

Küstenschutz in Hörnum auf Sylt; eine Kausalkette?

Jacobus Hofstede

Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein;
jacobus.hofstede@mekun.landsh.de

Zusammenfassung

Die Nordseeküste der Gemeinde Hörnum im Süden von Sylt unterliegt seit Jahrhunderten der Erosion und dem Küstenrückgang. Durch den Bau einer Ferienhaussiedlung zu Anfang der 1960er-Jahre in den Dünen westlich der Ortslage wurden Küstenschutzmaßnahmen dringend erforderlich. In dieser Fallstudie werden die an der Nordseeküste von Hörnum seit 1962 umfassend erfolgten Küstenschutzmaßnahmen beschrieben. Ihre jeweilige Funktionalität und morphologischen Auswirkungen werden diskutiert - einschließlich der Frage, ob es sich bei den Maßnahmen um eine Kausalkette handelt.

Es wird postuliert, dass die untersuchten Küstenschutzmaßnahmen in Hörnum teilweise eine Kausalkette darstellen können. Weiterhin wird festgestellt, dass Maßnahmen zum Schutz der Ortslage Hörnum vor Küstenabbruch und Überflutung aus dem Westen auch ohne die Errichtung der Ferienhaussiedlung erforderlich geworden wären. Das Ende der 1960er-Jahre errichtete Tetrapodenbauwerk hat seinen Zweck nur zeitweise erfüllt. Zum Zeitpunkt seiner Errichtung entsprach es dem Stand der Technik, wobei es nicht optimal geplant wurde. Der Küstenschutz im Bereich der Hörnum-Odde hätte vermutlich auch mit weniger in die natürlichen Prozesse und Entwicklung eingreifenden Sandersatzmaßnahmen gewährleistet werden können. Sandersatzmaßnahmen wären jedoch über die Zeit deutlich kosten-intensiver und hätten im Verlauf der Zeit einen zunehmend größeren CO₂-Fußabdruck im Vergleich zur gewählten Lösung zur Folge.

Schlagwörter

Küstenschutz, Küstenrückgang, Schleswig-Holstein, Sylt, Hörnum

Summary

The North Sea coast of the municipality of Hörnum in the south of Sylt has been subject to coastal erosion and retreat for centuries. After the construction of a holiday home development in the early 1960s, the need for coastal protection became acute. This case study describes the comprehensive protective measures implemented along the North Sea coast of Hörnum since 1962. It further discusses their respective functionality and morphological impacts, including the question of whether the measures constitute a causal chain.

This study postulates that the coastal protection measures in Hörnum in part form a causal chain. Furthermore, measures to protect the Hörnum area from coastal erosion and flooding from the west would have become necessary even without the construction of the holiday home development. The massive tetrapod structure, built in the late 1960s, fulfilled its purpose for a time. At the time of its construction, it represented the state of the art, but was not planned optimally. Coastal protection in the Hörnum-Odde area could probably have been ensured with sand replacement measures that interfere less with nature. However, these



measures would likely have been much more expensive and would have resulted in an increasingly larger carbon footprint over time compared to the chosen solution.

Keywords

Coastal protection, coastal retreat, Schleswig-Holstein, Sylt, Hörnum

1 Einleitung

Küstenschutz ist der Schutz von Menschen und seinen materiellen Erzeugnissen vor den Folgen von Sturmfluten: Überschwemmung und Erosion (eigene Definition). Maßnahmen des Küstenschutzes stellen physische Eingriffe in die Landschaft dar und verändern in unterschiedlichem Ausmaß die natürliche Dynamik und Entwicklung der Küste (Nordstrom 2014). Diese Änderungen können im ungünstigen Fall zum Erfordernis weiterer Maßnahmen im Sinne einer Kausalkette führen. In einer Kausal- bzw. Ursache-Wirkungskette bewirkt ein Ereignis ein anderes, das selbst wiederum Ursache eines weiteren Ereignisses ist, bis das letzte Ereignis der Kette bewirkt wurde. Die Ursachen sind zeitlich nacheinander gereiht und voneinander abhängig. Ein klassisches Beispiel im Küstenschutz ist ein Buhnenfeld, das, bei unsachgemäßer Planung, wegen Erosionen an der Leeseite mit weiteren Buhnen verlängert werden muss.

An der Westküste der Gemeinde Hörnum auf Sylt wurden in den vergangenen Jahrzehnten sukzessive Küstenschutzmaßnahmen durchgeführt. Direkter Auslöser war die Errichtung einer Ferienhaussiedlung (Kersig-Siedlung) in den Dünen zu Anfang der 1960er-Jahre. Bereits kurz nach ihrer Errichtung entstand wegen der Erosion des vorgelagerten Dünengürtels das Erfordernis einer Küstensicherung, zunächst nur für die Siedlung (Czock und Wieland 1965). Der ersten Sicherungsmaßnahme folgten jedoch eine ganze Reihe von weiteren Maßnahmen (Gripp 1966, ALW Husum 1985, ALW Husum 1997, Dette und Gärtner 1987, LKN.SH 2025), bis letztendlich der gesamte südwestliche Bereich der Gemeinde Hörnum betroffen war. Es stellt sich die Frage, ob hier von einer Kausalkette wegen unsachgemäßer Planung gesprochen werden kann. Zur Beantwortung dieser Frage werden in dieser Fallstudie – nach einem kurzen regionalen Überblick – die Küstenschutzmaßnahmen in ihren jeweiligen Ursachen und Wirkungen beschrieben. Anschließend werden die Auswirkungen diskutiert und die Maßnahmen bewertet. Der Beitrag schließt mit Schlussfolgerungen und einem Ausblick ab.

2 Regionaler Überblick

Die Gemeinde Hörnum nimmt den südlichen Bereich der Insel Sylt ein (Abbildung 1). Nach Westen grenzt sie über etwa sechs Kilometer an die Nordsee, nach Südwesten und Süden an das Ebb-Delta des Hörnum Seegats und nach Osten an das Wattenmeer. Laut Statistikamt Nord lebten nach dem Zensus 2022 insgesamt 895 Menschen in Hörnum, 581 davon in potenziell signifikanten Hochwasserrisikogebieten (T. Dey, persönliche Kommunikation, 08.11.2024). Diese hochwassergefährdeten Küstengebiete (grüner Bereich in Abbildung 1 rechts) würden während einer zweihundertjährigen Sturmflut (HW₂₀₀; in Hörnum NHN +4,45 m) überflutet, wenn keine Schutzanlagen vorhanden wären. Der

natürliche Hochwasserschutz in Hörnum besteht hauptsächlich aus Dünen. Gemäß Generalplan Küstenschutz Schleswig-Holstein (MELUND 2022) werden 160 der insgesamt 581 potenziell überflutungsgefährdeten Menschen darüber hinaus durch einen 370 m langen Regionaldeich der Gemeinde Hörnum entlang der Wattenmeerküste vor Überflutung geschützt (Abbildung 1 rechts). Die sogenannte Kersig-Siedlung, der Auslöser für die ersten größeren Küstenschutzmaßnahmen an der Nordseeküste von Hörnum, liegt in den Dünen westlich der Ortslage (Abbildung 1 rechts). Die dortigen Häuser liegen zwar bis auf wenige Ausnahmen in ausreichender Höhenlage, sind aber Küstenabbruch gefährdet.



Abbildung 1: Lage der Gemeinde Hörnum am südlichen Ende der Insel Sylt im Deutschen Wattenmeer. Die rote Linie in der Abbildung links zeigt die Grenze des Gemeindegebietes. In der Abbildung rechts sind in grüner Farbe die Flächen unterhalb von NHN +4,45 m bzw. vom lokalen HW_{200} dargestellt.

Seegangs-, Tide- und Triftströmungen sowie äolische Prozesse, superponiert auf einem langfristig steigenden Meeresspiegel, bewirken als treibende Kräfte starke morphologische Änderungen an den sandigen Küsten der Gemeinde Hörnum. Seit 1968 nimmt darüber hinaus die Bedeutung von künstlichen Eingriffen im System, d. h. von Menschen stark zu (Kapitel 3). Laut Fachplan Küstenschutz Sylt (ALW Husum 1985) wich die Seeseite der Düne an der Nordseeküste von Hörnum über den Zeitraum 1880 bis 1951 jährlich um 1,3 m zurück, über den Zeitraum 1951 bis 1984 um 2,2 m. Die deutliche Zunahme seit 1950, die sich an der gesamten Westküste von Sylt zeigte, wird im Fachplan mit einer gleichzeitig starken Zunahme der Sturmflutaktivität erklärt. Gemäß Lamprecht (1957) verlängerte sich die Insel zwischen 1870 und 1955 im Bereich Hörnum Odde (Abbildung 1 rechts) um 600 m nach Süden. Er folgert, dass sich ein Teil des nach Süden transportierten Abbruchmaterials der Westküste mittels Hakenbildung an der Südspitze der Insel wieder ablagert. Luftbilder des LKN.SH (2025) zeigen, dass die Odde ihre südlichste Position zu

Ende der 1950er-Jahre erreichte und dort bis Ende der 1970er-Jahre verharnte. Eine Auswertung dieser Luftbilder (Abbildung 2) ergibt, dass sich die Südspitze der Insel danach bis Ende 2025 um insgesamt etwa 1.300 m verkürzte, etwa ein Drittel davon zwischen 2014 und 2017. Wie in Abbildung 1 links erkenntlich, liegt inzwischen ein Teil des Gemeindegebietes von Hörnum – wie auch des 1972 eingerichteten Naturschutzgebietes Hörnum Odde – im Hörnum Seegat.

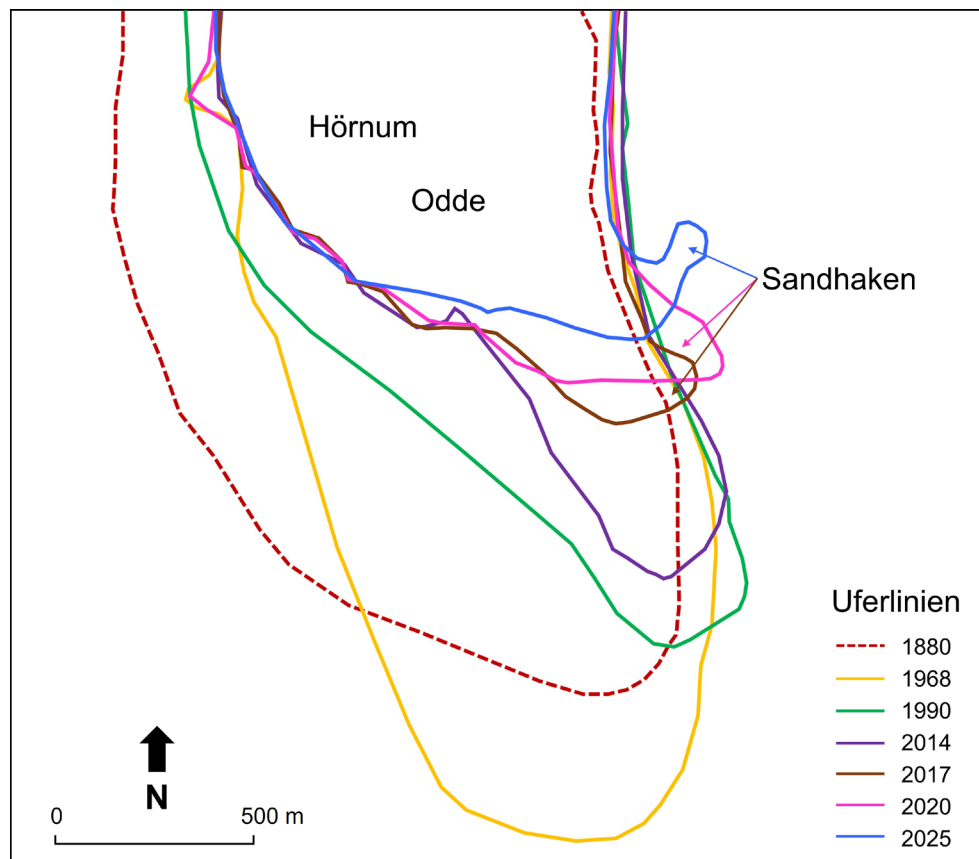


Abbildung 2: Entwicklung der Hörnum Odde von 1880 bis 2025 anhand der Preußischen Landesaufnahme von 1880 (Umrisslinie, Tidephase unbekannt) und Luftbildern seit 1968 des LKN.SH (2025). Dargestellt sind die jeweiligen Uferlinien, soweit möglich um MTnw, in generalisierter Form.

3 Entwicklung des Küstenschutzes an der Nordseeküste von Hörnum

Nachfolgend werden die an der Nordseeküste der Gemeinde Hörnum seit Anfang der 1960er-Jahre durchgeführten Küstenschutzmaßnahmen in ihren jeweiligen Ursachen und Wirkungen beschrieben (Tabelle 1).

Trotz Bedenken wegen der exponierten Lage (Czock und Wieland 1965) wurde zu Anfang der 1960er-Jahre die sogenannte Kersig-Siedlung in den Dünen westlich und südwestlich der Ortslage Hörnum errichtet. Ein Teil dieser Ferienhaussiedlung war nur durch eine schmale Düne mit einer mittleren Höhe von NHN +4,8 m von der Nordsee getrennt (Abbildung 3a). Kurz nach Fertigstellung der Siedlung trat am 17. und 18. Februar 1962 die bis dahin höchste Sturmflut an der Nordseeküste Schleswig-Holsteins mit einem Höchstwasserstand von NHN +3,82 m bzw. MThw +2,92 m am Pegel Hörnum auf. Die der Siedlung vorgelagerte Düne wurde auf einer Länge von etwa 250 m durchbrochen (Abbildung 3b

und c) und die Notwendigkeit von Küstenschutzmaßnahmen akut. Kurz nach der Sturmflut erfolgte eine Ausschreibung für den Wiederaufbau der Düne mit 50.000 m³ Sand (Czock und Wieland 1965). Parallel zur Ausschreibung wurde versucht, die Düne mit Sandfangzäunen aus Reisigholz und Halmpflanzungen wiederaufzubauen (Abbildung 3d). Bis September 1964 konnten so fast 51.000 m³ Sand eingefangen und eine neue Düne mit einer Höhe von NHN +7,2 m geschaffen werden. Eine künstliche Aufschüttung erübrigte sich. Czock und Wieland (1965) bezeichnen dieses biotechnische Verfahren zur Wiederherstellung des natürlichen Hochwasserschutzes bereits damals, als „die naturnahe Methode“ – Jahrzehnte bevor das Konzept „naturbasierter Küstenschutz“ wissenschaftlich eingeführt wurde (u. a. Temmerman et al. 2013). Obwohl erste biotechnische Maßnahmen auf Sylt bereits aus dem 16. Jahrhundert bekannt sind (LKN.SH 2025), werden sie im Bereich Hörnum regelmäßig erst seit Anfang der 1980er-Jahre in Kombination mit Sandaufspülungen (siehe unten) durchgeführt.

Tabelle 1: Chronologie der seit Anfang der 1960er-Jahre durchgeführten Küstenschutzmaßnahmen an der Nordseeküste der Gemeinde Hörnum (siehe auch Abbildung 8).

Jahr	Maßnahme
1962-64	Biotechnischer Dünenverbau westlich der Kersig-Siedlung (Abbildung 3d)
1967-68	Bau Tetrapodenwerk (Längswerk, Querwerk, Stummelbuhnen) (Abbildung 3f)
1983	Versuchsstrandaufspülung vor dem nördlichen Längswerk
1983	Errichtung Sandwall südlich der Kersig-Siedlung
1986	Erste reguläre Strandaufspülung nördlich des Querwerkes
1990	Erste Strandaufspülung südlich des Querwerkes (Abbildung 7)
1993	Anfang regelmäßige Strandaufspülungen vor dem Tetrapodenwerk
2003	Anlage von zwei Öffnungen im Querwerk
2003 und 2005	Schließung der Öffnungen im Querwerk
2004	Anfang Vorstrandaufspülungen nördlich des Querwerkes
2005	Anfang Rückbau des nördlichen Längswerkes
2006	Instandsetzung des abgesackten Querwerkes
2012	1. Verlängerung des südl. Längswerkes (mit Sockelaufspülung) (Abbildung 4a)
2014	2. Verlängerung des südl. Längswerkes (mit Sockelaufspülung) (Abbildung 4b)
2015	Ende Strandaufspülungen südlich des Längswerkes

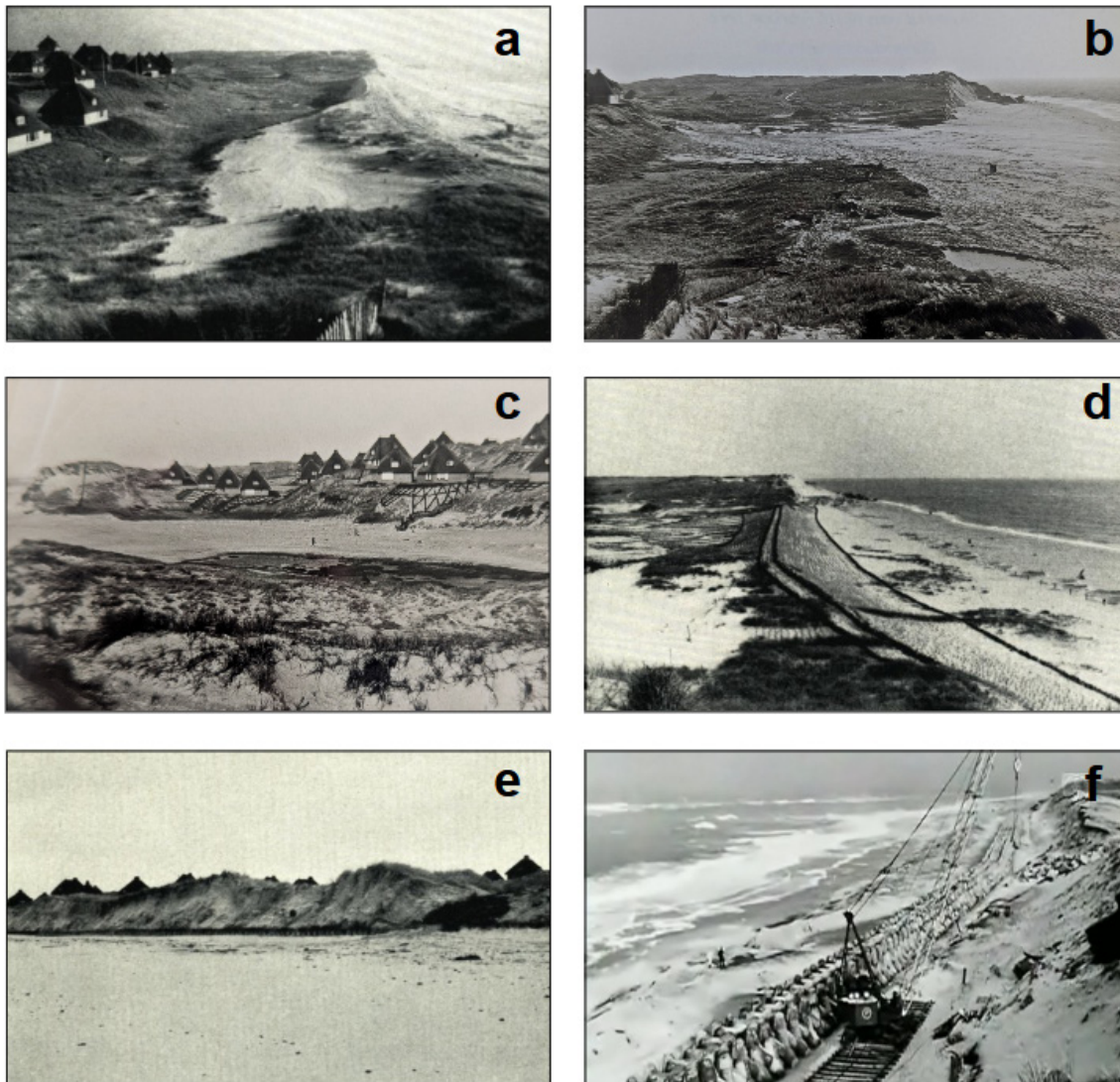


Abbildung 3: Entwicklung der Düne westlich der Kersig-Siedlung in Hörnum. Bild 3a: Zustand Anfang 1962; Bild 3b: Zustand im Frühsommer 1962 nach der Sturmflut, Blickrichtung Süd; Bild 3c: Zustand im Frühsommer 1962 nach der Sturmflut, Blickrichtung Nord; Bild 3d: Zustand im Sommer 1963 nach Anlage der Sandfangzäune und Halmpflanzungen, Blickrichtung Süd; Bild 3e: Zustand im Spätherbst 1965 mit starken Dünenabbrüchen; Bild 3f: Bau des nördlichen Tetrapoden-Längswerkes in 1968. Bilder a und d aus Czock und Wieland (1965); Bilder b und c aus Bestand LKN.SH; Bild e aus Gripp (1966); Bild f: anonymus.

Am 02.11.1965 wurde die neue Düne während einer schweren Sturmflut stark erodiert (Abbildung 3e). Aus diesem Grund sollte nunmehr der natürliche Prozess des Küstenrückganges vor der Kersig-Siedlung durch den Bau eines Tetrapoden-Längswerkes von 1.270 m Länge in Kombination mit einem Tetrapoden-Querwerk von 270 m Länge unterbunden werden (Dette und Gärtner 1987, Abbildung 3f). Mit einem Einzelgewicht von sechs Tonnen wurden im Jahre 1968 etwa vier Tetrapoden pro laufenden Meter (insgesamt ca. 5.430) auf einem Unterbau von sandgefüllten Nylonschläuchen und eine Kronenhöhe von NHN +6,0 m unmittelbar vor der Düne auf dem Strand eingebaut (LKN.SH 2025). Zur weiteren Stabilisierung dieses Längswerkes wurden in regelmäßigen Abständen fünf sogenannte Stummelbuhnen von 25 und 20 m Länge errichtet. Durch die Stummelbuhnen sollte der küstenparallele Sandtransport vor dem Längswerk unterbrochen und zur Sedimentation gebracht werden. Das Längswerk sollte somit nicht nur vor direkten Wellenangriffen

geschützt, sondern auch vor Unterspülungen bewahrt werden. Das nördliche Längswerk endete etwa 500 m nördlich der Kersig-Siedlung. In diesem nördlichen Bereich liegt die hochwassergefährdete Ortslage von Hörnum unmittelbar hinter einer hier teilweise nur 100 m breiten Schutzdüne (Abbildung 1 rechts). Das erste Querwerk wurde etwa 200 m nördlich des südlichen Endes vom Längswerk errichtet. Es sollte zu einer Sandakkumulation im nördlichen Bereich führen und verhindern, dass der Sand durch den südwärts gerichteten Küstenlängstransport in das Hörnum Seegat abwandert. Auf eine Lee-Erosion südlich des Querwerks wurde in der Planung schon hingewiesen. Der Effekt sollte allerdings in Kauf genommen werden, „da in diesem Bereich ein vermehrter Abbruch in beschränktem Umfang hingenommen werden kann“ (LKN.SH 2025). Das Tetrapodenwerk wurde 1968 in der Trägerschaft der Gemeinde Hörnum fertiggestellt. Trägerschaft und Unterhaltungspflicht wechselten 1991/92 von der Gemeinde zum Land Schleswig-Holstein. Nach Aussage von Dette und Gärtner (1987) erfüllte das Tetrapodenwerk bis etwa 1977 die Erwartungen, indem der natürliche Strandrückgang vor der Kersig-Siedlung durch Akkumulation aus dem Küstenlängstransport ausgeglichen wurde. Die andauernde Belastung führte jedoch dazu, dass die Tetrapoden trotz Unterbau und Stummelbuhnen stetig absackten. Die Dünen wurden dadurch bei Sturmfluten wieder zunehmend dem direkten Wellenangriff ausgesetzt und eine Abbruchfläche schob sich von Norden her keilförmig zwischen Längswerk und Düne vor.

Maßnahmen nördlich des Querwerkes

Aufgrund einer erneuten akuten Gefährdung der Siedlung nach einem sehr sturmflutreichen Winter wurde im Sommer 1983 eine Versuchssandaufspülung nördlich des Querwerkes durchgeführt. In einem begleitenden Forschungsvorhaben sollte geklärt werden, ob bzw. inwieweit mittels einer Sandaufspülung eine wirtschaftlich vertretbare Sicherung der Düne möglich ist (Dette und Gärtner 1987). Insgesamt wurden nördlich vom Querwerk 637.000 m³ Sand über eine Strecke von etwa 1.200 m aufgespült. Der Sand wurde aus dem drei Kilometer entfernten, durch Akkumulationen geprägten Nordwesthang des Vortrapptiefs im Hörnum Seegat (siehe Kapitel 4.2) entnommen. Im Ergebnis der Begleituntersuchungen wurde festgehalten, dass sich die Sandaufspülung bewährt habe (Dette und Gärtner 1987), da am Ende des dreijährigen Untersuchungszeitraumes vor dem nördlichen Tetrapoden-Längswerk noch ein ausreichend breiter und hoher Strand vorhanden war. Wegen der fortschreitenden Küstenerosion während Sturmfluten wurden jedoch regelmäßig weitere Aufspülungen erforderlich. Diese Aufspülungen stabilisierten zwar den Strandbereich vor Hörnum, der Vorstrand wurde jedoch weiter erodiert, und das Unterwasserprofil zunehmend steiler. Dieser Prozess ist als „coastal steepening“ bekannt (Lastrup et al. 2001). Die Folge ist eine stärkere hydraulische Belastung des Strandes, vor allem durch höhere Sturmwellen. Zur Stabilisierung des Unterwasserbereiches werden deshalb seit 2004 auch Sandverklappungen im Vorstrandbereich durchgeführt (LKN.SH 2025). Bis Ende 2021 wurden durch Sandersatzmaßnahmen insgesamt etwa 6.000 m³ Sand pro laufende Meter Küstenlinie vor der Kersig-Siedlung eingebracht (MELUND 2022).

Das nördliche Längswerk führte während Sturmfluten wegen erhöhter Turbulenzen im Tetrapoden-Gefüge zu einer stärkeren Mobilisierung des aufgespülten Sandes, während zwischen dem Bauwerk und der Düne durch abfließendes Wasser Erosionsrinnen entstanden (LKN.SH 2025). Aus diesen Gründen wurde das Längswerk in den Jahren 2005, 2012 und 2014 um insgesamt etwa 1.000 m gekürzt. Die meisten entnommenen Tetrapoden

wurden zur Instandsetzung des Querwerkes (2006) und zur Verlängerung des südlichen Längswerkes (2012, 2014) genutzt.

Maßnahmen am Querwerk

Zur Stabilisierung der Nordseeküstenlinie vor Hörnum und zur Verlängerung der Verweildauer der Sandaufspülungen an der Nord- bzw. Luv-Seite wurde das Querwerk nicht entfernt. Im Jahr 2003 wurde es an zwei Stellen geöffnet, um damit den Küstenlängstransport nach Süden zur erodierenden Hörnum Odde zu verbessern. Wegen starker Stranderosionen nördlich des Querwerkes wurde die ufernahe Öffnung bereits 2003, die uferferne Öffnung 2005 wieder geschlossen (LKN.SH 2025). Im Jahr 2006 wurde das über die Zeit abgesackte Querwerk durch Nachpacken von 320 aus dem nördlichen Längswerk entnommenen Tetrapoden instandgesetzt. Seitdem sind die Tetrapoden, insbesondere der seewärtige Bereich des Querwerkes, erneut abgesackt (LKN.SH 2025).

Maßnahmen südlich des Querwerkes

Südlich des Querwerkes setzte unmittelbar nach seiner Fertigstellung im Jahr 1968 die erwartete Lee-Erosion ein (Abbildung 4). Nach Dette und Gärtner (1987) wich die Küste hier bis 1984 lokal um bis zu 232 m bzw. 13,6 m/J zurück, während die natürliche Rückgangsrates hier zwischen 1951 und 1967 noch bei 4,3 m/J gelegen hatte. Auch die mit dem Bau des Tetrapodenwerkes durchgeführten biotechnischen Maßnahmen in den Dünen hinter dem südlichen Längswerk (Abbildung 4 links) konnten die Lee-Erosion nicht verhindern.

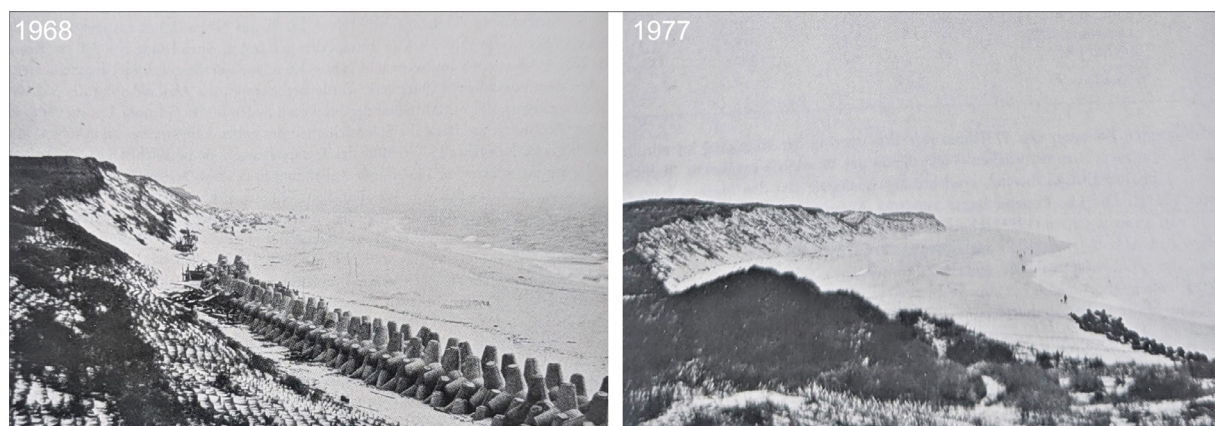


Abbildung 4: Bilder des südlichen Tetrapoden-Längswerks 1968 unmittelbar nach dem Bau (links) und 1977 (rechts). Deutlich erkennbar ist der starke Lee-Erosion im Bild von 1977 (Bilder aus Dette und Gärtner 1987).

Die bisher höchste Sturmflut in der Region trat 1981 mit einem Höchstwasserstand von NHN +4,05 m auf. Infolge der starken Erosionen während dieser Sturmflut wurde die Düne hinter dem südlichen Längswerk durchbrochen. Im Rahmen der Versuchssandaufspülung 1983 wurde deshalb entlang der südlichen Zufahrtsstraße zur Kersig-Siedlung ein etwa 250 m langer Sandwall auf NHN +5,0 m aufgeschüttet, der durch biotechnische Maßnahmen stabilisiert wurde. Vom 26. bis 28. Februar 1990 traf mit vier teilweise schweren Sturmfluten die bis dahin längste unmittelbare Abfolge von Sturmfluten auf die deutsche Nordseeküste. Der Höchstwasserstand dieser Sturmflutkette am Pegel Hörnum lag mit NHN +3,74 m fast so hoch wie 1962. Ein größerer Bereich der Hörnum Odde südlich der Kersig-Siedlung wurde überflutet (blau schraffierte Fläche in Abbildung 5 links).

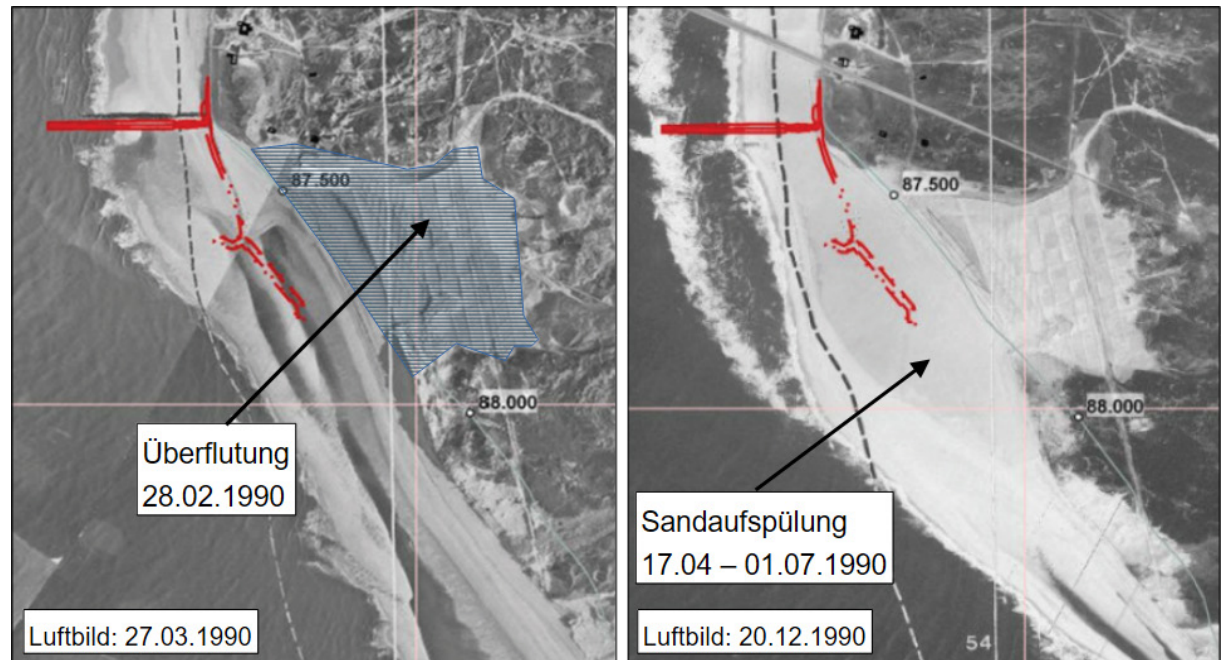


Abbildung 5: Hörnum Odde vor und nach der Sandaufspülung im Jahre 1990 (Luftbilder LKN.SH).

Zur Sicherung der Küste im Bereich der Odde wurde daher 1990 erstmalig eine komplette Sandaufspülung südlich des Querwerkes mit einem Volumen von 1,023 Mio. m³ durchgeführt. Im Luftbild vom 20.12.1990 (Abbildung 5 rechts) ist die Aufspülung gut erkennbar. Wegen der auch hier fortschreitenden Küstenerosion während Sturmfluten wurden regelmäßig weitere Aufspülungen erforderlich. Bis 2014 wurde südlich des Querwerkes insgesamt etwa 2,5 Mio. m³ Sand aufgespült.

Im Jahr 2012 wurde das Längswerk südlich vom Querwerk mit aus dem nördlichen Längswerk entnommenen Tetrapoden um etwa 210 m verlängert (Abbildung 6a). 2014 wurden schließlich fast alle im Norden verbliebenen Tetrapoden aufgenommen und das südliche Längswerk nochmals um 450 m verlängert. Insgesamt war so das südliche Längswerk bis 2014 auf etwa 820 m Länge angewachsen (Abbildung 6b). Hinter dem Tetrapoden-Längswerk haben sich – als klares Indiz für eine nachhaltige Stabilisierung dieses Küstenabschnittes – auf dem Strand Primärdünen entwickelt (Abbildung 7).



Abbildung 6: Luftbilder von den Verlängerungen des südlichen Tetrapoden-Längswerks im Jahr 2012 (a) und 2014 (b). Luftbilder aus dem Bestand LKN.SH.



Abbildung 7: Primärdünen auf dem Strand hinter dem Tetrapoden-Längswerk im Jahr 2024.

In Abbildung 8 sind zusammenfassend alle oben beschriebenen Küstenschutzmaßnahmen dargestellt.

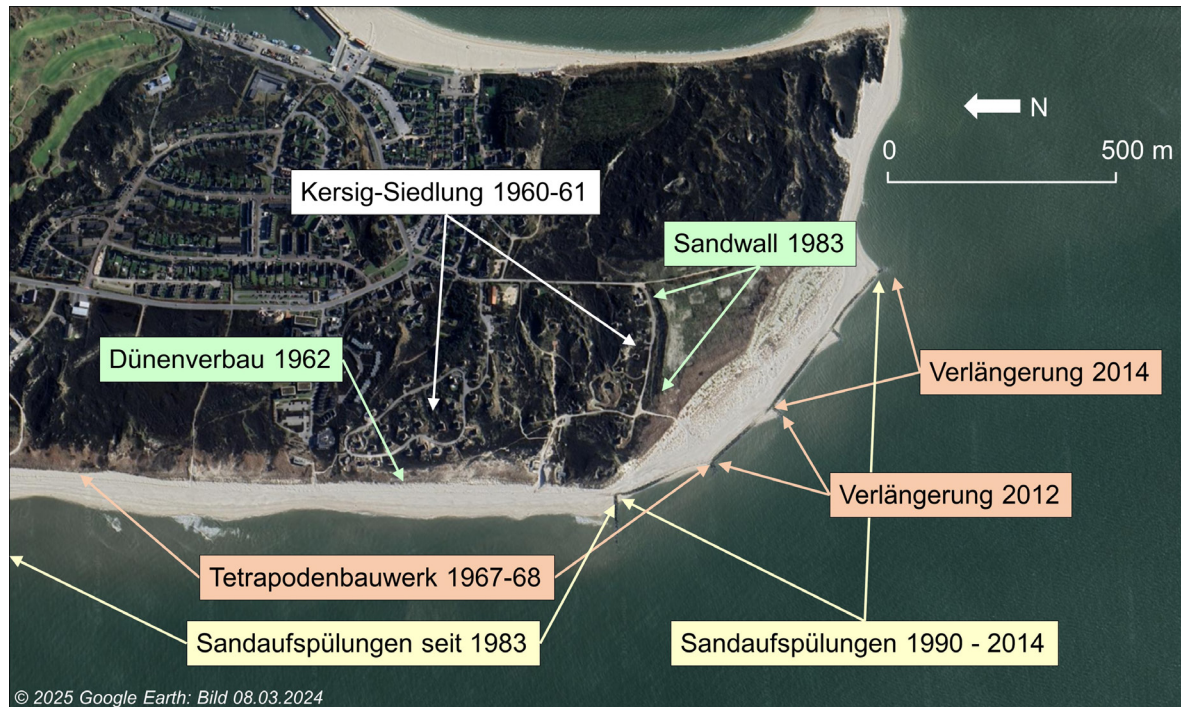


Abbildung 8: Küstenschutzmaßnahmen an der Nordseeküste von Hörnum seit 1962. Biotechnische Maßnahmen sind, bis auf den Dünenverbau 1962, nicht dargestellt.

4 Diskussion

4.1 Entwicklung der Hörnum Odde

Gemäß einer Auswertung des LKN.SH verringerte sich die mit Vegetation bewachsene Fläche der Odde infolge der Verkürzung und des Küstenrückganges im Westen von etwa 110 ha in 1968 auf weniger als 20 ha in 2025 (Abbildung 9). Es stellt sich die Frage, wie die seit Ende der 1970er-Jahre beobachtete starke Erosion der Hörnum Odde um insgesamt etwa 1.300 m bis 2025 mit dem 1968 errichteten und bis 2014 nach Süden verlängerten Tetrapodenwerk in Zusammenhang steht.

Aus Abbildung 9 geht hervor, dass die begrünte Fläche der Odde von zwei stark erosiven Phasen gekennzeichnet wurde; von 1972 bis 1990 und von 2003 bis 2017. In beiden Phasen verringerte sich die Fläche jeweils um mehr als die Hälfte. Von 1990 bis 2003 sowie seit 2017 blieb bzw. bleibt die begrünte Fläche relativ stabil. Die vier Phasen werden nachfolgend beschrieben.

Phase 1. Zwischen 1972 und 1990 nahm die begrünte Fläche der Odde um 64 ha bzw. 60 % ab, während sich ihre Länge um etwa 550 m verringerte. Es scheint plausibel, den Bau des Tetrapoden-Querwerkes in 1968 als eine Ursache für diese Abnahme zu sehen. Durch den Bau wurde das Material aus dem südwärts gerichteten Küstenlängstransport seewärts in Richtung Ebb-Delta des Hörnum Seegats abgelenkt und die Odde dadurch von der Materialzufuhr aus dem Norden größtenteils abgeschnitten. Allerdings zeigen Hofstede und Spitta (2000) auf, dass auch die flacheren Bereiche bzw. die Riffplatten des Ebb-Deltas im Hörnum Seegat in dieser Phase von starken Erosionen geprägt wurden. Zwischen 1959 und 1994 reduzierte sich die Fläche der Platen um mehr als die Hälfte, während die mittlere Höhenlage von drei der vier größeren Riffplatten um 2 bis 3 m abnahm. Erklärt wurde dies

mit der langfristigen Zunahme des Sturmseeganges infolge erhöhter Sturmflutaktivität in der deutschen Bucht seit den 1960er-Jahren (Siefert 1984). Die abnehmende Höhe der Riffplatten wird zu einer signifikanten Zunahme der Seegangsbelastung der Odde aus süd-westlicher Richtung geführt haben. Die Zunahme der Sturmflutaktivität wird somit ebenfalls zu stärkeren Erosionen und damit zum Rückgang der Odde beigetragen haben. Im Fachplan Küstenschutz Sylt 1985 (ALW Husum 1985) werden die Zunahme der hydrologischen Belastungen und die Störung des Küstenlängstransportes durch das Tetrapoden-Querwerk als Ursachen für den starken Rückgang aufgeführt.

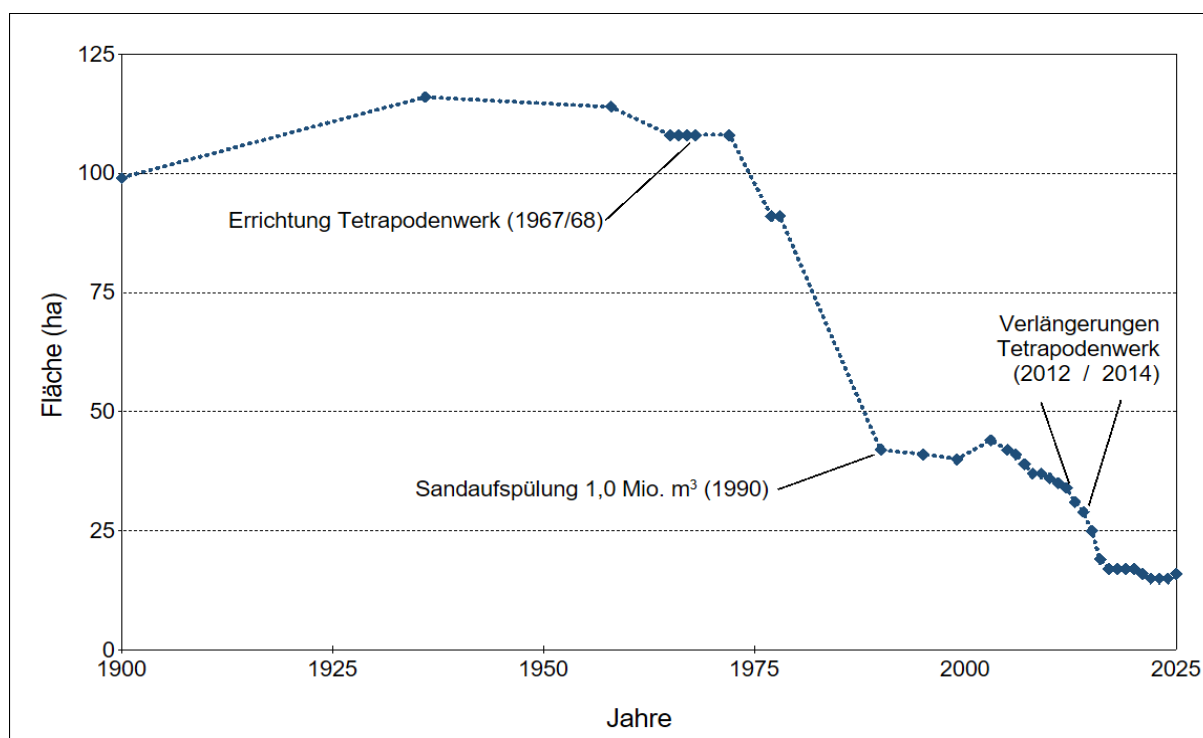


Abbildung 9: Entwicklung der begrünzten Fläche der Hörnum Odde von 1900 bis 2025 (Grundlage: Aufbereitung LKN.SH, 14.07.25).

Phase 2 Zwischen 1990 und 2003 blieb die begrünzte Fläche der Odde mit etwa 43 ha wie auch seine Länge relativ stabil. Es scheint plausibel, dass die Strandaufspülungen südlich des Querwerkes zwischen 1990 und 2002 mit einem Gesamtvolumen von etwa 1,8 Mio. m³ bzw. 150.000 m³/J die wesentliche Ursache für diese Stabilisierung darstellen. Obwohl die erosiven und Transportprozesse im Strand- und Vorstrandbereich grundsätzlich weiterliefen, verhinderte die künstliche Sandzufuhr einen Rückgang der begrünzten Odde.

Phase 3 Zwischen 2003 und 2017 verringerte sich die begrünzte Fläche der Odde um 61 % bzw. 27 ha, davon 17 ha zwischen 2014 und 2017. Die Länge der Odde nahm im gleichen Zeitraum um 600 m ab, davon etwa 420 m bzw. 140 m/J zwischen 2014 und 2017 (Abbildung 2). Die Ursache für die Flächenabnahme um 10 ha und die Verkürzung der Odde um etwa 180 m zwischen 2003 und 2012 ist wahrscheinlich die wesentlich geringere Menge an aufgespültem Sand südlich des Querwerkes in diesem Zeitraum im Vergleich zur vorherigen Phase. Insgesamt wurden 0,3 Mio. m³ bzw. 33.000 m³/J aufgespült, was zu wenig war um die Odde zu stabilisieren. Hauptursache für die starke Abnahme der Odde zwischen 2014 und 2017 waren die Verlängerungen des Längswerkes 2012 und 2014 wegen der dadurch hervorgerufenen sehr starken Lee-Erosionen. Bereits im Fachplan Küstenschutz

Sylt 1985 (ALW Husum 1985) wurde die Möglichkeit einer Verlängerung des Tetrapodenwerks nach Süden in Form einer Sichelbuhne erörtert. Als wesentlicher Nachteil eines solchen Bauwerks wurde dort aufgeführt, dass sich der Lee-Erosionsbereich dadurch nach Süden verlagert und damit gerechnet werden muss, „dass in relativ kurzer Zeit – je nach Sturmflutaktivität nach wenigen Jahren – der gesamte Teil der Hörnum Odde abgetragen wird, der südlich dieser Buhne liegt“ (ALW Husum 1985).

Phase 4 Seit 2017 verharret die begrünte Fläche der Odde bei etwa 16 ha, während ihre Länge bis 2025 nochmals um etwa 150 m bzw. 20 m/J abnahm. Eine Ursache für die relativ stabil bleibende Ausdehnung liegt vermutlich darin, dass der weitaus größte Teil der verbliebenen begrünten Odde nunmehr östlich bzw. im Schutz des Längswerkes liegt und sich hinter dem Bauwerk erste Primärdünen etabliert haben (Abbildung 5). Darüber hinaus haben die enormen Sandmengen, die durch den sehr starken Rückgang der Odde zwischen 2014 und 2017 freigesetzt wurden, zur Bildung eines Sandhakens an der Südostspitze der Odde geführt (Abbildung 2). Diese voluminöse neue Struktur kann wegen seiner morphologischen Trägheit ebenfalls zu einer gewissen Stabilisierung beigetragen haben. 2024 lagen die Südspitzen der Odde und des Längswerkes fast auf gleicher Höhe (Abbildung 8). Somit liegt die gesamte verbliebene Odde östlich bzw. im Schutz vom Längswerk. Ähnlich wie der Sandhaken kann dies zu einer weiteren Stabilisierung der Odde beitragen.

4.2 Entwicklung des Hörnum Seegats seit 2012

Es stellt sich die Frage, ob die Küstenschutzmaßnahmen die morphologische Entwicklung und Dynamik im Hörnum Seegat beeinflusst haben. Hierzu hat der LKN.SH seit 2012 fast jährlich den nördlichen Bereich des Seegats hydrographisch vermessen, daraus bathymetrische Karten erstellt und Bilanzierungen durchgeführt (Abbildung 10).

In Abbildung 10c sind die zwischen 2012 und 2024 aufgetretenen Höhenänderungen dargestellt. Insgesamt befand sich 2024 etwa 0,9 Mio. m³ Sediment mehr im dargestellten Gebiet als 2012 (T. Wöffler persönliche Kommunikation, 14.07.25). Sehr starke Akkumulationen verzeichnete über den gesamten Zeitraum die Westflanke der Hauptrinne im Hörnum Seegat, das Vortrapptief (Nr. 1 in Abbildung 10c). Gemäß einer Kartendarstellung in der Fortschreibung des Fachplans Küstenschutz Sylt (ALW Husum 1997, Abb. 15) fand diese Entwicklung auch über den Zeitraum 1939 bis 1991 statt, bei gleichzeitiger Erosion an der gegenüberliegenden Ostflanke. Sie deutet auf eine langfristig ostwärts gerichtete Verlagerung des Vortrapptiefs hin. Die starken Erosionen an der Südspitze der Odde (Nr. 2) und die starken Akkumulationen unmittelbar nordöstlich davon (Nr. 3; Sandhaken in Abbildung 2) werden in Kapitel 4.1 beschrieben. Nördlich vom Sandhaken ist ein schmaler Erosionsstreifen am Strand erkennbar (Nr. 4). Dieser Bereich wird in Kapitel 4.4 behandelt. Der Akkumulationsbereich Nr. 5a und der Erosionsbereich Nr. 5b zeigen die nordwärts gerichtete Verlagerung einer Ebbrinne im Ebb-Delta des Hörnum Seegats auf, die ursächlich mit der Verkürzung der Odde (Nr. 2) zusammenhängt. Corioliskraft und die nordwärts gerichtete Tidewelle in der Nordsee führen hier dazu, dass die südwärts gerichtete Ebbströmung im Vortrapptief nach Westen abgelenkt wird. Unmittelbar südlich der Odde (in seiner jeweiligen Lage) erodiert die nach Westen gedrängte Ebbströmung eine Rinne in das Ebb-Delta. Auch der Akkumulationsbereich Nr. 6 deutet auf eine nordwärts gerichtete Verlagerung des nördlichen Ebb-Deltasockels hin. Im Ergebnis erweitert sich das Ebb-

Delta in Richtung Norden, entsprechend der Verkürzung der Odde. Die sich linienhaft abwechselnden Akkumulations- und Erosionsbereiche bei Nr. 7 deuten auf durch Seegang induzierte Verlagerungen von Sandriffen auf der Außenflanke des Ebb-Deltas hin. Eine ähnliche küstenparallele Abfolge von Erosion und Akkumulation zeigt sich bei Nr. 8 direkt vor dem Tetrapoden-Längswerk.

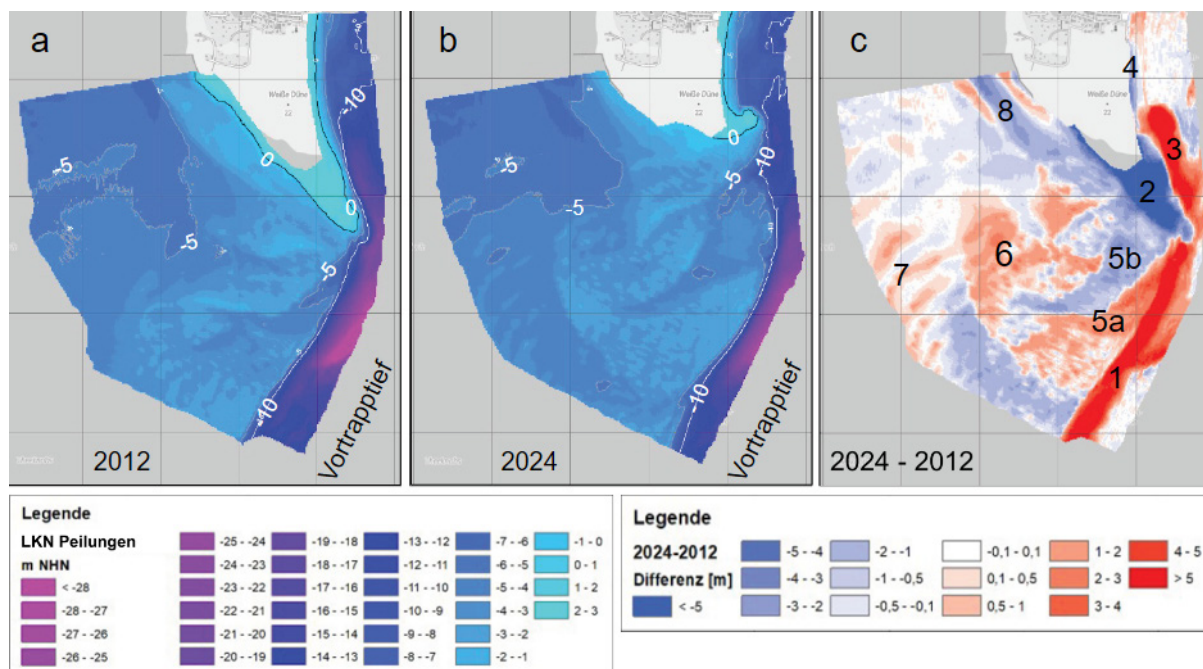


Abbildung 10: Höhenmodelle des nördlichen Bereichs des Ebb-Deltas im Hörnum für die Jahre 2012 (a) und 2024 (b) sowie eine Karte der Höhendifferenzen zwischen 2012 und 2024 (c) (Quelle: Aufbereitung LKN.SH, 14.07.25). Die Nummern in der Abbildung 9c zeigen im Text beschriebene Bereiche mit morphologischen Vorgängen.

Resümierend lassen die obigen Ausführungen vermuten, dass die morphologische Entwicklung und Dynamik im Hörnum Seegat indirekt durch die Küstenschutzmaßnahmen beeinflusst wurden, in dem sich das Ebb-Delta mit seinen charakteristischen Strukturen und Prozessen entsprechend der Verkürzung der Odde nach Norden ausgeweitet hat. Ob bzw. inwieweit die nordwärts gerichtete Ausdehnung des Sedimentkörpers zu einer Verringerung der hydraulischen Belastungen des Tetrapoden-Längswerks infolge verringerter Wassertiefen führt, wurde nicht untersucht.

4.3 Bewertung der Küstenschutzmaßnahmen

Die obigen Ausführungen zeigen den starken Einfluss der Küstenschutzmaßnahmen auf die morphologische Entwicklung der Odde seit 1968. In Anbetracht der starken Landverluste stellt sich die Frage, ob die Küstenschutzmaßnahmen zu damaliger Zeit und aus heutiger Sicht angebracht waren bzw. sind.

Dazu ist zunächst festzuhalten, dass der Küstenschutz in Hörnum bis heute funktioniert. Weder Menschen noch ihre materiellen Erzeugnisse sind durch Sturmfluten zu Schaden gekommen. Weiterhin ist die Nordseeküste von Sylt seit Jahrhunderten vom Rückgang geprägt (Lamprecht 1957), der gemäß ALW Husum (1985) infolge erhöhter Sturmflutaktivität nach 1950 nochmals stark zunahm. Für Hörnum geben Dette und Gärtner (1987)

über den Zeitraum 1951 bis 1967 (vor dem Bau des Tetrapodenwerks) einen mittleren natürlichen Rückgang von 3,4 bis 4,3 m/J an. Die Küstenlinie würde demnach ohne Sicherungsmaßnahmen heute (2025) bei anhaltendem Rückgang etwa 200 bis 250 m weiter östlich liegen. Die Schutzdüne nördlich der Kersig-Siedlung (Abbildung 1 rechts) wäre abgetragen, d. h., bei jeder Sturmflut stünde das Wasser in der Ortslage. In der Konsequenz heißt dies, dass zur Sicherung der Ortslage von Hörnum vor Küstenrückgang und Überflutung auf jeden Fall Sicherungsmaßnahmen in der Region erforderlich geworden wären.

Nach der Sturmflut von 1962 war die westliche Häuserreihe der Kersig-Siedlung ohne Schutz vor Sturmfluten. Bereits die nächste Sturmflut hätte hier zu hohen Sachschäden führen können. Der biotechnische Wiederaufbau der Düne war somit dringend erforderlich und zunächst auch erfolgreich, dies wohl auch wegen fehlender schwerer Sturmfluten bis 1965. Die Wintersaison 1965/66 zeigte aber, dass die Düne ohne zusätzliche Maßnahmen nicht zu halten war. Stand der Technik waren damals feste Bauwerke wie das Tetrapodenwerk. Im Hinblick auf eine sachgemäße Planung dieses Bauwerkes (siehe Einleitung) ist die unterschätzte Lee-Erosion südlich des Querwerks zu hinterfragen. Diesbezüglich wichtig ist die damalige Feststellung, dass im Bereich der Hörnum Odde keine schützenswerten Güter vorhanden waren, weshalb eine Erosion hier hingenommen werden konnte (ALW Husum 1985). Die Feststellung war an sich richtig. Allerdings wurde die nördlich der Odde liegende Kersig-Siedlung 1990 infolge der in diesem Ausmaß nicht vorhergesehenen Lee-Erosion südlich des Querwerkes nunmehr von der Südseite her gefährdet (Abbildung 7), weshalb hier Nachfolgemeasures in Folge unsachgemäßer Planung erforderlich wurden.

Die bei der Beseitigung des nördlichen Längswerks ausgebauten Tetrapoden wurden zum größten Teil für die Verlängerungen des südlichen Längswerkes in den Jahren 2012 und 2014 genutzt. Begründet wurden diese Maßnahmen mit dem abnehmenden Schutz der Ortslage Hörnum vor Überflutungen aus dem Süden als Folge der fortschreitenden Erosionen an der Odde. Diesbezüglich ist festzuhalten, dass die Fläche der Hörnum Odde seit 2003 zwar wieder abnahm, dem aber vermutlich – wie zwischen 1990 und 2003 – auch mit ausreichend dimensionierten Sandaufspülungen hätte begegnet werden können. Letztendlich hatte die bezweckte und erzielte Stabilisierung des Küstenabschnittes hinter dem verlängerten Längswerk den bereits im Fachplan Küstenschutz Sylt (ALW Husum 1985) vorhergesagten Verlust der Odde südlich davon zur Folge.

Aus heutiger Sicht kann hinterfragt werden, ob anstelle der Bauwerksverlängerungen 2012 und 2014 eine Fokussierung auf Sandersatzmaßnahmen zur Stabilisierung der Küste südlich des Querwerks, wie zwischen 1990 und 2002 umgesetzt, im Hinblick auf den Erhalt der Hörnum Odde und im Sinne eines naturbasierten Küstenschutzes nachhaltiger gewesen wäre. Auf Grundlage der Erfahrungen mit den Sandaufspülungen zwischen 1990 und 2002 wären hierzu 150.000 m³ Sand pro Jahr bzw. über den Zeitraum 2003 bis 2024 3,2 Mio. m³ Sand aufzuspülen. Im Schnitt kostete die Aufspülung von einem Kubikmeter Sand am Hörnum Hauptstrand (nördlich vom Querwerk) zwischen 2003 und 2024 auf Sylt etwa 6,1 €/m³ (O. Martens persönliche Kommunikation, 13.01.2026). Die Gesamtkosten bis 2024 lägen somit bei 19,5 Mio. €. Dem gegenüberzustellen sind die von 2003 bis Ende 2024 tatsächlich angefallenen Kosten für Küstenschutzmaßnahmen südlich des Querwerkes in Höhe von 5,8 Mio. €, davon 4,7 Mio. € für Sandaufspülungen und 1,1 Mio. € für den Tetrapoden-Einbau (LKN.SH 2025, O. Martens persönliche Kommunikation, 08.09.25). Hinzu kommt, dass die besiedelten Bereiche in Hörnum durch das Tetrapodenwerk

zumindest mittelfristig weiterhin ausreichend geschützt sind, während ohne dieses Bauwerk weiterhin Sandaufspülungen durchzuführen wären.

Naturschutzfachlich bzw. aus ökologischer Sicht sind die durchgeführten Küstenschutzmaßnahmen an der Nordseeküste von Hörnum kritisch zu bewerten. Sie haben zu starken Störungen und Beeinträchtigungen der natürlichen Dynamik und Entwicklung der Hörnum Odde geführt. Welche Form und Ausdehnung die Hörnum Odde heute ohne Küstenschutzmaßnahmen haben würde, lässt sich nur bedingt einschätzen. Die starken Lee-Erosionen, die zu der wesentlichen Verkürzung der Hörnum Odde beigetragen haben, wären nicht eingetreten. Der natürliche Küstenrückgang von zuletzt 3,4 bis 4,3 m/J (Dette und Gärtner 1987) hätte aber – bei weiter gleichbleibender Entwicklung – zu einer entsprechenden Verschmälerung der Odde geführt. Eine vergleichende Berechnung der ökologischen Folgen und Kosten der Küstenschutzmaßnahmen konnte im Rahmen dieser Fallstudie nicht durchgeführt werden. Sandersatzmaßnahmen sind nach Bridges et al. (2021) und Brand et al. (2025) jedoch eine weltweit eingesetzte Methode zur Stabilisierung von erosiven sandigen Küsten, die als umweltfreundlicher und weniger störend als „harte“ Lösungen wie Deckwerke oder Wellenbrecher gelten. Nach Auffassung von Staudt et al. (2021) stellen dagegen auch Sandgewinnung und -einbringung Eingriffe in die Natur dar und müssten deshalb als „weiche“ Küstenschutzmaßnahmen neu bewertet werden. Nach einer Untersuchung der ökologischen Folgen von mehreren Strandaufspülungen auf Sylt kamen Menn et al. (2003) zum Ergebnis, dass Aufspülungen im Vergleich zu sonst erforderlichen Maßnahmen eine akzeptable Methode des Küstenschutzes darstellen.

Im Hinblick auf den Klimaschutz wären schließlich die Transportwege des regelmäßig einzubringenden Sandes vom Entnahmegebiet nach Hörnum bzw. der CO₂-Fußabdruck der Sandersatzmaßnahmen nicht ohne Relevanz. Eine Berechnung auf Grundlage der Angaben vom Auftragnehmer der Strandaufspülungen ergab, dass der CO₂-Ausstoß für das Baggern und Transportieren sowie für das Aufspülen von einem Kubikmeter Sand im Bereich des Längswerks bei 5,9 kg liegt (O. Martens persönliche Kommunikation, 13.01.2026). Bei Fortführung der Strandaufspülungen hätte dies bis Ende 2024 zu einem Gesamtausstoß von 18.800 Tonnen CO₂ geführt. Für den Bau des Tetrapodenwerks Ende der 1960er-Jahre wurden 5.430 Tetrapoden mit einem Gesamtgewicht von 32.580 Tonnen bzw. einem Volumen von etwa 16.300 m³ hergestellt. Die Herstellung von Beton verursacht heute durchschnittlich 200 bis 300 kg CO₂-Äquivalente pro Kubikmeter. Daraus ergibt sich ein Gesamtäquivalentwert von 3.300 bis 4.900 Tonnen CO₂-Ausstoß. Dazu kommen etwa 2.300 Tonnen CO₂-Ausstoß für die erforderlichen Sockelaufspülungen. Weiterhin ist der transportbedingte CO₂-Ausstoß beim Neubau und bei den Tetrapoden-Verlagerungen vom nördlichen zum südlichen Längswerk zu addieren wie auch der Ausstoß beim jeweiligen Einbau. Diese lassen sich nachträglich nicht mehr ermitteln, dürften aber wesentlich geringer sein als die verbliebene Differenz (11.600 bis 13.200 Tonnen) zum CO₂-Ausstoß infolge von Strandaufspülungen. Beim Vergleich des CO₂-Fußabdrucks zwischen Strandaufspülungen und Tetrapodenwerk wäre letztlich noch die (nicht realistisch ermittelbare) Restlebensdauer des Tetrapodenwerks zu berücksichtigen. Zehn Jahre Lebensdauer (ab 2025) entsprächen gemäß der obigen Berechnung einer zusätzlichen Einsparung von 8.850 Tonnen CO₂. Wie bereits in der Einführung erwähnt, wurden im Rahmen dieser Studie keine alternativen Möglichkeiten zum Schutz der besiedelten Bereiche in Hörnum untersucht.

Resümierend ist festzuhalten, dass das Tetrapodenwerk zum Zeitpunkt seiner Errichtung dem Stand der Technik entsprach und bis Ende der 1970er-Jahre seine beabsichtigte Wirkung erzielt hat (Dette und Gärtner 1987). Der Rückbau des nördlichen Längswerkes, die Verlängerungen des südlichen Bauwerkes wie auch die Sackungen der Tetrapoden im Querwerk und im nördlichen Längswerk zeigen jedoch Defizite bei der Planung auf. Darüber hinaus wurden infolge der weiterhin erfolgenden Erosionen im Strand- und Vorstrandbereich ab Anfang der 1980er-Jahre zusätzliche Maßnahmen zum Schutz der besiedelten Bereiche in Hörnum vor Küstenabbruch und Überflutung erforderlich.

4.4 Entwicklung des Oststrandes südlich der Ortslage von Hörnum

Der sehr starke Rückgang der Odde im Zeitraum 2014 bis 2017 um 420 m hat zu einer starken Freisetzung von Sediment im System und in der Folge zur Bildung eines Sandhakens geführt (Abbildung 2). Dieser Sandhaken bewirkte, wie eine Buhne, eine Lee-Erosion im Strand- und Dünenbereich nördlich des Hakens. Durch die dadurch abnehmende Breite der Düne besteht die Befürchtung, dass sie durchbrechen und damit eine Hochwassergefährdung für die Ortslage Hörnum aus dem Süden entstehen könnte. Dies hat zu Forderungen nach Gegenmaßnahmen an die Küstenschutzverwaltung des Landes Schleswig-Holstein geführt, deren Erfüllung ein weiteres Glied in der Kausalkette darstellen würde (die Entstehung des Sandhakens ist mittelbare Folge der Verlängerungen des Tetrapodenwerkes).

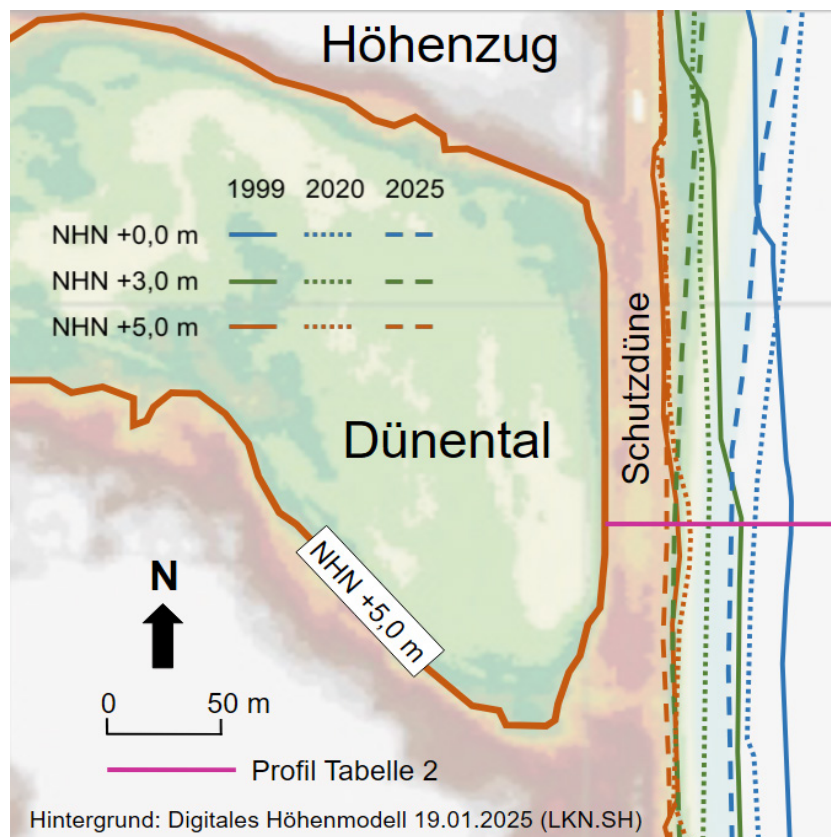


Abbildung 11: Generalisierter Verlauf der Höhenlinien NHN, NHN +3,0 m und NHN +5,0 m in den Jahren 1999, 2020 und 2025 am Oststrand südlich der Ortslage von Hörnum (Grundlage: digitale Höhenmodelle des LKN.SH, 14.07.25).

In Abbildung 11 ist für den Bereich nördlich des Sandhakens die Lage der Höhenlinien NHN, NHN +3,0 m und NHN +5,0 m in den Jahren 1999, 2020 und 2025 in generalisierter Form dargestellt. Erkennbar ist eine von Nord nach Süd und über die Zeit zunehmende Erosion im Strand- und Dünenbereich östlich eines Dünentals. Dieses unbewohnte Tal weist in Teilen eine Geländehöhe von weniger als NHN +2,0 m auf und wird durch eine etwa 25 bis 30 m breite Schutzdüne vor Überflutung aus dem Osten während Sturmfluten geschützt.

In Tabelle 2 ist die Entwicklung der drei Höhenlinien für verschiedene Zeiträume zwischen 1999 und 2025 in höherer zeitlicher Auflösung für ein repräsentatives, in der Abbildung 11 angezeigtes Profil dargestellt.

Tabelle 2: Verlagerung ausgewählter Höhenlinien über verschiedene Zeiträume zwischen 1999 und 2025 an einem repräsentativen Profil am Oststrand südlich von Hörnum (Lage in Abbildung 11). In den jeweils ersten Spalten sind die Verlagerungen (in m) über die jeweiligen Vergleichszeiträume dargestellt, in den jeweils zweiten Spalten die jährlichen Mittelwerte (in m/J). Negativwerte zeigen eine landwärts gerichtete Verlagerung auf (Grundlage: digitale Höhenmodelle des LKN.SH, 14.07.25).

	NHN-Linie	m/J	NHN +3,0 m	m/J	NHN +5,0 m	m/J
1999-2010	0	0,0	-9	-0,8	5	0,5
2010-2015	0	0,0	3	0,6	0	0,0
2015-2020	-16	-3,2	-9	-2,2	0	0,0
2020-2025	-10	-2,0	-14	-2,8	-10	-2,0
1999-2025	-26	-1,0	-29	-1,1	-5	-0,2

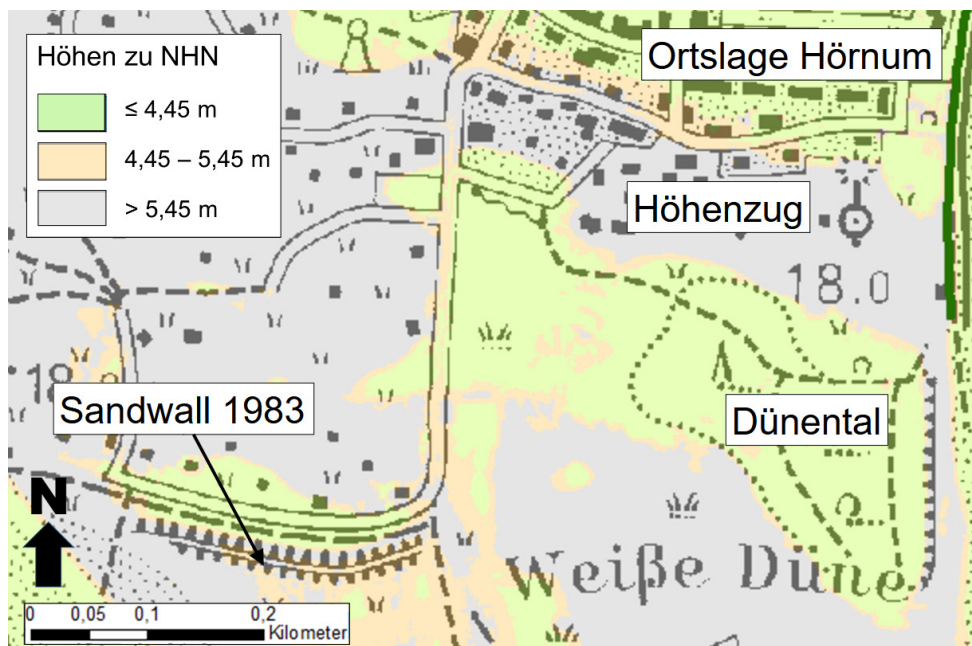


Abbildung 12: Digitales Höhenmodell vom südlichen Bereich Hörnums (Ausschnitt aus Abbildung 1 rechts). Die Flächen in grüner Farbe liegen weniger als 4,45 m über NHN und wären, ohne Schutzanlagen, bei einem entsprechenden Wasserstand überflutet. Dieser Wasserstand entspricht dem lokalen HW₂₀₀, d. h., einem Sturmflutwasserstand mit einer jährlichen Wahrscheinlichkeit von 0,005.

Ein struktureller Küstenrückgang fing demnach nach 2015 mit der Bildung des Sandhakens an. Der Rückgang der NHN +5,0 m Höhenlinie setzte erst nach 2020 ein, nachdem die

NHN +3,0 m Höhenlinie sich dieser Höhenlinie stark angenähert hatte. Seit 2015 wich der Strandbereich an diesem repräsentativen Profil um 23 (NHN +3 m) bis 26 m (NHN-Linie) zurück, während sich die NHN +5 m Linie seit 2020 um 10 m landwärts verlagerte. Die verbliebene Breite der Schutzdüne oberhalb von NHN +5 m liegt im Profil bei etwa 25 m.

In Abbildung 12 (ein Ausschnitt aus Abbildung 1 rechts) sind in grüner Farbe die Flächen im südlichen Bereich von Hörnum dargestellt, die ohne (natürliche und/oder künstliche) Schutzanlagen bei einem Wasserstand mit einer Höhe von NHN +4,45 m, dem lokalen HW_{200} , überflutet wären.

Ohne Schutzdüne würde in diesem Fall auch das Dünenal bis zu 2,5 m unter Wasser stehen. Da sich zwischen dem Dünenal und der bewohnten Ortslage ein breiter Höhenzug befindet, sind auch in diesem Extremfall keine nennenswerten Schäden infolge einer temporären Überflutung des Dünenals zu erwarten. Wegen weitestgehend fehlendem Seegang im Dünenal ist hier nicht mit starken Erosionen zu rechnen. Eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit und der Belange des Küstenschutzes sind somit bei einem Durchbruch der Düne nicht zu befürchten. Beim HW_{200} wäre allerdings die Ortslage von Hörnum bereits über den Hafen überflutet (Abbildung 1 rechts).

4.5 Kausalkette

Der Bau des Tetrapodenwerks 1968 war im Sinne einer Kausalkette (Kapitel 1) keine direkte Folge des Dünenverbaus zwischen 1962 und 1964. Er wurde aber erforderlich, da die biotechnischen Maßnahmen nicht ausreichten, um den Schutz der Kersig-Siedlung zu gewährleisten. Das Tetrapodenwerk führte zu in diesem Ausmaß nicht vorhergesehenen bzw. eingeplanten Lee-Erosionen südlich des Querwerkes. Als Konsequenz dieser Erosionen wurde die Kersig-Siedlung durch Küstenabbruch aus dem Süden gefährdet und es wurden im Sinne einer Kausalkette Folgemaßnahmen erforderlich: die Anlage eines Sandwalles südlich der Siedlung im Jahr 1983, ergänzt um Strandaufspülungen südlich des Querwerkes ab 1990. Weiterhin stellte sich heraus, dass, wegen fortschreitenden Erosionen im Strand- und Vorstrandbereich, zusätzliche Sicherungsmaßnahmen nördlich des Querwerkes erforderlich wurden: ab 1983 Strandaufspülungen, die ab 2004 um Vorstrandverklappungen ergänzt wurden. Für die Strandaufspülungen wirkte das nördliche Querwerk wegen erhöhter Erosion im Bauwerksbereich kontraproduktiv, weshalb es ab 2005 zurückgebaut wurde.

Die Verlängerungen des südlichen Längswerkes 2012 und 2014 wurden mit einem verbesserten Schutz der Ortslage Hörnum vor Überflutungen aus dem Süden begründet. Es sind somit ebenfalls keine direkten Folgemaßnahmen. Die Verlängerungen haben ebenfalls zu intensiven Lee-Erosionen geführt, wodurch letztendlich die gesamte Odde südlich des Längswerkes abgetragen wurde. Das dadurch entstandene übermäßige Sediment-Dargebot hat zur Bildung eines buhnenartigen Sandhakens geführt (Abbildung 2), der wiederum Lee-Erosionen am Oststrand südlich von Hörnum verursacht (Abbildung 11). Bisher wurden nach den Verlängerungen 2012 und 2014 jedoch keine direkten Folgemaßnahmen im Sinne einer Kausalkette erforderlich, da eine Gefährdung der besiedelten Bereiche in Hörnum durch diese Lee-Erosionen nicht zu befürchten ist.

Resümierend kann festgehalten werden, dass die Hörnum Odde ein Paradebeispiel für durch Maßnahmen erzeugte Lee-Erosionen darstellt, die hier im Sinne einer Kausalkette teilweise zu direkten Folgemaßnahmen geführt haben.

5 Synthese und Ausblick

Aus den oben angestellten Überlegungen zu den seit 1960 in Hörnum durchgeführten Küstenschutzmaßnahmen und deren morphologischen Auswirkungen lassen sich die folgenden begründeten Vermutungen ableiten.

- Die beschriebenen Küstenschutzmaßnahmen stellen teilweise eine Kausalkette dar.
- Maßnahmen zum Schutz der Ortslage Hörnum vor Küstenabbruch und Überflutung aus dem Westen wären auch ohne die Errichtung der Kersig-Siedlung erforderlich geworden.
- Das Ende der 1960er-Jahre errichtete Tetrapodenbauwerk hat seinen Zweck nur zeitweise erfüllt. Zur Zeit seiner Errichtung entsprach es dem Stand der Technik, wobei es nicht optimal geplant wurde.
- Der Küstenschutz im Bereich der Hörnum-Odde hätte vermutlich auch mit weniger in die natürlichen Prozesse und Entwicklung eingreifenden Sandersatzmaßnahmen gewährleistet werden können, wobei dies als Hypothese nachträglich ohne geeignete Modelle nicht ver- oder falsifiziert werden kann. Sandersatzmaßnahmen wären jedoch über die Zeit deutlich kosten-intensiver gewesen und hätten im Verlauf der Zeit einen zunehmend größeren CO₂-Fußabdruck im Vergleich zur gewählten Lösung zur Folge.

Eine Abschätzung der künftigen morphologischen Entwicklung der Hörnum Odde ist schwierig, da es sich um ein sehr komplexes hydro-morphodynamisches, anthropogen überprägtes Geosystem handelt. Die starken Auswirkungen der letzten Bauwerksverlängerung im Jahr 2014 scheinen allerdings abgeklungen zu sein. Wenn keine weiteren Maßnahmen am Bauwerk stattfinden und so lange sich die Hydrodynamik nicht signifikant ändert (siehe oben) scheint es morphologisch plausibel, dass sich der Sandhaken mit abnehmender Geschwindigkeit nach Norden verlagert und sich als neue Struktur im Geosystem etabliert. Die Südspitze des Längswerkes würde durch die weitere Verkürzung der Odde zunehmend den Kontakt zur Odde verlieren bzw. in den Bereich des Ebb-Deltas geraten und entsprechend angepasst werden müssen. Zur Quantifizierung dieser Hypothesen wären hydro-morphodynamische Simulationen mit entsprechend kalibrierten und validierten Modellen erforderlich. In den letzten Jahren wurden deutliche Fortschritte bei der morphodynamischen Modellierung im Wattenmeer erzielt (u. a. Lepper et al. 2024, Rahdarian and Winter 2025, Soares et al. 2024, Wang et al. 2018). Diese beziehen sich bisher auch wegen des Rechenaufwandes vor allem auf Teilbereiche wie der Strand-Vorstrandbereich oder sind eher grobskalig und zweidimensional. Damit die morphologische Entwicklung eines komplexen Systems wie das Untersuchte plausibel in der erforderlichen zeitlichen und räumlichen Auflösung simuliert werden kann, besteht weiterhin Forschungs- und Entwicklungsbedarf in der prozessbasierten numerischen Modellierung sandiger Küsten.

Schließlich zeigt diese Fallstudie erneut die Bedeutung vorsorglicher Raumordnung an sandigen Küsten als ersten Baustein eines nachhaltigen Küstenrisikomanagements auf (Hofstede 2007). Erst durch menschliche Nutzungen bzw. mit der Entstehung von Vulnerabilitäten an sandigen Küsten werden Küstenschutzmaßnahmen erforderlich, die oft Folgemaßnahmen nach sich ziehen und an den verstärkten Meeresspiegelanstieg anzupassen bzw. zu ertüchtigen sind. Auch aus diesem Grund sollten bisher nutzungsfreie Küstenabschnitte möglichst nutzungsfrei bleiben. Mit diesem Ziel sind im aktuellen Landesentwicklungsplan Schleswig-Holstein (LEP 2021) erstmals Vorranggebiete für den Küstenschutz

und die Klimafolgenanpassung im Küstenbereich ausgewiesen. Diese Bereiche, wie zum Beispiel der Küstenstreifen bis 150 Meter landwärts von Steilufern, sind von neuen raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen, die nicht dem Küstenschutz dienen, und sonstigen nur schwer revidierbaren Nutzungen, die im Konflikt mit Belangen des Küstenschutzes und der Anpassung an den Klimawandel stehen, freizuhalten. Bestehende Nutzungen bleiben jedoch unberührt, weshalb mit diesem Instrument nur eine weitere Zunahme von Vulnerabilitäten verhindert werden kann. Ein Ansatz zur Reduzierung der Vulnerabilitäten stellt der geregelte Rückzug aus den gefährdeten Bereichen dar (Haasnoot et al. 2021, O'Donnel 2022). Voraussetzung für eine erfolgreiche partizipative Umsetzung ist dabei die örtliche Akzeptanz (Hofstede 2019, Wolff et al. 2026). Da ein Großteil der schleswig-holsteinischen Küsten intensiv genutzt wird, werden insbesondere vor dem Hintergrund verstärkt ansteigender Meeresspiegel auch langfristig Küstenschutzmaßnahmen erforderlich bleiben.

6 Danksagung

Viele der Ausführungen in dieser Fallstudie basieren auf nicht veröffentlichten Messdaten und Datenaufbereitungen des LKN.SH. Für die Möglichkeit, diese Informationen zu nutzen, wird an dieser Stelle ausdrücklich gedankt. Weiterhin danke ich den beiden Reviewern. Ihre konstruktive Kritik hat zu einer wesentlichen Verbesserung dieses Manuskriptes geführt.

7 Literaturverzeichnis

ALW Husum: Fachplan Küstenschutz Sylt. Amt für Land- und Wasserwirtschaft Husum, Husum, 1985.

ALW Husum: Fachplan Küstenschutz Sylt – Fortschreibung 1997. Amt für Land- und Wasserwirtschaft Husum, Husum, 1997.

Brand, E.; Lodder, Q.; Quataert, E.; Slinger, J.: Sustainable coastline management – the cumulative effects of 30 years of nourishments in the Netherlands. *Ocean and Coastal Management* 270, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2025.107895>, 2025.

Bridges, T. S.; King, J. K.; Simm, J. D.; Beck, M. W.; Collins, G.; Lodder, Q.; Mohan, R. K. (eds.): *International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management*. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center. <http://dx.doi.org/10.21079/11681/41946>, 2021.

Bruun, P.: Sea level rise as a cause of shore erosion. *American Society Civil Engineers Proceedings, Journal Waterways & Harbors Division*, 88, 117–130, 1962.

Czock, H.; Wieland, P.: Naturnaher Küstenschutz am Beispiel der Hörnum-Düne auf der Insel Sylt nach der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962. *Die Küste*, 13, 61–72, 1965.

Dean, R. G.: Equilibrium beach profiles: characteristics and applications. *Journal of Coastal Research* 7, 53–84, 1990.

Detle, H.-H.; Gärtner J.: Erfahrungen mit der Versuchssandvorspülung vor Hörnum im Jahre 1983. *Die Küste*, 45, 209–258, 1987.

Gripp, K.: Ursachen und Verhinderung des Abbruches der Insel Sylt. *Die Küste*, 14, 2, 170–182, 1966.

Haasnoot, M.; Lawrence, J.; Magnan, A. K.: Pathways to coastal retreat. *Science* 372, 287–1290. <http://doi.org/10.1126/science.abi6594>, 2021.

Hanson, H.; Brampton, A.; Capobianco, M.; Dette, H. H.; Hamm, L.; Laustrup, C.; Lechuga, A.; Spanhoff, R.: Beach nourishment projects, practices, and objectives – a European overview. *Coast. Eng.*, 47, 81–111, [https://doi.org/10.1016/S0378-3839\(02\)00122-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3839(02)00122-9), 2002.

Hofstede, J. L. A.; Spitta, V.: Morphogenese und -dynamik im Seegat und Ebb-Delta des Hörnum Tiefs. *Die Küste*, 62, 141–157, 2000.

Hofstede, J. L. A.: Küstenschutz im Küstenrisikomanagement. *Hansa* 6, 102–104, 2007.

Hofstede, J. L. A.: On the feasibility of managed retreat in the Wadden Sea of Schleswig-Holstein. *Journal of Coastal Conservation*. <https://doi.org/10.1007/s11852-019-00714-x>, 2019.

Hofstede, J. L. A.: Status and prospects of nature-based solutions for coastal flood and erosion risk management in the Federal State of Schleswig–Holstein, Germany. *Journal of Coastal Conservation*, <https://doi.org/10.1007/s11852-024-01042-5>, 2024.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A.; Connors, S. L.; Péan, C.; Berger, S.; Caud, N.; Chen, Y.; Goldfarb, L.; Gomis, M. I.; Huang, M.; Leitzell, K.; Lonnoy, E.; Matthews, J. B. R.; Maycock, T. K.; Waterfield, T.; Yelekçi, O.; Yu, R.; Zhou, B. (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, <https://doi.org/10.1017/9781009157896>, 2021.

Lamprecht, H.-O.: Uferveränderungen und Küstenschutz auf Sylt. *Die Küste*, 6, 2, 39–93, 1957.

Laustrup, C.; Madsen, H. T.; Knudsen, S. B.; Sørensen, P.: Coastal Steepening in Denmark. *Proc. of the 27th International Conference on Coastal Engineering (ICCE)*, [https://doi.org/10.1061/40549\(276\)190](https://doi.org/10.1061/40549(276)190), 2001.

Lepper, R.; Jänicke, L.; Hache, I.; Jordan, Chr.; Kösters, K.: Exploring the tidal response to bathymetry evolution and present-day sea level rise in a channel–shoal environment. *Ocean Sci.*, 20, 711–723. <https://doi.org/10.5194/os-20-711-2024>, 2024.

LEP: Landesentwicklungsplan Schleswig-Holstein – Fortschreibung 2021. Ministerium für Inneres, ländliche Räume, Integration und Gleichstellung des Landes Schleswig-Holstein, Kiel, 2021.

LKN.SH: Fachplan Küstenschutz Sylt. Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein, <https://www.schleswig-holstein.de/LKN>, 2025.

LWG: Landeswassergesetz vom 13. November 2019. Gesetz- und Verordnungsblatt für Schleswig-Holstein, 15, 425–462, 2019.

MELUND: Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein – Fortschreibung 2022. Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein, <https://www.schleswig-holstein.de/Kuestenschutz>, 2022.

Menn, I.; Junghans, C.; Reise, K: Buried alive – effects of beach nourishment on the infauna of an erosive shore in the North Sea. *Senckenbergiana Maritima*, 32, 125–145, 2003.

Nordstrom, K. F.: Living with shore protection structures: a review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 150 (A), 11–13, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.11.003>, 2014.

O'Donnel, T.: Managed retreat and planned retreat: a systematic literature review. *Phil. Trans. R. Soc. B* 377: 20210129. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0129>, 2022.

Rahdarian, A.; Winter, Ch.: Process-based numerical modelling up and down beach morphological states. *Geo-Marine Letters* 45:14, <https://doi.org/10.1007/s00367-025-00802-y>, 2025.

Siefert W.: North Sea tide and storm surge investigation. *Proceedings of the 19th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, New York, 1749–1764, 1984.

Soares, C. C.; Galiforni-Silva, F.; Winter, Ch.: Representative residual transport pathways in a mixed-energy open tidal system. *Journal of Sea Research* 201, , 2024.

Staudt, F.; Gijssman, R.; Ganai, C.; Mielck, F.; Wolbring, J.; Hass, Chr.; Goseberg, N.; Schüttrumpf, H.; Schlurmann, T., Schimmels, S.: The sustainability of beach nourishments: a review of nourishment and environmental monitoring practice. *Journal of Coastal Conservation* 25 <https://doi.org/10.1007/s11852-021-00801-y>, 2021.

Temmerman, S.; Meire, P.; Bouma, T. J.; Herman, P. M. J.; Ysebaert, T.; De Vriend, H. J.: Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. *Nature Perspectives* 504, 79–83, <https://doi.org/10.1038/nature12859>, 2013.

Wang, Z. B.; Elias, E. P. L.; van der Spek, A. J. F.; Lodder, Q.: Sediment budget and morphological development of the Dutch Wadden Sea: impact of accelerated sea-level rise and subsidence until 2100. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw* | 97-3, <https://doi.org/10.1017/njg.2018.8>, 2018.

Wolff, C.; Bade, F.; Kraan, C. M.: Insights from managed retreat projects in Europe. *Earth's Future* 14, <https://doi.org/10.1029/2025EF007012>, 2026.