

Karsten REISE & Christian BUSCHBAUM

## **Mehr Sand statt Stein für die Ufer der Nordseeküste**

### **More sand than stone for the shores of the North Sea coast**

#### **Abstract**

Rising sea level at sedimentary shores entails a hunger for sand to lift near-shore bottoms accordingly. To meet this demand, waves tend to take sand from the shoreline. However, the resulting shoreline retreat is rarely tolerated at populated coasts. To stop shoreline erosion, hard defence structures frequently are deployed at the North Sea coast. These hard defences divert the hunger for sand to those shores not yet defended. This produces a long-shore domino effect, replacing a sequence of zoned sedimentary habitats rich in biodiversity. Submerged hard defences may serve as gateways for alien species invasions. The consequences are habitat loss and ecosystem transformation.

Where recreational sandy beaches are subject to erosion, artificial sand replenishments are often used to compensate for losses. Although this enhances the level of disturbance, organisms dwelling in beaches are adapted to cope with such dynamics. Sand nourishments may also help to avoid the negative effects hard structures have on the sedimentary shore environment. As an alternative to the sprawl of hard coastal defences we here suggest to flush sand through pipelines from offshore sandy bottoms towards the Wadden Sea. In contrast to sand replenishments confined to exposed beaches, the intervals between successive renewals at sheltered shorelines would extend over several decades. This could allow near-shore zones to adapt their morphology to the rising level of the sea, and characteristic biota to colonize the offered substrate. Shores already armed by hard defences could be supplied with sand deposits in the form of spits and bars to initiate a diverse transition zone between land and sea.

These sand deposits may serve to mitigate wave forces, may help to regain former habitat diversity, and with their dynamics constitute an attractive feature of the coast-scape. Sand nourishments at the inner shore of the North Sea coast would not only restore lost habitats but also could proactively prevent further habitat degradation by adapting the coastal slope to the rising level of the sea.

**Keywords:** alien species, coastal defence, habitat restoration, sand nourishment, sea level rise, Wadden Sea

# 1 Einleitung

Trotz umfangreicher Eindeichungen seit dem Mittelalter ist das Wattenmeer an der Nordseeküste eine Naturlandschaft von globaler Bedeutung geblieben. Sie zeichnet sich aus durch (1) die weltweit größten zusammenhängenden Sedimentflächen im Gezeitenbereich, (2) ein vielfältiges Biotopmosaik aus permanent, periodisch oder nur episodisch mit Meer-, Brack- oder Süßwasser bedeckten Bereichen bis hin zu Trockenhabitaten in den Küstendünen, (3) hohe biogene Filterwirkung auf die vom Land und von der See her durchfließenden Wassermassen und (4) eine Schlüsselrolle für wandernde Fisch- und Vogelarten im gesamten nordostatlantischen bzw. nordwesteurasischen Raum. Am Erhalt dieser ökologischen Kerneigenschaften sollte sich ein Küstenmanagement orientieren. Dieser Beitrag befasst sich mit den anthropogen umgeformten Ufern im Wattenmeer. Wie und warum wurden sie verändert, was für eine Zukunft haben sie angesichts eines schneller steigenden Meeresspiegels und wie könnten Küsten- und Naturschutz einander so ergänzen, dass künftige Ufer den Anforderungen beider Seiten gerecht werden? Die hier vorgetragene Argumentation kondensiert und erweitert eine frühere Fassung (Reise 2003), basiert auf einer quantitativen Betrachtung der historischen Entwicklung im Wattenmeer (Reise 2005) und geht konform mit dem Erhalt essentieller ökologischer Funktionen der Nordseeküste.

## 2 Historische Entwicklung

An der Nordseeküste lebten die Menschen einst auf Wohnhügeln in einer amphibischen Marschlandschaft (Bantelmann 1966, Behre 2003). Sturmfluten düngten und erhöhten gleichzeitig mit ihren Schlickfrachten die umliegenden, extensiv genutzten Wiesen. Erst die Eindeichung der Marschen beendete die natürliche Anpassung an den steigenden Meeresspiegel. Schon im Mittelalter wurde die gesamte Marsch von den Niederlanden bis nach Dänemark von Deichen umsäumt (Wolff 1992, Behre 2002, Reise 2005).

Neuem Landbedarf wurde mit Landgewinnungsarbeiten vor den Deichen entsprochen. Außerdem sollen Vorländer die Deiche vor direktem Wellenangriff bei Sturmfluten schützen. Dafür wurde das ufernahe Watt mit einem Netzwerk von Buschlahnungen überzogen (Abb. 1, Reise 2005). Die halbdurchlässigen Lahnungen bestehen aus doppelten Pfahlreihen, zwischen die Buschwerk geflochten wird. Sie dämpfen die Wellenenergie und erhöhen die Sedimentation. Zusätzlich wurden zwischen den Lahnungen noch Grabenlabyrinth ausgehoben, um die Sedimentation weiter zu steigern. Der Erfolg hängt weitgehend von natürlicher Sedimentzufuhr ab, die zwischen einzelnen Küstenabschnitten sehr unterschiedlich ausfallen kann. Bei Sedimentmangel tritt Ufererosion auf, die in der Regel mit Deckwerken aus Stein gestoppt wird.

Die Nordseeinseln wurden erst durch Eisenbahn und Dampfschiffe zu erreichbaren Ferienzeilen. Nicht zuletzt um die neuen Kureinrichtungen vor dem bewegten Meer zu sichern, begann nach 1850 auch dort der Bau von Deichen, Ufermauern und Bühnen. So entstand nach und nach ein küstenweites Bollwerk gegen das ansteigende Meer.



**Abb.1** Steinpackungen sichern den unteren Hang eines Erddeiches, direkt davor Wattflächen mit Buschlahnungen. Aufnahme bei Tideniedrigwasser. Bei normalem Tidehochwasser ist der dunkle Bereich des Steindeckwerkes überspült. Insel Föhr, Näsborn 2004

### 3 Wo liegt das Problem?

Die Nordseeküste ist durch Eindeichungen und befestigte Ufer in ein Korsett geraten und kann dadurch auf den Meeresspiegelanstieg nicht mehr ausreichend mit morphologischen Anpassungen reagieren. Der gegenwärtige Anstieg des mittleren Tidehochwassers von 2,5 mm im Jahr könnte sich bis 2100 verdoppeln (CPSL 2001). Allein die bisherige anthropogene Erwärmung der Atmosphäre um 0,8°C wird aber schon einen globalen Meeresspiegelanstieg um bis zu einem Meter nach sich ziehen, allerdings erst bis Ende dieses Jahrhunderts, weil die Wärmeausdehnung der Ozeane ein sehr langsamer Vorgang ist. Doch es geht weiter. Bei der sehr wahrscheinlich gewordenen Verdopplung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre entsprechend einer Erwärmung um 3°C ist bis 2300 mit einer Wärmeausdehnung der oberen Meeresschicht um 0,4-0,9 m, durch Abschmelzen von Gebirgsgletschern um 0,2-0,4 m, durch bröckelndes Grönlandeis um 0,9-1,8 m und der Westantarktis um 1-2 m zu rechnen, zusammen 2,5-5,1 m (WBGU 2006). Bei solch einem Anstieg würden Watten permanent unter Wasser geraten, verbliebene Salzwiesen vom Rand her abgetragen und Sandinseln verstärkt landwärts verlagert (CPSL 2005).

Während der Küstenschutz auf den Meeresspiegelanstieg mit höheren Deichen und verstärktem Uferschutz reagiert, bleibt der Naturschutz in den Nationalparks des Wattenmeeres beim Konzept des Nichteingreifens („Natur Natur sein lassen“). Dieser Unterschied führt langfristig bei künstlich festgelegten Ufern und bei weiterhin steigendem Meeresspiegel zum Verlust der Salzwiesen und Watten. Zu suchen ist

daher ein gemeinsames Schutzprogramm, das die Sicherheitsinteressen der Küstenbewohner mit Möglichkeiten der Entfaltung natürlicher Küstenprozesse verbindet.

#### **4 Versteinerte Ufer**

Ursache für Biotopverluste im Uferbereich sind die Eindeichungen und damit das Fehlen der früher ausgedehnten episodischen Überflutungsräume. Das erhöht bei Sturmfluten die hydrodynamische Energie vor den Deichen und wirbelt Sedimente auf (Flemming 2002). Zum anderen löst der Anstieg des Meeresspiegels einen Sandhunger im Uferbereich aus (Louters & Gerritsen 1994, French 2001). Der Abstand zwischen Wasseroberfläche und Meeresboden tendiert dazu konstant zu bleiben, um weiterhin die Wellenergie flach auslaufen zu lassen. Das Meer holt sich den dafür nötigen Sand in der Regel vom Ufer (French 2001, Nordstrom 2000). Dieser natürliche Anpassungsprozess der Küstenmorphologie an den steigenden Meeresspiegel geriet mit dem Landanspruch der am Ufer siedelnden Menschen in Konflikt.

Sind die Ufer zur Abwehr des Landverlustes mit Steinwällen gesichert worden, kann dort der Sandbedarf nicht mehr gestillt werden (Reise & Lackschewitz 2003). Die Erosion greift nun verstärkt da an, wo die Sicherungswerke enden und in ungesicherte Uferabschnitte übergehen. Durch weitere Sedimentverlagerungen nimmt das Gefälle meist auch vor den harten Ufern zu. Die Folge sind länger und mächtiger gebaute Steinufer. Das hat dazu geführt, dass alle Halligufere, viele Wattseiten der Inseln sowie neue Deiche am Festland mit Deckwerken aus Stein gesichert wurden (Abb. 1).

Die Landgewinnungsarbeiten mit Buschlahnungen und Drainagegräben schufen gegenüber einer natürlichen Salzwiesensukzession zwar stark abweichende Habitatstrukturen, aber die charakteristischen Pflanzenarten blieben. Die künstlichen Hartufer (Deiche mit Deckwerken, Steinwälle und Ufermauern) setzen dagegen eine abrupte Grenze zum Watt, wo sich vorher eine sedimentäre Biotopsequenz am flachen Übergang zwischen Land und Meer entfalten konnte. Sie stellen eine Verfälschung der regionalspezifischen Sedimentufer dar und führen eine der Wattenmeerküste fremde Biotopform ein. Wie die Eindeichungen haben sich auch die künstlichen Hartufer immer weiter ausgebreitet (Reise 2005).

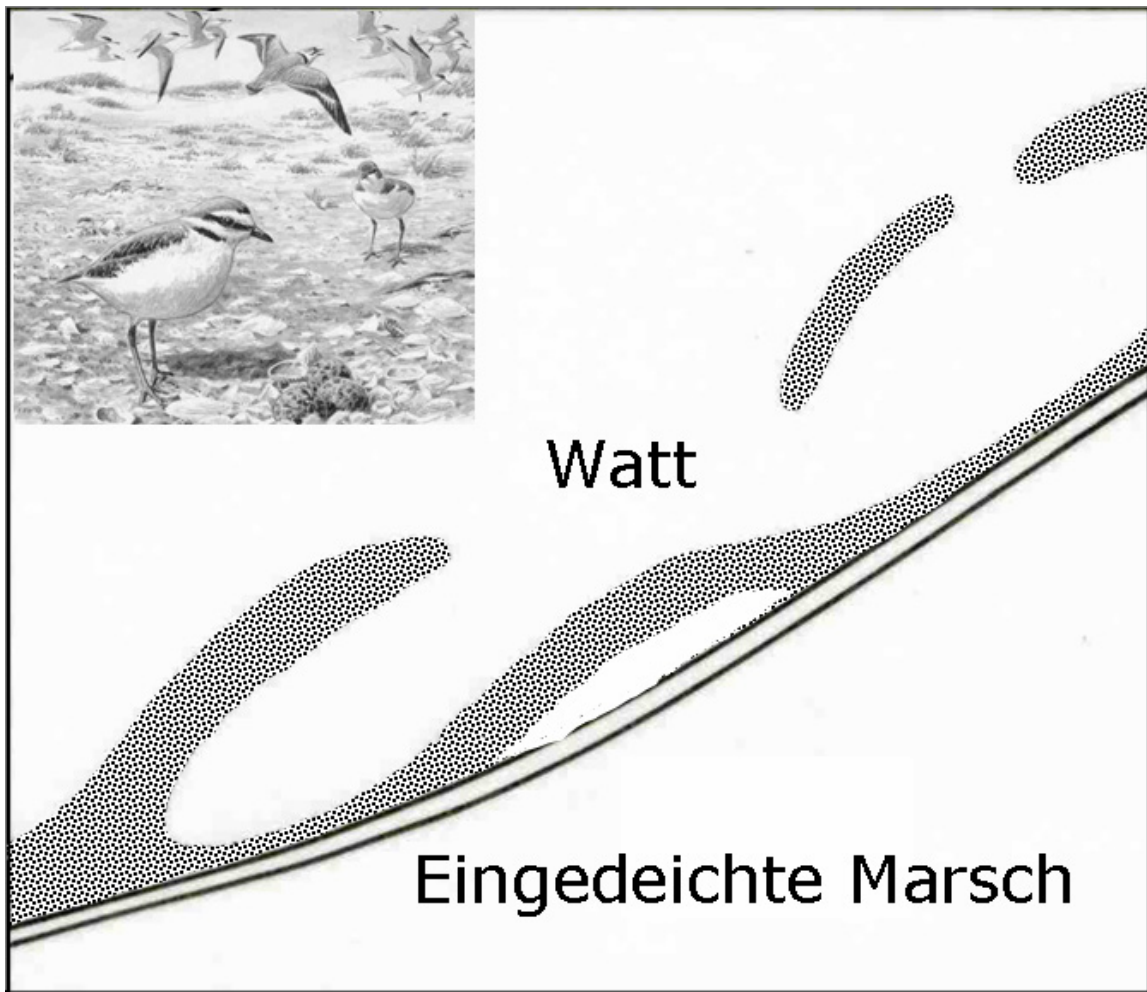
Die Bereiche künstlicher Steinufer unter der Hochwasserlinie werden von Algen und Invertebraten besiedelt, deren natürliches Vorkommen im Wattenmeer vornehmlich auf Muschelschill und in Muschelbänken zu finden ist (Buschbaum & Saier 2003). Darüber hinaus findet sich hier aber auch eine große Anzahl von Arten, die für das Gebiet untypisch sind. Mit dem weltweit zunehmenden transozeanischen Schiffsverkehr und der Intensivierung der Aquakultur werden immer mehr Exoten in die Küstengewässer der Nordsee verschleppt (Reise et al. 1999). Viele der einwandernden Arten sind Organismen, die eine harte Unterlage zur Ansiedlung benötigen und die finden sie in den künstlich verfestigten Uferabschnitten (Abb. 1). Die Besiedlung vieler Steigmolen, Deckwerke und Hafenanlagen ist schon jetzt durch nicht heimische Arten dominiert. Dazu gehören Pazifische Austern, Australische Seepocken sowie verschiedene Manteltiere und Algen aus Übersee. Die künstlichen

Hartsubstrate stellen ein bevorzugtes Eingangstor für die Invasoren dar, denn oft bleibt deren Vorkommen nicht auf diese beschränkt. Von hier aus erobern sie natürliche Lebensräume mit nicht vorhersehbaren ökologischen Effekten (Buschbaum & Gutow 2005, Schrey & Buschbaum 2006).

## 5 Sandaufspülungen

Auf den Brandungsseiten der Düneninseln wird heute eine weitere Verfelsung der Ufer und ein Bühnenbau weitgehend vermieden. Dort ist man zu künstlichen Sandvorspülungen übergegangen, um die Ufer nachhaltig zu sichern (CPSL 2001). So wird beispielsweise auf der Nordseeinsel Sylt seit 20 Jahren angestrebt, die bei Sturmfluten abgetragene Sandmenge durch Sand aus dem Offshore-Bereich zu kompensieren, um so die Insel auf ihrer Position halten zu können. Bedingt durch die exponierte Lage der Insel sind für rund 40 km Strand im Durchschnitt jährlich eine Million m<sup>3</sup> Sand heranzuschaffen. Das kostet derzeit etwa 3,5 Millionen €. Von einer Sandentnahmestelle vor der Küste wird ein Gemisch von Sand und Wasser per Schiff in Strandnähe gebracht und dort über eine Rohrleitung verteilt.

Werden Sandvorspülungen an selber Stelle nicht öfter als alle drei Jahre erforderlich, vermag sich die Strandfauna dem Störungsregime anzupassen (Menn et al. 2003). Weitaus weniger dynamisch als am Brandungsstrand der Inseln stellt sich die Situation an geschützter gelegenen Ufern dar. Auch hier erfolgten Sandaufspülungen, diese aber nur selten und aus unterschiedlichen Anlässen. Künstlich geschaffene Sandbänke, wie beispielsweise auf der Wattseite der Insel Sylt, wurden schnell von einer Pioniervegetation überzogen und zu Rast- und Brutgebieten von Küstenvögeln. Zwar veränderten sie im Lauf der Zeit ihre Form, verloren aber über mehrere Jahrzehnte nur wenig von ihrer Substanz (Reise & Lackschewitz 2003, Hellwig 2006). Ebenso erwiesen sich künstliche Badestrände als sehr beständig (z.B. vor Büsum und Benersiel).



**Abb. 2** Skizze von eingedeichtem Marsch mit künstlich angelegten Sandhaken und Sandbänken im Watt vor dem Deich, wo Seeregenpfeifer und andere Küstenvögel neuen Brutraum finden können. Gleichzeitig dienen die Sanddepots dem Küstenschutz.

Aufgespülter Sand ist daher geeignet, den durch steigenden Meeresspiegel und künstlich fixierter Küstenlinie auftretenden Sandhunger nicht nur zu stillen, sondern gleichzeitig einer Ausräumung von Uferbiotopen entgegen zu wirken (CPSL 2005). Der gesamte Uferbereich wird in seiner Hangneigung dem Anstieg des Meeresspiegels angepasst. Durch parallel dem Ufer vorgelagerte Sandbänke oder tangential angelegte Sandnehrungen (Abb. 2) entstehen außerdem auf deren Leeseiten Sedimentationsräume. Hier kann Schlickbildung einsetzen und Salzwiesensukzession beginnen. Solche künstlich angelegten Sanddepots erlauben eine morphologische und ökologische Anpassung an den Meeresspiegelanstieg und dienen Küsten- und Naturschutz gleichermaßen:

- Sanddepots vor Küstenschutzanlagen können diese vor Unterspülungen bewahren, weil sie die hier vorherrschende negative Sedimentbilanz ausgleichen;
- Sanddepots bewirken ein sanftes, die Wellenenergie verteilendes Gefälle, wo sonst ein steiles, erodierendes Ufer entstehen könnte;
- bei Sturmfluten absorbieren Sanddepots Wellenenergie, die sonst unvermindert auf die Seedeiche trifft;

- von Querwerken aus Stein oft ausgelöste Sedimentverluste treten bei Sanddepots nicht auf;
- deplazierte Sandaufspülungen sind durch die Eigendynamik der Küste schnell wieder verschwunden und verursachen keine Folgekosten. Bei falsch positionierten harten Bauwerken wird dagegen die Beseitigung sehr aufwändig (z.B. Entfernung von Tetrapoden an der Südspitze von Sylt);
- Strömung, Wellen und Wind geben Sanddepots eine natürlich aussehende Form, ganz im Gegensatz zu den in Landgewinnungsfeldern entstandenen Deichvorländern mit ihren rechtwinklig und parallel angelegten Entwässerungsgräben;
- mit Sanddepots kann eine Vielfalt der Uferformen zurückgewonnen werden, die der aus Kostengründen entstandenen, sparsamsten Linienführung von Deichen und anderen Schutzwerken zum Opfer fiel;
- Sanddepots bleiben veränderlich und bieten daher den für Sedimentufer charakteristischen flüchtigen Populationen von Flora und Fauna immer wieder neue Ansiedlungsmöglichkeiten;
- da Sanddepots an geschützt liegenden Küstenabschnitten erst nach mehreren Jahrzehnten aufgezehrt sind, kann sich auf ihnen zwischenzeitlich die Sukzessionsfolge der Vegetation voll entfalten und biogene Strukturen ausbilden, die eine hohe Artenvielfalt ermöglichen;
- zur Entlastung des Besucherdrucks auf Naturufer mit am Stand brütenden und rastenden Vögeln können in der Nähe von Kurorten vermehrt Badestrände aufgespült werden;
- schließlich kann harter Uferschutz mit Sand überdeckt werden, damit auch dort eine naturnahe Entwicklung möglich wird und die Ansiedlung invasiver, für das Gebiet untypischer Arten unterbleibt.

Vorzugsweise sollten Sandnehrungen und Sandbänke wie in Abb.2 skizziert an den Wattseiten der Barriereinseln aufgespült werden, wo wegen der Ufererosion Deckwerke aus Stein erbaut wurden oder demnächst errichtet würden. Besonders geeignet sind auch Bereiche, wo den Deichen ein Vorland fehlt und wo trotz Buhnen und Lahnungsbau keines entsteht.

## 6 Störungen

Die Anpassung von Wattenmeerufern an den steigenden Meeresspiegel mit Sanddepots verursacht an den Sandentnahmestellen Störungen. Einer möglichen Sandbedarfsfläche von rund 1000 km<sup>2</sup> im Wattenmeer stehen rund 100.000 km<sup>2</sup> potentieller Sandfläche im Küstenvorfeld (20 bis 40 m Tiefe) gegenüber. Bei einer Konzentration auf wenige Entnahmestellen bleibt die gestörte Fläche unter 1% des Küstenvorfeldes. Geeignet sind rein sandige Sedimente mit einem Benthos, das an instabile Verhältnisse gut angepasst ist. Die herrschen in der Deutschen Bucht vor (Salzwedel et al. 1985). Wichtig ist weiterhin, dass die Sandentnahme seewärts des natürlichen Austauschbereiches für Küstensedimente erfolgt, damit eine nachhaltige Umverteilung von der Nordsee zur Küste erzielt wird und nicht ein beschleunigter Vor- und Rücktransport ausgelöst wird.

An den Depositionsstellen gleicht die künstliche Sandzufuhr weitgehend einer natürlichen Sedimentumlagerung. Da sowohl vom Bedarf her als auch wegen der

anfallenden Kosten die Depositionstellen von begrenztem Umfang bleiben werden, behalten betroffene und die an sich schon opportunistischen Pflanzen und Tiere solcher Gebiete hinreichend Ausweichhabitate.

Sowohl aus Sicht des Küstenschutzes als auch des Naturschutzes wird eine den lokalen Verhältnissen spezifisch angepasste Form der Sedimentaufspülung auf der Grundlage vorhergehender Analysen und hydrodynamischer Modelle erfolgen müssen. Dadurch kann ein Versanden bedrohter Lebensgemeinschaften, archaologischer Fundstellen oder auch Grasnarben von Deichen vermieden werden.

## **7 Ausblick und Schlussfolgerungen**

Die Tradition der Landgewinnungen durch Eindeichungen fand in Deutschland vor etwa 50 Jahren ein Ende. Danach erfolgende Eindeichungen dienten dem Küstenschutz (Verkürzung der Seedeichlinie) und der besseren Entwässerung der Marschen durch Schaffung von Speicherbecken auf früherem Wattgrund. Schließlich avancierten die Salzwiesen und Watten vom Ödland zur unberührten Natur und erhielten Naturschutzstatus (Wolff 1992, Anonym 1998). Der Küstenschutz sieht heute seine Aufgabe in einer Sicherung der besiedelten Landflächen und dem Erhalt vorhandener Vorländereien zum Schutz der Deichlinie (CPSL 2001). Unter den Bedingungen eines sich beschleunigenden Anstiegs des Meeresspiegels geht dies zu Lasten natürlicher Uferbiotope und der vorgelagerten Watten. Dies kann durch künstliche Zufütterung mit Sand aus dem Offshore- zum Inshore-Bereich vermieden werden.

Die vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahmen gehen anders als an Britischen Küsten (siehe French 2001) davon aus, dass eine Rückverlagerung der Deichlinie als Antwort auf den Meeresspiegelanstieg an der deutschen Nordseeküste keine breite Zustimmung in der Küstenbevölkerung findet. Allenfalls ist mit Räumen abgestufter Sicherheitsstandards und kontrollierten Überflutungsräumen hinter der Deichlinie zu rechnen. Deshalb liegt landwärts kein Potential für neue Uferbiotope und seewärts nur dann, wenn dem Wattbereich von außen Sediment zugeführt wird. Letzteres wird hier vorgeschlagen, weil nur so ursprüngliche Habitatvielfalt im Uferbereich wieder hergestellt werden kann und weil nur so angesichts schneller ansteigenden Meeresspiegels Salzwiesen und Watten großflächig an der Nordseeküste für die Zukunft zu erhalten sind.

Dringlich geworden sind solche Sandimporte aus dem Offshore-Bereich durch die rasch zunehmende künstliche Versteinerung der Wattufer. Diese stellt einen verdrängenden Eingriff in die morphologischen Ausgleichsprozesse sedimentärer Ufer dar. Aus einem allmählichen, biotopreichen Übergang zwischen Land und Meer entsteht durch diese harten Uferbefestigungen ein Absatz in der Küstenlandschaft, dessen Höhe und Mächtigkeit infolge des Meeresspiegelanstiegs immer weiter zunimmt.

Ersatzlos kann der Küstenschutz auf steinerne Deckwerke, Betonmauern und Bühnen nicht verzichten. Durch Sandaufspülungen wären aber fast alle ersetzbar



und trotz weiter Transportwege langfristig wahrscheinlich kostengünstiger, weil sie durch Anpassung der Uferzone an den steigenden Meeresspiegel weniger Folgekosten als Instandsetzungsbedürftige harte Uferbauten nach sich ziehen. Eine kritische Wirtschaftlichkeitsprüfung ist notwendig. Vorgeschlagen wird, künftig auf weiteren harten Uferschutz im Wattenmeer zu verzichten. Stattdessen sollte nach und nach der Sandmangel der Uferbereiche mit künstlicher Sandzufuhr kompensiert werden. Küsten- und Naturschutz würden sich dabei ergänzen und nebenbei würde ein alter Konflikt beigelegt. Die Küstenlandschaft würde durch die Dynamik der aus Sand naturnah aufgebauten Uferbereiche eine zusätzliche Attraktivität gewinnen und tendenziell dem Meeresspiegelanstieg folgen können.

## Danksagung

Wir danken drei Gutachtern für wertvolle Hinweise und Korrekturen sowie Elisabeth Herre für die Anfertigung der Abbildung 2.

## Literatur

- Anonym (1998) Erklärung von Stade – Trilateraler Wattenmeerplan. Ministererklärung der 8. Trilateralen Regierungskonferenz zum Schutze des Wattenmeeres. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany, pp 100
- Bantelmann A (1966) Die Landschaftsentwicklung an der schleswig-holsteinischen Westküste, dargestellt am Beispiel Nordfrieslands. *Die Küste* 14(2)5-99
- Behre KE (2002) Landscape development and occupation history along the southern North Sea coast. In: Wefer G, Berger W, Behre KE, Jansen E (eds) *Climate development and history of the North Atlantic realm*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 299-312
- Buschbaum C & Gutow L (2005) Mass occurrence of an introduced crustacean (*Caprella cf. mutica*) in the south-eastern North Sea. *Helgol. Mar. Res.* 59: 252-253
- Buschbaum C & Saier B (2003) Ballungszentrum Muschelbank - Biodiversität und nachhaltige Nutzung. *Biol. Unserer Zeit* 33(2) 100-106
- CPSL (2001) Final report of the trilateral working group on coastal protection and sea level rise. Wadden Sea ecosystem 13. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany
- CPSL (2005) Coastal protection and sea level rise – solutions for sustainable coastal protection in the Wadden Sea region. Wadden Sea Ecosystem No. 21. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany
- Flemming BW (2002) Effects of climate and human interventions on the evolution of the Wadden Sea depositional system (southern North Sea). In: Wefer G, Berger W, Behre KE, Jansen E (eds) *Climate development and history of the North Atlantic realm*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 399-413
- French PW (2001) *Coastal defences: processes, problems and solutions*. Routledge, London, pp 366
- Hellwig U (2006) Nigehörn – an artificial island goes natural. *Wadden Sea Newsletter* 2006(1) 22-24
- Louters T & Gerritsen F (1994) The riddle of the sands. A tidal system's answer to a rising sea level. Report RIKZ-94.040. RIKZ, Den Haag
- Menn I, Junghans C & Reise K (2003) Buried alive: Effects of beach nourishment on the infauna of an erosive shore in the North Sea. *Senckengiana maritima* 32: 125-145
- Nordstrom, KF (2000) *Beaches and dunes of developed coasts*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, pp 338
- Reise K (2003) More sand to the shorelines of the Wadden Sea. Harmonizing coastal defense with habitat dynamics. In: Wefer G, Lamy F, Mantoura F (eds) *Marine science frontiers of Europe*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 203-216

- Reise K (2005) Coast of change: habitat loss and transformations in the Wadden Sea. *Helgol Mar Res* 59: 9-21
- Reise K, Gollasch S & Wolff WJ (1999) Introduced marine species of the North Sea coasts. *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 52: 219-234
- Reise K & Lackschewitz D (2003) Combating habitat loss at eroding Wadden Sea shores by sand replenishment. In: Wolff WJ, Essink K, Kellermann A, Leeuwe MA van (eds) *Challenges to the Wadden Sea. Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Scientific Wadden Sea Symposium*. Ministry of Agriculture, Groningen, The Netherlands, pp 197-206
- Salzwedel H, Rachor E & Gerdes D (1985) Benthic macrofauna communities in the German Bight. *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh.* 20: 199-267
- Schrey I & Buschbaum C (2006) Asiatische Gespensterkrebse (*Caprella mutica*) erobern das deutsche Wattenmeer. *Natur- und Umweltschutz*, 5(1) 26-30
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2006) *Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer. Sondergutachten*. WBGU, Berlin
- Wolff WJ (1992) The end of a tradition: 1000 years of embankment and reclamation of wetlands in the Netherlands. *Ambio* 21: 287-291

Autoren:

Karsten Reise  
Christian Buschbaum  
Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung  
Wattenmeerstation Sylt  
25992 List

email: karsten.reise@awi.de; christian.buschbaum@awi.de