

# **Bauwerks- und Seegangsinformationssystem BASIS**

## **für die Jade-Weser-Region**

Dipl.-Phys. Dipl.-Ing. Stephan Mai<sup>1</sup>

Dr.-Ing. Nicole von Lieberman<sup>2</sup>

Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen  
Universität Hannover  
Nienburger Straße 4  
30167 Hannover

### **Kurzfassung**

Als Bestandteil eines Küstenzonenmanagements wird seit 1997 am FRANZIUS-INSTITUT FÜR WASSERBAU UND KÜSTENINGENIEURWESEN der UNIVERSITÄT HANNOVER im Rahmen der BMBF-Projekte „Klimaänderung und Unterweserregion“ (KLIMU, 1997 – 2000), „Risiko einer Küstenregion bei Klimaänderung“ (1998 – 2000) und „Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Küste“ (KRIM, 2001 – 2004) das Geographische Informationssystem BASIS – Bauwerks- und Seegangsinformationssystem – für die Jade-Weser-Region entwickelt.

BASIS beschreibt die Bauwerke des Küstenschutzsystems mit Hilfe von technischen Zeichnungen, ergänzenden Datenblättern sowie Photographien und weist diese wahlweise auf topographischen Karten, Satellitenbildern oder im Digitalen Geländemodell DGM aus. Ebenso sind Tidewasserstände und Seegangparameter als hydrographische Größen des Küstenraums abrufbar. Auf dieser Grundlage ist eine Analyse der Sicherheit des Küstenschutzsystems unter Berücksichtigung der Nutzungen im Hinterland des Untersuchungsgebiets erfolgt.

---

<sup>1</sup> wissenschaftlicher Mitarbeiter, Fon 0511 – 762 4295, Fax 0511 – 762 3737,  
e-mail smai@fi.uni-hannover.de

<sup>2</sup> wissenschaftliche Assistentin, Fon 0511 – 762 2574, Fax 0511 – 762 3737,  
e-mail nicole@fi.uni-hannover.de

# 1 Grundlagen der Risikoanalyse

Während die Risikoanalyse in weite Gebiete des Ingenieurbaus bereits Einzug gehalten hat, was sich insbesondere in der Verwirklichung probabilistischer Bemessungskonzepte in einigen Normen des Eurocode und der DIN widerspiegelt (z. B. NABAU-AUSSCHUSS „Sicherheit von Bauwerken“, 1981), wird im Küstenwasserbau weitestgehend an der traditionellen Bemessungspraktik festgehalten. So wird beispielsweise an der niedersächsischen Nordseeküste in der notwendigen Festlegung des Bemessungswasserstands unter Berücksichtigung eines additiven Sicherheitszuschlags der Windstau und die maximale Springtideerhöhung zum mittleren Tidehochwasserstand addiert, ohne dass Korrelationen zwischen den einzelnen Komponenten eingehen (AUSSCHUSS FÜR KÜSTENSCHUTZWERKE, 1993). Diese treten jedoch durchaus auf, z. B. tritt der maximale Windstau i. d. R. nicht mit dem Tidehochwasser, sondern etwa zwei bis drei Stunden nach Tideniedrigwasser ein (LASSEN UND SIEFERT, 1992). Eine Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit, wie sie in weiten Teilen des Ingenieurbaus Grundlage der Bemessung ist, erfolgt bei der traditionellen Bemessung im Küsteningenieurwesen nicht. Daneben geht auch die Nutzung des geschützten Hinterlandes derzeit nicht konsequent in die Bemessung im Küstenschutz ein. Im Gegensatz zum Land Niedersachsen sind im Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein erste Ansätze der Berücksichtigung der Nutzung des Hinterlandes erkennbar (HOFSTEDDE UND HAMANN, 2000). Die als Teil der BMBF-Projekte „Klimaänderung und Unterweserregion“ (KLIMU, 1997 – 2000), „Risiko einer Küstenregion bei Klimaänderung“ (1998 – 2000) und „Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Küste“ (KRIM, 2001 – 2004) im Bauwerks- und Seegangsinformationssystem BASIS für das Untersuchungsgebiet zwischen Jade und Weser implementierte Methodik versucht, die derzeitige Bemessungspraxis um die genannten Aspekte der Risikoanalyse zu erweitern.

Folgende Definitionen sind Grundlage der Risikoanalyse (VON LIEBERMAN UND MAI, 2001):

$$\text{Risiko} = \text{Versagenswahrscheinlichkeit von Küstenschutzsystemen} \times \text{Folgeschaden bei Überflutung des Hinterlands} \quad (1)$$

$$\text{Folgeschaden} = \text{Schadenpotenzial im Hinterland (gesamt)} \times \text{Schädigungsgrad} \quad (2)$$

Im Untersuchungsgebiet zwischen Jade und Weser stellt das Versagen des Küstenschutzelements Deich den maßgeblichen Versagensfall dar. Als Ursache des Versagens von Deichen kommen mehrere Mechanismen in Frage, welche exemplarisch als Fehlerbaum in Abbildung 1 dargestellt sind. Wesentlicher Versagensmechanismus ist der Wellenüberlauf am Deich, wie die Dokumentation vergangener Sturmfluten zeigt (KRAMER ET AL., 1962, TRAEGER, 1962, HEINSOHN ET AL., 1979, ZITSCHER ET AL., 1979).



**Abb. 1: Fehlerbaum von Deichen (CUR, 1990)**

Mathematisch wird der Versagensmechanismus durch die folgende Zuverlässigkeitsfunktion  $Z$  als Differenz von Deichkronenhöhe, Tidehochwasserstand und Wellenauf- lauf beschrieben

$$Z = h_D - Thw - R_{98\%} \quad (3)$$

Dies lässt einen Wellenüberlauf am Hauptdeich von etwa  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  (TAUTENHAIN, 1981) zu. Da i. d. R. keine Langzeitstatistiken des Wellenauf- laufs vorliegen, wird dieser aus dem Seegang, charakterisiert durch signifikante Wellenhöhe  $H_s$ , Peak-Wellenperiode  $T_p$  und Wellenrichtung  $\theta$  am Deichfuß abgeleitet, z. B. (SCHÜTTRUMPF UND OUMERACI, 2000)

$$R_{98\%} = 1,6 \cdot \tan \alpha \cdot \gamma_f \cdot \gamma_b \cdot \gamma_\theta \cdot \sqrt{\frac{g \cdot H_s}{2 \cdot \pi}} \cdot T_p \quad (4)$$

Die Ermittlung der Seegangss Statistik erfolgt entweder über empirische Beziehungen oder mit Hilfe der Seegangssimulation aus der Windstatistik. In BASIS wurden Seegangssimulationen mit dem Programm SWAN (BOOIJ ET AL., 1999) durchgeführt; die Seegangssparameter sind also Funktionen von Windgeschwindigkeit  $u_W$  und Windrichtung  $\gamma_W$ .

Die Versagenswahrscheinlichkeit  $p_{Z<0}$ , d. h. die Wahrscheinlichkeit eines Wellenüberlaufs, folgt aus der gemeinsamen Wahrscheinlichkeitsverteilung von Tidehochwasserstand und Wind:

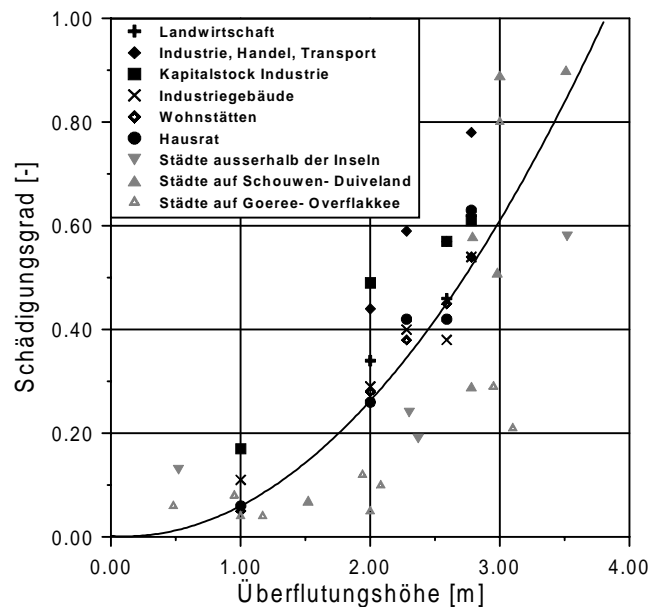
$$p_{Z<0} = \int_0^{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{h_D - R_{99\%}(H_s(u_W, \gamma_W), T_p(u_W, \gamma_W), \gamma_\theta(u_W, \gamma_W))}^{\infty} p(\text{Thw}, u_W, \gamma_W) d\text{Thw} du_W d\gamma_W \quad (5)$$

Die mathematische Beschreibung weiterer in Abbildung 1 dargestellter Fehlermechanismen ist grundsätzlich kein Problem. Jedoch sind zur Eingliederung dieser Mechanismen in die probabilistische Bemessung neben den Statistiken von Wasserstand und Wind weitere langjährige Statistiken, wie z. B. der Standzeit von Sturmfluten, und deren Korrelationen bzw. umfangreiche Statistiken der Bauwerkseigenschaften, wie z. B. der Bodenbeschaffenheit (Reibungswinkel, Kohäsion, Durchlässigkeitsbeiwert etc.), notwendig. Diese stehen jedoch nicht bzw. zur Zeit noch nicht zur Verfügung.

Bei der Ermittlung von Schadenpotenzialen des bedachten Hinterlands werden die mikroskalige Erhebung in Verbindung mit einem *bottom up*-Ansatz bzw. die makroskalige Erhebung verbunden mit einem *top down*-Ansatz unterschieden. Bei dem *bottom up* werden die Werte einzelner Objekte, z. B. Häuser und Gewerbe, erhoben und anschließend je nach gewünschter Genauigkeit auf Rasterflächen aggregiert. Die Grundlage des *top down*-Ansatzes bilden auf Gemeinde bzw. Landkreisebene ermittelte Statistiken des Wertebestands, welche je nach gewünschter Genauigkeit auf Rasterflächen disaggregiert werden. Die im Bauwerks- und Seegangsinformationssystem BASIS abrufbaren Wertekataster wurden mit einem *top down*-Ansatz bestimmt, welcher für größere Gewerbebetriebe (mehr als 50 Beschäftigte) um eine mikroskalige Erhebung ergänzt wurde (VON LIEBERMAN UND MAI, 2000).

Der Schädigungsgrad, d. h. der zerstörte Anteil des Schadenpotenzials, ergibt sich aus dem Überflutungsgeschehen bei Versagen von Küstenschutzanlagen. Er wird üblicherweise als Funktion des Wasserstandes parametrisiert (Abb. 2). In unmittelbarer

Nähe zum Ort des Deichbruchs hängt er jedoch auch wesentlich von der Strömungsgeschwindigkeit ab (EGLI, 1999), was jedoch im Rahmen der vorgestellten Ergebnisse vernachlässigt wird. Die Berechnung von Überflutungsvorgängen erfolgt mit Hilfe numerischer Programmsysteme, z. B. dem in BASIS verwendeten Programm MIKE 21 (WARREN, 1993).

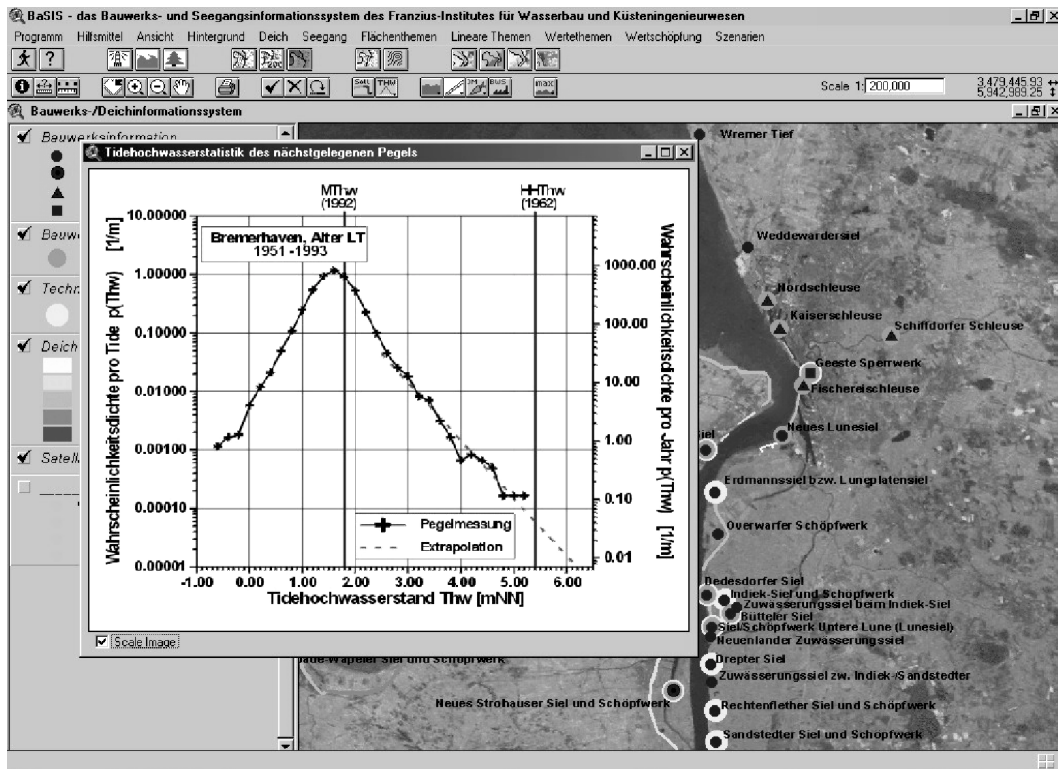


**Abb. 2: Schädigungsgrad als Funktion des Wasserstands nach Überflutung (CUR, 1990)**

## 2 Realisierung der Risikoanalyse in BASIS

### 2.1 Hydrographie und Küstenschutz im Untersuchungsraum

Eine Beschreibung der hydrologischen und meteorologischen Situation, sowohl des Klima-Ist-Zustandes als auch möglicher Klimaänderungszustände ist grundlegend für die Risikoanalyse und kann durch die Ermittlung von Eintrittswahrscheinlichkeiten von Tidehochwasserständen, Tideniedrigwasserständen und Überschreitungsdauern sowie von Windgeschwindigkeiten und -richtungen erfolgen. Für die Wasserstände wird dazu auf in den Gewässerkundlichen Jahrbüchern veröffentlichte Pegelmessungen zurückgegriffen. Für die Beschreibung der Windgeschwindigkeit und -richtung werden Datensätze der Windmessung des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES (DWD) ausgewertet.



**Abb. 3: Statistik der Hauptwerte des Tidegeschehens am Pegel Bremerhaven Alter Leuchtturm – Tidehochwasserstand**

Während die Verteilung des Tidehochwasserstands aus den langjährigen Pegelaufzeichnungen ermittelt werden kann (Abb. 3), wird die statistische Verteilung des Seegangs mittels numerischer Simulationen aus der Windstatistik abgeleitet (MAI UND VON LIEBERMAN, 2001). Dazu wird für verschiedene Kombinationen von Wasserstands- und Windbedingungen die Seegangsausbreitung im Untersuchungsgebiet mit Hilfe des numerischen Modells SWAN berechnet (MAI ET AL., 2000). Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Implementierung der Ergebnisse der Simulation in das Geographische Informationssystem BASIS, das unter Verwendung des Programmsystems ARC/VIEW erstellt und funktional mit Hilfe der Programmiersprache AVENUE erweitert wurde.

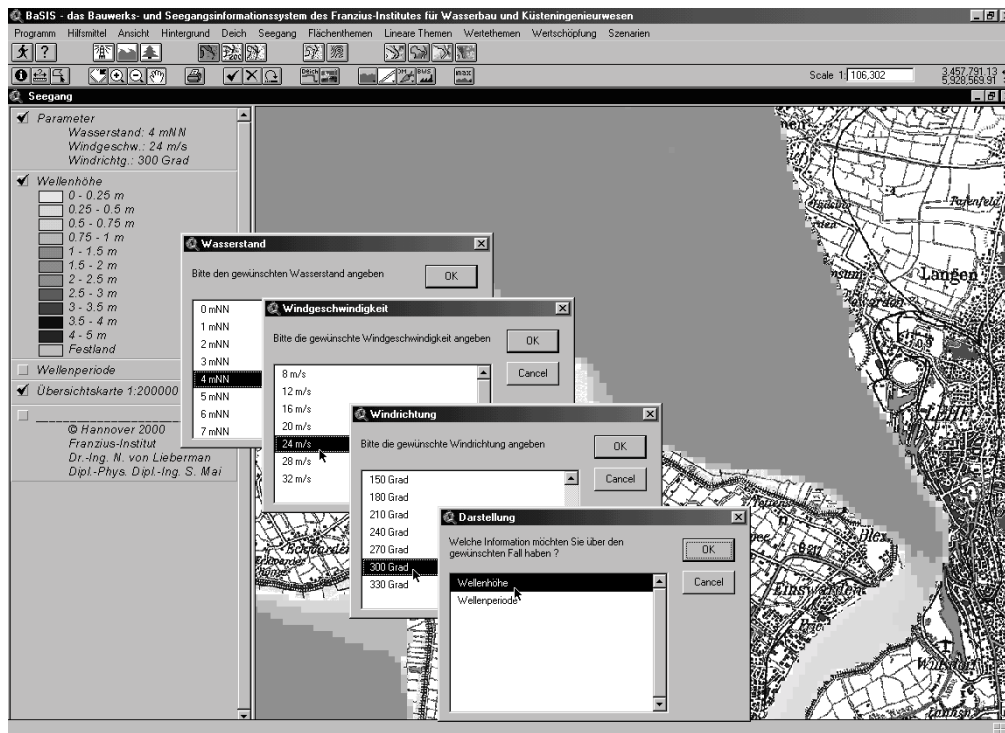


Abb. 4: Interaktiver Atlas zur Seegangsvorhersage in der Außenweser – signifikante Wellenhöhe



Abb. 5: Archiv von Fotografien der Küstenschutzbauwerke, hier: Neues Lunesiel, Bremerhaven-Luneort

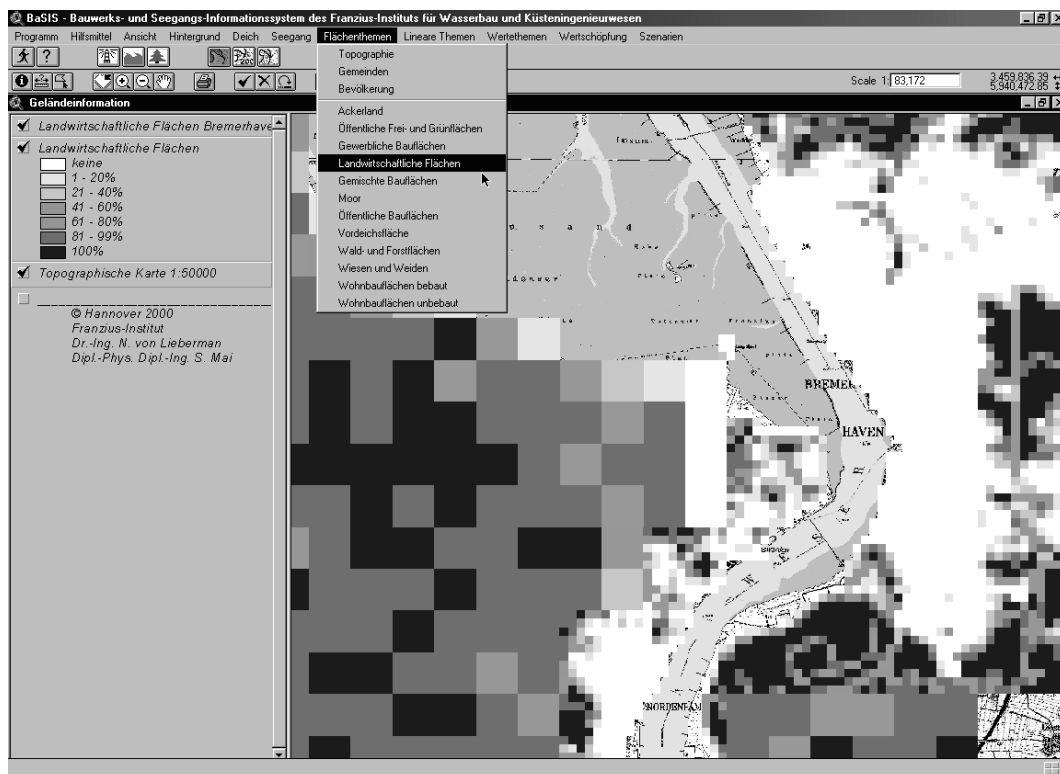
Neben der Kenntnis hydrographischer Größen sind für die in Kapitel 1 beschriebene Risikoanalyse Informationen zum bestehenden Küstenschutzsystem von Bedeutung. So wurden die einzelnen, im Untersuchungsgebiet zwischen Jade und Weser vorhandenen Küstenschutzelemente, z. B. Deiche, Sperrwerke, Siele, Schöpfwerke, charakteristische Größen in Zusammenarbeit mit den NIEDERSÄCHSISCHEN LANDESÄMTERN FÜR WASSERHAUSHALT UND KÜSTENSCHUTZ (NLWK) und dem HANSESTADT BREMISCHEN HAFENAMT beschrieben und in das Informationssystem BASIS implementiert. In BASIS können im Einzelnen technische Zeichnungen, ergänzende Datenblätter, hochaufgelöste Satellitenbilder sowie Fotografien der Bauwerke abgerufen werden (Abb. 5).

## **2.2 Nutzung des Hinterlands**

Für eine Risikoanalyse ist neben der Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit des Versagens von Küstenschutzbauwerken das Schadenpotenzial im durch die Schutzbauwerke geschützten Hinterland zu untersuchen. Als sozio-ökonomische Schadenkategorien werden bei der Schadenpotenzialanalyse das Potenzial der Personenschäden, der Vermögensschäden und der Schäden an Kulturgütern sowie der Produktionsausfall und der, im Vergleich zu den anderen Schadenanteilen vernachlässigbare Aufwand des Katastrophenschutzes unterschieden (SCHMIDTKE, 1995).

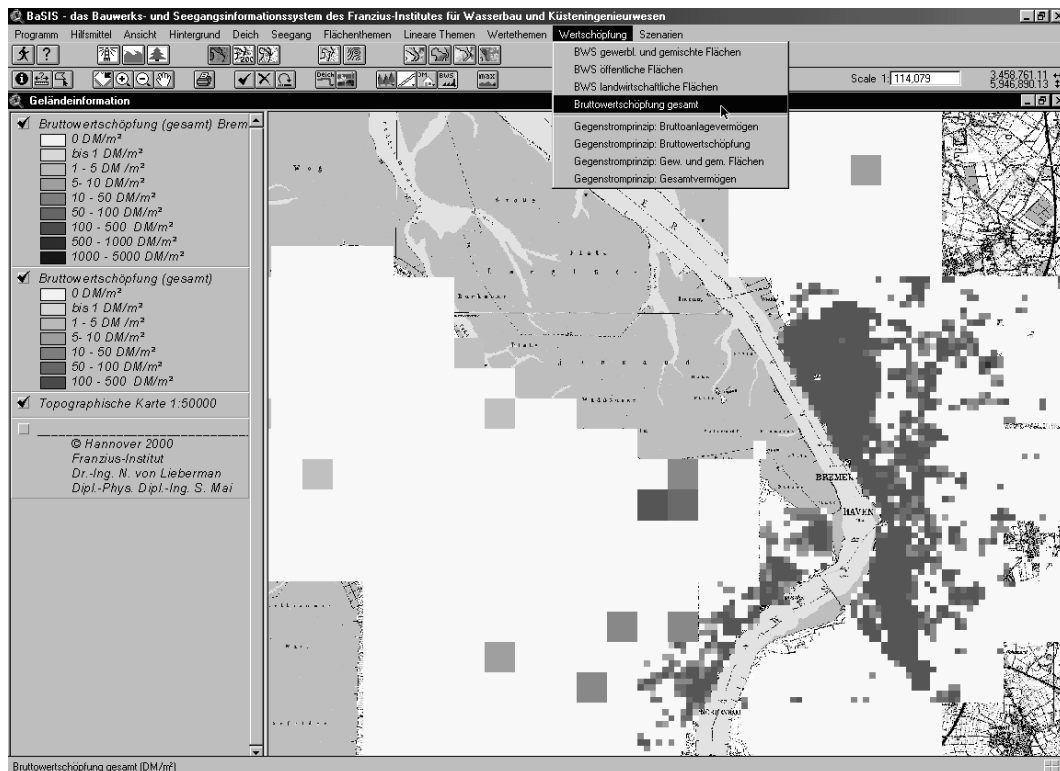
Die im BASIS zusammengefassten Informationen zur Flächennutzung wurden in Zusammenarbeit mit dem GEOGRAPHISCHEN INSTITUT, ABTEILUNG WIRTSCHAFTGEOGRAPHIE der UNIVERSITÄT HANNOVER und dem NIEDERSÄCHSISCHES INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG (NIW) mit Hilfe eines mesoskaligen Ansatzes bestimmt. Für die Städte im Untersuchungsgebiet – Bremerhaven und Nordenham – wurde als Basis die Deutsche Grundkarte im Maßstab 1:5.000 (DGK 5) gewählt, während für den außerstädtischen Bereich die Topographische Karte im Maßstab 1:25.000 (TK 25) verwendet wurde. Die Karteninformationen wurden in den Städten mit einer Auflösung von 200 m x 200 m und außerhalb der Städte mit einer Auflösung von 1.000 m x 1.000 m erfasst (VON LIEBERMAN UND MAI, 2001). Abbildung 6 zeigt am Beispiel der landwirtschaftlichen Flächennutzung die Implementierung der Informationen im BASIS.





**Abb. 6: Flächenanteil der landwirtschaftlichen Nutzung**

Zur Bewertung der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Vermögenswerte wurde der Ansatz der „Wiederbeschaffungspreise“ (FRENKEL UND JOHN, 1999) gewählt, da so der im Schadenfall notwendige Aufwand, um den entstandenen Schaden zu beheben bzw. um verloren gegangene Güter zu ersetzen, erfasst wird. Im Einzelnen wurde eine Bewertung von Wohnstätten (Wohngebäude, Hausrat, privater Kfz-Bestand), Kapital und Wirtschaftsergebnis (Beschäftigung und Erwerbstätigkeit, Anlagevermögen, Wirtschaftsergebnis), Bodenwerten (Wohnbauflächen und Gewerbeflächen, Öffentliche Bau-, Frei- und Grünflächen, Land- und Forstwirtschaftliche Flächen) und Infrastrukturen (Straßen, Gleisanlagen, Flüsse und Wasserwege, Be- und Entwässerungsgräben, Deiche, Hochspannungsleitungen > 110 kV) auf der Grundlage von Gemeindestatistiken sowie Ergebnissen der Volkszählung vorgenommen.



**Abb. 7: Verteilung der Bruttowertschöpfung**

Neben der Bevölkerung und den übrigen Vermögenswerten stellen die Beschäftigung, das Anlagevermögen und das Wirtschaftsergebnis drei Schadenspotenzialklassen dar, die im Falle einer Überflutung des Deichhinterlands betroffen wären. Für diese weist der gewählte *top down*-Ansatz 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 dar, der ausgewählte Objekte einer individuellen Bewertung auf Grundlage der Fläche des Betriebsgeländes, der Branchenzuordnung und der Beschäftigtenzahl unterzieht (vgl. Kap. 1). Daher wurde für die Ermittlung des Bruttoanlagevermögens sowie der Bruttowertschöpfung des Gewerbes der *top down*-Ansatz um Komponenten des *bottom up*-Ansatzes zu dem sogenannten Gegenstromprinzip ergänzt (VON LIEBERMAN UND MAI, 2001). Abbildung 7 stellt die gesamte Bruttowertschöpfung im Untersuchungsgebiet, die neben der Bruttowertschöpfung für einzelne Flächennutzungen im BASIS abrufbar ist, dar.

### 2.3 Folgen eines Versagens des Küstenschutzes

Das Versagen des Küstenschutzes oder einzelner Elemente führt i. d. R. zu einer Schädigung des Wertebestands im Küstenhinterland. Um das möglichen Schadenpotenzial eines solchen Versagens zu ermitteln, sind die Überflutungsflächen zu ermitteln. Die im BASIS implementierten Ergebnisse ausgewählter Überflutungssituationen wurden mit dem Programmsystem MIKE 21 HD berechnet. Abbildung 8 verdeutlicht die Funktionalität des BASIS, welches einerseits die Darstellung von Standbildern der Überflutung und andererseits animierte Darstellungen des Überflutungsvorgangs beinhaltet, am Beispiel eines Versagens des Küstenschutzsystems am Geestesperrwerk, Bremerhaven, für das Tidegeschehen der Sturmflut von 29.10.1996.

Bei Überflutung von Teilen des Hinterlands werden die in Kapitel 2.2 beschriebenen Werte teilweise zerstört. Der Schädigungsgrad ist abhängig von den Parametern der Überflutung, wie z. B. Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit und Anstiegsgeschwindigkeit des Wassers. Für die Berechnung des Risikos im BASIS wurde die Wassertiefe als den Schädigungsgrad charakterisierender Parameter herangezogen. Im BASIS können verschiedene Modelle der Parametrisierung des Schädigungsgrads, die auf Veröffentlichungen der CUR (1990, vgl. Abb. 2) sowie von SCHMIDTKE (1995) beruhen, für die Berechnung des bei Überflutung entstehenden Folgeschadens nach Gleichung (2) gewählt werden. Abbildung 9 zeigt die im BASIS implementierte Funktionalität zur Folgeschadensberechnung. Hier erfolgte die Schadensberechnung für den in Abbildung 8 dargestellten Überflutungsfall nach einem Versagen des Küstenschutzsystems am Geestesperrwerk in Bremerhaven. Es wird deutlich, dass der Schaden am Gesamtvermögen im Innenstadtbereich mit rd. 1.000 DM/m<sup>2</sup> am Größten ist. Der Gesamtschaden beläuft sich auf rd. 1 Mrd. DM.

Mit den Ergebnissen zu Versagenswahrscheinlichkeiten und Folgeschäden (vgl. Abb. 9) kann nach Gleichung (1) eine Risikozonierung vorgenommen werden. Abbildung 10 zeigt diese Zonierung unter Annahme eines infolge Klimawandels bedingten Anstiegs des mittleren Tidehochwassers von 1 m. Eine Integration des Risikos in den einzelnen Zonen ist in BASIS als Gesamtrisiko abrufbar. Für das in Abbildung 10 dargestellte Ereignis beträgt es etwa drei Mio. DM pro Jahr.

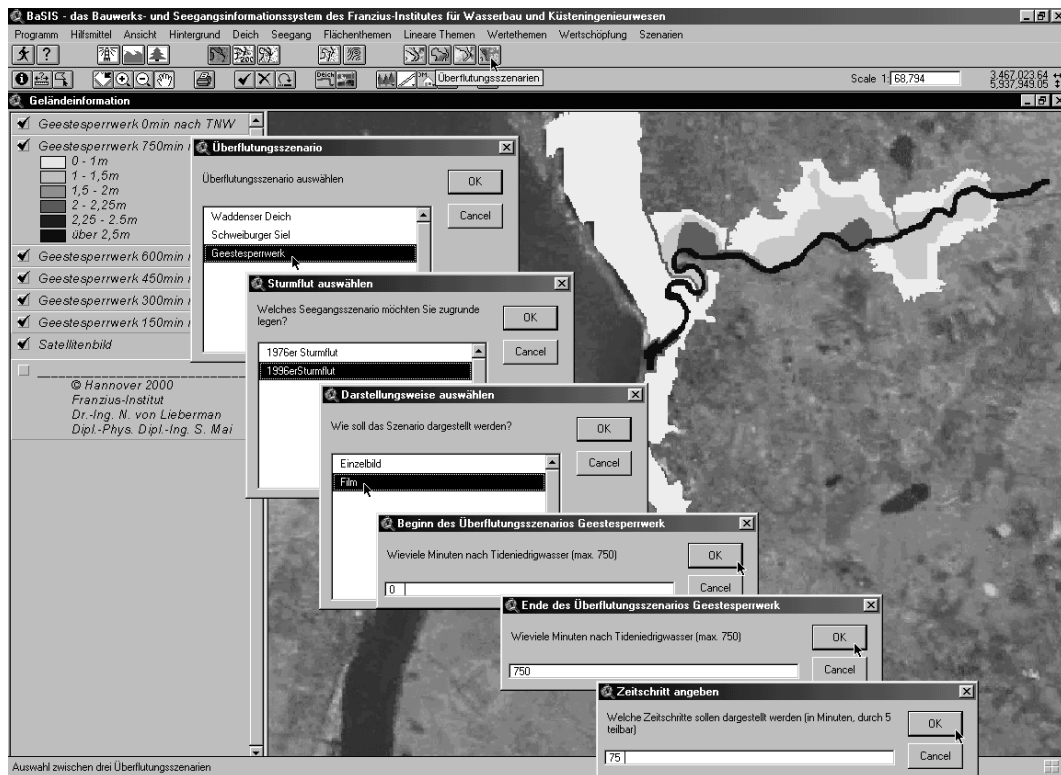


Abb. 8: Ergebnis einer numerischen Simulation eines Überflutungsvorgangs mit dem Modell MIKE 21 HD

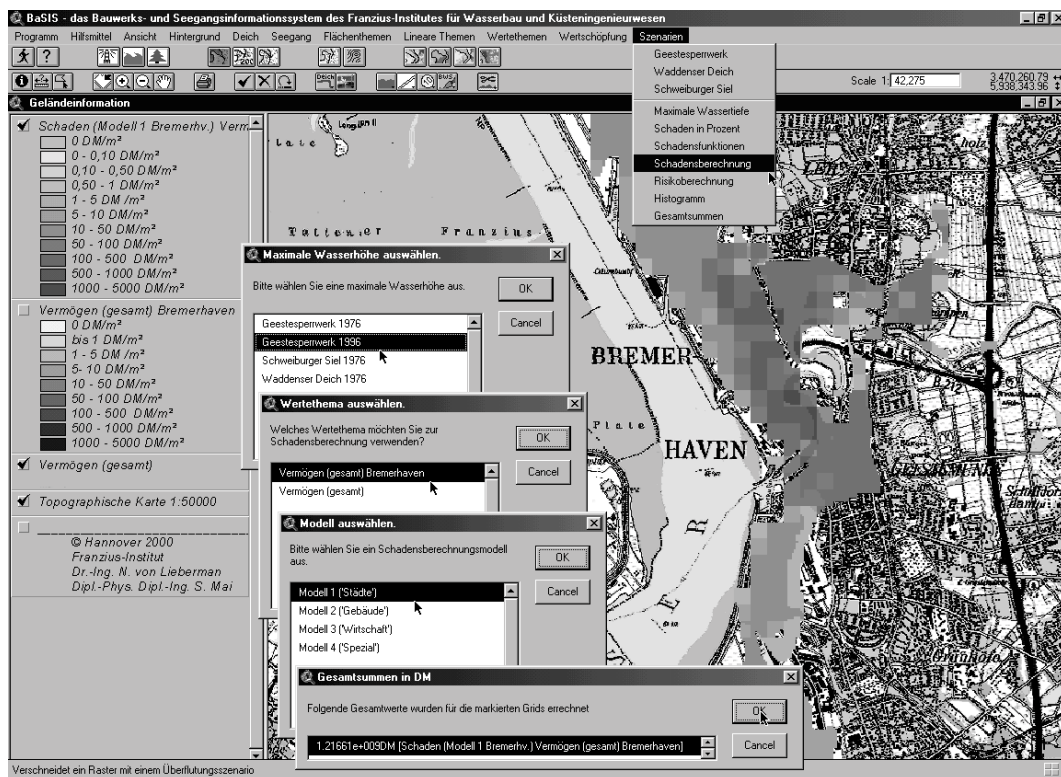


Abb. 9: Verteilung des Schadens

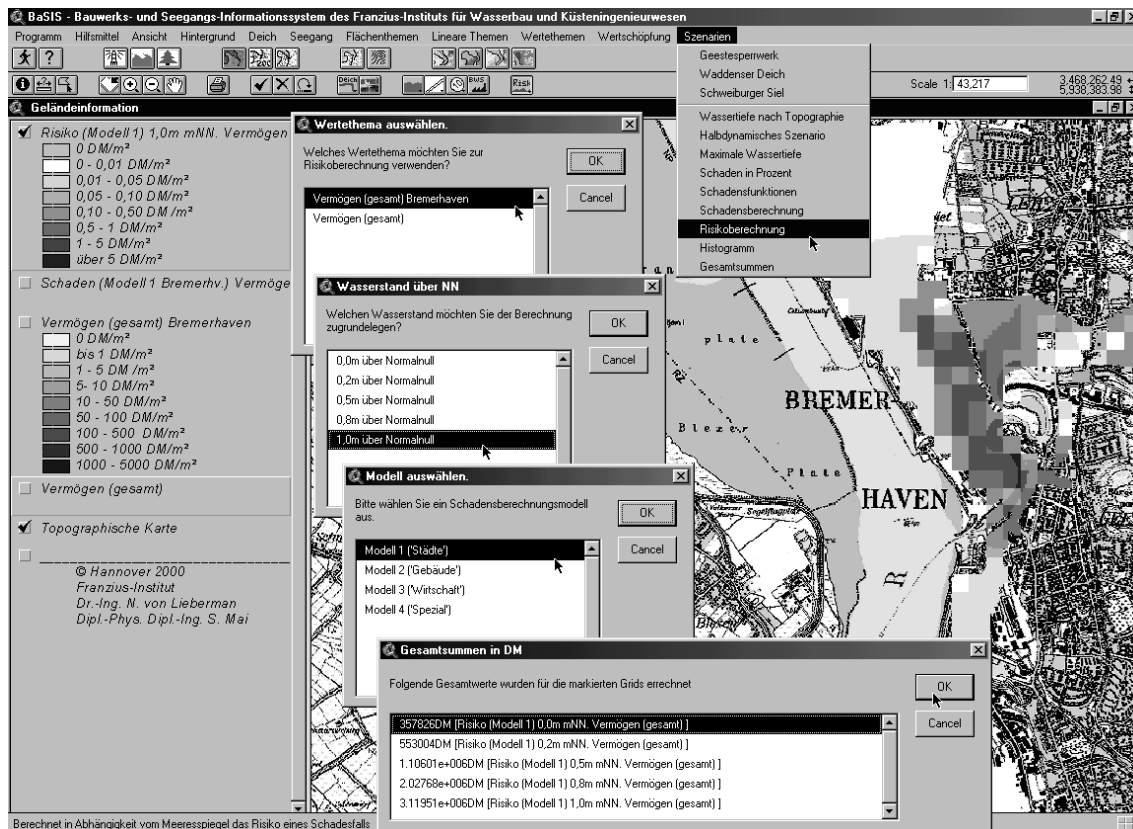


Abb. 10: Ausweisung von Risikozonen

### 3 Zusammenfassung und Ausblick

Das Bauwerks- und Seegangsinformationssystem (BASIS) ist ein Werkzeug zur Beurteilung von Küstenschutzmaßnahmen auf der Grundlage der Risikoanalyse. Dazu sind einerseits die das Küstenschutzsystem belastenden Parameter – Wasserstand und Seegang – und andererseits die Bauwerkseigenschaften katalogisiert und graphisch abrufbar. Dies bildet die Grundlage zur Ermittlung der ebenfalls im BASIS verfügbaren Wahrscheinlichkeit eines Wellenüberlaufs an Deichen. Mögliche Folgen eines Deichbruchs wurden flächenmäßig mit Hilfe von Überflutungssimulationen abgeschätzt und durch ein auch im BASIS implementiertes Wertekataster monetarisiert. Derzeit wird das BASIS im Rahmen des BMBF-Forschungsvorhabens „Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste KRIM“ (Förderkennzeichen: 01LD0014) zu einem interaktiven Entscheidungshilfesystem (*Decision Support System*), welches Aspekte der Ökologie, Wirtschaftsgeographie, Risikowahrnehmung und -akzeptanz berücksichtigt, erweitert.

## 4 Schrifttum

- AUSSCHUSS FÜR KÜSTENSCHUTZWERKE (1993): Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken, EAK, Die Küste, H. 55.
- BOUIJ, N., R.C. RIS & L.H. HOLTHUIJSEN (1999): A Third-generation Wave Model for Coastal Regions, 1, Model Description and Validation, J. Geophys. Res., Vol. 104, No. C4.
- CENTRE FOR CIVIL ENGINEERING RESEARCH AND CODES (CUR) (1990): Probabilistic Design of Flood Defences, Technical Advisory Committee on Water Defences (TAW), Report 141.
- EGLI, T. (1999): Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren, Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St. Gallen.
- FRENKEL, M. & K.D. JOHN. (1999): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, WiSo Kurzlehrbücher, Reihe Volkswirtschaft.
- HEINSOHN, KRAMER, KRAUSE, LUCK, MEYER-TOELLE & MÜLLER (1979): Erfahrungen und Folgerungen aus den Januar-Sturmfluten 1976 für den Küstenschutz in Niedersachsen, Die Küste, H. 33.
- HOFSTEDE, J. & M. HAMANN (2000): Wertermittlung sturmflutgefährdeter Gebiete in Schleswig-Holstein, Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, H. 85, S. 105-112.
- KRAMER, J., R. LIESE & K. LÜDERS (1962): Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 im niedersächsischen Küstengebiet, Die Küste, Jg. 10, H. 1.
- LASSEN, H. & W. SIEFERT (1992): Zur Windstauentwicklung in der südöstlichen Nordsee, Die Küste, H. 53, S. 1-28.
- VON LIEBERMAN, N. & S. MAI (2000): Risikopotenziale für Nutzflächen und Infrastruktur, Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, H. 85, Hannover, S. 97-104.
- VON LIEBERMAN, N. & S. MAI (2001): Elemente der Risikoanalyse im Küstenraum, Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft der RWTH Aachen (im Druck).
- MAI, S., N. VON LIEBERMAN, T. FITTSCHEN & K. BARTELS (2000): Seegang in der Weser vor Bremerhaven - Ein Vergleich von Naturmessung und numerischer Simulation, HANSA, Jg. 137, H. 9, S. 278-281.
- NABAU-AUSSCHUSS „Sicherheit von Bauwerken“ (1981): Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen, Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin.

- SCHMIDTKE, R.F. (1995): Sozio-ökonomische Schäden von Hochwasserkatastrophen, Darmstädter Wasserbau-Mitteilungen, H. 40.
- SCHÜTTRUMPF, H. & H. OUMERACI (2000): Empfehlungen A2 – Wellenauflauf und Wellenüberlauf, HANSA-Schiffahrt-Schiffbau-Hafen, Jg. 137, H. 8.
- TAUTENHAIN, E. (1981): Der Wellenüberlauf an Seedeichen unter Berücksichtigung des Wellenaufbaus, Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, H. 53.
- TRAEGER, G. (1962): Die Sturmflut am 3. und 21. Januar 1976, Die Küste, Jg. 10, H. 1.
- WARREN, R. (1993): Development and Application of a Generic Modelling System for Coastal Processes, Proc. of Int. Conf. Large Scale Coastal Behaviour, S. 220-223.
- ZITSCHER, F.-F., R. SCHERENBERG & U. CAROW (1979): Die Sturmflut am 3. und 21. Januar 1976, Die Küste, H. 33.