

**RISIKOPOTENZIALE FÜR  
NUTZFLÄCHEN UND INFRASTRUKTUR**

***RISK POTENTIAL FOR SETTLEMENT AREAS  
AND INFRASTRUCTURES***

von

Nicole VON LIEBERMAN

Stephan MAI

## **ABSTRACT**

Risk is defined as the product of consequences and the probability of inundation due to failure. Consequences are calculated using the maximum possible loss and the damage factor depending on the inundation characteristics. These characteristics are determined using numerical models calculating the inundation depth and –speed. The probability of inundation due to dike breach is calculated for the main failure mechanism overtopping according to MAI and VON LIEBERMAN (2000b). The presented risk analysis is carried out for the coastline at the estuary of the rivers Jade and Weser.

## **ZUSAMMENFASSUNG**

Risiko wird als das Produkt von Folgeschäden durch Überflutung und Versagenswahrscheinlichkeiten eines Küstenschutzsystems definiert. Die Folgeschäden werden auf Basis des Gesamtschadenspotenzials und unter Berücksichtigung sog. Schädigungsgrade in Abhängigkeit vom Überflutungsprozess berechnet. Der Ausbreitungsvorgang eines Überflutungsszenarios (Überflutungshöhe und –geschwindigkeit) als Folge eines Deichbruchs wird nach MAI und VON LIEBERMAN (2000b) unter Annahme des Hauptversagensmechanismus' „Wellenüberlauf“ berechnet. Der vorliegende Beitrag präsentiert eine Risikoanalyse für das Jade-Weser-Gebiet.

## **I N H A L T**

<b>1</b>	<b>PROBLEMSTELLUNG</b>	<b>100</b>
<b>2</b>	<b>ELEMENTE DER RISIKOANALYSE</b>	<b>100</b>
<b>3</b>	<b>GEFÄHRDETE FLÄCHEN UND INFRASTRUKTUREN</b>	<b>101</b>
<b>4</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</b>	<b>104</b>
<b>5</b>	<b>SCHRIFTTUM</b>	<b>104</b>

# 1 Problemstellung

Der Lebensraum Küste wird maßgeblich durch die hydrologischen und meteorologischen Randbedingungen geprägt. Diese Randbedingungen wirken sich einerseits auf die anthropogene Nutzung, andererseits auf die gesamte Biosphäre aus. Klimaänderungsbedingte Veränderungen der Hydrologie und Meteorologie können zu einer Veränderung der Nutzungsmöglichkeiten und des natürlichen Lebensraums führen.

Die Unterweser-Region Butjadingen-Bremerhaven-Land Wursten (vgl. Abb. 1 in: MAI und VON LIEBERMAN, 2000b) mit dem Seehafen Bremerhaven stellt ein Beispiel einer Küstenregion mit sowohl starker wirtschaftlicher Nutzung (Seehafen, Industrie, Landwirtschaft, Tourismus) als auch mit zahlreichen unmittelbar angrenzenden Naturschutzflächen dar. Um eine dauerhafte Nutzung dieses Lebens- und Wirtschaftsraumes zu ermöglichen, sind vielfältige und gestaffelte Maßnahmen der Küstensicherung, die insbesondere dem Schutz gegen erhöhte Wasserstände, gegen Seegang und Strömungseinwirkung dienen, durchgeführt worden. Der auf Grund dieser Schutzmaßnahmen erreichte Sicherheitsstandard hat zu einer hohen Besiedlungsdichte mit vielfältigen wirtschaftlichen Nutzungen und umfangreichen, sensiblen Infrastrukturen geführt.

Bei infolge von Klimaänderungen wachsenden Belastungen der Schutzsysteme, z.B. durch ein häufigeres und länger andauerndes Auftreten von Extremfluten und Sturmereignissen, kann der erreichte Sicherheitsstandard nicht ohne weitere Maßnahmen der Küstensicherung und des Bevölkerungsschutzes aufrechterhalten werden.

Angesichts hoher Kosten für den Küstenschutz, weiter steigenden Schadenpotenzials und fortschreitender Flächennutzung, für z.B. Gewerbegebiete, werden die Spielräume für Anpassungen geringer und das Schutzsystem, bestehend aus einzelnen Schutzelementen, weniger flexibel.

Der Sicherheitsstandard kann mit Hilfe der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Versagens der Küstenschutzsysteme und ihrer Elemente quantifiziert werden. Unter Einbeziehung der Folgen und Schäden bei Versagen eines Schutzsystems lässt sich, als ein erweiterter Sicherheitsstandard, die Höhe des Risikos definieren. Eine Quantifizierung des Sicherheitsstandards für heutige bzw. klimaänderungsbedingt geänderte hydrologische und meteorologische Randbedingungen ist bisher für eine exponierte und wirtschaftlich bedeutende Region im Küstenbereich nicht erfolgt. Diese ist jedoch eine wesentliche Voraussetzung für eine Beurteilung lokaler Auswirkungen von Klimaänderungen und stellt die Grundlage einer kurz-, mittel- und langfristigen Anpassung der vorhandenen Schutzsysteme und der Raumnutzung an eine klimaänderungsbedingt geänderte Hydrologie und Meteorologie dar.

Aufgabe des BMBF-Forschungsvorhabens „Risiko einer Küstenregion bei Klimaänderung, Butjadingen – Bremerhaven – Land Wursten“ ist es, auf der Basis einer Risikoanalyse Planungs- und Entscheidungshilfen zur Festlegung kurz-, mittel- und langfristiger Maßnahmen eines veränder-

ten Küstenschutzes und einer veränderten Flächennutzung für küstennahe Ballungszentren – exemplarisch für die Region „Butjadingen – Bremerhaven – Land Wursten“ als Reaktion auf geänderte klimatische Bedingungen zu entwickeln.

# 2 Elemente der Risikoanalyse

Die Sturmflutgefährdung eines Küstengebietes wird einerseits durch die bei Überflutung gefährdeten Werte C, die auch als Folgeschäden bezeichnet werden, andererseits durch die Wahrscheinlichkeit eines Überflutungsereignisses p, z.B. infolge eines Deichbruchs, bestimmt. Zur Quantifizierung wird das Risiko als Produkt beider Größen eingeführt (MAI und VON LIEBERMAN, 2000a):

$$\text{Risiko} = p \times C$$

Folgeschäden können entweder aus Nutzungseinschränkungen von Infrastrukturen, wie z.B. Fähranlegern während einer Sturmflut, oder aus der Zerstörung von Küstenschutzelementen infolge von Überflutungen des Hinterlandes resultieren. Eine Überflutung tritt beispielsweise bei einem Bruch von Seedeichen ein. Zur Abschätzung der Folgeschäden ist zunächst das Gesamtschadenpotenzial der betrachteten Küstenregion, d.h. die Summe der im Hinterland durch Überflutung gefährdeten Vermögenswerte, zu ermitteln. Das Gesamtschadenpotenzial ergibt sich beispielsweise aus einer Karte der Bodenrichtwerte (Abb. 1) und durch Verschneidung der topographischen Karte mit theoretisch eintretenden Wasserständen.

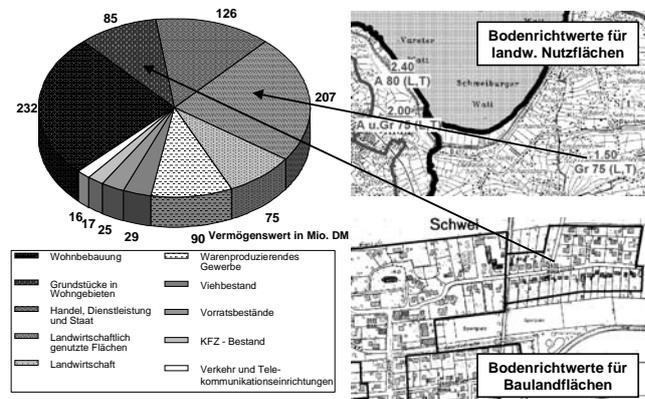


Abb. 1: Ermittlung des Gesamtschadenpotenzials (Vermögenswerte) mit Hilfe von Bodenrichtwerten *Determination of Damage* (MAI und VON LIEBERMAN, 2000a)

Neben dem Gesamtschadenpotenzial (Abb. 1, links) ist es zur Berechnung der Folgeschäden erforderlich, den Grad der Schädigung bei Überflutung, d.h. der Anteil der zerstörten Werte, zu bestimmen. Auf der Grundlage früherer Deichbruchereignisse leitet sich der Schädigungsgrad in Abhängigkeit zur Überflutungshöhe ab (Abb. 2).

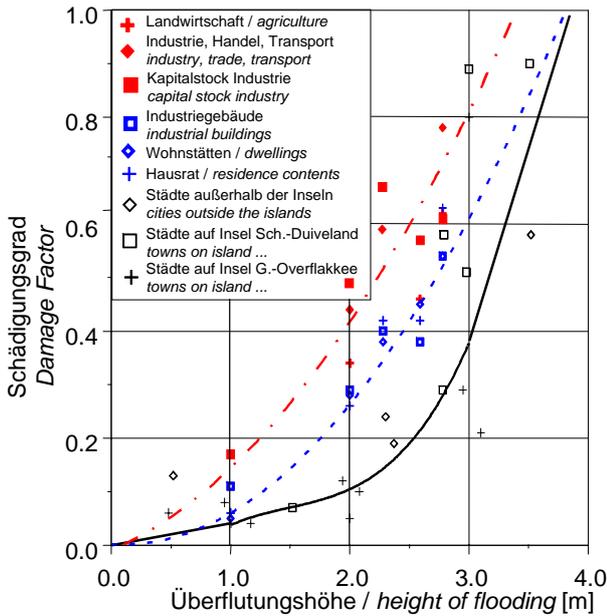


Abb. 2: Schädigungsgrade in Abhängigkeit von der Überflutungshöhe

*Damage Factors depending on Height of Flooding*  
(CUR, 1990)

Die für die Bestimmung des Risikos erforderliche Versagenswahrscheinlichkeit bzw. deren Inverser (Wiederkehrzeit) von Küstenschutzsystemen erfordert die Definition der maßgebenden Versagensmechanismen und die Ermittlung der Belastung der Küstenschutzsysteme, wie z.B. Wasserstand, Seegang. In der vorliegenden Risikoanalyse wurden die Wahrscheinlichkeiten eines Versagens des Küstenschutzsystems für einzelne Küstenabschnitte der Untersuchungsregion nach der von MAI und VON LIEBERMAN (2000b) beschriebenen Vorgehensweise bestimmt.

### 3 Gefährdete Flächen und Infrastrukturen

Die im Untersuchungsgebiet vorhandenen Werte wurden mit Hilfe eines mesoskaligen Ansatzes, ähnlich wie bei HOFSTEDÉ und HAMANN (2000), ermittelt. Hierzu wurden analog zehn flächenhafte Variablen (z.B. öffentliche Grünflächen, bebaute Wohnflächen), elf linienhafte Variablen (z.B. Bundesstraße, Hochspannungsleitung) sowie weitere räumlich differenzierte Variablen (z.B. Bodenrichtwerte, Beschäftigtenzahl) erfasst. Die Erfassung der Variablen erfolgte für die Städte Nordenham und Bremerhaven auf der Grundlage der Deutschen Grundkarte im Maßstab 1:5.000 (DGK5), für die übrigen Gebiete auf der Grundlage der to-

pographischen Karte im Maßstab 1:25.000 (TK25). Die Auswertung erfolgte in den Städten in Planquadraten von 200 m x 200 m und für das übrige Gebiet in Planquadraten von 1.000 m x 1.000 m. Unterstützt wurde die Auswertung durch ein dem Auswertraster (Planquadrate) überlagertes Auszählraster. Abbildung 3 gibt hierfür ein Beispiel.

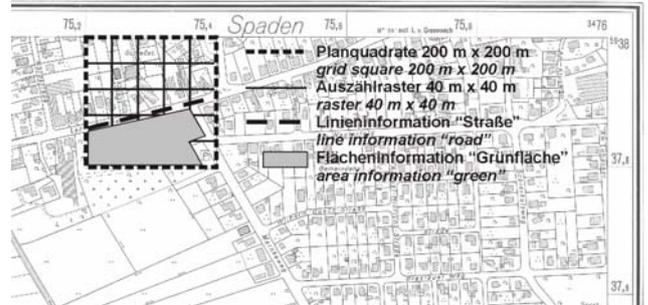


Abb. 3: Prinzip der Datenerfassung  
*Principle of Collection of Data*

Die Gesamtheit der geschützten Werte Bremerhavens (Gesamtschadenpotenzial) wurde in Zusammenarbeit mit dem Geographischen Institut, Abteilung Wirtschaftsgeographie, Universität Hannover auf der Grundlage vorhandener Statistiken sowie der Datenbank des NIEDERSÄCHSISCHEN INSTITUTS FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG E.V. (NIW, Stand 1998) erfasst.

Die Ergebnisse der Wertermittlung (sowie Ergebnisse zu Seegangssimulationen, Küstenschutzbauwerken und Überflutungssimulationen) wurden mit Hilfe von ARC/INFO umgesetzt und in eine benutzerfreundliche ARC/VIEW-Umgebung implementiert. In Abbildung 4 werden die Funktionalitäten des aufgebauten „Bauwerks- und Seegangsinformationssystem“ (BaSIS) dargestellt. Als Auszüge der Wertermittlung sind die Einwohnerdichte sowie die landwirtschaftlichen Flächen des Untersuchungsgebiets in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt.

Auf der Grundlage der flächenhaft und linienhaft ermittelten Daten wurden den einzelnen Größen Werte zugeordnet. Die Zuordnung erfolgte über Befragungen zu mittleren Kosten von Anlagen, z.B. DM 1.125,- pro Meter Bahnlinie o.ä., und veröffentlichten Richtwertkarten. So erfolgte eine Beurteilung der Werte der landwirtschaftlichen Nutzflächen und Baulandflächen unter Zuhilfenahme von durch die Bezirksregierung Weser-Ems veröffentlichten Bodenrichtwerten (vgl. Abb. 1). Außerdem wurden die Gemeindestatistiken der Statistischen Landesämter auf das Auswertraster „heruntergebrochen“. Hierzu wurde ein Top down-Ansatz gewählt, der von einer Gleichverteilung der Zielvariablen auf die entsprechenden Flächennutzungsarten ausgeht.

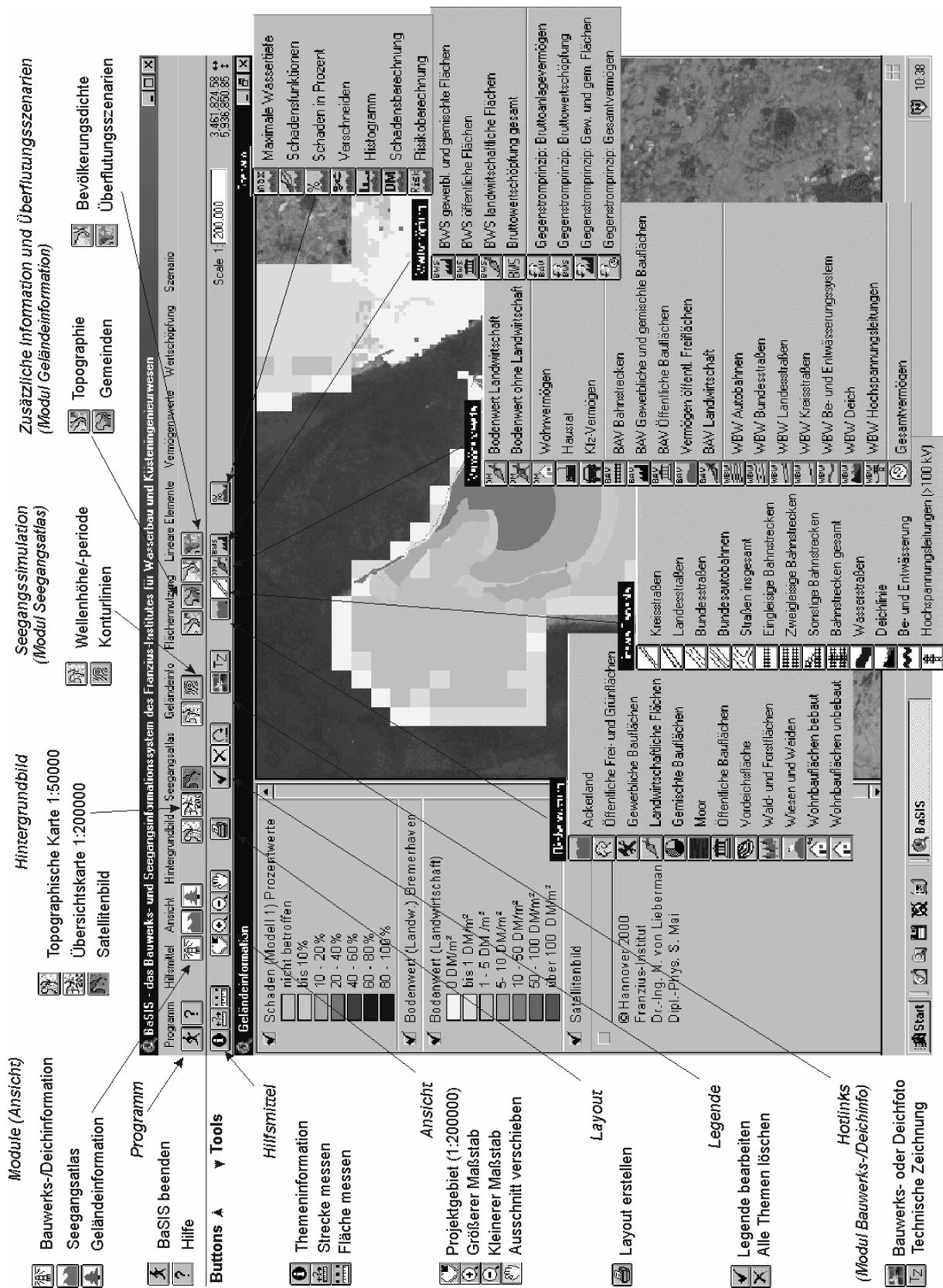


Abb. 4: Funktionalitäten von BaSIS

Functionality of BaSIS

(MAI und VON LIEBERMAN, 2000c)

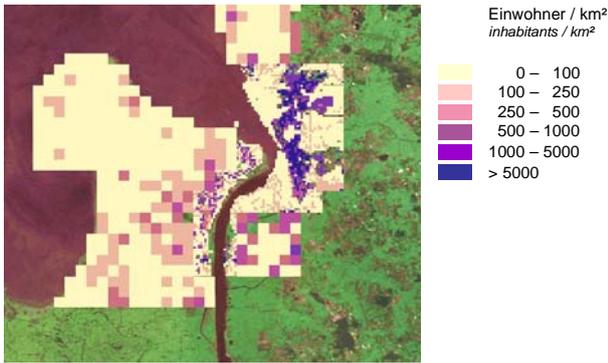


Abb. 5: Einwohnerdichte im Untersuchungsgebiet  
*Number of Inhabitants*  
(vgl. Abb.4)



Abb. 6: Landwirtschaftliche Flächen im Untersuchungsgebiet  
*Agricultural Areas*  
(vgl. Abb.4)

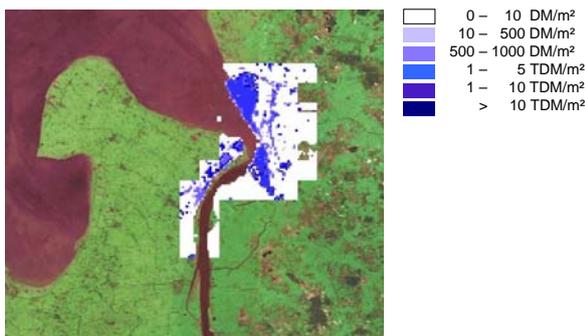


Abb. 7: Bruttowertschöpfung nach dem Gegenstromprinzip für die Städte Bremerhaven und Nordenham  
*Gross Value Creation „Counter Current Principle“*  
(vgl. Abb.4)

Der Top down-Ansatz weist insbesondere in städtischen Regionen mit starker Konzentration einzelner Wirtschaftsbetriebe Ungenauigkeiten auf, welche auf die Annahme einer flächenmäßigen Gleichverteilung der Zielvariablen zurückzuführen ist. Einen besseren Bewertungsmaßstab stellt hier der Bottom up-Ansatz, der ausgewählte Objekte einer individuellen Bewertung auf Grundlage der Fläche des Betriebsgeländes, der Branchenzuordnung und der Beschäf-

tigtenzahl unterzieht, dar. Dieser wurde für Betriebe mit mehr als 100 Beschäftigten (welche nur in den Städten Bremerhaven und Nordenham vorkommen) gewählt. Die Kombination des Top down-Ansatzes und des Bottom up-Ansatzes, wie hier angewendet, wird als Gegenstromprinzip bezeichnet. Die nach diesem Verfahren ermittelte Bruttowertschöpfung in den Städten Bremerhaven und Nordenham ist in Abbildung 7 dargestellt.

Der für die Beurteilung der Folgeschäden notwendige Grad der Schädigung ergibt sich, wie in Abbildung 2 dargestellt, aus der Höhe der Überflutung bei Versagen des Küstenschutzsystems. Die Überflutungshöhe wurde für verschiedene Schadens- und Sturmflutereignisse mit Hilfe des numerischen Simulationsprogramms MIKE21 ermittelt. Ergebnisse der Simulationen sind in den Abbildungen 8 und 9 für einen Deichbruch am Schweiburger Siel bzw. ein Versagen am Geestesperrwerk in Bremerhaven dargestellt. Der zeitliche Ablauf der verschiedenen Überflutungsszenarien ist als animierte Grafik im BaSIS (Abb. 4) abrufbar.

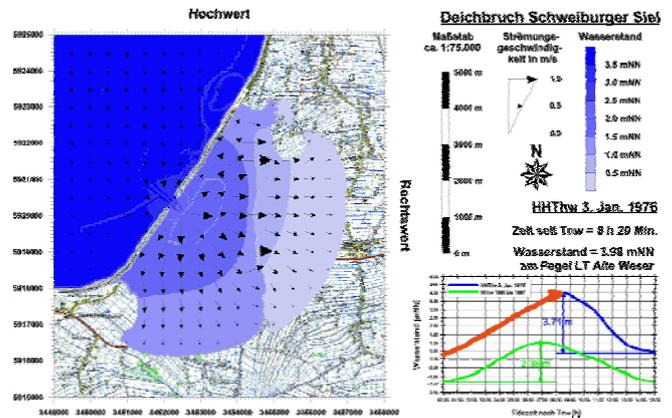


Abb. 8: Überflutungsereignis am Schweiburger Siel  
*Inundation Process at "Schweiburger Siel"*  
(Zimmermann et al.,2000)

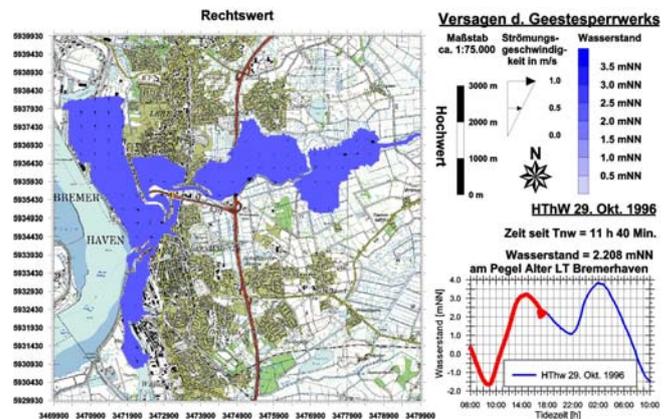


Abb. 9: Überflutungsereignis am Geestesperrwerk  
*Inundation Process at "Geestesperrwerk"*  
(Zimmermann et al.,2000)

Den Überflutungsszenarien wurde durch Verschneidung der aus den Überflutungswasserständen berechneten

Schadigungsgrade und der vorhandenen Werte der Folgeschaden zugeordnet. Dieser beträgt beispielsweise 100 Mio. DM bei Deichbruch am Waddenser Siel (Butjadingen). Unter Berücksichtigung der bei MAI und VON LIEBERMAN (2000) in Abbildung 13 dargestellten Wiederkehrintervalle sowie möglicher benachbarter Schadensereignisse ergibt sich hieraus das Risiko zu:

$$\begin{aligned} \text{Risiko} &= 1/500 \text{ Jahre} \times \text{DM } 100 \text{ Mio.} \\ &= \text{DM } 200.000,- / \text{Jahr.} \end{aligned}$$

Wird der Betrachtung ein Klimaänderungsszenario mit einem um 1,00 m erhöhten Wasserstand zugrunde gelegt, so berechnet sich das Risiko aufgrund der reduzierten Eintrittswahrscheinlichkeit des Versagens zu:

$$\begin{aligned} \text{Risiko} &= 1/150 \text{ Jahre} \times \text{DM } 100 \text{ Mio.} \\ &= \text{DM } 670.000,- / \text{Jahr.} \end{aligned}$$

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Aus den Ergebnissen der für das Untersuchungsgebiet „Butjadingen – Bremerhaven – Land Wursten“ durchgeführten Risikoanalyse lassen sich Strategien zur Risikoverminderung ableiten. Diese können z.B. durch Veränderung der Flächennutzung bzw. durch rechtzeitige Evakuierungsmaßnahmen mögliche Folgen von Überflutungen mindern oder durch einen verstärkten Küstenschutz die Eintrittswahrscheinlichkeit von Überflutungen reduzieren.

Durch Kosten-Nutzen-Überlegungen, welche auf der einen Seite das Risiko und auf der anderen Seite die Kosten der Unterhaltung des Küstenschutzsystems berücksichtigen, lassen sich unterschiedliche Strategien gegenüberstellen und die optimale bestimmen.

Die Darstellung von Ergebnissen aus der Risikoanalyse als computergestütztes Flussdiagramm bietet schließlich die Basis eines Entscheidungsmodells zur Festlegung und Optimierung kurz-, mittel- und langfristiger Handlungsweisen zur Gewährleistung der Reaktion auf die aufgrund von Klimaänderungen veränderte Gefährdung von Orten, Strukturen, begrenzten Flächen und ganzen Küstenregionen.

#### 5 Schrifttum

CUR: Probabilistic design of flood defenses. Technical Advisory Committee on Water Defenses (CUR/TAW), H. 141., 1990, S. 40-74

HOFSTEDE, J.L.A. und M. HAMANN: Wertermittlung sturmgefährdeter Gebiete in Schleswig-Holstein

MAI, S. und N. VON LIEBERMAN: Internet-based Tools for Risk Assessment for Coastal Areas, Proc. of the 4th Int. Conf. on Hydroinformatics, Iowa, USA, 2000a

MAI, S. und N. VON LIEBERMAN: Belastungen der Seedeiche durch Wasserstände und Wellen (Loads from Water-levels and Waves), Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Universität Hannover, H. 85, 2000b

MAI, S. und N. VON LIEBERMAN: Sturmflutgefährdung der Hafenstadt Bremerhaven: Eine Risikoanalyse, Tagungsband der 18. Jahrestagung des Arbeitskreis Meere und Küsten, Vechtaer Studien zur Angewandten Geographie und Regionalwissenschaft, 2000c (im Druck)

ZIMMERMANN, C., VON LIEBERMAN, N. und S. MAI: Management von Sturmflutrisiken, Internationales Symposium Dithmarschen 2000 „Wasserwirtschaft und Küstenschutz, heute und morgen“, Büsum, 10.05.2000