Abflusshöhen von > 50 mm/72 h	abhängig vom Management
	Speichervolumen insgesamt:	3,8 Mio. m³

Zwischen den beiden dargestellten Varianten wären grundsätzlich weitere Abstufungen der betroffenen Überflutungsbereiche denkbar. Durch etwaige Notfall-Managemententscheidungen hinsichtlich einer gezielten Pumpenabschaltung oder sogar einer gesteuerten Flutung bestimmter Stufenschöpfwerksgebiete könnten im Ereignisfall prinzipiell auch andere Verteilungsmuster des Gebietsüberschusses herbeigeführt werden.

Sonderfall: EV Oldersum (Obergebiet) und EV Aurich

Im Obergebiet des EV Oldersum und im Verbandsgebiet des EV Aurich sind aufgrund der Topographie keine flächenhaften Ausdehnungen der bei einem Extremereignis entstehenden Gebietsüberschüsse zu erwarten. Stattdessen würden sich diese dem Abflussgefälle folgend in den Hauptvorflutgewässern Sauteler Kanal (EV Oldersum) bzw. Ems-Jade-Kanal (EV Aurich) sammeln und dort zu extremen Hochwasserständen führen. Um zu verhindern, dass es bei Überschreitung der vorhandenen Speichervolumina der Gewässer (s. Tab. 23) zu unkontrollierten Dammüberströmungen oder -brüchen käme, wären ent-

Tab. 23: Übersicht der ermittelten Speichervolumina in den Gewässersystemen

EV	Speichervolumen im Gewässersystem	
EV Oldersum (Obergebiet)	Speichervolumen im Sauteler Kanal (Berechnung mittels DGM1): → Volumen zwischen Normalpegel und kritischem Hochwasserpegel:	0,55 Mio. m ³
	Speichervolumen im Bagbander Tief (Berechnung mittels DGM1): → Volumen zwischen Normalpegel und kritischem Hochwasserpegel inklusive Ausuferungen:	0,25 Mio. m ³
	Speichervolumen in sonstigen Gewässern (Abschätzung): → 46 ha Gewässerfläche (ALKIS) → Volumen bei Wasserstandsanstieg um beispielsweise 0,5 m:	0,25 Mio. m ³
	Speichervolumen der zwei Entlastungspolder: → Volumen der Polder am Großefehn- und Spetzerfehnkanal:	0,05 Mio. m ³
	Speichervolumen insgesamt:	1,1 Mio. m³
EV Aurich	Speichervolumen der Gewässer im EV Aurich (Abschätzung): → 77 ha Gewässerfläche (ALKIS) → Volumen bei Wasserstandsanstieg um beispielsweise 0,5 m:	0,4 Mio. m ³
	Speichervolumen im Ems-Jade-Kanal/Ringkanal/SE/AMK (Abschätzung): → Volumen zwischen Normalpegel und kritischem Hochwasserstand:	0,5 Mio. m ³
	Speichervolumen im Emden Hafen: → Volumen der potenziell nutzbaren Speicherlamelle von 30 cm:	0,5 Mio. m ³
	Speichervolumen insgesamt:	1,4 Mio. m³

sprechende Notabschläge in die angrenzenden Vorflutssysteme erforderlich. Über vorhandene Abschlagsbauwerke bestünden diesbezüglich folgende Möglichkeiten:

- Notabschlag aus dem Sauteler Kanal in das Untergebiet des EV Oldersum sowie
- Notabschlag aus dem Ems-Jade-Kanal in das Verbandsgebiet des I. EV Emden und/oder in das Untergebiet des EV Oldersum

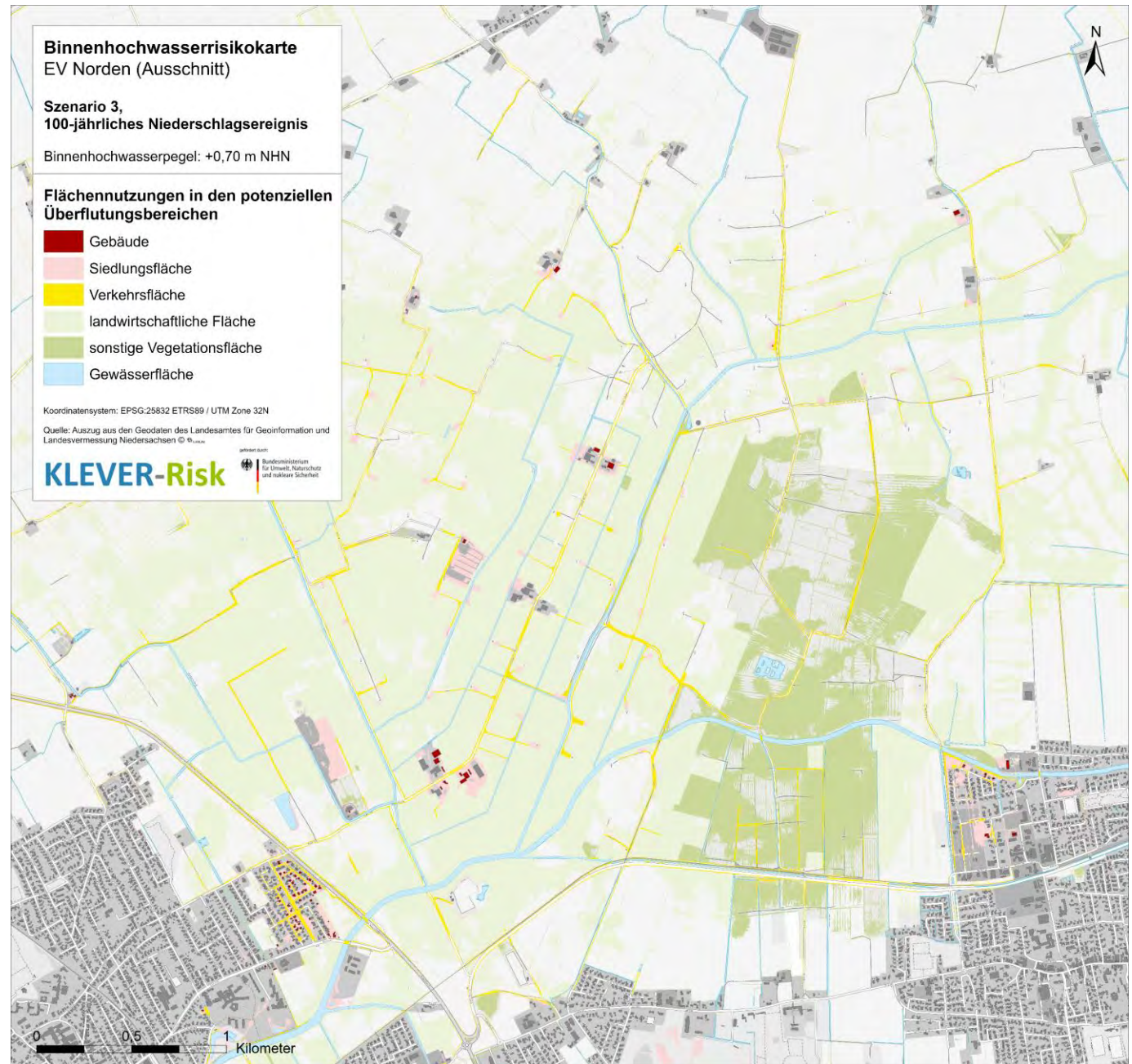
In der Konsequenz hieße dies, dass sich die Gebietsüberschüsse in den Unterliegergebieten bei einem gebietsübergreifenden Extremereignis durch die Notabschläge aus den Oberliegergebieten noch zusätzlich erhöhen und sich die resultierenden Überflutungsbereiche somit entsprechend vergrößern würden.

Nutzen von Binnenhochwassergefahren- & -risikokarten

Wie eingangs beschrieben, zielen die bisherigen Gefahren- und Risikokarten nach EU-HWRM-RL im Küstenraum lediglich auf Sturmfluten ab. Die im Rahmen von KLEVER-Risk aufgezeigte Erweiterung um den Aspekt *Binnenhochwasser* ermöglicht es, das Gefahren- und Risikobild insgesamt zu vervollständigen. Der Mehrwert und Nutzen der Binnenhochwassergefahren- und -risikokarten besteht insbesondere in der

- Steigerung des (oft nur wenig ausgeprägten) Gefahren- und Risikobewusstseins gegenüber potenziellen Binnenhochwasserereignissen in der Bevölkerung und bei verantwortlichen Entscheidungsträgern sowie der
- Verbesserung der Informationsgrundlagen für Entscheidungen im Rahmen der Regional- und Bauleitplanung, bei der Vorhabengenehmigung und im Katastrophenschutz sowie zur privaten Eigenvorsorge potenziell Betroffener.

Abb. 50: Ausschnitt aus der Binnenhochwasserrisikokarte für das Verbandsgebiet des EV Norden (Szenario 3 mit 100-jährlichem Niederschlagsereignis)

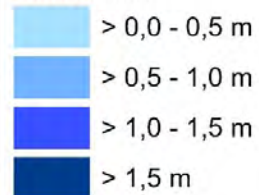


Binnenhochwassergefahrenkarte EV Norden

**Szenario 3,
100-jährliches Niederschlagsereignis**

Binnenhochwasserpegel: +0,70 m NHN

Wassertiefe



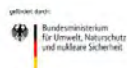
Verbandsgrenze

Koordinatensystem: EPSG:25832 ETRS89 / UTM Zone 32N

Quelle: Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen © LBN

Grundkarte: WebAtlasNI

KLEVER-Risk



0 1,25 2,5
 Kilometer





0 1,25 2,5
Kilometer

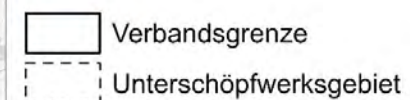
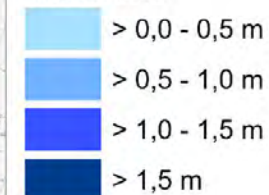
Binnenhochwassergefahrenkarte I. EV Emden

**Szenario 3,
100-jährliches Niederschlagsereignis**

Karte 1:
Verteilung des Gebietsüberschusses in
sämtlichen Unterschöpfwerksgebieten ohne
Berücksichtigung der Verwaltungshöhen

Binnenhochwasserpegel: -0,55 m NHN

Wassertiefe



Koordinatensystem: EPSG:25832 ETRS89 / UTM Zone 32N

Quelle: Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und
Landesvermessung Niedersachsen © LGLN

Grundkarte: WebAtlasNI

KLEVER-Risk





0 1,25 2,5
Kilometer

Binnenhochwassergefahrenkarte I. EV Emden

**Szenario 3,
100-jährliches Niederschlagsereignis**

Karte 2:
Verteilung des Gebietsüberschusses unter
Berücksichtigung der Verwaltungshöhen
der Unterschöpfwerksgebiete

Binnenhochwasserpegel: -0,50 m NHN

Wassertiefe

-  > 0,0 - 0,5 m
-  > 0,5 - 1,0 m
-  > 1,0 - 1,5 m
-  > 1,5 m

-  Verbandsgrenze
-  Unterschöpfwerksgebiet
-  ausreichende Verwaltungshöhe

Koordinatensystem: EPSG:25832 ETRS89 / UTM Zone 32N

Quelle: Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und
Landesvermessung Niedersachsen © 

Grundkarte: WebAtlasNI

KLEVER-Risk





0 1,25 2,5
Kilometer

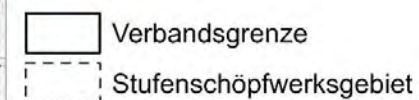
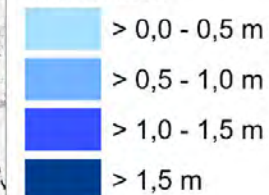
Binnenhochwassergefahrenkarte EV Oldersum (Untergebiet)

**Szenario 3,
100-jährliches Niederschlagsereignis**

Karte 1:
Verteilung des Gebietsüberschusses in
sämtlichen Stufenschöpfwerksgebieten ohne
Berücksichtigung der Verwaltungshöhen

Binnenhochwasserpegel: -0,75 m NHN

Wassertiefe



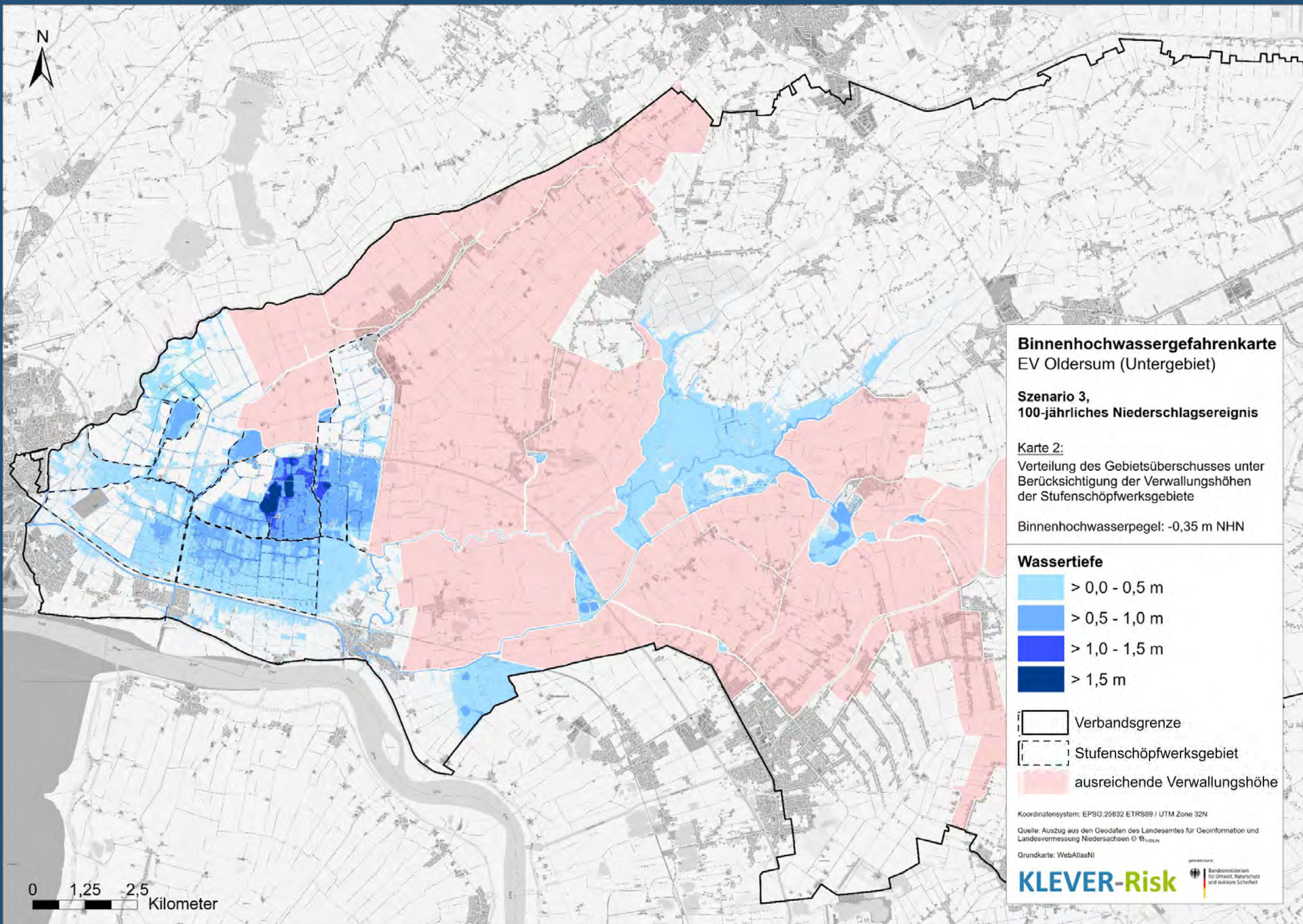
Koordinatensystem: EPSG:25832 ETRS89 / UTM Zone 32N

Quelle: Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und
Landesvermessung Niedersachsen ©  LBN

Grundkarte: WebAtlasNI

KLEVER-Risk

 **Niedersächsisches Ministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit**



5.8 Umgang mit Binnenhochwasser- und Starkregen- gefahren in der Raumplanung

Im Rahmen von KLEVER-Risk wurden mit den beteiligten Kooperationspartnern und weiteren kommunalen Stakeholdern aus dem Betrachtungsraum die Möglichkeiten des raumplanerischen Umgangs mit Binnenhochwasser- und Starkregengefahren diskutiert. Dabei wurden im Wesentlichen folgende drei Handlungsfelder betrachtet:

- Risikovorsorge in der Raumordnung und in der Bauleitplanung,
- Optimierung der bisherigen Praxis der Regenrückhaltung im Zusammenhang mit Bauvorhaben,
- Umsetzung einer wassersensiblen Siedlungs- und Freiraumgestaltung

Risikovorsorge in der Raumordnung und in der Bauleitplanung

Da es bei Extremwetterereignissen zu Überlastungen der Entwässerungssysteme der Küstenniederungen kommen kann und bei Stromausfall an den Schöpfwerken sogar ein Komplettersagen der Binnenentwässerung möglich ist (s. Kap. 4), kann kein hundertprozentiger Schutz vor Binnenhochwasserereignissen garantiert werden. Es bestehen somit Restrisiken, denen nur durch eine Minimierung der Schadenspotenziale begegnet werden kann. Die Raumplanung kann hierzu einen wesentlichen Beitrag leisten und ist nicht zuletzt durch den im Jahr 2021 in Kraft getretenen „Bundesraumordnungsplan Hochwasserschutz“ aufgefordert, die Risiken möglicher Hochwasserereignisse auf allen Planungsebenen stärker in den Blick zu nehmen und entsprechende Vorsorge zu betreiben. Bezogen auf das Binnenhochwasserrisikomanagement im Küstenraum sind dabei folgende Ansatzpunkte denkbar:

- Auf Landesebene könnten im **Landes-Raumordnungsprogramm** (LRÖP) übergeordnete textliche Festlegungen zum Umgang mit Binnenhochwassergefahren und -risiken in den Küstenniederungen formuliert werden.
- Auf Landkreisebene wäre es möglich, in den **Regionalen Raumordnungsprogrammen** (RRÖP) binnenhochwassergefährdete Bereiche als Vorbehaltsgebiete (bei besonderer Gefährdung u. U. auch als Vorranggebiete) „Hochwasserschutz“ auszuweisen.
- Auf Gemeindeebene könnte durch eine konsequente Nutzungssteuerung im Rahmen der **Bauleitplanung** auf die Vermeidung zusätzlicher Schadenspotenziale in binnenhochwassergefährdeten Bereichen der Küstenniederungen hingewirkt werden. Der mit Abstand effektivste Ansatz bestünde in dem generellen Verzicht auf eine Ausweisung von Baugebieten in gefährdeten Bereichen. Sollte dieser Weg aufgrund fehlender Alternativflächen nicht gangbar sein, könnten stattdessen Vorgaben bezüglich einer hochwasserangepassten Bauweise gemacht werden, um auf diese Weise eine Minimierung der Schadenspotenziale von nicht vermeidbaren Neubauvorhaben in Niederungsbereichen herbeizuführen. Hierzu könnten im Bebauungsplan folgende Festsetzungen vorgenommen werden:
 - Festsetzung von Gebieten, in denen bei der Errichtung baulicher Anlagen bestimmte bauliche oder technische Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung von Hochwasserschäden getroffen werden müssen (§ 9 Abs. 1 Nr. 16c BauGB),
 - Festsetzung der Höhenlage baulicher Anlagen (§ 9 Abs. 3 Satz 1 BauGB)

Um in der Raumordnung und Bauleitplanung überhaupt derartige Entscheidungen treffen zu können, sind entsprechende Informationen zur Binnenhochwassergefährdung in den Küstenniederungen erforderlich. Die im Rahmen von KLEVER-Risk für den Betrachtungsraum erstellten szenariobasierten **Binnenhochwassergefahrenkarten** (s. Kap. 5.7) können diesbezüglich eine hilfreiche Grundlage darstellen.

Neben den bereits beschriebenen generellen Handlungsmöglichkeiten der planerischen Risikovorsorge wurden im Rahmen der im Projekt durchgeführten Akteursworkshops zudem folgende konkreten Ansatzpunkte zur Verminderung der Binnenhochwasserrisiken in den Küstenniederungen benannt:

- Innenentwicklung der Warftendörfer: Um den Bedarf an Neubaugebieten auf der tiefliegenden „grünen Wiese“ zu reduzieren, könnte ein verstärktes Augenmerk auf die Innenentwicklung der oft von hohem Leerstand geprägten Warftendörfer gelegt werden. Hierfür müssten allerdings Kompromisslösungen mit den Anforderungen des Denkmalschutzes gefunden werden, die eine Umgestaltung der historischen Ortskerne durch Umnutzung oder Abriss leerstehender Gebäude häufig verhindern.
- Aufspülung tiefliegender Flächen: Durch eine Aufspülung tiefliegender Flächen mit Sedimentmaterial aus der Fahrrinnenunterhaltung der Außenems könnte die Binnenhochwassergefährdung entsprechender Bereiche reduziert werden.

Optimierung der bisherigen Praxis der Regenrückhaltung im Zusammenhang mit Bauvorhaben

Auf versiegelten Flächen kann der Niederschlag nicht mehr versickern und gelangt – sofern er nicht zurückgehalten wird – zu großen Anteilen und in hoher Geschwindigkeit in die Kanalisationssysteme und oberirdischen Gewässer, über die das Regenwasser in die weiterführenden Hauptvorfluter abtransportiert wird. Durch die anhaltende Flächenversiegelung kommt immer mehr Niederschlag auf diese Weise zum Abfluss, mit der Folge, dass die Entwässerungssysteme zunehmend stärker beansprucht werden und teilweise bereits überlastet sind.

Es hat sich daher mehr und mehr die Einsicht durchgesetzt, dass der Verzögerung und der Verringerung von Niederschlagsabflüssen Priorität vor deren Ableitung eingeräumt werden sollte. So fordern die unteren Wasserbehörden der Landkreise schon seit vielen Jahren, dass bei der Erschließung von neuen Wohn- und Gewerbegebieten sowie bei der Realisierung von Einzelbauvorhaben (ab einer gewissen Größenordnung) entsprechende **Maßnahmen zur Regenrückhaltung** umzusetzen sind. Vor dem Hintergrund der in den letzten Jahren aufgetretenen Starkniederschläge und der zu erwartenden klimawandelbedingten Zunahme solcher Ereignisse haben die zuständigen Behörden im Projektgebiet von KLEVER-Risk die Vorgaben für die Regenrückhaltung vor Kurzem weiter verschärft. Sowohl die Landkreise Aurich und Leer als auch die kreisfreie Stadt Emden sehen für die Bemessung von Regenrückhaltanlagen nunmehr die Zugrundelegung eines Niederschlagsereignisses mit einer Wiederkehrzeit von 10 Jahren (anstelle von vormals 5 Jahren) vor. Zudem ist zur Vorsorge für zukünftige Entwicklungen ein **Klimazuschlag von 15 %** zu berücksichtigen.

Zur weiteren **Optimierung der Regenrückhaltung** wurde im Rahmen von KLEVER-Risk die Idee diskutiert, künftig größere, zentral gelegene Speicherbecken bzw. -polder zu realisieren, anstatt die Rückhaltung – wie bisher prakti-

ziert – unmittelbar am Standort der Neuversiegelung in Form von vergleichsweise kleinen Anlagen umzusetzen. Die Idee sieht vor, dass das Wasser von versiegelten Flächen nicht direkt in angrenzende Regenrückhalteräume fließt, sondern zunächst in das Vorflutsystem eingeleitet und anschließend andernorts durch Pumpeneinsatz wieder entnommen und in großen Speicherbecken bzw. -poldern zentral zwischengespeichert wird. Diese Vorgehensweise wäre allerdings nur dort möglich, wo das Wasser aus den versiegelten Bereichen über ausreichend leistungsstarke Vorfluter auch bei Starkregen schadlos abfließen kann. Sollte dies nicht der Fall sein, muss die Regenrückhaltung zwingend vor Ort erfolgen.

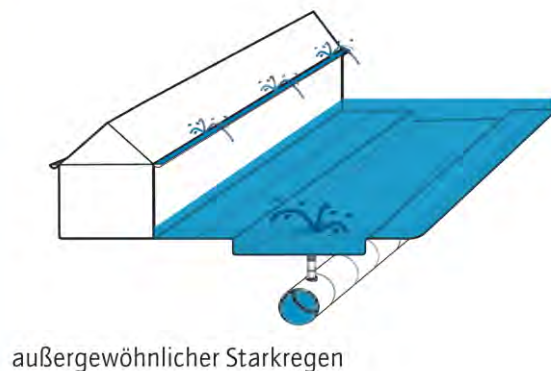
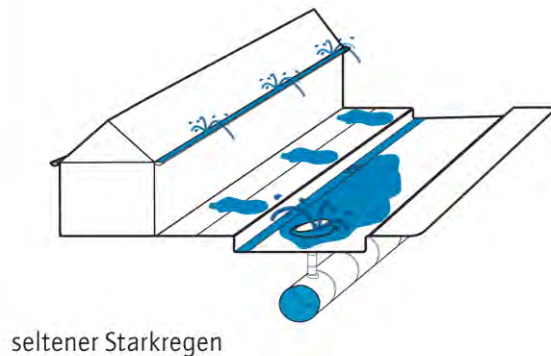
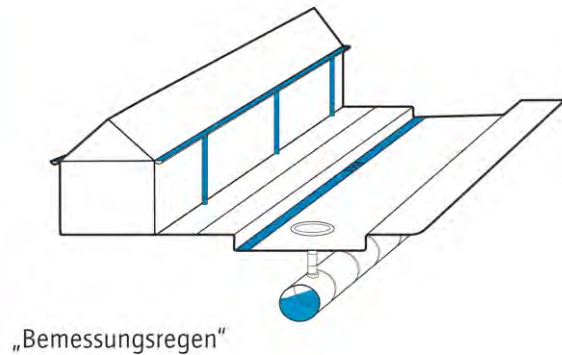
Als ein wesentlicher **Vorteil von zentralen Speicherbecken bzw. -poldern** ist die verbesserte wasserwirtschaftliche Wirksamkeit der Regenrückhaltung zu nennen. Durch ein entsprechendes Management wäre es möglich, in kritischen Situationen Wasser gezielt aus dem Vorflutsystem zu entnehmen und die Wasserstände zu senken. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht wäre es somit am sinnvollsten, zentrale Rückhaltdepot un mittelbar in solchen Bereichen zu errichten, wo die Gewässerpegel besonders hoch ansteigen, um durch gezielte Wasserentnahmen dort schnell für Entlastung sorgen zu können. Als weitere Vorteile gegenüber den bisherigen dezentralen Rückhaltanlagen wurden von den beteiligten Akteuren darüber hinaus folgende Aspekte benannt:

- Möglichkeit der kosteneffizienteren Realisierung der Regenrückhaltung (geringere Baukosten pro Volumeneinheit),
- Verringerung von Unterhaltungsaufwand und -kosten (geringere Anzahl von Anlagen) und verbesserte Gewährleistung der Unterhaltung (Zuständigkeit „in einer Hand“),
- Vermeidung von Baulandverlusten in den Siedlungsgebieten durch Auslagerung des erforderlichen Regenrückhalterums in den Außenbereich,

- Möglichkeit zur (nachträglichen) Schaffung von Regenrückhalteraum für solche Siedlungsgebiete, in denen bisher keine Regenrückhaltung existiert bzw. nicht ausreichend Fläche verfügbar ist (z. B. Innenstadtbereiche),
- Synergien im Hinblick auf die potenzielle Nutzung entsprechender Speicherpolder auch zu Zwecken der Wasserbevorratung für bestimmte Nutzungsbedarfe,
- Synergien mit dem Naturschutz im Falle einer naturnahen Gestaltung der Speicherpolder (sofern dies nicht zu verstärkten Konflikten mit den Anforderungen des Artenschutzes bei erforderlichen Unterhaltungsmaßnahmen führt)

Als mögliches **Realisierungs- und Finanzierungsmodell** zentraler Regenrückhaltdepot wurde eine „Pool-Lösung“ vorgeschlagen, bei der sich Bauträger entsprechend des von ihnen zu erbringenden Rückhaltevolumens in (vorab errichtete) Polder einkaufen könnten. Für die Planung und den Bau der Polder wären die Kommunen zuständig, die dies unter Umständen auch in interkommunaler Zusammenarbeit angehen könnten. Eine andere denkbare Variante bestünde darin, dass die Niedersächsische Landgesellschaft (NLG) entsprechende Polderlösungen entwickelt und vermarktet.

Um potenzielle Standorte frühzeitig für eine mögliche spätere Poldernutzung zu sichern, könnten geeignete Flächen in den Regionalen Raumordnungsprogrammen als Vorrang- oder Vorbehaltsgebiete festgelegt bzw. in den kommunalen Flächennutzungsplänen dargestellt werden.



Umsetzung einer wassersensiblen Siedlungs- und Freiraumgestaltung

Neben den im Rahmen von KLEVER-Risk vorrangig betrachteten großräumigen Binnenhochwassergefahren sind auf lokaler Ebene auch die eher kleinräumig wirkenden **Starkregengefahren** von Bedeutung. Als Starkregen wird ein Phänomen bezeichnet, das vor allem im Sommer auftritt und auf in der Regel eng begrenztem Raum zu sehr hohen Niederschlagsmengen innerhalb kurzer Zeit führt. Während sich derartige Niederschläge in den Hauptvorflutgewässern schnell verteilen und nur geringe Pegelanstiege bewirken, können sie in kleineren Gewässern und in Siedlungsbereichen zu **Rückstau- und Überflutungssituationen** führen, die im Extremfall auch Schäden am Baubestand nach sich ziehen können.

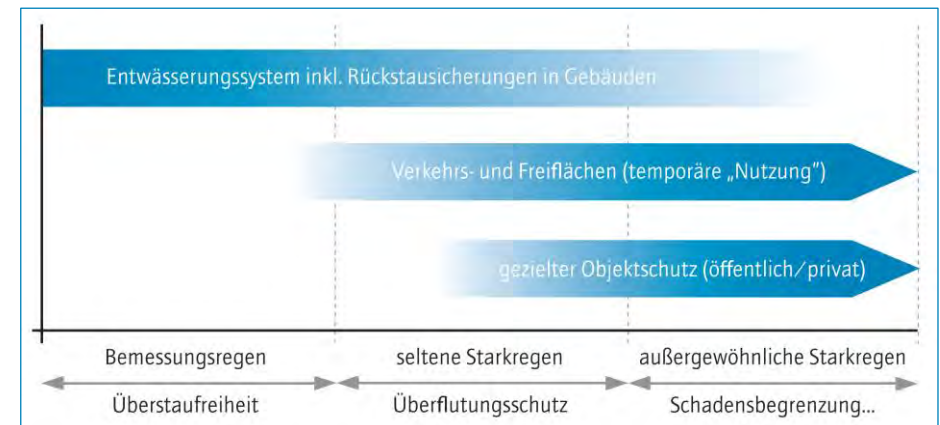
Wie Abbildung 51 veranschaulicht, sind extreme Starkregenereignisse durch die Siedlungsentwässerungssysteme nicht zu bewältigen, da diese lediglich für einen bestimmten **Bemessungsregen** dimensioniert sind (i. d. R. für einen Starkregen mit einem statistischen Wiederkehrintervall von fünf bis zehn Jahren). Bei seltenen und außergewöhnlichen Starkregen kommt es hingegen zu **Überlastungen der Systeme**, denen nur durch weitergehende Maßnahmen des Überflutungsschutzes und der Schadensbegrenzung (Objektschutz) begegnet werden kann (s. Abb. 52).

Abb. 51 (links): Belastungszustand des Kanalisationssystems je nach Intensität des Niederschlags (StEB Köln: s. Quellenangabe bei Abb. 3)

Abb. 52 (rechts): Elemente des Überflutungsschutzes bei unterschiedlichen Niederschlagsbelastungen (StEB Köln: s. Quellenangabe bei Abb. 5)

Da die Siedlungsentwässerungssysteme aus betrieblichen und wirtschaftlichen Gründen auch künftig nicht für extreme Starkregenereignisse ausgelegt werden können, sind innovative Strategien und Maßnahmen notwendig, um auf derartige Wetterphänomene zu reagieren. Insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels, der aller Voraussicht nach zu einer Intensivierung von Starkregenereignissen führen wird, ist die Siedlungswasserwirtschaft gefordert, gemeinsam mit der Stadt-, Verkehrs- und Freiraumplanung sektorübergreifende Lösungen für ein ganzheitliches Regenwassermanagement und eine effektive Schadensminimierung zu entwickeln. Hierfür kommen die in Abbildung 53 dargestellten **Bausteine einer wassersensiblen Siedlungs- und Freiraumgestaltung** in Betracht. Bei der Konzeptionierung und Realisierung entsprechender Maßnahmen sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

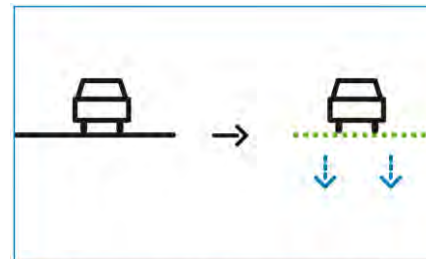
- Höchste Priorität sollte die Vermeidung bzw. die Minderung der entstehenden Niederschlagsabflüsse haben. Dies kann sowohl durch eine Minimierung der versiegelten Fläche als auch durch den Einsatz wasserdurchlässiger Oberflächenmaterialien sowie durch Dachbegrünungen erreicht werden.



- Beim Umgang mit den verbleibenden Abflüssen sollte möglichst eine dezentrale, oberirdische Sammlung, Speicherung und Ableitung von Regenwasser angestrebt werden. Solche Lösungen leisten einen wichtigen Beitrag zur Entlastung von Kanalisationen, Kläranlagen und Gewässern sowie zur Verbesserung des lokalen Kleinklimas.
- Bei beengten Verhältnissen lässt sich eine angemessene Siedlungsentwässerung bzw. Überflutungsvorsorge oft nur durch eine multifunktionale Nutzung von Flächen realisieren. Indem Verkehrsanlagen und Freiflächen so umgestaltet werden, dass sie bei seltenen extremen Regenereignissen als Notwasserwege oder temporäre Retentionsräume genutzt werden können, kann ein wichtiger Beitrag zur Schadensminimierung im Siedlungsbestand geleistet werden.

Eine wichtige Informationsgrundlage für konkrete Maßnahmenplanungen stellen **Starkregengefahrenkarten** dar, die Aussagen über die mögliche Ausdehnung und Tiefe einer Überflutung infolge starkregenbedingter Abflüsse an der Oberfläche enthalten. Der Oldenburgisch-Ostfriesische Wasserverband (OOWV) hat im März 2023 eine verbandsgebietsweite Starkregengefahrenkarte vorgestellt, die den Mitgliedskommunen zur Verfügung gestellt wird.

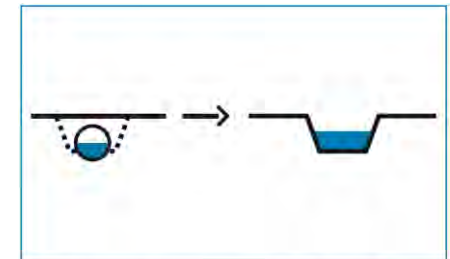
Während in bestehenden Siedlungsgebieten ein wassersensibler Umbau nur sukzessive im Zuge fortwährender Erneuerungsbedarfe der Siedlungsinfrastrukturen erfolgen kann, ist bei Neubauvorhaben von vornherein eine wassersensible Planung möglich. Hierzu können u. a. entsprechende **Festsetzungen in Bebauungsplänen** (z. B. zur Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser und zu baulich-technischen Maßnahmen der Hochwasser- und Starkregenvorsorge) gemacht sowie **örtliche Bauvorschriften** (z. B. zur Gestaltung der nicht überbauten Flächen bebauter Grundstücke) erlassen werden.



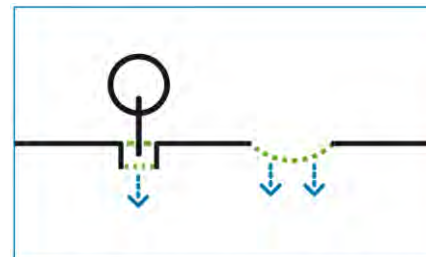
(Teil-)Entsiegelung befestigter Flächen



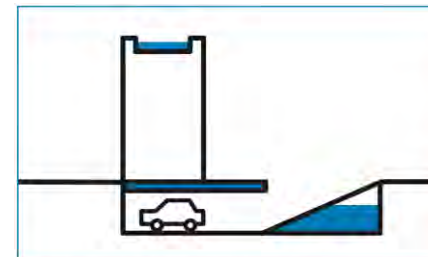
Begrünung von Dachflächen



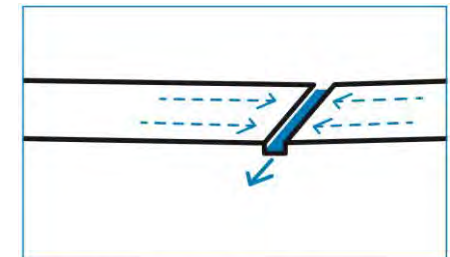
Reaktivierung ehemaliger Gräben und Fließgewässer



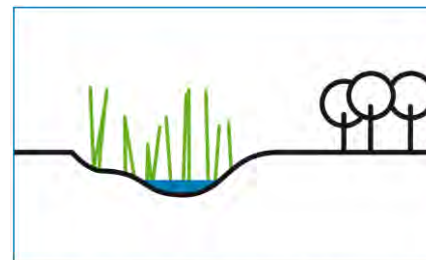
Dezentrale Versickerung und Verdunstung



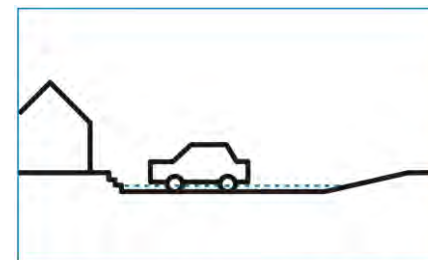
Rückhalt von Abflussspitzen in oder auf Bauwerken



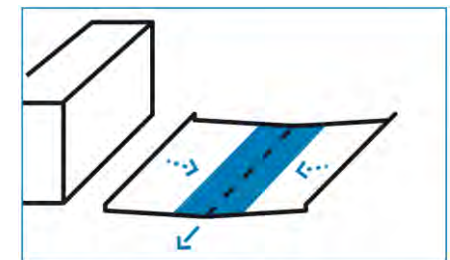
Offene Ableitung von Regenwasser



Sicherung und Schaffung von Retentionsflächen



Multifunktionale Nutzung von Verkehrs- und Freiflächen



Notentwässerung (Ableitung) über Straßen und Wege

Abb. 53: Bausteine einer wassersensiblen Siedlungs- und Freiraumgestaltung (zusammengestellt aus: StEB Köln – Stadtentwässerungsbetriebe Köln (o. J.): Leitfaden für eine wassersensible Stadt- und Freiraumgestaltung in Köln – Empfehlungen und Hinweise für eine zukunftsfähige Regenwasserbewirtschaftung und für die Überflutungsvorsorge bei extremen Niederschlagsereignissen)

5.9 Stärkung der Binnenhochwasser- und Starkregen-Eigenvorsorge der Bevölkerung

Neben staatlichen, kommunalen und verbandlichen Maßnahmen der Binnenhochwasser- und Starkregenvorsorge spielt für ein umfassendes Risikomanagement auch die Eigenvorsorge der Bevölkerung eine wichtige Rolle. Denn für die Minimierung der eigenen Gefährdung und die Sicherung des privaten Grund- und Gebäudeeigentums steht jede Bürgerin und jeder Bürger selbst in der Pflicht. So sind nach dem Wasserhaushaltsgesetz alle Personen, die potenziell von einem Hochwasserereignis betroffen sein können, dazu verpflichtet, im Rahmen des Möglichen und Zumutbaren geeignete Vorsorgemaßnahmen zum Schutz vor nachteiligen Hochwasserfolgen und zur Schadensminimierung zu treffen (§ 5 Abs. 2 WHG). Das Spektrum der Handlungsmöglichkeiten umfasst dabei die Bereiche der Informationsvorsorge, der Verhaltensvorsorge, der Bauvorsorge und der Risikovorsorge. Zudem sind die Gewässerunterhaltung und die Regenwasserbewirtschaftung auf privaten Grundstücken von Bedeutung.

Informationsvorsorge

Die Informationsvorsorge stellt den ersten Schritt der Eigenvorsorge dar. Nur wem mögliche Gefahren und Risiken bewusst sind, ist in der Lage, sich durch Verhaltens-, Bau- oder Risikovorsorgemaßnahmen (s. u.) zu schützen. Die Voraussetzung dafür ist, dass der Bevölkerung entsprechende Informationen über Binnenhochwasser- und Starkregenereignisse möglichst niederschwellig zur Verfügung gestellt werden. Dies umfasst sowohl Kartenmaterial zu potenziellen Gefährdungsbereichen als auch Warnungen zu möglichen Hochwasser- und Starkregenereignissen.

Gefahrenkarten

Die über den Kartenserver des Niedersächsischen Umweltministeriums (www.umweltkarten-niedersachsen.de) abrufbaren Hochwassergefahrenkarten veranschaulichen für die Küstenregionen bislang nur die potenziellen Sturmflutgefahren. Aussagen zur Binnenhochwassergefährdung in Küstenniederungen sind darin nicht enthalten. Um diese Lücke zu schließen, wurde im Rahmen von KLEVER-Risk ein methodischer Ansatz zur Erstellung von Binnenhochwassergefahrenkarten für den Küstenraum entwickelt und am Beispiel der Projektregion erprobt (s. Kap. 5.7). Zudem wurde im März 2023 von Seiten des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) eine Starkregenereigniskarte für dessen gesamtes Verbandsgebiet vorgestellt, die auch weite Teile des Betrachtungsraumes von KLEVER-Risk abdeckt. Diese Karte visualisiert insbesondere die kleinräumige Starkregenereignisgefährdung in Siedlungsbereichen.

Gefahrenwarnungen

Bei der frühzeitigen Warnung vor drohenden Gefahren spielen neben regionalen Rundfunksendern in unserer heutigen digitalen Lebenswelt zunehmend auch Warn-Apps auf dem Smartphone, wie z. B. WetterWarn, KATWARN oder NINA, eine bedeutende Rolle. Vor kurzem wurde in Deutschland zudem das sogenannte Cell-Broadcast-Warnsystem eingeführt, mit dem Warnmeldungen an alle in einem bestimmten Abschnitt des Mobilfunknetzes (Funkzelle) befindlichen Smartphones und konventionellen Handys versendet werden können.

In Bezug auf Binnenhochwasser- und Starkregenereignisse stellen neben Unwetterwarnungen durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) vor allem auch Pegelstände in den Binnengewässern einen wichtigen Warnindex dar. Um die im Betrachtungsraum von KLEVER-Risk vorhandenen Binnenpegelmessstellen der Entwässerungsverbände und des NLWKN in einer webbasierten Plattform zusammenzuführen, wurde die Realisierung eines verbandsübergreifenden Pegelinformationssystems initiiert (s. auch Kap. 5.6). Neben der verbandlichen und behördlichen Nutzung zur Beobachtung von (kritischen) Wasserstandsentwicklungen könnte eine solche Plattform künftig auch zur Verbesserung der öffentlichen Hochwasserwarnung genutzt werden, indem die Bevölkerung bei Überschreitung bestimmter Pegelwerte mittels geeigneter Kommunikationswege über mögliche Gefahren informiert wird.

Verhaltensvorsorge

Um auf Binnenhochwasser- und Starkregenereignisse rechtzeitig und angemessen reagieren zu können, stellt eine risikoangepasste Verhaltensvorsorge eine wichtige Voraussetzung dar. Die Verhaltensvorsorge zielt auf das richtige Handeln vor, während und nach einem möglichen Hochwasser- oder Starkregenereignis ab, um sich und seine Mitmenschen schützen und Sachschäden so gut es geht minimieren zu können (s. Beispiele in Tab. 24). Ausführliche Informationen zur Verhaltensvorsorge finden sich in entsprechenden Ratgebern und Checklisten, die von verschiedenen Institutionen herausgegeben werden und im Internet verfügbar sind. Exemplarisch zu nennen ist die

vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) veröffentlichte „Checkliste für den Hochwasser-Notfall für die Bewohner von Risikogebieten in Niedersachsen“.

Tab. 24: Beispiele für Maßnahmen der Verhaltensvorsorge

Verhaltensvorsorge	Maßnahmenbeispiele
vor	▪ Festlegung von Verhaltensregeln für den Ereignisfall, ▪ Vorhaltung erforderlicher Notfallausrüstung, ▪ Sicherung wichtiger Dokumente, ▪ Lagerung/Verbringung wertvoller Gegenstände in höhergelegene Räume, ▪ Entfernung mobiler Sachwerte (z. B. Autos) und gefährlicher Stoffe aus Gefahrenzonen, ▪ Durchführung von Sicherungsmaßnahmen an Gebäuden (z. B. Errichtung mobiler Barrieren, Abdichtung von Türen und Fenstern), ▪ Sicherung/Abschaltung von Heizungen und elektrischen Geräten in gefährdeten Räumen, ▪ Verfolgung aktueller Warnmeldungen und Gefahrenhinweise, ▪ Vorbereitung auf eine eventuelle Evakuierung, ▪ Information der Feuerwehr bei etwaigen Schadstoffaustritten,
während	
nach	▪ Entfernung von Wasserresten und Schlamm sowie schnelle Trocknung betroffener Bereiche zwecks Vermeidung weiterer Bauschäden, ▪ statische Prüfung beschädigter Bausubstanz

Bauvorsorge

Durch Binnenhochwasser oder extreme Starkregenereignisse kann es über die in Abbildung 54 skizzierten Wege zu einem Wassereintritt in Gebäude kommen. Dies kann zu Schäden an der Bausubstanz (z. B. Putz, Dämmungen), an der Haustechnik (z. B. elektrische Installationen, Heizungsanlagen) und am Inventar (z. B. Bodenbeläge, Möbel, Elektrogeräte) sowie zur Freisetzung umweltgefährdender

Eigenvorsorge durch Gewässerunterhaltung und Regenwasserbewirtschaftung

Die Ableitung des Niederschlagswassers aus den Siedlungsbereichen erfolgt im Betrachtungsraum i. d. R. über offene Entwässerungsgräben (Gewässer III. Ordnung), in stärker verdichteten Gebieten aber auch über unterirdische Kanalisationssysteme. Bei Starkregenereignissen können die Kapazitäten der Siedlungsentwässerungsanlagen überschritten werden und lokale Rückstau- und Überflutungssituationen auftreten. Besonders hoch ist die Gefahr dann, wenn sich die Entwässerungsanlagen nicht (mehr) in ordnungsgemäßem Zustand befinden.

Für die **Unterhaltung der Gewässer III. Ordnung** sind die Grundstückseigentümerinnen und -eigentümer zuständig. Sie stehen in der Verantwortung, die Abflussquerschnitte und Rückhaltevolumina der Entwässerungsgräben zu erhalten bzw. wiederherzustellen, um Rückstausituationen vorzubeugen. Dies umfasst insbesondere

- die regelmäßige Aufreinigung der Gräben,
- die Vermeidung bzw. den Rückbau von Querschnittsverengungen durch Uferbefestigungen und unterdimensionierte Verrohrungen,
- die Wiederfreilegung (illegal) verfüllter Gräben.

Darüber hinaus können Grundstückseigentümerinnen und -eigentümer durch eigene **Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung** einen Beitrag dazu leisten, Niederschlagswasser dezentral auf ihrem Grundstück zurückzuhalten. Das Maßnahmenspektrum umfasst u. a.

- die Entsiegelung befestigter Flächen und die Nutzung wasserdurchlässiger Oberflächenmaterialien,
- die Begrünung von Dachflächen,
- die Errichtung von Regenrückhalteteichen und Versickerungsanlagen,
- den Einsatz von Zisternen zur Regenwassernutzung.

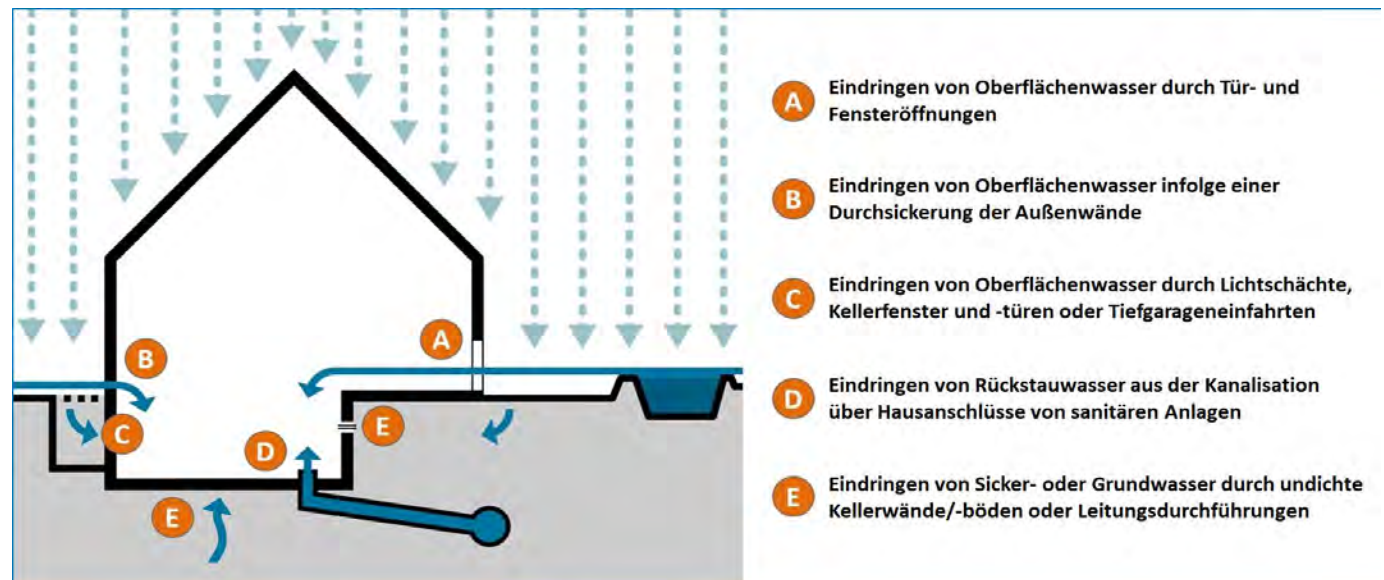


Abb. 54: Mögliche Wege des Wassereintritts in Gebäude bei Binnenhochwasser oder Starkregen (verändert nach: Difu – Deutsches Institut für Urbanistik (2017): Praxisratgeber Klimagerechtes Bauen – Mehr Sicherheit und Wohnqualität bei Neubau und Sanierung)

Stoffe (z. B. aus Öltanks) führen. Besonders gefährdet sind Gebäude, die in Senken oder Mulden liegen, da sich das Wasser dort zuerst sammelt und am höchsten aufstaut.

Mit den in den Abbildungen 55 und 56 veranschaulichten Strategien und Maßnahmen der Bauvorsorge können Gebäude in hochwasser- und starkregengefährdeten Bereichen, angepasst an die jeweilige örtliche Situation, baulich gesichert werden. Es lassen sich dabei folgende vier Ansätze unterscheiden:

- **Anhebung des Baugrunds** durch Aufschüttung von Bodenmaterial (Warften-Prinzip),
- **Aufständigung des Gebäudes** durch Pfeiler bzw. Stelzen oder ein erhöhtes Fundament,
- **Abschirmung des Gebäudes**, z. B. durch

- Anlage von Schutzmauern, Erdwällen oder Geländeprofilierungen im Gebäudeumfeld,
- Errichtung von Bodenschwellen, Rampen, Stufen oder Aufkantungungen an Gebäudeöffnungen und -zugängen,
- Vorrichtungen zum Einsatz mobiler Wassersperren,
- **Abdichtung der Gebäudehülle**, z. B. durch
 - Verwendung wasserundurchlässiger Baumaterialien für gefährdete Außenwände und Bodenplatten,
 - Einbau von Abdichtungen für Wanddurchführungen (z. B. Wasser- und Gasrohre, Stromleitungen),
 - Einbau druckwasserdichter Fenster und Türen,
 - Verwendung von Einselelementen mit Profildichtungen für Tür- oder Fensteröffnungen,
 - Installation von Rückstausicherungen für unterhalb der Rückstauenebene des Kanalnetzes gelegene Hausanschlüsse

Während sich beim Neubau prinzipiell alle Strategien umsetzen lassen, sind die Möglichkeiten bei bestehenden Bauten in der Regel auf die Strategien „Abschirmung“ und „Abdichtung“ beschränkt, die auch nachträglich noch realisiert werden können.

Zum Thema Bauvorsorge gibt es im Internet mittlerweile eine Vielzahl an Leitfäden und Handlungsempfehlungen. Neben den unter den Abbildungen 54 bis 56 genannten Veröffentlichungen kann des Weiteren beispielsweise auf folgende Informationsbroschüren verwiesen werden:

- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauen (2022): Hochwasserschutzfibel – Objektschutz und bauliche Vorsorge.
- Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten e.V. (2016): Leitfaden zur Starkregenvorsorge – Informationen und Tipps für Bürgerinnen und Bürger.

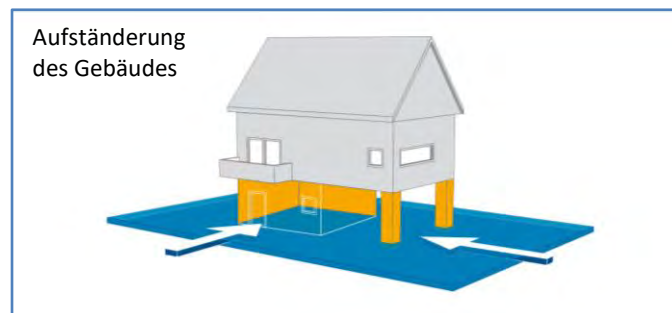
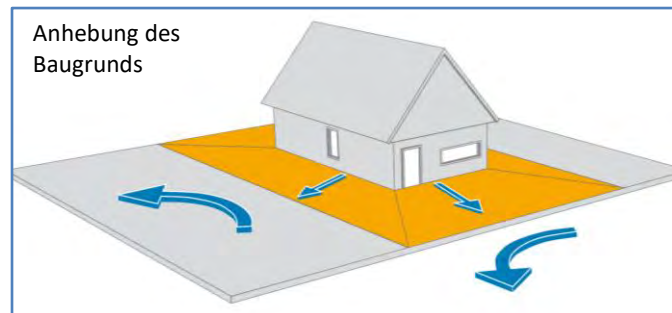


Abb. 55: Strategien der Bauvorsorge (zusammengestellt aus: StEB Köln – Stadtentwässerungsbetriebe Köln (o. J.): Wassersensibel planen und bauen in Köln – Leitfaden zur Starkregenvorsorge für Hauseigentümer, Bauwillige und Architekten)

Risikovorsorge

Nicht alle Hochwasser- und Starkregenschäden lassen sich durch Verhaltens- und Bauvorsorgemaßnahmen vermeiden. Je nach Betroffenheit können eintretende Schäden groß sein und unter Umständen sogar existenzbedrohende Ausmaße annehmen. Daher sollte dieses Risiko finanziell abgesichert werden, entweder durch Bildung von Rücklagen oder durch eine Versicherung. Elementarschadensversicherungen als Teil einer Gebäude- und Hausratversicherung bzw. als separate Zusatzversicherung können einen entsprechenden Versicherungsschutz u. a. gegen Binnenhochwasser- und Starkregenschäden bieten. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass nicht alle Gebäude versicherbar sind. Der Versicherer stellt in den meisten Fällen bauliche Mindestanforderungen und prüft die Gefährdungsklassen für verschiedene Naturgefahren, wie z. B. Hochwasser. Schäden aufgrund von Sturmfluten werden in den seltensten Fällen gedeckt. Um die Versicherungsmöglichkeiten abzuklären, können potenziell betroffene Personen Kontakt zu einem Versicherer aufnehmen und sich entsprechend beraten lassen.

So bleibt das Wasser draußen

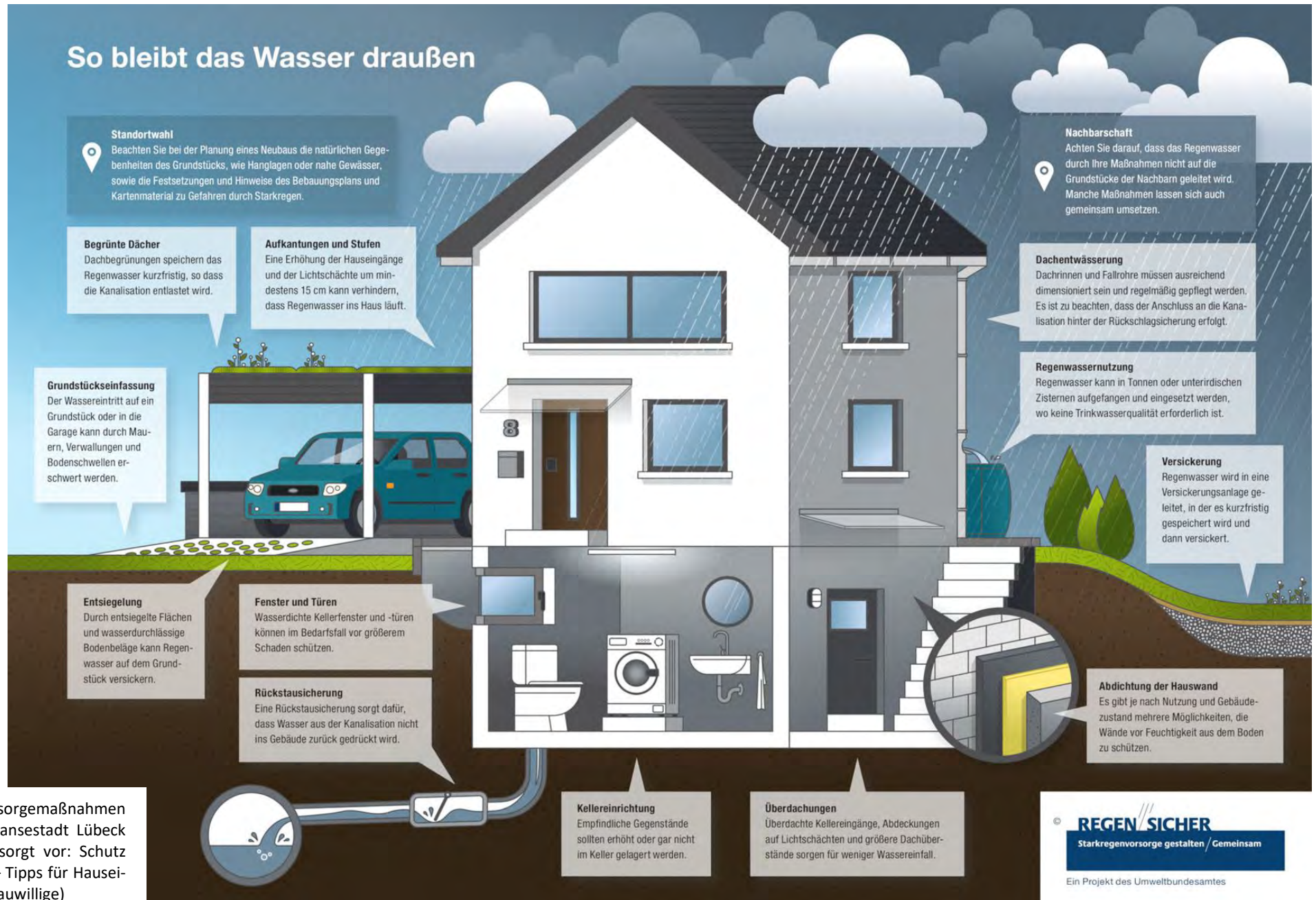


Abb. 56: Bauvorsorgemaßnahmen am Gebäude (Hansestadt Lübeck (2018): Lübeck sorgt vor: Schutz vor Starkregen – Tipps für Hauseigentümer und Bauwillige)

5.10 Sensibilisierung der Öffentlichkeit:

Tag der offenen Tür am Schöpfwerk Leybuchtziel

Nach einhelliger Einschätzung der an KLEVER-Risk beteiligten Kooperationspartner ist das öffentliche Bewusstsein hinsichtlich der Bedeutung der Entwässerung und des Binnenhochwasserschutzes im Küstenraum in großen Teilen der Bevölkerung heutzutage nur noch gering ausgeprägt. Insbesondere jüngeren und zugezogenen Menschen seien die wasserwirtschaftlichen Zusammenhänge und die Funktionsweise der Binnenentwässerung häufig nicht mehr bekannt. Nicht zuletzt habe auch das durch den Ausbau der Entwässerungssysteme gewachsene allgemeine Sicherheitsgefühl dazu beigetragen, dass das Bewusstsein für die Risiken möglicher Binnenhochwasserereignisse in den letzten Jahrzehnten stark abgenommen habe.

Als Ansatzpunkte, um dieser Entwicklung durch eine gezielte Öffentlichkeitsarbeit entgegenzuwirken, wurden von Seiten der beteiligten Akteure u. a. folgende Möglichkeiten benannt:

- Versand von interessanten Kurzinformatios mit den jährlichen Beitragsbescheiden der Entwässerungsverbände,
- regelmäßige Berichterstattung in den lokalen Medien,
- stärkere Präsenz in den sozialen Medien,
- Integration des Themas in den Schulunterricht, z. B. im Rahmen von Projektwochen,
- Einführung einer wiederkehrenden Veranstaltung unter dem Titel „Tag der Schöpfwerke“ mit Bauwerksführungen und Informationen zur Binnenentwässerung

Dass ein „Tag der Schöpfwerke“ vermutlich auf große Resonanz stoßen würde, hat der vom EV Norden veranstaltete Tag der offenen Tür anlässlich des 60jährigen Bestehens des Schöpfwerks Leybuchtziel am 03. Juli 2022 ge-

zeigt, der sehr gut besucht war. Im Rahmen von KLEVER-Risk wurde die Veranstaltung zugleich auch zur Information der Bevölkerung über die verschiedenen Aktivitäten des Projektes genutzt.

Tag der offenen Tür am Schöpfwerk Leybuchtziel

Nach dem offiziellen Festakt konnten sich die Besucherinnen und Besucher im Rahmen einer Posterausstellung im Festzelt neben dem Schöpfwerk über verschiedene Aspekte des Binnenhochwasserrisikomanagements informieren. Unter anderem wurde die im Rahmen des Projektes entwickelte Methodik zur Erstellung von Binnenhochwassergefahrenkarten vorgestellt (s. auch Kap. 5.7). Speziell Bezug genommen wurde zudem auf das Kettentidenereignis im Januar 2012, das im Speicherbecken Leyhörn zu den bisher höchsten Wasserständen führte (s. auch Kap. 5.3).

Als besonderer Besuchermagnet erwies sich die interaktive Binnenhochwassergefahrenkarte, in der sich die Nutzerinnen und Nutzer einen Überblick über potenzielle Überflutungsbereiche und betroffene Raumnutzungen bei verschiedenen Binnenhochwasserszenarien verschaffen konnten.

Ebenfalls stark nachgefragt waren die vom EV Norden und den Hochschulpartnern im Schöpfwerksgebäude angebotenen Vorträge zur Geschichte des Verbandes und zu den wissenschaftlichen Ergebnissen des KLEVER-Risk-Projekts. Darüber hinaus bestand die Möglichkeit, sich dort aus erster Hand über die Pumpentechnik und die Anlagensteuerung des Schöpfwerks zu informieren.

60 Jahre 1962 **ENTWÄSSERUNGSVERBAND NORDEN** 2022

Schöpfwerk Leybuchtziel

Tag der offenen Tür am Sonntag, dem 3. Juli 2022

Wir wollen das Jubiläum zum Anlass nehmen auf die Bedeutung des Schöpfwerks aufmerksam zu machen, aber auch zu hinterfragen, ob die vorhandene Technik auch künftig ausreichen wird.

Die Universität Oldenburg und die Jade-Hochschule haben im Forschungsvorhaben KLEVER-Risk für die Entwässerungsverbände Norden, Emden, Oldersum und Aurich in Zusammenarbeit mit dem NLWKN, der Stadt Emden und dem Landkreis Aurich umfangreiche Untersuchungen zur Klimaanpassung und Extremwettervorsorge angestellt. Wir können somit erstmalig detaillierte Zahlen präsentieren, in welcher Form wir uns auf das sich verändernde Klima vorbereiten müssen. Die Experten und die Vertreter des Verbandes werden den ganzen Tag über als Ansprechpartner vor Ort sein, um die bisherigen Erkenntnisse zu erläutern.

Für das leibliche Wohl sorgen die Neuwesteeler Dorfgemeinschaft, die Landfrauen und die Landjugend Polder.

- **Beginn 10.30 Uhr**
- Vorträge zum Schöpfwerk und zu KLEVER-Risk um 11.00 Uhr, 12.30 Uhr, 14.00 Uhr, 15.30 Uhr und 17.00 Uhr
- Ende/Ausklang gegen 18.00 Uhr

Das Rahmenprogramm wurde durch den Neuwesteeler Dorfverein, die Landfrauen und die Landjugend gestaltet. Die umfangreiche Bewirtung wurde insbesondere von den zahlreichen per Fahrrad angereisten Besucherinnen und Besuchern gerne in Anspruch genommen. Insgesamt fand die Veranstaltung sowohl bei den Teilnehmenden als auch bei den Medien ein sehr gutes Echo.



Begrüßung durch Obersielrichter Rainer Mellies



Abb. 57: Zeitungsartikel zum Tag der offenen Tür am Schöpfwerk Leybuchtziel aus dem Ostfriesischen Kurier vom 04. Juli 2022

Lösung für Oberflächenwasser muss her

Großer Bedarf an Wasser sorgt für Umdenken bei den Wasserverbänden – Speichern statt ins Meer leiten

Theo Gerken

Zum Festakt im Zelt zum 60-jährigen Jubiläum des Schöpfwerkes Leybuchtziel des Entwässerungsverbandes Norden konnte Verbandsvorstand Obersielrichter Rainer Mellies (Hagermarsch) zahlreiche Gäste aus den benachbarten Entwässerungsverbänden und der örtlichen Politik begrüßen. Den Festvortrag hielt Heiko Albers (thlow), der Präsident des Wasserverbandstages Bremen, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Vorsitzender des Wasserverbandes Oldersum.

„Wasser ist ein zunehmend knappes Gut. Es wäre störfähig, es weiter wie bisher einfach ins offene Meer abzuleiten. In der Wasserwirtschaft ist ein Umdenken erforderlich. Wir müssen das Oberflächenwasser speichern“, forderte Albers in seinem Festvortrag. Bislang lag der Schwerpunkt der Wasserverbände eindeutig auf der Entwässerung. Das müsste sich nach den Worten von Heiko Albers unbedingt ändern. Die ersten Schritte in die neue Richtung unternahmen schon die Entwässerungsverbände Oldersum, Aurich, Emden und Norden zusammen mit dem Forschungsvorhaben Klever-Risk der Universität Oldenburg.

„Ohne die vorhandenen Deiche wäre alles, was zwei Meter unter dem Meeresspiegel liegt, bei Flut unter Wasser. Das wäre der größte Teil Ostfrieslands“, berichtete Heiko Albers, um dann auf die jetzigen Probleme der Wasserwirtschaft zu kommen: „2017 hatten wir

zu viel Wasser, in den Sommern 2018 und 2019 zu wenig. Ist unsere Strategie noch richtig? Können wir das Wasser speichern, ohne dass große Seen entstehen?“, fragte er. Wasser sei für die Industrie und insbesondere für die Landwirtschaft enorm wichtig. „Ohne Wasser gibt es kein Wachstum. Wir müssten das Wasser behalten, leiten aber jährlich rund 500 Millionen Kubikmeter Wasser in die Nordsee. Allein der Oldenburgisch-Ostfriesische Wasserverband (OOWV) benötigt 85 Millionen Kubikmeter jährlich. Nach

dem Ersten Weltkrieg wurden im Harz viele Talsperren errichtet, um die großen Städte mit Wasser zu versorgen, auch hier in Ostfriesland wurde die Entwässerung damals neu strukturiert. Heute brauchen wir auch einen Entwicklungsschub. Wie bekommen wir das Wasser von A nach B? Wenn Öl aus Sibirien zu uns gepumpt werden kann, müsste doch auch Wasser von Ostfriesland beispielsweise nach Uelzen geleitet werden können?“, fragte Heiko Albers zum Schluss seines Vortrags.

Die großen Überschwem-

mungen 1957 in vielen Teilen des damaligen Landkreises Norden sorgten für den Bau des Schöpfwerkes an der Leybucht, berichtete Obersielrichter Rainer Mellies. Ein idealer Standort, wie sich herausstellte. Seit 60 Jahren sorgen drei von Elektromotoren angetriebene Turbinen für die Entwässerung des damals angelegten Speicherbeckens am Ende des Norder Tiefs. In seinem Redebeitrag erwähnte Mellies auch die letzten Starkregenfälle, die in Moordorf und am Großen Meer für große Überschwemmungen gesorgt hätten. „Das For-

schungsvorhaben Klever-Risk kommt zum richtigen Zeitpunkt“, stellte Mellies fest.

Dr. Helge Bormann vom Forschungsmanagement der Jade-Hochschule und Jan Spiekermann berichteten über die ersten Schritte des Projekts Klever-Risk. „Wir wissen nicht, welches Wetter auf uns zukommt, wie sich das Klima entwickelt. Wir haben mehrere Modelle aufgesetzt, und haben Ideen, um uns weiter zu entwickeln. Ähnliche Herausforderungen hat auch der OOWV. Auch mit dem Verband sind wir im Gespräch“, sagte Bormann. Wie und wo das zu speichernde Wasser aufbewahrt werden kann, ist eine Kernfrage des Forschungsvorhabens, außerdem könnte es noch technische Probleme wie beispielsweise bei einem Stromausfall geben – dafür müssten eine Methodik entwickelt und ein Alarmplan aufgestellt werden, meinte Ingenieur Jan Spiekermann.

Hajo Wiebersiek (CDU), der stellvertretende Bürgermeister der Stadt Norden, erinnerte in seinem Grußwort daran, dass durch den Bau des Siels an der Leybucht die Stadt Norden keine Seehafenstadt mehr war. Und Hages Samtgemeindebürgermeister forderte, die Vorflur weiter zu unterhalten, damit das Oberflächenwasser besser abfließen könne.



Beim Tag der offenen Tür konnten sich Besucher im Schöpfwerk Leybuchtziel umsehen.

Fotos: Ute Bruns



Auch einen Einblick in die Technik des vor 60 Jahren errichteten Schöpfwerkes wurde gewährt. In den Redebeiträgen ging es hauptsächlich um das Umdenken in Sachen Entwässerung.



Ideen für die Speicherung des Oberflächenwassers: Das Projekt Klever-Risk stellten Jan Spiekermann und Dr. Helge Bormann vor.

6 Ausblick: Strategische Ausrichtung des Binnenhochwasserrisikomanagements im Küstenraum

Handlungsbedarf aufgrund des Klimawandels

Die im Rahmen von KLEVER-Risk durchgeführten Analysen (s. Kap. 3) zeigen deutlich, dass die **Folgen des Klimawandels** eine Anpassung der Binnenentwässerung in den Küstenniederungen erfordern, um auch zukünftig die Binnenhochwasserrisiken beherrschbar zu machen:

1. Die Wassermengen, die in der nassen Jahreszeit entwässert werden müssen, werden infolge des Klimawandels deutlich zunehmen (im Mittel um ca. 25 % in den Wintermonaten), sodass von einer erheblichen **Steigerung des Entwässerungsbedarfes** auszugehen ist.
2. Der Meeresspiegelanstieg wird zu einer **Abnahme der potenziellen Sielzeiten** führen. Künftig wird deutlich weniger bis punktuell gar nicht mehr gesielt werden können, stattdessen wird entsprechend mehr gepumpt werden müssen. Gleichzeitig wird es infolge des Meeresspiegelanstiegs aber auch zu einer **Abnahme der Förderleistung der Schöpfwerke** kommen. Die vorhandenen Schöpfwerke müssen daher auf Klimasicherheit überprüft werden. Vor dem Hintergrund des steigenden Meeresspiegels und zunehmender Niederschlags-extreme wird eine **Anpassung der Pumpkapazitäten** kombiniert mit einem **Ausbau der Retentionskapazitäten** erforderlich sein, um den Status quo des Binnenhochwasserschutzes zu erhalten. Zudem muss die Frage gestellt werden, inwieweit eine Redundanz der technischen Systeme vorgehalten werden sollte.
3. Die Überlastungsrechnungen haben ergeben, dass es ohne eine Anpassung der Entwässerungsinfrastruktur in allen vier Verbandsgebieten zukünftig zu häufigeren

und intensiveren **Überlastungsereignissen der Entwässerungssysteme** kommen wird. Derartige Ereignisse würden ohne entsprechende Maßnahmen zu kritischen Wasserständen in den Binnengewässern und zu Überschwemmungen tief liegender Flächen führen.

4. Die Untersuchungen haben darüber hinaus gezeigt, dass vor allem an den verbandsübergreifenden **Schnittstellen der Entwässerungsinfrastruktur** (d. h. im Bereich Leyhörn bzw. im Bereich der „Emder Wasserspiele“; s. Kap. 5.3 und 5.4) zunehmende Kapazitätsengpässe zu erwarten sind. Im Hinblick auf die Planung und Realisierung von Anpassungsmaßnahmen sind daher insbesondere verbandsübergreifend wirksame Lösungsansätze in den Fokus zu nehmen.

Die skizzierten Ergebnisse verdeutlichen in der Summe einen dringenden **Handlungsbedarf**, sofern zukünftig keine zunehmenden Binnenhochwasserrisiken in Kauf genommen werden sollen. Das heutige Gewässersystem wurde in der bestehenden Form vor gut 60 Jahren geplant, und etwaige „Sicherheitszuschläge“ können gerade eben noch die aktuelle Klimavariabilität bewältigen.

In Anbetracht der zu erwartenden Klimawandelfolgen erscheint es geboten, das Thema der Binnenentwässerung bei künftigen Fortschreibungen der „**Niedersächsischen Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels**“ expliziter zu berücksichtigen. In der aktuellen Fassung von Februar 2022 wird das Thema nur ganz am Rande in einem kurzen Absatz im Kapitel zum Küstenschutz adressiert.

Ausrichtung des künftigen Binnenhochwasserschutzes

Für die strategische Ausrichtung der zukünftigen Binnenentwässerung und des damit einhergehenden Binnenhochwasserschutzes im Küstenraum ist eine klare und gemeinsame Zielsetzung über das gewünschte Schutzniveau erforderlich (*Wogegen wollen wir uns schützen? Welche Restrisiken wollen wir in Kauf nehmen?*). Die an KLEVER-Risk beteiligten Akteure sind sich darüber einig, dass das derzeitige Schutzniveau zumindest gehalten, wenn nicht sogar gesteigert werden sollte. Künftige Planungen müssen demnach einen entsprechenden **Klimazuschlag** enthalten, damit die jeweiligen Maßnahmen über ihre gesamte Lebensdauer einen ausreichenden Schutz gewährleisten.

In die Planungen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels sind die **Erneuerungsbedarfe** bestehender, in die Jahre gekommener Entwässerungsbauwerke einzubeziehen, um damit eventuell verbundene Potenziale für einen Ausbau der Pumpkapazitäten nutzen zu können. In diesem Zusammenhang wird u. a. zu klären sein, ob die bei einer Ertüchtigung zentraler Bauwerke zusätzlich entstehenden Anpassungserfordernisse der Hauptvorflutgewässer mit vertretbarem Aufwand zu realisieren wären oder ob stattdessen dezentrale Schöpfwerksneubauten an geeigneten Standorten leichter in das bestehende System integriert werden könnten (s. Kap. 5.1).

Des Weiteren sollten bei der strategischen Ausrichtung des Binnenhochwasserschutzes die absehbaren Bedarfe und erforderlichen Maßnahmen für ein **integratives Was-**

sermengenmanagement mitgedacht werden. Insbesondere durch den Ausbau von Retentionskapazitäten können entsprechende Synergieeffekte geschaffen werden, da diese sowohl der Hochwasserentlastung als auch der Wasserspeicherung dienen können (s. Kap. 5.2). Dieser Strategieansatz wird auch mit dem „Wasserversorgungskonzept Niedersachsen“ verfolgt, das im Jahr 2022 vom niedersächsischen Umweltministerium herausgegeben wurde.

Um den fortschreitenden Klimawandelfolgen in den Küstenniederungen noch rechtzeitig begegnen zu können, muss zügig mit den erforderlichen **Anpassungsplanungen** der Binnenentwässerung begonnen werden. Erfahrungsgemäß benötigt die Realisierung großer Infrastrukturprojekte sehr viel Zeit, sodass selbst bei einem kurzfristigen Planungsbeginn kaum mit einer Fertigstellung wesentlicher Maßnahmen vor dem Jahr 2040 zu rechnen wäre. Die beteiligten Entwässerungsverbände betonen daher, dass es *„bereits eher 5 Minuten nach 12 als vor 12“* sei und unbedingt mit der grundlegenden Bedarfsplanung gestartet werden müsse.

Im Koalitionsvertrag der niedersächsischen Landesregierung aus dem Jahr 2022 wurde ein **Generalplan Siel- und Schöpfungsbauwerke** angekündigt, mit dem eine entsprechende Bedarfsplanung erfolgen soll. Um neben der Ertüchtigung von Schöpfwerken auch die Schaffung zusätzlicher Retentionskapazitäten als wesentlichen Strategieansatz der Klimaanpassung mit abzudecken, wäre es gegebenenfalls zielführend, die inhaltliche Ausrichtung und Betitelung des Planwerks etwas weiter zu fassen, z. B. in **Generalplan Binnenentwässerung**. Bei der Erarbeitung eines solchen Generalplans könnten die Entwässerungsverbände im westlichen Ostfriesland aufgrund der bereits vorliegenden Klimafolgenabschätzungen und Maßnahmenüberlegungen aus den Projekten KLEVER und KLEVER-Risk eine gewisse Pilotfunktion für den niedersächsischen Küstenraum übernehmen.

Um im Anschluss an die grundlegende Bedarfsplanung (Generalplan) möglichst schnell in die konkrete Maßnahmenplanung und -umsetzung zu kommen, sind entsprechende Rahmenbedingungen zu schaffen. Dazu zählen insbesondere

- die Aufstockung der **Finanzmittel** für Anpassungsmaßnahmen der Binnenentwässerung/des Binnenhochwasserschutzes,
- die Verbesserung der personellen **Ressourcenausstattung** der Planungs- und Genehmigungsbehörden,
- die Beschleunigung von **Planungs- und Genehmigungsverfahren** für dringliche Anpassungsmaßnahmen,
- die frühzeitige Schaffung von **Flächenpools** für die Realisierung flächenintensiver Maßnahmenoptionen (z. B. Errichtung von Speicherpoldern).

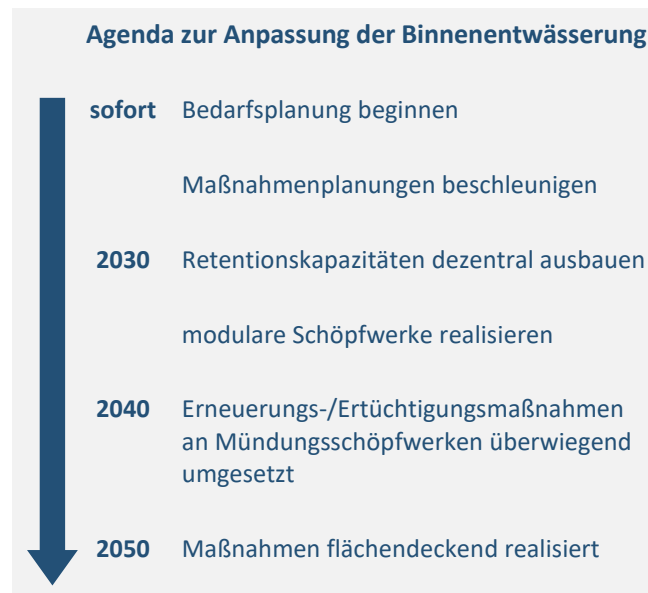


Abb. 58: Zeitliche Einordnung der erforderlichen Maßnahmen zur Anpassung der Binnenentwässerung aus Sicht der beteiligten Entwässerungsverbände

Nur dann, wenn die Klimawandelanpassung der Binnenentwässerung im Küstenraum kurz- bis mittelfristig in die Tat umgesetzt wird, kann langfristig der Status quo des Binnenhochwasserschutzes erhalten werden. Es ist an dieser Stelle aber noch einmal deutlich darauf hinzuweisen, dass allein durch Schutzmaßnahmen keine hundertprozentige Sicherheit vor Binnenhochwasserereignissen hergestellt werden kann. Die technischen Entwässerungssysteme können ausfallen oder bei Extremwetterereignissen überlastet sein (s. Kap. 4). Es bestehen daher Restrisiken, die durch **ergänzende Maßnahmen des Binnenhochwasserrisikomanagements** so weit wie möglich reduziert werden sollten.

Stärkung des Binnenhochwasserrisikomanagements

Durch die Umsetzung von Maßnahmen in den Risikomanagementbereichen „**Vermeidung** (hochwasserbedingter nachteiliger Folgen)“ und „**Vorsorge** (für den Hochwasserfall)“ (s. Abb. 25 in Kap. 4) können die Schadenspotenziale möglicher Binnenhochwasserereignisse verringert werden. Im Rahmen von KLEVER-Risk wurden verschiedene Handlungsbereiche zur Stärkung des Risikomanagements betrachtet, in denen Maßnahmen unmittelbar umgesetzt oder zumindest angegangen werden können (s. Kap. 5.5 bis 5.10). Folgende Ansatzpunkte sind dafür besonders geeignet:

- **Sensibilisierung der Bevölkerung:** Der Tag der offenen Tür am Schöpfwerk Leybuchtziel hat gezeigt, dass die Bevölkerung zwar durchaus Interesse an der Thematik hat, vielfach aber nur ein gering ausgeprägtes Bewusstsein hinsichtlich der Bedeutung des Binnenhochwasserschutzes im Küstenraum und der damit verbundenen Gefahrenpotenziale vorhanden ist. Um das öffentliche Risikobewusstsein für potenzielle Binnenhochwassergefahren zu verbessern und damit gleichzeitig auch die Eigenmotivation für individuelle Vorsorgemaßnahmen zu erhöhen, sollte die Öffentlichkeit über geeignete

Kommunikationswege zielgerichtet informiert werden. Die im Rahmen von KLEVER-Risk erstellten Binnenhochwassergefahrenkarten stellen hierfür ein hilfreiches Werkzeug dar. Sie visualisieren, welche Bereiche von Überschwemmungen betroffen sein können, falls die Schöpfwerke bei extremen Niederschlagsereignissen und hohen Außenwasserständen überlastet sind oder aufgrund eines Stromausfalls ausfallen.

- **Berücksichtigung von Binnenhochwasserrisiken in der Raumplanung:** Die oben genannten Gefahrenkarten orientieren sich direkt an der Topographie und weisen damit unmittelbar auf niedrig gelegene Flächen hin, die am schwersten zu entwässern sind und die größten Hochwassergefahren aufweisen. Die Karten stellen damit eine hilfreiche Informationsgrundlage für künftige Entscheidungen auf den Ebenen der Raumordnung und Bauleitplanung sowie im Rahmen der Vorhabengenehmigung dar. Durch planerische Regelungen in den Handlungsbereichen Flächenvorsorge (Nutzungsrestriktionen für hochwassergefährdete Bereiche) und Bauvorsorge (Vorgaben zu hochwasserangepassten Bauweisen) können die (künftigen) Schadenspotenziale deutlich minimiert werden.
- **Aufstellung bzw. Konkretisierung von Binnenhochwasser-Alarmplänen:** Um in einer Binnenhochwassersituation schnell und angemessen reagieren zu können, ist es erforderlich, dass klar strukturierte Ablaufpläne vorhanden sind und Informationen über bestehende Notfall-Managementoptionen vorliegen. Im Rahmen von KLEVER-Risk wurde mit den beteiligten Entwässerungsverbänden ein gemeinsames Konzept zur Aufstellung verbandlicher Binnenhochwasser-Alarmpläne erarbeitet, dessen Umsetzung von den Verbänden unmittelbar angegangen werden kann. So kann kurzfristig ein wichtiger Beitrag zur erfolgreichen Bewältigung potenzieller Notfallsituationen geleistet werden. Dies wird besonders bis zur vollständigen Umsetzung der erforderlichen Anpassungsmaßnahmen der Entwässerungssysteme, aber auch darüber hinaus, für das Management der Restrisiken notwendig sein.

derlichen Anpassungsmaßnahmen der Entwässerungssysteme, aber auch darüber hinaus, für das Management der Restrisiken notwendig sein.

- **Sicherstellung der Betriebssicherheit der Entwässerungstechnik:** In den Verbandsgebieten mit sehr tiefen Binnenwasserständen muss schon heute der Großteil der abzuleitenden Wassermengen im Pumpbetrieb entwässert werden. Eine Entwässerung im Sielbetrieb ist nur in kurzen Zeiträumen des Tideverlaufs möglich. Durch den Meeresspiegelanstieg werden sich diese Sielfenster in den kommenden Jahrzehnten weiter verkleinern und an einigen Standorten mehr oder weniger ganz schließen. Pumpsysteme werden daher in Zukunft – noch mehr als heute schon – der einzige Weg sein, die tief gelegenen Küstenniederungen trocken zu halten. Die Betriebssicherheit der Schöpfwerke wird somit weiter an Bedeutung zunehmen. Es ist daher geboten, über eine teilweise Redundanz der Entwässerungskapazitäten für den Fall des Versagens einzelner Systembestandteile und eine Notstromversorgung von Schöpfwerken für den Fall eines länger andauernden Stromausfalls nachzudenken.

Zusammenwirken aller relevanten Akteure

Die Umsetzung eines ganzheitlichen Binnenhochwasserrisikomanagements, bestehend aus Schutz-, Vermeidungs- und Vorsorgemaßnahmen (s. Abb. 25 in Kap. 4), erfordert das Zusammenwirken einer Vielzahl von Akteuren. Die Erfahrungen im Projekt KLEVER-Risk haben gezeigt, dass regelmäßig stattfindende **regionale Akteursforen** sowie begleitende, themenspezifisch zusammengesetzte Arbeitsgruppen mit relevanten Stakeholdern (unterteilt in die Risikomanagementkategorien „Schutz“, „Vermeidung“ und „Vorsorge“) einen geeigneten Ansatz darstellen, um gebiets- und sektorübergreifend abgestimmte Maßnahmenvorschläge für ein künftiges Binnenhochwasserrisikomanagement zu erarbeiten.

Nach dem Abschluss des Projektes wird es nun darum gehen, den angestoßenen Prozess zu verstetigen und die entwickelten Maßnahmenvorschläge weiterzuverfolgen und in die Umsetzung zu bringen. Ein geeignetes Modell, um das entstandene Akteursnetzwerk dauerhaft zu etablieren, könnte die in anderen Regionen Niedersachsens bereits erprobte Organisationsform der **Hochwasserpartnerschaft** darstellen. Hierbei handelt es sich um einen freiwilligen Zusammenschluss von Kommunen, Verbänden und weiteren Akteuren in einem zusammenhängenden Einzugsgebiet, die sich gemeinsam dem Thema Hochwasserschutz bzw. Hochwasserrisikomanagement widmen. Denkbar wäre auch, ein solches Format zusätzlich für die Entwicklung gemeinsamer Konzepte für ein integratives Wassermengenmanagement zu nutzen und dadurch entsprechende Synergien zu schaffen.





Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages