

Küstenschutz in Schleswig-Holstein: ein Überblick über Strategien und Maßnahmen

Jacobus Hofstede

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes
Schleswig-Holstein, jacobus.hofstede@melund.landsb.de

Zusammenfassung

Mit der etwa 1.105 km langen sandigen Küstenlinie, zahlreichen Inseln und Halligen sowie den etwa 3.990 km² großen Küstenniederungen ist Schleswig-Holstein den Angriffen des Meeres in besonderer Weise ausgesetzt. In den potentiell überflutungsgefährdeten Küstenniederungen leben 354.000 Menschen, und es sind Sachwerte in Höhe von insgesamt 49 Milliarden Euro vorhanden. Diese Zahlen unterstreichen die übergeordnete Bedeutung eines nachhaltigen Küstenschutzes für Schleswig-Holstein, insbesondere vor dem Hintergrund eines künftig verstärkt ansteigenden Meeresspiegels.

In diesem Beitrag wird, nach einem kurzen Abriss zur historischen Entwicklung des Küstenschutzes in Schleswig-Holstein, das Bemessungskonzept „Klimadeich“ für Landes-schutzdeiche erläutert. Dieses Konzept wurde mit der Fortschreibung 2012 des General-plans Küstenschutz eingeführt und 2018 nochmals erweitert. Anschließend werden die wichtigsten Maßnahmen des Küstenschutzes an Nord- und Ostsee dargestellt. Der Bei-trag schließt mit einem Ausblick auf die Anpassung an den Klimawandel an den Küsten Schleswig-Holsteins ab.

Schlagwörter

Schleswig-Holstein, Küstenschutz, Seedeiche, Küstensicherung, Klima-Anpassung

Summary

The German Federal State of Schleswig-Holstein with its about 1,100 km long sandy shorelines, many islands and about 3,990 km² large coastal lowlands is particularly exposed to the destructive forces of the sea. In the flood-prone coastal lowlands, 354,000 people live and capital assets amounting to 49 billion Euro are concentrated. These values demonstrate the significance of a well-functioning sustainable coastal risk management in Schleswig-Holstein, especially in the light of accelerating sea level rise.

This manuscript starts with a short historical outline of the development of coastal flood defense and protection in Schleswig-Holstein. This outline is followed by a description of the design concept for strengthening of seawalls, which was introduced with the updated master plan coastal flood defense and protection in 2012 and further developed in 2018. Subsequently, the main coastal risk management measures along the North Sea and the Baltic Sea coastlines of Schleswig-Holstein are introduced. This manuscript ends with an outlook on adaptation to climate change and sea level rise.

Keywords

Schleswig-Holstein, coastal flood defense, coastal protection, seawalls, climate-change-adaptation

1 Einleitung

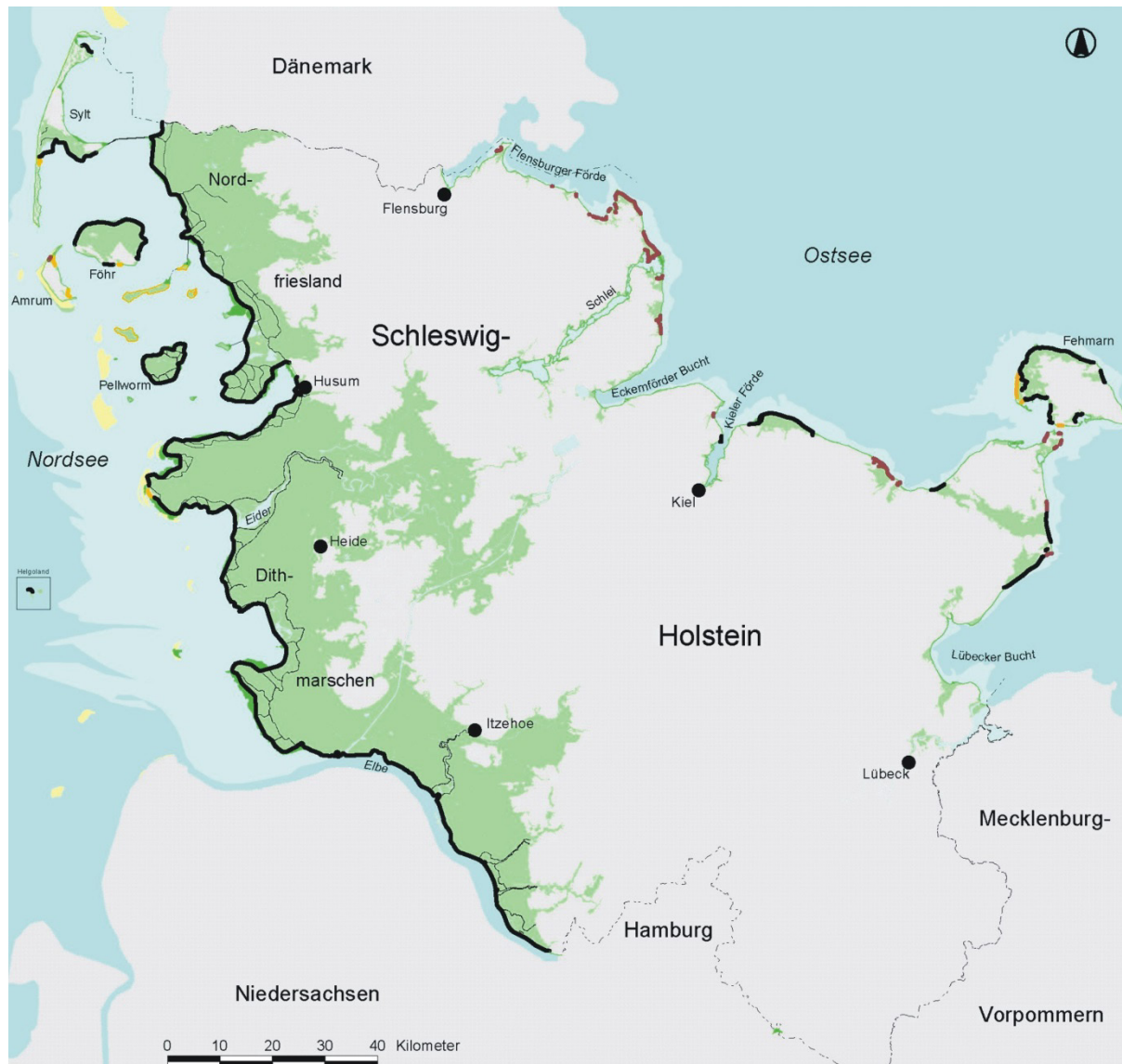


Abbildung 1: Überblick über Schleswig-Holstein mit seinen Landesschutzdeichen (fette schwarze Linien), Regionaldeichen (braune Linien), Mitteldeiche (dünne schwarze Linien) und Küstenniederungen (grüne Flächen).

In Schleswig-Holstein leben rund 2.9 Millionen Menschen auf einer Fläche von 15.730 km² (Abbildung 1). An keinem Ort ist man mehr als 60 Kilometer von einem Meer entfernt. Diese Situation bietet dem Bundesland viele positive Aspekte, zum Beispiel als attraktives Wohngebiet, als touristisches Ziel sowie hinsichtlich der maritimen und der Hafen-Wirtschaft. Die bevorzugte Lage führt aber auch zu einer besonderen Herausforderung. Mit der etwa 1.105 km langen sandigen Küstenlinie, zahlreichen Inseln und Halligen sowie den über 3.990 km² großen Küstenniederungen ist Schleswig-Holstein den Angriffen des Meeres in besonderer Weise ausgesetzt. In den potentiell

überflutungsgefährdeten Küstenniederungen leben 354.000 Menschen und es sind Sachwerte in Höhe von insgesamt 49 Milliarden Euro vorhanden. Diese Zahlen unterstreichen die übergeordnete Bedeutung eines nachhaltigen Küstenschutzes für Schleswig-Holstein, insbesondere vor dem Hintergrund eines künftig verstärkt ansteigenden Meeresspiegels. Schwerpunkt des staatlichen Küstenschutzes ist die langfristige Erhaltung der Wehrfähigkeit der 433 km Landesschutzdeiche, die zusammen über 90 % der überflutungsgefährdeten Küstenniederungen schützen (MELUR 2013).

In diesem Beitrag wird, nach einem kurzen Abriss zur historischen Entwicklung des Küstenschutzes in Schleswig-Holstein, das Bemessungskonzept: „Klimadeich“ für Landesschutzdeiche erläutert, das mit der Fortschreibung des Generalplans Küstenschutz im Jahre 2012 eingeführt und 2018 nochmals erweitert wurde. Anschließend werden die wichtigsten Maßnahmen des Küstenschutzes an Nord- und Ostsee dargestellt. Der Beitrag schließt mit einem Ausblick zur Anpassung an den Klimawandel an den Küsten Schleswig-Holsteins ab.

2 Historische Entwicklung des Küstenschutzes

Seit über zwei Jahrtausenden schützen sich die Bewohner der Nordseeküste von Schleswig-Holstein vor Sturmfluten. Etwa zu Beginn unserer Zeitrechnung wurde an der Nordseeküste mit der Anlage von Warften zum Schutz der Siedlungen begonnen. Einige Jahrhunderte später wurden auf der Halbinsel Eiderstedt die ersten Ringdeiche zum Schutz der landwirtschaftlich genutzten Flächen vor Sommerfluten errichtet (Meier 2000). Vor etwa 1.000 Jahren fing der tatsächliche Deichbau an. Sehr schwere Sturmfluten (z. B. die Erste und Zweite „Grote Mandränke“ in den Jahren 1362 und 1634) führten immer wieder zu Deichbrüchen, woraufhin die Deiche stetig instandgesetzt, erhöht und verstärkt wurden. Mit den wachsenden technischen Möglichkeiten (Abbildung 2) konnten nach und nach weite Marschflächen zurückgewonnen werden. Jedoch führten immer wieder sehr schwere Sturmfluten, wie beispielsweise in den Jahren 1717, 1825 und 1962, zu Deichbrüchen. Während der letzten Katastrophenflut im Jahr 1962 verloren mehr als 300 Menschen in Hamburg ihr Leben; in Schleswig-Holstein waren keine Menschenleben zu beklagen. Aufgrund dieser geschichtlichen Erfahrungen entwickelte die lokale Bevölkerung eine besondere Einstellung gegenüber ihrem Land und dem Meer. Der moderne Küstenschutz ist daher Ausdruck eines historisch gewachsenen und berechtigten Wunsches der Bewohner, ihr Leben und ihren Besitz vor Flutkatastrophen zu schützen und dem Landverlust entgegenzuwirken.

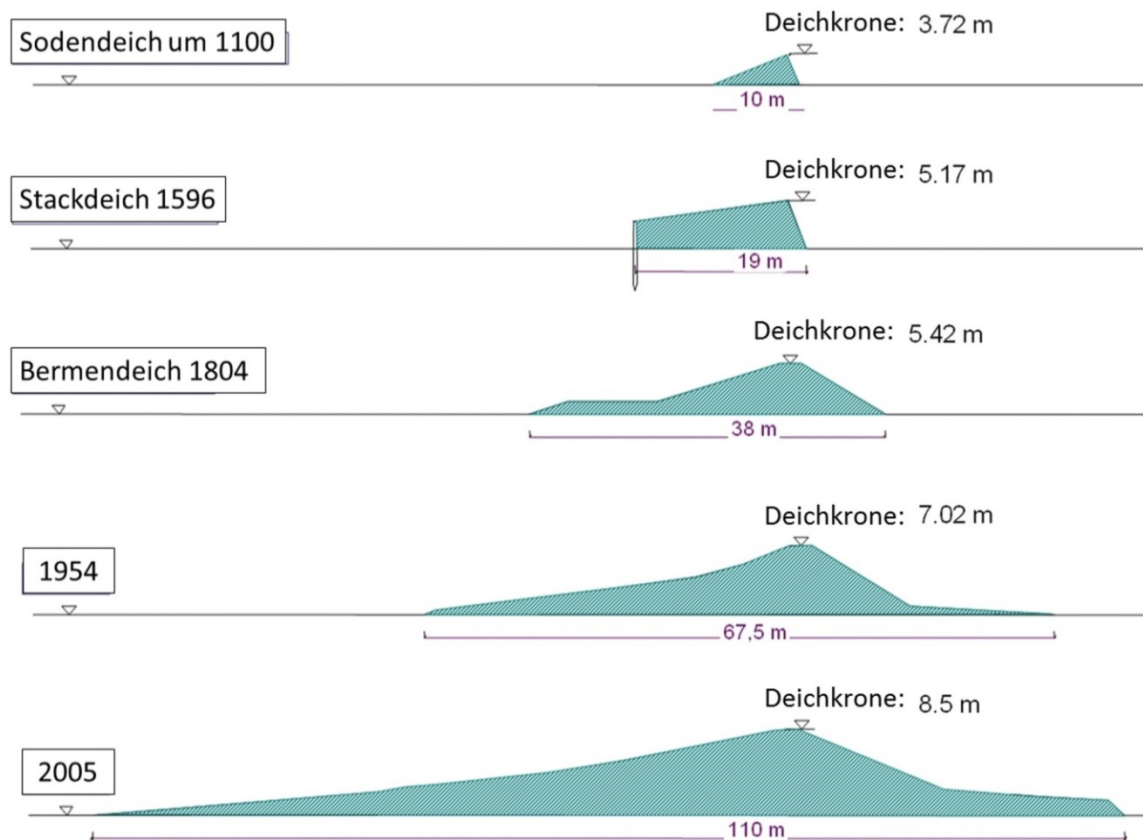


Abbildung 2: Entwicklung von Deichen an der Nordseeküste von Schleswig-Holstein.

An der Ostseeküste Schleswig-Holsteins wurde der erste Deich im Jahr 1581 circa 30 km östlich von Flensburg errichtet. Weitere Deiche folgten im 18. und 19. Jahrhundert auf private Initiativen hin. Da diese Deiche jedoch unterdimensioniert waren, wurden sie während Sturmfluten oftmals wieder zerstört. Die höchste Sturmflut in der westlichen Ostsee wurde im November 1872 aufgezeichnet. Sie war mit einem Wasserstand von bis zu 3,3 m über dem mittleren Meeresspiegel etwa einen Meter höher als alle vorherigen und nachfolgenden am Pegel Lübeck-Travemünde aufgezeichneten Sturmfluten (Abbildung 3). Dieses Ereignis, das 271 Todesopfer im Ostseeraum forderte, stellt den Wendepunkt für den Küstenschutz an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste dar. In Schleswig-Holstein kamen 31 Menschen in den Fluten um, etwa 2.850 Gebäude wurden zerstört oder stark beschädigt und über 15.000 Personen hilfsbedürftig (Kiecksee 1972). Es war das letzte Mal, dass in Schleswig-Holstein Menschen infolge einer Sturmflut gestorben sind. Nach dieser Katastrophe begann die preußische Regierung mit der systematischen Planung von Schutzbauwerken (Eiben 1992). Das damals entwickelte Deichprofil zeigte bereits grundlegende Eigenschaften moderner Deiche. Insgesamt wurden bis 1882 über 70 km Deiche errichtet, die sich fast eins-zu-eins decken mit den heutigen Landes-schutzdeichen.

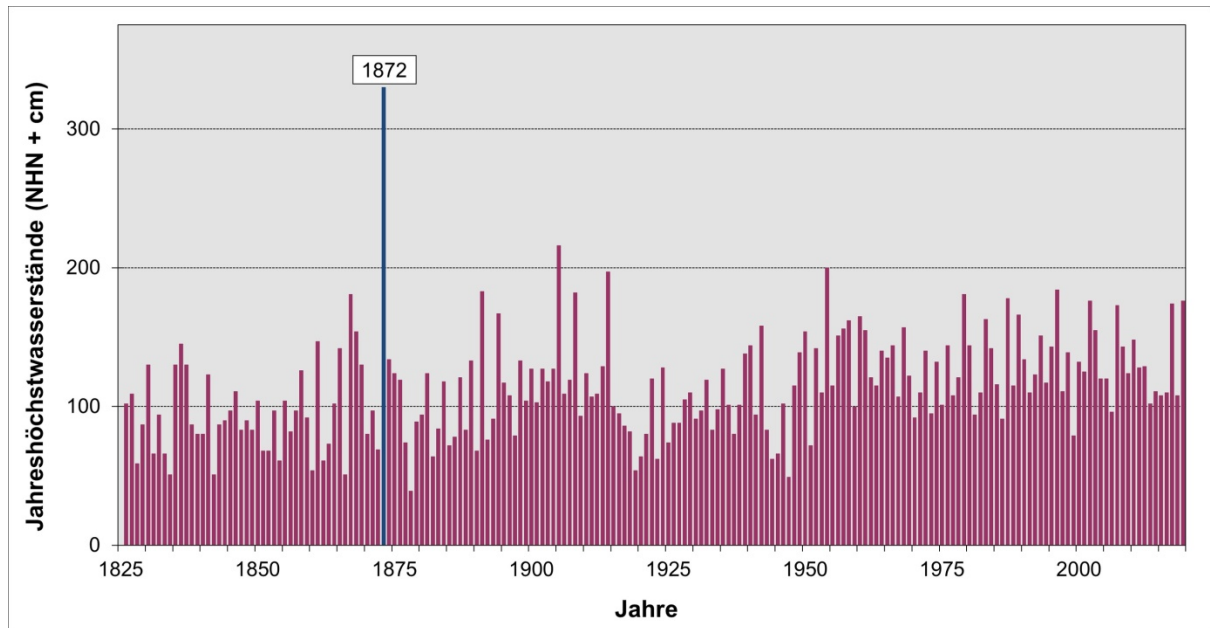


Abbildung 3: Entwicklung der jährlichen Höchstwasserstände am Pegel Travemünde seit 1826.

3 Moderner Küstenschutz

3.1 Strategische Überlegungen

Unter dem Eindruck der Sturmflutkatastrophe von 1962 verabschiedete Schleswig-Holsteins Landesregierung im Jahre 1963 einen Generalplan für den Küstenschutz, der das technische und finanzielle Konzept zur Gewährleistung der Küstenschutz-Sicherheitsstandards in Schleswig-Holstein umfasst. Der Plan wurde in den Jahren 1977, 1986, 2001 und zuletzt 2012 fortgeschrieben, wobei die aktuelle Fassung des Jahres 2012 (MELUR 2013) eine Reihe von strategischen Weiterentwicklungen gegenüber früheren Plänen enthält. Die Vorgaben aus der europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie wurden aufgegriffen und berücksichtigt. So wird der Küstenschutz im Kontext eines ganzheitlichen Küstenhochwasserrisikomanagements beschrieben. Es werden für den Küstenschutz relevante Aussagen zur Raumordnung, Bauleitplanung, Gefahrenabwehr und zum Katastrophenschutz gemacht. Insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels und seiner Konsequenzen wurden Grundsätze für das Bauen in Küstenniederungen und an den Küsten eingeführt.

Weiterhin gilt nunmehr für alle Landesschutzdeiche ein statistisch ermittelter, maßgeblicher Sturmflutwasserstand HW_{200} mit einer jährlichen Eintrittswahrscheinlichkeit von 0,005 (Wiederkehrintervall = 200 Jahre). Das HW_{200} ist Grundlage für die Überprüfung der aktuellen Sicherheit der Landesschutzdeiche im Rahmen der regelmäßigen Fortschreibungen des Generalplanes Küstenschutz. Wenn bei diesem Wasserstand über eine längere Strecke ein Wellenüberlauf von mehr als $2\text{ l/m}^*\text{s}$ auftritt, muss der Deichabschnitt verstärkt werden. Die Berechnung des Wellenauflaufes und Wellenüberlaufes erfolgt nach EUROTOP (2007). Im Jahre 2011 hat die letzte Sicherheitsüberprüfung mit dem neuen Verfahren ergeben, dass 93 km der Landesschutzdeiche in Schleswig-Holstein zu verstärken sind.

Bei der Bemessung von Deichverstärkungen wird ein einheitlicher Klimazuschlag in Höhe von 0,5 m auf das HW_{200} aufgeschlagen. Gemäß neuerer Veröffentlichungen (Grinsted et al. 2015, Le Bars et al. 2017) kann der Meeresspiegel bis zum Ende dieses Jahrhunderts deutlich stärker als um 0,5 m ansteigen. IPCC (2019) gibt als wahrscheinliche Bandbreite für das RCP8.5-Szenario globale Anstiegswerte zwischen 0,6 und 1,1 m für den Zeitraum 2000 bis 2100 an. Dadurch nimmt auch die Bandbreite der Projektionen beachtlich zu. Für das Land Schleswig-Holstein stellt diese Unschärfe eine erhebliche Herausforderung hinsichtlich einer vorsorglichen und gleichzeitig kosteneffizienten Schutzstrategie dar. Zur Berücksichtigung der großen Bandbreiten in den wissenschaftlichen Projektionen hat Schleswig-Holstein bereits 2009 das Konzept „Baureserve“ für Deichverstärkungen eingeführt (MELUR 2013). Dieses wurde im Jahre 2018 auf der Basis neuerer wissenschaftlicher Erkenntnisse nochmals zum Konzept Klimadeich erweitert (Abbildung 4).



Abbildung 4: Das Konzept Klimadeich.

- Für die nach der Sicherheitsüberprüfung zu verstärkenden Deichabschnitte wird zunächst auf der Basis des vorhandenen, sich nach oben versteilenden Regelprofils der Deichaußenböschung eine Neubemessung durchgeführt (Abbildung 4a).
- Das somit ermittelte Deichbestick (Höhe und Neigungen) wird in einem nachfolgenden Schritt angepasst, in dem die Regelbreite der Deichkrone von 2,5 auf 5 m verbreitert wird und die Außenböschung von der Oberkante Treibsel-Abfuhrweg oder Wellenüberschlagssicherung bis zur Deichkrone grundsätzlich eine einheitliche Neigung von 1:10 erhält. Wenn ein Deckwerk zur Fußsicherung vorhanden ist bzw. geplant wird, soll seine Oberkante mit einem Klimazuschlag in Höhe von 0,5 m bemessen werden (Abbildung 4b). Mit diesem Deichbestick wird der Deich verstärkt.

Durch die Abflachung der Deichaußenböschung wird eine zusätzliche Sicherheit gegenüber dem bisherigen Regelprofil geschaffen, da der (zu kehrende) Wellenauflauf mit flacheren Deichaußenböschungen generell abnimmt. Der größte Vorteil der Abflachung und der verbreiterten Deichkrone besteht darin, dass eine Baureserve für spätere Nachverstärkungen geschaffen wird. Nachfolgende Generationen haben die Möglichkeit, mit geringem technischem, finanziellem und planerischem Aufwand dem Deich eine Deichkappe aufzusetzen (Ausbauvariante I, Abbildung 1c). Mit diesem zweistufigen Verfahren kann einem Meeresspiegelanstieg von bis zu etwa 1,5 m begegnet werden. Aktuelle Untersuchungen, die sich mit sog. High-End-Szenarien befassen (Grinsted et al. 2015, Le Bars et al. 2017), resultieren in noch höheren Anstiegswerten. Damit diese Anstiegswerte eintreten, müssten die Landeiskappen auf Grönland und in der Antarktis kollabieren, was derzeit als sehr unwahrscheinlich eingestuft wird. Auch in diesem Falle wäre eine weitere Verstärkung der Landesschutzdeiche durch eine Profilanpassung möglich (Ausbauvariante II, Abbildung 1c). Mit dieser weiteren Profilanpassung kann einem Meeresspiegelanstieg von bis zu etwa 2 m begegnet werden.

3.2 Maßnahmen an der Ostseeküste

Die Küstenlinie entlang der Ostsee hat eine Länge von etwa 536 km; davon entfallen 137 km auf die Schlei-Förde und 71 km gehören zur Insel Fehmarn. Die Länge der aktiven (erodierenden) Steilufer beträgt 122 km. Aufgrund der stark bewegten, durch Buchten und Landzungen geprägten Topografie der schleswig-holsteinischen Ostseeküste gibt es eine große Zahl nicht miteinander verbundener Küstenniederungsgebiete (Abbildung 1). In diesen insgesamt etwa 315 km² großen Niederungen leben über 56.000 Menschen, und es sind Sachwerte in Höhe von fast 7 Milliarden Euro vorhanden. Der Küstenschutz entlang der Ostseeküste Schleswig-Holsteins wird hauptsächlich durch Landesschutz- und Regionaldeiche realisiert. Zwischen 2005 und 2011 wurde in der Lübecker Bucht ein kommunales Küstenhochwasserschutzsystem in mehreren Bauphasen errichtet. Sie werden nachfolgend behandelt.

3.2.1 Deiche

In Schleswig-Holstein ist im Gegensatz zur Nordseeküste die Ostseeküste durch eine große Zahl nicht miteinander verbundener Niederungsgebiete geprägt (Abbildung 1). Die meisten sind durch Deiche mit einer Gesamtlänge von 121 km geschützt – etwa 69 km

Landesschutzdeiche und 51 km Regionaldeiche. Im Gegensatz zu den Landesschutzdeichen liegen die Regionaldeiche weitgehend in der Zuständigkeit von Deichverbänden und besitzen keine festgelegten Sicherheitsstandards.

Die letzte Verstärkung eines Landesschutzdeiches an der Ostseeküste wurde von 2010 bis 2013 zwischen Dahme und Rosenfelde durchgeführt. Hier wurde das Konzept „Baureserve“ noch nicht umgesetzt. Dieser 5,5 km lange Deichabschnitt (davon 1,8 km in Ortslage) schützt ein etwa 45 km² großes Niederungsgebiet mit fast 2.200 Einwohnern und Sachwerten in Höhe von 300 Millionen Euro. Der Deich wurde durchschnittlich um 0,8 m auf NHN +4,8 m erhöht; außerhalb der Ortslagen bekam die Außenböschung eine Neigung von 1:8. Die im Vergleich zur Westküste deutlich geringere Deichhöhe hängt in erster Linie mit dem fehlenden Tideeinfluss in der Ostsee zusammen. In Teilbereichen der Ortslage Dahme sowie am Schöpfwerk Dahme mussten wegen der besonders engen Platzverhältnisse Hochwasserschutzwände auf der Deichkrone errichtet werden (Abbildung 5). Die Baumaßnahmen griffen nicht unerheblich in Natur und Landschaft ein, was die Umsetzung diverser landschaftspflegerischer Maßnahmen erforderlich machte. So wurde etwa 1 ha des seltenen Lebensraumtyps „Feuchte Dünentäler“ aus dem Baubereich geborgen und auf vorbereitete Vordünenflächen aufgebracht.



Abbildung 5: Bau einer Hochwasserschutzwand auf dem Landesschutzdeich Dahme-Rosenfelde (© LKN.SH).

3.2.2 Küstenhochwasserschutzsystem Scharbeutz/Timmendorfer Strand

Nicht in allen überflutungsgefährdeten Küstensiedlungen entlang der Ostsee sind Deiche die geeignete Schutzmaßnahme. Insbesondere in den touristisch geprägten Küstenorten sind alternative Maßnahmen gefragt. Ein Beispiel ist die Lübecker Bucht; in den Gemeinden Timmendorfer Strand und Scharbeutz wohnen fast 5.000 Menschen in überflutungsgefährdeten Küstenniederungen. Darüber hinaus befinden sich in diesem Gebiet Sachwerte, auch touristische Infrastruktur, in Höhe von 450 Millionen Euro. Der Küstenhochwasserschutz bestand im Wesentlichen aus einem Strandwallsystem mit einer Höhe von circa 2,5 bis 3,0 m über NHN, was in Anbetracht der sehr hohen Vulnerabilitäten als

defizitär eingestuft wurde. Auch vor dem Hintergrund der langfristig steigenden Überflutungswahrscheinlichkeit infolge des künftig zu erwartenden beschleunigten Meeresspiegelanstieges (IPCC 2019) wurde eine nachhaltige Küstenschutzlösung dringend notwendig. Da das letzte katastrophale Sturmhochwasser bereits fast 150 Jahre zurückliegt (Abbildung 2) und die Region wirtschaftlich vom Tourismus abhängt, stand die ortsansässige Bevölkerung einer klassischen Hochwasserschutzlösung mittels Deiche eher skeptisch gegenüber. Die Verantwortung für den Hochwasserschutz liegt bei den Gemeinden. Eine geeignete, von den Einwohnern akzeptierte Küstenschutzlösung für dieses Gebiet konnte nur mit einer aktiven Einbindung der örtlichen Bevölkerung erzielt werden. Erstmals im Küstenschutz wurde deshalb ein proaktives Bürgerbeteiligungsverfahren mit externer Moderation durchgeführt (Hofstede 2004). Als Ergebnis dieses Verfahrens sollten die Gemeinden nunmehr eine in die Küstenlandschaft integrierte Küstenhochwasserschutzlösung planen und umsetzen. Im Rahmen eines nachfolgenden Ideenwettbewerbes wurde eine solche generelle Lösung entwickelt und in sechs Bauphasen zwischen 2005 und 2011 in beiden Gemeinden umgesetzt. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um eine durch geotextile Sandcontainer stabilisierte Spundwand mit aufgesetztem Wellenabweiser aus Beton (Abbildung 6); die Anlage wurde in das bestehende Strandwallsystem eingebaut bzw. „versteckt“ (Abbildung 7). Nur wenn der Strandwall im Laufe einer Sturmflut erodiert, kommt die technische Anlage zum Vorschein und schützt die Küstenniederung effektiv vor Überflutung. Dieses Beispiel zeigt eine in die Landschaft integrierte und vor Ort akzeptierte Lösung.

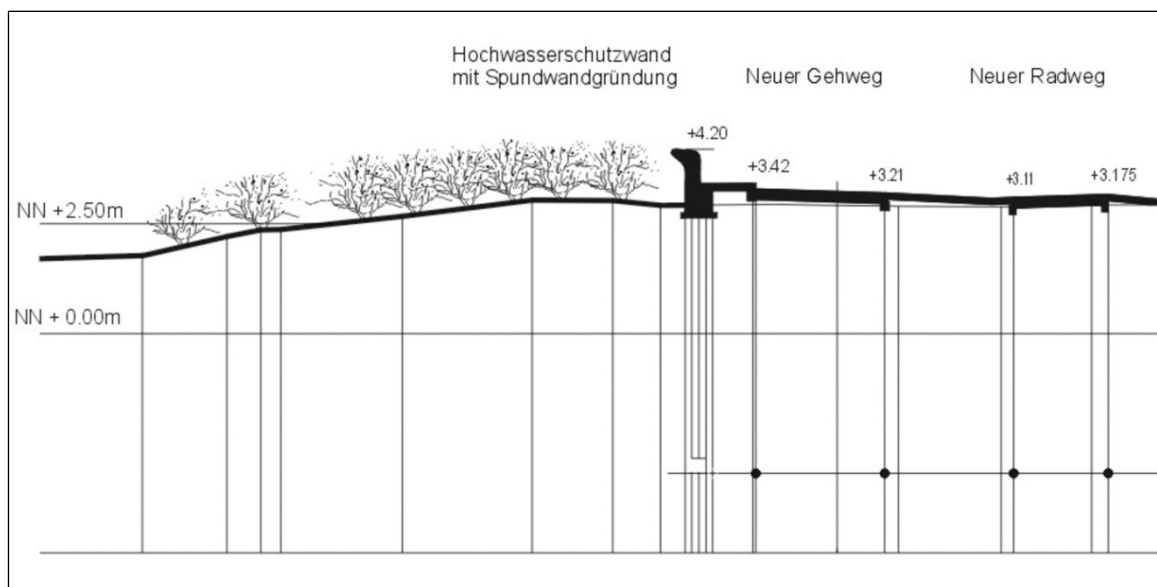


Abbildung 6: Hochwasserschutzsystem für Timmendorfer Strand und Scharbeutz.



Abbildung 7: Hochwasserschutzsystem „versteckt“ im aufgeschütteten Strandwall (© Hofstede).

3.2.3 Küstensicherung an der Ostseeküste

Neben dem Küstenhochwasserschutz werden an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste an einigen Stellen Küstensicherungsmaßnahmen, vornehmlich Buhnen, zum Schutz vor Landabbruch und Erosion durchgeführt (Eiben 1992). In den 1980er Jahren wurden beispielsweise in der Probstei bei Kiel 46 sogenannte T-Buhnen als Fußsicherung für den dortigen Landesschutzdeich errichtet. Insgesamt ist die Zahl der Küstensicherungsbauwerke jedoch gering. Dies entspricht dem Grundsatz aus dem Generalplan Küstenschutz, wonach besonders an der Ostsee eine natürliche Dynamik der Küste einschließlich von Steiluferabbrüchen erwünscht ist (MELUR 2013). Das während der Sturmfluten auf natürlichem Wege freigesetzte Material dient der Stabilisierung der umliegenden Niederrungsküsten und hat somit eine bedeutende Funktion für den Küstenschutz. Sandaufspülungen zur Küstensicherung, wie zum Beispiel auf der Nordseeinsel Sylt praktiziert (siehe unten), sind an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste insbesondere auch wegen der sehr geringen Sandvorkommen im Meer keine nachhaltige Lösungsoption. Generell sollen nur Siedlungen, wichtige Infrastrukturanlagen und hohe Sachwerte vor irreversiblen Küstenrückgang und struktureller Erosion geschützt werden.

3.3 Maßnahmen an der Nordseeküste

Die schleswig-holsteinische Nordseeküste ist geprägt durch eingedeichte Küstenmarschen, das Wattenmeer und die Tideelbe (Abbildung 1). Die Küstenlinie hat eine Länge von 569 km, davon sind 208 km Insel- und 63 km Halligküste. In den 3.572 km² großen Küstenmarschen leben 298.000 Menschen, und es sind Sachwerte in Höhe von 42 Milliarden Euro vorhanden. Der Küstenschutz entlang der Nordseeküste Schleswig-Holsteins wird hauptsächlich durch Deiche (Landesschutzdeiche, Regionaldeiche und Mitteldeiche) realisiert. Weitere Schwerpunkte sind die Küstensicherung auf Sylt mittels Sandersatzmaßnahmen sowie die Verstärkungen von Halligwarften. Sie werden nachfolgend behandelt.

3.3.1 Deiche

Die Küstenmarschen an der Nordseeküste Schleswig-Holsteins werden über 407 km durch Landesschutz- (363 km) und Regionaldeiche (44 km) vor Sturmfluten gesichert (Abbildung 1). Weitere 548 km Mitteldeiche bieten als sogenannte zweite Deichlinie einen zusätzlichen Schutz für die dahinterliegenden Küstenmarschen. Sie dienen dazu, Überflutungen im Falle eines Bruches von Landesschutzdeichen räumlich einzuschränken. Die zweite Deichlinie besteht vorwiegend aus ehemaligen, im Zuge der früheren Landgewinnung in die zweite Linie gerückten, Landesschutzdeichen. Einen Sonderfall stellen die fast 40 km langen, relativ niedrigen Regionaldeiche auf den Halligen dar. Vor dem Hintergrund, dass das zum Ausgleich des Meeresspiegelanstieges erforderliche Höhenwachstum der Halligen eine regelmäßige Überflutung mit sedimentbeladenem Meerwasser voraussetzt, sollen sie nur vor Sommerhochwasser schützen. Im Winter sind die fast 300 Bewohner der Halligen auf den Schutz durch Warften angewiesen (siehe unten).



Abbildung 8: Landesschutzdeich in Büsum nach der Verstärkung (© LKN.SH).

Die erste Deichverstärkung nach dem Konzept Baureserve wurde zwischen 2013 und 2015 in Büsum (Dithmarschen) durchgeführt. Die Sicherheitsüberprüfung hatte ergeben, dass ein etwa 2,7 km langer Abschnitt des Landesschutzdeiches den Schutzstandard nicht erfüllt und verstärkt werden muss. Im Schutz dieses Deichabschnittes leben etwa 6.750 Menschen, und es sind Sachwerte in Höhe von etwa 720 Millionen Euro vorhanden. Der verstärkte Deich hat nunmehr eine Kronenhöhe von NHN +8,7 m und eine durchgehende Außenböschungsneigung von mindestens 1:9, teilweise sogar 1:15 (Abbildung 8). Wegen der vorhandenen dichten Ortsbebauung musste die Verstärkung seeseitig durchgeführt werden. Zur Verringerung der Überbauung von ökologisch wertvollen Wattflächen wurde das vorhandene Deckwerk am Deichfuß um durchschnittlich 0,7 m erhöht. Eine Besonderheit der Baumaßnahme waren die parallel zur Deichverstärkung ausgeführten Arbeiten zur Verbesserung der touristischen Infrastruktur wie die Watttribüne auf der

neuen Deichaußenböschung, Fußgängerbrücken zur Innenstadt und Deckwerkstreppen zum Watt (Abbildung 8). Mit dieser integrativen Maßnahme hat die Gemeinde Büsum ein großes Maß an Sicherheit dazugewonnen und gleichzeitig seine touristische Attraktivität erheblich gesteigert.

3.3.2 Sandersatzmaßnahmen auf Sylt

Die Sandersatzmaßnahmen auf der Insel Sylt sind ein weiteres wichtiges Element der Küstenschutzstrategie an der Nordseeküste von Schleswig-Holstein. Bis Ende 2019 wurden insgesamt 51 Millionen m³ Sand an den Nordseestränden von Sylt aufgespült und verklappt (Abbildung 9). Mit diesem Sand konnte der natürliche Rückgang von etwa einem Meter pro Jahr ausgeglichen bzw. sogar ein Sandpuffer hergestellt werden. Dieser Puffer wird gelegentlich auch als Vordüne bezeichnet, ist aber ein sog. Verschleißbauwerk auf dem oberen Strand. Er dient dazu, während Sturmfluten Erosionen an den eigentlichen Dünen zu verhindern. An den Inselenden und vor Westerland sind wegen der intensiven Hydrodynamik respektive dichter Bebauung weitere (harte) Schutzmaßnahmen erforderlich.

Neben traditionellen Strandaufspülungen werden vermehrt auch Verklappungen im Vorstrand durchgeführt. Die Kosten für dieses Verfahren sind vergleichsweise gering. Darüber hinaus kann der beobachteten langfristigen Versteilung des Unterwasserprofils vor Sylt entgegengewirkt werden. Diese Versteilung führt dazu, dass höhere Wellen den unmittelbaren Strandbereich erreichen und hier zusätzliche Erosion erzeugen. Entsprechend führt die Vorstrandverklappung zu einer Stabilisierung der dahinterliegenden Strandabschnitte.

Die natürliche Erosion an der Nordseeküste von Sylt beträgt etwa 1 Mio. m³ pro Jahr. Aufgrund der vorherrschenden hydro-morphodynamischen Verhältnisse ist nicht davon auszugehen, dass dieses Material in Richtung Nordsee verfrachtet und somit aus dem System verschwindet. Wahrscheinlicher ist, dass es küstenparallel zu den Seegats und von dort in das Wattenmeer transportiert wird. Wenn diese Hypothese stimmt, würde der vor Sylt künstlich eingebrachte Sand – als positiver Nebeneffekt – das durch einen beschleunigten Meeresspiegelanstieg entstehende Sedimentdefizit im Wattenmeer verringern und dazu beitragen, das Ökosystem Wattenmeer in seiner Größe sowie seinen Strukturen und Funktionen in Zeiten des Klimawandels zu bewahren. Dieses langfristige Ziel verfolgt die Landesregierung Schleswig-Holsteins mit seiner Strategie für das Wattenmeer 2100 (MELUR 2015). Die oben beschriebene Hypothese wird derzeit in dem INTERREG-Projekt „Building with Nature“ (Teilvorhaben: BASEWAD – balancing sediment deficits in the Wadden Sea) wissenschaftlich untersucht.

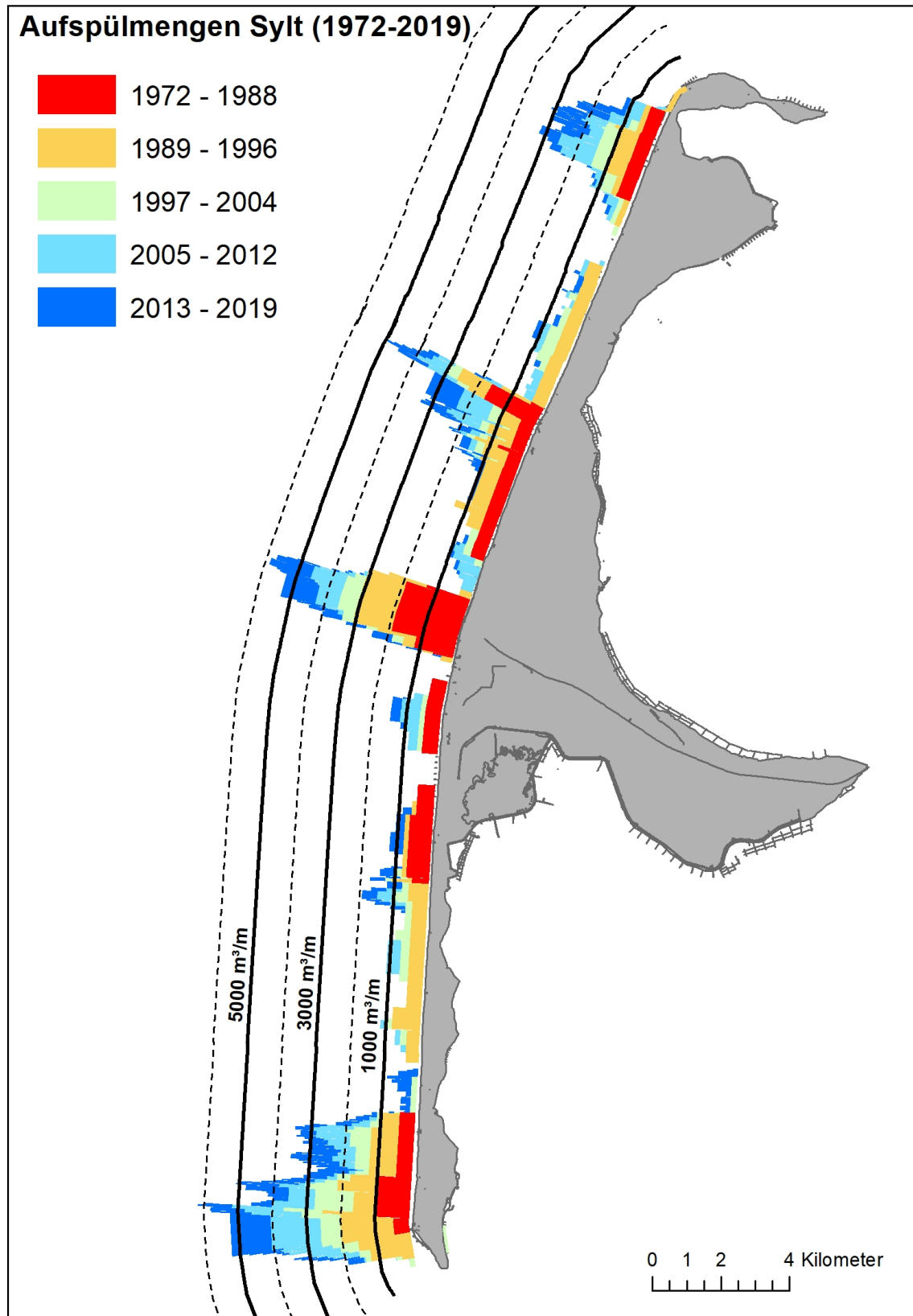


Abbildung 9: Sandaufspülungen an der Nordseeküste von Sylt seit 1972 (LKN.SH).

3.3.3 Das Warftverstärkungs- und Entwicklungsprogramm

Die 10 Halligen mit ihren Warften im nordfriesischen Wattenmeer stellen weltweit einmalige und erhaltenswerte Kultur- und Naturwerte dar. Wie keine andere Landschaft stehen sie als Sinnbild für den „Kampf mit dem Blanken Hans“. Historische Sturmfluten wüteten hier wegen der exponierten und kaum geschützten Lage besonders gravierend. Die Halligen sind zumindest teilweise Überbleibsel einer im Mittelalter infolge von Sturmfluten und Meereseinbrüchen untergegangenen Küstenmarschlandschaft. Betrug ihre Fläche Mitte des 17. Jahrhunderts noch etwa 100 km², reduzierte sich diese Fläche infolge von Sturmfluten bis Ende des 19. Jahrhunderts auf weniger als 30 km² (Lorenzen 1980). Von 1824 bis 1924 nahm die Halligbevölkerung von 937 auf 490 ab, was fast einer Halbierung gleichkommt. Allein während der Sturmflut von 1825, der sogenannten Halligflut, verloren 74 Halligbewohner ihr Leben, weitere 234 Menschen zogen fort (Meier 2012). Zu Anfang des 20. Jahrhunderts wurden die Halligen durch Küstenschutzmaßnahmen in ihrer Lage stabilisiert.

Durch ihre exponierte Lage im Wattenmeer sind die Halligen vom Meeresspiegelanstieg und höheren Sturmflutwasserständen besonders betroffen. Mit dem Ziel, die Halligen in Zeiten des demographischen und des Klimawandels langfristig bewohnbar zu halten, wurde ein Regierungsprogramm aufgelegt. Schwerpunkt ist eine nachhaltige Verstärkung der Warftkörper als zentraler Siedlungs- und Wirtschaftsraum in Kombination mit baulichen Hochwasserschutzmaßnahmen an Gebäuden und nicht-baulichen Maßnahmen wie dem Freihalten von Schutzstreifen. Dazu wurde unter anderem eine Sicherheitsüberprüfung der bewohnten Halligwarften durchgeführt und ein neues Bestick als Grundlage für Warftverstärkungen entwickelt (Abbildung 10).

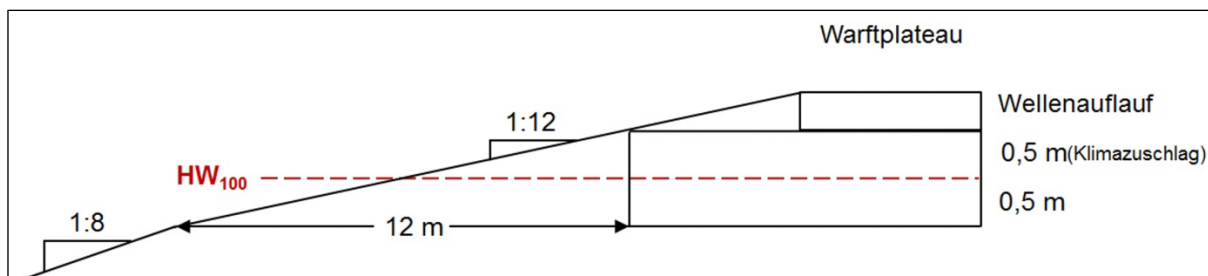


Abbildung 10: Bestick-Elemente einer Halligwarft-Plateauverstärkung.



Abbildung 11: Plateauverstärkung an der Westseite von der Hanswarft (Hooge; © Hofstede)

Da eine Überflutung der Warften trotz des hohen Schutzstandards nicht ausgeschlossen werden kann, sind auch Maßnahmen zur Reduzierung der Schadenserwartungen im Programm berücksichtigt worden: beispielsweise das Schaffen von Schutzräumen in neuen Gebäuden. Im Jahre 2019 wurden die ersten drei Warftverstärkungen auf Hooge (Hanswarft), Langeneß (Treuberg) und Nordstrandischmoor (Norderwarft) als Pilotprojekte durchgeführt (Abbildung 11).

4 Ausblick

Der Umgang mit dem menschengemachten Klimawandel ist zu einem der Brennpunkte unserer Gesellschaft geworden. Dies wird sich auch in der bis 2022 anstehenden fünften Fortschreibung des Generalplanes Küstenschutz Schleswig-Holstein niederschlagen. Insbesondere die zukünftige Entwicklung des Meeresspiegelanstieges infolge des menschengemachten Klimawandels genießt dabei hohe öffentliche und mediale Aufmerksamkeit. In 2019 hat das IPCC einen Sonderbericht über den Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima veröffentlicht, in dem neue Projektionen zum weltweiten Meeresspiegelanstieg enthalten sind. Bund und Länder 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 in diesem Jahrhundert zu erwartenden globalen mittleren Meeresspiegelanstieges zwischen 0,61 und 1,10 m (Medianwert 0,84 m). Diese neuen Werte liegen um etwa 10 % höher als die im letzten IPCC-Bericht (2014) veröffentlichten. Sturmflutwasserstände an den deutschen Küsten werden vermutlich entsprechend dem mittleren Meeresspiegelanstieg höher ausfallen (Belfort et al. 2015, Klein et al. 2018). Dies wird schwerwiegende Auswirkungen an den tiefliegenden sandigen Küsten haben. Die Küsten und Küstenschutzanlagen werden künftig stark erhöhten hydrologischen Belastungen ausgesetzt sein. Neben dem Konzept Klimadeich werden weitere, auch nicht-technische, Anpassungen wie die Sicherung von Flächen für erforderliche Deichverstärkungen und für Küstenrückgang erforderlich. Im neuen Landesentwicklungsplan Schleswig-Holstein sollen entsprechende Vorranggebiete für den Küstenschutz und für die Klima-Anpassung an den Küsten geschaffen werden. In Anbetracht der zu erwartenden zunehmenden Belastungen der Küstenzonen und die sich daraus ergebende Anpassungsnotwendigkeit behält das Fazit in den Generalplänen Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein von 2001 und 2012 (MLR 2001, MELUR 2013) auch in Zukunft seine Gültigkeit: „*Der Küstenschutz wird niemals enden*“.

5 Literaturverzeichnis

- Belfort, D. J.; Fischer, M.; Leckebusch, G. C.; Ulbrich, U.; Ganske, A.; Rosenhagen, G.; Heinrich, H.: Identification of storm surge events over the German Bight from atmospheric reanalysis and climate model data. In: Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15, 1437–1447, 2015.
- Eiben, H.: Küstenschutz an der Ostseeküste von Schleswig-Holstein. In: DVWK (Hg.), Historischer Küstenschutz. Verlag Conrad Witwer, Stuttgart, 517–534, 1992.

Grinsted, A.; Jevrejeva, S.; Riva, R. E. M.; Dahl-Jensen, D.: Sea level rise projections for northern Europe under RCP8.5. *Climate Research*, 64, 15–23, 2015.

Hofstede, J. L. A.: Timmendorfer Strand und Scharbeutz: Zwei Ostseegemeinden schützen sich vor Klimaänderungen. In: Gönnert G.; Grassl H.; Kelletat D.; Kunz H.; Probst B.; Von Storch, H.; Sündermann, J. (Hg.), Tagungsband: „Klimaänderung und Küstenschutz“, Hamburg, 233–242, 2004.

IPCC: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Pachauri, R. K.; Meyer, L. A. (Hg.)), IPCC, Genova, 151 pp., 2014.

IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: Pörtner, H.-O. et al. (Hg.): IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. In press.

Kiecksee, H.: Die Ostseesturmflut 1872. Schriften des Deutschen Schiffahrtsmuseums Bremerhaven, Heft 2, 1972.

Klein, B. et al.: Deutsche Bucht mit Tideelbe und Lübecker Bucht. In: Von Storch, H.; Meinke, I.; Claußen, M. (Hg.): Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Verlag Springer Berlin Heidelberg, 54–87, 2018.

Le Bars, D.; Drijfhout, S.; De Vries, H.: A high-end sea level rise probabilistic projection including rapid Antarctic ice sheet mass loss. In: *Environmental Research Letters*, 12, 2017.

Le Bars, D.; De Vries, H.; Drijfhout, S.: Sea level rise and its spatial variations. De Bilt, Technical Report, 372, 2019.

Lorenzen, J.: Die Halligen in alten Abbildungen. In: Foriining for nationale Friiske, Breklumer Druckerei Manfred Siegel KG, 1992.

Meier, D.: Landschaftsgeschichte, Siedlungs- und Wirtschaftsweise der Marsch. In: Verein Ditmarschens Landeskunde (Hg.): Geschichte Dithmarschens, 71–92, 2000.

Meier, D.: Die Schäden der Sturmflut von 1825 an der Nordseeküste Schleswig-Holsteins. *Die Küste* 79, 193–235, 2012.

MELUR – Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein: Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein – Fortschreibung 2012. MELUR, Kiel, 2013.

MELUR – Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein: Strategie für das Wattenmeer 2100. MELUR, Kiel, 2015.

MLR – Ministerium für ländliche Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein: Generalplan Küstenschutz - Integriertes Küstenschutzmanagement in Schleswig-Holstein 2001. MLR, Kiel, 2001.