

BASIS – EIN WERKZEUG ZUR BEWERTUNG

VON KÜSTENSCHUTZMAßNAHMEN

von

Nicole von Lieberman¹ und Stephan Mai²

ABSTRACT

BASIS is a Geographical Information System on coastal defences at the German estuaries Jade and Weser. It is realised within the programme ARC/VIEW and comprises information on the loads, i. e. water levels and waves, and the design of coastal defences. Besides that information on the land use of the hinterland is provided. Thus the main elements of a risk analysis are implemented in this information system. It is therefore possible to evaluate the safety achieved by the coastal defence system. Comparing different set-ups of coastal defence systems BASIS provides also the basic functionality for a decision support system on coastal defences.

1. EINLEITUNG

Die heutige Bemessung von Küstenschutzmaßnahmen erfolgt ausschließlich vor dem Hintergrund der Anschaffungskosten. Mit zunehmender Mittelknappheit und möglichen klimatischen Veränderungen wird jedoch die Bewertung von Maßnahmen des Küstenschutzes, die auch die Effektivität derselben in Betracht zieht, zunehmend an Bedeutung gewinnen. Ein geeignetes Instrument hierfür ist die Risikoanalyse. Der Begriff des Risikos bezeichnet das Produkt aus der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens und den zu erwartenden Folgeschäden im Falle eines Versagens des Küstenschutzsystems, wie z. B. der Bruch eines Deichs (PROBST, 1994). Während die Risikoanalyse im konstruktiven Ingenieurbau weit verbreitet ist, gelangt sie im Küsteningenieurwesen erst nach und nach zur Anwendung. In Deutschland berücksichtigt die traditionelle Bemessung von Küstenschutzbauwerken die Wiederkehr eines Versagens, also die Versagenswahr-

¹ Dr.-Ing., Franzius-Institut, Nienburger Straße 4, 30167 Hannover

² Dipl.-Phys. Dipl.-Ing., Franzius-Institut, Nienburger Straße 4, 30167 Hannover

scheinlichkeit, bislang nicht. Auch die Nutzung des geschützten Hinterlandes ist nicht Bestandteil der aktuellen Bemessungspraxis im Küstenschutz.

Um der Komplexität der Risikoanalyse, die umfangreichere Datensätze als die traditionelle Bemessung erfordert, Rechnung zu tragen, bietet sich die Entwicklung von Informationssystemen an. So wird in Schleswig-Holstein derzeit ein GIS-basiertes System, das sogenannte Küsteninformationssystem KIS entwickelt (HOFSTEDÉ UND HAMANN, 2000). Im Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität ist im Zeitraum 1998 bis 2001 im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie geförderten Forschungsvorhabens „Risiko einer Küstenregion bei Klimaänderung“ das GIS-gestützte Bauwerks- und Seegangsinformationssystem BASIS für das Untersuchungsgebiet zwischen Jade und Weser entwickelt worden. Es enthält die einzelnen Stufen der Risikoanalyse und erlaubt potenziellen Anwendern eine benutzerfreundliche Anwendung.

2. INFORMATIONEN ZU BAUWERKEN UND IHREN BELASTUNGEN

Am Beispiel des zwischen den Ästuaren Jade und Weser gelegenen Küstenraums mit der Hafenstadt Bremerhaven wurden im Informationssystem BASIS, welches unter Verwendung des Programmsystems ARC/VIEW und der Programmiersprache AVENUE am Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover entwickelt wurde.

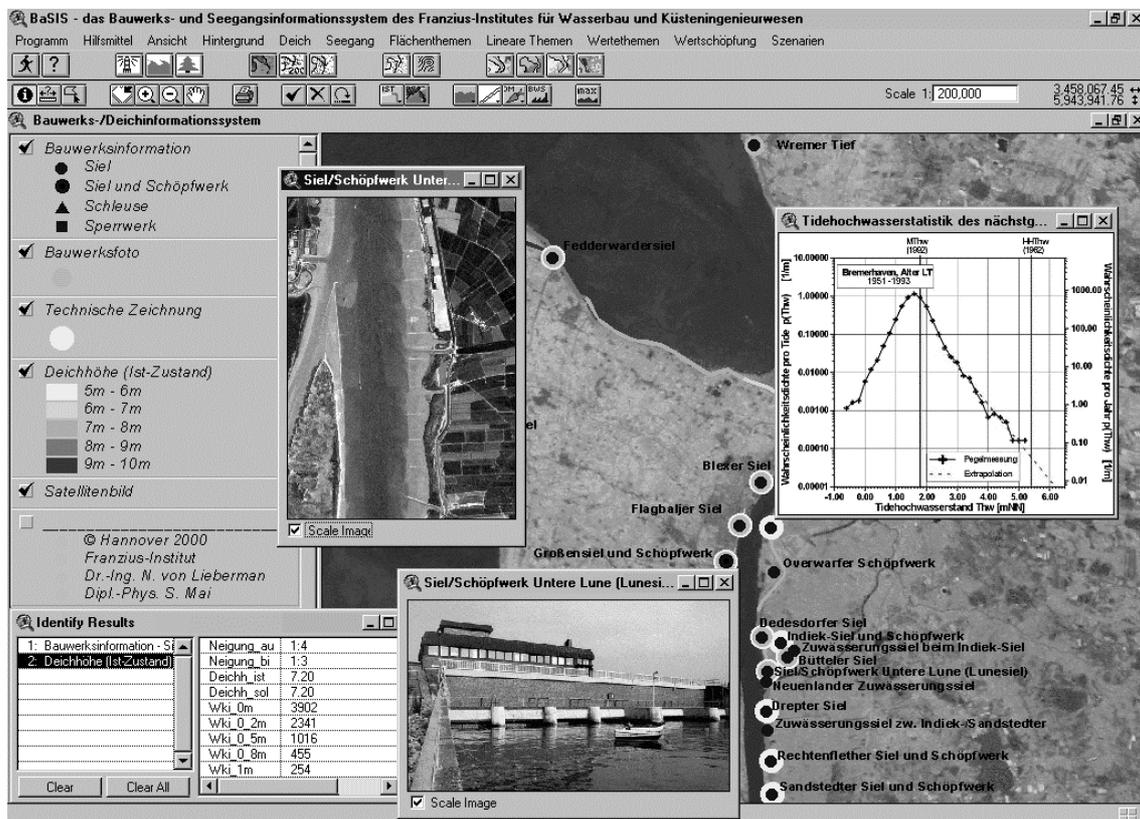


Abbildung 1: Bauwerksinformationen (MAI und VON LIEBERMAN, 2001a)

Im BASIS sind zahlreiche Informationen über Küstenschutzbauwerke und deren Belastungsgrößen gespeichert, die durch den Benutzer des Informationssystems in einfacher Weise abgerufen werden können. Abbildung 1 zeigt die Implementierung der einzelnen, im Untersuchungsgebiet vorhandenen Küstenschutzelemente, wie Deiche, Sperrwerke, Siele und Schöpfwerke. BASIS ermöglicht im Einzelnen die Abfrage technischer Zeichnungen, ergänzender Datenblätter, Satellitenbilder der Bauwerksstandorte sowie Fotografien der Bauwerke.

Zur Anwendung der Risikoanalyse als Entscheidungshilfe zur Bewertung von Küstenschutzmaßnahmen ist neben den Informationen zu den Küstenschutzsystemen die Kenntnis der für die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeiten eines Versagens des Küstenschutzsystems erforderlichen Belastungsgrößen, wie Wasserstände, Wellenhöhen und -perioden, notwendig. Im Untersuchungsgebiet wurde das Augenmerk der Ermittlung von Versagenswahrscheinlichkeiten auf den Versagensfall des Wellenüberlaufs an Deichen gelegt, so dass der Seegang neben den Wasserständen eine der wesentlichen Belastungsgrößen darstellt. Die Ermittlung der im BASIS dargestellten Seegangsstatistik erfolgte aus der Windstatistik mit Hilfe von Simulationen mit dem Programm SWAN (BOOIJ ET AL., 1999). Abbildung 2 stellt die Verteilung der signifikanten Wellenhöhen im Untersuchungsgebiet für einen Wasserstand von 3 mNN, einer Windgeschwindigkeit von 24 m/s aus nordwestlicher Richtung dar.

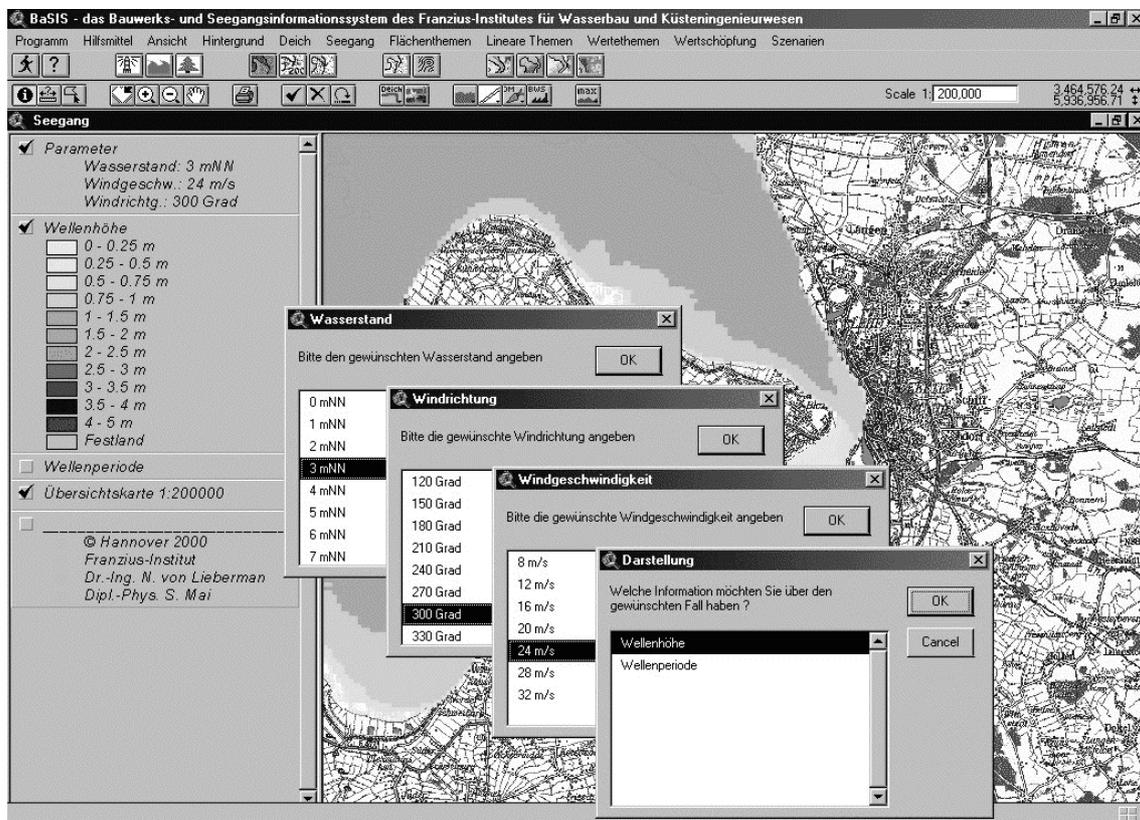


Abbildung 2: Informationen zu Belastungsgrößen im BASIS (MAI und VON LIEBERMAN, 2001a)

3. INFORMATIONEN ZU ÜBERFLUTUNGSFLÄCHEN

Zur Überprüfung der Vulnerabilität des Küstenraums bei Versagen des Küstenschutzsystems ist eine Ausweisung der Überflutungsflächen erforderlich. Im Vergleich zu überflutungsgefährdeten Gebieten an Flüssen, für die die Ausweisung aufgrund gesetzlicher Anforderungen bereits sehr weit fortgeschritten ist und z. B. eine wesentliche Grundlage der Prämienfestlegung von Versicherungen bildet (KLEEBERG, 2001), wird mit der Ausweisung von Überflutungsgebieten an den deutschen Küsten erst begonnen. Zur Berechnung der Überflutungsflächen bei Versagen des Küstenschutzsystems, z. B. bei Deichversagen, kommen neben statischen Verfahren, semi-dynamische Näherungen und voll-dynamische Lösungsverfahren zum Einsatz (MAI und VON LIEBERMAN, 2001d).

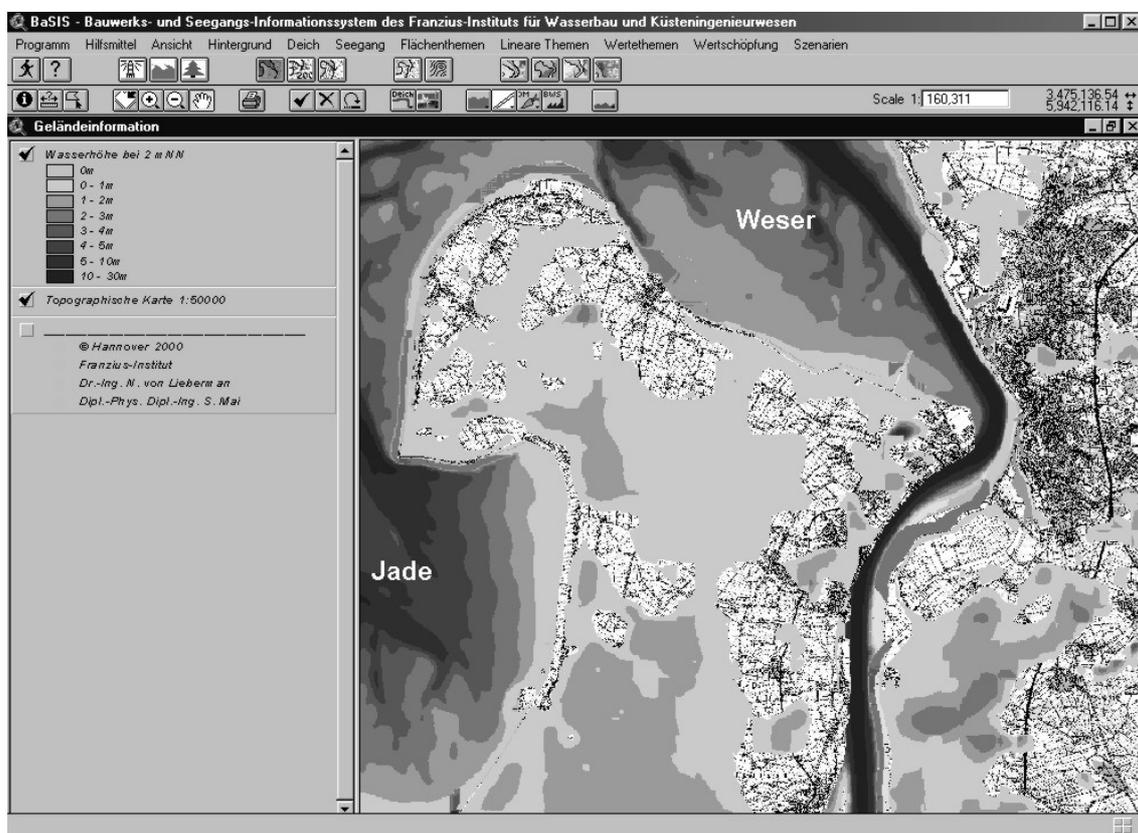


Abbildung 3: Ausweisung der Überflutungsflächen durch Vorgabe eines konstanten Überflutungswasserstands (MAI und VON LIEBERMAN, 2001d)

Beim statischen Verfahren, welches z. B. von SCHMIDTKE (1995), STERR und SIMMERING (1996) und HOFSTEDDE und HAMANN (2000) zur Analyse der Vulnerabilität deutscher Küsten eingesetzt wurde, erfolgt eine Vorgabe eines über das gesamte Küstengebiet konstanten Wasserstands. Liegt die Geländehöhe über dem vorgegebenen Wasserstand, so ist ein Gebiet nicht überflutungsgefährdet. Andernfalls ergibt sich die zu erwartende Überflutungstiefe aus der Differenz von Wasserstand und Geländehöhe, sog. Verschneiden. Als anzusetzender Wasserstand werden Höhenstufen NN - 0,5 m, NN + 0 m, NN + 1 m und NN + 1,5 m angenommen (SCHMIDTKE, 1990). Die Implementierung des statischen Verfahrens zur Ausweisung von Überflutungsflächen

im BASIS ist in Abbildung 3 unter Voraussetzung eines maßgebenden Wasserstands von 2 mNN dargestellt.

Beim statischen Verfahren findet die Entfernung eines Gebiets von der Küste keine Berücksichtigung bei der Beurteilung der Überflutungsgefährdung. Auch „Insellagen“ bleiben zunächst unberücksichtigt, können jedoch im Geographischen Informationssystem identifiziert werden.

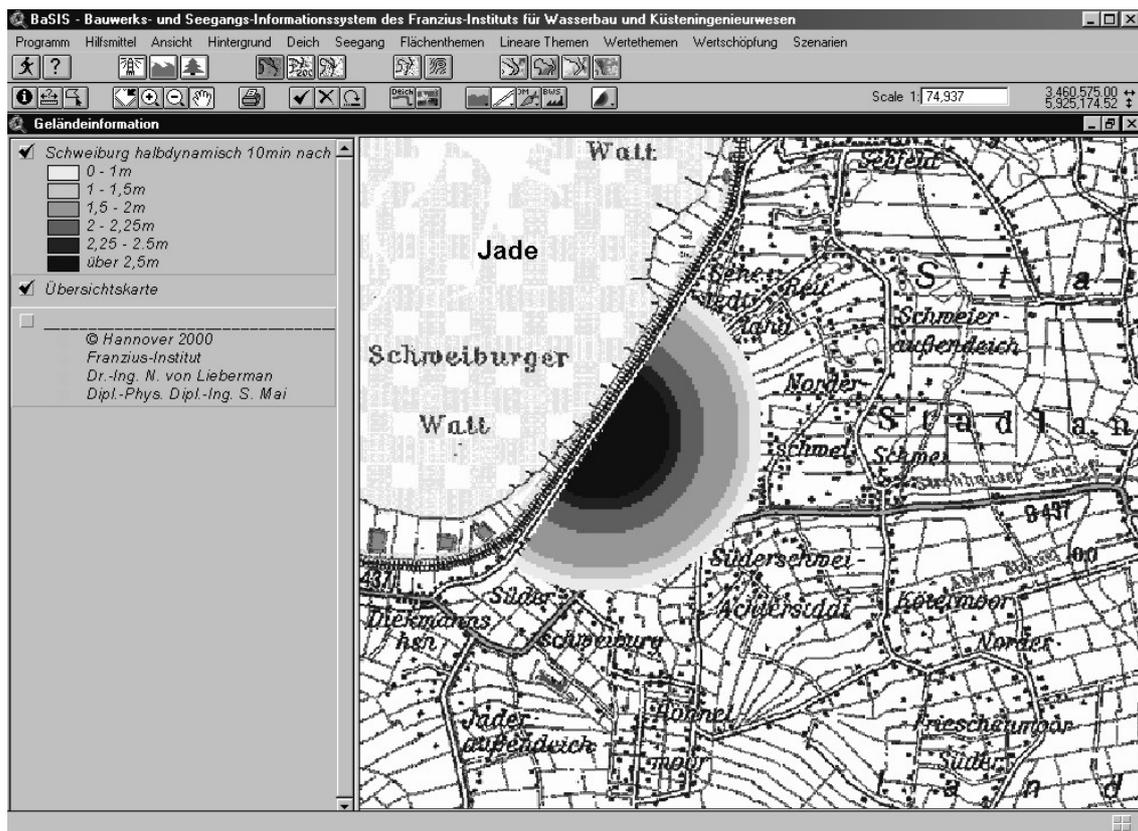


Abbildung 4: Ausweisung der Überflutungsflächen durch semi-dynamische Ausbreitungsrechnung nach Manning-Strickler (MAI und VON LIEBERMAN, 2001c)

Im Gegensatz zum statischen Verfahren lassen semi-dynamische bzw. dynamische Verfahren die Abstufungen der Überflutungsgefährdung in Abhängigkeit von der Entfernung des Küstenschutzsystems bzw. dem Hauptdeich zu. Diese Verfahren liefern bei Vorgabe der Lokation eines Versagens des Küstenschutzsystems, z. B. eines Deichbruchs, neben dem zu erwartenden Überflutungswasserstand auch Informationen zur Strömungsgeschwindigkeit bei Überflutung, welche insbesondere zur Beurteilung der Schäden im Hinterland hinzugezogen werden kann (EGLI, 1999).

Die Formulierung eines semi-dynamischen Ansatzes ist im BASIS, wie in Abbildung 4 für einen Deichbruch der Breite bei Schweiburg dargestellt, auf der Grundlage der Kontinuitätsgleichung (1) und der Manning-Strickler-Gleichung (2) unter Voraussetzung einer halbkreisförmigen Überflutung des Hinterlands realisiert:

$$\frac{dd}{dt} + d \cdot \frac{dv}{dr} = 0 \quad (1)$$

$$v = k_{St} \cdot d^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (2)$$

$$I = \frac{d\zeta}{dr} \quad (3)$$

mit

t	Zeit	k_{St}	Strickler-Rauhigkeitsbeiwert
d	Wassertiefe	I	Gradient der Wasserspiegellage
r	Entfernung von der Deichlücke	ζ	Wasserspiegellage
v	Strömungsgeschwindigkeit		

Die Geländehöhe wird im semi-dynamischen Ansatz näherungsweise als Funktion der Entfernung von der Deichlücke angesetzt, d. h. es erfolgt eine Mittelung der Geländehöhe über den Halbkreisring. Der Strickler-Rauhigkeitsbeiwert ist im BASIS konstant $k_{St} = ?? \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ gesetzt. Die Breite der Lücke im Küstenschutzsystem ist mit 200 m angesetzt, was etwa dem Maximum der Breite der Deichbruchstellen vergangener Sturmfluten entspricht. Der Tidewasserstand vor dem Deich wird im BASIS auf der Grundlage vergangener Sturmfluten kurzer Standzeit (1976) bzw. langer Standzeit (1996) festgelegt.

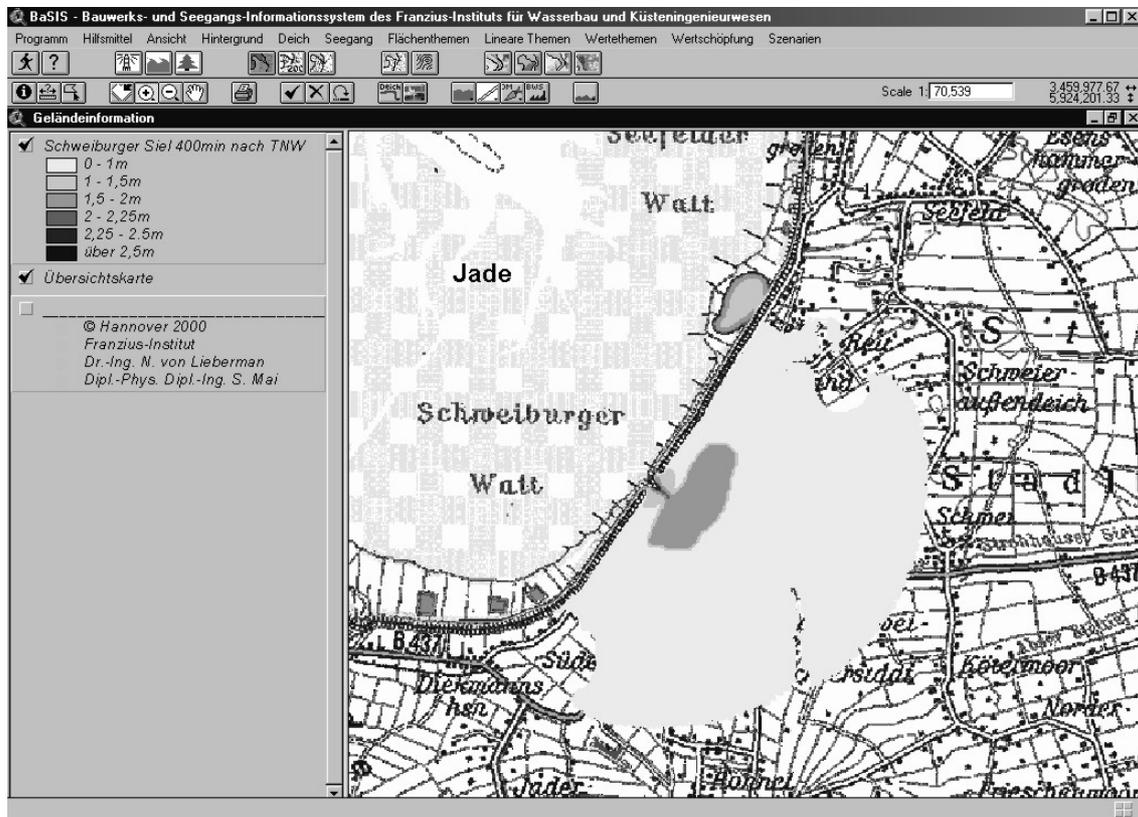


Abbildung 5: Ausweisung der Überflutungsflächen durch numerische Lösung der tiefengemittelten Navier-Stokes-Gleichungen

Neben den im BASIS implementierten Algorithmen des statischen bzw. semi-dynamischen Berechnungsverfahren sind, wie in Abbildung 5 dargestellt, außerdem mit dem Programmsystem MIKE 21 HD berechnete Überflutungssimulationen als Filme bzw. Standbilder abrufbar. Die Grundlage dieser dynamischen Berechnungen bilden die tiefengemittelten Navier-Stokes-Gleichungen (4) und (5) sowie die Kontinuitätsgleichung (6):

$$\frac{\partial(d \cdot v_x)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(d \cdot v_x^2) + \frac{\partial}{\partial y}(d \cdot v_x \cdot v_y) = -g \cdot d \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{F_{B,x}}{\rho_w} + \frac{F_{E,x}}{\rho_w} + \frac{F_{W,x}}{\rho_w} + \Omega \cdot d \cdot v_y \quad (4)$$

$$\frac{\partial(d \cdot v_y)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y}(d \cdot v_y^2) + \frac{\partial}{\partial x}(d \cdot v_x \cdot v_y) = -g \cdot d \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{F_{B,y}}{\rho_w} + \frac{F_{E,y}}{\rho_w} + \frac{F_{W,y}}{\rho_w} - \Omega \cdot d \cdot v_x \quad (5)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(d \cdot v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(d \cdot v_y)}{\partial y} = 0 \quad (6)$$

mit

t	Zeit	Ω	Coriolis-Parameter
d	Wassertiefe	ζ	Wasserspiegellage
v_x, v_y	Strömungsvektoren	$F_{B,x}, F_{B,y}$	Bodenreibung
x, y	Ortskoordinaten	$F_{E,x}, F_{E,y}$	turbulenter Schub
g	Erdbeschleunigung	$F_{W,x}, F_{W,y}$	Windschub

Die Bodenreibung und der Windschub berechnet sich nach

$$\begin{pmatrix} F_{B,x} \\ F_{B,y} \end{pmatrix} = \frac{g \cdot \sqrt{v_x^2 + v_y^2}}{M^2 \cdot d^{1/3}} \cdot \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} F_{W,x} \\ F_{W,y} \end{pmatrix} = c_D \sqrt{(u_x^2 + u_y^2)} \cdot \begin{pmatrix} u_x \\ u_y \end{pmatrix} \quad (8)$$

mit

M	Manning-Beiwert	u_x, u_y	Windgeschwindigkeit
c_D	Reibungskoeffizient		

Die Berechnung des Überflutungsvorgangs erfolgte für die Sturmflut des Jahres 1976 mit einer räumlichen Auflösung von 25 m unter Annahme verschiedener Bodenrauigkeiten, Deichöffnungsweiten B und Windbedingungen. Abbildung 6 zeigt die Abhängigkeit der überfluteten Fläche von der Bodenrauigkeit. Es zeigt sich, dass bei geringer Rauigkeit ($M = 26 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) die überflutete Fläche sehr viel schneller zunimmt als bei großer Bodenrauigkeit ($M = 15,5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$), so beträgt die Überflutungsfläche nach 9 Stunden bei rauher Oberfläche ca. 25 km^2 und bei glatter Oberfläche ca. 50 km^2 . Abbildung 7 zeigt den Einfluss der Weite der Deichbruchöffnung auf die überflutete Fläche. Es zeigt sich, daß die Überflutungsfläche bei geringen Öffnungsweiten stärker von der Öffnungsweite abhängig ist als bei großen. So nimmt die Überflutungsfläche

neun Stunden nach Deichbruch bei einer Vergrößerung der Deichbruchöffnung von 50 m auf 125 m von 45 km² auf 55 km² zu, während eine Erhöhung der Öffnungsweite auf 550 m zu einer überfluteten Fläche von 60 km² führt.

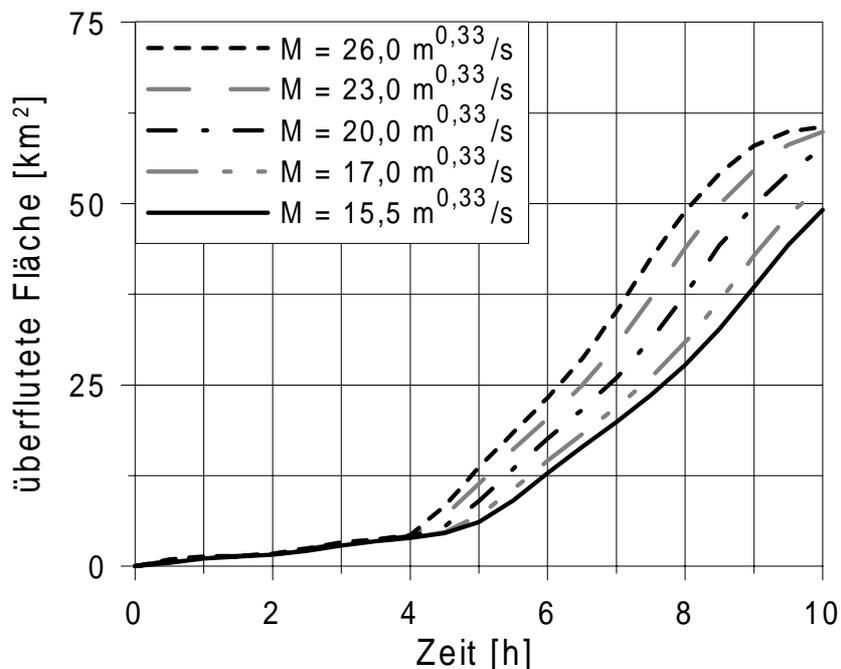


Abbildung 6: Einfluss der Bodenrauigkeit M auf die überflutete Fläche (MAI und VON LIEBERMAN, 2001c)

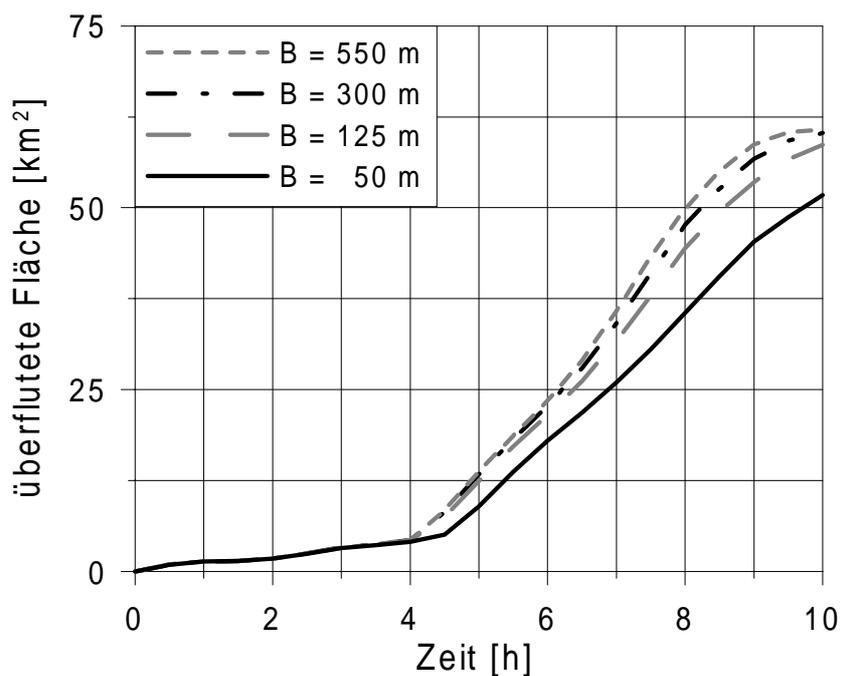


Abbildung 7: Einfluss der Breite B der Deichbruchlücke auf die überflutete Fläche

Der Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Überflutungsfläche ist für Wind aus 300° bzw. 120° in Abbildung 8 dargestellt. Bei einer Deichöffnung von 50 m führt ein Anstieg der Windgeschwindigkeit von 0 m/s auf 12 m/s (aus 300°) zu einer Vergrößerung der nach neun Stunden überfluteten Fläche von 45 km^2 auf 50 km^2 . Während ein ablandiger Wind (120°) von 12 m/s eine Verminderung der nach neun Stunden überfluteten Fläche auf 40 km^2 bedeutet. Neben der Überflutungsfläche kommt auch dem durch die Deichöffnung ins Hinterland einströmenden Wasservolumen besondere Bedeutung zu. Eine entsprechende Untersuchung findet sich in MAI und VON LIEBERMAN (2001c).

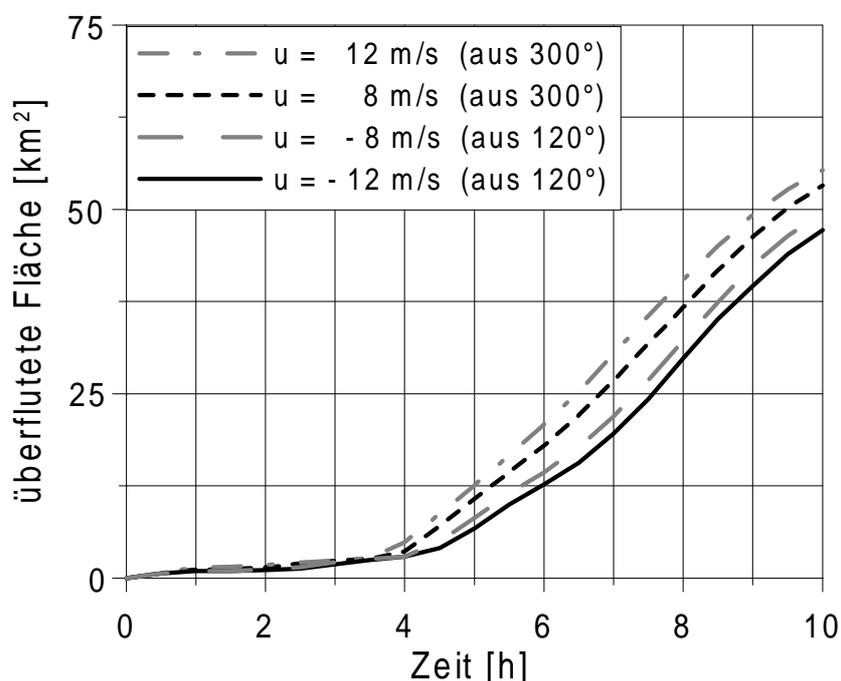


Abbildung 8: Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die überflutete Fläche

4. INFORMATIONEN ZUR HINTERLANDNUTZUNG

Um die Folgen des Versagens eines Küstenschutzsystems im Hinterland monetär zu bewerten, ist einerseits der Wertebestand des Hinterlands zu ermitteln, andererseits der Grad der bei Überflutung auftretenden Schädigung zu bestimmen. So lässt sich der Folgeschaden als Produkt beider Größen beschreiben. Zur Ermittlung des aktuellen Wertebestands des für das BASIS gewählten Untersuchungsgebiets wurde ein mesoskaliger Ansatz gewählt und analog zwölf flächenhafte Variablen, wie Ackerland, öffentliche Frei- und Grünflächen, gewerbliche Bauflächen oder landwirtschaftliche Flächen, sowie zwölf linienhafte Variablen, wie Kreisstraße, Bundesautobahnen, Bahnstrecken oder Flüsse, auf der Basis von Deutschen Grundkarten im Maßstab 1:5.000 sowie die Variablen Bevölkerung und Gemeindegrenzen erfasst.

Die monetäre Bewertung der Variablen erfolgte, wie z. B. in KIESE und LEINEWEBER (2001) beschrieben, anhand von Gemeindestatistiken und Ergebnissen der Volkszählung. Mit einem sogenannten Top down-Ansatz erfolgte vereinfachend eine gleichmäßige Verteilung der Größen auf die Fläche. Lediglich für die Ermittlung des Brutto-

anlagevermögens sowie der Bruttowertschöpfung wurden Betriebe mit mehr als 50 Mitarbeitern erfasst und diesen auf der Grundlage der Variablen Bruttoanlagevermögen und Bruttowertschöpfung pro Mitarbeiter ihr Bruttoanlagevermögen und ihre Wertschöpfung zugewiesen (VON LIEBERMAN und MAI, 2001). Ein Beispiel der Darstellung der Ergebnisse der Erhebung und Bewertung ist in Abbildung 9 dargestellt.

Der vom Überflutungsgeschehen abhängige Schädigungsgrad wurde im BASIS durch die Überflutungshöhe auf der Grundlage vergangener Überflutungsereignisse, wie sie in CUR (1990) beschrieben sind, für die einzelnen Werte parametrisiert. Ein Beispiel einer Parametrisierung ist dem Graphen in Abbildung 11 zu entnehmen.

Vermögenswerte im Überflutungsbereich, wie sie Abbildung 10 dargestellt sind, können zur Umsetzung der Risikoanalyse im BASIS mit dem sich aus der Wassertiefe nach Abbildung 5 ergebenden Schädigungsgrad multipliziert werden. Daraus ergibt sich die in Abbildung 11 am Beispiel der Hafenstadt Bremerhaven dargestellte flächenhafte Schadenverteilung. Für das vorliegende Beispiel ergibt sich der Gesamtschaden durch Integration über die Fläche zu rd. 1,2 Mrd. DM. Durch Multiplikation des Schadens mit der Eintrittswahrscheinlichkeit des Versagens des Küstenschutzsystems folgt die flächenhafte Verteilung des Risikos, so dass eine Zonierung des Risikos erfolgen kann. Abbildung 12 zeigt beispielhaft die Risikozonen für ein Versagen des Schutzsystems in Bremerhaven bei einem Anstieg des mittleren Tidehochwasserstands um 0,50 m. Es ergibt sich durch Integration des Risikos über die Fläche ein Gesamtrisiko von rd. 1,4 Mio. DM pro Jahr.

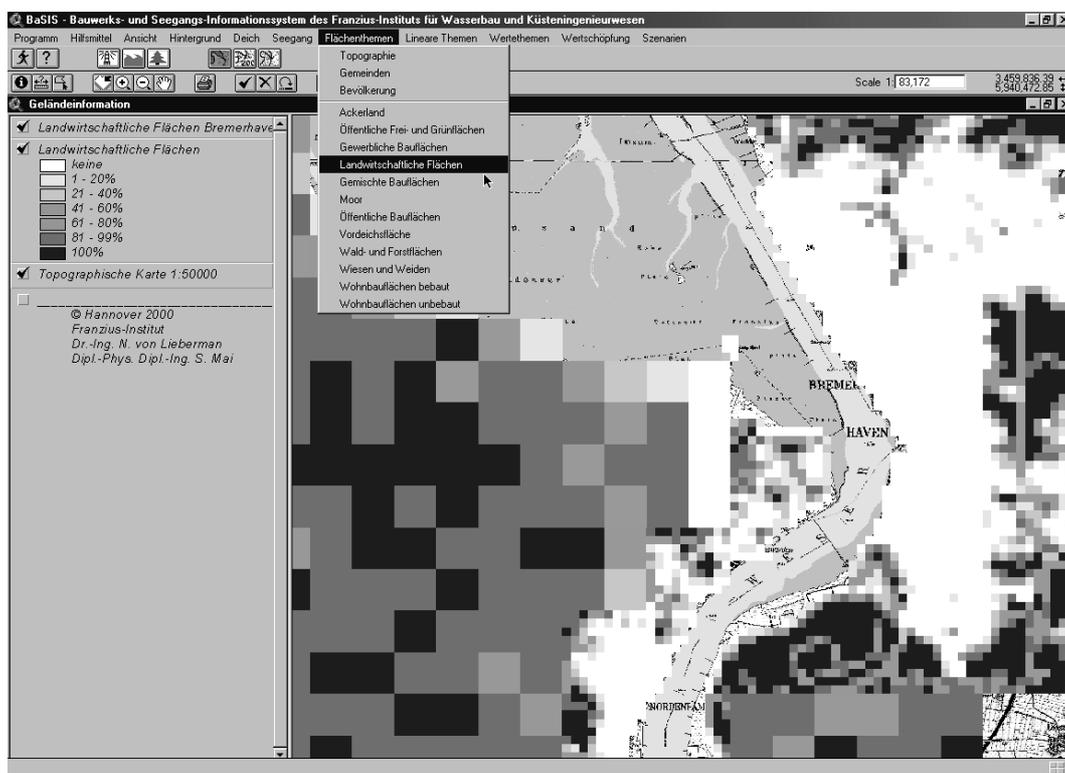


Abbildung 9: Verteilung der Landwirtschaftlichen Nutzflächen (MAI und VON LIEBERMAN, 2001b)

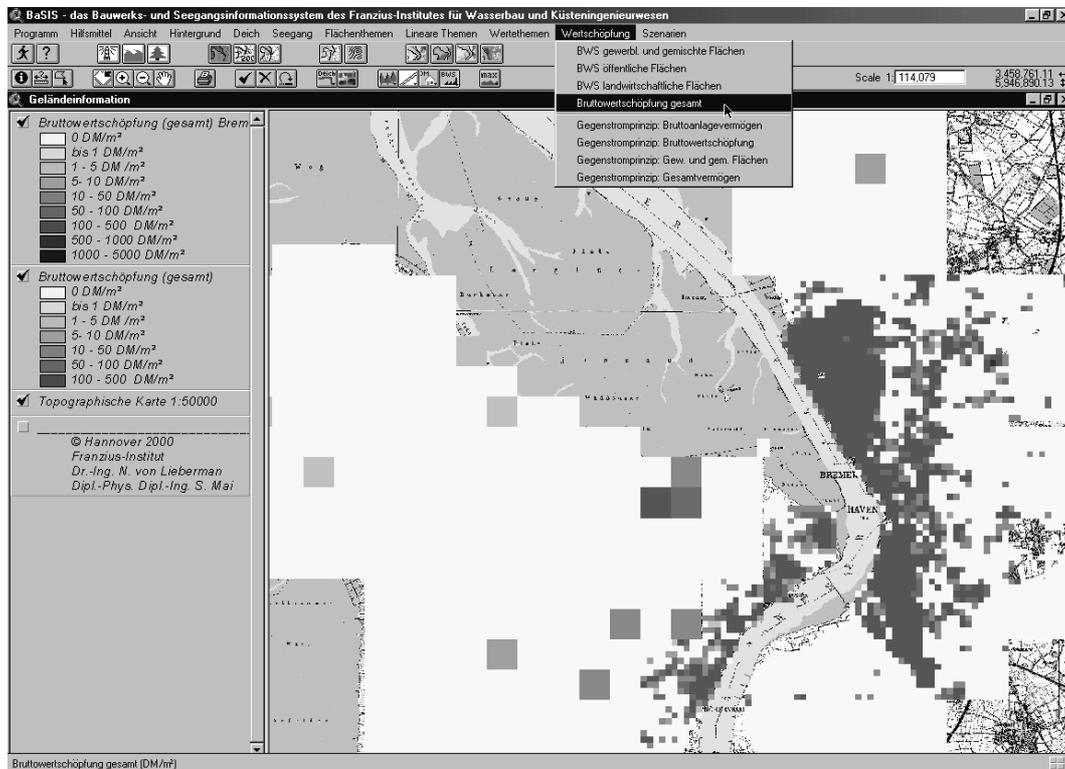


Abbildung 10: Verteilung der Bruttowertschöpfung (MAI und VON LIEBERMAN, 2001b)

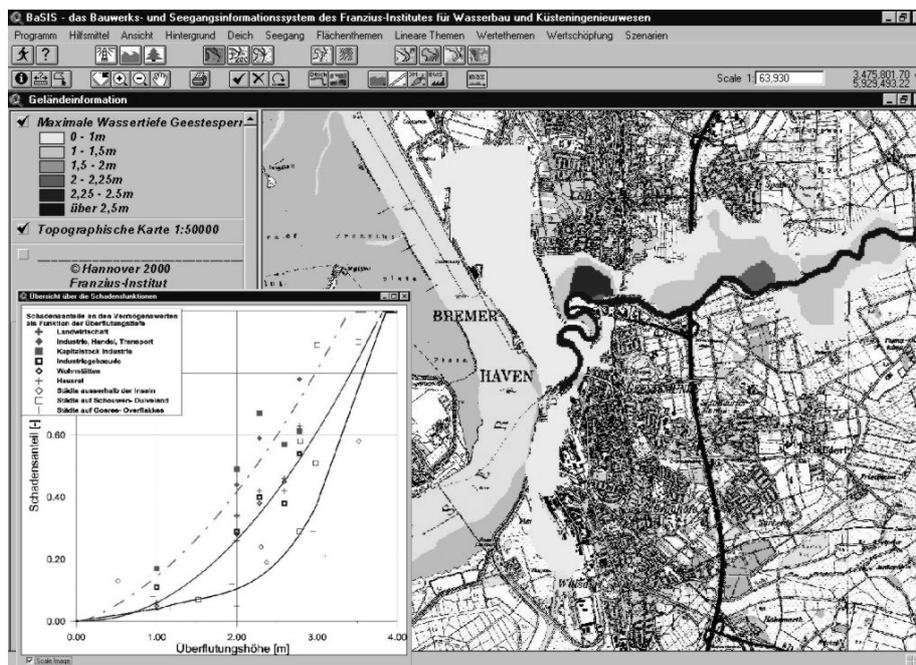


Abbildung 11: Überflutungsfläche bei einem Versagen des Küstenschutzsystems in der Nähe des Geestesperwerks in Bremerhaven und mögliche Parametrisierungen des Schädigungsgrads nach CUR (1990)

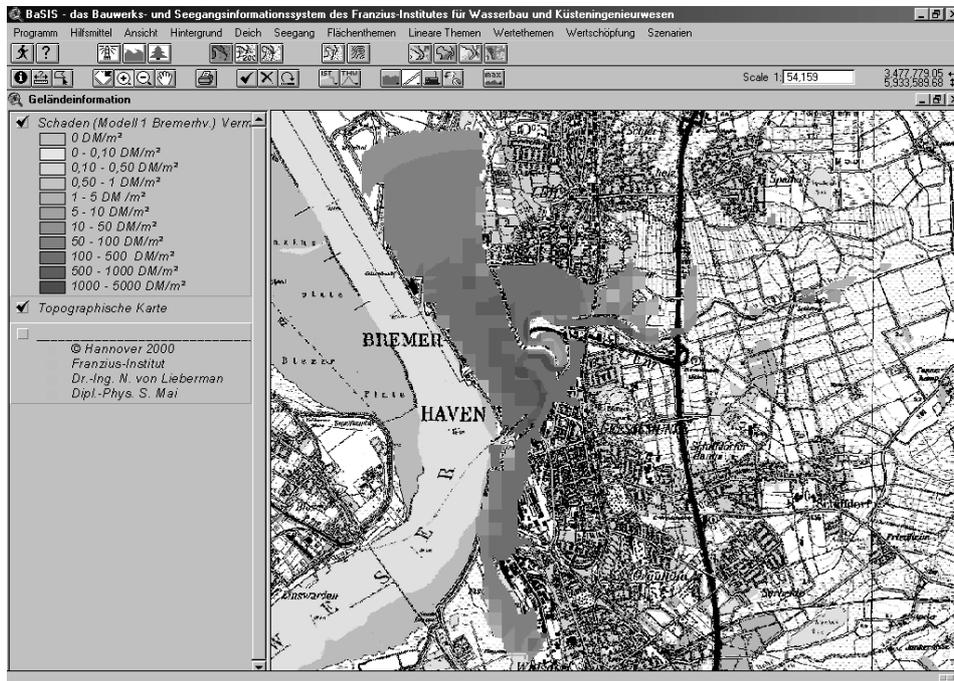


Abbildung 12: Schäden bei Überflutung im Stadtgebiet Bremerhavens (MAI und VON LIEBERMAN, 2001a)

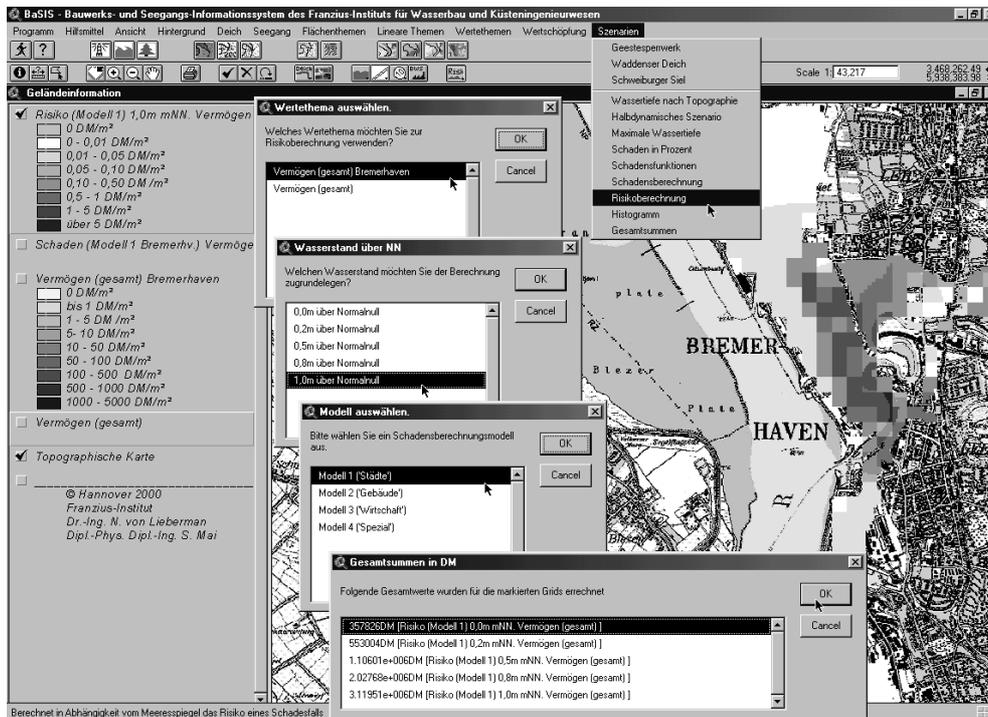


Abbildung 13: Ausweisung von Risikozone für das Stadtgebiet Bremerhavens (MAI und VON LIEBERMAN, 2001a)

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mit BASIS ist die Umsetzung der Risikoanalyse in ein Geographisches Informationssystem für den Küstenabschnitt zwischen Wilhelmshaven und Bremerhaven erfolgt. BASIS bietet damit nicht nur die Ausweisung des Sicherheitsstandards des Küstenschutzsystems, sondern weist auch die überflutungsgefährdeten Flächen des Hinterlands aus. Erste Funktionalitäten für ein Entscheidungshilfesystem zur Optimierung des Küstenschutzes wurden implementiert und werden in Zukunft im Rahmen des interdisziplinären BMBF-Forschungsvorhabens KRIM (Förderkennzeichen 01 LD 0014, siehe auch unter <http://www.krim.uni-bremen.de>) weiter ausgebaut. Daneben erfolgt die Implementierung für die gesamte Unterweserregion sowie für das Wanger Land und das Land Wursten.

6. SCHRIFTTUM

AUSSCHUSS FÜR KÜSTENSCHUTZWERKE: Empfehlungen für Küstenschutzwerke EAK, Die Küste, Heft 55, 1993

CENTRE FOR CIVIL ENGINEERING RESEARCH AND CODES (CUR): Probabilistic Design of Flood Defences, Technical Advisory Committee on Water Defences (TAW), Report 141, 1990
EGLI, T.: Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren, Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St. Gallen, 1999
HOFSTEDTE, J. und HAMANN, M.: Wertermittlung sturmflutgefährdeter Gebiete in Schleswig-Holstein, Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, H. 85, 2000, S. 105-112
KIESE, M. und LEINEWEBER, B.: Risiko einer Küstenregion bei Klimaänderung – ökonomische Bewertung und räumliche Modellierung des Schadenspotenzials in der Unterweserregion, Geographische Arbeitsmaterialien, H. 24, Hannover, 2001

KLEEGERG, H.-B.: Zur Hochwasserrisiko zonierung der deutschen Versicherungswirtschaft, Tagungsband zu den Nürnberger Wasserwirtschaftstagen, 2001, S. 39-50

VON LIEBERMAN, N. und MAI, S.: Elemente der Risikoanalyse im Küstenraum, Proceedings zum 31. Internationalen Wasserbau-Symposium Aachen (IWASA), 2001

MAI, S. und VON LIEBERMAN, N.: GIS-unterstützte Risikoanalyse, Hansa, Jg. 138, H. 7, 2001a, S. 63-66

MAI, S. und VON LIEBERMAN, N.: Bauwerks- und Seegangsinformationssystem BaSIS für die Jade-Weser-Region, Tagungsband zum 16. Deutschen Hydrographentag – 2001, Potsdam, 2001b

MAI, S. und VON LIEBERMAN, N.: Flood risk in coastal regions, Proceedings of the 22nd Int. Conf. on Hydrodynamics and Aerodynamics in Marine Engineering HADMAR, Varna, Bulgaria, 2001c (im Druck)

MAI, S. und VON LIEBERMAN, N.: RiSK – Risikoinformationssystem Küste, Jahrbuch der Hafentechnischen Gesellschaft, 2001d (in Vorbereitung)

PROBST, B.: Überlegungen für einen Küstenschutz der Zukunft, Mitteilungen des Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Universität Hannover, Hannover, H. 75, 1994, S. 52-68

SCHMIDTKE, R.F.: Bewertungsgutachten für Deichbauvorhaben an der Festlandküste – Modellgebiet Wesermarsch, Untersuchungsbericht, 1990

SCHMIDTKE, R.F.: Sozio-ökonomische Schäden von Hochwasserkatastrophen, Darmstädter Wasserbau-Mitteilungen, H. 40, 1995

STERR, H. und SIMMERING, F.: Die Küstenregion im 21. Jahrhundert – Einschätzungen der Folgen des Klimawandels aus der Sicht des IPCC, In: STERR, H. und PREU, C. (Hrsg., 1996): Beiträge zur aktuellen Küstenforschung: Aspekte – Methoden – Perspektiven, Vechtaer Studien zur Angewandten Geographie und Regionalwissenschaft, Bd. 18, 1996