

GIS zur Risikoanalyse

Anne ELSNER, Stephan MAI und Johannes WEIGEL

1 Grundlagen der Analyse des Sturmflutrisikos

Die Analyse des Sturmflutrisikos wird von Seiten der Küstenschutzbehörden (Probst, 1994) schwerpunktmäßig auf das naturwissenschaftlich-technische Risikokonstrukt abgestellt (Markau & Reese, 2005). Im Vergleich zum sozial- bzw. politikwissenschaftlichen Risikokonstrukt (Schuchardt et al. 2005) sind die Grundlagen des naturwissenschaftlich-technischen Risikokonstrukts in ihrer Entwicklung weit fortgeschritten (Vergeer, 1990).

Die Grundlage -der naturwissenschaftlich-technischen Risikoanalyse ist die Definition

$$\text{Risiko} = \text{Versagenswahrscheinlichkeit} \times \text{Versagensfolgen.}$$

Die Versagenswahrscheinlichkeit von Küstenschutzanlagen ergibt sich hierbei einerseits aus der hydrodynamischen Belastung durch Sturmflutwasserstand sowie Strömungen und Wellen und andererseits aus der von der Bauwerksgestaltung abhängigen Belastbarkeit. Zur Quantifizierung der Versagenswahrscheinlichkeit ist für die verschiedenen Küstenschutzanlagen durch Fehlerbaumanalyse der wesentliche Versagensmechanismus zu ermitteln (Mai 2004). Für den Deich, das Schutzelement mit der größten räumlichen Ausdehnung an den deutschen Küsten, stellt der Wellenüberlauf, welcher eine Erosion der Binnenböschung und schließlich den Deichbruch verursacht, den maßgebenden Versagensweg dar. Mathematisch wird dieser Versagensweg durch folgende die Deichhöhe (h_D) mit dem Wasserstand (Thw) und dem Wellenauflauf (R_{98}) vergleichende Zuverlässigkeitsfunktion beschrieben (Elsner et al. 2004):

$$Z = h_D - Thw - R_{98} = h_D - Thw - \alpha \cdot 1/n \cdot \sqrt{H_s(u_w, \theta_w)} \cdot T_m(u_w, \theta_w)$$

Neben der Deichhöhe und Wasserstand beeinflussen die Bauwerkseigenschaften, Deichneigung (1:n) und Gestaltung der Deichböschungen (α), sowie die durch signifikante Wellenhöhe (H_s) und mittlere Wellenperiode (T_m) parametrisierte Seegangbelastung die Zuverlässigkeit. Die Seegangparameter sind ihrerseits wiederum Funktionen von Windgeschwindigkeit (u_w) und -richtung (θ_w). Ein Versagen des Küstenschutzsystems ist bei negativen Werten der Zuverlässigkeit zu erwarten.

Da insbesondere Wasserstand und Wind wahrscheinlichkeitsverteilte Größen sind, ergibt sich die Versagenswahrscheinlichkeit durch folgende Integration der vom Küstenabschnitt abhängigen Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Wasserstand, Windrichtung und Windgeschwindigkeit (p_{Thw} , $p_{\theta_w|Thw}$, $p_{u_w|\theta_w, Thw}$):

$$p_{Z < 0} = \iiint_{h_D - Thw - R_{98} < 0} p_{Thw}(Thw) \cdot p_{\theta_w|Thw}(\theta_w|Thw) \cdot p_{u_w|\theta_w, Thw}(u_w|\theta_w, Thw) du_w d\theta_w dThw$$

Infolge eines Deichbruchs bzw. des Versagens des Küstenschutzsystems im allgemeinen ist mit einer vom Grad des Versagens abhängigen, d.h. z.B. von der Deichbruchweite abhängi-

gen (Meyer & Mai 2004), Überflutung des Küstenhinterlands zu rechnen. Die Abgrenzung des Überflutungsgebiets erfolgt im Rahmen der Risikoanalyse durch zweidimensionale, tiefengemittelte, numerische Modellierung (Meyer & Mai 2003). Durch Ermittlung des im Überflutungsbereich vorhandenen Wertbestands und seiner von der Überflutungswassertiefe abhängigen Schädigung folgt schließlich der mit dem Versagen zu erwartende Überflutungsschaden (Markau & Reese 2005, Meyer & Mai 2004).

Zur Umsetzung des dargestellten Konzeptes der Risikoanalyse werden wegen des erheblichen Bedarfs zur Zusammenführung raumbezogener Daten, wie Wasserstände und Seegang bzw. Geländehöhe, Nutzung und Wertbestand im Hinterland, überwiegend geographische Informationssysteme (GIS) eingesetzt. So sind am Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover im Rahmen der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekte *Risiko einer Küstenregion bei Klimaänderung und Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Küste* für die Küstenzone an Jade und Weser die im folgenden näher erläuterten GIS *BASIS – Bauwerks- und Seegangsinformationssystem* (Weigel & Mai 2002) und *RISK – Risiko- und Küstenzonenmanagement* (Elsner et al. 2003) entstanden. Sowohl *BASIS* als auch *RISK* sind innerhalb der Programmumgebung *ArcView 3.1* unter Ergänzung des Funktionsumfangs durch Nutzung der Programmiersprache *Avenue* realisiert.

2 Bauwerks- und Seegangsinformationssystem (BASIS)

Das *Bauwerks- und Seegangsinformationssystem BASIS* dient im Schwerpunkt der Analyse der Versagenswahrscheinlichkeit des Küstenschutzsystems. Es werden Informationen zu punktuellen (z.B. Siele und Schleusen), linienhaften (z.B. Deichen) und flächenhaften Küstenschutzelementen (z.B. Sommerpoldern) bereitgestellt.

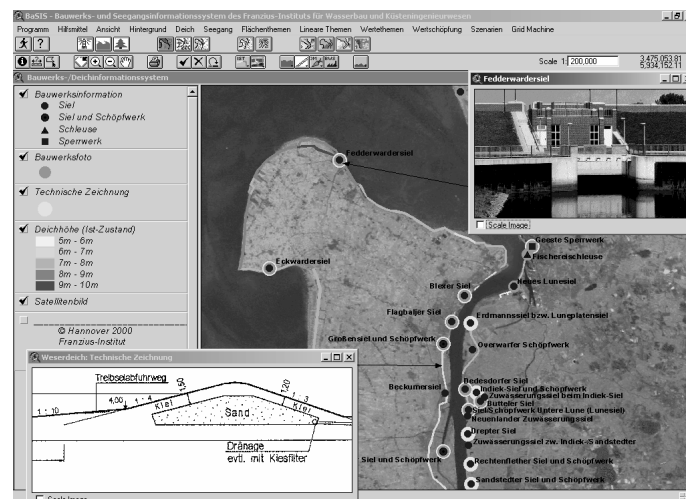


Abb. 1: Kataster der Küstenschutzanlagen im „Bauwerks- und Seegangsinformationssystem (BASIS)“

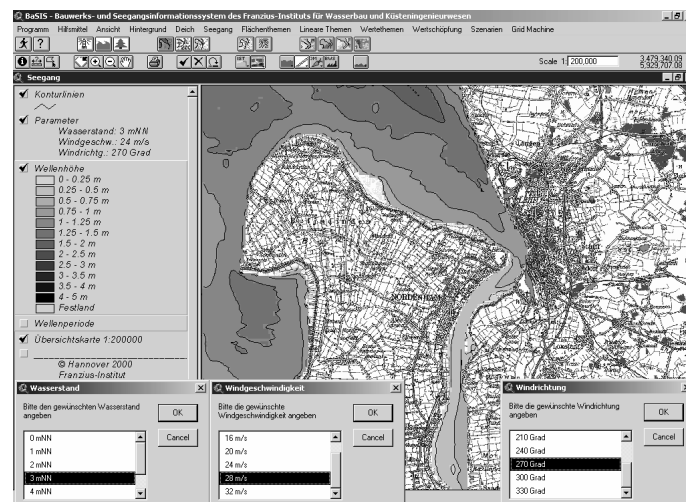


Abb. 2: Seegangsatlas im „Bauwerks- und Seegangsinformationssystem (BASIS)“

Im Einzelnen stehen Photographien, technische Zeichnungen, Satelliten- bzw. Luftbilder und technische Datenblätter, welche für Deiche z.B. Höhe, Böschungsneigung und –typ enthalten, zur Verfügung. Ein Auszug der Bauwerksinformationen ist in Abbildung 1 als Bildschirmansicht des *BASIS* dargestellt. Durch die komplette Umgestaltung der Benutzeroberfläche des Programms ArcView wird eine intuitive Nutzerführung gewährleistet.

Neben der Charakterisierung von Bauwerkeigenschaften und damit der Belastbarkeit des Küstenschutzsystems enthält *BASIS* auch die zur Versagenswahrscheinlichkeitsberechnung notwendigen Informationen zum Seegang und zu den Statistiken von Wasserstand und Wind, also zur Belastbarkeit. Die Grundlage der Statistiken von Wasserstand und Wind bilden dabei Pegelmessungen entlang der Küste sowie Windmessung auf der Insel Helgoland über einen Zeitraum von bis zu 120 Jahren (Mai 2004). Den verschiedenen Wasserstands- und Windbedingungen können in *BASIS* Rasterdaten der zugehörigen Seegangparameter – signifikante Wellenhöhe und mittlere Wellenperiode – zugeordnet werden (Abbildung 2). Die Ermittlung des Seegangsklimas erfolgt unter Verwendung des numerischen Modells *SWAN* (Booij et al. 1999).

Für die in Abbildung 2 dargestellte Küste Butjadingens ergibt sich mit dem in Kapitel 1 dargestellten Vorgehen eine jährliche Überlaufwahrscheinlichkeit der Deiche von 1/1000 bis 1/5000. Neben den derzeitigen hydrologischen Bedingungen werden zudem Szenarien eines Wasserstandsanstiegs bzw. einer Intensivierung des Windes im *BASIS* hinsichtlich ihres Einflusses auf die Versagenswahrscheinlichkeit dargestellt. Während die Intensivierung des Windes um 10 % die Versagenswahrscheinlichkeit um bis zu 45 % erhöht, führt ein Wasserstandsanstieg von 0,55 m zu einer Erhöhung der Versagenswahrscheinlichkeit um einen Faktor von etwa 5,5.

Über die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit hinaus bietet *BASIS* eine erste Realisierung zur Visualisierung der Hinterlandüberflutung und zur Berechnung des Überflutungsschadens, welche im *RISK* weiter ausgebaut wurde.

3 GIS für ein Risiko- und Küstenschutzmanagement (RISK)

Als Erweiterung der Funktionalität des *BASIS* bietet das GIS für ein *Risiko- und Küstenschutzmanagement (RISK)* die ergänzenden Module „Geländeinformationen“ und „Analysen“. Die Abbildung 3 gibt eine Übersicht über diesen erweiterten Funktionsumfang.

Die Bereitstellung der Geländeinformationen zu Landnutzung und Geländehöhen erfolgt auf der Mesoskala (Markau & Reese 2005). In Ergänzung liegen im *RISK* für die einzelnen Küstengemeinden aus öffentlichen Statistiken abgeleitete Vermögenszusammenstellungen vor, welche durch die Zuordnung zu den verschiedenen Landnutzungen (Meyer, 2005) verortet werden. Die Verortung erfolgt separat für verschiedene Wertkategorien, wie z.B. Hausrat und Anlagevermögen (Markau & Reese 2005).

Zur Analyse der Überflutungsfolgen bei Versagen von Küstenschutzanlagen stellt *RISK* für ausgewählte Küstenabschnitte mit dem Programmsystem MIKE 21 HD berechnete Überflutungssimulationen zur Verfügung (Abbildung 4). Diese können einerseits animiert abgerufen werden oder hinsichtlich maximaler Überflutungswassertiefe, Vorwarnzeit oder Überflutungsdauer räumlich ausgewertet werden. Für das Sturmflutereignis des Jahres 1976 ergeben sich für das Küstenhinterland an Jade und Weser bei einem Deichbruch einer Weite von 100 m Überflutungsflächen von 1.300 ha bis 15.500 ha.

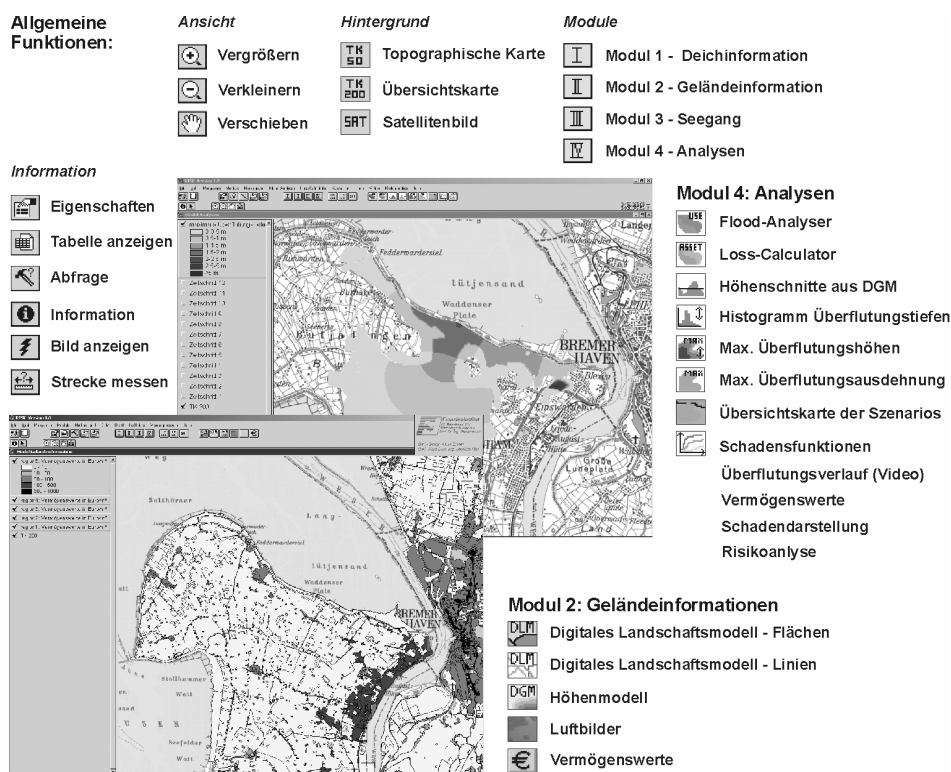


Abb. 3: Funktionsumfang des GIS „Risiko- und Küstenzonenmanagement (RISK)“

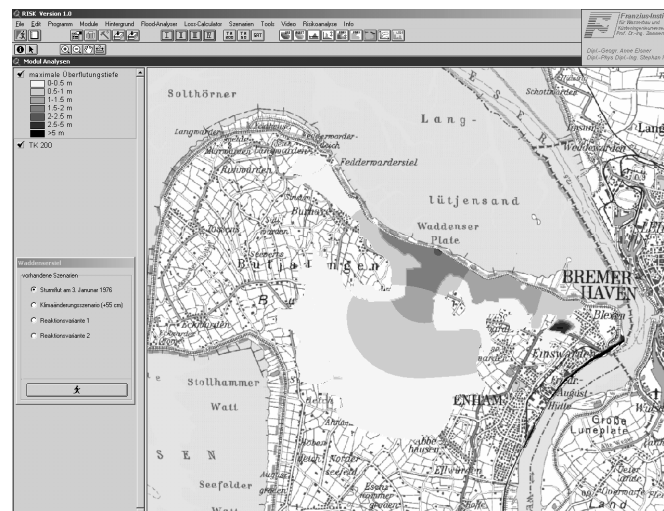


Abb. 4: Überflutungsanalyse im GIS „Risiko- und Küstenzonenmanagement (RISK)“

Wie bei der Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit ist auch im Rahmen der Überflutungsanalyse eine Überprüfung der Folgen von Klimaänderungen möglich. Bei einer Erhöhung des Sturmflutscheitels um 0,55 m weist RISK um 10 % bis 25 % größere Überflutungsflächen aus. Eine Verschneidung der Landnutzungen des ATKIS-DLM und der Überflutungsflächen mit dem Tool *Flood-Analyser* berechnet nutzungsspezifisch die überfluteten Flächen für den zeitlichen Verlauf des Überflutungsereignisses (Elsner et al. 2003). Eine Ermittlung des von Überflutung betroffenen Wertbestandes ist mit dem Tool *Loss-Calculator* möglich. Dieses Werkzeug ordnet den Überflutungswassertiefen über Schadenfunktionen (siehe Markau & Reese 2005) die Schädigung einzelner Wertkategorien im Überflutungsgebiet zu und ermöglicht die flächenhafte Visualisierung des zu erwartenden Schadens. Für ein Sturmflutereignis des Jahres 1976 ergeben sich dabei Überflutungsschäden in Höhe von 25 Mio. € bis 1,6 Mrd. €. Bei einem um 0,55 m erhöhten Sturmflutscheitel sind um 10 % bis 40 % höhere Gesamtschäden zu erwarten. Durch Multiplikation des bei Versagen zu erwartenden Gesamtschadens mit der Versagenswahrscheinlichkeit ordnet *RISK* einem Deichabschnitt das Überflutungsrisiko zu. Wie die Versagenswahrscheinlichkeit weist auch das Risiko eine erhebliche Schwankungsbreite entlang der Küste auf. Für die zukünftige Planung des Küstenschutzsystems sind im *RISK* verschiedene Anpassungsstrategien an den zu erwartenden Klimawandel, wie Deicherhöhung und Anlage zweiter Deichlinien, implementiert. Dies ermöglicht eine Gegenüberstellung der Realisierungskosten der Anpassungsstrategie und der damit erreichten Risikominderung.

4 Fazit

Mit der Risikoanalyse steht für das zukünftige integrierte Küstenzonenmanagement eine Möglichkeit zur Berücksichtigung des Küstenhinterlands bei der Entwicklung von Küstenschutzstrategien und deren Implementierung zur Verfügung. Zur Umsetzung der Risikoanalyse sind GIS besonders geeignet, da diese die erforderlichen Methoden und Visualisie-

rungsmöglichkeiten für die Verwaltung und mathematische Verknüpfung der verschiedenen Geoinformationen zur Verfügung stellen. Mit *BASIS* und *RISK* stehen erste Prototypen zur Umsetzung der Risikoanalyse in einem GIS zur Verfügung. Eine erste Anwendung dieser Systeme zeigt das aufgrund der geringen Versagenswahrscheinlichkeit der Küstenschutzanlagen das Sturmflutrisiko an deutschen Küsten im Mittel vergleichsweise gering ist, wobei große regionale Schwankungen festzustellen sind.

Literatur

- BOOIJ, N., R.C. RIS, & L.H. HOLTHUIJSEN (1999): A Third-Generation Wave Model for Coastal Regions, 1. Model Description and Validation. *Journal of Geophysical Research*, 104, 7649-7666.
- Elsner, A., S. Mai, V. Meyer, & C. Zimmermann (2003): Integration of the Flood Risk in Coastal Hinterland Management. Tagungsband zur Konferenz CoastGis, Genua, Italien, CD-ROM
- Elsner, A., S. Mai, & C. Zimmermann (2004) Risikoanalyse - ein Element des Küstenzonenmanagements. *Coastal Reports*, 1, 137-147
- Mai, S. (2004): Klimafolgenanalyse und Risiko einer Küstenzone am Beispiel der Jade-Weser-Region. Vom Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Hannover genehmigte Dissertation, Mitteilungen des Franzius-Instituts, Hannover, 91, 1-391
- Markau, H.-J. & S. Reese (2005): GIS in der mikroskaligen Sturmflutschadensabschätzung. In: Traub, K.P. & J.Kohlus (Hrsg.): GIS im Küstenzonenmanagement – Grundlagen und Anwendung im IKZM. In diesem Band.
- Meyer, V. & S. Mai (2003): Verfahren zur Berechnung der Schäden nach Deichbruch an der niedersächsischen Küste. *Essener Geographische Arbeiten*, Essen, 35, 169-178
- Meyer, V. & S. Mai (2004): Überflutungsschäden im Küstenhinterland nach Deichbruch. *Wasserwirtschaft*, Wiesbaden, 11, 23-28
- Meyer (2005): Methoden der Sturmflut-Schadenpotenzialanalyse an der deutschen Nordseeküste. Dissertation am Fachbereich Geowissenschaften und Geographie der Universität Hannover.
- Probst, B. (1994): Überlegungen für einen Küstenschutz der Zukunft. *Mitteilungen des Franzius-Instituts*, Hannover, 75, 52-68.
- Schuchardt, B. & M. Schirmer (2005): KRIM: Climate Change, Coastal Protection and Risk Management in North-West Germany. Tagungsbericht zum Abschlußkolloquium des Deutschen Klimaforschungsprogramms (DEKLIM), Leipzig, 133-141.
- Vergeer, G.J.H. (1990): Probabilistic Design of Flood Defences. Bericht des Center for Civil Engineering Research and Codes (CUR), Gouda, Niederlande, 141, 1-154
- Weigel, J. & S. Mai (2002): GIS-Einsatz im Küstenzonenmanagement. *Geobit*, 7, 10-12
- Weigel, J. & S. Mai (2002): GIS-gestützte Schadenpotential- und Risikoanalyse an der niedersächsischen Küste. *Geographische Rundschau*, Braunschweig, 12, 43-46