

# Strand und Dünen von St. Peter-Ording

## Entwicklung und Perspektiven für Naturschutz und Küstenschutz

Forschungsergebnisse des Projekts  
„Sandküste St. Peter-Ording“

# Strand und Dünen von St. Peter-Ording

## Entwicklung und Perspektiven für Naturschutz und Küstenschutz

### Autor:innen

Jannes Fröhlich & Anja Piening (WWF Deutschland), Kapitel 1, 2 & 5  
Prof. Dr. habil. Christian Winter, Arne Knies & Clayton Soares (CAU Kiel), Kapitel 3  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Nils Goseberg, Dr.-Ing. Oliver Lojek & Björn Mehrrens (TU Braunschweig), Kapitel 4

### Erstellt im Rahmen des Projektes „Sandküste St. Peter-Ording“

Das Projekt „Sandküste St. Peter-Ording“ (2020–2026) setzt sich für den Erhalt der Küstenlebensräume von St. Peter-Ording ein. Ziel ist es, den Zustand dieses Naturraums durch Naturschutzmaßnahmen zu verbessern und günstige Voraussetzungen für eine naturbasierte Anpassung der Küste an den zukünftig beschleunigten Meeresspiegelanstieg zu schaffen.

### Projektpartner

Das Verbundprojekt wird durch den WWF Deutschland, die Schutzstation Wattenmeer e.V., den Deich- und Hauptsielverband (DHSV) Eiderstedt, die Technische Universität Braunschweig und die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel gemeinsam umgesetzt.

Das Projekt „Sandküste St. Peter-Ording“ wird gefördert im Bundesprogramm Biologische Vielfalt durch das Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Weitere finanzielle Förderung erhält das Projekt durch die Gemeinde St. Peter-Ording, das Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur (MEKUN) des Landes Schleswig-Holstein sowie die VR Bank Westküste.

Zusätzlich unterstützen der Kreis Nordfriesland mit seiner Unteren Naturschutzbehörde, das Landesamt für Umwelt (LfU) des Landes Schleswig-Holstein (LLUR) sowie der Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (LKN.SH) das Projekt inhaltlich.

Diese Veröffentlichung gibt die Auffassung und Meinung der Zuwendungsempfänger des Bundesprogramms Biologische Vielfalt wieder und muss nicht mit der Auffassung des Zuwendungsgebers übereinstimmen.

## Gliederung

Zusammenfassung	4
Summary	4
1. Einführung	6
2. Ausgangslage und Herausforderungen	10
3. Entwicklung der Sandbank und des Küstenvorfeldes	14
4. Naturnaher Küstenschutz: Die besondere Düne „Maleens Knoll“	22
5. Fazit: St. Peter-Ordings Natur schützen und an den Meeresspiegelanstieg anpassen	34
Literaturquellen	38

# Zusammenfassung

Die Küste von St. Peter-Ording ist landschaftlich einzigartig, ökologisch wertvoll und ein beliebtes Reiseziel. Zwischen Watt, Strand, Dünen und Salzwiesen zeigt sich das enge Zusammenspiel von Natur, Meer und Mensch. Doch Klimawandel, steigender Meeresspiegel und intensive Nutzung gefährden diesen Lebensraum zunehmend.

Im Projekt „Sandküste“ untersuchten Wissenschaftler der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) und der Technischen Universität Braunschweig in Zusammenarbeit mit dem Projektteam im Zeitraum von 2020 bis 2024, wie sich Strand und Dünen verändern und wie wichtig sie für einen nachhaltigen Küstenschutz sind.

Die CAU analysierte die morphologische Entwicklung des Strandes und des Nordfriesischen Wattenmeers anhand historischer Daten und Modellierungen. Dabei zeigten sich eine deutliche Veränderung der Küstenlinie sowie starke Erosion im zentralen Bereich – verursacht durch das komplexe Zusammenspiel von Geologie, Wind, Wellen und Gezeiten.

Die TU Braunschweig erforschte die Schutzfunktion der Dünen, insbesondere des außergewöhnlichen Dünensystems „Maleens Knoll“, das anstelle eines Deiches die Küstenschutzfunktion übernimmt. Experimente im Wellenkanal und Computersimulationen zeigten, wie widerstandsfähig diese natürlichen Strukturen gegenüber Sturmfluten und Meeresspiegelanstieg sind und wie sie bei Bedarf naturnah verstärkt werden könnten.

Die Ergebnisse belegen: Natürliche Küstenelemente, wie der Strand und die Dünen, können wichtige Partner im Küstenschutz sein, wenn sie genügend Raum zur Entwicklung erhalten. Das Projekt „Sandküste“ liefert somit wichtige Grundlagen, um St. Peter-Ording und seine einzigartige Küstenlandschaft langfristig zu erhalten.

# Summary

The coast of St. Peter-Ording is a landscape of unique beauty, ecological value, and a popular travel destination. Between mudflats, beach, dunes, and salt marshes the close interplay of nature, sea, and human activity becomes visible. However, climate change, rising sea levels, and intensive use increasingly threaten this fragile environment.

In the project “Sand Coast”, scientists from Kiel University (CAU) and TU Braunschweig, in collaboration with the project team, studied from 2020 to 2024, how the beach and dunes develop and how important they are for sustainable coastal protection.

CAU analyzed the morphological evolution of the beach and the coastal environment of the North Frisian Wadden Sea using a century of shoreline records and process-based modeling. The historical data show the beach dynamics over the last century. Recent surveys indicate high erosion along the central sector – driven by complex tide- and wave-generated sediment-transport patterns and the geological built-up of the beach system.

TU Braunschweig investigated the protective function of the dunes, especially the extraordinary dune system “Maleens Knoll”, which serves as a natural coastal defense instead of a dike. Experiments in the wave flume and computer simulations demonstrated how resilient these natural structures are to storm surges and sea-level rise, and how they can be strengthened in an ecologically friendly way, if necessary.

The findings show that natural coastal elements may well act as partners in coastal protection – provided they have enough space to evolve. The “Sand Coast” project thus provides an important foundation for preserving St. Peter-Ording and its unique coastal landscape in the long term.



# 1. Einführung

Die Küstenlandschaft von St. Peter-Ording ist einzigartig an der schleswig-holsteinischen Festlandküste. Am westlichen Ende der Halbinsel Eiderstedt befindet sich dieser herausragende Naturraum im und am Wattenmeer der Nordseeküste. Im Schutz des weitläufigen Strandes mit seinen angrenzenden Wattflächen und einer jüngeren Dünenkette liegen ausgedehnte, naturnahe Salzwiesen und Brackwasserbiotope. Hinter dem Deich bildet die ältere Dünenlandschaft mit dem Dünenwald das Schutzgebiet „Dünen St. Peter“.

Die Küste von St. Peter-Ording ist überwiegend Teil des Nationalparks Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer und gehört seit 2009 zum UNESCO-Weltkulturerbe. Das dänisch-deutsch-niederländische Wattenmeer ist das größte zusammenhängende Wattengebiet der Welt und besitzt in seiner Gesamtheit eine große internationale Bedeutung für den

Schutz der Vielfalt von Arten und Lebensräumen. Die **Natur von St. Peter-Ording** steht unter Druck: Klimawandel, zunehmender Tourismus und Meeresspiegelanstieg sowie der zukünftig noch weiter steigende Küstenschutzbedarf stellen den Ort vor große Herausforderungen. Ein nachhaltiges, naturverträgliches und zunehmend vorausschauendes Handeln und Planen ist daher besonders wichtig, um die unterschiedlichen Nutzungen zu steuern und mit der geschützten Natur in Einklang zu bringen (vgl. Winter 2018; Schoonees et al. 2019). Zum Erhalt der herausragenden Vielfalt an Arten und Lebensräumen sowie des möglichst ungestörten Ablaufs der Naturvorgänge im Nationalpark werden auch weiterhin ein gut abgestimmtes, naturschonendes Nutzungskonzept (Gemeinde St. Peter-Ording 2018: Strandentwicklungskonzept) und eine effektive Besucherlenkung von großer Bedeutung sein (Weber et al. 2023).

Der Klimawandel und die Folgen des beschleunigten Meeresspiegelanstiegs stellen langfristig die größte Gefahr für den Erhalt der Küstennatur dar. Diese den westlichen Winden und Wellen stark exponierte Küstenlandschaft ist den Sturmfluten und Wellen direkt ausgesetzt. Für einen dauerhaften Schutz müssen mögliche Auswirkungen frühzeitig verstanden und geeignete Anpassungsmaßnahmen entwickelt werden. Dies gilt besonders für die aktuell erodierenden Strandabschnitte sowie die Dünen von St. Peter-Ording, da sie wichtige natürliche Puffer vor Sturmfluten sind und somit eine natürliche Schutzfunktion erfüllen.

Die vorgelagerten Ökosysteme – Strand, Dünen und Salzwiesen – schützen das Hinterland vor Überflutungen (Hofstede 1997). Sie erhöhen die Widerstandsfähigkeit gegenüber Sturmfluten und damit auch die Sicherheit für die Menschen. Als natürliche Barriere reduzieren diese Küstenelemente die Wellenenergie während Sturmfluten und damit die hydrodynamische Belastung von dahinter liegenden Küstenschutzanlagen und tragen so zu einem

naturbasierten Küstenschutz bei (WWF 2015). In einem kleinen Küstenabschnitt im Bereich der Düne „Maleens Knoll“ schützen natürliche hohe Dünen die Küste. Dies ist an der deutschen Festlandküste einmalig, da sie sonst fast durchgängig von einer festen Deichlinie geschützt wird.

Die Einzigartigkeit des Ökosystems, die besondere Situation und die mittel- und langfristige Bedrohung durch die Folgen des zukünftig beschleunigten Meeresspiegelanstiegs waren die Gründe für die Forschung im Projekt „Sandküste“. Im Rahmen des Projekts untersuchten zwischen 2020 und 2024 Forschende der Universität Kiel und der Technischen Universität Braunschweig die vergangenen und zukünftigen Veränderungen des Strandes und der Dünen, ihre Stabilität und Schutzwirkung sowie naturnahe Küstenschutzmaßnahmen für St. Peter-Ording (vgl. Winter et al. 2025). Dabei ging es u. a. um folgende Fragen:



## Forschungsfragen

- Wie haben sich der **Strand und die Dünen** in der Vergangenheit **entwickelt**?
- Wie könnte sich der **Strand in Zukunft** wandeln?
- **Wie gut schützt** die Düne „**Maleens Knoll**“ das Hinterland vor Sturmfluten?
- Wie könnte, sofern erforderlich, mittelfristig der **Schutz vor Sturmfluten** (im Bereich „Maleens Knoll“) **naturnah verbessert** werden?

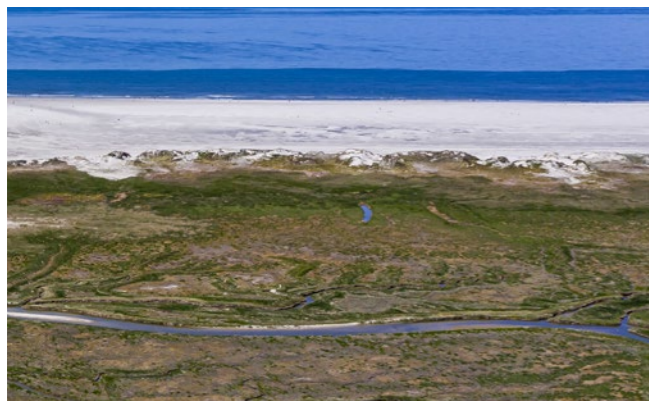


## 2. Ausgangslage und Herausforderungen

Zur Einordnung der nachfolgend vorgestellten Forschungsergebnisse werden die besonderen Merkmale der Küstenlandschaft aus dem „Naturbericht“ des Projekts „Sandküste“ (Weber et al. 2023) und weiteren Quellen wiedergegeben und zusammengefasst.

### Der Strand

Der Strand ist einer der Hauptgründe für die Beliebtheit von St. Peter-Ording. Wie langjährige Ortskundige wissen, unterliegt er kontinuierlichen Veränderungen. Im Jahr 1925 war die große Sandbank noch ein von Wasser umgebener Außensand, zu dem Badegäste mit Booten übersetzen mussten (Christians 1925). Erst in den folgenden Jahrzehnten „verschmolz“ dieser mit dem Festland, wodurch ein ungehinderter Zugang für die Gäste möglich wurde. Der große Sand (ugs.: Sandbank) erstreckt sich von der Tümlauer Bucht im Norden bis zur Südspitze am großen Priel auf Höhe des Böhler Leuchtturms. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts verband sich ein weiterer Außensand und erweiterte den Strand zu dem breiten und bekannten Erlebnisort und Ausflugsziel für Sportler:innen, Gäste und Naturliebhaber:innen.



### Die Vordünen

Am östlichen, landeinwärts gelegenen Rand des Strandes bildete sich mit den Vordünen seit den 1970er-Jahren ein für die Festlandküste besonderer Lebensraum. Aus ursprünglich kleinen Sandanwehungen (Primärdünen) im Windschatten von Pflanzen oder Muschelschalen entstanden im Laufe der Zeit geschlossene Weißdünen: die Vordünen. Bis Ende der 1980er-Jahre waren diese bereits auf eine Höhe von vier bis fünf Metern angewachsen. 2005 erreichten sie sogar eine Höhe von bis zu elf Metern. Seitdem stagniert zwar das Wachstum der Vordünen, allerdings hat sich zwischenzeitlich der Dünenfuß stark verbreitert (Mehrtens et al. 2023). Heutzutage verläuft die Vordünenkette von der Tümlauer Bucht bis zum Hochsichtsand und umfasst eine Fläche von 81 Hektar.



## Meeresspiegelanstieg und Küstenrückgang

Die langfristig größte Gefahr für die Menschen und die Natur sind der Meeresspiegelanstieg und der damit verbundene Küstenrückgang. Gegenwärtig erodiert der Strand im Bereich des Ortsteils Ordning jährlich um etwa acht Meter. Es wird erwartet, dass sich der Anstieg des Meeresspiegels fortsetzt und beschleunigt. In der Forschung im Projekt „Sandküste“ wurde ein Anstieg des Meeresspiegels von bis zu 1,2 Metern im Jahr 2100 angenommen (siehe Abschnitt 4.). Aufgrund dessen könnten der Strand und die Vordünen sowie die dahinter liegenden Salzwiesen mittelfristig kleiner werden und langfristig verschwinden.



## Natürlicher Küstenschutz

Der Strand, die Vordünen und die Salzwiesen sind für den Küstenschutz wichtig. Bei Sturmfluten können sie die Energie der auflaufenden Wellen reduzieren und zehren durch die Interaktion zwischen Wellen und Vegetation Energie; in günstigen Fällen brechen die Wellen bereits frühzeitig durch eine Verringerung der Wassertiefe. Dadurch können hinter den Dünen liegende Küstenschutzbauwerke wie Deiche weniger beansprucht und ihr Schutz verbessert werden. Ein weiterer Vorteil: Im Gegensatz zu starren Küstenschutzbauwerken, wie Deichen, können sich Dünen nach sturmflutbedingten Abbrüchen durch neue Sandanwehungen regenerieren und bei ausreichender Sedimentzufuhr wiederaufwachsen. Bei einem Verlust dieser Lebensräume und ihrer wellenbrechenden Wirkung würde auch der Küstenschutzbedarf weiter ansteigen.



## Schützenswerte Lebensräume

Strand, Dünen und Salzwiesen sind ein schützenswerter und sensibler Naturraum und daher Teil des UNESCO-Weltnaturerbes und des Nationalparks Wattenmeer. Die binnendeichs gelegenen Dünenflächen stehen als Fauna-Flora-Habitat-Gebiet (FFH-Gebiet) „Dünen St. Peter“ unter Schutz (MELUR 2016). Zahlreiche teils stark bedrohte seltene Tier-, Pflanzen- und Pilzarten sind hier heimisch. Der Strand, die Dünen und die Salzwiesen sind nicht nur ein wichtiger Lebensraum für speziell angepasste Pflanzenarten sowie Brut- und Rastvögel, sondern auch für Amphibien und Reptilien sowie für viele z. T. vom Aussterben bedrohte Insekten- bzw. Wirbellosenarten.

## Tourismus

Der Strand ist der Besuchermagnet und das Alleinstellungsmerkmal von St. Peter-Ording. Er unterliegt ganz verschiedenen Nutzungsformen. So wird er z. B. zum Spaziergehen (mit und ohne Hund), Baden, Bernsteinsuchen, Kiten, Windsurfen und Wellenreiten, Strandsegeln, Kitebuggy-Fahren, zum Reiten und Drachensteigen sowie als Park- und Eventfläche genutzt. Auch die Dünen sind in dieser Hinsicht bedeutsam. Vor allem Spaziergänge am Dünenfuß sowie auf öffentlichen Wanderwegen durch die Vordünen sind ein spektakuläres Naturerlebnis. Der Dünenwanderweg nördlich des Strandwegs mit der nahegelegenen Aussichtsplattform (mit Blick auf die Strandseen) ist ein besonders beliebter Ort für Vogelinteressierte.



Ufer-Laufkäfer (*Carabus clatratius*)

## Guter Natur- und Küstenschutz durch Zusammenarbeit

Für die Entwicklung guter Küstenschutzstrategien und -maßnahmen, die die Natur einbeziehen, ist eine vertrauensvolle Zusammenarbeit von Küstenschutz, Naturschutz und der Gemeinde die beste Voraussetzung. Dafür erarbeitete das Projekt „Sandküste“ eine fachliche Grundlage und schuf ein Netzwerk für zukünftige Kooperationen.

# 3. Entwicklung der Sandbank und des Küstenvorfeldes

Die Arbeitsgruppe Küstengeologie und Sedimentologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) hatte in diesem Projekt die Aufgabe, die morphologischen Entwicklungen im Nordfriesischen Wattenmeer vor St. Peter-Ording zu untersuchen. Ziel war es, ein umfassendes Systemverständnis für das Strand- und Küstensystem St. Peter-Ording zu entwickeln. Die Forschenden untersuchten die historische und aktuelle Entwicklung des Strandsystems. Sie nutzten Vermessungsdaten, führten eigene schiffs- und landgestützte Messungen durch und setzten Computermodelle auf, um das Zusammenspiel von Wind, Wellen, Strömungen und Sandtransport in diesem hochdynamischen Küstensystem zu verstehen.

## Der St. Peter-Ording-Sand: Ausdehnung und Bestandteile

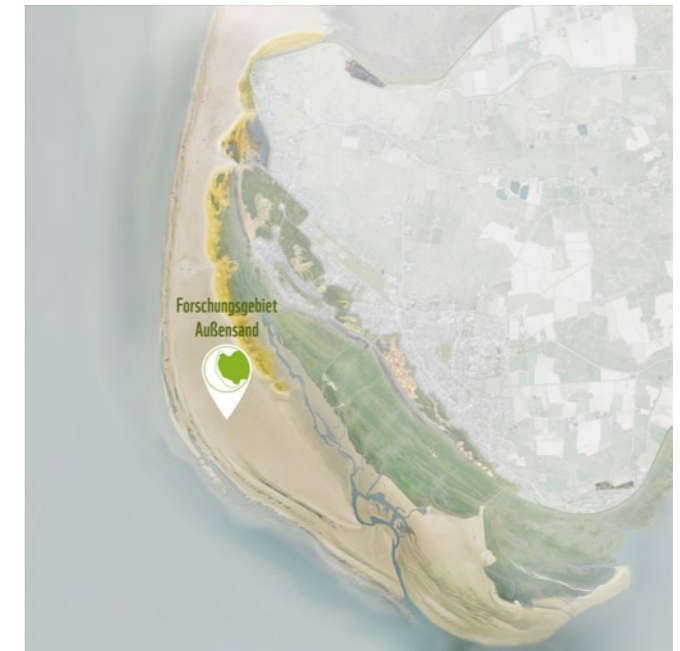
Das große, der Küste vorgelagerte Sandkörpersystem hat eine Ausdehnung von etwa 14 Kilometern in Nord-Süd-Richtung und reicht von der Tümlauer Bucht im Norden bis zur Außeneider im Süden. In West-Ost-Richtung hat der Sand eine Ausdehnung von bis zu drei Kilometern. Der Sand besteht aus verschiedenen geomorphologischen Einheiten wie Vorstrand, Strand, Sandrücken, Salzwiesen, Sandhaken, Prielsysteme, Quellerflure, Vordünen, Weißdünen, Strandseen, die sich ständig verändern.

## Entwicklung des Strandes

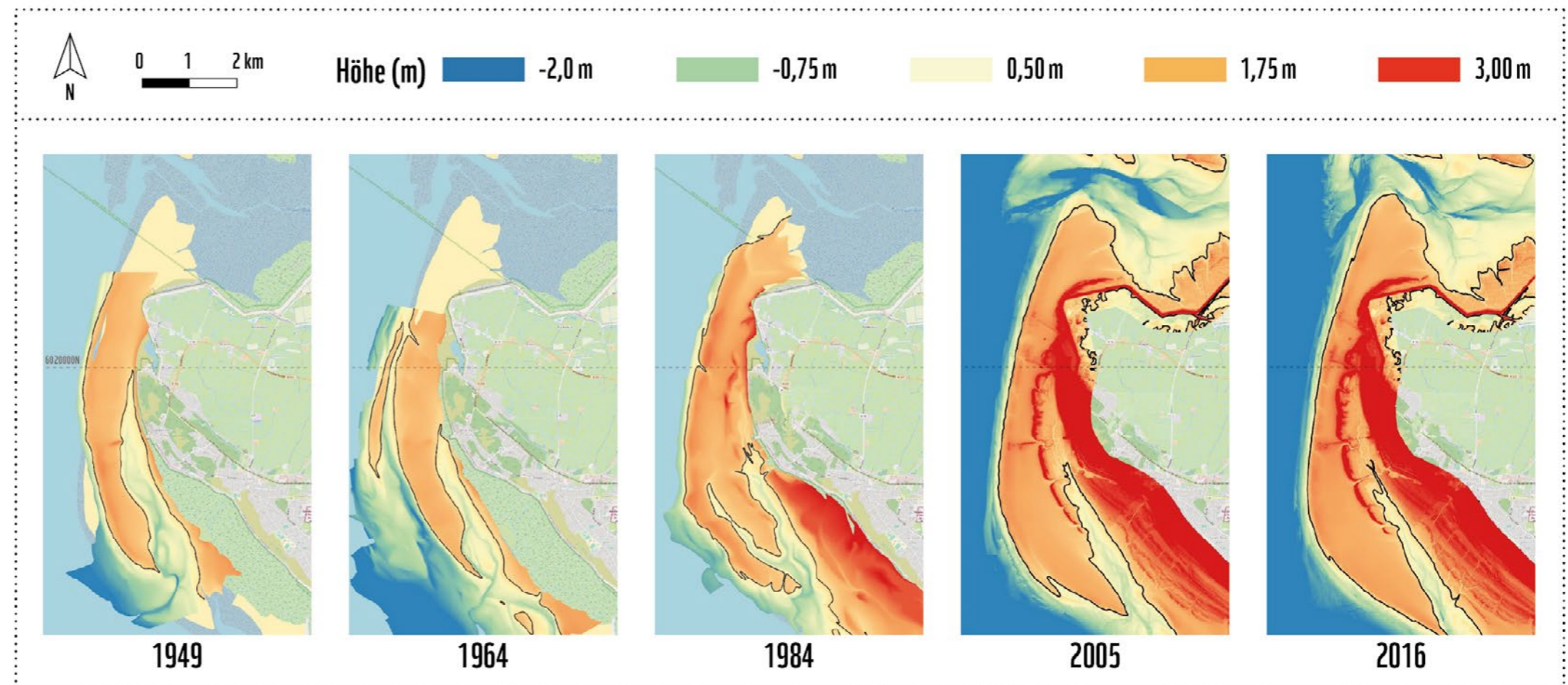
Zu Anfang ihrer Arbeiten zur „Sandküste“ von St. Peter-Ording rekonstruierte die Kieler Arbeitsgruppe die morphologische Entwicklung des Strandes. Die Forschenden verfolgten anhand historischer Daten die Entstehung und den Wandel des großen Strandes in den letzten 100 Jahren. Als Grundlage für die Analyse wurden Satelliten- und Luftbilder, Karten und Vermessungsdaten der Topographie (Landhöhen) und Bathymetrie (Wassertiefen) der Vorstrandbereiche verwendet (Soares et al. 2022).

Der Strand von St. Peter-Ording ähnelt den äußeren Stränden der Wattenmeerinseln. Er ist einer der wenigen natürlichen Strände an der Festlandküste der deutschen Nordsee und heute stellenweise von starken Rückgangsraten von bis zu acht Metern pro Jahr geprägt. In anderen Strandbereichen dagegen tritt Sedimentation auf.

Das Strandsystem ist relativ jung: Erst im Zeitraum 1878 bis 1928 bildete sich vor St. Peter-Ording ein großer Außensand und gleichzeitig vergrößerte sich der damalige Hauptstrand (Hofstede 1997). Unter Wasser hatte sich zuvor eine große Sandbank gebildet und war in Richtung St. Peter-Ording gewandert. Direkt vor dem Ort erschien zwischen 1920 und 1925 eine schmale Sandbank, gefolgt von einer zweiten Sandbank in den 1960er-Jahren, die bis 1994 vollständig mit der ersten verschmolz. Es bildeten sich seit den 1970er-Jahren Dünen, die heute bis zu elf Meter hoch sind. Hinter diesen jungen Vordünen befindet sich ein großes Salzwiesengebiet. Der Sand befindet sich in einem stetigen Wandel in vielen Zeitskalen. Große Sandbänke vor der Küste fügten sich wiederholt an den Strand an und Sturmfluten, Wellen und Strömungen sor-



## Historische Entwicklung des Sandes von St. Peter-Ording (1949–2016)



Entwicklung des Strandes seit 1949. Topographische Karte: Strandvermessung LKN.SH (1949 bis 2016)

gen für Erosion im zentralen Bereich und einen Transport der Sedimente nach Norden und Süden, wo sich der Sand ablagert. Schon Hofstede (1997) beschreibt die Bildung, Anlandung und Erosion großer Außensände als zyklische Prozesse. Die vorherige Abbildung zeigt unter anderem den

Außensand in der Vermessung von 1964. Zwischen diesem Außensand und dem damaligen Hauptstrand bildete sich zeitweise ein Strandpriel, eine große Rinne, in der sich feine Sedimente ablagerten. In den 80er-Jahren war dieser Strandpriel dann schon vollständig vom Außensand verdeckt. Die

Strandfläche verdreifachte sich so ab 1949 von etwa vier auf zwölf Quadratkilometer im Jahr 2016.

Seitdem verlagert sich jeweils die Küstenlinie landeinwärts nach Osten sowie Richtung Norden und Süden. Der Strand wird also im zentralen Bereich schmaler und dehnt sich entlang der Küste aus. Gegenwärtig erodiert der zentrale Strandbereich mit einer erheblichen Geschwindigkeit von etwa sieben bis acht Metern pro Jahr. Die feinen Sedimente und organischen Ablagerungen des ehemaligen Strandprielsystems stehen mittlerweile in großen Bereichen der derzeitigen Brandungszone an (siehe Foto links unten).

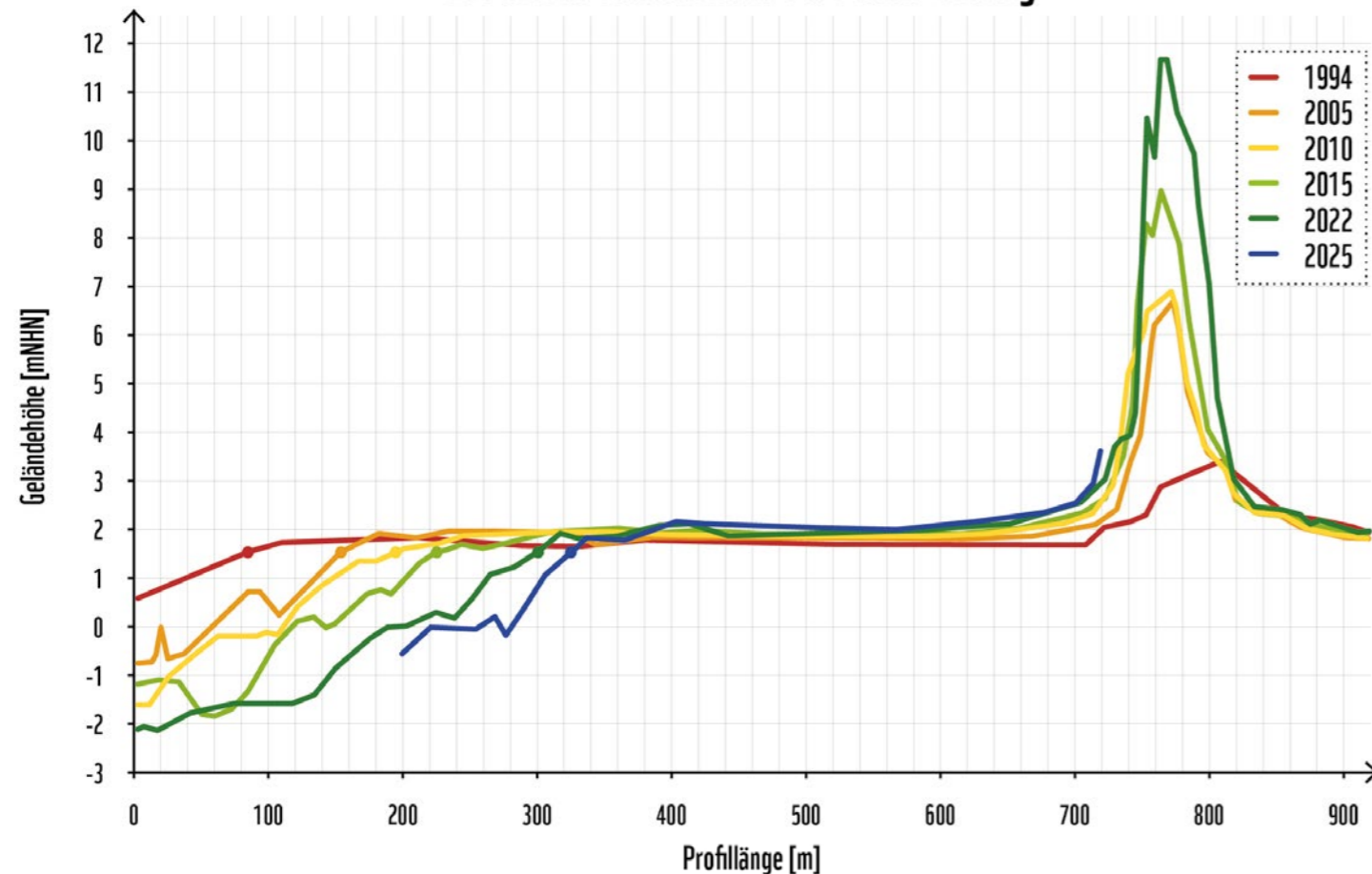
Das nördliche Ende des Strandes ist dagegen (im Zeitraum 1996–2016) mit ca. 25 Metern pro Jahr nach Norden gewachsen. Die südliche Spitze im Bereich von St. Peter-Böhl verlagerte sich seit 1949 um etwa zwei Kilometer nach Südosten und wurde um 700 Meter breiter. Untersuchungen zur Sedimentbewegung zeigten hier die vorherrschende Verlagerung in süd-südöstlicher Richtung von etwa 30 Metern pro Jahr bis in die späten 1990er-Jahre.

Untersuchungen der großmaßstäblichen Vermessungen des Meeresbodens der zuständigen Behörden zeigen die starke Dynamik der Gezeitenrinnen der Außeneider im Süden, des Küstenvorfelds und des komplexen Rinnensystems der Außenhever im Norden. Hier werden im Laufe der Zeit durch Wellen und Gezeitenströmungen sehr große Mengen von Sand umgelagert. Insgesamt liefern die Ergebnisse ein detailliertes Bild der langfristigen Küstendynamik und Sedimenttransportmuster des St. Peter-Ording-Strandsystems (Soares et al. 2022).

### Modellierung: Strömungs- und Sedimenttransportmuster

Ein wichtiger Teil des Projekts befasste sich mit der Bewegung von Sand im Küstenvorfeld. Mithilfe eines leistungsfähigen Computermodells konnten die Transportwege der Sedimente vor St. Peter-Ording analysiert und die Haupttreiber (Gezeiten, Wellen, Wind) für die Sedimentverlagerung benannt werden. Wichtig zu wissen ist, dass die **Sedimentbewegungen** nicht nur der Gezeitenströmung folgen, sondern

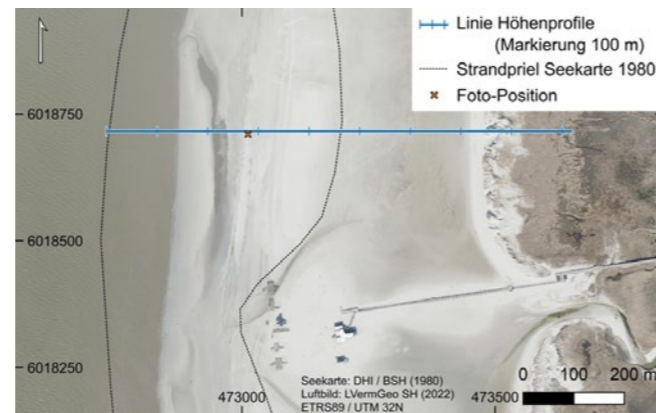
## Erodierte Küstenlinie St. Peter-Ording



Vergleich der jüngeren Vermessungen an einem Strandprofil Höhe Badestelle Ording: Zusammenstellung der Vermessungen der letzten 30 Jahre. Die Küstenlinie erodiert hier mit etwa 8 Metern pro Jahr. Der Strand und die Dünen wachsen an diesem Küstenabschnitt



Das Foto (November 2025) zeigt die feinkörnigen Ablagerungen des ehemaligen Strandpriels in einem Kolk in der heutigen Brandungszone



Das Luftbild zeigt den Ort des Profils und den Verlauf des Strandpriels zu einem Zeitpunkt vor den 1980er-Jahren



Forschende bei der Entnahme von Sandproben

auch **stark von Wellen und Wind beeinflusst** werden. Es konnte gezeigt werden, wie besonders auf den Wattflächen die Sedimente durch die Energie der Wellen umgelagert werden, anders als in den Prielen und Gezeitenrinnen (Soares et al. 2024). Im Untersuchungsgebiet um St. Peter-Ording lassen sich mehrere typische residuale Sedimenttransportpfade erkennen (siehe Abbildung unten). Der küstenparallele Transport vom Außensand Süderoog-

sand und von der Gezeitenrinne Süderauae verläuft nach Süden und mündet in den Gezeitenstrom Hever, wo es zu Rückführungen (Rezirkulation) kommt. Im Ebbdelta (flacher Bereich am Ende des Gezeitenstromes) der Hever zeigen sich drei Hauptmuster:

**1. Nordwestlicher Abschnitt:** überwiegend durch Wellen bestimmter Transport in südliche Richtung süd-westlich von Süderoogsand.

**2. Zentraler Abschnitt:** komplexe zirkulierende Bewegungen in den tieferen Rinnen. Durch Gezeitenströmungen bestimmter Transport Richtung Ebbdelta der Hever. Von dort durch Wellen und Strömungen südwärts gerichtete Transportwege.

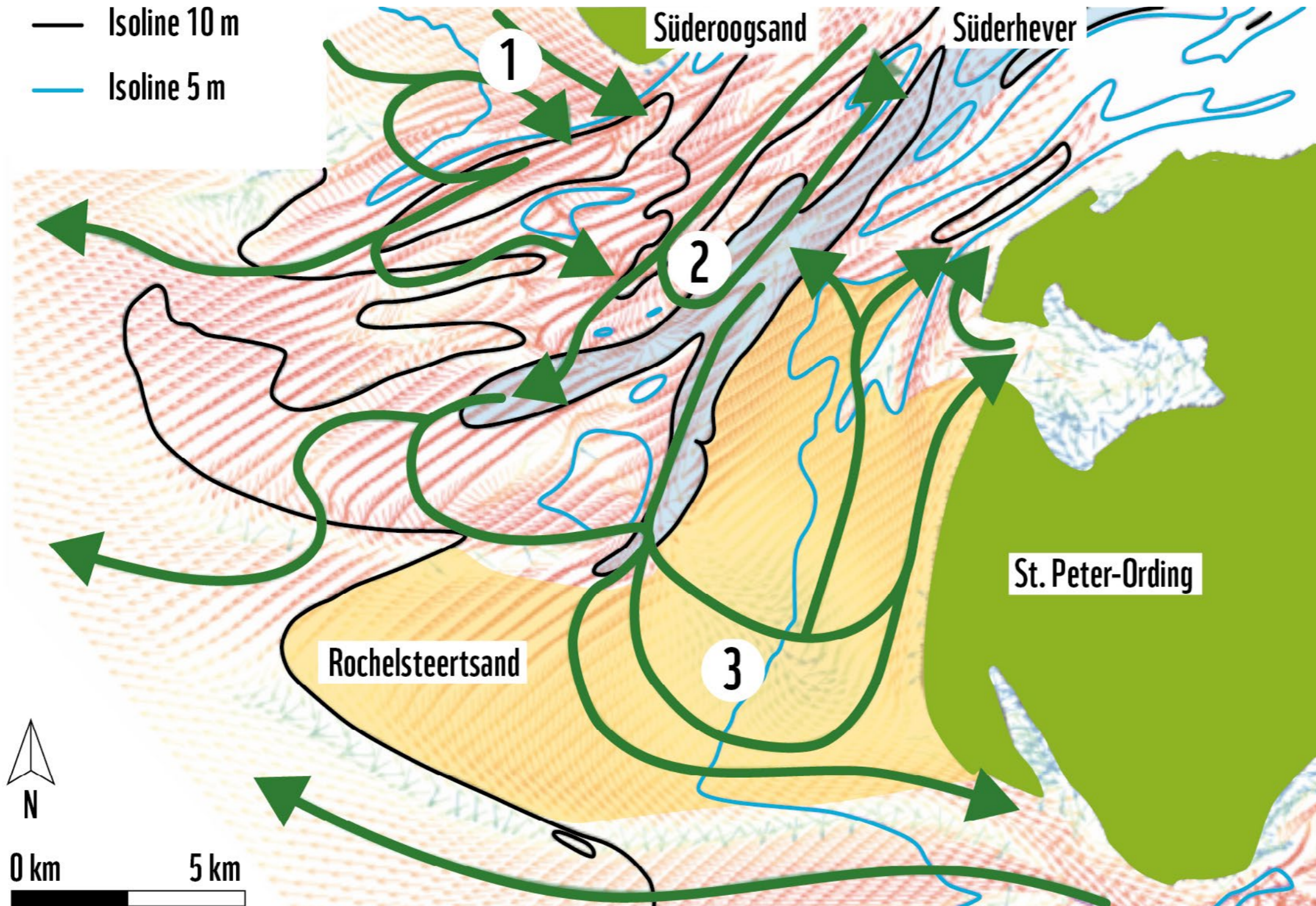
**3. Südöstlicher Abschnitt:** wellen- und strömungsdominante Transportwege mit Zirkulation Richtung SPO und Divergenz – mit südlicher (Richtung Außen-

eider) und nördlicher (Richtung Strand) Komponente. Der südöstliche Teil des Deltas (inkl. Süderhever) dient so als Sedimentquelle für den Strand. Die rampenartige Form des Rochelsteertsands lenkt das Material zum südlichen Strandende von St. Peter-Ording, wo sich küstenparallele Bodenformen ausbilden. Von dort verläuft der Transport weiter nordwärts entlang des Strandes, es gibt aber auch Anzeichen für einen südwärtigen Abzweig. Ein Teil des Sediments auf dem Rochelsteertsand wird offenbar in die Süderhever zurückgeführt.

### Blick in die zukünftige Entwicklung des Strandes

Angesichts der starken Rückgangsraten im Zentralbereich des Strandes ist die Abschätzung der zukünftigen Entwicklung von besonderem Interesse. Eine prozessbasierte Modellierung morphologischer Entwicklungen in Küstengebieten bei bekannten Bedingungen ist technisch machbar (Roelvink 2011). So gibt es viele Beispiele für die erfolgreiche Simulation vergangener Entwicklungen von Küstensystemen (Herrling, Winter 2014; Daly, Winter, Bryan 2015). Eine Vorhersage zukünftiger Entwicklungen hängt allerdings notwendigerweise von den zukünftigen Randbedingungen, insbesondere der Sturmhäufigkeit, ab. In der Zukunft liegende Wind-, Wellen- und Wasserstandsverhältnisse sind nicht bekannt. Zudem gibt es weiterhin Unsicherheiten bei der genauen Berechnung strandnaher Prozesse (z. B. Wellenbrechen), die derzeit nur schwer erfassbar sind. Eine prozessbasierte Modellierung der gekoppelten Wellen-Strömungs-Sedimenttransportprozesse ist deshalb für die Zukunft nicht belastbar.

Eine einfache Fortschreibung des in den letzten Jahrzehnten gemessenen Küstenrückgangs im zentralen Bereich des Strandes ergibt Rückgangswerte von etwa 400 Metern in den nächsten 50 Jahren. In der Literatur finden sich empirische Ansätze für die Berechnung von vereinfachten, schematischen Strandprofilen basierend auf dem Ansatz von Bruun (1962). Diese vereinfachten Modelle können allerdings auch nicht für eine quantitative Prognose eingesetzt werden, da sie die tatsächliche Entwicklung stark unterschätzen. Eine Abschätzung der Entwicklung des Strandsystems von St. Peter Ording muss die zukünftigen Randbedingungen von Wellen und Strömungen, die heutigen komplexen Transportwege, die Geschichte der Entstehung aus den Außensänden und den heterogenen geologischen Aufbau berücksichtigen.



Sandtransportpfade nahe St. Peter-Ording im Computermodell

## Fazit zur geomorphologischen Forschung

Die Forschung der Arbeitsgruppe Küstengeologie und Sedimentologie (CAU) trägt zum besseren Verständnis der langfristigen morphodynamischen Entwicklung des Nordfriesischen Wattenmeeres vor St. Peter-Ording bei. Wellen und Gezeiten erzeugen unterschiedliche Transportkapazitäten, die die langfristige Küstenentwicklung entscheidend beeinflussen. Der durch den Klimawandel zukünftig beschleunigte Meeresspiegelanstieg könnte die aktuelle Sedimentbilanz – auch vor St. Peter-Ording – weiter destabilisieren. Das neu entwickelte Analyse-Werkzeug der Kieler Forschenden steht für weitere Studien zu extremen Wetterereignissen oder spezifischen Windrichtungen zur Verfügung (Soares et al. 2025).

Angesichts des außergewöhnlich starken Küstenrückgangs und vor dem Hintergrund des steigenden Meeresspiegels und der damit verbundenen Belastung durch extreme Wasserstände und Welleneinwirkung ergibt sich trotz des heute noch vorgelagerten Außensandes von St. Peter-Ording mittelfristig erheblicher Handlungsbedarf, auch für die dahinter liegenden Dünen. Eine Fortführung der hochfrequenten Vermessung der Strand- und Vorstrandmorphologie sowie wissenschaftliche Begleitforschung durch Messungen und Modellentwicklungen werden empfohlen. Dabei sollte die Rolle der im Strandkörper anstehenden Ablagerungen des ehemaligen Strandpriels für die Stabilität des Strandes genauer untersucht werden.



Stranddynamik St. Peter-Ording: Rückgang im zentralen Bereich, Anlagerung im Norden und Süden (Strandrückgang: blau; Anlagerung von Sedimenten: gelb)

## 4. Naturnaher Küstenschutz: Die besondere Düne „Maleens Knoll“

Das Dünengebiet „Maleens Knoll“ befindet sich im Ortsteil Ording zwischen den Straßen „Im Bad“ und „Strandweg“. Dieser Teil der Küste ist eine große Besonderheit, denn er ist einer von nur zwei unbedeckten Abschnitten am Festland der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Auf einer Küstenlänge von etwa einem Kilometer übernimmt das teils bewaldete Dünensystem die Funktion eines Deichs und schützt das Hinterland vor Überflutungen.

Auch aus Landschafts- und Naturschutzsicht ist dieser Abschnitt einzigartig: Hier sind die älteren Dünenbiotope und der Dünenwald ohne nennenswerte bauliche Barriere (Deich) mit den seeseitig gelegenen Küstenlebensräumen verbunden, darunter Brackwasserröhrichte, Salzwiesen, Vordünen und der Strand. Tiere und Pflanzen können noch weitgehend ungehindert vom Überflutungsbereich ins Hinterland wechseln und sich ausbreiten. Entsprechend ist an dieser Stelle das Schutzgebiet „Dünen St. Peter“ in besonderer Weise mit dem Nationalpark Wattenmeer verbunden.

### Entstehung der Vordünen von St. Peter-Ording

Um die Schutzfunktion der Dünen zu bewerten, wurden historische Daten zur Dünenmorphologie von 1949 bis 2015 analysiert. Zunächst untersuchten die Forschenden des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau der Technischen Universität Braun-

schweig die langfristige Entwicklung der jungen Vordünen in St. Peter-Ording und bewerteten ihr Potenzial für den Küstenschutz. Mit Vordünen ist der aktuell bestehende Dünenring im Übergang von Strand und Salzwiesen gemeint. Die Vordünen sind der hohen Düne „Maleens Knoll“ vorgelagert. Auf Grundlage von geografischen Vermessungs-

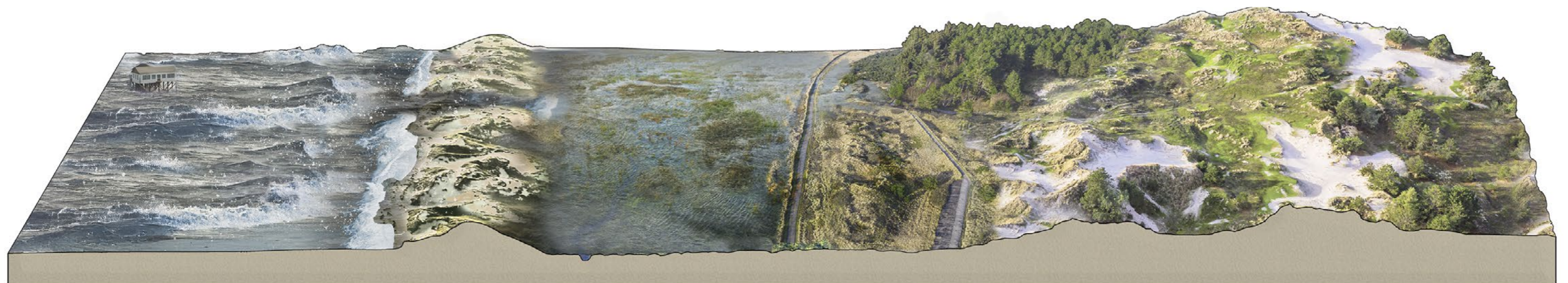
daten identifizierte das Team die initiale Dünenbildung in den 1980er-Jahren. Bis 2015 hatten sich die Vordünen über eine Küstenstrecke von 6,5 Kilometern entwickelt, mit einem durchschnittlichen jährlichen Volumenzuwachs von 7,4 Kubikmetern pro Meter. Während dieser Entwicklung verlagerte sich der seewärtige Dünenfuß durchschnittlich um 2,3 Meter pro Jahr seewärts und erhöhte sich gleichzeitig um durchschnittlich 1,1 Zentimeter pro Jahr in der Höhe. Insgesamt bildet die Vordüne eine neue „Verteidigungslinie“ gegen Sturmfluten vor der bestehenden Schutzlinie. Die Vordüne bietet einen variierenden Schutz gegen einen durchschnittlichen kritischen Sturmflutwasserstand (genannt „CSSL“) von 3,4 Metern über Normalhöhennull und dient als zusätzliche Pufferzone gegen „Wellenangriffe“ während schwerer Sturmereignisse (Mehrtens et al. 2023). Vom LKN.SH wurden im Jahr 2023 weitere Vermessungen vor Ort durchgeführt, um zu untersuchen, ob die Vordüne im Zeitraum nach 2015 noch weiter angewachsen ist.

### Dünensystem „Maleens Knoll“

Das landseitig der Vordünen gelegene Dünensystem „Maleens Knoll“ schützt aktuell den Ortsteil St. Peter-Bad vor Sturmfluten. Aufgrund seiner Höhe von bis zu 17 Metern über dem Meeresspiegel dient es



als natürliche Barriere gegen Sturmfluten und verhindert das Eindringen von Wasser in die dahinter liegenden Siedlungsflächen. Durch den Klimawandel und den damit verbundenen Meeresspiegelanstieg können höhere Wasserstände erreicht werden. Eine größere Wassertiefe kann dazu führen, dass die Wellen später brechen und mit mehr Energie auf die Küste treffen. Dadurch wird die Düne in Zukunft einem stärkeren Erosionsdruck ausgesetzt sein, was ihre Schutzfunktion gefährden könnte.



Nordsee  
Sturmflut

Vordüne

Salzwiesen  
überschwemmt

Deichende

Hohe Düne Maleens Knoll  
binnendeichs

Die Küste vor der Düne „Maleens Knoll“ bei einer Sturmflut

Fotomontage (fiktiv) einer aufwachsenden Düne

1



2

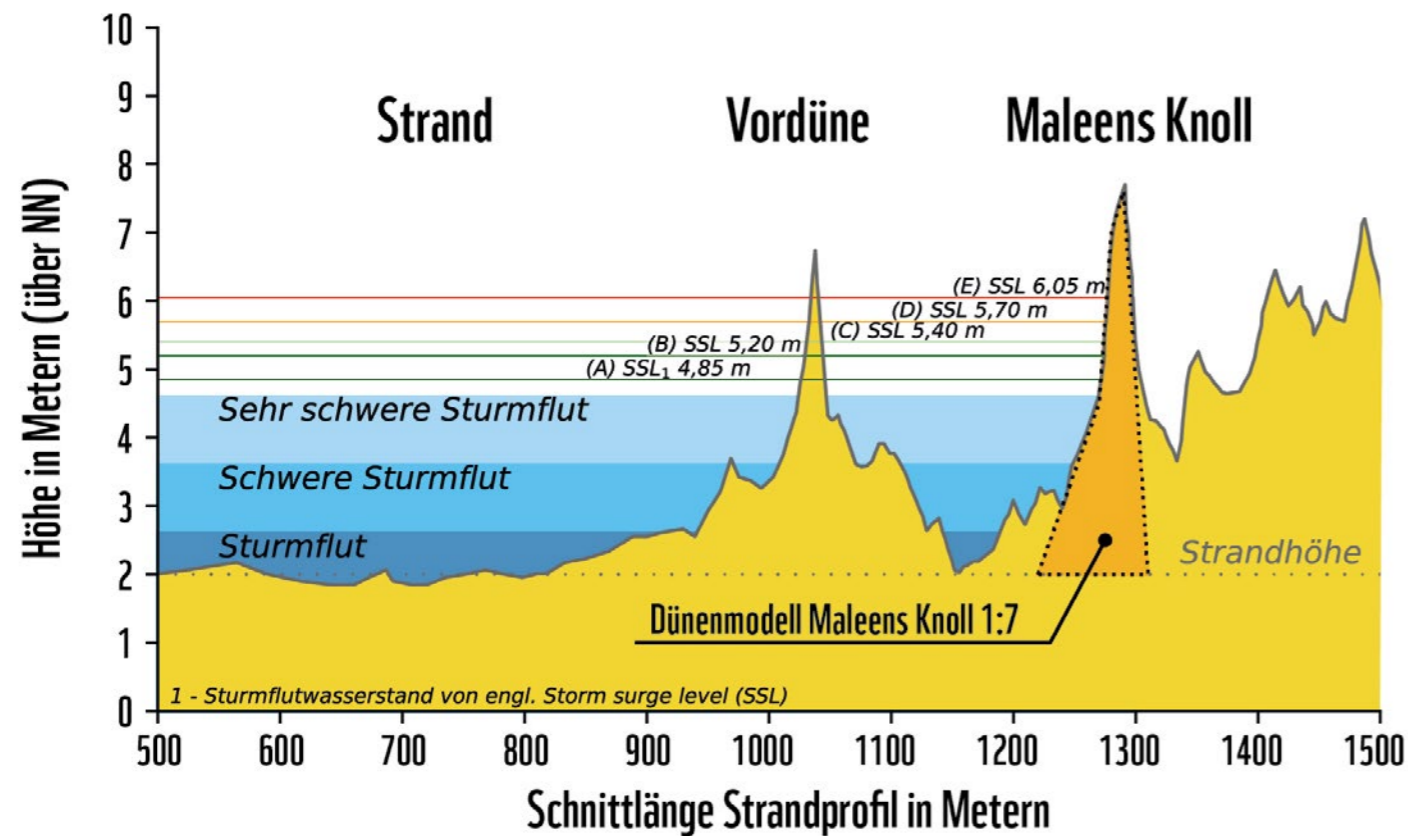


3



4





Strandprofil St. Peter-Ording auf Basis eines digitalen Geländemodells von 2015. Das Profil verläuft durch den nördlichen Strandzugang am Strandweg und zeigt die geodätischen Höhen des Strand, der Vordüne sowie der nachgelagerten Hauptdüne „Maleens Knoll“

Vor diesem Hintergrund untersuchte das Forschungsteam im Rahmen des „Sandküste“-Projekts, ob das Dünenystem „Maleens Knoll“ auch in Zukunft einen zuverlässigen Schutz für die Küste bieten kann. Dabei wurden sowohl numerische Computermodelle als auch physikalische Experimente im Wellenkanal genutzt, um die potenzielle Versagenswahrscheinlichkeit der Düne unter den Bedingungen verschiedener Sturmflutszenarien zu analysieren.

### Dünenstabilität im Wellenkanal

Ein zentraler Bestandteil der Untersuchung war die Simulation der Dünenerosion unter kontrollierten Bedingungen im Wellenkanal (physikalische Experimente). Zur Untersuchung wurde basierend auf lokalen Geländedaten ein seitlich begrenzter Dünenabschnitt im nördlichen Bereich am Übergang zum Landesschutzdeich ausgewählt, da dieser über ein vergleichsweise geringes Dünenvolumen im Querschnitt verfügt und einen Durchlass im Bereich der Vordünen enthält. Somit charakterisiert dieser Bereich einen potenziell gefährdeten Abschnitt entlang des Düngürtels, an dem starke Sturmereig-

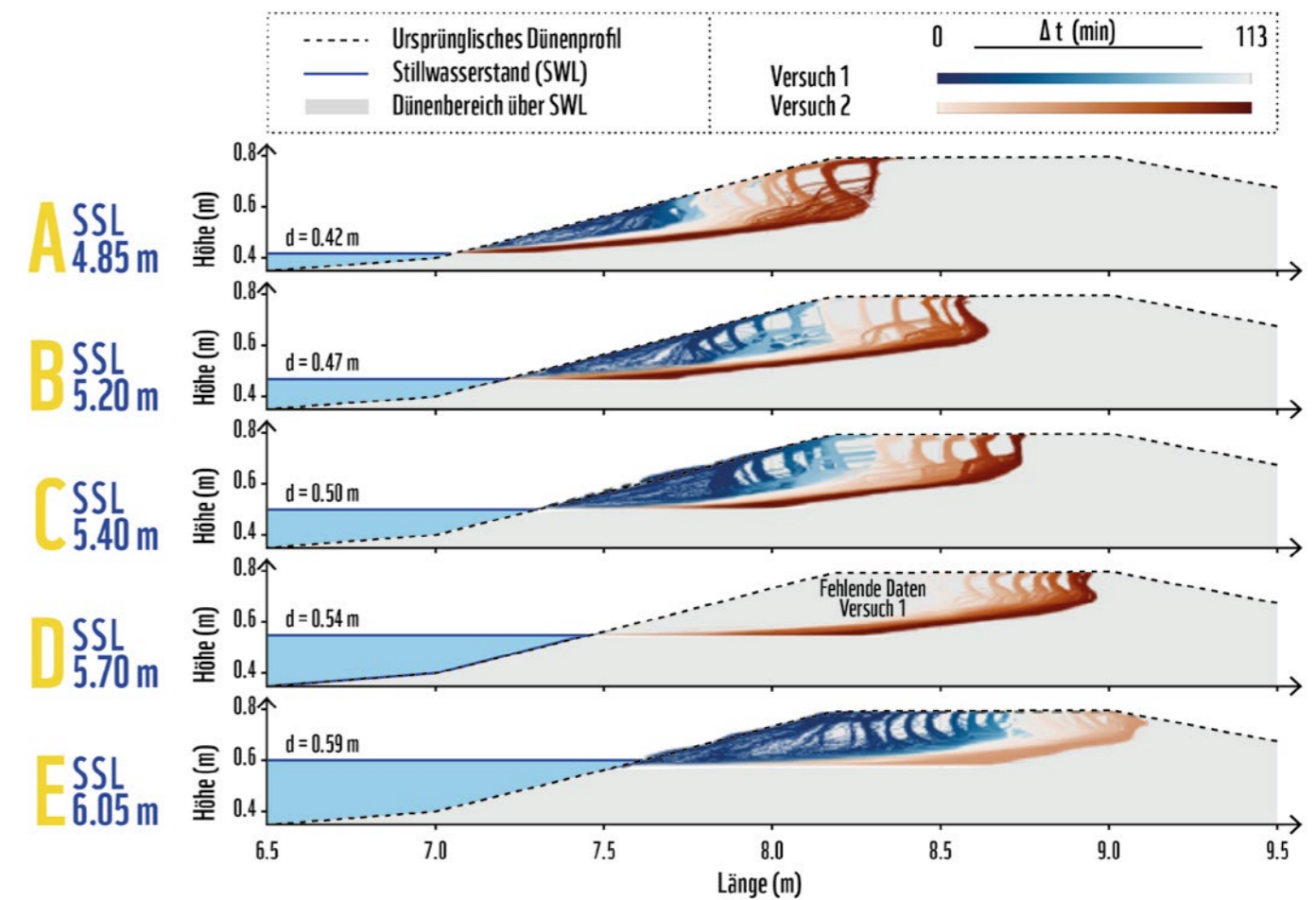
nisse möglicherweise zu erheblicher Dünenerosion, Dünenbrüchen und Überschwemmungen des Hinterlandes führen können. Anhand dieses Dünenquerschnitts wurde ein vereinfachtes Dünenmodell im Längenmaßstab 1:7 aus Sand nachgebildet, um dessen Schutzwirkung gegen verschiedene Sturmflutszenarien mit unterschiedlichen Wasserständen und Welleneigenschaften zu untersuchen. Sämtliche weiteren Landschaftsmerkmale, einschließlich des Strand, der Vordünen, der Salzwiese und der vorhandenen Vegetation, wurden aus Gründen der Vereinfachung in den Versuchen nicht näher betrachtet.

Zur Untersuchung des Schutzniveaus wurden verschiedene Sturmflutwasserstände und mögliche Meeresspiegelanstiege herangezogen, basierend auf der Strategie für das Wattenmeer 2100 (MELUR 2015). Es wurden lokale Sturmflutwasserstände zwischen 4,85 Metern über Normalhöhennull (+NHN) und 5,20 Metern +NHN herangezogen, die Wiederkehrperioden von 50 bis 200 Jahren entsprechen. Zudem wurden Projektionen für verschiedene Meeresspiegelanstiege für die Jahre 2050 und 2100 unter den Bedingungen des mittleren RCP4.5- und des

stärkeren RCP8.5-Szenarios für die Entwicklung von Treibhausgasemissionen verwendet. Aus der Kombination der lokal definierten Sturmflutwasserstände und der Meeresspiegelanstiege wurden insgesamt fünf Sturmflutszenarien (A bis E) mit Höhen von 4,85 Metern bis 6,05 Metern +NHN für die Versuche abgeleitet. So entspricht das niedrigste Szenario von 4,85 Metern +NHN dem derzeitigen lokalen 50-jährigen Bemessungswasserstand ohne Berücksichtigung eines Zuschlags aufgrund des Meeresspiegelanstiegs. Das höchste Szenario von 6,05 Metern +NHN ergibt sich aus der Kombination des Bemessungswasserstandes und einer Projektion auf das Jahr 2100 mit einem zusätzlichen Anstieg des Sturmflutwasserstandes von 1,2 Metern. Für alle fünf Sturmflutszenarien wurde jeweils der Einfluss von zwei aufeinanderfolgenden Sturmfluten (mit einer jeweiligen Dauer von

fünf Stunden) mit steigenden Wellenbedingungen untersucht (Sturmflut 1 mit signifikanten Wellenhöhen von 0,8 Metern und Sturmflut 2 mit 1,1 Metern). Ebenso wie das Dünenmodell wurden alle genannten hydrodynamischen Randbedingungen im gleichen Längenmaßstab von 1:7 für die Experimente skaliert. Zur Untersuchung von typischen Erosionsprozessen an der Düne wurden mehrere Messtechniken zusammengestellt und miteinander verglichen, um eine Profilentwicklung möglichst präzise und in hoher zeitlicher Auflösung nachverfolgen zu können (Mehrtens et al. 2025). Die Ergebnisse sind exemplarisch in der unteren Abbildung zusammengestellt.

Zur Auswertung der Versuche wurde ein neuartiger Laserscanner herangezogen, mit dem die Oberfläche der Düne in Intervallen von wenigen Sekunden



Zusammenstellung der Ergebnisse der physikalischen Modellierung der Dünenerosion unter Sturmflutszenarien A-E im Wellenkanal am Leichtweiß-Institut. Die farbliche Kennzeichnung zeigt in Blau und Rot die Erosion während der Sturmfluten. Die Ergebnisse zeigen, dass mit steigender Intensität der Sturmflut sowie ansteigenden Wasserspiegeln die Erosion der Düne weiter zunimmt bis zur Hälfte der Kronenbreite abgetragen wurde, über B und C, in denen das Dünenmodell bis zur Hälfte der Kronenbreite abgetragen wurde, bis hin zu Szenario D, in dem die Düne bis zur landseitigen Flanke abgetragen wurde und kurz vor dem Durchbruch stand, und schließlich Szenario E, in dem das Dünenmodell während der zweiten Sturmflut durchbrach

erfasst wurde. Dies ermöglichte es bei allen Versuchen, typische Erosionsmerkmale am Dünenprofil festzuhalten. Eine Dünenerosion erfolgte stets periodisch in mehreren Phasen:

1. Ausbildung einer vertikalen Dünenfront infolge der Welleneinwirkung
2. Auf Höhe des Sturmflutwasserstandes sorgen die Wellen dafür, dass sich eine Einkerbung im unteren Bereich der Dünenfront ergibt.
3. Ab einem gewissen Fortschritt bricht der darüberliegende Dünenteil ab und fällt in die Wellenangriffzone.
4. Nachfolgende Wellen sorgen dafür, dass abgebrochene Sedimente von der Düne weg in Richtung Strand transportiert werden, wo ihre Ablagerung dafür sorgt, dass Wellen in größerer Entfernung von der Düne brechen und somit einen Teil ihrer Energie verlieren. Dadurch kommt es im Verlauf einer Sturmflut dazu, dass sich die Intensität der Erosion mit der Zeit tendenziell reduziert.

Die Ergebnisse der Wellenkanalversuche zeigten, dass mit steigenden Wasserständen und zunehmender Wellenenergie die Erosion des Dünenkörpers deutlich intensiver wird. Während sich bei den weniger starken Sturmflutszenarien der Dünenrückgang lediglich auf die seeseitige Dünenböschung beschränkte, führten durch einen Meeresspiegelanstieg bedingt erhöhte Sturmflutwasserstände dazu, dass eine Dünenerosion im Wellenkanal bis zum Bereich der Dünenkrone fortschritt. Die untersuchte Düne hielt während der beiden aufeinanderfolgenden Sturmfluten bis zu einem Wasserstand von 5,70 Metern +NHN so weit stand, dass es zu keinem Durchbruch kam und keine großen Wassermengen die Düne überströmten. Dennoch ist zu beachten, dass die Simulation der steigenden Sturmflutwasserstände im Wellenkanal zu einem erheblichen Dünenrückgang führte und beispielsweise im Fall des Wasserstands von 5,70 Metern dafür sorgte, dass mehr als 50 Prozent des Dünenvolumens oberhalb der Wasserstandslinie erodiert wurden. Im extremen Fall mit einem simulierten Sturmflutwasserstand von 6,05 Metern führte die Wellenüberströmung der Düne zu einem vollständigen Dünenbruch, sodass der Test im Verlauf der zweiten Sturmflut vorzeitig abgebrochen wurde.

Die Ergebnisse verdeutlichen somit, dass das Dünenmodell von „Maleens Knoll“ im Wellenkanal zwei standorttypischen sehr schweren Sturmfluten (5,70 m +NHN) standhielt. Bei den angenommenen Sturmflutszenarien für das Jahr 2100, mit prognostizierten Wasserständen von bis zu einem Wasserstand von 6,05 Metern +NHN belegen die Versuche ein hohes Schutzniveau der Düne im aktuellen Zustand bei gleichzeitig sehr starker Erosion der Hauptdüne unter Vernachlässigung der Vordüne. Bei einem angenommenen sehr starken Meeresspiegelanstieg im Bereich von mehr als einem Meter zum Ende des Jahrhunderts und dadurch bedingt erhöhten Sturmflutwasserständen ist die Standsicherheit des untersuchten Abschnitts potenziell gefährdet. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Versuche im Wellenkanal nicht die Wellendämpfung und erosionsmindernde Wirkung verschiedener Landschaftselemente berücksichtigen können. So werden vorhandene Faktoren wie die Vordünenkette, die Salzwiese, die stark entwickelte Vegetation auf der Düne „Maleens Knoll“ sowie der gesamte Dünenwald nicht berücksichtigt. Andererseits sind die bisherigen Untersuchungen nur in zweidimensionaler Natur durchgeführt worden. Einflüsse des Küstenlängstransports während der Sturmflutwirkung und laterale Verlandungen sind bislang nicht untersucht worden. Es ist aktuell ungeklärt, welche Einflüsse schräger Wellenangriff auf die abgebildete Düne hätte. Ebenso kann die Dreidimensionalität der echten Dünenlandschaft mit ihrem gebogenen Dünenkamm und den vorhandenen Breschen weitere Effekte verursachen, die zum derzeitigen Zeitpunkt nicht untersucht sind. Auch zeigen die topographischen Vermessungsdaten seit den 1980er-Jahren, dass die Vordüne angewachsen ist, sich das System also ändert und anpasst, sofern ausreichend Sediment vorhanden ist. Das Dünenmodell im Wellenkanal basiert jedoch auf einer Momentaufnahme aus 2015 und repräsentiert somit möglicherweise nicht den Zustand, in dem sich das Dünensystem von St. Peter-Ording in 2100 befinden wird. Bei transient ansteigendem Meeresspiegel und ausreichend Sedimentverfügbarkeit ist davon auszugehen, dass durch Sandablagerungen das Dünensystem weiter anwächst. Ob die Wachstumsrate den beschleunigten Meeresspiegelanstieg ausgleichen und so höher auflaufende Sturmflutwasserstände kehren bzw. abwehren kann, ist aktuell noch nicht erforscht.

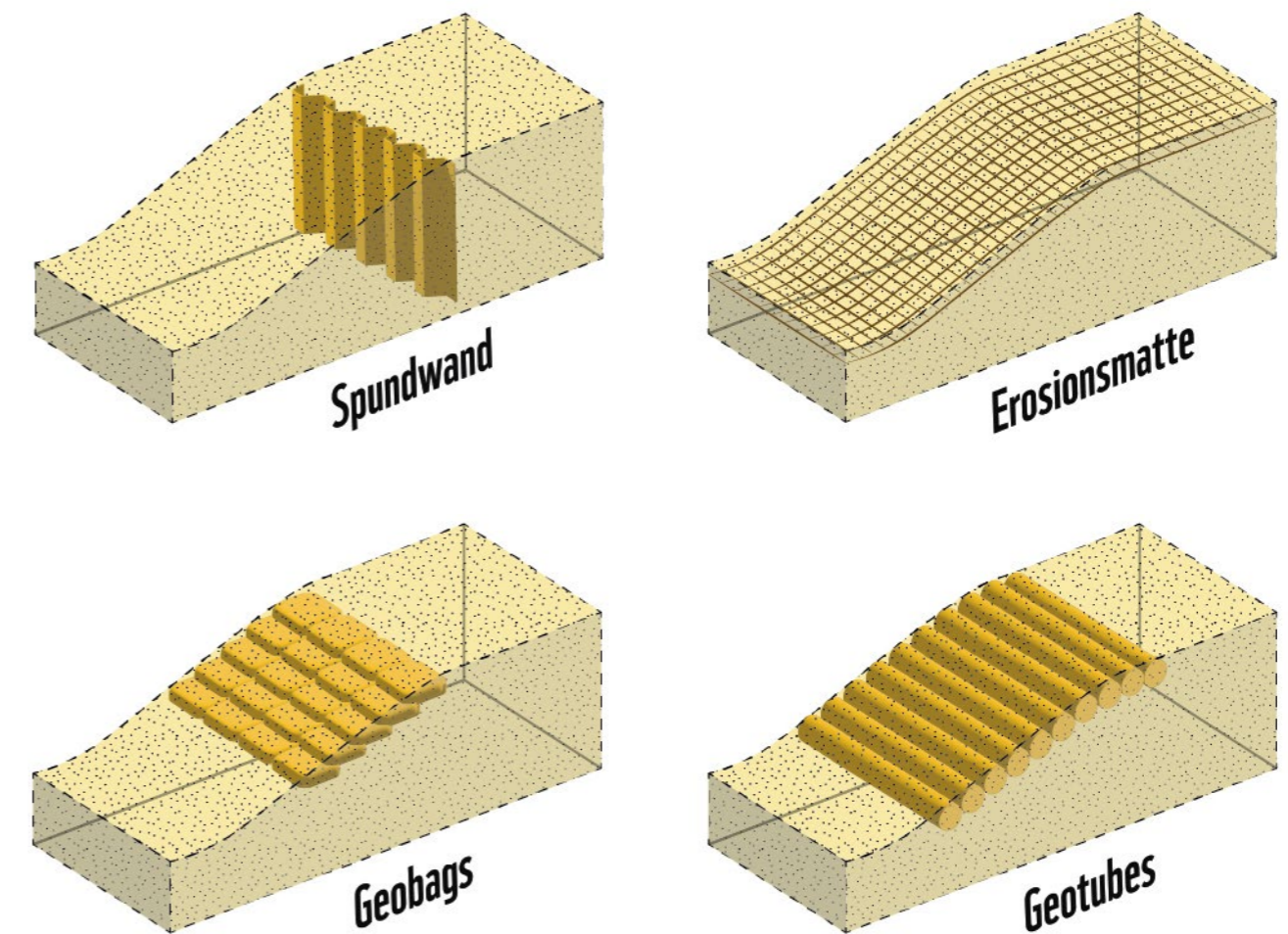
## Naturnahe Maßnahmen zur Verbesserung des Küstenschutzes in Dünen

Die Forschenden untersuchten auch Optionen für hybride Dünenverstärkungen und erarbeiteten Vorschläge für naturnahe Maßnahmen zur Verbesserung des Küstenschutzes in diesem Bereich. Für den Fall, dass diese mittel- oder langfristig erforderlich sein sollten, wurden verschiedene Maßnahmen zur Verstärkung des Dünensystems untersucht. Wie anhand der gezeigten Versuche dargestellt wurde, können erhöhte Meeresspiegelanstiege bis zum Jahr 2100 zu erhöhter Dünenerosion und einer Gefährdung des derzeit gegebenen Schutzniveaus führen. Der Einsatz von hybrider Dünenverstärkung, bei dem eine stärkende Struktur innerhalb des Dü-

nenkörpers integriert wird, zielt darauf ab, erhebliche Dünenerosion zu minimieren und somit eine Standsicherheit auch unter erhöhten Belastungen zu gewährleisten. Dabei lag der Fokus auf möglichst naturangepassten hybriden Methoden. Diese Ansätze sollen die Erosionsresistenz der Dünen erhöhen, ohne ihre natürliche Form oder ihre ökologischen Funktionen zu stark zu beeinträchtigen.

Das Projektteam aus Ingenieur:innen und Biolog:innen analysierte in Zusammenarbeit mit Stakeholdern aus Fachbehörden verschiedene Verstärkungsmaßnahmen. Eine SWOT-Analyse wurde durchgeführt, um Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der Maßnahmen zu bewerten.

### Verstärkungsvarianten der Hauptdüne Maleens Knoll



Isometrische Darstellung verschiedener getesteter Verstärkungsmaßnahmen im Dünenmodell: i) Spundwand aus Metall, eingebunden im seeseitigen Dünenkörper; ii) oberflächennah eingebrachte Erosionsmatte aus Gewebe; iii) gestaffelt gestapelte lose Sandsäcke; iv) gestaffelt gestapelte durchgängige Schläuche aus Geotextil, die mit Sand gefüllt sind

## Ausgewählte Ergebnisse der SWOT-Analyse

- Einige Stakeholder hatten **Bedenken hinsichtlich der Dauerhaftigkeit natürlicher Materialien**.
- **Rechtliche Rahmenbedingungen** und **Umweltaspekte** führten zu Diskussionen über zulässige Materialien.
- Die optimale Verstärkung musste **Schutzwirkung, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit** ausbalancieren.

Im Wellenkanal testeten die Küsteningenieure die Wirksamkeit von vier verschiedenen Dünenverstärkungsmaßnahmen bei unterschiedlichen Wasserständen mit festgelegten Wellenparametern. Folgende Varianten wurden untersucht:

- Basalt- und Kokosfasermatte
- sandgefüllte Geoschläuche
- sandgefüllte Geocontainer
- Stahlspundwand in der Düne

Verschiedene Arten von Erosionsschutzmatten aus beständigen Basaltfasern sowie natürlich abbaubaren Kokosfasern wurden hinsichtlich ihrer Erosionsschutzwirkung im Wellenkanal getestet. Dazu wurden die Matten jeweils im Modell direkt unterhalb der Dünenoberfläche installiert und anschließend wieder mit Sand bedeckt, um das natürliche Landschaftsbild zu erhalten. Die Maschen innerhalb der Matten sorgen in der Natur einerseits dafür, dass Pflanzen durch die Matten hindurchwachsen können und sich dünenstärkende Wurzelsysteme ausbilden können. Andererseits sorgen sie jedoch auch dafür, dass im Falle einer Sturmflut Sediment durch die Maschen hindurch erodiert und abgetragen wird. Die experimentellen Versuche im Wellenkanal konnten insgesamt aufzeigen, dass die Erosionsschuttmatten sowohl unter moderaten als auch unter erhöhten Sturmflutbelastungen eine erosionsmindernde Wirkung haben, da Wellen an den Matten brechen und der innere Dünenkern vor größerer Erosion geschützt bleibt.

Weiterhin wurden zwei Ausführungen sandbefüllter Geotextilien getestet. Zum einen wurden sogenannte Endlosschläuche verwendet, die über lange Strecken parallel entlang einer Düne eingebaut wer-

den können und vor Erosion schützen sollen. Zum anderen wurden kleinere Sandcontainer betrachtet, die lokal in kleineren Bereichen eingesetzt werden können, um erosionsgefährdete Stellen zu schützen. Für beide Ausführungen wurden mehrere Einbauvarianten innerhalb der Düne (beispielsweise am Dünenfuß und an der Dünenkrone) untersucht. Es konnte für sämtliche getesteten Varianten eine deutliche Reduzierung des Erosionsvolumens aufgezeigt werden. Insbesondere im Bereich des Dünenfußes und der unteren Dünenböschung eingebrachte Maßnahmen hatten den Effekt, dass einlaufende Wellen an diesen bereits brechen und sich die Dünenerosion lediglich noch auf den oberen Bereich der Düne beschränkt. Im Gegensatz dazu konnte festgestellt werden, dass bei geotextilen Schläuchen, die ausschließlich im oberen Bereich der Düne eingebaut werden, erhöhte Erosion am Dünenfuß dafür sorgt, dass einzelne Geotextilien ihre Lagestabilität verlieren und aus dem System heraustransportiert werden können. Dementsprechend ist eine Einbauvariante zu favorisieren, die einen sofortigen Schutz im direkten Wirkungsbereich der einlaufenden Wellen an der seeseitigen Dünenböschung bietet.

Als weitere Variante stellt eine in der Düne integrierte Stahlspundwand eine effektive Barriere dar, um Erosion im dahinter liegenden Bereich zu verhindern. Ebenso wie bei den geotextilen Einbauvarianten hängt die Schutzwirkung der Spundwand maßgeblich von der Einbauposition ab. Es zeigte sich, dass eine in der seeseitigen Böschung integrierte Spundwand dafür sorgt, dass sich die Dünenerosion auf den Strand- und Dünenbereich vor der Spundwand beschränkt. Bei Überstau der oberen Einbaukante in der Düne wird ebenfalls der Dünenkuppenbereich erodiert, der oberhalb der eingebauten Spundwandoberkante liegt. Folgerichtig wird der innere Dünenkern im Modellversuch durch den Einbau der Spundwand geschützt und das Gesamterosionsvolumen wird reduziert. Für den Fall, dass die Spundwand im Bereich der Krone bis zur Oberkante der Düne, also der Geländeoberkante (GOK), installiert wird, zeigte sich, dass eine Dünenerosion bis zur Spundwand ungehindert stattfinden kann, es hinter der Spundwand jedoch zu keiner weiteren Erosion kommt. Zudem wurde deutlich, dass es bei einer modellierten Einbindetiefe von 2,5 Metern unterhalb der Dünenkrone zu keiner Unterspülung der Spundwand kam.

Dünenverstärkungsvarianten				
	Spundwand	Erosionsschutzmatte (Kokos oder Basalt)	Geotextile Schläuche und Container	Vordüne
<b>Stärken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Hohe Stabilität und Beständigkeit</li> <li>➤ Standardisiertes Einbauverfahren</li> <li>➤ Geringe Störung (weitgehend unsichtbar) und negative Auswirkungen auf Flora und Fauna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Hergestellt aus natürlichen Materialien zur Vermeidung von Plastikverschmutzung</li> <li>➤ Schnelle Installation (anpassungsfähig an Gelände)</li> <li>➤ Naturverträglich (kein Hindernis für Flora und Fauna)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Schneller Einbau mit verfügbaren Sedimentressourcen</li> <li>➤ Anpassungsfähige Einbaugeometrien</li> <li>➤ Hohe Stabilität und Haltbarkeit (auch bei Ausspülung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dynamisches System mit natürlichem Wachstumspotenzial</li> <li>➤ Kein Fremdmaterial, nur lokaler Sand</li> <li>➤ Natürliches System bleibt erhalten</li> </ul>
<b>Chancen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Verbleibende Schutzwirkung auch nach Dünenerosion</li> <li>➤ Langlebige Lösung (mit erhöhtem Sicherheitsgefühl)</li> <li>➤ Anpassbare Einbindetiefe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Oberflächennahe Verlegung mit geringen Erdarbeiten</li> <li>➤ Lange Haltbarkeit der Basaltfasern</li> <li>➤ Vorübergehender Schutz durch Kokosfasern während Vegetationswachstum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Langfristige Lösung</li> <li>➤ Flexible Installation und kurzfristige Nutzung</li> <li>➤ Nach ordnungsgemäßer Installation nicht sichtbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Erhöhte Schutzwirkung durch Verringerung der angreifenden Wellenenergie</li> <li>➤ Erhaltung natürlicher Dünendynamik</li> <li>➤ Entstehung einer dynamisch stabilen Düne</li> </ul>
<b>Schwächen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Feste Barriere ohne Durchlässigkeit</li> <li>➤ Sehr materialintensive Installation</li> <li>➤ Verletzungsgefahr an scharfen Kanten, wenn diese nach einer Sturmflut freiliegen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Begrenzte Haltbarkeit von Kokosfasermatten (ca. 3 Jahre)</li> <li>➤ Vorübergehender Erosionsschutz durch Kokosmatten</li> <li>➤ Fremdmaterial Einsatz im Nationalpark</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Installation erfordert umfangreiche Eingriffe in die Natur</li> <li>➤ Erdarbeiten führen zu Bodenbewegungen</li> <li>➤ Neubau nach Sturmflutschäden erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Großer Sedimentverlagerung bei Stürmen</li> <li>➤ Geringere Stabilität im Vergleich zu etablierten Dünenystemen</li> <li>➤ Begrenzte Lebensdauer</li> </ul>
<b>Risiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Beschränkte Entwässerung</li> <li>➤ Begrenzte Haltbarkeit aufgrund von Korrosion</li> <li>➤ Potenzielle Unterspülungsgefahr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Geringe Säure-, Abrieb- oder Wasserbeständigkeit</li> <li>➤ Mangelhafter Schutz bei Bruch vieler Fasern</li> <li>➤ Beschränkte Haltbarkeit von Naturmaterialien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Verschmutzung nach Sturmfluten</li> <li>➤ Fremdmaterial im Schadensfall</li> <li>➤ Beschränkte Haltbarkeit des Materials</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dünenerosion und langfristiger Erholungsprozess</li> <li>➤ Potenziell unzureichendes Schutzniveau bei aufeinanderfolgenden Sturmflutereignissen</li> <li>➤ Beschränkte Sandverfügbarkeit</li> </ul>



SWOT-Analyse-Ergebnisse der Versuchsvarianten für eine technisch verstärkte Dünengeometrie

Luftaufnahme des Dünensystems „Maleens Knoll“. Der naturräumliche Übergang von Wald und Dünen in den Nationalpark Wattenmeer ist in Schleswig-Holstein einzigartig. Das Dünensystem schützt den Ortsteil St. Peter-Bad vor Sturmfluten



## 5. Fazit: St. Peter-Ordings Natur schützen und an den Meeresspiegelanstieg anpassen

Die vielfältigen Lebensräume von St. Peter-Ording sind nicht nur **Naturschatz**, sondern auch ein **zentraler Bestandteil der regionalen Identität und Lebensqualität**. Doch diese einzigartige Landschaft steht vor großen Herausforderungen, denn der Klimawandel und der zukünftig beschleunigte Meeresspiegelanstieg werden die Küste zunehmend verändern. Steigende Wasserstände und Sturmfluten bedrohen nicht nur die natürlichen Lebensräume, sondern auch die Schutzfunktion der Dünen und Salzwiesen vor Sturmfluten. Gleichzeitig steigt der Nutzungsdruck durch Tourismus und Freizeitaktivitäten. Umso wichtiger ist es, sich vorzubereiten.

Das **Projekt „Sandküste St. Peter-Ording“** erforschte umfassend, wie Strand und Dünen miteinander wirken und welchen Beitrag sie für den Küstenschutz leisten. Die Forschungsergebnisse der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel zeigen ein detailreiches Bild der dynamischen Veränderungen im Küsten- und Strandsystem von St. Peter-Ording. Im

Mittelpunkt stand die **Untersuchung der geomorphologischen Entwicklung des Strandes und des Nordfriesischen Wattenmeers**. Historische Analysen und aktuelle Messungen verdeutlichen, wie sich der Strand seit etwa 1900 stark verändert hat: Nach Phasen von Anlagerung und Erosion wuchs die Strandfläche bis 2016 auf etwa zwölf Quadratkilometer an, während seine Höhe in weiten Bereichen um mehr als einen Meter zunahm. Der Strand wächst weiter in nördliche und südliche Richtung. Über die letzten Jahrzehnte jedoch **verlieren zentrale Abschnitte jährlich bis zu acht Meter an Land**. Die starken Rückgangsraten werden auf die Exposition zu Wellen und Stürmen der Küstenlinie und die besondere Beschaffenheit der Ablagerungsbedingungen des Außensandes zurückgeführt.

Die folgende Abbildung verdeutlicht den Küstenrückgang exemplarisch durch die dargestellte Küstenlinie im Jahr 2025 sowie eine zukünftig verlagerte Küstenlinie im Jahr 2050. Durch den Strand-



Strand mit Strandseglern, Dünen und Strandseen im Ortsteil Ording (im Hintergrund)



Die Küstenlinie 2025 (transparent) und die zukünftig verlagerte Küstenlinie (2050) als beispielhafte Visualisierung bei einem sich fortsetzenden Küstenrückgang (keine ortsgetreue Darstellung). Die Punkte sollen die Verlagerung der heutigen (blaue Punkte) und die zukünftig verdichteten (gelb dargestellt) Nutzungsschwerpunkte von Freizeitaktivitäten veranschaulichen (z. B. Spazierengehen, Strandevents oder Strandsegeln)



verlust könnte sich die Freizeitnutzung verdichten. Computermodelle verdeutlichen, dass die **Sedimenttransporte** im Küstenvorfeld nicht allein von den Gezeiten, sondern stark von Wellen- und Windinflüssen bestimmt werden. Typische Transportpfade verlaufen entlang der Küste, wobei Sedimente vom südöstlichen Ebbdelta des Wattstromes Hever über den Rochelsteertsand zum Strand von St. Peter-Ording transportiert und teils wieder zurückgeführt werden. Diese komplexen Muster beeinflussen maßgeblich die langfristige Küstenentwicklung. Angesichts der komplexen Situation des Strandsystems sind belastbare **Modellrechnungen zur zukünftigen Entwicklung** nicht möglich. Die Fortschreibung der aktuellen Rückgangsraten zeigt kritische Verhältnisse für den zentralen Bereich des Strandes schon in den nächsten Jahrzehnten. Es besteht Forschungsbedarf insbesondere für die Berücksichtigung des komplexen geologischen Aufbaus des Strandkörpers und der Wirkung der Wellen und Strömungen. Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse, dass **St. Peter-Ording ein hochdynamisches und empfindliches Küstensystem** ist, dessen Stabilität zunehmend durch Meeresspiegelanstieg und Extremereignisse gefährdet wird.

Die Forschung der Technischen Universität Braunschweig im Projekt „Sandküste“ verdeutlicht, dass natürliche Küstenelemente wie die **Düne „Maleens Knoll“** eine entscheidende Schutzfunktion übernehmen. Diese Düne ist einer der wenigen unbedeckten Küstenabschnitte auf dem schleswig-holsteinischen Festland und schützt die Gemeinde auf natürliche Weise vor Sturmfluten. Experimente im Wellenkanal und Computermodelle belegen, dass dieses Dünensystem heute ein hohes Schutzniveau bietet. Doch mit weiter steigendem Meeresspiegel und häufigeren Extremereignissen wird das Schutzz Potenzial langfristig abnehmen.

Um auch künftig sicher und naturverträglich geschützt zu sein, braucht es neue Ansätze. Im Projekt wurden verschiedene möglichst **naturnahe Küstenschutzmaßnahmen** für die Düne „Maleens Knoll“ untersucht, etwa der gezielte Einsatz von Erosionsschutzmatten oder geotextilen Schläuchen. Auch eine in der Düne intelligent verborgene Spundwand könnte zukünftig eine Option sein, wenn der Meeresspiegel sehr stark ansteigt. Solche Lösungen können die Schutzwirkung erhöhen, ohne die

Landschaft oder ihre ökologische Funktion zu sehr zu beeinträchtigen, wenn sie zwischen Naturschutz und Küstenschutz gut abgestimmt geplant und umgesetzt werden. Sie verbinden Sicherheit vor Sturmfluten soweit wie möglich mit der Ökologie und der Wahrung des Landschaftsbildes – und zeigen, dass sich Küstenschutz und Naturschutz nicht ausschließen, sondern gegenseitig stärken können.

Ein zentraler Erfolg des Projekts liegt zudem in der engen Zusammenarbeit von Wissenschaft, Naturschutz, Küstenschutz und der Gemeinde St. Peter-Ording. Nur gemeinsam lassen sich Strategien entwickeln, die die Menschen vor Ort ebenso berücksichtigen wie die Bedürfnisse der Natur. So entsteht ein neues Verständnis für die Rolle natürlicher Prozesse und die Bedeutung der Küstenlebensräume als Verbündeten bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels.

Darüber hinaus hat das Projekt **Leuchtturmcharakter für die gesamte Wattenmeerregion**. Die gewon-

nen Erkenntnisse und entwickelten Ansätze können auch in anderen Gebieten beispielgebend sein – überall dort, wo natürliche Küstenschutzsysteme erhalten und gestärkt werden sollen. Auf diese Weise leistet St. Peter-Ording einen wichtigen Beitrag zur naturbasierten Klimaanpassung und zum langfristigen Schutz des Wattenmeeres.

St. Peter-Ording könnte zum Vorbild werden, wie der Schutz der Küstennatur, nachhaltiger Tourismus und die Anpassung an den Klimawandel Hand in Hand gehen können. St. Peter-Ording sollte dazu eine wissenschaftsbasierte und langfristige Klimaanpassungs- und Biodiversitätsstrategie entwickeln – **für eine lebendige, sichere und zukunftsfähige Küste**.

Aus der Forschung zur Veränderung des Strandes und der Dünen, zu ihrer Stabilität und Schutzwirkung sowie zu naturnahen Küstenschutzmaßnahmen für St. Peter-Ording lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:

### Monitoring, Forschung und Stärkung der natürlichen Küstenschutzfunktion

- 1 **kontinuierliche, hochfrequente Vermessung** von Strand- und Vorstrandmorphologie zur genauen Beobachtung von Veränderungen durchführen
- 2 **laufende wissenschaftliche Begleitforschung und Weiterentwicklung von Computermodellen bzw. morphodynamischen Modellen (3D, KI)** etablieren, um Prozesse und Rückgangsraten besser zu verstehen
- 3 **Erhalt und Stärkung natürlicher Schutzsysteme** (z. B. Strand, Dünen, Salzwiesen) als erste „Verteidigungslinie“ gegen Sturmfluten fördern
- 4 **Einklang von Küstenschutz, Naturschutz und Landschaftsästhetik** suchen

### Kooperation und regionale Strategien

- 1 **enge Zusammenarbeit** von Wissenschaft, Naturschutz, Küstenschutz und Gemeinde St. Peter-Ording zur Entwicklung integrierter Lösungen
- 2 Förderung eines **gemeinsamen Verständnisses natürlicher Prozesse** und ihrer Rolle für den Schutz der Region
- 3 Entwicklung einer **vorausschauenden und integrierten Klimaanpassungs- und Biodiversitätsstrategie** für St. Peter-Ording

# Literaturquellen

Bruun, P. M. (1962): Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion. American Society of Civil Engineers Journal of the Waterways and Harbours Division. 88: 117–130. Online: <https://doi.org/10.1061/JWHEAU.0000252>

Christians, E. (1925): Führer durch das Nordseebad St. Peter-Ording. 24. Auflage, Hamburg, Druck und Verlag von E. A. Christians.

Daly, C. J.; Winter, C.; Bryan, K. R. (2015): On the morphological development of embayed beaches, Geomorphology, Volume 248, S. 252–263, ISSN 0169-555X. Online: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.07.040>

Gemeinde St. Peter-Ording (2018): Strandentwicklungskonzept St. Peter-Ording. Online: <https://www.st-peter-ording.de/fileadmin/userdaten/pdf-dokumente/konzepte-studien-plaene/2018-spo-strandentwicklungskonzept.pdf>

Herrling, G. und Winter, C. (2014): Morphological and sedimentological response of a mixed-energy barrier island tidal inlet to storm and fair-weather conditions, Earth Surf. Dynam., 2, S. 363–382. Online: <https://doi.org/10.5194/esurf-2-363-2014>

Hofstede, J. (1997): Morphologie des St. Peter-Ording-Sandes. Die Küste, 59, S. 143–171. Online: <https://henry.baw.de/bitstream/1c66d33e-88c8-4b93-9c5a-24a14dfc5637/download>

Mehrtens, B.; Lojek, O.; Kosmalla, V.; Bölker, T.; Goseberg, N. (2023): Foredune growth and storm surge protection potential at the Eiderstedt Peninsula, Germany. Front. Mar. Sci. 9:1020351. doi: 10.3389/fmars.2022.1020351. Online: <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2022.1020351/full>

Mehrtens, B.; Vinkelau, L.; Bölker, T.; Lojek, O.; Ahrenbeck, L.; Schweiger, C.; Kosmalla, V.; Schürenkamp, D.; Goseberg, N. (2025): Benchmarking Overview on Methods for Spatiotemporal Detection of Dune Erosion in Physical Modeling. Journal of Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering. Online: <https://ascelibrary.org/doi/epdf/10.1061/JWPED5.WWENG-2138>

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (MELUR) (2015): Strategie für das Wattenmeer 2100. Online: [https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/kuestenschutz/Downloads/strategieWattenmeer2100.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/kuestenschutz/Downloads/strategieWattenmeer2100.pdf?__blob=publicationFile&v=1)

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (MELUR) (2016): Managementplan für das Fauna-Flora-Habitat-Gebiet DE-1617-301 „Dünen St. Peter“, Kiel. Online: [https://umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/Natura2000/pdf/mplan\\_inet/1617-301/1617-301\\_MPlan\\_Text.pdf](https://umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/Natura2000/pdf/mplan_inet/1617-301/1617-301_MPlan_Text.pdf)

Roelvink, D. (UNESCO-IHE und Deltares, Niederlande); Reniers, A. (University of Miami, USA) (2011): A Guide to Modeling Coastal Morphology. Online: <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/7712#t=aboutBook>

Schoonees, T.; Gijón Mancheño, A.; Scheres, B. et al. (2019): Hard Structures for Coastal Protection, Towards Greener Designs. Estuaries and Coasts 42 (7), S. 1709–1729. Online: <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00551-z>

Soares, C.; Herrling, G. and Winter, C. (2022): Tracing 100 years of morphological development of the Sankt Peter-Ording sand, a barrier beach system in the North Frisian Wadden Sea., EGU General Assembly 2022, Wien, Österreich, 23.–27. Mai 2022, EGU22-9380, Online: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-9380>

Soares, C.; Galiforni-Silva, F.; Winter, C. (2024): Representative residual transport pathways in a mixed-energy open tidal system, Journal of Sea Research, Volume 201, 102530, ISSN 1385-1101, Online: <https://doi.org/10.1016/j.seares.2024.102530>

Soares, C.; Knies, A.; Winter, C. (2025): RepD3D: A tool for representative period identification and associated boundary condition extraction. MethodsX, Volume 14, 103109, ISSN S. 2215-0161. Online: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.103109>

Weber, A.; Fröhlich, J.; Gettner, S.; Scheffler, P. (2023): Naturbericht St. Peter-Ording. Aktueller Zustand der Natur der Küstenlandschaft und Perspektiven zu ihrem Schutz. Online: [https://sandkueste-spo.de/wp-content/uploads/Naturbericht-St.-Peter-Ording\\_Projekt-Sandkueste\\_Sept2023.pdf](https://sandkueste-spo.de/wp-content/uploads/Naturbericht-St.-Peter-Ording_Projekt-Sandkueste_Sept2023.pdf)

Winter, C. (2018): Impacts of Coastal Developments on Ecosystems. In: Salomon, M.; Markus, T. (Hrsg.): Handbook on Marine Environment Protection. Springer, Cham. S. 139–148. Online: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-60156-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-60156-4_7)

Winter, C.; Fröhlich, J.; Goseberg, N.; Lojek, O.; Mehtens, B.; Soares, C.; Schürenkamp, D.; Weber, A. (2025): A transdisciplinary research initiative on coastal protection and nature conservation in Sankt Peter Ording, North Sea: Is it a living lab?. In: Die Küste, 95 - Online First. Online: <https://henry.baw.de/bitstream/ams/2c74dd65-18a9-49ca-a43a-8fc7be6f75f/download>

WWF Deutschland (2015): Klimaanpassung an weichen Küsten. Fallbeispiele aus Europa und den USA für das schleswig-holsteinische Wattenmeer, Husum. Online: <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Studie-Klimaanpassung-an-weichen-Kuesten.pdf>

# Impressum

## Stand

Mai 2026

## Herausgeber

WWF Deutschland

## Autor:innen

Jannes Fröhlich & Anja Piening (WWF Deutschland), Kapitel 1, 2 & 5  
Prof. Dr. habil. Christian Winter, Arne Knies & Clayton Soares (CAU Kiel), Kapitel 3  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Nils Goseberg, Dr.-Ing. Oliver Lojek & Björn Mehtens (TU Braunschweig), Kapitel 4

Zusätzlich bedanken wir uns bei folgenden Personen für ihre Hinweise bei der Erarbeitung dieses Berichts:  
Sönke Breckling, Dr. Jacobus Hofstede und Sabine Gettner

## Bildreferenzen

(in alphabetischer Reihenfolge):

Archiv Ortschronik

St. Peter-Ording S. 10 (unten links)

CAU Kiel S. 14/15, 16, 18/19

Sabine Gettner S. 17

Lars Hansen S. 13 (oben)

Rabe Landschaften S. 11, 15 (oben), 22/23, 35

Hans-Ulrich Rösner S. 12 (unten)

Martin Stock Titel-/Rückseite, S. 5, 6/7, 8/9, 10 (oben links), 12 (oben, mitte), 20/21 (bearbeitet von Rabe Landschaften), 32/33, 34, 36

TU Braunschweig S. 26, 27, 29, 31

Annkatriin Weber S. 3, 10 (rechts), 13 (unten), 24/25 (bearbeitet von Rabe Landschaften)

## Lektorat

Carla Mönig

## Gestaltung

Mathias Neitzel & Jonathan Seger (Rabe Landschaften)

## Produktion

Marco Ballach, WWF

<https://sandkueste-spo.de>  
[projekt@sandkueste-spo.de](mailto:projekt@sandkueste-spo.de)

Klimaneutraler Druck auf 100 % Recyclingpapier

© 2026 WWF Deutschland, Berlin

