

## Küstenschutz im Ostseeraum: Landseitige Maßnahmen

Christian Urban

Körnerstraße 14, 24103 Kiel, Christian.Urban@djh-freeweb.de

### 1. Einleitung

Dieses Referat soll, nach einer allgemeinen Betrachtung des in Küstenräumen auftretenden Phänomens einer Sturmflut, sein lokales Auftreten im Ostseeraum untersuchen, sowie mittels einer modellhaften Erklärung der Ursachen für die Entstehung eines solchen Ereignisses die Veranschaulichung dieser sogenannten Naturkatastrophen anhand von historischen Beispielen ermöglichen. Auf welchem Wege die verheerenden Auswirkungen einer Sturmflut zu vermeiden oder zumindest abzuschwächen sind, soll der Teil des Referats über die Methoden des Küstenschutzes aufzeigen, wobei hier, in Anbetracht des vorangegangenen Referates, das Augenmerk lediglich auf den landseitigen Küstenschutzmaßnahmen liegt. Abschließend folgt eine knappe Betrachtung des ökonomischen Spielraumes, in dem sich der Küstenschutz bewegt, sowie eine kritische Betrachtung der Auswirkungen von Küstenschutzmaßnahmen auf den Naturraum der Küstenzone.

### 2. Sturmfluten

Unter dem Begriff einer Sturmflut versteht man ganz allgemein eine große anschwellende Wassermenge, die ein Gebiet überflutet. Ausgehend vom Begriff Flut, der von einer großen Wassermenge mit einhergehend hohem Wasserstand ausgeht, lässt sich eine Sturmflut genauer als eine Zeitspanne mit hohen Wasserständen an Küsten und Flussmündungen, meist hervorgerufen durch starke Winde, definieren. Durch einen gegen die Küste gerichteten Sturm werden vom offenen Meer große Wassermassen herangetrieben, die ungeschützte, oder beim Versagen der Küstenschutzeinrichtungen, auch eingedeichte Niederungen überfluten können. Der Begriff Sturmflut bezeichnet also nicht allein den Höchstwasserstand, sondern das gesamte Ereignis. Der

*Scheitelwasserstände in Meter über NN*

	1872	1904	1913	1949	1954	1968
Travemünde	3,38	2,22	2,00	–	2,07	1,57
Wismar	2,80	2,28	2,08	1,80	2,10	1,55
Warnemünde	2,43	1,88	1,89	1,50	1,70	1,50
Stralsund	2,39	2,16	2,32	–	1,73	1,44
Wieck b. Greifswald	2,64	2,39	2,10	1,86	1,82	1,54
Koserow	*	1,81*	1,83*	–	1,70**	–

\* Swinemünde \*\* Heringsdorf

**Abb. 7.1:** Scheitelwasserstände verschiedener Ostseesturmfluten, aus: Kramer et al. 1992, p. 540.

Scheitelwasserstand ist allerdings maßgeblich dafür, ob überhaupt von einem Sturmflutereignis und wenn ja, von welcher Schwere, die Rede sein kann. Von den Gezeiten, bei denen der Begriff Flut bekanntermaßen ebenfalls verwendet wird, sind Sturmfluten unabhängig, da sie auch an gezeitenfreien Küsten, wie

im Falle der Ostsee, auftreten können. Wann man von einem Sturmflutereignis sprechen kann, hängt von den zugrundeliegenden Wasserständen ab. Werden bestimmte Grenzwerte über dem normalen Hochwasserstand überschritten, ist ein Sturmflutwasserstand erreicht. In Deutschland werden Sturmfluten zudem nach der Häufigkeit von Scheitelwasserständen gekennzeichnet, basierend auf langjährigen Wasserstandsmessungen (mindestens seit der zweiten Hälfte des 19. Jh. 's) an zahlreichen Orten entlang der Nord- und Ostseeküste, sowie entlang der Flussmündungen. Dementsprechend werden Sturmfluten in leichte, mittlere und schwere Ereignisse eingeteilt. Für die Messungen werden Pegelanlagen verwendet, z.B. Lattenpegel oder Schreibpegel, die bei modernen Anlagen eine Dezimeteinteilung aufweisen. Entscheidend bei der Pegelmessung ist der Bezug zum Höhehorizont der Landesvermessung, d.h. die Höhenlage des Pegelnullpunktes zu Normalnull (NN) muss bekannt und festgelegt sein. Der höchste Wert der Wasserstandsganglinie innerhalb eines Beobachtungszeitraumes wird als Hochwasser (HW), der niedrigste als Niedrigwasser (NW), der Mittelwert wird mit MW bezeichnet. Die Häufigkeiten des Auftretens, sowie die verschiedenen Scheitelwasserstände sollen später im Referat für das Beispiel der Ostsee im einzelnen Erwähnung finden. Grundsätzlich gilt jedoch, dass eine Sturmflut umso seltener ist, je höher der Wasserstand über dem NHW (normales Hochwasser) ist. Abb. 7.1 gibt die Wasserstände einiger historischer Sturmflutereignisse wieder.

### **3. Überblick über Sturmfluten in der Ostsee**

#### **3.1 Entstehung von Sturmfluten in der Ostsee**

Wegen der langgestreckten Form der Ostseebeckens, das praktisch als tidefreies Binnenmeer anzusehen ist, sind an der Entstehung von Sturmfluten in der südwestlichen Ostsee grundsätzlich immer stürmische Winde aus Nordost ursächlich beteiligt. Diese Winde sind Luftströmungen, die auf einem Luftdruckgefälle basieren, d.h. es müssen Luftdruckunterschiede vorhanden sein, die zwischen zwei verschiedenen Orten durch unterschiedliche Erwärmung der Luft infolge der Sonneneinstrahlung über dem Festland und dem Wasser (beruhend auf unterschiedlichen Wärmeeigenschaften) hervorgerufen werden. In der Folge bilden sich Gebiete hohen Drucks („Hochs“) sowie solche tiefen Drucks („Tiefs“). In den unteren Luftschichten strömt die Luft nun von einem Hoch in Richtung des Tiefs, die Ausgleichsströmung wird durch die Erdrotation nach rechts abgelenkt (Nordhalbkugel), so dass sie schließlich in spiralförmigen Bahnen gegen den Uhrzeigersinn in das Tiefdruckgebiet hineinweht. Ein solcher Tiefdruckwirbel, die Zyklone, ist nicht ortsfest, sondern wandert zumeist in östlicher Richtung, bis es zum Ausgleich der Druckunterschiede, also der Auflösung der Zyklone kommt. Um nun im Ostseegebiet eine Sturmflut zu verursachen, kommen indes nur ganz bestimmte Zugbahnen der Sturmtiefdruckgebiete in Betracht. Prinzipiell lassen sich folgende Typen unterscheiden:

- Das Tief zieht vom südlichen Nordmeer über die nördliche Nordsee, Dänemark, und die mittlere Ostsee nach Polen, oder über das südliche Schweden und die östliche Ostsee ins Baltikum (z.T. weiter nördlich),
- die Zugbahn führt von Oberitalien über Ungarn nach Südpolen, von wo aus sie Richtung Nordwestdeutschland oder in Richtung der östlichen Ostsee abschnellen kann (so geschehen bei der Flut von 1872),

- seltener treten Zyklonenzugbahnen auf, die vom Seegebiet westlich von Irland über England und die südliche Nordsee bzw. über Holland und NW-Deutschland an der südlichen Ostsee entlang führen (dieser Bahn folgte das Tief, das die Sturmflut 1989 verursachte).

Das Ostseebecken mit seinem binnengewässerähnlichem Charakter ist zwar mit der Nordsee, und damit den Weltmeeren verbunden, doch der Öresund, sowie großer und kleiner Belt bilden nicht mehr als sehr beschränkte und enge Passagen, die die Ostsee von Kategatt und Skagerrak abtrennen. Die geringe Beeinflussung, der das Ostseebecken durch diese Verbindung mit der Nordsee unterliegt, zeigt sich am stärksten am kaum bis gar nicht vorhandenen Tidenhub der Ostsee: während er in der Nordsee drei Meter beträgt, sind es im Kattegat noch 50 - 80 cm, in der südwestlichen Ostsee etwa 15 cm, im finnischen Meerbusen ist er mit 0,5 cm eigentlich nicht mehr messbar. Ähnlich verhält es sich mit der Salzkonzentration, die in der Ostsee (durchschnittlich 0,8 %) viel geringer ist als in der Nordsee (3,2 - 3,5 %) und mit dem Vordringen nach Nordosten immer weiter abnimmt (im finnischen und bottnischen Meerbusen ist praktisch kein Salz mehr nachweisbar), woran man die starke Abgeschlossenheit des Ostseebeckens ebenso erkennt. Für die Sturmflutentstehung relevant wird die „nadelöhrartige“ Verbindung mit der Nordsee während eines sturmflutverursachenden Nordoststurms, da nur wenig Wasser durch Sund und Belte entweichen (und somit den Wasserstau im südwestlichen Ostseebecken vermindern) kann. Zusätzlich wird das Ausströmen von Oberflächenwasser umso mehr gehemmt, je nördlicher der Wind dreht. Ein Austausch zwischen Nord- und Ostsee findet in gewissem Maße natürlich trotzdem statt. Der Wechsel von Wassermassen erfolgt in horizontaler Trennung von ein- und ausströmendem Wasser, wobei durch Flüsse und Niederschläge ergänztes, überschüssiges Ostseewasser an der Oberfläche abfließt, während spezifisch schwereres (weil salzhaltigeres) Nordseewasser in Grundnähe in die Ostsee einströmt. Diese wechselseitige Wasserströmung steigert sich je nach Windverhältnissen, unter Umständen erfolgt die Strömung dann nur noch in einer Richtung. Im Verlaufe eines Sturmflutereignisses findet zunächst verstärktes Einströmen bei südwestlichen, das Ausströmen dann bei nordöstlichen Windrichtungen statt; das Wasserstandsgefälle zwischen Kattegat und südwestlicher Ostsee ist in beiden Fällen die Ursache.

Wie Entstehung und Verlauf einer Sturmflut in der Ostsee durch das Zusammenwirken verschiedener meteorologischer und hydrologischer Faktoren bestimmt werden, soll im Detail im Folgenden beschrieben werden. Die relevanten Vorgänge sind:

- a) Auffüllung des südlichen/südwestlichen Ostseebeckens mit Nordseewasser (langanhaltende südliche/südwestliche Winde drücken im Vorfeld Wasser in die nordöstliche Ostsee),
- b) der aus o.g. Situation entstandener Wasserstau im Nordosten des Ostseebeckens verursacht bei abflauendem Wind eine Rückschwingung (mit einer max. Auffüllung von 1 m im südwestlichen Ostseebereich),
- c) bei zusätzlichem Nord(ost)wind mit 6 - 7 Beaufort (Bft.) während einer Rückschwingung wird diese durch den Windstau verstärkt (Mittelwasserstände in der südl. Ostsee 1,2 - 1,5 m ü. N.N.),
- d) wird die Rückschwingung durch einen Nordoststurm (> 8 Bft.) verstärkt, liegen die Mittelwasserstände in der südl. Ostsee um bis zu 2,2 m ü. N.N.,
- e) auch ohne vorangegangenen Wasserstau können durch Sturmeinwirkung im südwestlichen Küstenbereich Wasserstände von 1,5 - 1,8 m ü. N.N. entstehen (Windwirkungslänge: 750 km),
- f) lokale Unterschiede der Windverhältnisse sowie des Küstenverlaufes können zu zusätzlicher Erhöhung des Wasserstandes führen (z.B. Buchtenstau),

g) Staueffekte im südlichen Ostseebecken können zudem durch den verhinderten Abfluss von Oberflächenwasser in die Nordsee, bedingt durch starke Nordstürme, verursacht werden.

	Häufigkeit des Auftretens	Wasserstand (cm über Pegel - Null)	Wasserstand (cm über Normal-Mittelwasserstand)
<b>Leichte Sturmfluten</b>	Zwischen 2 mal im Jahr und 1 mal in 5 Jahren	600 - 640	100 - 140
<b>Schwere Sturmfluten</b>	Zwischen 1mal in 5 Jahren und 1mal in 20 Jahren	641 - 670	141 - 170
<b>Sehr schwere Sturmfluten</b>	Weinger als 1mal in 20 Jahren	> 670	> 170

	Wasserstand (cm über Pegel - Null)	Wasserstand (cm über Normal-Mittelwasserstand)
<b>Leichte Sturmfluten</b>	580 - 610	80 - 110
<b>Schwere Sturmfluten</b>	611 - 630	111 - 130
<b>Sehr schwere Sturmfluten</b>	> 630	> 130

**Abb. 7.2:** Einteilung von Sturmflutereignissen nach ihrer Intensität, aus: Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern 2001.

Die genannten hydrologischen Vorgänge können einzeln oder in Kombination (einander verstärkend) auftreten und sind mit möglichen zusätzlichen Impulsen für die Sturmfluten der südwestlichen Ostseeküste verantwortlich. Ursache sind dabei, wie bereits angeklungen, die meteorologischen Bedingungen, also die Wind- und Luftdruckverhältnisse und nicht etwa Gezeiten. Der durch Sturmfluten verursachte Wasserstand (Scheitelwert) ist der für die Küstenschutzanlagen maßgebliche Belastungsfaktor und dient demnach in Verbindung mit der Häufigkeit des Auftretens zur Gliederung der verschiedenen Sturmflutereignisse. Neben den Scheitelwerten sind die Verweilzeiten hoher Wasserstände entscheidend für die Küstenbelastung und -veränderung. Eine Gliederung von Sturmflutereignissen kann also, wie in Abb. 7.2 abgebildet, analog zu den genannten Kriterien nach den Wasserstandshöhen und nach der Häufigkeit des Auftretens erfolgen.

### 3.2 Historische Sturmflutereignisse

Im Verlaufe der Jahrhunderte spielten sich im Ostseebereich zahlreiche verheerende Sturmfluten ab, wobei Aufzeichnungen über derlei Ereignisse seit dem Mittelalter existieren. Dokumentiert wurden herausragende Sturmfluten in den Jahren 1304, 1320, 1449, 1625, 1694, 1784 und 1825. Besondere Erwähnung soll hier insbesondere die Sturmflut von 1872 finden, die das stärkste dokumentierte Ereignis im Ostseeraum seit Beginn der Wasserstandsmessungen darstellt. Katastrophale Sturmfluten im 20. Jh. wurden in den Jahren 1913, 1949, 1954 und 1995 verzeichnet.

Die Geschehnisse von 1872, bei denen 271 Menschen ums Leben kamen und deren Wasserstände bis heute nicht mehr erreicht wurden, sollen exemplarisch genauer betrachtet werden. Man kann hier wie bereits angedeutet von einem Superlativ in der Geschichte der Ostsee sprechen: die höchsten sicher registrierten Wasserstände in der südwestlichen Ostsee datieren vom 12./13. November 1872. Diese Sturmflut vereinte folgende meteorologischen und hydrologischen Elemente, aus denen die Schwere

des Ereignisses resultierte: Auf einen tagelang anhaltenden (Süd-)Weststurm, der bereits für einen um bis zu einen halben Meter erhöhten Wasserstand gesorgt hatte, folgte der die Sturmflut letztlich verursachende Nordoststurm, der über mehrere Stunden Orkanstärke (12 Bft.) erreichte und im Bereich der südwestlichen Ostsee für Höchstwasserstände von 2,5 - 2,8 m ü. N.N. sorgte. Es handelte sich also um eine Kombination von einem sogenannten Schwingungsstau mit einem Windstau, der durch die rasche Abfolge von zuerst südwestlichen und dann nordöstlichen Winden zu einer einander verstärkenden Verknüpfung von ungünstigen Wetterbedingungen führte. Die im nordöstlichen Ostseebereich aufgestauten Wassermassen schlangen also infolge des Windrichtungswechsel zurück und verstärkten den nun durch den Sturm im südwestlichen Ostseebereich aufgestauten „Wasserberg“. Hinzu kam, dass noch während der südwestlichen Winde, dass das Wasser aus dem südwestlichen Ostseebecken drängte, ein Gefälle zwischen Kattegat und südwestlicher Ostsee herrschte: es strömte also zusätzlich noch eine große Wassermenge aus der Nordsee ein, die bereits für eine Steigerung des Wasserstandes führte, ehe der Wind auf Nordost drehte und die eigentliche Sturmflut begann.

#### **4. Küstenschutzmethoden allgemein**

Eine Sturmflut wirkt sich in Form extremer Belastungen auf die Küsten und ihre Schutzeinrichtungen (Küsten- und Hochwasserschutzanlagen) aus, ihr Versagen würde eine Überflutung des menschlichen Siedlungsraums bewirken. Ziel aller Hochwasserschutzmaßnahmen ist in erster Linie der Schutz von zusammenhängend bebautem Gebiet, um die Bevölkerung vor Lebensgefahr und großen materiellen Verlusten zu bewahren. Es ist also essentiell, die wesentlichen (bereits geschilderten) Faktoren, die über Verlauf und Intensität einer Sturmflut entscheiden, zu erkennen und daraus geeignete Schutzmaßnahmen abzuleiten. Das bedeutet in erster Linie, dass aus der Betrachtung der historischen Ereignisse und unter zuverlässigen Vorausschätzungen der zu erwartenden Meeresspiegel- und Klimaveränderungen mögliche Extremwerte künftiger Sturmfluten sicher prognostiziert werden müssen. Das in diesem Sinne wichtigste Grundelement, auf denen sämtliche Küstenschutzmaßnahmen fußen, sind die sogenannten Bemessungshochwasserstände, die sich aus den bisher höchsten gemessenen Wasserständen und den Werten des zu erwartenden Meeresspiegelanstieges zusammensetzen. Sie bewegen sich im Bereich von 3,20 - 3,40 m ü. N.N., und dienen, unter Berücksichtigung der notwendigen Höhenreserve, die ein Überspülen der Küstenschutzanlagen unmöglich machen soll, z.B. zur Bestimmung der notwendigen Deichhöhen (zwischen 4,40 - 6,60 m ü. N.N.), wobei man sich bei der Berücksichtigung der seither eingetretenen Spitzenwerte auf die Sturmflut von 1872 bezieht.

Wie bereits angedeutet, ist für die Belastung, denen ein Küstenschutzbauwerk ausgesetzt ist, nicht nur der extrem hohe Wasserstand, sondern auch extremer Seegang mit starker Wellen- bzw. Brandungsenergie ausschlaggebend. Diese Faktoren hängen ihrerseits von der Windstärke und -richtung, der Streichlänge (Windwirkungslänge) und der Wassertiefe im küstennahen Bereich ab. Um diesen Belastungen gerecht zu werden, stellen sich je nach Küstenbeschaffenheit unterschiedliche Anforderungen an die Methoden des Küstenschutzes und die Art der notwendigen Anlagen.

In den Flachküstenabschnitten entlang der deutschen Ostseeküste soll Sturmflut- bzw. Hochwasserschutz entweder durch sogenannte Küstenschutzdünen, oder durch eine Kombination von natürlichen Dünen mit einem Deich (oft unter Zuhilfenahme eines Waldstreifens im Deichvorland) erreicht werden. Unter einer Küstenschutzdüne versteht man in diesem Falle einen natürlichen oder küstenschutztechnisch veränderten Sandkörper, der bestimmte Mindestwerte der Kronenhöhe und der Breite aufweisen muss, um im Falle einer Sturmflut unter Verlust an Substanz das Vordringen der Wassermassen ins Landesinnere zu verhindern. Sind Küstendünen nicht oder nicht ausreichend

vorhanden, sind zusätzliche Deichbauwerke notwendig, um effektiven Hochwasserschutz zu gewährleisten. Diese sind im Ostseeraum in der Regel so weit landeinwärts versetzt, dass der Vorlandstreifen bereits zur Neutralisierung der Brandungsenergie ausreicht, und außer einer Grasbedeckung keine weiteren Befestigungen notwendig sind. Deiche, die mit Brandungsenergie in Kontakt kommen können, benötigen sogenannte Deckwerke, also zumeist steinerne Befestigungen verschiedener Art. Schließlich existiert die Methode des Sandaufspülens, die als Küstenschutzmaßnahme dort Anwendung findet, wo Strand oder Dünen ein Sedimentdefizit aufweisen, und künstliche Ergänzungen an Material notwendig werden, um die Schutzfunktion z.B. der Dünen zu erhalten und somit einer Rückverlegung der Uferlinie entgegenzuwirken.

Die Steiluferabschnitte der deutschen Ostseeküste bedürfen keiner Hochwasserschutzmaßnahmen im Sinne von Überflutungsschutz, da das Hinterland ohnehin zu hochgelegen ist, um von Sturmfluten bedroht zu sein, allerdings werden häufig Maßnahmen getroffen, die dem Abtrag und der Rückversetzung des Kliffs entgegenwirken sollen. Es handelt sich zumeist um bautechnische Klifffußsicherungen, die ein Zurückweichen der Küste vermeiden sollen. Sie sind z.B. als Ufermauern, Steinwälle oder Spundwände ausgeführt und zählen als sogenannte Uferlängswerke (ebenso wie die Buhnen des Flachküstenbereiches) zu den wasserseitigen Küstenschutzmaßnahmen, die hier keine weitere Beachtung finden sollen. Anders hingegen die landseitigen Methoden des Küstenschutzes, deren drei Hauptbestandteile Deiche, Dünen und Sandaufspülungen im nächsten Abschnitt detailliert beschrieben werden sollen.

## **5. Methoden des landseitigen Küstenschutzes**

### **5.1 Deiche**

Als Maßstab für das notwendige Sicherheitsniveau dienen die Bemessungshochwasserstände (s.o.), aus denen die zu erwartenden Belastungsgrößen, denen die Anlage ausgesetzt wird, abgeleitet werden. Grundsätzlich muss ein Deichbauwerk folgende Anforderungen erfüllen: die Deichkrone darf im Falle einer Sturmflut nicht überströmt werden (nur 2 % der Wellenzungen dürfen überlaufen), die Bemessungshochwasserstände dürfen nur einmal in 100 Jahren erreicht oder überschritten werden und dürfen nicht niedriger liegen als bereits aufgetretene Hochwasserstände, mögliche Sackungserscheinungen des Untergrundes unter dem aufgeschütteten Deich müssen berücksichtigt werden. Ferner sind Böschungswinkel und Befestigungsmethode des Deichbauwerks den möglichen Brandungs- und Wellenauflaufverhältnissen anzupassen, je größer die auftreffende Wellenenergie, desto flacher geneigt und stärker befestigt muss der Deich sein. Im Verlauf der deutschen Ostseeküste unterscheidet man Seedeiche und Bodden- bzw. Haffdeiche, je nach ihrer Lage zur Binnen- oder Außenküste, die Differenzierung erfolgt zudem nach der Größe der Bauwerke. Generell gilt, dass diejenigen Küstenabschnitte durch Deiche geschützt werden müssen, die über kein Steilufer oder ausreichend mächtige Dünen verfügen, also die Flachküsten.

Seedeiche liegen an Flachküsten offen zur Ostsee und verhindern landseitig das Vordringen von extremen Hochwässern ins Landesinnere, wobei ihr Abstand zur Uferlinie generell so gewählt ist, dass im Vorfeld des Deiches ein Waldsaum, sowie ein Dünengürtel und der Strandbereich liegen. Dieses sogenannte Deichvorland (im Kontrast zum Nordseebereich) ist hydrodynamisch wirksam, d.h. die Schutzfunktion kann nur zum Tragen kommen, wenn die auftreffenden Brecher ihre Energie bereits im Vorlandbereich abgebaut haben. Der Deichkörper (bestehend aus einem Sandkörper mit grasbedeckter Mutterbodenschicht) selber kommt also keinesfalls mit der Brandung in Berührung, diese wird bereits durch den Dünengürtel absorbiert. Deich und Düne ersetzen in einem solchen Falle

eine ausreichend mächtige Sturmflutschutzdüne. Da im Verlauf einer Sturmflut die vorgelagerte Düne jedoch abgetragen werden kann, ist der Waldsaum als zusätzliches brandungsdämpfendes Element notwendig. Damit eine ausreichende Wirkung erzielt werden kann, ist eine Saumbreite von 100 m Voraussetzung. Die an der Ostsee ausreichende Kronenhöhe der Seedeiche schwankt zwischen 3,5 und 4,5 m über dem normalen Hochwasserstand. Abb. 7.3 verdeutlicht die an der Ostsee gebräuchlichen Formen verschiedener Deichanlagen.

Bodden- und Haffdeiche sind in der Regel kleiner dimensioniert, da ihre Abmessungen auf einem funktionsfähigen Schutz der Außenküste basieren. Das bedeutet in der Praxis, dass die Außenküste bereits durch Deiche oder Dünen ausreichend geschützt ist, die Bodden- oder Haffdeiche also nur die Hochwasserereignisse der ihnen vorgelagerten binnenähnlichen Gewässer verkraften müssen. Bei ihrer Errichtung werden also die, im Gegensatz zur offenen See, gedämpfteren Wasserstands- und Seegangsbelastungen der geschlossenen Bodden- oder Haffgewässer zugrunde gelegt. Kronenhöhen von 2,2 - 2,8 m über dem normalen Hochwasserstand sind daher ausreichend.

## 5.2 Sturmflutschutzdünen

Dünen können die Aufgabe eines wirkungsvollen Küstenschutzes nur dort übernehmen, wo ein ausreichend dimensionierter Dünenkörper zur Verfügung steht. Eine Sturmflutschutzdüne zeichnet sich neben ihrer Kronenhöhe vor allem durch ihre Mächtigkeit aus. Das bedeutet, dass die Leistungsfähigkeit vor allem von ausreichendem Volumen und ausreichender Breite abhängt, im konkreten Fall einer Kronenhöhe von 3,5 m über NHW ist für hinreichende Schutzfunktion (bei extremer Belastung) eine Kronenbreite der Düne von 40 - 45 m erforderlich. Dabei sind Dauer der Beanspruchung, Größe der auftretenden Wellen und die Höhe des Scheitelwertes der Sturmflut ausschlaggebend für die Abtragung, der eine Düne im Verlaufe des Sturmflutereignisses unterliegt. Aus der Tatsache, dass eine Düne nicht befestigt ist, es während der Belastung des Dünenkörpers also zu beträchtlichen Abbrüchen und Sandumlagerungen kommt, die Düne somit an Substanz verliert, erklärt sich die enorme Mächtigkeit, die eine Schutzdüne prinzipiell haben muss, um ihrer Funktion gerecht zu werden. Die Volumenverluste, denen die Schutzdüne unterliegt, werden im Falle eines positiven Sedimenthaushaltes auf natürlichem Wege wieder wettgemacht, im Falle eines Küstenabschnittes mit negativem Sedimenthaushalt hingegen müssen hingegen künstliche Aufspülungsmaßnahmen getroffen werden. Der Dünenkörper wird also nach einem Sturmflutereignis auf technischem Wege rekonstruiert und durch wasser- und landseitige Maßnahmen verstärkt, um die für eine Schutzfunktion notwendige Mächtigkeit zu gewährleisten. Abb. 7.4 zeigt verschiedene

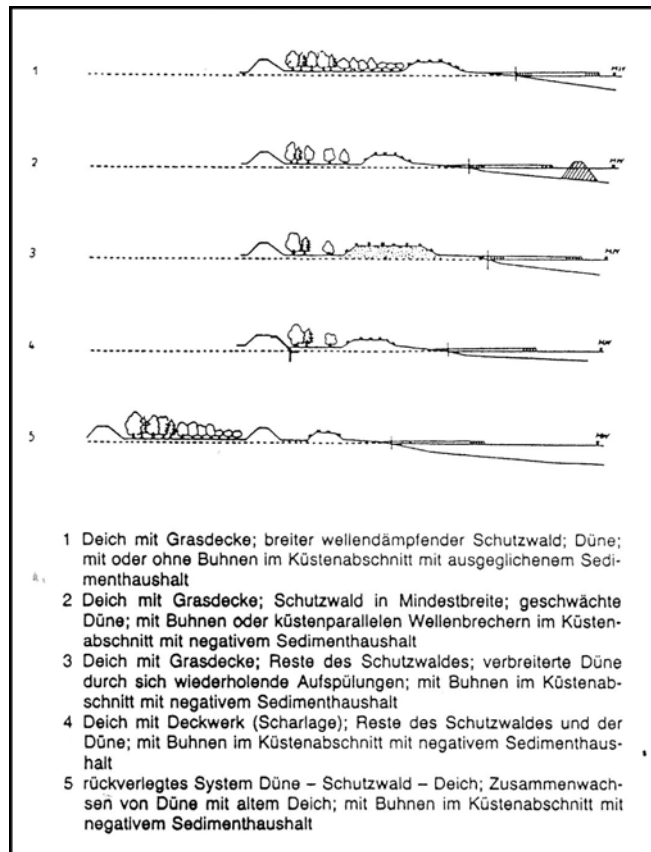
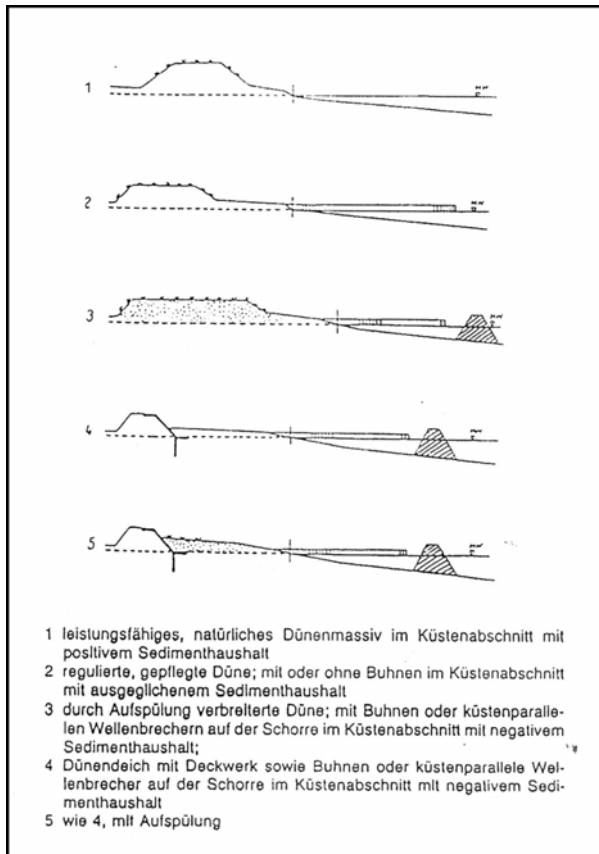


Abb. 7.3: Verschiedene Deichsysteme der Ostseeküste, aus: Kramer et al. 1992, p. 561.



**Abb. 7.4:** Verschiedene Sturmschutzdünen der Ostseeküste, aus: Kramer et al. 1992, p. 560.

Schutzdünenkomplexe, wobei anhand der Abb. auch der Zusammenhang zwischen Sandaufspülungen und der Mächtigkeit des Dünenkörpers deutlich wird.

### 5.3 Sandaufspülungen

Wie im vorangegangenen Abschnitt bereits angeklungen, sind Sandaufspülungen zum Zweck des Küstenschutzes immer dann notwendig, wenn im betreffenden Küstenabschnitt ein negativer Sedimenthaushalt vorherrscht. Der in diesem Fall existierende Sandmangel kann durch Aufspülungsmaßnahmen zwar immer nur zum Teil ersetzt werden, Ziel und Ergebnis bleibt aber immer die Erhöhung und Verbreiterung des Strandes und der Schorre, so dass der Uferlinienrückgang durch Erosion reduziert wird (unter anderem wird hierdurch eine Dämpfung der Brandungsenergie erreicht) oder die Erhöhung und Verbreiterung von Sturmschutzdünen bzw. die Schaffung von Vordünen vor aktiven Kliffs. Der

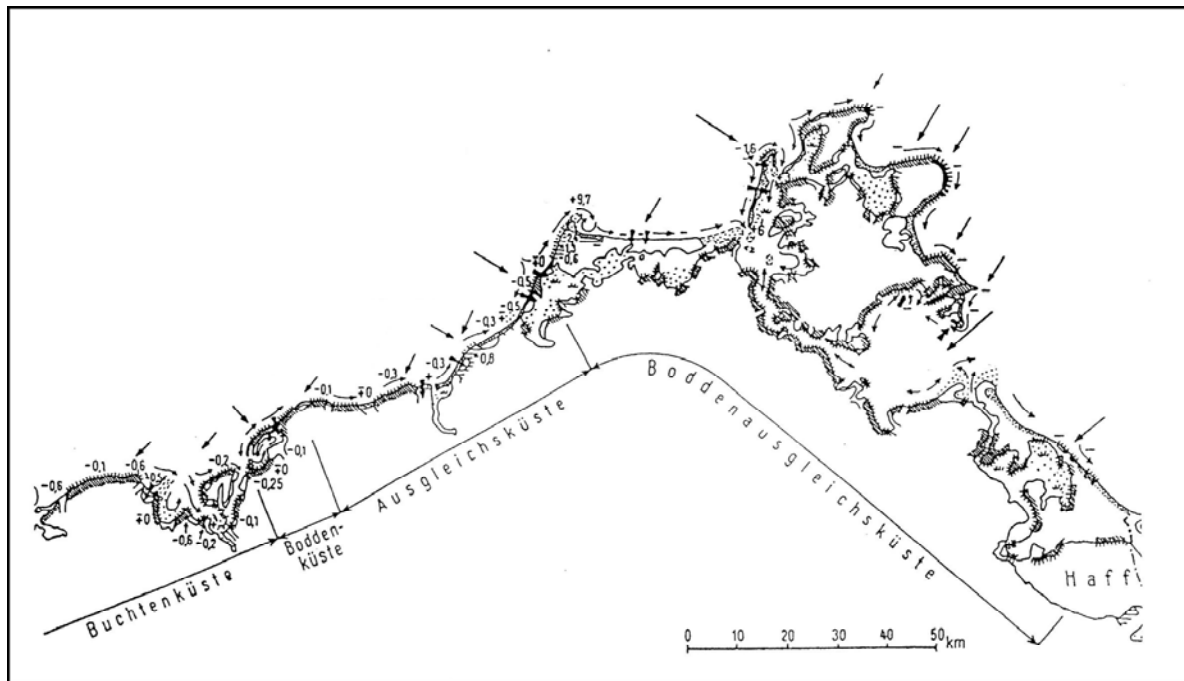
Ausgleich von Sedimentdefiziten an der Küstenlinie kann immer nur teilweise erfolgen, ein vollständiger Ersatz der Masseverluste ist, in einem ökonomisch realisierbaren Rahmen, ausgeschlossen. Da langfristig die natürlichen Abtragungs- und Küstenrückgangsprozesse die Oberhand behalten werden, muss abgewogen werden, wo Sandaufspülungen überhaupt sinnvoll sind (der Sand bleibt nur wenige Jahre liegen) oder an welchen Stellen der Uferrückgang und damit das Zurückweichen der Hochwasserverteidigungslinie akzeptiert werden kann.

Der Umfang und die Wiederholungsintervalle von Sandaufspülungsmaßnahmen gestalten sich wie folgt: auf den laufenden Meter Küste kommen bei mittleren Aufspülmengen 90 - 150 m<sup>3</sup> Sand. Hierbei handelt es sich meist um eine Kombination der obengenannten Zielvorstellungen. Insgesamt beläuft sich das Volumen der Sandmassen, die für eine einzelne Sandaufspülungsmaßnahme bewegt werden auf 150 - 250.000 m<sup>3</sup>. Trotz abtragungshemmender Maßnahmen, wie der Wahl einer günstigen, weil lagestabileren Korngrößenzusammensetzung des Spülsandes, sowie der wasserseitigen Stabilisierung des Dünenkörpers durch Buhnen, führen Sturmflutwasserstände und Brandungsbelastung dazu, dass der künstlich geschaffene Dünenkörper nach 6 - 7 Jahren durch Wiederholungsaufspülungen ergänzt oder wiederhergestellt werden muss.

## 6. Beispiel Mecklenburg-Vorpommern

Auf Landesebene von Mecklenburg-Vorpommern sind die Zuständigkeiten für den Küstenschutz wie folgt verteilt: Das Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt ist die leitende und koordinierende Instanz, die hierfür über das Referat für Küstenschutz innerhalb der Abteilung Gewässerschutz und Wasserwirtschaft verfügt. In Schwerin, Rostock und Ueckermünde angesiedelt,

übernehmen darüber hinaus die Staatlichen Ämter für Umwelt und Natur (STAUN) Planungsaufgaben und sind zudem für den Bau und die Unterhaltung der Küstenschutzeinrichtungen sowie für „den wasserrechtlichen Vollzug der Regelungen zum Küstenschutz“ in Mecklenburg-Vorpommern verantwortlich. Das Beispiel des STAUN-Rostock zeigt, wie mittels einer ämterübergreifenden Abteilung „KÜSTE“ die Zuständigkeiten für grundlegende, den Küstenschutz betreffende Fragen festgelegt sind; die Aufgaben dieser Abteilung sind u.a. die Schaffung von „Grundlagen für die konzeptionelle Planung“ (s.o.), die planerische Vorbereitung von Maßnahmen in eigener Zuständigkeit sowie „Stellungnahmen und Gutachten zu Vorhaben Dritter an der Küste“ und die



**Abb. 7.5:** Die Küstenlinie Mecklenburg-Vorpommerns, verändert nach: Kramer et al. 1992, p. 563.

fachtechnische Prüfung aller genehmigungspflichtigen Baumaßnahmen. Vorteil der „amtsübergreifenden Zuständigkeit der Abteilung Küste ist eine einheitliche Behandlung der gesamten Küste“. Um einen Eindruck der für den Küstenschutz in Mecklenburg-Vorpommern aufgewendeten Finanzmittel zu vermitteln, sei hier beispielsweise die Summe von 60 Mio. DM genannt, die nach dem gegenwärtigen Planungsstand in nächster Zeit für den Schutz der Bodden- und Haffküsten des Landes aufgewendet werden sollen.

Küstenschutzbauwerke sind in Mecklenburg-Vorpommern, beruhend auf der Bedrohung durch Sturmfluten und der Rückgangstendenz von 70 % der Küstenlinie, auf die Außenküste konzentriert. Lediglich für die Deiche gilt, dass nur 20 % der Deich-Gesamtlänge in Mecklenburg-Vorpommern auf die Außenküste entfallen, was in der größeren Länge der Boddenküsten begründet ist. Da aber die Seedeiche auch für die Sicherheit der Binnendeiche und damit den Überflutungsschutz der Gebiete im Hinterland der Boddengewässern verantwortlich sind, galt die Aufmerksamkeit in Mecklenburg-Vorpommern der „Rekonstruktion und Komplettierung des Seedeichssystems“. Seit den 1950er Jahren erhielten bis dahin nur durch Dünen geschützte Küstenabschnitte bei Dierhagen, Ahrenshoop-Vordarß und Ückeritz neue Seedeiche. Auf ganz Mecklenburg-Vorpommern bezogen, sind nun 17 % der Außenküste (226 km) durch Seedeiche (als Bestandteil des traditionellen Verbundes Düne - Küstenwald - Deich) geschützt, während auf 47 % des Küstenverlaufes lediglich die natürlichen Dünen den Überflutungsschutz gewährleisten müssen.

Die seit den 1960er Jahren durchgeführten Sandaufspülungen an Mecklenburg-Vorpommerns Küsten werden, entweder zum Erhalt der Sturmflutschutzdünen oder zum Ausgleich negativen Sedimenthaushalts, an 18 % des Flachküstenverlaufes in Form von periodischen Aufspülungen durchgeführt. Bezogen auf die Außenküste handelt es sich um eine effektive Küstenlänge von 50 km (14 % der Außenküste), die bis 1996 gespült wurde. Ein Schwerpunkt der Sandauspülungsmaßnahmen ist der Küstenabschnitt bei Prerow-Zingst Ost, wo zwischen 1972 und 1992 auf einer Küstenlänge von 10 km achtmal aufgespült wurde. Welchem Küstentyp die hier erwähnten Küstenabschnitte zuzuordnen sind, soll anhand der in Abb. 7.5 gezeigten Karte deutlich werden. Insgesamt beschränken sich die Küstenabschnitte Mecklenburg-Vorpommerns, die über Küstenschutzanlagen jeglicher Art verfügen, bis heute auf etwa 50 % der gesamten Küstenlänge.

## **7. Küstenschutzmaßnahmen im Spannungsfeld von Ökologie und Ökonomie**

Obwohl beim Küstenschutz der Schutz menschlichen Lebens vor den potentiell zerstörerischen Kräften des Meeres im Vordergrund stehen muss, rückt beim modernen Küstenschutz immer auch die Frage der ökologischen und ökonomischen Vertretbarkeit der getroffenen Maßnahmen in den Mittelpunkt des Interesses. Zwar wird der Schutz der Bevölkerung immer absoluten Vorrang bei der Abwägung von Aufwendungen haben, jedoch müssen die notwendigen Maßnahmen und Eingriffe schonend in Landschaft und Natur eingefügt werden, wobei es nachteilige Auswirkungen (die mit Hilfe der Nachbarwissenschaft der Ökologie erkennbar gemacht werden) möglichst zu vermeiden gilt. Immer in Betracht gezogen werden muss auch die Verhältnismäßigkeit des Aufwandes, der zum Schutz eines Küstenabschnittes getroffen werden muss, d.h. das Verhältnis von Kosten und Nutzen muss gewahrt bleiben.

Als Beispiel für die ökonomische Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen können die Sandaufspülungen dienen, die durch die Notwendigkeit der andauernden Wiederholung als besonders kostenintensiv anzusehen sind. Weil also die aufwendigen und teuren Maßnahmen bereits nach wenigen Jahren durch die natürlichen Abtragungskräfte zunichte gemacht werden, können solche Eingriffe nur dort erfolgen, wo es der Schutz von Siedlungsgebiet oder wirtschaftlich genutzter Flächen unbedingt erfordert. Andernorts muss der natürliche Küstenrückgang in Kauf genommen werden, sofern dadurch keine Gefahr für die Bevölkerung entsteht. Zusammenfassend kann man sagen, dass es „Küstenschutz um jeden Preis“ nicht geben kann.

Als problematisch erweist sich ebenso der Konflikt zwischen ökologischen Interessen und dem Schutz der Küstenzone durch Beeinträchtigungen durch das Meer. Küstenschutzmaßnahmen können in diesem Zusammenhang immer auch die Veränderung von natürlichen Lebensräumen bzw. Ökosystemen zur Folge haben, da der Küstenschutz zur Folge haben kann, dass natürlicherweise vorkommende Überflutungen eines Lebensraumes ausbleiben und die dort angesiedelten Biozönosen ihre Lebensgrundlage verlieren. Als Beispiel für einen solchen Konflikt, in den auch ökonomische Interessen einfließen, wenn es sich bei den zur Diskussion stehenden Räumen um z.B. landwirtschaftlich nutzbare Flächen handelt, sollen die Küstenüberflutungsräume der Ostsee dienen. Diese natürlich vorkommenden Areale weisen durch den Wechsel von Überflutung und Austrocknung Ökosysteme von besonderer Zusammensetzung und Dynamik auf. Es handelt sich um in Europa sehr selten anzutreffende, natürlicherweise waldfreie Ökosysteme, in denen der episodische Wechsel der Lebensbedingungen (Durchfeuchtung und Austrocknung, Salz- und Süßwassereinfluss, Akkumulation und Abrasion) zur Ausbildung einer besonders angepassten, nur auf diesen Flächen vorkommenden Flora und Fauna geführt hat. Die in diesem Landschaftstyp vorherrschenden Küstenüberflutungsmoore wurden jahrhundertlang traditionell als Salzwiesen und -weiden genutzt, ehe die Intensivierung der

Landwirtschaft, eingehend mit steigenden Flächenansprüchen, zur Eindeichung und Trockenlegung der Küstenüberflutungsflächen führte. Küstenschutz bzw. Landgewinnungsmaßnahmen sorgten in diesem Fall also für die Zerstörung von selten vorkommenden natürlichen Ökosystemen. Neben diesem Beispiel kommen diverse andere Konflikte zwischen Naturschutz- und Küstenschutzinteressen vor, man denke z.B. an die Veränderung natürlicher Dünenkomplexe im Zuge von Küstenschutzmaßnahmen oder die Lebensräumen an den frischen Abbruchkanten eines aktiven Kliffs, die durch die Sicherung der Steilküste gegen Abtragung verloren gehen.

## **Literatur**

- Boedeker D.; v. Nordheim, H. (eds.) (1997): Naturschutz und Küstenschutz an der deutschen Ostseeküste. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz. 114 p.
- Kiecksee, H. (1972): Die Ostsee-Sturmflut 1872. Schriften des deutschen Schiffahrtsmuseums Bremerhaven. 152 p.
- Kramer, J.; Rohde, H. (1992): Historischer Küstenschutz. 567 p.
- Meurer, R. (2000): Wasserbau und Wasserwirtschaft in Deutschland. 358 p.
- Newig J.; Theede, H. (eds.) (2000): Sturmflut. 159 p.
- Petersen, M.; Rohde, H. (1991): Sturmflut. 182 p.
- Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern (2001): Online-Broschüre - Küstenschutz in Mecklenburg-Vorpommern. [www.mv-regierung.de/staen](http://www.mv-regierung.de/staen).