

Meeresspiegelanstieg und die Konsequenzen für den Küstenschutz in Schleswig-Holstein

Ein Beitrag von THOMAS HIRSCHHÄUSER und JACOBUS HOFSTEDÉ

Schleswig-Holsteins Küstengebiete sind besonders vom Klimawandel betroffen. Die Folgen des für die nächsten Jahrzehnte vermuteten Meeresspiegelanstiegs sind ernst. Um den künftig höher ausfallenden Sturmflutwasserständen trotzen zu können, hat das Land verschiedene Klimaanpassungsstrategien entwickelt – für das Wattenmeer, für die Ostseeküste, für die Halligen und für die Niederungen. Eine wichtige Maßnahme dabei ist der Klimadeich. Darüber hinaus wurde eine Klimakulisse ermittelt, um aufzuzeigen, welche Räume von künftigen Hochwasserständen betroffen sind.

Meeresspiegelanstieg | Küstenschutz | Klimadeich | Bemessungswasserstand | Klimakulisse
sea-level rise | coastal protection | climate dike | design water level | climate change scenery

Schleswig-Holstein's coastal areas are particularly affected by climate change. The consequences of the rise in sea level expected for the coming decades are serious. In order to be able to withstand the higher storm surge water levels in future, the state has developed various climate adaptation strategies – for the Wadden Sea, the Baltic Sea coast, the Hallig islands and the lowlands. An important measure in this context is the climate dike. In addition, a climate change scenery has been identified to show which areas will be affected by future flood levels.

Autoren

Dr. Thomas Hirschhäuser leitet den Geschäftsbereich 2 »Gewässerkunde, Vorarbeiten Küstenschutz« am LKN.SH in Husum.

Dr. Jacobus Hofstede ist wissenschaftlicher Direktor am Umweltministerium des Landes Schleswig-Holstein (MELUND) in Kiel.

thomas.hirschhaeuser
@lkn.landsh.de

Einführung und Veranlassung

Schleswig-Holstein, das Land zwischen den Meeren, ist stark von seinen Küsten geprägt. An keinem Ort ist man mehr als 60 km von einer Küste entfernt. Die bevorzugte Lage führt aber auch zu einer besonderen Herausforderung. Mit seiner etwa 1105 km langen Küstenlinie, zahlreichen Inseln und Halligen sowie den 3987 km² großen Küstenniederungen ist Schleswig-Holstein den Angriffen des Meeres in besonderer Weise ausgesetzt. In den potenziell überflutungsgefährdeten Küstenniederungen leben 354 000 Menschen und sind Sachwerte in Höhe von insgesamt 49 Milliarden Euro vorhanden. Diese Zahlen unterstreichen die Bedeutung des Küstenschutzes für Schleswig-Holstein.

Seit 1990 veröffentlicht der Weltklimarat IPCC regelmäßig Berichte mit Projektionen zum globalen Klimawandel; der nächste Bericht ist für 2021 vorgesehen. Im September 2019 wurde ein Sonderbericht über den Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima veröffentlicht, unter anderem mit aktualisierten Projektionen zum globalen Meeresspiegelanstieg. Als Fazit aus den IPCC-Berichten ist festzustellen, dass die Folgen des Klimawandels für die schleswig-holsteinischen Küstengebiete ernst sind und nicht unterbewertet werden dürfen. Die Küsten und Küstenschutzanlagen werden künftig erhöhten hydrologischen Belastungen ausgesetzt sein.

Aus diesem Grunde hat Schleswig-Holstein in den letzten Jahrzehnten für verschiedene Räume Klimaanpassungsstrategien entwickelt. Diese werden – nach einer Einführung über den Küstenschutz in Schleswig-Holstein und einer Darstellung der wichtigsten Ergebnisse aus dem IPCC-Sonderbericht von 2019 – nachfolgend vorgestellt.

Küstenschutz in Schleswig-Holstein Generalplan Küstenschutz

Der Generalplan Küstenschutz beschreibt die staatliche Strategie des Küstenschutzes in Schleswig-Holstein. Er wird in einem ca. zehnjährigen Turnus aktualisiert und an die entsprechenden Gegebenheiten angepasst. Der aktuelle Plan wurde 2012 von der Landesregierung verabschiedet und soll von einem in Bearbeitung befindlichen Plan im Jahr 2022 abgelöst werden.

Grundsätzlich beinhaltet der Küstenschutz sowohl den Küstenhochwasserschutz als Schutz der Niederungsgebiete vor Meeresüberflutungen durch Neubau, Verstärkung und Unterhaltung von Deichen, Halligwarften, Sperrwerken und sonstigen Hochwasserschutzanlagen als auch die Küstensicherung als Sicherung der Küsten gegen Uferrückgang und Erosion durch Neubau, Verstärkung, Unterhaltung von Bühnen, Deckwerken, Sicherungsdämmen, durch Erhalt des Deichvorlandes sowie durch andere Maßnahmen.

Im Generalplan werden die erforderlichen Maßnahmen des Küstenhochwasserschutzes (Landeschutzdeiche, Regionaldeiche, sonstige Küstenschutzanlagen, weitere konstruktive Bauwerke) sowie der Küstensicherung (Sandaufspülungen und sonstige Küstensicherungsmaßnahmen) benannt.

Weiterhin werden Klimaanpassungsstrategien für die Halligen, das Wattenmeer 2100 und die Ostseeküste beschrieben.

Gewässerkundliches Monitoring

Das gewässerkundliche Messnetz stellt die Grundlage für die Beurteilung des Meeresspiegelanstiegs in Schleswig-Holstein dar. Das Land Schleswig-Holstein betreibt aktuell an der Nordseeküste, den Inseln und Halligen 48, an der Ostseeküste zwei und an der Tidelbe sechs Pegel. Dieses Messnetz wird ergänzt durch das Messnetz der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV), die in Schleswig-Holstein an der Nordseeküste acht Pegel, an der Tidelbe acht Pegel und an der Ostseeküste 14 Pegel betreibt (Abb. 1).

Eine Zusammenstellung der Kennzahlen der bedeutsamsten Pegel findet sich z. B. in dem jährlich erscheinenden Gewässerkundlichen Jahrbuch.

Bemessungsansätze

Ein wesentliches Element des Küstenschutzes stellt die Festlegung von Bemessungswasserständen

für Küstenhochwasserschutzanlagen dar. Die Festlegung von Bemessungswasserständen basiert auf Referenzwasserständen, die in den turnusmäßig aktualisierten Generalplänen Küstenschutz festgelegt werden und dem Meeresspiegelanstieg Rechnung tragen. Aktuell wird beispielsweise für die Deichbemessung ein 200-jährliches Hochwasser mit Bezug auf 2020 verwendet ($HW_{200,2020}$); in dem im Jahr 2022 aktualisierten Generalplan wird Bezug auf $HW_{200,2030}$ genommen.

Die Bemessungsansätze müssen also den Trend des Meeresspiegelanstiegs berücksichtigen. Dies geschieht an Nord- und Ostseeküste sowie der Tidelbe durch die Verknüpfung von drei unterschiedlichen Verfahren:

- Ein statistischer Ansatz für die Nord- und Ostseeküste von Schleswig-Holstein (IAWG 2020), bezogen auf das Bezugsjahr 2030. Der aktuelle Meeresspiegelanstieg wird dabei in Form unterschiedlicher Trendansätze berücksichtigt. Wasserstandsquantile der Jährlichkeiten $T = 25, 50, 100, 200$ werden pegelbezogen bestimmt und anschließend entlang der Küsten Schleswig-Holsteins regionalisiert.
- Ein hydrodynamischer Modellansatz für die Nordseeküste, der numerische 2D-Modellsimulationen, Bias-Korrekturverfahren und eine Vorgehensweise zur Ermittlung von Eintrittswahrscheinlichkeiten extremer Wasserstände

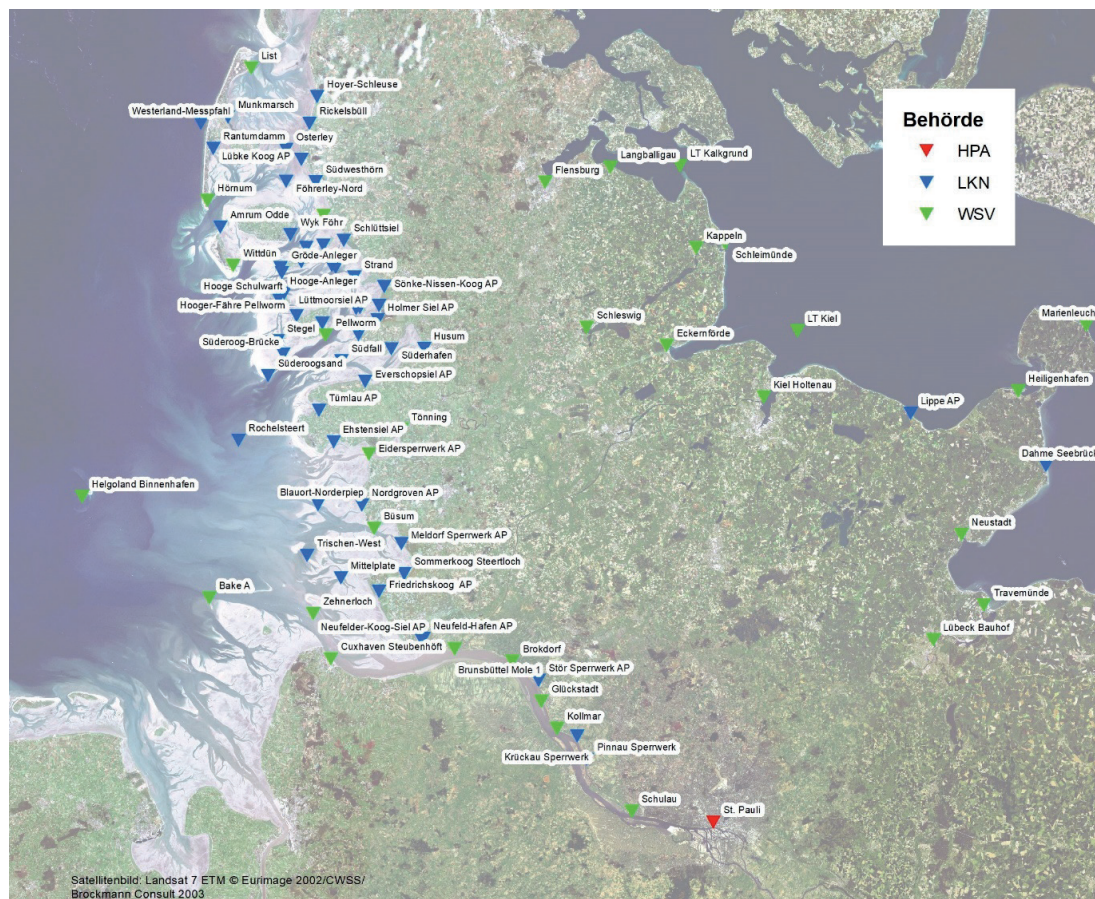


Abb. 1: Pegel im Küstengebiet Schleswig-Holsteins. Blau: Pegel des LKN,SH; grün: Pegel der WSV; rot: Pegel der HPA

unter Berücksichtigung von trendhaften Veränderungen vereint (Arns und Jensen 2019).

- Ein hydrodynamischer Modellansatz für die Tideelbe, der von einem HW₂₀₀ am Pegel Cuxhaven ausgeht (BAW 2019). Eine statistische Ermittlung von Referenzwasserständen entlang der Tideelbe analog zu dem Vorgehen an der Nord- und Ostsee ist aufgrund nicht vorhandener homogener Pegelzeitreihen in der Tideelbe nicht möglich. Die umfangreichen anthropogenen Maßnahmen mit ihren Auswirkungen auf Wasserstandsdaten zwischen Cuxhaven und Hamburg lassen die Ermittlung statistisch abgesicherter Wasserstände nicht zu.

Die Festlegung von Referenzwasserständen an Nord- und Ostseeküste sowie der Tideelbe basiert

auf der Verknüpfung der drei beschriebenen Verfahren:

- Für die Nordseeküste ein Hybridansatz, der für die Pegel den statistischen Ansatz gemäß IAWG (2020) verwendet und zur Interpolation auf die Küstenlinie die Ergebnisse des hydrodynamischen Modellansatzes für die Nordseeküste verwendet, da davon auszugehen ist, dass die räumliche Verteilung der Bemessungswasserstände über eine hydrodynamische Modellierung besser vorausgesagt werden kann als über ein Kriging-Interpolationsverfahren.
- Für die Ostseeküste kommt der statistische Ansatz gemäß IAWG (2020) zum Einsatz. Die vergleichsweise geringe Varianz der Sturmflutwasserstände lässt erwarten, dass das angewandte Interpolationsverfahren eine ausreichende Genauigkeit besitzt.
- Für die Tideelbe ein hydrodynamischer Modellansatz. Nur mit diesem Ansatz ist es aufgrund nicht vorhandener homogener Pegelzeitreihen möglich, Bemessungswasserstände zu ermitteln, die den aktuellen Gegebenheiten entsprechen.

Die so ermittelten Wasserstände sind beispielhaft für die nordfriesische Küste in [Abb. 2](#) dargestellt.

IPCC-Bericht 2019

Der Weltklimarat IPCC veröffentlichte im September 2019 einen Sonderbericht über den Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima. Der Bericht stellt den weltweiten wissenschaftlichen Sachstand umfassend, ausgewogen und objektiv dar. Den Projektionen des zukünftigen Meeresspiegelanstiegs liegen Szenarien zugrunde, die auf möglichen zukünftigen Entwicklungen von Bevölkerung und Wirtschaft beruhen. Bund und Küstenländer haben sich darauf verständigt, für Vorsorgezwecke das RCP8.5-Szenario zu verwenden, das die höchste Anpassungsnotwendigkeit mit sich bringt. Nach diesem Szenario liegt die wahrscheinliche Bandbreite des globalen mittleren Meeresspiegelanstiegs Ende dieses Jahrhunderts zwischen 0,61 m und 1,10 m, bei einem Medianwert von 0,84 m. Sturmflutwasserstände an den deutschen Küsten werden nach jetzigem Kenntnisstand entsprechend dem mittleren Meeresspiegelanstieg höher ausfallen. Schließlich wird der Meeresspiegel auch weit über das Jahr 2100 hinaus weiter ansteigen, für das RCP8.5-Szenario insgesamt um mehrere Meter ([Abb. 3](#)).

Als Fazit ist festzustellen, dass die Folgen des Klimawandels für die schleswig-holsteinischen Küstengebiete ernst sind und nicht unterbewertet werden dürfen. Die Küsten und Küstenschutzanlagen werden künftig erhöhten hydrologischen Belastungen ausgesetzt sein.

Anpassungsstrategien

Aufgrund der in den vorangegangenen Kapiteln geschilderten zu erwartenden Änderungen des

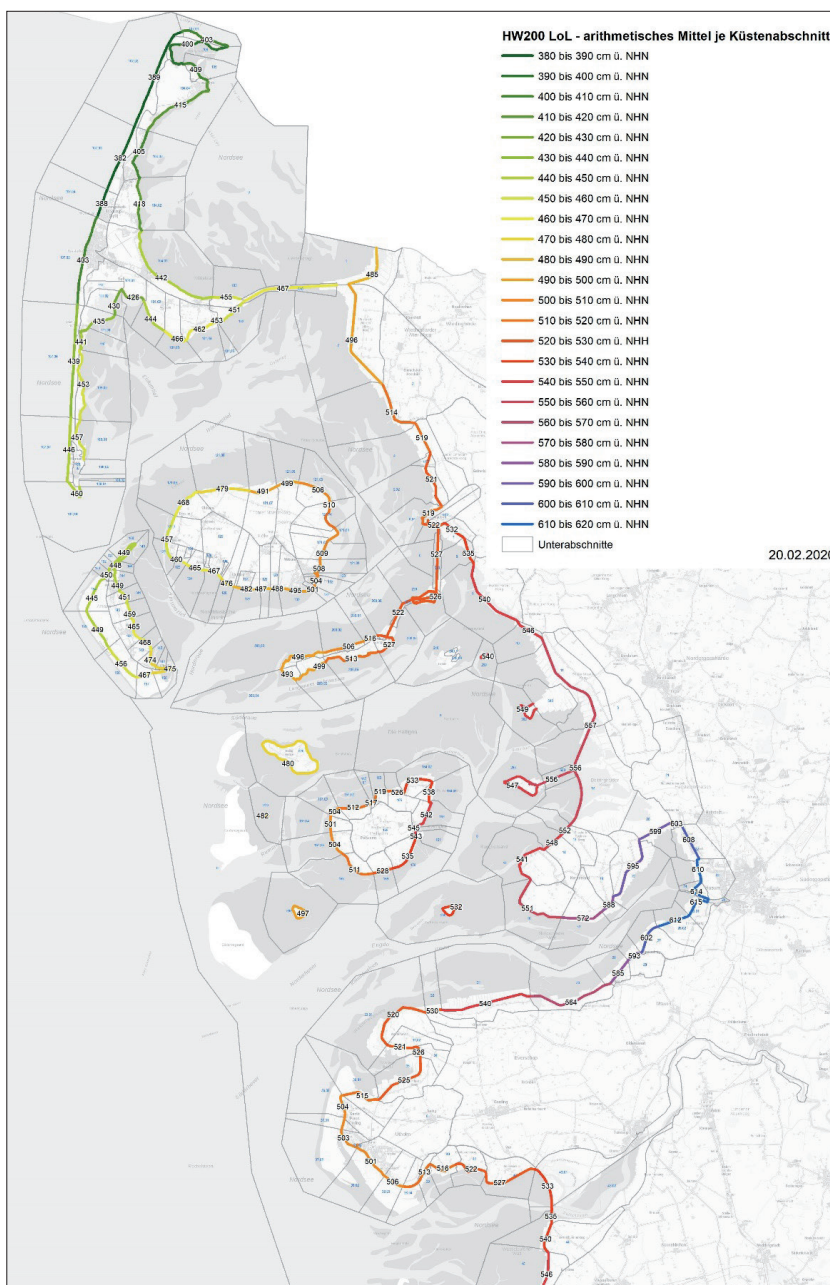


Abb. 2: HW₂₀₀ entlang der nordfriesischen Küste

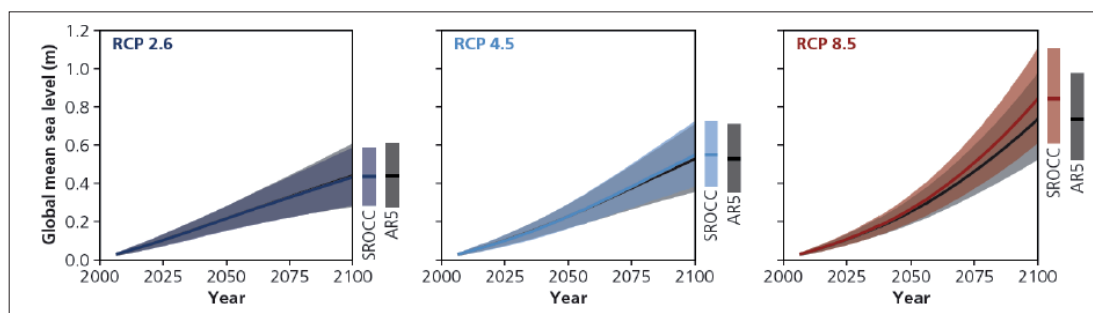


Abb. 3: Entwicklung des globalen mittleren Meeresspiegels entsprechend der Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 (IPCC 2019)

mittleren Meeresspiegels hat Schleswig-Holstein in den letzten Jahrzehnten verschiedene Anpassungsstrategien entwickelt, die im Folgenden beschrieben werden.

Klimakulisse der EG-HWRL

Gemäß der europäischen Hochwasserrichtlinie (EG-HWRL) sind in den Küstengebieten von Schleswig-Holstein potenziell signifikante Hochwasserrisikogebiete zu bestimmen (EU 2007). Dies sind die Gebiete, die bei einer Sturmflut mit niedriger jährlicher Wahrscheinlichkeit (in Schleswig-Holstein von 0,005 bzw. das HW₂₀₀) und ohne Vorhandensein von Küstenschutzanlagen überflutet werden könnten. Gemäß Artikel 14 Ziffer 4 der EG-HWRL ist den voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf das Auftreten von Hochwasser Rechnung zu tragen, sodass ergänzend an den Küsten eine Klimakulisse auf der Basis des Klimazuschlages von 0,5 m für Landesschutzdeiche entwickelt wurde.

Landseitig der Landesschutzdeiche oder von Anlagen mit einem vergleichbaren Schutzstandard wurde ein Wasserstand gemäß des potenziell signifikanten Hochwasserrisikogebiets an den Küsten fortgeführt und lediglich der Klimazuschlag zum HW₂₀₀ addiert.

Die Regionalisierung des Referenzwasserstands HW₂₀₀ (+ Klimazuschlag) wird für die nicht durch Landesschutzdeiche oder durch Schutzanlagen mit einem vergleichbaren Schutzstandard geschützten Hochwasserrisikogebiete an der Küste vergleichsweise detailliert vorgenommen. Die für das entsprechende Hochwasserrisikogebiet verwendete Regionalisierung entstammt der Bearbeitung des Artikels 6 der EG-HWRL und berücksichtigt Unterschiede im Referenzwasserstand HW₂₀₀, die zwischen einzelnen Küstenabschnitten bis zu 0,5 m betragen.

Die insgesamt ermittelte Fläche beträgt 4124 km². Gegenüber dem potenziell signifikanten Hochwasserrisikogebieten durch Küstenhochwasser (3987 km²) ergibt sich eine Flächenzunahme von etwa 3,4 %.

Strategie Wattenmeer 2100

In Anerkennung der Herausforderungen aus dem Klimawandel hat die schleswig-holsteinische Lan-

desregierung im Jahre 2015 eine Klimaanpassungsstrategie für das Wattenmeer verabschiedet. Übergeordnetes Ziel ist die langfristige Erhaltung der heutigen Strukturen und Funktionen sowie der ökologischen Integrität des Wattenmeeres bei geänderten Klimabedingungen (MELUR 2015). Die Strategie für das Wattenmeer 2100 wurde von einer Projektgruppe, bestehend aus Vertretern der Naturschutz- und Küstenschutzverwaltungen sowie der Lokalbevölkerung und Naturschutzverbände, erarbeitet. Folgende Einzelziele wurden benannt:

- Die Schutzfunktion des Wattenmeeres als Energieumwandlungszone zur Gewährleistung der Sicherheit der Insel-, Hallig- und Festlandküsten ist zu erhalten.
- Die Inseln und Halligen sind als wesentliche Strukturen des Wattenmeeres sowie als Kulturraum der Menschen zu erhalten.
- Die dynamischen Entwicklungsmöglichkeiten der charakteristischen Wattenmeerstrukturen und Lebensräume mit ihren charakteristischen Arten werden zur Wiederherstellung oder Wahrung eines günstigen Erhaltungszustands gewährleistet.
- Die ökologischen Funktionen des Wattenmeeres sind zu erhalten.
- In der gesamten Wattenmeerregion, die auch die an das Wattenmeer angrenzenden Festlands-, Meeres- und Ästuargebiete einschließt, soll eine nachhaltige Entwicklung erreicht werden, die im Einklang mit den Schutzziele des eigentlichen Wattenmeeres über das Jahr 2100 hinaus den Schutz, die Lebensqualität und die Gestaltungsmöglichkeiten der Menschen sichert.

Hierzu wurden gemäßigte und gesteigerte hydrologische und morphologische Szenarien für einen mittelfristigen (2050) und langfristigen (2100) Zeithorizont erarbeitet (Tabelle 1).

	Mitte des Jahrhunderts		Ende des Jahrhunderts	
	gemäßigt	gesteigert	gemäßigt	gesteigert
Anstieg des mittleren Meeresspiegels	0,2 m	0,3 m	0,5 m	0,8 m
Anstiegsrate des mittleren Meeresspiegels	4 mm/a	6 mm/a	6 mm/a	20 mm/a
Sedimentakkumulation der Wattflächen	4 mm/a	5 mm/a	5 mm/a	5 mm/a

Tabelle 1: Hydrologische und morphologische Szenarien der Strategie Wattenmeer 2100

Die in den Szenarien aufgezeigten hydro-morphologischen Änderungen im Wattenmeer führen in unterschiedlichem Ausmaß und zeitlich versetzt zu Konsequenzen für die langfristige Gewährleistung des Schutzes der Küstenbewohner vor Sturmfluten und gegen Landabbruch. Die relevanten Konsequenzen für den Küstenschutz sind:

- Zunahme der hydrologischen Belastungen durch Sturmseeegang auf Küstenhochwasserschutzbauwerke auf den Inseln und Halligen sowie an der Festlandküste in Abhängigkeit vom Szenario ab Mitte bzw. zu Ende dieses Jahrhunderts.
- Zunahme der Sturmflutwasserstände an den Küstenhochwasserschutzanlagen zu Mitte des Jahrhunderts um 0,2 m bis 0,3 m sowie bis Ende des Jahrhunderts um 0,5 m bis 0,8 m.
- Zunehmende Erosion an den Westküsten der Inseln bereits im gemäßigten Szenario ab Mitte des Jahrhunderts.
- Häufigere Überflutung der Halligen. Der erhöhte Sedimenteintrag wird jedoch in keinem Szenario ausreichen, um den schnelleren Meeresspiegelanstieg auszugleichen.
- Verstärkte lokale Erosion an den Wattsockeln bereits im gemäßigten Szenario ab Mitte des Jahrhunderts.
- Kantenerosion und abnehmende Tiefe (Breite) der Salzwiesen.

Im Ergebnis der Untersuchungen ist festzuhalten, dass in den nächsten Jahrzehnten keine zusätzlichen Anpassungsmaßnahmen erforderlich sein werden. In Abhängigkeit des zukünftigen Meeresspiegels werden jedoch früher oder später Küstenerosion und Sedimentdefizite im Wattenmeer derartig zunehmen, dass – ohne Gegenmaßnahmen – langfristig mit einer starken Abnahme von Wattflächen und Salzwiesen gerechnet werden muss. Wenn Anpassungsmaßnahmen zur Begegnung der sich daraus ergebenden Beeinträchtigungen für Natur- und Küstenschutz unabdingbar werden, wären adäquate Optionen mit minimalen ökologischen Auswirkungen möglich. Ein »Wachsen mit dem Meer« wird als wichtigste Handlungsoption definiert. Entsprechend können die Defizite durch Einbringung von Sedimenten aus externen Quellen in Bereiche, von wo eine Verlagerung zu den Stellen mit Sandbedarf durch natürliche Prozesse erfolgen kann, nachhaltig ausgeglichen werden. Trotzdem bleiben, zur langfristigen Gewährleistung der heutigen Sicherheitsstandards, technische Anpassungen an Küstenschutzanlagen unumgänglich.

Halligen 2050

Die Halligen im nordfriesischen Wattenmeer stellen weltweit einmalige und erhaltenswerte Kultur- und Naturwerte dar. Sie sind unverwechselbarer und charakteristischer Bestandteil des schleswig-holsteinischen Wattenmeeres. Wie die Sturmflut

Xaver in Dezember 2013 erneut zeigte, sind sie bereits heute durch ihre exponierte Lage im Wattenmeer den Meereskräften in besonderer Weise ausgesetzt. Höhere Sturmflutwasserstände infolge des beschleunigten Meeresspiegelanstiegs gehen mit einer Verringerung der Hochwassersicherheit für die Halligbevölkerung einher. Obwohl die etwa 280 Bewohnerinnen und Bewohner der Halligen über ein ausgeprägtes Heimatgefühl verfügen und sehr mit ihren Warften verwurzelt sind, können zunehmende Sturmflutgefährdung in Kombination mit fehlenden wirtschaftlichen Perspektiven langfristig zu einer Entvölkerung der Halligen führen. Ohne Besiedlung droht die einmalige Halligwelt als unersetzbarer Teil des schleswig-holsteinischen Kulturerbes verloren zu gehen.

Auch aus Anlass der Sturmflut Xaver vom Dezember 2013 wurde die Sicherheit der Halligwarften mit einem durch die Universität Aachen neu entwickelten Verfahren, das Wasserstände und Seeegang integrativ berücksichtigt, ermittelt. Als Sicherheitskriterium für Warften mit Ringdeich wurde ein Wasserstand von 0,5 m an Türschwellen definiert. Wenn bei einer Sturmflut mit einer jährlichen Wahrscheinlichkeit von 0,01 (HW_{100}) der Wasserstand an mehreren Türen deutlich höher als 0,5 m aufläuft, kann die Standsicherheit der Gebäude nicht mehr als gesichert angenommen werden. Für Warften ohne Ringdeich wurde als Sicherheitskriterium ein Wellenüberlauf über die Warft-Oberkante von $75 \text{ l/(s} \cdot \text{m)}$ definiert. Wenn deutlich mehr Wasser überläuft, können Schäden an den Gebäuden durch Wellenschlag nicht ausgeschlossen werden. Es wurde festgestellt, dass an 27 von 33 bewohnten Warften Sicherheitsdefizite vorliegen, an 18 davon größere. Nur sechs bewohnte Warften konnten als sicher eingestuft werden.

Im Ergebnis der Sicherheitsüberprüfung hat die Landesregierung im Jahre 2016 ein sogenanntes Warftverstärkungs- und -entwicklungsprogramm Halligen 2050 verabschiedet. Schwerpunkt des Programmes ist eine nachhaltige Verstärkung der Warftkörper als zentraler Siedlungs- und Wirtschaftsraum in Kombination mit baulichen Hochwasserschutzmaßnahmen an Gebäuden und mit nichtbaulichen Maßnahmen wie dem Freihalten von Schutzstreifen. Zur Umsetzung des Programmes wurden Grundsätze für die Verstärkung und Erweiterung entwickelt. Dabei wurde festgehalten, dass eine weitere Erhöhung der Ringdeiche bei dauerhaft steigenden Sturmflutwasserständen nicht nachhaltig ist bzw. langfristig zu zunehmenden Hochwasserrisiken für die Halligbevölkerung führen wird. Aus diesem Grund sind Ringdeicherhöhungen möglichst zu vermeiden. Zur Erhaltung von Entwicklungsperspektiven auf den Halligen sind gemäß Regierungsprogramm Warftverstärkungen so auszuführen, dass möglichst zusätzlicher Platz für Nutzungen geschaffen wird. Hierzu soll der Vorschlag eines Ideenwettbewerbes,

die Verstärkungen möglichst sichelförmig an der Nord- bis Südwestflanke der Warften (das heißt in Hauptangriffsrichtung der Wellen) als sogenannte Plateauverstärkung durchzuführen (Abb. 4), aufgegriffen werden. Mit dieser Warfterweiterung wird für die im Schutz dahinterliegenden Bestandsgebäude eine zusätzliche Sicherheit geschaffen. Als Grundsatz für die Höhe des Plateaus wird der örtliche Sturmflutwasserstand HW_{100} zuzüglich eines Klimazuschlages von 0,5 m und einer Wellen-Auflaufhöhe von 0,5 m festgelegt. Weiterhin soll die Außenböschung oberhalb von $HW_{100} - 0,5$ m in der Hauptangriffsrichtung der Wellen mit einer Neigung von 1 : 12 ausgeführt werden. Neben diesen wesentlichen technischen Grundsätzen sollen vor der jeweiligen Warftverstärkung Bauleitpläne für die Warft erstellt werden, in der unter anderem ein 7-m-Schutzstreifen aufzunehmen und bildlich darzustellen ist. In den Jahren 2019 und 2020 wurden die Hanswarft (Hooge), Treuberg (Langeneß) und Norderwarft (Nordstrandischmoor) als Pilotprojekte nach diesen Grundsätzen verstärkt.

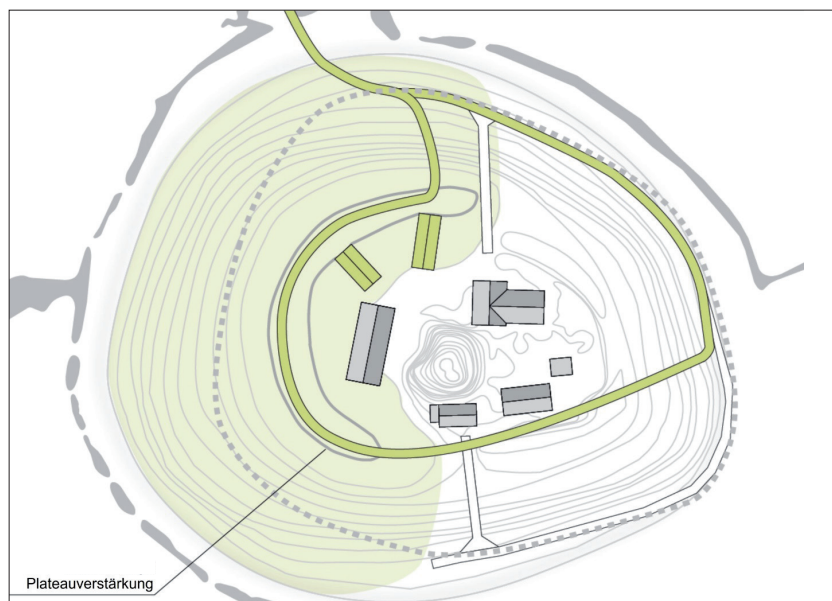


Abb. 4: Plateauverstärkung gemäß Halligen 2050

Strategie Ostseeküste 2100

Die Sturmfluten im Januar 2017 und Januar 2019 haben an vielen Orten der schleswig-holsteinischen Ostseeküste umfangreiche Schäden an touristischen Infrastrukturen verursacht. Die Landesregierung hat nach diesen Sturmfluten zur kurzfristigen Unterstützung der besonders betroffenen Kommunen finanzielle Soforthilfen bereitgestellt.

In Anbetracht der Häufung von Schäden wurde nach der Sturmflut von 2019 beschlossen, das Problem für die Zukunft systematischer anzugehen. Die Fragen des Küstenschutzes, des Naturschutzes und des Tourismus sollen grundsätzlich diskutiert werden, um gemeinsam nachhaltige Lösungen zu entwickeln, die sich in eine Gesamtstrategie »Entwicklung Ostseeküste 2100« einfügen. Das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung (MELUND) hat die Federführung für die Erarbeitung der Gesamtstrategie, die Ende 2024 verabschiedet werden soll.

Im Aufgabenbereich des Küstenschutzes sind mit wissenschaftlicher Unterstützung die Kenntnisse zum Sedimentbudget der Ostsee zu verbessern. Es sollen im Rahmen des Möglichen unter anderem die touristisch genutzten Küstenabschnitte identifiziert werden, die bereits heute unter den derzeitigen Verhältnissen ein sich gegebenenfalls zukünftig verstärkendes Sedimentdefizit aufweisen. Ergänzend ist vorgesehen, auf Grundlage der im Rahmen der Gesamtstrategie zu entwickelnden Szenarien zum zukünftigen Meeresspiegelanstieg die morphologischen Reaktionen der Küste bzw. einzelner Küstenabschnitte mit einem zu erstellenden Modell zu ermitteln. Anhand dieser morphologischen Projektionen sind mögliche technische und strukturelle Anpassungsoptionen abzuleiten.

Im Aufgabenbereich des Tourismus ist vorge-

sehen, mit wissenschaftlicher Unterstützung eine fundierte Bestandsanalyse der vorhandenen touristischen Infrastruktur an der Ostseeküste und ihrer Resilienz hinsichtlich künftiger Sturmflutereignisse erstellen zu lassen. Aus dieser Bestandsanalyse sollen in einem zweiten Schritt zusammen mit den Erkenntnissen aus den morphologischen Projektionen Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, mit denen sich die touristisch relevanten Küstenorte für die Zukunft klimagerecht aufstellen können.

Im Aufgabenbereich des Naturschutzes ist die herausragende Bedeutung der schleswig-holsteinischen Ostseeküste und der ihr vorgelagerten Meeresbereiche für den Naturschutz zu berücksichtigen, die sich in der Ausweisung weiter Bereiche als Natura-2000-Gebiete und als Naturschutzgebiete sowie landseitig als großräumige Landschaftsschutzgebiete abbildet. Weite Bereiche an der Ostseeküste unterliegen auch als gesetzlich geschützte Biotope den Schutzbestimmungen des Bundes- und des Landesnaturschutzgesetzes. Ein großer Teil der Ostseeküste ist als Hotspot der biologischen Vielfalt mit bundesweiter Bedeutung klassifiziert. Generelle Handlungsleitlinien zur Bewältigung dieser naturschutzrechtlichen Anforderungen im Zuge der touristischen Entwicklung sind im Rahmen des Projektes zu erarbeiten.

Niederungen 2050

Der Meeresspiegelanstieg hat auch starke Auswirkungen auf die Entwässerung der Niederungsgebiete in Schleswig-Holstein. Durch einen Anstieg des Tideniedrigwassers verkürzt sich der Zeitraum, in dem Einzugsgebiete über ein Siel entwässert werden können. In der Folge müssen viele Siele in Schöpfwerke umgebaut werden, was nicht nur erhebliche Investitionssummen bedeutet, sondern

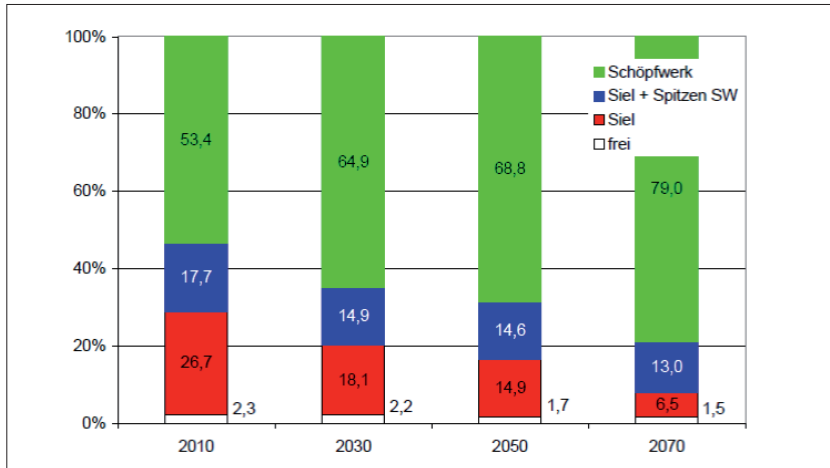


Abb. 5: Entwicklung der prozentualen Flächenanteile verschiedener Entwässerungsstrukturen in den Niederungsgebieten

auch laufende Kosten für den Betrieb der Schöpfwerkspumpen mit sich bringt. Der Marschenverband Schleswig-Holstein hat federführend eine Studie über die möglichen Folgen des Klimawandels für die Entwässerung durchgeführt (Marschenverband 2014). Die mittelfristige Prognose der Veränderung der Entwässerungsstrukturen gemäß dieser Studie ist in Abb. 5 dargestellt.

Vor diesem Hintergrund besteht die empfohlene Anpassungsstrategie für die Niederungsgebiete in Schleswig-Holstein in erster Linie darin, eine rechtzeitige Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf lokaler Einzugsgebietsebene durchzuführen, mit dem Ziel, die Anpassungserfordernisse zu konkretisieren und die Wirksamkeit und Robustheit möglicher Maßnahmen zu prüfen.

Hauptakteur für die Ableitung einer Anpassungsstrategie des Sektors Wasserwirtschaft in den Niederungsgebieten sind die Deich- und Hauptsielverbände.

Vom Klimazuschlag zum Klimadeich

Das im Küstenschutz Schleswig-Holstein aktuell umgesetzte Konzept Klimadeich für Landesschutzdeichverstärkungen hat sich über die letzten zwei Jahrzehnte entwickelt. In den 1990er Jahren wurde

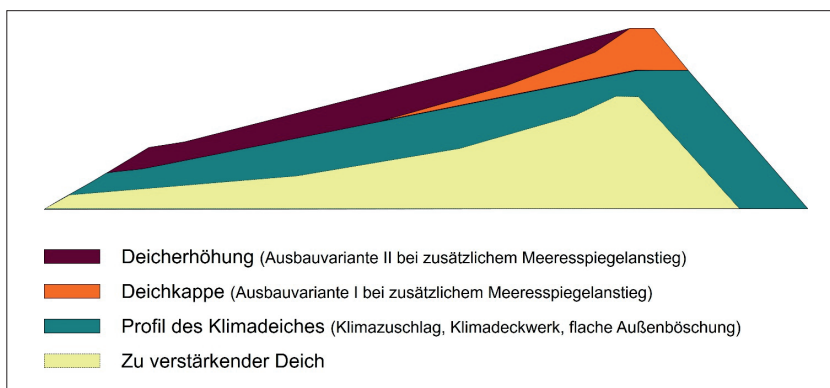


Abb. 6: Konzept Klimadeich Schleswig-Holstein

mit der Veröffentlichung der ersten zwei IPCC-Berichte klar, dass der Meeresspiegel künftig deutlich beschleunigt ansteigen wird. Diese Erkenntnis wurde 2001 in der Fortschreibung des Generalplans Küstenschutz Schleswig-Holstein durch die (weltweit erstmalige) Einführung eines Klimazuschlages von 0,5 m bei der Planung von Landesschutzdeichverstärkungen berücksichtigt. Grundlage war der dritte IPCC-Bericht (2001), wonach der globale Meeresspiegel in diesem Jahrhundert zwischen 0,09 m und 0,88 m ansteigen könnte (Mittelwert ca. 0,5 m). Im vierten IPCC-Bericht (2007) lagen die Projektionswerte zwischen 0,17 m und 0,78 m. Allerdings gab es parallel zu diesem Bericht auch Untersuchungen, wonach der Meeresspiegel noch deutlich stärker ansteigen könnte. So veröffentlichte das Potsdam Institut für Klimafolgenforschung im Jahre 2007 globale Projektionswerte zwischen 0,5 m und 1,4 m (Rahmstorf 2007). Diese deutlich höheren Werte, die sich aus der Anwendung eines semi-empirischen Berechnungsansatzes (Korrelation zwischen Temperatur- und Meeresspiegelanstieg) ergeben, waren Anlass für die Einführung einer zusätzlichen Baureserve (durchgehend flache Außenböschung, breitere Deichkrone) für Landesschutzdeichverstärkungen im Jahre 2009. Mit diesem Konzept kann einem Meeresspiegelanstieg von bis zu 1,0 m begegnet werden. Durch Aufsetzen einer Deichkappe auf die Deichkrone in einer zweiten Bauphase kann sogar einem Meeresspiegelanstieg von bis zu 1,5 m begegnet werden. Im fünften IPCC-Bericht (2014) lagen die Projektionswerte zwischen 0,28 m und 0,98 m. Dieser Bereich wurde als wahrscheinliche Bandbreite definiert. Es wurde darauf hingewiesen, dass sich die Werte noch um mehrere Dezimeter erhöhen können, wenn sich das ange deutete (aber nicht wissenschaftlich abgesicherte) verstärkte Abschmelzen der Landeiskappen auf Grönland und in der Westantarktis tatsächlich einstellen wird. Auch da globale Klimaschutzmaßnahmen (noch) nicht greifen und die Gesellschaft sich noch auf dem »Weiter wie bisher«-Pfad befindet, hat die Wissenschaft sich in den letzten Jahren verstärkt auf sogenannte High-end-Szenarien fokussiert, das heißt darauf, was im ungünstigsten (damit auch sehr unwahrscheinlichen) Fall passieren könnte. Die Annahme ist, dass die oben genannten Landeiskappen deutlich verstärkt und irreversibel abschmelzen. Für Schleswig-Holstein war dies Anlass, das Konzept Baureserve zu einem Konzept Klimadeich (Abb. 6) weiterzuentwickeln. Zusätzlich zur Baureserve wird das Deckwerk am Deichfuß, wenn vorhanden, ebenfalls um 0,5 m (das heißt um die Höhe des Klimazuschlages) extra erhöht. Weiterhin ist bei der Ermittlung der erforderlichen Tragfähigkeit des Untergrundes sicherzustellen, dass er nach der ersten Verstärkung einer nochmaligen Deicherhöhung um durchgängig 1,0 m standhalten kann. Das Konzept Klimadeich wurde

2018 eingeführt und soll sicherstellen, dass der Landesschutzdeich in zwei bis drei Bauphasen einem Meeresspiegelanstieg von bis zu 2,0 m ohne Beeinträchtigung des heutigen Sicherheitsstandards begegnen kann.

Klimafolgenmonitoring

Mit dem aktuell in Entwicklung befindlichen Klimafolgenmonitoringkonzept wird das Ziel verfolgt, klimawandelbedingte Veränderungen von Hydrologie, Morphologie und Sedimentologie an den Küsten Schleswig-Holsteins langfristig zu überwachen. Eine besondere Herausforderung stellt dabei die Unterscheidung von klimawandelinduzierten Veränderungen zu auch ohne Klimawandel vorhandenen natürlichen Veränderungen dar. Der Schwerpunkt liegt auf der Überwachung von Parametern, die für den Küstenschutz von Bedeutung sind.

Für den Themenbereich der Morphologie werden für morphologische Strukturen Parameter definiert, die als Indikatoren einer klimawandelbedingten Veränderung einer küstenschutzrelevanten Eigenschaft überwacht werden.

Für den Themenbereich der Hydrologie werden für hydrologische Belastungen Parameter definiert, die als Indikatoren einer klimawandelbedingten Veränderung überwacht werden.

Für den Bereich der Nordsee werden das Deichvorland, die Halligen, die Watteinzugsgebiete (Watten und Priele) sowie die Strand-/Vorstrandbereiche der Außenküsten überwacht.

Für den Bereich der Ostsee werden die Uferlinien, die Steilufer und die Strand-/Vorstrandbereiche überwacht.

Für die Auswertung werden die im Zuge des Rahmenvermessungskonzeptes für den Küstenstreifen der Ostsee alle sechs Jahre erhobenen Laserscandaten und Orthofotos genutzt.

Für den Themenbereich der Hydrologie werden folgende hydrologische Belastungen betrachtet und Parameter definiert, die als Indikatoren einer klimawandelbedingten Veränderung der küstenschutzrelevanten Belastung überwacht werden:

- Meeresspiegel: Überwachung der Entwicklung des Wasserstandes anhand der Parameter Mittleres Tidehochwasser (MThw), mittleres Tideniedrigwasser (MTnw), mittleres Tidehalbwasser (MT $\frac{1}{2}$ w), Mittelwasserstand (MW) für die Ostsee, Jahreshöchstwasserstand (HThw bzw. HW).
- Tidenhub: Überwachung der Entwicklung des Tidenhubs anhand der Parameter Mittlerer Tidenhub (MThb), Verweilzeiten oberhalb definierter Schwellwerte als Stunden pro Jahr sowie mittlere Ebb- und Flutdauer.
- Seegang: Überwachung der Entwicklung des Seegangs anhand der Parameter signifikante Wellenhöhe (HS) sowie maximale Wellenhöhe (Hmax), Wellenperiode (mittlere Periode Tm, Peak-Periode Tp, Energie-Periode Tm-1,0), Wellenanlaufzeit.

Zusammenfassung

Schleswig-Holstein als das Land zwischen den Meeren ist vom klimawandelbedingten Meeresspiegelanstieg besonders betroffen. Die wahrscheinliche Bandbreite des globalen mittleren Meeresspiegelanstiegs liegt Ende dieses Jahrhunderts zwischen 0,61 m und 1,10 m (Medianwert 0,84 m). Sturmflutwasserstände an den deutschen Küsten werden entsprechend dem mittleren Meeresspiegelanstieg höher ausfallen.

Aus diesem Grunde hat Schleswig-Holstein in den letzten Jahren mit der Strategie Wattenmeer 2100, Halligen 2050, Strategie Ostseeküste 2100 und Niederungen 2050 Klimaanpassungsstrategien erarbeitet, in denen die grundlegenden Handlungsoptionen beschrieben sind. Ein wesentlicher Baustein der Anpassungsstrategien ist die in Schleswig-Holstein entwickelte No-Regret-Maßnahme des Klimadeichs, die bereits bei verschiedenen Deichverstärkungsmaßnahmen der letzten Jahre zum Einsatz kam. In Ergänzung wurde eine Klimakulisse gemäß EG-HWRL ermittelt, um den zukünftig durch Küstenhochwasser betroffenen Raum aufzuzeigen. Aktuell befindet sich zudem ein Klimafolgenmonitoringkonzept in Entwicklung, um die für den Küstenschutz besonders relevanten hydrologischen und morphologischen Parameter langfristig zu überwachen. //

Literatur

- Arns, Arne; Jürgen Jensen (2019): Ermittlung von extremen Wasserständen für das nordfriesische Wattenmeer. Unveröffentlichter Bericht
- BAW (2019): Modellierung von Sturmflutwasserständen in der Tideelbe. Unveröffentlichter Bericht
- IAWG (2020): Ermittlung von statistischen Sturmflutwasserständen an der West- und Ostküste Schleswig-Holsteins. Unveröffentlichter Bericht
- IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC, Summary for Policymakers
- IPCC (2019). The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, Summary for Policymakers
- EU (2007): Richtlinie 2007/60/EG über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Amtsblatt der Europäischen Union L 288 vom 23. Oktober 2007
- Marschenverband (2014): Grundlagen für die Ableitung von Anpassungsstrategien in Niederungsgebieten an den Klimawandel. Arbeitsgruppe Niederungen 2050, <https://marschenverband.de/downloads.html>
- MELUR (2015): Strategie für das Wattenmeer 2100. Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/K/kuestenschutz/Downloads/strategieWattenmeer2100.pdf
- Rahmstorf, Stefan (2007): A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise. Science, DOI: 10.1126/science.1135456