

## Seegang über Vorländern

von Lieberman, N. Mai, S.

In der heutigen Küstenschutzpraxis wird dem Vorland als ergänzendem Küstenschutzelement besondere Bedeutung zugemessen. Dies geht im Wesentlichen auf die Tatsache zurück, dass die über dem Vorland geringeren Wassertiefen eine Flächenbrandung der von See einlaufenden Wellen erzeugen und dadurch die Linienbrandung am Deich verringert wird. Durch die reduzierten Wellenkräfte, Überlaufmengen und Druckschläge können die vergleichsweise hohen Bau- und Unterhaltungskosten für schwere Ufer- und Deichdeckwerke entfallen, so dass ein deckwerksloser Vorlanddeich mit einem grünen und damit eher ökologisch akzeptablen Übergang vom Deich zum Vorland entsteht (ERCHINGER ET AL., 1994).

Die Reduzierung der Wellenhöhe über dem Vorland kann einerseits durch direkte Messungen in der Natur, andererseits durch physikalische und numerische Modelle bestimmt werden (HENSEN, 1954 / MAI ET AL., 1999a). Außerdem ist eine Übertragung anderer Messgrößen, wie z.B. der Treibselgrenze am Hauptdeich, möglich (NIEMEYER, 1977). Neben der Abnahme der Wellenhöhe über Vorländern findet zudem eine Reduzierung der Wellenperiode statt. Dies führt auch zu einem geringeren Wellenauflauf am Hauptdeich und somit zu einer geringeren Bestickhöhe.

Im Folgenden wird eine Quantifizierung der Seegangparameter über Vorländern mit Hilfe von physikalischen Modellversuchen im GROSSEN WELLENKANAL (GWK) der Universitäten Braunschweig und Hannover sowie numerischen Simulationen mit dem Programm *Shallow Waves Nearshore* (BOOIJ ET AL., 1999) vorgenommen.

## Modellversuche zur Seegangs-ausbreitung über Vorländern

Die Untersuchungen im GWK wurden an einem, als Sandkörper ausgebildeten, naturmaßstäblichen Vorlandprofil durchgeführt. Hinsichtlich der Geometrie war ein idealisiertes, typisches Vorlandprofil mit einer konstanten Höhe von 1,40 m über der Wattfläche eingebaut. Die Untersuchungen im Wellenkanal wurden für Wasserstände von 3,00 m bis 4,50 m über der Kanalsole, signifikante Wellenhöhen des einlaufenden Seegangs von 0,60 m bis 1,20 m und Peakperioden von 3,5 s bis 8,0 s durchgeführt. Die Veränderung des einlaufenden Seegangs entlang des Vorlandprofils wurde an 26 Positionen mit Hilfe von Drahtwellenpegeln gemessen (MAI ET AL., 1999b).

Die physikalische Versuchsreihe wurde durch numerische Simulationen ergänzt, welche die Möglichkeit boten, veränderte Vorlandgeometrien, wie z.B. geneigte Vorländer unterschiedlicher Höhe, und Randbedingungen, wie z.B. Wellenhöhen über 1,20 m, zu untersuchen. Die Anwendung des numerischen Modells erfordert eine Kalibrierung. Die wesentlichen, zu kalibrierenden Prozesse stellen hier das Wellenbrechen, die nicht-lineare Welle-Welle-Wechselwirkung (*triad interaction*) und die Bodenreibung dar (VON LIEBERMAN & MAI, 2000).

Abbildung 1 zeigt einen Vergleich der mit numerischen Simulationen bzw. der im physikalischen Modell ermittelten signifikanten Wellenhöhe, welche sich nach Umformung des Eingangsseegangs entlang eines 125 m breiten Vorlands einstellt. Die dargestellten Datenpunkte umfassen Wasserstände von 1,50 m bis 2,50 m über dem Vorland, einen Eingangsseegang mit signifikanten Wellenhöhen von 0,60 m bis 1,20 m und Peakperioden von 3,5 s bis 8 s. Für die Wellenperioden ergibt sich eine ähnlich gute Übereinstimmung von numerischer Simulation und physikalischem Modell (MAI ET AL., 1999b).

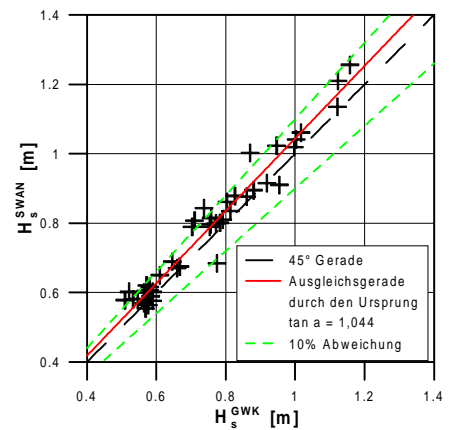


Abb. 1: Vergleich der mit numerischen Simulationen bzw. der im physikalischen Modell ermittelten signifikanten Wellenhöhe

Eine Bewertung der Wirksamkeit von Vorländern als Küstenschutzelement kann, wie z.B. für Sommerdeiche in MAI ET AL. (1998) dargestellt, durch die Betrachtung des Transmissionskoeffizienten erfolgen. Neben dem üblicherweise bestimmten Transmissionskoeffizienten  $c_T = H_{s, Vorland} / H_{s, in}$ , welcher das Verhältnis zwischen der Wellenhöhe über dem Vorland  $H_{s, Vorland}$  zur Wellenhöhe an der Vorlandkante  $H_{s, in}$  beschreibt, ist auch das Verhältnis der mittleren Wellenperioden  $r_T = T_{m, Vorland} / T_{m, in}$  zu berücksichtigen (VON LIEBERMAN & MAI, 2000). Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Abhängigkeit des Transmissionskoeffizienten  $c_T$  von dem dimensionslosen Parameter  $d/H_s$ , wobei  $d$  die Wassertiefe über dem Vorland beschreibt.

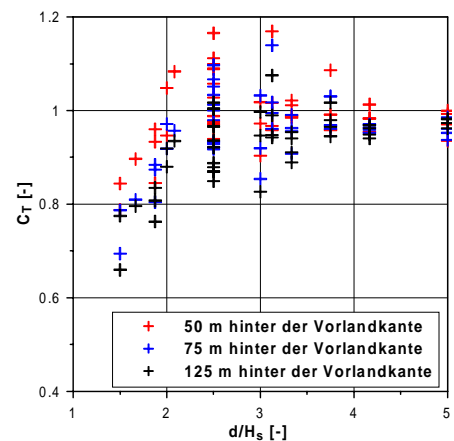


Abb. 2: Abhängigkeit des Transmissionskoeffizienten  $c_T$  vom dimensionslosen Parameter  $d/H_s$

## Vorländer als Elemente des Küstenschutzes

Auf der Grundlage der physikalischen Untersuchungen im GWK und unter Verwendung der dort erfolgten Kalibrierung des Seegangsimmodells SWAN lässt sich die Wirksamkeit von Vorländern in der Natur prüfen. Insbesondere kann eine Optimierung hinsichtlich der zu unterhaltenden Vorlandbreite erfolgen und damit eine effiziente Mittelallokation erzielt werden.

Im Folgenden wird beispielhaft die Wirksamkeit des Vorlandes bei Heringsand an der Dithmarscher Küste untersucht. Der Seegang an der Vorlandkante ergibt sich aus großräumigen Seegangssimulationen, welche am Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen in einem Seegangs atlas (VON LIEBERMAN & MAI, 1999) zusammengefasst sind. Die Kalibrierung erfolgte mit ausgewählten Bojen-Messungen des Seegangs im Bereich der Außenweser bei Bremerhaven (MAI ET AL., 2000) und in der Hever (MAI ET AL., 1999c). Abbildung 3 zeigt den küstennahen Ausschnitt der

großräumigen Simulation für einen Wasserstand von 4 mNN, eine Windrichtung von 240° und eine Windschwindigkeit von 20 m/s. Für dieses Beispiel beträgt die signifikante Wellenhöhe an der Vorlandkante etwa 0,70 m, die mittlere Wellenperiode etwa 4 s. Ausgehend von diesem Eingangsseegang erfolgt die Berechnung des Seegangs über dem Vorland mit Hilfe eines eindimensionalen SWAN-Modells. Abbildung 4 zeigt die Ausbreitung des Seegangs über dem Vorland bei Heringsand. Die signifikante Wellenhöhe nimmt bis zum Deichfuß auf rd. 0,50 m, die mittlere Wellenperiode auf rd. 3,4 s ab. Dabei erfolgt die wesentliche Reduktion über dem rd. 600 m breiten und mit 2 mNN höher gelegenen Teil des Vorlands. Damit ergibt sich für diese Sturmsituation am Vorlanddeich der Neigung 1:n<sub>D</sub> = 1:7 unter Vernachlässigung des Rauheitseinflusses und des Winkels des Wellenangriffs ( $\gamma = 1$ ) der Wellenauflauf  $R_{98\%}$  nach

$$R_{98\%} = 0.638 \cdot \gamma \cdot \frac{1}{n_D} \sqrt{g \cdot H_s} \cdot T_p$$

(SCHÜTTRUPF & OUMERACI, 2000) zu etwa 0,80 m. Im Gegensatz dazu ist bei einem scharf liegenden Deich mit einem

Wellenauflauf von etwa 1,10 m zu rechnen. Die Abhängigkeit der Seegangparameter über dem Vorland von Wasserstand und Windrichtung wird exemplarisch für die signifikante Wellenhöhe in Abbildung 5 an zwei verschiedenen, in Abbildung 4 dargestellten, Vorlandpositionen für eine Windgeschwindigkeit von 16 m/s gezeigt. Den Seegangssimulationen wurden außerdem Messergebnisse des Jahres 1991 (ZIMMERMANN ET AL., 1999) zugeordnet. Es ist erkennbar, dass die Simulationen die Messergebnisse gut reproduzieren. Insbesondere zeigen sowohl Simulationen als auch Messungen, dass bei Westwind (270°) maximale Wellenhöhen zu verzeichnen sind. Die Bewertung des Vorlandes bei Heringsand erfolgt, wie in Abbildung 2 für die Versuche im GWK dargestellt, mit Hilfe des Transmissionskoeffizienten  $c_T$ . Sowohl für die physikalischen Versuchsergebnisse als auch für die numerischen Simulationen entlang des Vorlands bei Heringsand zeigt sich, dass die signifikante Wellenhöhe durch ein Vorland bis zu einem Verhältnis  $d/H_s < 2,5$  eine Reduktion erfährt.

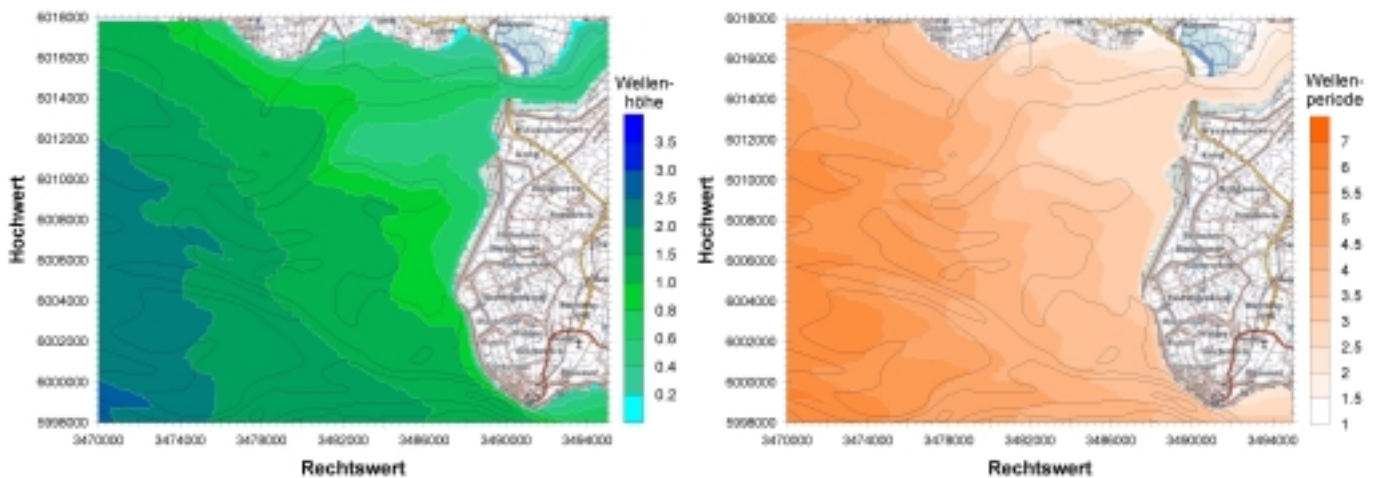


Abb. 3: Seegang über dem Watt vor der Dithmarscher Küste, signifikante Wellenhöhe (links) und mittlere Wellenperiode (rechts)

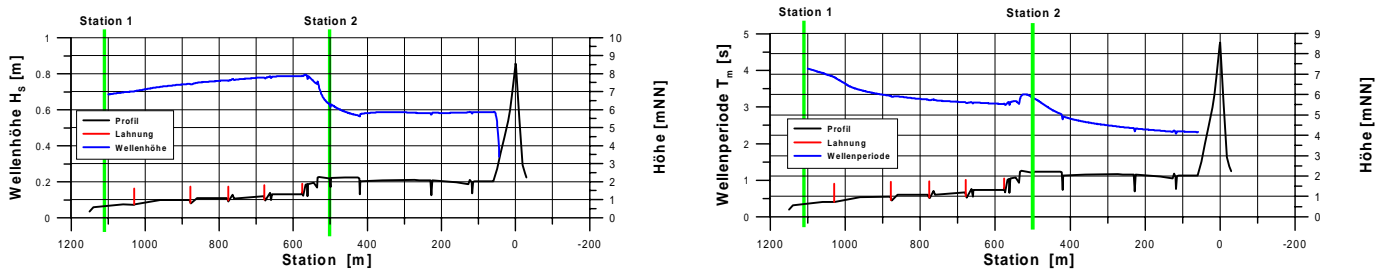


Abb. 4: Seegang über dem Vorland Heringsand an der Dithmarscher Küste, signifikante Wellenhöhe (links) und mittlere Wellenperiode (rechts)

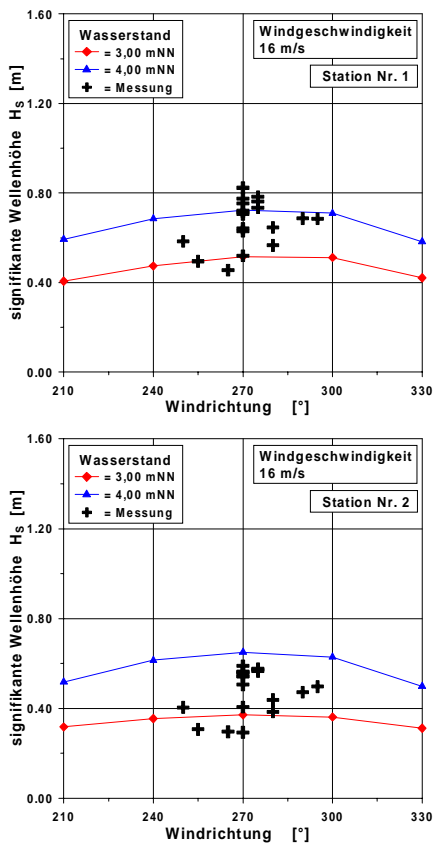


Abb. 5: Abhängigkeit der signifikanten Wellenhöhe entlang des Vorlands von Windrichtung und –geschwindigkeit an den Messstationen 1 (oben) und 2 (unten)

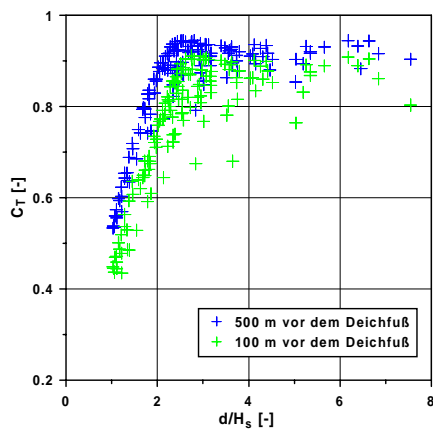


Abb. 6: Abhängigkeit des Transmissionskoeffizienten  $C_T$  vom dimensionslosen Parameter  $d/H_s$  für das Vorland bei Heringsand

Bei einem Verhältniss  $d/H_s$  von 1 beträgt der Transmissionskoeffizient etwa 0,45 bis 0,50 in Abhängigkeit von der Entfernung von der Vorlandkante. Bei Entfernungen von mehr als 325 m von der Vorlandkante nimmt der Transmissionskoeffizient nicht weiter ab (VON LIEBERMAN & MAI, 2000).

## Zusammenfassung

Die Wirksamkeit von Vorländern als Element des Küstenschutzes wurde mit Hilfe von Naturmessungen, physikalischen Modelluntersuchungen und numerischen Simulationen nachgewiesen. Die Wirkung liegt in einer Reduktion der Wellenhöhe, aber auch der Wellenperiode. Ein Einfluss ist bis zu einem Wasserstand, der dem 2,5fachen der signifikanten Wellenhöhe entspricht, zu erkennen.

## Schrifttum

- 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.
- ERCHINGER, H.F. ET AL. (1994): Erosionsfestigkeit von Hellern. Verbundbericht des KFKI-Forschungsvorhabens MTK 0473, Norden (unveröffentlicht).
- HENSEN, W. (1954): Modellversuche über den Wellenaufbau an Seedeichen im Wattgebiet. *Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover*, H. 5.
- VON LIEBERMAN, N. & S. MAI (1999): Sturmflutschutz des Natur- und Wirtschaftsraumes zwischen Jade und Weser - eine Beurteilung der Deichsicherheit. *Tagungsband der 16. Jahrestagung des Arbeitskreis Meere und Küsten (AMK), Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung*.
- VON LIEBERMAN, N. & S. MAI (2000): Analysis of an Optimal Foreland Design. *Proc. of the 27th ICCE, Sydney, Australia*.
- MAI, S., DAEMRICH, K.-F., ZIMMERMANN, C. (1998): Wellentransmission an Sommerdeichen. *Wasser und Boden*, H. 11.
- MAI, S., N. OHLE & K.-F. DAEMRICH (1999a): Numerical Simulations of Wave Propagation compared to Physical Modeling. *Proc. of HYDRALAB-Workshop, Hannover*.
- MAI, S., N. VON LIEBERMAN & C. ZIMMERMANN (1999b): Interaction of Foreland Structures with Waves. *Proc. of the XXVIII IAHR congress, Graz*.
- MAI, S., N. OHLE & C. ZIMMERMANN (1999c): Applicability of Wave

Models in Shallow Coastal Waters. *Proc. of the 5th Int. Conf. on Coastal and Port Engineering in Developing Countries (COPEDEC), Cape Town, South Africa*.

- MAI, S., N. VON LIEBERMAN, T. FITTSCHEN & K. BARTELS (2000): Seegang in der Weser vor Bremerhaven. *Hansa*, H. 11.
- NIEMEYER, H.-D. (1977): Seegangsmessungen auf Deichvorländern. *Forschungsstelle Küste*, H. XXVIII.
- SCHÜTTRUMPF, H. & H. OUMERACI (2000): Empfehlungen A2 – Wellenaufbau und Wellenüberlauf. *Hansa*, H. 10.
- ZIMMERMANN, C., N. VON LIEBERMAN & S. MAI (1999): Machbarkeitsstudie zur Ermittlung des für den Küstenschutz erforderlichen Vorlandprofils. (unveröffentlicht).

## Anschrift der Autoren

*Dr.-Ing. Nicole von Lieberman,*  
Tel. 0511 – 762 2574,  
e-mail: nicole@fi.uni-hannover.de;

*Dipl.-Phys. Dipl.-Ing. Stephan Mai,*  
Tel. 0511 – 762 4295,  
e-mail: smai@fi.uni-hannover.de;

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