

MEERESSPIEGELANSTIEG AN DER DEUTSCHEN OSTSEEKÜSTE

Küstenentwicklung im Klimawandel



Dr. Insa Meinke
Norddeutsches Küsten- und Klimabüro
Helmholtz-Zentrum Hereon

FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Inhalt

4	KLIMAWANDEL, MEERESSPIEGELANSTIEG UND STURMFLUTEN
5	Bisherige Entwicklung weltweit
6	Mittlerer Meeresspiegel und Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste
9	Mögliche Wasserstandsentwicklungen bis 2100
10	KÜSTENFORMEN UND KÜSTENSCHUTZ
11	Unsere Ostseeküste: Entstehung, Dynamik und Perspektiven
12	Aktueller Küstenschutz
16	KÜNFTIGE ENTWICKLUNG DER OSTSEEKÜSTE
17	Fest installierte Schutzvorrichtungen
18	Ökosystembasierte Maßnahmen
21	Landes- und raumplanerische Optionen für den Umgang mit steigenden Wasserständen
22	QUELLENVERZEICHNIS / BILDNACHWEISE

An der deutschen Ostseeküste ist der Küstenschutz für die meisten wenig auffällig. Anders als an der Nordseeküste prägen hier keine riesigen Deiche das Landschaftsbild. Hotels, Restaurants und Cafés, oft direkt am Strand, lassen Besucher vermuten, dass die Küste unverändert bleibt. Ostseesturmfluten werden von der Öffentlichkeit oft als seltene Naturereignisse wahrgenommen und auch in den Medien wird bisher selten ein Bezug zum Klimawandel hergestellt.

Tatsächlich steigt der Meeresspiegel auch an der deutschen Ostseeküste. Sturmfluten haben in den vergangenen Jahren vielerorts hohe Schäden erzeugt. Wellen, Brandung und Strömung verlegen unsere Ostseeküste fortlaufend zurück. Durch den menschengemachten Klimawandel können sich diese Prozesse weiter verstärken. Die deutsche Ostseeküste als Lebensraum, Wirtschaftsregion und Sehnsuchtsort muss sich heute auf die zu erwartenden Entwicklungen einstellen. Dabei gilt es, Optionen lokal, aber auch über politisch-administrative Grenzen hinweg abzuwägen, notwendige Entscheidungen zu treffen und geeignete Maßnahmen in die Wege zu leiten.

Diese Broschüre ist im Rahmen des BMBF-Vorhabens Küstenmeerforschung KüNO III entstanden und fasst den aktuellen Forschungsstand zu Meeresspiegelanstieg, Küstenentwicklung und Küstenschutz an der deutschen Ostseeküste zusammen. Sie ermöglicht wissenschaftsbasierte Entscheidungen zur Küstenentwicklung vor dem Hintergrund des Klimawandels.

KLIMAWANDEL, MEERESSPIEGELANSTIEG UND STURMFLUTEN



Seit Beginn des letzten Jahrhunderts ist der mittlere globale Meeresspiegel schneller angestiegen als in jedem vorangegangenen Jahrhundert der letzten 3000 Jahre.

Bisherige Entwicklung weltweit

Entsprechend dem kürzlich veröffentlichten Bericht des UN-Weltklimarates IPCC wird erneut Konsens darüber dokumentiert, dass sich durch den Einfluss des Menschen die Atmosphäre, die Ozeane und die Landflächen erwärmt haben. Im Vergleich zur vorindustriellen Zeit hat sich die Oberflächentemperatur bereits um etwa ein Grad im globalen Mittel erhöht (6).¹



Durch die Erwärmung ist der Meeresspiegel im Verlauf des letzten Jahrhunderts um knapp 20 cm im globalen Mittel angestiegen.

Durch die Erwärmung ist der Meeresspiegel im Verlauf des letzten Jahrhunderts um knapp 20 cm im globalen Mittel angestiegen (5, 6). In den letzten Jahrzehnten hat sich dieser Anstieg vor allem durch die abschmelzenden Eismassen an Land beschleunigt. Der Verlust von Eismassen in Grönland und in der Antarktis hat seit den 1990er Jahren um das Vierfache zugenommen.

In den letzten Jahren haben Eisschild- und Gletschermassenverluste am stärksten zum Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels beigetragen (6). Außerdem dehnt sich der Ozeanwasserkörper durch die Erwärmung aus und trägt so zusätzlich zum Meeresspiegelanstieg bei.

Infolge der Verstärkung dieser Prozesse steigt der mittlere globale Meeresspiegel seit Beginn des letzten Jahrhunderts schneller an als in jedem vorangegangenen Jahrhundert innerhalb der letzten 3000 Jahre (6).

Regional wird der Meeresspiegelanstieg zusätzlich durch Meeresströmungen, den Salzgehalt und das regionale Windklima beeinflusst. Aber auch Prozesse, die sich über lange Zeiträume erstrecken, wirken sich auf den Meeresspiegel aus. So heben sich Landmassen, die

in der letzten Eiszeit mit Eis bedeckt waren, noch heute durch die Entlastung von den geschmolzenen Eismassen an. Dadurch fällt der Meeresspiegel in diesen Regionen relativ zum Land. Die skandinavischen Landmassen unterliegen bis heute diesem Hebungsprozess, wodurch der mittlere Meeresspiegel an der skandinavischen Ostseeküste fällt. An der deutschen Ostseeküste senken sich die Landmassen aufgrund dieser nacheiszeitlichen Ausgleichsbewegung. Relativ zum Land erhöht sich der Meeresspiegel hier durch diesen Prozess um durchschnittlich etwa 1 mm pro Jahr zusätzlich (2).

Das Abschmelzen der großen Eisschilde Grönlands und der Antarktis führt aktuell außerdem dazu, dass ihre Massenanziehungskraft auf das Wasser des Ozeans nachlässt. Dadurch fällt der Meeresspiegel in direkt benachbarten Küstenregionen. In mehr als 1000 km entfernten Regionen steigt er dafür entsprechend deutlicher an. Deshalb wirken sich an unseren Küsten vor allem auch die Schmelzprozesse auf der Südhalbkugel (Antarktis) auf den Meeresspiegelanstieg aus (2).

Das Maß der Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs in den Küstenregionen ist neben dem anthropogenen Klimawandel und den natürlichen Klimaschwankungen von weiteren Faktoren abhängig. Hierzu zählen die sozioökonomische, raumplanerische und demographische Entwicklung sowie die Flächennutzung der Küstengebiete (3, 4).



Nicht nur das Wasser, sondern auch die Landmassen können sich heben oder senken.

¹Die Zahlen verweisen auf die zitierte Literatur im Quellenverzeichnis.

Mittlerer Meeresspiegel und Sturmfluten

an der deutschen Ostseeküste

Auch an der deutschen Ostseeküste ist der Meeresspiegel angestiegen (16, 19). In den letzten 100 Jahren ist der mittlere jährliche Wasserstand in Warnemünde um 14 cm und in Travemünde um 17 cm angestiegen. Die Werte liegen somit etwas unter dem globalen mittleren Meeresspiegelanstieg. Das gilt auch für Kiel und Flensburg, wo die verfügbaren regelmäßigen Wasserstandszeichnungen nicht so weit in die Vergangenheit zurückreichen. Hier ist der mittlere jährliche Wasserstand in den letzten 50 Jahren um 6 bzw. 10 cm angestiegen.

WWW.MEERESSPIEGEL-MONITOR.DE



Der Meeresspiegelmonitor des Helmholtz-Zentrums Hereon wertet die mittleren Wasserstände an deutschen Nord- und Ostseepegeln fortlaufend aus und setzt sie in den langfristigen Kontext.

Die Wasserstände dieser vier Pegel werden fortlaufend im **Meeresspiegelmonitor** des Helmholtz-Zentrums Hereon ausgewertet und in den langfristigen Kontext gesetzt (19): An allen vier Pegeln gehören die aktuellen mittleren jährlichen Wasserstände zu den höchsten seit Datenverfügbarkeit. Anders als bei dem globalen mittleren Meeresspiegelanstieg lässt sich an der deutschen Ostseeküste bisher jedoch noch keine ungewöhnliche Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs feststellen. Die Anstiegsraten der Wasserstände liegen zwar größtenteils über dem Durchschnittswert, befinden sich jedoch noch im normalen Bereich. Zudem gab es in der Vergangenheit Phasen, in denen der mittlere Meeresspiegel noch schneller angestiegen ist (19).

Dennoch erscheint vor dem Hintergrund des Klimawandels und des damit einhergehenden Meeresspiegelanstiegs und dessen bereits eingetretener

Beschleunigung im globalen Mittel ein fortlaufendes Monitoring sowohl des Meeresspiegelanstiegs als auch der Sturmflutaktivität an den deutschen Küsten notwendig, um erforderliche Anpassungsmaßnahmen rechtzeitig erkennen und in die Wege leiten zu können.

Der **Sturmflutmonitor** des Helmholtz-Zentrums Hereon www.sturmflut-monitor.de, (20) zeigt seit den 1950er Jahren bis heute (2021) zwar leichte Häufigkeitszunahmen der Sturmfluten in Travemünde und Warnemünde, insgesamt wurden bisher jedoch keine statistisch signifikanten Trends an den untersuchten Ostseepegeln identifiziert (8, 20). Auch maximale Sturmfluthöhen zeigen innerhalb der letzten Jahrzehnte an der deutschen Ostseeküste keinen signifikanten Trend. Vielmehr unterliegen die jährlichen maximalen Sturmfluthöhen in Flensburg, Kiel, Travemünde und Warnemünde seit den 1950er Jahren bis zur aktuellen Saison (2021) starken Schwankungen. So zählen die schweren Ostseesturmfluten im Januar 2017 und 2019 zwar an manchen Ostseepegeln zu den höchsten fünf Ereignissen der letzten Jahrzehnte, dennoch sind sie kein Indikator für einen bereits erfolgten systematischen Anstieg maximaler Sturmfluthöhen oder eine schon eingetretene systematische Häufigkeitszunahme schwerer Sturmfluten (8, 20).

WWW.STURMFLUT-MONITOR.DE



Der Sturmflutmonitor zeigt, ob sich die Sturmflutaktivität bereits verstärkt hat und vergleicht die aktuelle Sturmflutsaison mit mit denen der vergangenen Jahrzehnte.

Über diesen Zeitraum der regelmäßigen Wasserstandsdatenverfügbarkeit hinaus ist die Ostseesturmflut vom 12./13. November 1872 die höchste sicher registrierte Sturmflut an der deutschen Ostseeküste. Mit Wasserständen vielerorts von mehr als 3 m über dem mittleren Wasserstand gilt diese Sturmflut zudem als eine der bisher

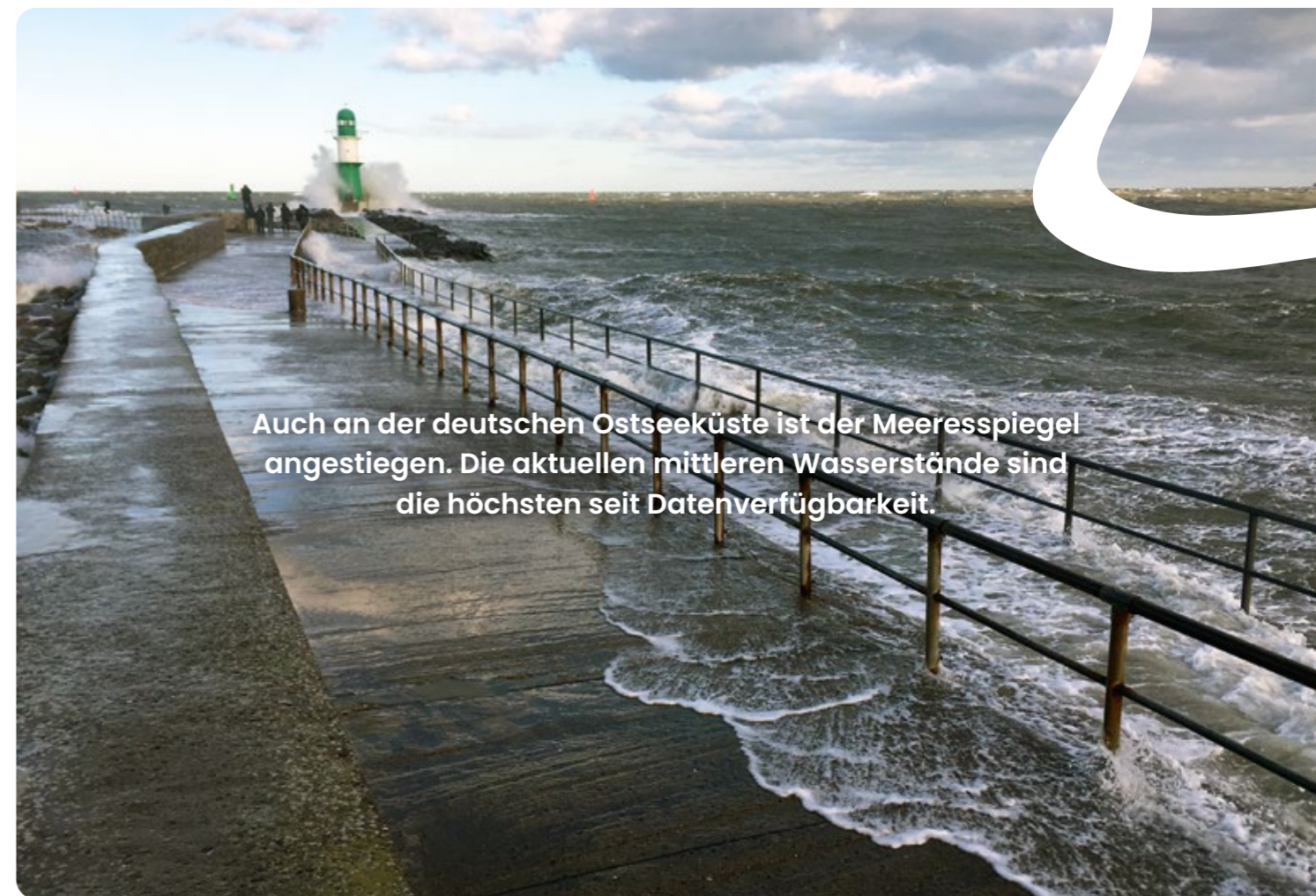
WWW.KUESTENSCHUTZBEDARF.DE



Die bei der Sturmflut im November 1872 erreichten Wasserstände können jederzeit wieder eintreten und sogar übertroffen werden. Durch die sozioökonomische Entwicklung ist die potentielle Sturmflutgefährdung jedoch heute um ein Vielfaches höher. Das Webtool www.kuestenschutzbedarf.de zeigt, welche Gebiete davon ohne Küstenschutz betroffen wären.

schwersten Naturkatastrophen in dieser Region (14). Im gesamten Ostseeraum starben 271 Menschen bei dieser Sturmflut, mehrere tausend Bewohner wurden obdachlos, hunderte Gebäude wurden zerstört. Eine vergleichbare Sturmflut ist seitdem nicht wieder aufgetreten (16). Jedoch können die damals erreichten Wasserstände jederzeit wieder eintreten und sogar übertroffen werden. Von den Folgen einer vergleichbaren Sturmflut wären heute allein in Mecklenburg-Vorpommern 182.000 Einwohner in den gefährdeten Küstenregionen direkt betroffen. Dies entspricht rund 11% aller Einwohner dieses Bundeslandes (14). Zudem wären etwa 80.000 Arbeitsplätze beeinträchtigt und das monetäre Schadenspotential beträfe ein Gesamtvermögen von rund 1,96 Milliarden € (14). Dies verdeutlicht das Potential der Sturmflutgefährdung an der deutschen Ostseeküste, die sich durch den Klimawandel noch verstärken wird.

Das Webtool www.kuestenschutzbedarf.de zeigt, welche Gebiete heute potentiell sturmflutgefährdet sind und wie sich diese künftig durch den Meeresspiegelanstieg vergrößern können.



Auch an der deutschen Ostseeküste ist der Meeresspiegel angestiegen. Die aktuellen mittleren Wasserstände sind die höchsten seit Datenverfügbarkeit.

Dass der mittlere globale Meeresspiegel im 21. Jahrhundert weiter ansteigen wird, ist so gut wie sicher (IPCC 2021).



Mögliche Wasserstandsentwicklungen

bis 2100

Trotz der bisher vergleichsweise unauffälligen Entwicklung mittlerer und maximaler Wasserstände an der deutschen Ostseeküste innerhalb der letzten Jahrzehnte sind ein fortlaufendes Monitoring und die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen im Küstenschutz notwendig, denn der Meeresspiegel wird weltweit und somit auch in der Ostsee künftig weiter ansteigen (6). Langfristig werden dann auch Ostseesturmfluten höher auflaufen und häufiger auftreten, da durch das höhere Ausgangsniveau weniger Wind notwendig ist, um Wasserstände auf heutiges Sturmflutniveau anzuheben. Somit wird der Schwellwert, ab dem aktuell ein hoher Wasserstand als Sturmflut gewertet wird, häufiger überschritten (16, 19).

Das Ausmaß des zukünftigen Anstiegs des globalen mittleren Meeresspiegels durch Abschmelzen der Gletscher und Eisschilde und thermische Ausdehnung des Ozeanwasserkörpers wird maßgeblich durch die zukünftigen Treibhausgasemissionen gesteuert. Dass der mittlere globale Meeresspiegel im 21. Jahrhundert weiter ansteigen wird, ist jedoch so gut wie sicher. Denn selbst bei sehr niedrigen künftigen Treibhausgasemissionen ist ein Anstieg von etwa 30 bis 55 cm bis 2100 im Vergleich zu heute (1995–2014) zu erwarten (6). Sogar bei diesem vergleichsweise moderaten Meeresspiegelanstieg können Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste künftig deutlich häufiger auftreten und entsprechend höher ausfallen. Eine vergleichbare Sturmflut wie am 2. Januar 2019 würde dann in Warnemünde statistisch etwa alle vier Jahre auftreten können (5, 19). Bei weiterhin ungebremstem Treibhausgasausstoß ist bis 2100 ein globaler mittlerer



Langfristig werden auch Ostseesturmfluten höher auflaufen und häufiger auftreten. Bei weiterhin ungebremstem Treibhausgasausstoß könnte Ende des Jahrhunderts eine schwere Sturmflut wie z.B. am 2. Januar 2019 in Warnemünde zweimal pro Jahr auftreten.



Neue Szenarien des Weltklimarates IPCC lassen bis 2150 selbst bei sehr geringen Treibhausgasemissionen einen Anstieg von etwa 40 bis 90 cm erwarten (6).

Meeresspiegelanstieg von etwa 60 bis 100 cm im Vergleich zu heute (1995–2014) zu erwarten (6). Eine schwere Sturmflut wie am 2. Januar 2019 könnte dann beispielsweise in Warnemünde statistisch sogar etwa zweimal pro Jahr auftreten (5, 19). Abgesehen von diesen Meeresspiegelszenarien des UN-Weltklimarates IPCC und deren Bedeutung für die deutsche Ostseeküste kann aufgrund der großen Ungewissheit bezüglich der Eisschildprozesse auch ein höherer Anstieg des globalen mittleren Meeresspiegels von 200 cm bis 2100 nicht ausgeschlossen werden (5, 6). Zudem wird der globale mittlere Meeresspiegel auch nach 2100 weiter ansteigen. Neue Szenarien des Weltklimarates IPCC lassen bis 2150 selbst bei sehr geringen Treibhausgasemissionen einen Anstieg von etwa 40 bis 90 cm erwarten (6).

KÜSTENFORMEN UND KÜSTENSCHUTZ

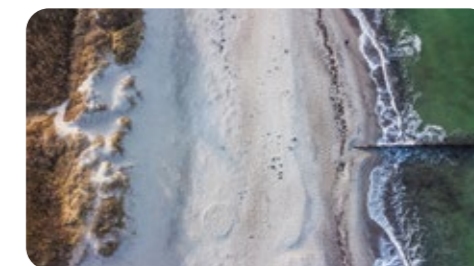


Schon heute verlagern sich die Steilküsten im Mittel 20 bis 40 cm pro Jahr landeinwärts. Tendenz: steigend.

Unsere Ostseeküste: Entstehung, Dynamik und Perspektiven

Die heutige Ostseeküste wurde größtenteils während der letzten Vereisungsphase durch das Inlandeis vorgeformt. Die südwärts vorstoßenden Gletscher verlagerten das Gesteinsmaterial aus der nördlichen Ostsee. Dies bewirkte in den folgenden Warmzeiten eine Ablagerung des Materials im Gebiet der südlichen Ostsee (7). Die heute stattfindenden Materialumlagerungen halten in Abhängigkeit von den Strömungsverhältnissen seit etwa 4000 Jahren mit dem Meeresspiegelanstieg Schritt. Generell sind sie auf einen Ausgleich der Küstenform ausgerichtet: Steilufer werden durch Materialabtragung (Erosion und Abrasion) zurückverlegt, (Halb-)Inseln werden durch den küstenparallelen Sedimenttransport und angrenzende Nehrungsbildung umgestaltet und Buchten durch Materialablagerungen (Sedimentation und Akkumulation) abgeschnürt. Die wechselnde Exposition der deutschen Ostseeküste zur Hauptangriffsrichtung des Seegangs führt zu unterschiedlichen Küstenformen entlang der Teilstrecken. So haben sich mit der nacheiszeitlichen Ostseeküstenentwicklung vier morphologische Küstentypen entwickelt: die Fördenküste von Ostjütland bis Kiel, die Großbuchtenküste von der Probstei bis zur Wismarer Bucht, die mecklenburgische Ausgleichsküste bis zum Fischland und die Boddenküste bis zur Odermündung. Als charakteristisches Merkmal der deutschen Ostseeküste dominiert der Wechsel von Steil- und Flachküsten (7). Sande und andere lockere Sedimente werden hier stark abgetragen. Vor allem an Küsten, die zur Hauptströmungsrichtung hin exponiert sind, ist die Erosion besonders stark ausgeprägt. An der deutschen Ostseeküste werden hauptsächlich die Steilküsten erodiert. Diese Steilufer umfassen hier etwa 30 – 40 % der Küstenlinie. Das im Meer gelöste Sediment wird entsprechend Korngröße und Gewicht sortiert. Je feiner und leichter das Material (z.B. Ton) ist, desto weiter wird es transportiert, während schwerere, gröbere Bestandteile (Sand und Kies) im ufernahen Bereich verbleiben und parallel zur Küste mit der Strömung transportiert werden, bis ein Teil an strömungsberuhigteren Stellen wieder abgelagert wird (15).

Insgesamt hat die deutsche Ostseeküste eine negative Sedimentbilanz. Es wird also bezogen auf ein Jahr mehr Material abgetragen als angelagert. Etwa 70 % der Flachküsten Schleswig-Holsteins und Mecklenburg-Vorpommerns werden abgetragen (negative Sedimentbilanz). Nur an 30 % der Ostseeküste in Deutschland liegt eine positive bzw. ausgeglichene Sedimentbilanz vor (7). Insgesamt wird ein Großteil des an der deutschen Ostseeküste abgetragenen Sediments aus dem deutschen



Die Sedimentversorgung an der deutschen Ostseeküste ist bereits heute unzureichend. Maßnahmen zur Küstensicherung verstärken die Abtragung an anderen Küstenabschnitten, da der notwendige Nachschub an Sediment ausbleibt.

Küstenraum hinausgetragen. Bei normalen meteorologischen und hydrologischen Bedingungen verursachen Brandung und Strömung bei mittleren Wasserständen fortlaufend zwar schleichende, über einen langen Zeitraum jedoch erhebliche Veränderungen. Bei Sturmfluten intensivieren sich die sedimentdynamischen Prozesse und die Energie des Seegangs wird kurzfristig landeinwärts verschoben. Im Mittel verlagern sich Steilküsten pro Jahr um etwa 20 bis 40 cm landeinwärts. Bei lang andauernden Sturmfluten ist die Erosion um ein Vielfaches größer und der Steiluferrückgang kann mehrere Meter betragen.



An den sandigen Küsten entlang der deutschen Ostseeküste würden ein beschleunigter Meeresspiegelanstieg und die dadurch zunehmenden hydrodynamischen Belastungen generell zu einer Verstärkung der Abtragungsprozesse und des Küstenrückganges führen.

Zusammenfassend befindet sich ein Großteil der deutschen Ostseeküste durch die negative Sedimentbilanz im Rückgang. Die Geschwindigkeit dieses Küstenrückgangs beträgt derzeit im Mittel etwa 35 m in 100 Jahren (7, 15). Die Küstenerosion wird auch künftig durch unterschiedliche Faktoren wie Meeresspiegelanstieg, Strömung, Wind und Seegang beeinflusst und kann sich je nach Entwicklung künftig signifikant erhöhen (7). Durch Stürme und Sturmfluten kann die Auswirkung dieser Faktoren auf die Ostseeküste verstärkt werden (3, 4). Mögliche Änderungen der Windrichtungen können Sande an anderen Stellen als bisher ablagern, so dass sich bestehende Erosions- und Akkumulationsmuster verändern. An den sandigen Küsten entlang der deutschen Ostseeküste würden ein beschleunigter Meeresspiegelanstieg und die dadurch zunehmenden hydrodynamischen Belastungen generell zu einer Verstärkung der Abtragungsprozesse und des Küstenrückgangs führen. Aber auch bei künftig gleichbleibender Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs ist davon auszugehen, dass Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste häufiger und intensiver werden, so dass sich die Rückgangsdynamik der Steilufer im Vergleich zu heute weiter verstärken wird. Generell verlagert sich die Küstenlinie durch den Meeresspiegelanstieg so lange landeinwärts, bis sie auf harte Barrieren wie Küstenschutzbauwerke oder Felsen stößt. Dabei wird der Sand abgetragen, wodurch die Strände schmaler oder komplett ausgeräumt werden. Zunehmende Wellenhöhen können Strandwälle seawärts verlagern. Außerdem können auch hohe Sturmfluten Sand seawärts bewegen. Höhere Wellen und Sturmfluten erhöhen zudem die Wahrscheinlichkeit, dass Küstendünen, Strandwälle und Küstenschutzbauwerke überspült oder durchbrochen werden (3, 4).

Aktueller Küstenschutz

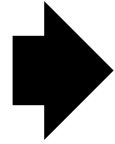
Küsten unterliegen einerseits dem Einfluss natürlicher Kräfte wie Strömungen, Sturmfluten, Wellen, und Wind. Andererseits stehen sie auch mit sozioökonomischen Faktoren in Wechselwirkung, die sich aus Wirtschafts-, Verkehrs-, Lebens- und Erholungsbedürfnissen ergeben. Ziel des Küstenschutzes ist der Schutz der Menschen, ihrer Sachwerte sowie der Infrastruktur vor meeresseitiger Zerstörung (9). An der schleswig-holsteinischen Ostseeküste wurden erste Deiche im 16. Jahrhundert errichtet. Weitere folgten im 18. und 19. Jahrhundert (9). In Mecklenburg-Vorpommern waren natürliche Dünen bis in das 19. Jahrhundert hinein das alleinige Schutzelement (14). Die küstenbaulichen Maßnahmen beschränkten sich hier hauptsächlich auf deren Sicherung und Schließung nach Durchbrüchen.

Das geringe Schutzniveau dieser ersten Küstenschutzmaßnahmen zeigte sich bei der sehr schweren Sturmflut im November 1872, die Auslöser der ersten staatlich organisierten Deichbauprogramme in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern war (9, 14).



Die wichtigsten natürlichen Sedimentlieferanten für die deutsche Ostseeküste sind abbrechende Steilküsten. Die Küstenschutzpläne sehen daher vor, Steilufersicherungen nur in Ausnahmefällen (z.B. an besiedelten Steilküsten) vorzunehmen, damit die Sedimentversorgung nicht unterbunden wird.

Grundsätzlich lassen sich die wasserbaulichen Maßnahmen des Küstenschutzes hinsichtlich ihrer angestrebten Ziele in **Küstensicherung** und **Küstenhochwasserschutz** unterscheiden.



KÜSTENSICHERUNG



Die Küstensicherung strebt eine Verlangsamung des erosionsbedingten Rückgangs der Küste an.

Die Küstensicherung strebt eine Verlangsamung des erosionsbedingten Rückgangs der Küste an. Um den Küstenrückgang zu verlangsamen, müssen Maßnahmen ergriffen werden, die den Energieeintrag durch Brandung und Strömung dämpfen, damit das Sediment langsamer abgetragen wird. Am wirksamsten sind solche Maßnahmen, wenn sie bereits im Bereich des beginnenden Energieeintrags durch die Brandung ansetzen (15). Hierzu werden meistens fest installierte Schutzvorrichtungen, z.B. Wellenbrecher und Bühnen, eingesetzt. Die Bühnen verhindern, dass bei starkem Wellengang Material von der Küste erodiert wird. Gleichzeitig wird durch sie der natürliche Sedimenttransport unterbunden, so dass andere Küstenabschnitte stärker erodieren, weil der Nachschub ausbleibt. Durch den Bau von Bühnen kann es also an anderer Stelle zu einem Mangel an Sediment und zu einem langsamen Verlust von Stränden und Schutzdünen kommen. Daher müssen gleichzeitig natürliche Sedimenttransportprozesse und sedimentbasierte Maßnahmen mit in die Küstenschutzplanungen einbezogen werden (9, 14).

Die wichtigsten natürlichen Sedimentlieferanten für die deutsche Ostseeküste sind abbrechende Steilküsten. Die Küstenschutzpläne sehen daher vor, Steilufer-sicherungen nur in Ausnahmefällen (z.B. an besiedelten Steilküsten) vorzunehmen, damit die Sedimentversorgung nicht unterbunden wird (9, 15). Dennoch ist die natürliche Materialversorgung aus Steilküstenabbrüchen bereits heute insgesamt unzureichend. In Mecklenburg-Vorpommern wird der Sedimentmangel deshalb zusätzlich durch die künstliche Zufuhr von Sedimentmaterial kompensiert. Dies erfolgt fast ausschließlich durch das Aufspülen marin gewonnener Sande. Der Sand wird somit nicht dem ufer-nahen Sedimentkreislauf entzogen, sondern dem System zusätzlich zugeführt. An der schleswig-holsteinischen Ostseeküste sind Sandaufspülungen nach derzeitigem Kenntnisstand wegen fehlender Verfügbarkeit von geeigneten Sedimenten in der Ostsee vor Schleswig-Holstein langfristig nicht realisierbar. Steilufer sollen deshalb von Sicherungsbauwerken freigehalten werden, sofern keine Siedlungen, wichtige Infrastrukturanlagen oder hohe Sachwerte durch irreversiblen Küstenrückgang und Erosion gefährdet sind.

Der Küstenhochwasserschutz zielt darauf ab, Überflutungen durch hohe Wasserstände zu vermeiden. Dies wird durch fest installierte Bauwerke wie Deiche, Ufermauern und Sperrwerke angestrebt. Dünen (natürliche oder künstliche) können zusätzlichen Schutz bieten und als physische Barriere gegen Überschwemmungen in tiefer gelegenen Gebieten dienen. Im Jahr 2007 wurde vom Europäischen Parlament und vom Rat der Europäischen Union eine Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken (HWRL) verabschiedet. Ziel der Richtlinie ist ein Rahmen zur Verringerung der hochwasserbedingten nachteiligen Folgen für die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten in der Gemeinschaft (9). Zur Umsetzung der Vorgaben der europäischen Hochwasserrisiko-management-Richtlinie haben Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern einen neuen Grundsatz für die Bemessung von Küstenschutzanlagen an der deutschen Ostseeküste eingeführt. In diesem Zusammenhang wurden die Hochwasserrisikogebiete an der Ostseeküste neu ermittelt. Bis dahin wurden sie auf Basis des Sturmflutwasserstandes vom 12./13. November 1872 ermittelt. Dieser Wasserstand hat ein Wiederkehrintervall von 3400 Jahren (11). Nun erfolgt die Ermittlung der Risikogebiete auf der Grundlage eines niedrigeren Wasserstandes, der statistisch alle 200 Jahre (HW200) eintritt. Damit werden Küstenschutzanlagen nun so geplant, dass sie nur noch vor Sturmfluten mit einem statistischen Wiederkehrintervall von 200 Jahren schützen. Der künftige Meeresspiegelanstieg wird mit einem Klimazuschlag von 50 cm für die nächsten 100 Jahre berücksichtigt (9, 14).



Die Ermittlung der Hochwasserrisikogebiete erfolgt heute auf der Grundlage eines niedrigeren Wasserstandes als vor Verabschiedung der EU-Hochwasserrichtlinie in 2007. Der künftige Meeresspiegelanstieg wird mit einem Klimazuschlag von 50 cm für die nächsten 100 Jahre berücksichtigt.

KÜSTENHOCHWASSERSCHUTZ



Der Küstenhochwasserschutz zielt darauf ab, Überflutungen durch hohe Wasserstände zu vermeiden. Dies wird durch festinstallierte Bauwerke angestrebt.

KÜNFTIGE ENTWICKLUNG DER OSTSEEKÜSTE



Starre Küstenhochwasserschutzmaßnahmen werden künftig stärker belastet. Küstenabschnitte, die heute noch stabil sind, werden ebenfalls erodieren und zurückweichen.

Ohne ehrgeizigere Anpassungsbemühungen werden laut Weltklimarat IPCC Erosion, Landverluste und Überschwemmungen im Laufe dieses Jahrhunderts unter allen Treibhausgasemissionsszenarien deutlich zunehmen. Jährliche Küstenhochwasserschäden werden weltweit bis 2100 gegenüber heute um zwei bis drei Größenordnungen ansteigen (5).

Auch an der deutschen Ostseeküste werden der Meeresspiegelanstieg und die dadurch zunehmenden hydrodynamischen Belastungen generell zu einer Verstärkung der Abtragungsprozesse führen und den Küsterückgang beschleunigen. Küstenabschnitte, die heute noch stabil sind oder sogar anwachsen, werden ebenfalls erodieren und zurückweichen (14). Auch Küstenhochwasserschutzmaßnahmen werden künftig stärker belastet. Beispielsweise können Sturmfluten, die heute statistisch alle 200 Jahre auftreten und derzeit als Bemessungsgrundlage dienen, bei weiterhin ungebremstem Treibhausgasausstoß Ende des 21. Jahrhunderts etwa alle zwei Jahre auftreten (19). Eine derartige Häufigkeitszunahme würde den aktuellen Küstenschutz deutlich stärker beanspruchen. Zudem würden 200-jährige Sturmfluten bis 2100 etwa um den Betrag des bis dahin eingetretenen Meeresspiegelanstiegs höher auflaufen und sich entsprechend intensivieren (19). Ziel der Landesregierung Schleswig-Holsteins ist es daher, Küstenregionen so zu gestalten, dass sie langfristig an die Folgen des Klimawandels angepasst sind, zum einen durch nachhaltige Küstenschutzmaßnahmen und zum anderen durch klimaresiliente und -angepasste Nutzungsformen. Dies ist auch Voraussetzung für die Ausrichtung des Küstenschutzes in Mecklenburg-Vorpommern, der die sichere Besiedlung und Nutzung der gefährdeten Küstenbereiche erhalten soll. Der Weltklimarat IPCC dokumentiert in seinem Sonderbericht 2019 verschiedene Maßnahmen zur Reaktion auf steigende, mittlere und extreme Wasserstände. Neben den wasserbaulichen Maßnahmen zur Küstensicherung und zum Küstenhochwasserschutz werden hier auch raumplanerische Maßnahmen dokumentiert, die langfristige Optionen für den Umgang mit steigenden Wasserständen fokussieren, wie z.B. der Rückzug von der Küste (5).

Fest installierte Schutzvorrichtungen

Fest installierte Schutzvorrichtungen wie Deiche, Ufermauern oder Steinwälle schützen wirksam vor Küstenhochwasser und das Sicherheitsniveau ist planbar und vorhersagbar. Sie reduzieren bzw. unterbinden zudem eine weitere landwärtige Verlagerung von Strand und Kliff. Sie bringen aber auch Nachteile mit sich: Vor dem Bauwerk verschlechtert sich die Küstenstruktur zunehmend.

Das Sediment wird weiter und ggf. verstärkt abgetragen, dadurch vertieft sich der Meeresboden und die Wellen laufen ungebremst auf die Küste auf. Dort führen sie zu einer zunehmenden Belastung des Bauwerks. Zum Erhalt der Anlagen werden daher technisch immer aufwendigere und unökonomischere Maßnahmen erforderlich. Eine durch starre Küstenschutzbauwerke erzwungene Küstenstabilisierung kann somit an sandigen Rückgangsküsten die küstenverändernden Prozesse nicht verhindern und ohne erhebliche, langwierige Aufwendungen auch nicht dauerhaft unterbinden. Sie ist somit nur zeitlich befristet möglich und zur dauerhaften Problemlösung prinzipiell ungeeignet (15).



Fest installierte Schutzvorrichtungen können die küstenverändernden Prozesse nicht verhindern und die Küstenstruktur vor dem Bauwerk sogar verschlechtern.

Ökosystembasierte Maßnahmen

Ökosystembasierte Maßnahmen zielen darauf ab, den Eingriff in die Natur zu minimieren und die aus dem Eingriff resultierenden negativen Folgen zu verringern. Sie nutzen spezifische Elemente von Küstenökosystemen. Beispielsweise wird dem System zusätzlich Sediment zugeführt oder es werden Seegraswiesen und andere Küstenvegetation als Puffer eingesetzt, der die Wellenenergie abschwächt. Somit werden Erosionsraten reduziert und die Ablagerung von Sediment als Beitrag zur Küstensicherung begünstigt. In bestimmtem Maße können sie sich an die mit dem Klimawandel einhergehenden Veränderungen anpassen, wobei diese Fähigkeit Grenzen hat.

Der **sedimentbasierte Küstenschutz** bietet hohe Flexibilität, auf künftige Klimafolgen zu reagieren. Strände können erhalten werden und somit den Tourismus sichern und der Erholung dienen. Grundsätzlich werden diese Maßnahmen aber durch die mangelnde Verfügbarkeit von Sediment an der deutschen Ostseeküste limitiert. Dort, wo heute Sediment abgebaut wird, geht der Abbau ggf. mit der Zerstörung von Lebensraum einher (5). Die Wirkdauer von Aufspülungen ist zudem zeitlich begrenzt. Langfristige Abtragungsprozesse und kurzfristig auftretende Sturmflutereignisse führen auch an aufgespülten Küstenabschnitten zu einer Aufzehrung des aufgespülten Sanddepots. Erneute Aufspülungen werden erforderlich. Der zeitliche Abstand zwischen zwei Aufspülungen hängt dabei vom Umfang der Materialverluste ab (15). Dieser wird sich künftig voraussichtlich aufgrund des Meeresspiegelanstiegs und der zunehmenden Sturmfluthäufigkeit erhöhen.

Seegraswiesen tragen nicht nur zum Küstenschutz bei, sondern fördern vor allem auch die Biodiversität und leisten durch Kohlenstoffspeicherung einen Beitrag zum Klimaschutz. Seegraswiesen können allerdings nicht überall die Küsten wirksam schützen. Optimale Standortbedingungen liegen an flachen Küsten bei geringer Wellenenergie vor (14), wie sie in vielen Bereichen der deutschen Ostseeküste anzutreffen sind. Weltweit stehen Seegraswiesen durch den Klimawandel bereits heute unter Stress, insbesondere dann, wenn maximale Temperaturen schon an den Grenzwert ihrer physiologischen Belastbarkeit heranreichen. Hitzewellen können zu großräumigem Seegrassterben führen. Es wird zwar erwartet, dass die Ozeanversauerung die Produktion von Seegras durch den Düngeeffekt von CO₂ erhöht. Weltweit wird der positive Einfluss auf diese Ökosysteme jedoch nicht ausreichen, um die negativen Einflüsse des Klimawandels und den damit verbundenen Rückgang ihrer Ausdehnung zu kompensieren (5). Zudem verstärken hohe Nährstoffeinträge und Bautätigkeiten den negativen Einfluss auf Seegraswiesen.

Das **KÜNO-Projekt SeaStore** untersucht in diesem Zusammenhang, welche Faktoren eine Wiederansiedlung von Seegras an der deutschen Ostseeküste begünstigen und welche Standorte sich dafür besonders gut eignen. Es verfolgt dabei das Ziel, die Wiederansiedlung von Seegras zu optimieren und die Erfolgsrate von Wiederansiedlungsaktivitäten zu steigern. Davon und von der damit einhergehenden ökonomischen Bewertung sollen Entscheidungsprozesse für den Schutz und die aktive Wiederherstellung dieser wichtigen Lebensräume und ihrer Ökosystemleistungen profitieren (17).

www.deutsche-kuestenforschung.de/seastore.html



Sandaufspülungen gelten als effizienteste Methode, dem Küstenrückgang entgegenzuwirken. Aber die Verfügbarkeit von Sedimenten an der deutschen Ostsee ist limitiert und im Zuge des Meeresspiegelanstiegs werden erneute Aufspülungen immer häufiger erforderlich.

Zusammenfassend ist das Potential der Küstenschutzmaßnahmen davon abhängig, wie hoch die Belastung der Küste durch den Meeresspiegelanstieg, durch Wellen und Sturmfluten heute ist und zukünftig sein wird. Entscheidend ist vor allem aber auch, wie viel Raum für den Küstenschutz zur Verfügung steht (13).



Seegraswiesen schwächen die Wellenenergie ab. Somit werden Erosionsraten reduziert und die Ablagerung von Sediment als Beitrag zur Küstensicherung begünstigt.



Gebiete, die gezielt der Überflutung preisgegeben werden, können anderenorts maximale Wasserstände reduzieren.

Landes- und raumplanerische Optionen für den Umgang mit steigenden Wasserständen

Neben den wasserbaulichen Küstenschutzmaßnahmen kann Raumplanung so ausgelegt werden, dass ein Versagen des Küstenschutzes nicht zu Verlusten und großen Schäden an Infrastruktur, Bauten oder Ökosystemen führt, sondern eine schnelle Erholung oder Wiederherstellung möglich ist. Das kann durch die **Hochwassersicherung der Siedlungsstrukturen** erfolgen (5). Hier kommen Maßnahmen von unterschiedlicher Wirkdauer in Betracht. Während beispielsweise höher gelegte Häuser, Straßen und Schienen bis zu einem bestimmten Betrag des Meeresspiegelanstiegs vor Schäden schützen, würde durch den Bau schwimmender Häuser zeitlich mehr Flexibilität erreicht werden (10).

Eine weitere Möglichkeit, dem steigenden Meeresspiegel und häufigeren Sturmfluten zu begegnen, ist die Schaffung von **Poldern**. Dabei handelt es sich um Gebiete, die gezielt der Überflutung preisgegeben werden um anderenorts maximale Wasserstände zu reduzieren. Zudem können sie als Naherholungs- oder Naturschutzgebiete fungieren. Durch diesen gesellschaftlichen und ökologischen Mehrwert gelten sie als No-Regret Maßnahmen, da sie unabhängig davon, welches Klimaszenario eintritt, einen Nutzen haben und keine irreparablen Schäden entstehen (10).

Noch weitreichender ist die **Rückverlegung von Küstenschutzlinien** bzw. der Rückzug von der Küste. Bisherige Schutzmaßnahmen, wie Deiche oder Ufermauern, werden dabei zurückgebaut oder aufgegeben, um die Überflutung vormals gesicherter Gebiete zuzulassen. Auf den neu gewonnenen Überflutungsflächen können sich Küstenüberflutungsmoore ausbreiten. Diese sollen für eine effektive Abschwächung der Wellenenergie sorgen und so die Erosion reduzieren und Sediment zurückhalten. Optimaler Weise werden so Küstenerosion und die Gefahr von Überflutung durch Hochwasserereignisse vermindert. Bei einer regelmäßigen Überflutung mit einhergehender Sedimentation kann das vormals geschützte Gebiet in der Höhe mitwachsen, passt sich so natürlicherweise an den steigenden Meeresspiegel an und bildet einen natürlichen Puffer (1).



Der Bau schwimmender Häuser würde zu mehr zeitlicher Flexibilität führen.

Bei allen Maßnahmen sind die geographischen Gegebenheiten und die sozioökonomischen Rahmendbedingungen hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile zu berücksichtigen. In dem vom BMBF finanzierten KÜNO-Projekt **ECAS-Baltic** werden Küstenschutz- und Anpassungsstrategien unter besonderer Berücksichtigung naturbasierter Küstenschutzmaßnahmen entwickelt. Dabei werden beispielsweise Aspekte wie die künftige Verfügbarkeit von Sand und die Akzeptanz von Rückzugsmaßnahmen untersucht. ECAS-Baltic wird mit Hilfe von Modellen und empirischen Befragungen Entscheidungshilfen zu naturbasierten Küstenschutzmaßnahmen entwickeln, damit Entscheidungsträger ihre Entscheidungen auf Grundlage von robusten, wissenschaftlichen Erkenntnissen treffen können (17).

www.deutsche-kuestenforschung.de/ecas-baltic.html

QUELLENVERZEICHNIS

1) Bertule, M., Appelquist, L. R., Spensley, J., Trærup, S. L. M. & Naswa, P. (2018): Climate change adaptation technologies for water: A practitioner's guide to adaptation technologies for increased water sector resilience. Managed Coastal Realignment. UNEP DTU Partnership.

2) DKK/KDM (Hrsg.) (2019): Zukunft der Meeresspiegel – Fakten und Hintergründe aus der Forschung. S. 31.

3) IPCC (2014): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1132.

4) IPCC (2014): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 688.

5) IPCC (2019): IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintonbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)].

6) IPCC (2021): Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In press.

7) KFKI (2003): Die Wasserstände an der Ostseeküste – Entwicklung – Sturmfluten – Klimawandel. Baerens, C., Baudler, H., Beckmann, B.-J., Birr, H.-D., Dick, S., Hofstede, J., Kleine, E., Lampe, R., Lemke, W., Meinke, I., Meyer, M., Müller, R., Müller-Navarra, S., Schmager, G., Schwarzer, K., Zenz, T.; koordiniert von Hupfer, P., Harff, P., Sterr, H., Stigge, H.-J.; Heft 66.

8) Liu, X., Meinke, I., and Weisse, R. (2021): Still normal? Contextualizing real-time data with long-term statistics to monitor anomalies and systematic changes in storm surge activity – Introduction of a prototype web tool storm surge monitor for the German coasts, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss. [preprint], <https://doi.org/10.5194/nhess-2021-75>, in review.

9) Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein (2020): Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein – Fortschreibung 2022.

10) maribus GmbH (2017): World Ocean Review 5 – Die Küsten – ein wertvoller Lebensraum unter Druck.

11) Mudersbach, C., und Jensen, J. (2009): Statistische Extremwertanalyse von Wasserständen an der deutschen Ostseeküste, MUSE-Ostsee, Abschlussbericht 1.4., S. 100.

12) Ondiviela, B., Losada, I., Lara, J., Maza, M., Galván, C., Bouma, T., van Belzen, J. (2014): The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate. Coastal Engineering 87 (2014), 158–168.

13) Schoonees, T., Gijón Mancheño, A., Scheres, B., Bouma, T. J., Silva, R., Schlurmann, T., Schüttrumpf H. (2019): Hard Structures for Coastal Protection, Towards Greener Designs. Estuaries and Coasts 42, 1709–1729 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00551-z>

14) Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg (2009): Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern, S. 102. www.stalu-mv.de/mm/Themen/Kuestenschutz/Regelwerk-Kuestenschutz-Mecklenburg-Vorpommern/, (Stand 28.09.2021)

15) Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg (2013): Schutz von sandigen Rückgangsküsten. www.stalu-mv.de/mm/Themen/Kuestenschutz/Schutz-von-sandigen-Rueckgangskuesten/, (Stand 28.09.2021)

16) Weisse, R., Meinke, I. (2016): Meeresspiegelanstieg, Gezeiten, Sturmfluten und Seegang. In: G. Brasseur, D. Jacob, S. Schuck-Zöllner (Hrsg.), Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. ISBN: 978-3-662-50396-6 (Print), 978-3-662-50397-3 (E-Book).

Websites:

17) <https://deutsche-kuestenforschung.de>

18) <https://kuestenschutzbedarf.de>

19) <https://meeresspiegel-monitor.de>

20) <https://sturmflut-monitor.de>

BILDNACHWEISE

© von Bubo (S. 15), © S. Feistel/IOW (S. 7, 9), © Torsten Fischer (S. 19),

© Michael Fritz (S. 23), © Ichwarsnur (S. 17), © C. Löser (S. 7),

© Insa Meinke (S. 6), © Matthias Mossbauer (S. 6),

© Pixabay (Titel, S. 2, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 20, 21),

© Marcel Sarközi/Fotolia (S. 13), © Rieke Scholz (S. 18)



Diese Broschüre ist im Rahmen des Forschungsverbundes „Küstenmeerforschung Nordsee-Ostsee“ KÜNO III entstanden. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert die Forschung in diesem Verbund seit 2013 im Rahmen der Strategie „Forschung für Nachhaltigkeit“ (Fona).

Das Norddeutsche Küsten- und Klimabüro am Helmholtz-Zentrum Hereon macht Ergebnisse aus der Küsten- und Klimaforschung für Norddeutschland verfügbar und für die Praxis anwendbar. Hierzu stehen wir der Norddeutschen Öffentlichkeit als langfristige Kontaktstelle zur Verfügung. Als Projektpartner im KÜNO-Dachprojekt CoTrans bündeln wir projektübergreifend praxisrelevante Forschungsergebnisse.

Weitere Informationen über das KÜNO Dachprojekt CoTrans und den Forschungsverbund KÜNO III finden Sie unter: www.io-warnemuende.de/projekt/260/cotrans.html und www.deutsche-kuestenforschung.de

IMPRESSUM

Autorin und Herausgeberin

Dr. Insa Meinke
Norddeutsches Küsten- und Klimabüro
Helmholtz-Zentrum Hereon
Max-Planck-Str. 1
21502 Geesthacht
Telefon: 04152 87 1868
insa.meinke@hereon.de
www.kuesten-klimabuero.de

Review

Dr. Maike Paul
Leibniz Universität Hannover, Ludwig-Franzius-Institut
für Wasserbau, Ästuar- und Küsteningenieurwesen
für das KÜNO-Projekt SeaStore

Geronimo Gussmann
Global Climate Forum, Adaptation and Social Learning
für das KÜNO-Projekt ECAS-Baltic

Gestaltung

Michael Fritz Kommunikationsdesign, Hamburg

Auflage

1000

Gedruckt auf 100 Prozent Recyclingpapier
Klimaneutral



Geesthacht, Oktober 2021

ISBN 978-3-940923-10-3

