

Deich- und Hauptsielverband Dithmarschen

**Internationales Symposium Dithmarschen 2000
"Wasserwirtschaft und Küstenschutz heute und morgen"
am 10.5.2000 in Büsum**

Management von Sturmflutrisiken

**von
Universitäts-Professor Dr.-Ing. Claus Zimmermann
Dr.-Ing. Nicole von Lieberman
Dipl.-Phys. Stephan Mai**
FRANZIUS-INSTITUT FÜR WASSERBAU UND KÜSTENINGENIEURWESEN
UNIVERSITÄT HANNOVER

Hannover, Mai 2000

Management von Sturmflutrisiken

Sturmfluten – Ereignisse mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit

Sturmfluten sind die Folge des Zusammentreffens von hohen Wasserständen mit Starkwindereignissen. Ihr Auftreten ist hinsichtlich der Höhe der Wasserstände für bestimmte Perioden eines Jahres anhand statistischer Methoden mit einer hohen Wahrscheinlichkeit vorhersagbar. Ihre genaue Höhe, ihre Dauer und vor allem der Zeitpunkt des Auftretens sind nicht vorhersagbar. Die Genauigkeit einer Aussage zu Wasserständen, Windstärken und Windrichtungen und ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit hängt von der Qualität der verfügbaren Messdaten ab, vor allem jedoch von der Dauer der vorliegenden Messreihen. Für die Deutsche Nordseeküste sind aufgrund der teilweise über 100-jährigen Messreihen und der Kenntnis früherer einzelner Extremereignisse (z.B. Marcellusflut) Aussagen, dass z.B. ein bestimmter Wasserstand innerhalb eines Zeitraumes von 100 Jahren (100-jähriges Hochwasser) mit Sicherheit eintritt, möglich (Abb. 1). Höhere Wasserstände sind dennoch möglich, jedoch mit geringerer Wahrscheinlichkeit.

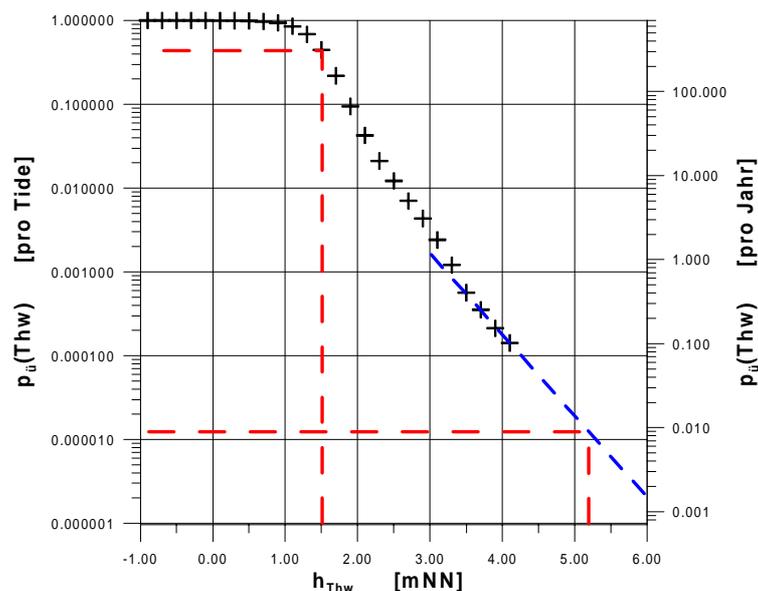


Abb. 1: Überschreitungshäufigkeit des Tidehochwasserstands am Pegel Fedderwardsiel

Hier beginnt die Aufgabe von Entscheidungsträgern, die für die Sicherheit von Land und Leben sowie der Infrastruktur einer Küstenregion zuständig sind. Sie müssen entscheiden, welches Risiko sie bereit sind dieser Region zuzumuten, wenn als Risiko das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses und Folgeschäden definiert wird. Andererseits müssen die Betroffenen sich entscheiden, welches Risiko sie für sich bereit sind zu tragen bzw. die Folgeschäden zu finanzieren. Sei es in Form von Versicherungsbeiträgen oder eigener Vorsorge und Rücklagen, wenn Versicherungen nicht bereit sind, die Risiken zu versichern (dies ist für Hochwasser die Regel, da diese mit großer Wahrscheinlichkeit eintreten).

Entscheidungen können jedoch nur getroffen werden, wenn die möglichen denkbaren Risiken bekannt sind. Sie zu bestimmen, steht ein umfangreiches Instrumentarium zur Verfügung.

Risiko im Hinterland – eine Frage des Standortes

Sind Wasserstände, Windrichtungen und Windstärken vor der Küste mit statistischen Methoden bestimmt worden, so können die Folgen hieraus entstehender Belastungen für die Systeme zum Schutz des Hinterlandes sowohl statistisch als auch deterministisch abgeschätzt werden. Folgen bedeuten im Küstenschutz zunächst das Versagen oder sogar die Zerstörung eines Schutzelementes, was wieder zu einem Schaden bei nachgeordneten Schutzelementen und schließlich zu Überflutungen und hieraus resultierenden Schäden im Hinterland führt (Abb. 2).

Das Zusammenwirken von wahrscheinlichkeitsbestimmten hohen Wasserständen mit hohen auflandigen, ebenfalls nur statistisch erfassbaren Windgeschwindigkeiten führt weit vor der Küste zu Wellenhöhen, die ebenfalls eine statistische Verteilung aufweisen. Die räumliche Verteilung der Wellen unterschiedlicher Höhe und ihre Veränderungen (Höhe und Periode) zur Küste hin können berechnet werden oder sind z.B. einem Wellenatlas zu entnehmen (Abb. 3).



Abb. 2: Konsequenzen der Sturmflut 1953 in den Niederlanden

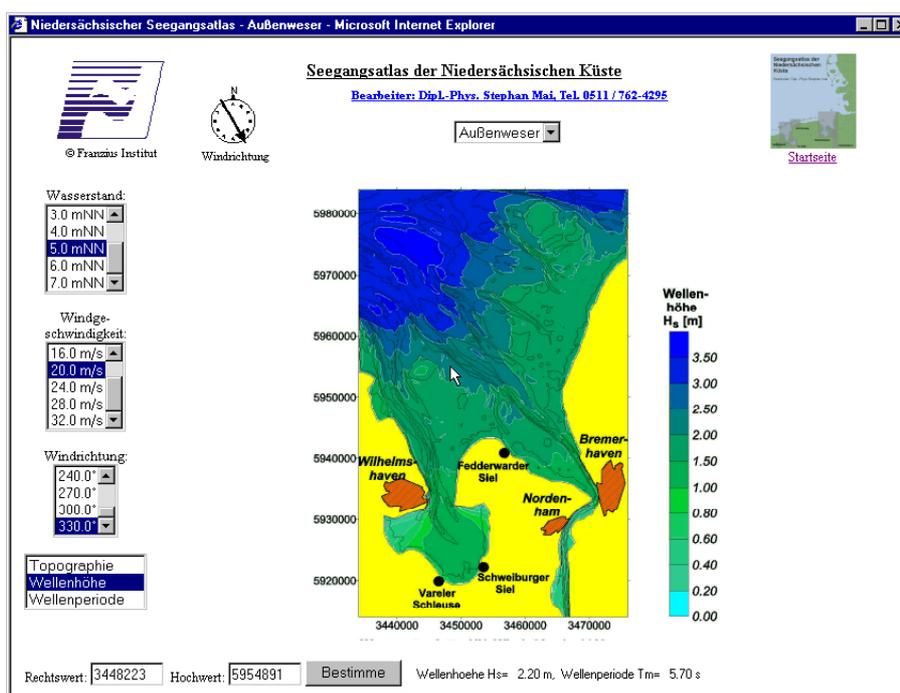


Abb. 3: Auszug aus dem Seegangsatlas des Franzius-Instituts

Die tatsächlich auf den Deich, als letztem und wichtigstem Schutzelement, auftreffenden Wellen haben nur noch einen Bruchteil der Ausgangswellenhöhe, je nachdem wie das Vorland ausgebildet ist (Höhenlage, Breite, Neigung). Vorhandene Tiefwasserrinnen reduzieren die Wellenhöhe durch Energieumwandlung, z.B. in einer Brandungszone, durch Sände oder gar vorgelagerte Inseln.

Unmittelbar vor dem Deich vorhandene ausgebildete Lahnungsfelder oder gar ein Sommerdeich tragen ebenfalls zur Wellendämpfung bei (Abb. 4).

Jede Veränderung im System vor dem Deich bedeutet bei gleichen Randbedingungen (Wasserstand und Wellenhöhen) eine Veränderung der Wellenbelastungen des Deiches.

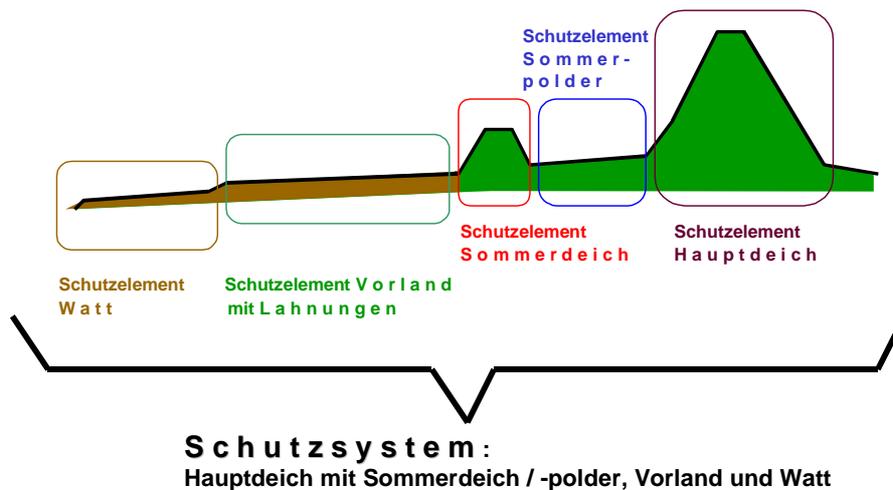


Abb. 4: Wirkung von Küstenschutzelementen als System

Das Versagen des Deiches beginnt mit dem statistisch verteilten Überlauf von Wellen und kann bei entsprechend hohen Wasserständen auch das vollständige Überströmen bedeuten (Abb. 5). Beide Belastungsarten können unabhängig von einander zum Bruch (Kollaps) des Deiches führen (Abb. 6).

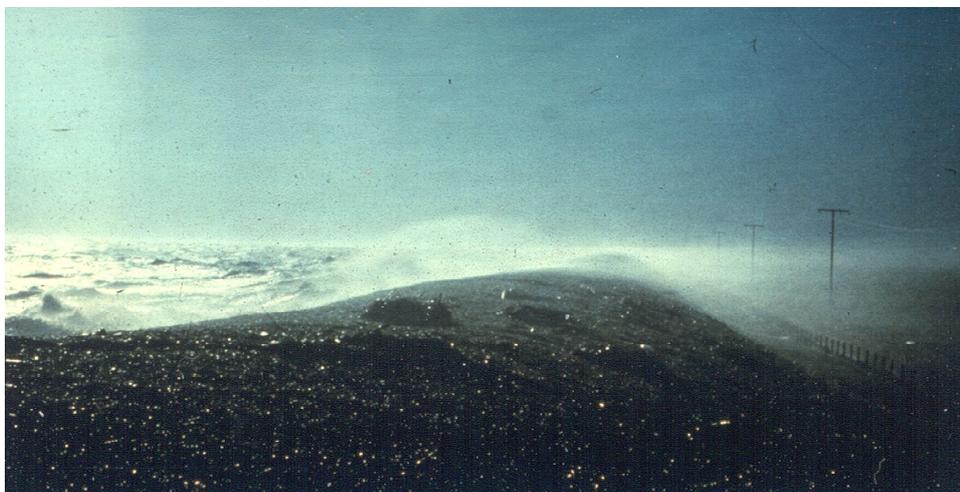


Abb. 5: Deichversagen durch Überlauf



Abb. 6: Schaden an einem Seedeich nach Wellenüberlauf

Erst von diesem Augenblick an ist ein Risiko für das Hinterland eingetreten, dessen Höhe sich nach dem Schadenspotenzial bzw. den möglichen Folgeschäden richtet.

Die Versagenswahrscheinlichkeit bzw. die Wiederkehrzeit von Wellenüberlauf kann entlang einer zu schützenden Küstenlinie für den dort vorhandenen Deich dargestellt werden (Abb. 7). Hier zeigt sich, dass bei gleicher Deichhöhe durchaus eine unterschiedliche Wiederkehrzeit des Wellenüberlaufs und damit ein unterschiedliches Risiko für das dahinter liegende Gebiet eintreten kann. Der Grund liegt in den zuvor beschriebenen vor dem Deich ankommenden unterschiedlichen Wellenhöhen. Umgekehrt ist aus solchen Darstellungen zu entnehmen, wo aufgrund unterschiedlicher Deichhöhen das Risiko für das Hinterland besonders hoch oder niedrig ist.

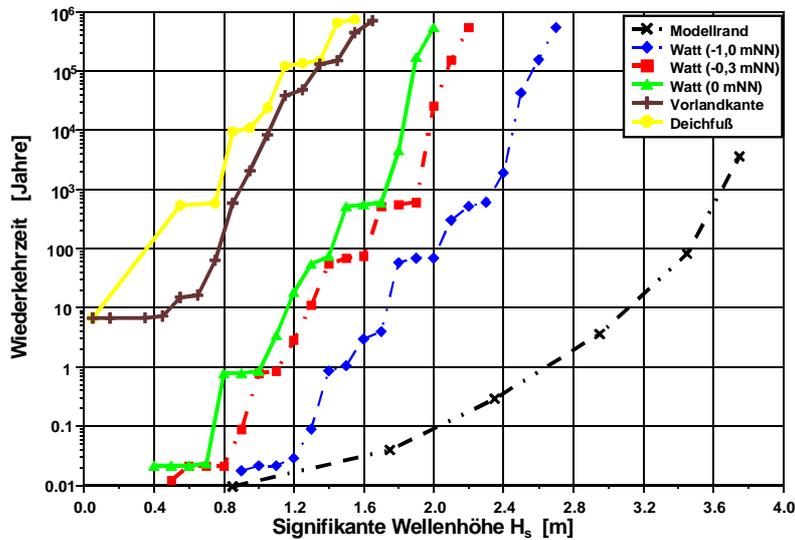


Abb. 7: Wiederkehrzeiten von Wellenhöhen entlang an ausgewählten Punkten

Die Folgeschäden wiederum werden von der Ausbreitung der durch die im Falle einer Schädigung des Deiches bis hin zum Deichbruch sich erweiternden Deichlücke und der sich ergebenden Wasserstände und Strömungen im Hinterland bestimmt (Abb. 8). Die Ausbreitung bestimmt sich wiederum nach der Topographie und Struktur des Geländes sowie möglicher Hindernisse (Straßen, Dämme). Grundlage für eine entsprechende Ausbreitungsrechnung sind digitale Geländemodelle, die auf den heute vorhandenen Karten aufbauen (Abb. 9).

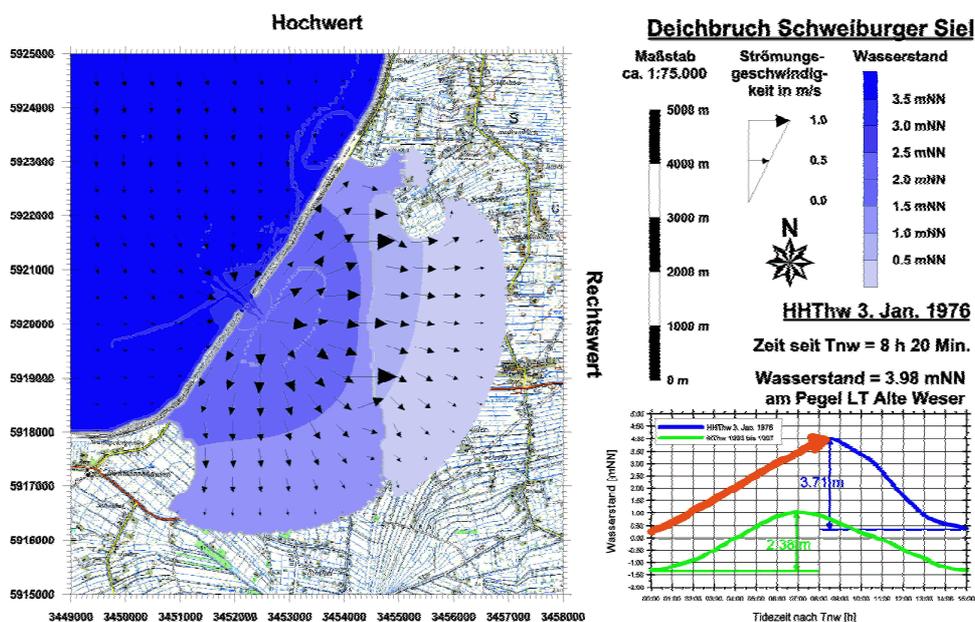


Abb. 8: Überflutungsflächen bei Deichbruch am Schweiburger Siel, Butjadingen

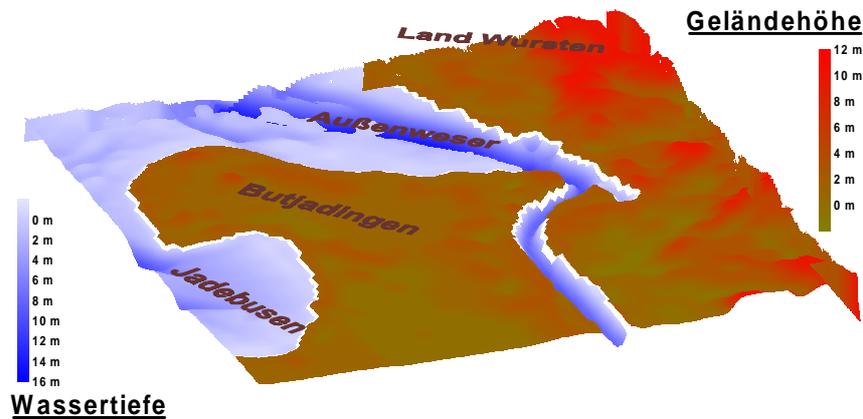


Abb. 9: Digitales Geländemodell für die Region Butjadingen – Land Wursten

Schadenspotenzial und Folgeschäden

Um die Folgeschäden ermitteln zu können, muss zunächst das Schadenspotenzial eines Gebietes bestimmt werden. Dies erfolgt durch Ermittlung betroffener Flächen, Gebiete, Gebäude, Infrastrukturen (Abb. 10) sowie betroffener Einwohner, Industriebetriebe usw. Hiernach lässt sich auch das Bruttoanlagevermögen, verteilt über die Fläche, ermitteln (Abb. 11). Das Gesamtschadenspotential ergibt sich aus den Einzelwerten der betroffenen Flächen. Die Genauigkeit einer solchen Darstellung von Schadenspotenzialen hängt von der Auflösung des Modells (z.B. Quadratmeter oder Quadratkilometer) und der zur Verfügung stehenden Bewertungen ab.

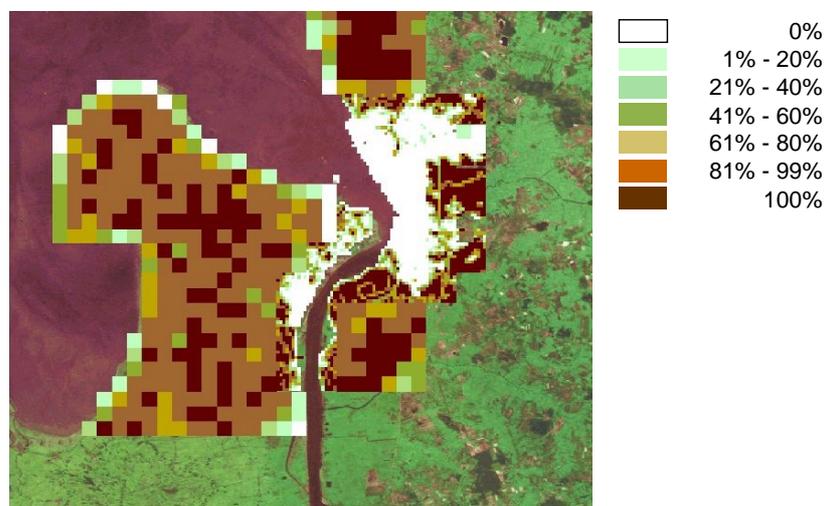


Abb. 10: Ermittlung eines Schadenspotenzials: Landwirtschaft

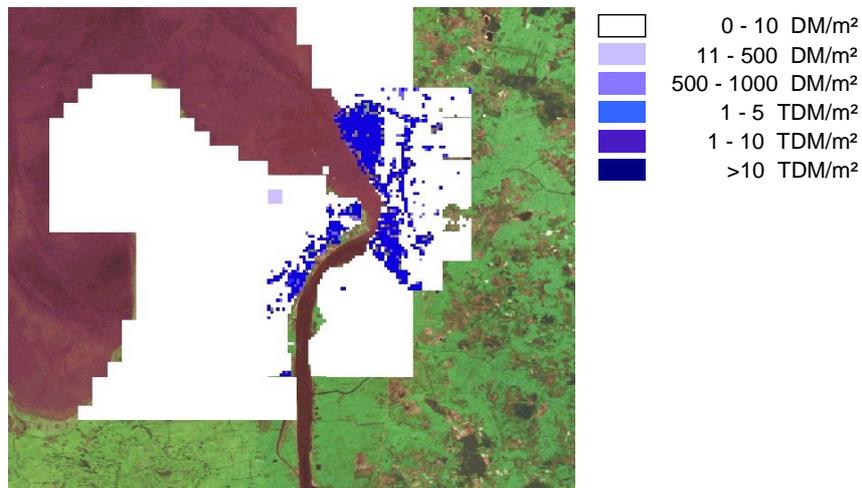


Abb. 11: Ermittlung eines Schadenspotenzials: Bruttoanlagevermögen

Um die Folgeschäden abschätzen zu können, ist weiterhin ein Schädigungsgrad bei unterschiedlichen Wasserständen oder als Folge von Strömungen zu ermitteln. Solche Schädigungsfaktoren bzw. Schädigungsgrade als Funktion der Überflutungshöhe liegen für einige Gebiete bereits vor, wären aber für spezielle Fälle neu zu ermitteln (Abb. 12). Mit Hilfe der Überflutungsrechnung und der dadurch bekannten Überflutungshöhe für die einzelnen Sektoren und den Schädigungsgrad ergibt sich der Folgeschaden, z.B. in Mio. €. Multipliziert mit der mittleren Versagenswahrscheinlichkeit und ggf. der Wahrscheinlichkeit des Eintritts benachbarter Schadensereignisse kann ein Risiko für eine Region oder eine bestimmte Fläche, z.B. in €, ausgedrückt werden. Bei dieser Art der Risikobetrachtung gehen nur die wirtschaftlich zu bewertenden Anlagegüter ein. Menschenleben oder kulturelle Werte müssen als Einzelereignisse festgestellt werden.

Neben dieser großräumigen Betrachtungsweise kann eine solche Analyse auch auf sehr engem Raum mit hohem Schadenspotenzial, wie sie z.B. in dicht besiedelten Industriestädten gegeben ist, durchgeführt werden. Dort kann bereits das Versagen eines einzelnen Schutzelementes ein hohes Risiko für diese Stadt bedeuten. So führt z.B. in der Seestadt Bremerhaven der Ausfall eines Tores eines Sperrwerkes bereits zu Überflutungen im Stadtbereich mit den entsprechenden Risiken (Abb. 13).

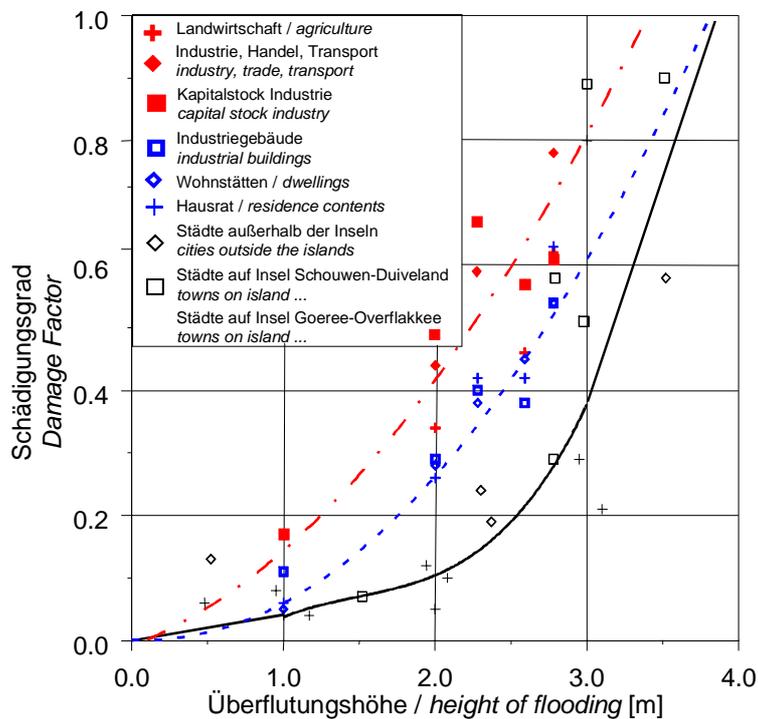


Abb. 12: Ermittlung eines Schadenspotenzials: Bruttoanlagevermögen

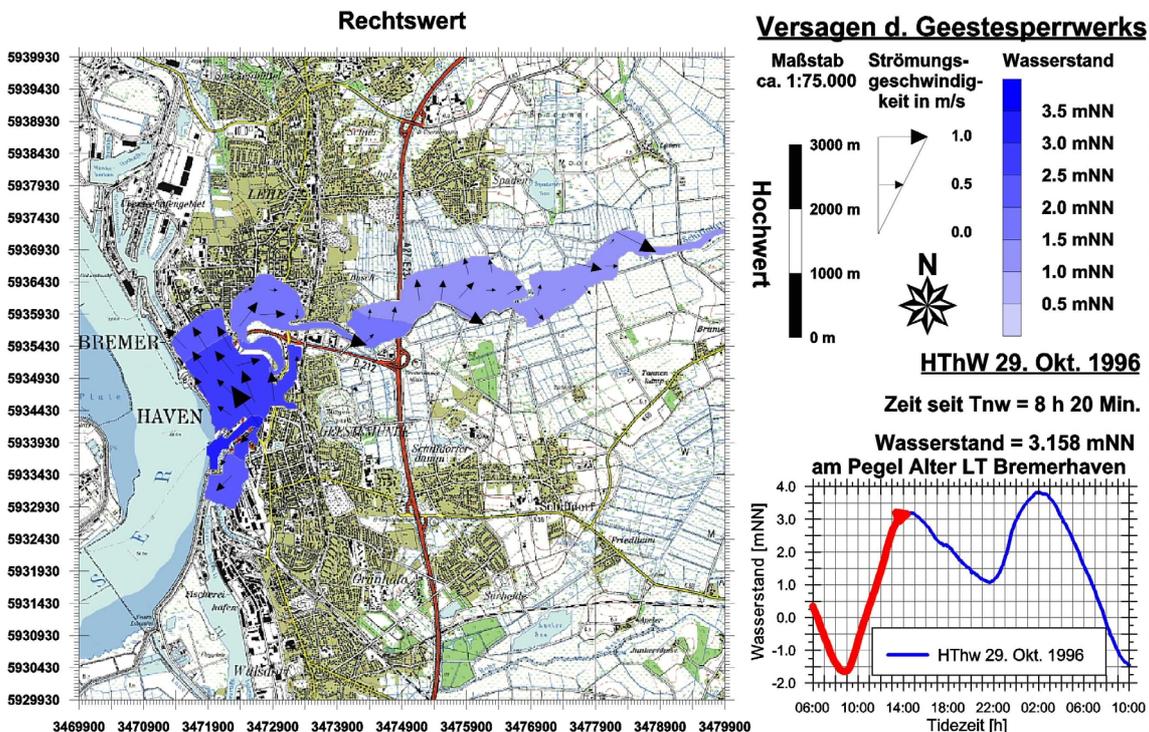


Abb. 13: Überflutungssimulationen zur Ermittlung des Schadenspotenzials der Hafenstadt Bremerhaven

Klimaänderungen und Risiko

Mit Hilfe der zuvor dargestellten Instrumente sind auch die Veränderungen des Risikos für eine Region als Folge von Klimaänderungen möglich. Als Beispiel können die heute in vielen Klimaszenarien als realistisch angesehenen Änderungen der Wasserstände von z.B. 0,5 m in den kommenden 100 Jahren über den derzeit angenommenen säkularen Wasserstandsanstieg von 0,3 m hinaus analysiert werden (Abb. 14). So zeigt sich für eine Region zwischen Jade und Unterweser, dass sich das Wiederkehrintervall des Versagens (Wellenüberlauf) von Deichabschnitten von derzeit ca. 1000 Jahren bei einem Wasserstandsanstieg von 0,5 m auf ca. 300 Jahre vermindern würde (Profil P2).

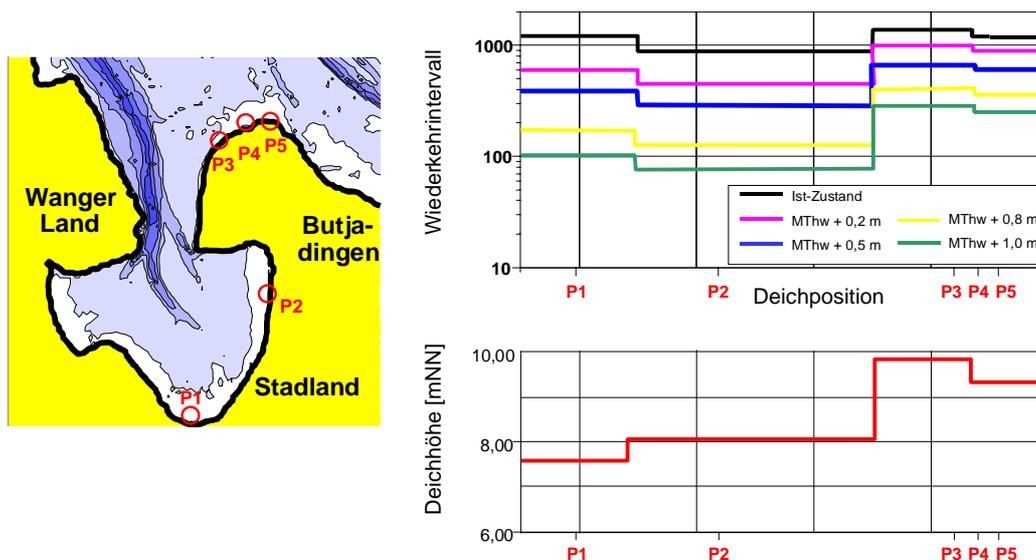


Abb. 14: Veränderung der Wiederkehrintervalle des Versagens einer Deichstrecke bei Klimaänderung (Wasserstandsanstieg)

Entsprechend lassen sich auch Folgen von Klimaänderungen auf die Windgeschwindigkeit und die Häufigkeit von Starkwindereignissen abschätzen (Abb. 15). So würde sich die Wiederkehrzeit des Versagens von Deichabschnitten gegenüber dem heutigen Zustand bei einer Erhöhung der Windgeschwindigkeit um 10 % von ca. 900 Jahren auf etwa 750 Jahre vermindern (Abb. 16).

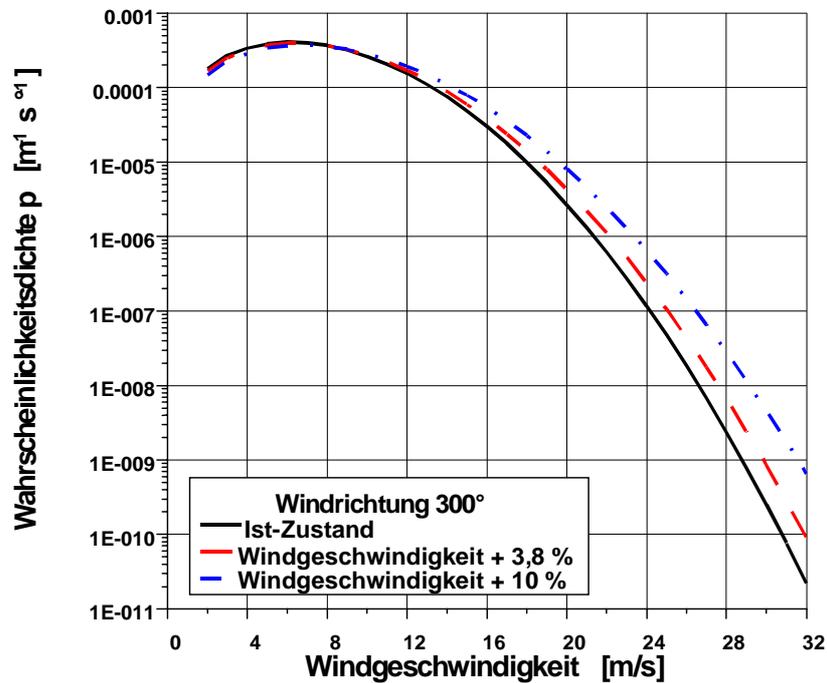


Abb. 15: Änderungen von Windgeschwindigkeiten durch Klimaänderungen

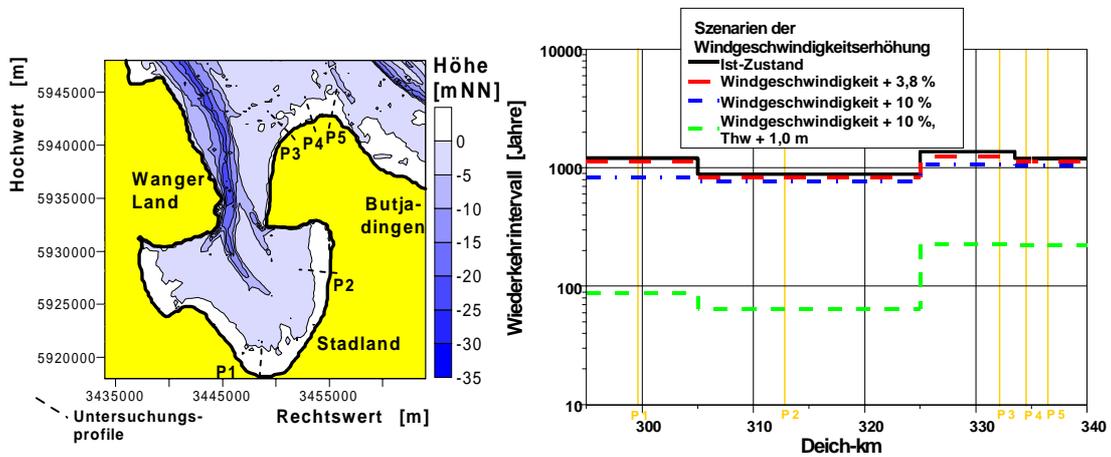


Abb. 16: Veränderung der Wiederkehrintervalle einer Deichstrecke bei Klimaänderung (erhöhte Windgeschwindigkeiten)

Managementaufgaben zur Verminderung des Risikos

Aus dem Vorausgegangenen ergeben sich für das Management einer Küstenregion eine Reihe von Aufgaben unterschiedlicher Priorität.

Grundvoraussetzung für jede Art von Maßnahme ist die Feststellung der betroffenen Gebiete, Bewohner und Sachwerte und die aufgrund der Aktivitäten des Meeres entstehenden Risiken. Hierzu stehen entsprechende Instrumente in Form von digitalen Modellen und Karten (Geographische Informationssysteme) sowie Modelle zur Berechnung von Wasserständen, Strömungen, Wellen und ihrer Vorhersage zur Verfügung.

Auf dieser Basis ist zunächst durch Aufklärung und Information die Höhe des vertretbaren bzw. bezahlbaren, sei es aus Steuermitteln oder durch die Betroffenen, Risikos festzustellen.

Anhand des einzugehenden Risikos kann über die verschiedensten Maßnahmen nachgedacht werden. Es können entsprechende Pläne, z.B.

- zur Deichverstärkung
- für zweite Deichlinien vor bzw. hinter der Hauptdeichlinie
- zur Verbesserung der Schutzfunktion im Vorland oder
- vorgelagerter Inseln,

mit rationalen Argumenten ausgearbeitet werden.

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die hier vorgestellten Methoden des Versagens sich lediglich auf den Überlauf am Hauptdeich bezieht. Daneben ist auch die Wahrscheinlichkeit des lokalen Bruchs eines Deiches und der Fortsetzung der entstehenden Schäden nach Wahrscheinlichkeitskriterien zu ermitteln. Hierbei gehen Materialkenngrößen, Bauweisen usw. ein. Über sie ist bisher jedoch sehr wenig bekannt. So lässt sich z.B. die Wahrscheinlichkeit eines Deichbruchs durch unmittelbare Deichverstärkung beträcht-

lich erhöhen und möglicherweise Maßnahmen zur Risikominderung für das Hinterland an anderer Stelle vermeiden oder reduzieren.

Zu den Aufgaben eines Risikomanagements gehört auch eine Entscheidung über mögliche Streuung von Risiken im Hinterland und für die Betroffenen. So ist zweifellos die bisher verfolgte Philosophie gleiche Deichhöhe und damit gleiche Sicherheit entlang der gesamten Küste aufgrund der begrenzten finanziellen Möglichkeiten in Zukunft nicht mehr durchzuhalten (PROBST 1999). Andere Varianten sind Maßnahmen zum Objektschutz (z.B. Wurten), temporäre Verkürzungen örtlicher Deichlinien durch Sperrwerke oder vorbeugende Maßnahmen für schnelle Evakuierungen.

Hier müssen neue Strategien entwickelt, Kriterien erarbeitet, Pläne erstellt und mit den Betroffenen einschließlich dem Steuerzahler diskutiert werden. Nur so ist ein landesweiter, von breitem Konsens getragener Küstenschutz der Zukunft möglich.

8. Literatur

- PROBST, B.: 1988 Leitbild und Ziele des Küstenschutzes in Schleswig-Holstein
Wasser & Boden, 50/12, S. 19-24
- HOFSTEDDE, J.L.A 1999 Integriertes Küstenschutzmanagement in Schleswig-Holstein
PROBST, B.:
Hansa 11/99
- VON LIEBERMAN, N. 1999 Sturmflutschutz des Natur- und Wirtschaftsraumes zwischen Jade und Weser – eine Beurteilung der Deichsicherheit
MAI, S.:
Tagungsband der 16. Jahrestagung des Arbeitskreises Meere und Küsten (AMK), Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung
- VON LIEBERMAN, N. 1999 Küstenschutz an der Unterweser vor dem Hintergrund von Naturraum und Nutzung
MAI, S.:
Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung, H. 35, S. 109-127
- VON LIEBERMAN, N. 1999 Küstenschutz an der Unterweser vor dem Hintergrund von Naturraum und Nutzung
MAI, S.:
Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung, Heft 35
- MAI, S. 1996 Konzepte und Techniken im Küstenschutz in Niedersachsen unter geänderten Klimabedingungen
SCHWARZE, H.
ZIMMERMANN, C.
AFFORD – Abteilung für Forschungs- und Datenintegration, Workshop Klimaänderung und Küste, S. 33 f.
auch in:
Sterr, H. und C. Preu (Hrsg.): Beiträge zur aktuellen Küstenforschung: Aspekte – Methoden – Perspektiven
Bechtaer Studien zur Angewandten Geographie und Regionalwissenschaft, Bd. 18, S. 209f.
- MAI, S. 1997 Safety of Coastal Defense Systems – An Assessment of the Reliability of Coastal Systems in the Event of Rising Water Levels due to Climate Change
SCHWARZE, H.
ZIMMERMANN C.:
Proc. of the 1st Int. Conf. Port Coast Environment, Varna, Bulgaria, 111-120

- MAI, S. 1997 Safety Variation of Coastal Defense Systems
SCHWARZE, H. Proc. of the 2nd Indian National Conf. on Harbour and
ZIMMERMANN, C.: Ocean Eng. (INCHOE), Trivandrum, India, 1226-1235
- MAI, S. 1999 Untersuchungen zum Risikopotenzial einer
v. LIEBERMAN, N.: Küstenregion
Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und
Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Heft
83, S. 292-320
- MAI, S. 2000 Internet-based Tools for Risk Assessment for Coastal
v. LIEBERMAN, N.: Areas
Proc. of the 4th Conf. on Hydroinformatics,
IAHR/AIRH –2000, Iowa, USA (in press)
- MAI, S. 2000 Risk Analysis of Coastal Protections at Tidal Coasts
ZIMMERMANN, C.: Proc. of the 2nd Int. Conf. Port Development &
Coastal Environment, PDCE – 2000, Varna, Bulgaria
(accepted paper)
- MAI, S. 2000 Risk Assessment of Coastal Defences – An Applica-
v. LIEBERMAN, N.: tion at German Tidal Inlets –
Proc. of the Int. Symposium on Flood Defence, 20.-
23.9.2000, Kassel, Germany (accepted paper)
- MAI, S. 2000 Konzepte und Techniken im Küstenschutz im Land
ZIMMERMANN, C.: Niedersachsen
Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und
Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Heft
84, S. 97-178
- ZIMMERMANN, C. 1998 Analyse von Küstenschutzsystemen unter Risiko-
MAI, S. aspekten (Analysis of Coastal Protection Systems
under Aspects of Risk)
HANSA-Schiffahrt-Schiffbau-Hafen, Nr. 6, S. 67-70, 1