

## Sturmfluten und Sturmhochwasser

Stand: 19. November 2013

### Entstehung der Nordsee-Sturmfluten

Die Sturmfluten der Nordsee entstehen durch das Zusammenspiel von Sturmsystemen und Gezeiten. Die Überschwemmungsgefahr potenziert sich für große Landstriche, wenn während einer oder gar mehrerer Flutphasen Stürme das Wasser in die Deutsche Bucht und gegen die Küste drücken (WORLD OCEAN REVIEW 2010). Bei sogenannten Springfluten (während Voll- oder Neumond) laufen die Hochwässer zusätzlich ca. 10-30 cm höher auf.

In Abbildung 1 ist die Beeinflussung von Sturmflutwasserständen durch den Anstieg des Meeresspiegels und veränderter meteorologischer Bedingungen dargestellt. Die Graphik veranschaulicht, dass es durch regionale Besonderheiten wie zum Beispiel die ozeanische Zirkulation (temperatur- und salzgehaltsabhängige Meeresströmungen) zu Abweichungen vom globalen Meeresspiegels kommen kann, woraus regional erhöhte Sturmflutwasserstände resultieren können. Zudem können die Windverhältnisse das Meerwasser über den Sturmflutwasserstand hinaus den Deich hinaufdrücken (= Wellenauflauf am Deich).

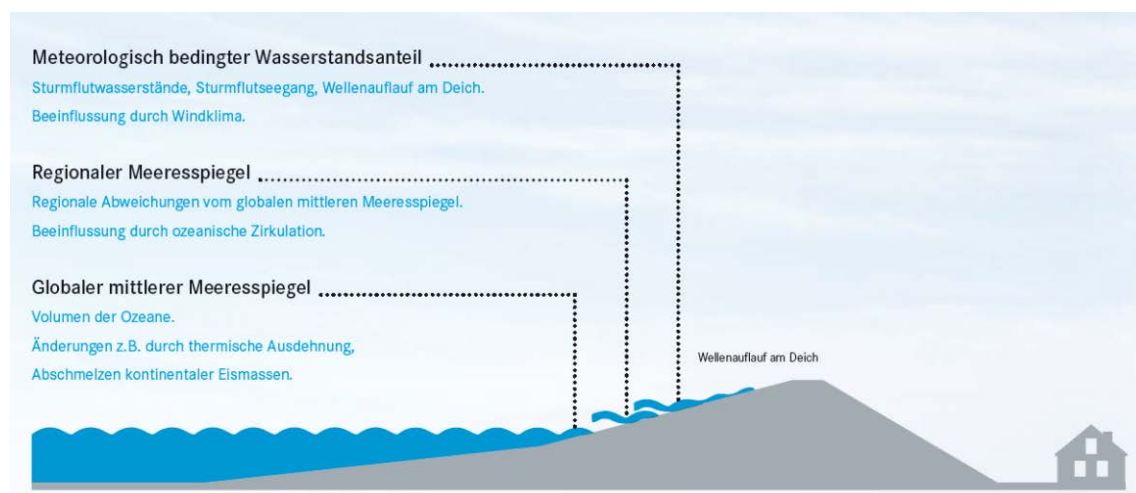


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Faktoren, die Sturmflutwasserstände beeinflussen können (Quelle: NORDDEUTSCHES KLIMABÜRO, 2010)

### Entstehung der Ostsee-Sturmhochwasser

Sturmsysteme können auch in Rand- und Nebenmeeren mit geringer Gezeitenausbildung wie der Ostsee verheerende Sturmhochwasser verursachen. Wie in einer Wanne staut der Wind die Wassermassen in einem Teil des Beckens. Diese schwappen dann zurück, sobald der Wind nachlässt, sich dreht oder sich die Luftdruckverhältnisse verändern. Im schlimmsten Fall verstärken

sich beide Faktoren gegenseitig, wenn zurückschwappende Wassermassen und gedrehter Wind in die gleiche Richtung wirken. Dann kann der Wasserstand an der deutschen Ostseeküste um mehr als 3 m ansteigen und zu katastrophalen Hochwassern wie im Jahr 1872 führen. Durch starke Niederschläge wird diese Situation verschärft, da Regenwasser über die Flüsse wegen des dann ohnehin hohen Wasserstands an der Küste nicht abfließen kann und sich weit in die Flussläufe hinein aufstaut (WORLD OCEAN REVIEW 2010).

Ein ähnliches Phänomen gibt es auch an der Nordseeküste, wenn eine Reihe von Sturmtiefs mit ergiebigen, tagelangen Niederschlägen das Wasser in die Deutsche Bucht und die Unterläufe der Flüsse drückt, wie z.B. bei der katastrophalen „Hamburg Flut“ im Jahr 1962.

### **Sturmflutkatastrophen der Vergangenheit**

Sturmfluten prägen seit jeher die Gestalt der deutschen Küstenregionen, insbesondere an der Nordsee. Seit dem Mittelalter führte eine Kombination mehrerer Problemfaktoren zu großem Leid: die Gewinnung von Salz aus den Torfkörpern des Sietlandes ließ weite Bereiche des Hinterlandes deutlich unter das Meeresspiegelniveau absinken. Die zunehmende Besiedlung hinter den Deichen, deren Schutzwirkung überschätzt wurde, und gewaltige Sturmfluten führten im Mittelalter zu großen Schäden. Die schweren Sturmfluten des 14. und 17. Jahrhunderts mit z.T. ca. 100.000 Toten (z.B. Zweite Marcellusflut: Grote Mandränke) und riesigen Landverlusten sind tief im gesellschaftlich-kulturellen Gedächtnis der Küstenbewohner verankert. So ist der Untergang Rungholts unvergessen und die großen Einbrüche im Dollart sowie die Erweiterung von Leybucht, Harlebucht, Jadebusen und Eidermündung haben bis heute ihre Spuren hinterlassen.

Riesige Deiche schützen heute das besiedelte Hinterland vor Orkanfluten und prägen das Landschaftsbild, vor allem an der Festlandküste der Nordsee. Jedoch ging mit der Errichtung der Deiche ein riesiger Flächenverlust an ehemals vom salzigen Meerwasser beeinflusster Küstenlebensräume einher. Insbesondere die unterschiedlich salzbeeinflussten Lebensräume der Übergangszonen zwischen Meer und Binnenland sind selten geworden.

### **Klimaänderung**

Ob sich die Intensität und Frequenz schwerer Stürme in der deutschen Küstenregion verändern wird, ist derzeit aufgrund unterschiedlicher Ergebnisse der verschiedenen Klimamodelle noch nicht eindeutig zu beantworten. Die Gesamtsturmhäufigkeit im Bereich der deutschen Nordsee zeigt im Zeitraum 1970 bis 2008 keinen ansteigenden Trend, sondern unterliegt erheblichen quasizyklischen Schwankungen (BSH, 2009). Nach Berechnungen für den „Norddeutschen Klimaatlas“ muss aus Gründen der vorsorgenden Verantwortung in Norddeutschland aber bis zum Ende des 21. Jahrhunderts von einer möglichen Zunahme der Sturmintensität um bis zu 4% und einer Zunahme an Sturmtagen um bis zu 4,6 Tage ausgegangen werden (verglichen mit dem Zeitraum 1961-1990; [www.norddeutscher-klimaatlas.de](http://www.norddeutscher-klimaatlas.de)).

Mit dem Ansteigen des Meeresspiegels (siehe Text zum Meeresspiegelanstieg) werden in Zukunft auch ohne Veränderung der Windverhältnisse besonders hohe Sturmflutwasserstände auftreten, da das Ausgangshöheniveau entsprechend mit dem Meeresspiegel steigt. Auf 10 bis 30 cm windbedingte Erhöhung (Abb. 2) kommen dann im ungünstigen Fall noch die 140 cm Meeresspiegelerhöhung bis zum Ende des Jahrhunderts dazu, wobei noch höhere Anstiegsraten derzeit nicht ausgeschlossen werden können. Die Prognosen deuten darauf hin, dass bisher als „Jahrhundert-Wasserstände“ klassifizierte Sturmflutwasserstände wie die der Orkanfluten von 1962 und 1976 an der Nordsee häufiger auftreten werden, möglicherweise künftig alle 10 Jahre (WORLD OCEAN REVIEW, 2010). „An der deutschen Ostseeküste [...] wäre dieser Effekt sogar noch ausgeprägter: Ein Jahrhundert-Hochwasser mit einer Höhe von 2,50 Meter über Normalnull (NN) würde dort sogar alle zwei bis fünf Jahre eintreten“ (WORLD OCEAN REVIEW, 2010). Neue potentielle Rekordhöhen von Sturmfluten an der Nordsee und Sturmhochwassern an der Ostsee stellen den Küstenschutz dann vor riesige Herausforderungen.

Der Entwicklung der Sturmfrequenz, -intensität und Hauptwindrichtung kommt zudem eine entscheidende Bedeutung hinsichtlich des marinen Charakters der Ostsee zu, da sie wesentlich Einfluss nimmt auf den Einstrom von salzigem Nordseewasser in die Ostsee (sogenannte Salzwassereinträge). Beeinflusst wird die Salinität der Ostsee aber auch über den Süßwassereintrag

der in sie einmündenden Flüsse und durch die temperaturabhängige Verdunstungsrate des Ostseewassers. Für beide Faktorenkomplexe werden ebenfalls Veränderungen infolge einer raschen Klimaänderung prognostiziert (Temperaturerhöhung und Veränderung der Niederschläge im Einzugsgebiet). Die Entwicklung des Salzgehaltes der Ostsee wird entscheidenden Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften an der Ostseeküste haben, auch weit über die eigentlichen Sturmereignisse hinaus.

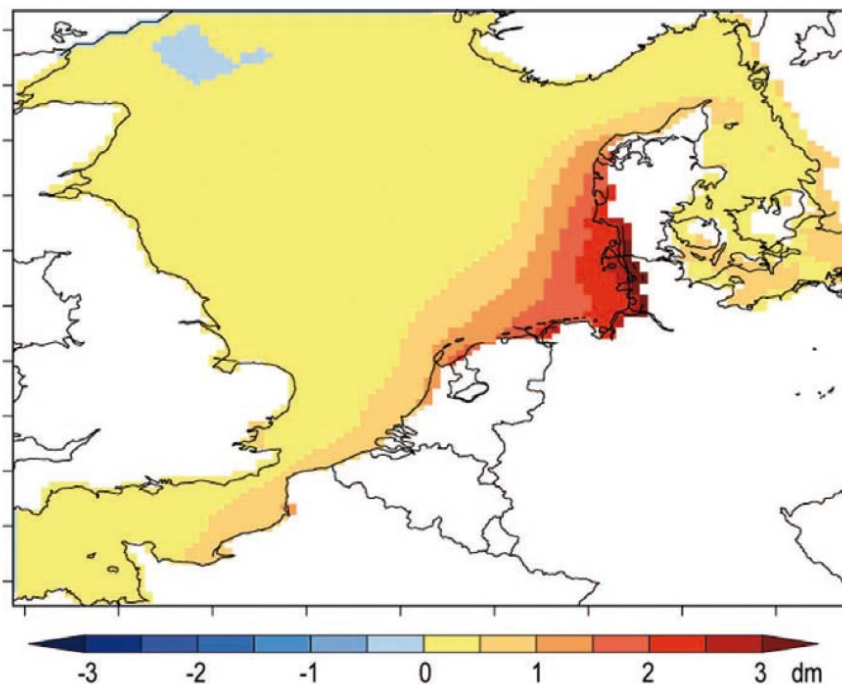


Abbildung 2: Erwartete Zunahme der windbedingten Sturmfluthöhen in Meter am Ende des 21. Jahrhunderts (Quelle: WOTH 2005)

### Gefahren und Anpassungsmaßnahmen

Mit dem Meeresspiegelanstieg und einer Sturmflutintensivierung verschärft sich das Erosionsgeschehen an der Küste. Untersuchungen an der Wurster-Küste südwestlich von Cuxhaven dokumentierten Salzriesenabbrüche von ca. 3 m nach zwei schweren Sturmfluten der Jahre 1999 und 2000 (DORMANN ET AL. 2000). Simulationen der Entwicklung des Vorlandes von Wangerooge zeigen, dass mit größeren Flächenverlusten im Rahmen des Klimawandels gerechnet werden muss („Squeeze-Effekt“ durch Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten), (SCHIRMER ET AL. 2004).

Als Reaktion auf den steigenden Meeresspiegel und veränderte Windverhältnisse in der deutschen Bucht müssen die Deiche erhöht werden. Schon in der Vergangenheit wurden so aus ehemals kleinen Wällen mächtige Landesverteidigungsdeiche. Die aktuellen Generalpläne des Küstenschutzes beinhalten daher eine klimaänderungsbedingte Erhöhung der Deiche, deren Umsetzung partiell bereits begonnen hat. Eine Erhöhung ist aber nicht überall möglich. Dort, wo der Untergrund das Gewicht eines erhöhten Deiches nicht mehr tragen würde, müssen Deiche entweder gegen Überströmungen z.B. mit einer Asphaltdecke geschützt werden oder es müssen neue Deiche an geeigneter Stelle gebaut werden. Erhöhte und neue Deiche führen zu einem bedeutsamen Flächenverlust des Küstenvorlandes, da mit der Höhe des Deiches ebenfalls die Deichbreite erheblich zunimmt. Waren die 3 m hohen Nordseedeiche des 17. Jahrhunderts noch ca. 19 m breit, so sind die 8 bis 9 m hohen Landesverteidigungsdeiche heute z.T. über 100 m breit.

Die Deiche werden aber nicht nur breiter und höher. Einer erhöhten Erosionsgefahr wird von Seiten des Küstenschutzes mit Erosionsschutzbaumaßnahmen an den Deichen begegnet. An den sogenannten Schardeichen, also Deichen ohne oder mit nur sehr gering ausgeprägtem Vorland, kann man heute schon sehen, welche Auswirkungen solche Maßnahmen auf die Natur haben. In der

Abbildung 3 ist eine natürlich aufgewachsene und unverbaute untere Salzwiese einem entsprechend ausgebautem, in derselben Höhenzone liegendem Schardeichfuß an der südlichen Wurster Küste gegenüber gestellt.



Abbildung 3: Natürliche Salzwiesen auf der Nordseeinsel Mellum und durch Küstenschutzanlagen zerstörte Bereiche an der südlichen Wurster Küste. (Quelle: DORMANN ET AL. 2000)

Mittel- bis langfristig wird aber bei einem starken Meeresspiegelanstieg auch mit weitergehenden Maßnahmen oder gar neuen Konzepten der Küstenentwicklung und des Küstenschutzes zu rechnen sein (Bau weiterer Sperrwerke und einer zweiten Deichlinie, regionale Ausdeichung wirtschaftlich weniger bedeutsamer Küstenabschnitte, Entwicklung multifunktionaler Küstenräume etc.).



Abbildung 4: Strand- und Dünenerosion während einer Sturmflut an der deutschen Nordseeküste, Insel Sylt. (Foto: STEFAN MENZEL)

Besonders bedeutsam – jedoch von Deichen nicht zu schützen – sind die Strände und Dünen der Nord- und Ostsee, die unmittelbar dem Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten ausgesetzt sind (Abb.4). Ihre Entwicklung wird unmittelbar von den Wind- und Strömungsverhältnissen, der Geschwindigkeit und dem Ausmaß von Meeresspiegelschwankungen und dem Sturmflutgeschehen geprägt. Entscheidend ist hierbei die ausreichende Zufuhr an Sedimenten, insbesondere bei einem raschen Meeresspiegelanstieg. Wird die Sedimentbilanz infolge eines zu raschen Meeresspiegelanstieges negativ, kommt es zur Erosion. Je schneller und höher der Meeresspiegel steigt, umso größer kann der Massen- und Flächenverlust im Strandbereich ausfallen. Da Sandstrände sich nur in einem flachen Winkel aus dem Meer erheben, können schon geringe Meeresspiegelanstiegsraten zu großen Flächenverlusten führen. Nach der sogenannten Brun'schen Regel würde ein Meeresspiegelanstieg von nur 1 m den Verlust eines 50 bis 100 m breiten Küstenstreifens zur Folge haben können. Derzeit befinden sich nach groben Schätzungen bereits ca. 70 % der weltweiten Sandstrände aufgrund von Erosion auf dem Rückzug. Insbesondere Sturmfluten sind in der Lage, innerhalb weniger Stunden gewaltige Sedimentmengen abzutragen. Ob es zu Umlagerungen, Akkumulation oder zur Erosion kommt ist je nach regionaler Küstenform und Strömungsverhältnissen sehr unterschiedlich. Soll aus Küstenschutzsicht oder wegen seiner besonderen Bedeutung ein Sandstrand gegen die Erosionskräfte erhalten bleiben, ist dies in der Regel nur mit großem finanziellem Aufwand möglich. Dies geschieht zum Beispiel auf der Insel Langeoog und schon seit 1972 auf Sylt, wo jährlich ca. 1 Millionen Kubikmeter Sand aus dem Küstenvorfeld nach Sturmfluten auf die erodierten Abschnitte künstlich aufgespült werden.

#### **Quellen**

BSH (2009): System Nordsee. System. Zustand im Kontext langzeitlicher Entwicklungen. Berichte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie Nr.44/2009, 261 Seiten.

DORMANN, W.; MIßKAMPF, R. & MOSSAKOWSKI, D. (2000): Reaktionen terrestrischer Salzwiesen-Zoozönosen auf Temperaturerhöhung und verstärktes Flutgeschehen infolge globaler Klimaänderungen. Abschlußbericht FKZ 01 LK 96108, 119 Seiten + Anhang.

NORDDEUTSCHES KLIMABÜRO (2010): Nordseesturmfluten im Klimawandel.  
<http://www.norddeutsches-klimabuero.de/>

SCHIRMER, M.; KRAFT, D. & S. WITTIG (2004): Teilprojekt III: Küstenökologische Aspekte des Klimawandels. Abschlussbericht Projekt: Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste (KRIM). Auftraggeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung. Förderkennzeichen: 01LD0012: 169 Seiten.

WOTH, K. (2005): Projections of North Sea storm surge extremes in a warmer climate: How important are the RC M driving GCM and the chosen scenario? Geophys. Res. Lett. 32.

WORLD OCEAN REVIEW (2010): Mit den Meeren leben. Herausgeber: maribus GmbH, 240 Seiten.  
<http://worldoceanreview.com/>

#### **Kontakt und weitere Informationen:**

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND)  
AG Klimaänderung und Küstennaturschutz

[AG-KliKueNa@bund.net](mailto:AG-KliKueNa@bund.net)

[http://www.bund.net/ueber\\_uns/arbeitskreise/meer\\_und\\_kueste/](http://www.bund.net/ueber_uns/arbeitskreise/meer_und_kueste/)