

## SEEGANGSBERECHNUNGEN ZUR ERMITTLUNG DER HÖHEN DER INSELDEICHE JUIST UND WANGEROOGE

von

Stephan Mai<sup>1</sup>  
K.-F. Daemrich<sup>2</sup>

### Abstract

The design sea state for dikes at the islands Juist and Wangerooge has been determined by using the numerical wave model SWAN. Because of the partly very oblique wave approach, differences in formulas of the reduction factors are discussed. For areas influenced by diffraction, which is not included in the numerical model, a procedure is demonstrated to quantify the effects of diffraction.

### 1. Einführung

Die Bestickhöhen für die Inseldeiche von Juist und Wangerooge waren aufgrund von Voruntersuchungen des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft und Küstenschutz (NLWK) zu überprüfen. Dieser hat das Franzius-Institut beauftragt, die Seegangsberechnungen vor den Deichen bei Sturmflut zu ermitteln, aus denen dann Wellenauflaufhöhen zu berechnen sind. Ausgangspunkt waren nach dem Einzelwertverfahren festgelegte Bemessungswasserstände von NN +5,0 m für Juist und NN +5,1 m für Wangerooge.

In Abb. 1.1 und 1.2 sind die Insel Juist und der Verlauf des zu untersuchenden Loogdeichs dargestellt, in Abb. 1.3 und 1.4 die Insel Wangerooge und der Verlauf des gesamten Hauptdeichs, bestehend aus Westgrodendeich, Süddeich (im östlichen Teil auch als Dorfgrodendeich bezeichnet) und Ostgrodendeich.

Für die bei Sturmfluten zu erwartenden Windbedingungen wurde angenommen, dass Winde um 30 m/s nur aus der Richtung West (270°) oder nördlicher zu erwarten sind. Um die Sensitivität dieser Eingangswerte für die Seegangsberechnungen einschätzen zu können, wurden auch Berechnungen mit veränderter Windgeschwindigkeit ( $\pm 2$  m/s) und für Windrichtungen nördlicher 270° bis 290° (Schrittweite 5°) durchgeführt.

---

<sup>1</sup> Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Dipl. phys., Franzius-Institut, seit 1.1.2005: Bundesanstalt für Gewässerkunde

<sup>2</sup> Dr.-Ing., Franzius-Institut, Nienburger Straße 4, 30167 Hannover



fläche und Windgeschwindigkeit eingetragene Energie, sowie die Veränderung des Seegangs durch die Flachwassereffekte Refraktion, Shoaling, Wellenbrechen und Reibung, nicht jedoch Diffraktionseinflüsse.

Obwohl der maßgebende anlaufende Seegang durch die Lage der Deiche zur Wattseite hin stark durch den örtlich erzeugten Seegang geprägt ist, werden zunächst ausreichend große Gebiete in einem gröberen Raster (Gitterweiten 100 m) berechnet, aus denen dann die Randwerte für Ausschnittsmodelle in einem feineren Raster (Gitterweiten 10 m) zur Verfügung gestellt werden. Die Seegangsbedingungen an den Rändern der großräumigen Modelle werden auf der Grundlage von Seegangsvorhersageverfahren für einfache Windfelder entsprechend der großräumigen Windsituation ermittelt (MAI et. al, 2003).

Ein Beispiel für eine flächige Berechnung der Verteilung der signifikanten Wellenhöhen im großräumigen Modell um Juist für eine Windgeschwindigkeit von 30 m/s aus Richtung West zeigt Abb. 2.1. Die Abbildungen 2.2 und 2.3 zeigen Seegangparameter (signifikante Wellenhöhen und mittlere Wellenrichtung) für das Ausschnittsmodell von Juist.

In gleicher Weise wurden auch die Berechnungen für den Hauptdeich der Insel Wangerooge durchgeführt. In Abb. 2.4 sind als Beispiel signifikante Wellenhöhen für eine Windgeschwindigkeit von 30 m/s aus Richtung West dargestellt.

Besonderheiten bei den Ergebnissen sind die in beiden Untersuchungsgebieten teilweise sehr schräg anlaufenden Wellen, sowie für die Insel Wangerooge die durch Diffraktion beeinflussten Bereiche am Westrodendeich und am östlichen Teil des Ostrodendeichs.

### 3. Wellenaufbau bei schräg anlaufendem Seegang

Der Wellenaufbau  $R$  an Seedeichen bei senkrechtem Wellenanlauf wird üblicherweise mit einer Bemessungsformel der Art

$$R_{2\%} = 1,6 \cdot \sqrt{\frac{g}{2\pi}} \cdot H_{m0} \cdot T_p$$

berechnet.

Grundsätzlich ist auch ein anderer Grenzwert wie z.B.  $R_{3\%}$  möglich, und es werden auch andere Periodenparameter wie z.B.  $T_{-1,0}$  oder  $T_{0,2}$  benutzt. Die Vorfaktoren entsprechend den statistischen Verteilungen der Aufläufe und/oder der Seegangparameter anzusetzen (s.a. EAK 2002).

Der Einfluss der Wellenanlaufrichtung wird durch einen Beiwert  $\gamma_\theta$  berücksichtigt, der vom Wellenanlaufwinkel  $\theta$  abhängig ist. Für diesen Beiwert liegen im Schrifttum mehrere teilweise sehr unterschiedliche Untersuchungsergebnisse vor, von denen zwei in neueren Regelwerken empfohlen werden.

In den holländischen Empfehlungen werden folgende auf VAN DER MEER (z.B. DE WAAL und VAN DER MEER, 1992) zurückgehenden Formulierungen, getrennt nach der Seegangsart langkämmig und kurzkämmig, gegeben:

$$\text{langkämmig: } \gamma_\theta = \cos(\theta - 10^\circ); (\gamma_\theta \geq 0,60 \text{ und } \gamma_\theta = 1 \text{ für } 0^\circ \leq \theta \leq 10^\circ)$$

$$\text{kurzkämmig: } \gamma_\theta = 1 - 0,0022 \theta$$

In die EAK 2002 wurde die auf Messungen in einem kürzlich abgeschlossenen Forschungsprojekt (OHLE et.al, 2003) beruhende Formulierung

langkämmig und

$$\text{kurzkämmig: } \gamma_\theta = 0,65 \cdot \cos(\theta) + 0,35$$

für beide Seegangsarten übernommen. Für den Bereich von sehr schrägem Wellenanlauf sind damit deutliche Unterschiede vorhanden.

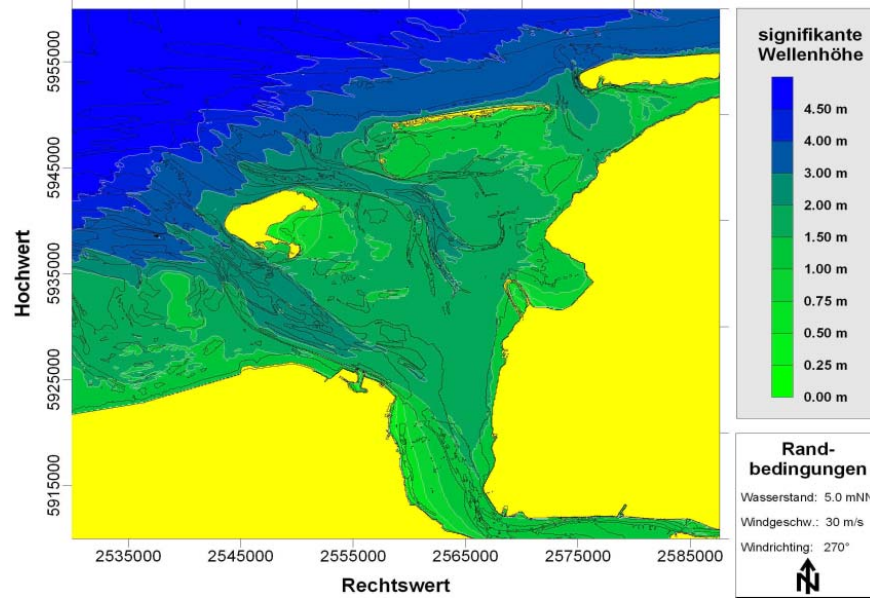


Abb. 2.1: Signifikante Wellenhöhen im großräumigen Modell um Juist Wasserstand NN +5 m, Windgeschwindigkeit 30 m/s, Windrichtung 270°)

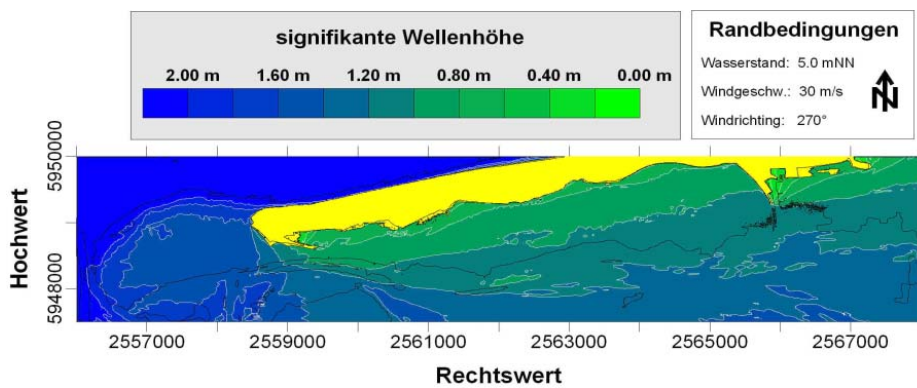


Abb. 2.2: Signifikante Wellenhöhen im kleinräumigen Modell (Juist) Wasserstand NN +5 m, Windgeschwindigkeit 30 m/s, Windrichtung 270°)

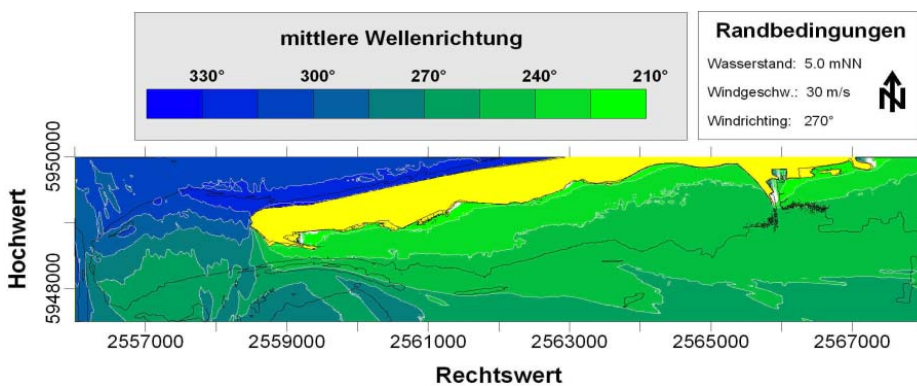


Abb. 2.3: Mittlere Wellenrichtungen im kleinräumigen Modell (Juist) Wasserstand NN +5 m, Windgeschwindigkeit 30 m/s, Windrichtung 270°)

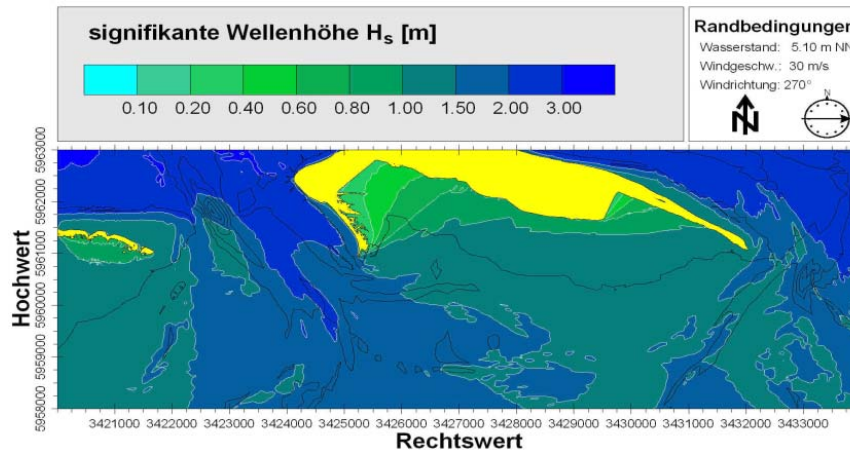


Abb. 2.4: Signifikante Wellenhöhen im kleinräumigen Modell (Wangerooe)  
Wasserstand NN +5,1 m, Windgeschwindigkeit 30 m/s, Windrichtung 270°)

Bei den vergleichenden Messungen in dem vorgenannten Forschungsprojekt wurden für Anlaufrichtungen  $\theta = 0^\circ$  bis  $40^\circ$  keine signifikanten Unterschiede zwischen Wellenaufbau in langkämmigem und kurzkämmigem Seegang festgestellt. Die aus diesen Messungen durch nichtlineare Regressionen ermittelten Funktionen für  $\gamma_\theta$  wurde für den über  $\theta = 40^\circ$  hinausgehenden Bereich durch Untersuchungen mit langkämmigem Seegang bestätigt. Grundsätzlich ist anzumerken, dass bei sehr schrägem Wellenanlauf wirklich kurzkämmiger Seegang mit entsprechend weiter symmetrischer Richtungsverteilung der Seegangsenegie nicht auftreten kann, sondern dieser durch die asymmetrische Verteilung langkämmiger wird. Auch sind Modellversuche mit kurzkämmigem Seegang bei so schrägen Anlaufrichtungen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Sofern der schräge bzw. fast parallele Wellenanlauf am Deich in diffraktionsbeeinflussten Gebieten auftritt, muss sogar von langkämmigem Seegang ausgegangen werden, da der Diffraktionsprozess zu einheitlichen Anlaufrichtungen aller Komponenten des Richtungsspektrums führt.

#### 4. Einfluss von Diffraktion

Wie bereits in Abschnitt 2 ausgeführt beinhalten die mit dem numerischen Seegangmodell SWAN berechneten Seegangparameter keine Diffraktionseinflüsse, d.h. keine Energieausbreitung in Richtung senkrecht zum Fortschritt der Wellenkomponenten, aus denen sich das Seegangsspektrum zusammensetzt.

Während Diffraktionseffekte bei der Wellenausbreitung über üblichen Geländeformen fast immer ohne Bedeutung sind, können sie bei der Berechnung der Wellenunruhe in Bereichen, die nicht direkt dem Seegang ausgesetzt sind (Beispiel: Wellenausbreitung durch Diffraktion hinter Wellenbrechern) von Bedeutung sein. In Bereiche, die, bezogen auf die mittlere Wellenanlaufrichtung, nicht direkt dem Seegang ausgesetzt sind, wird durch die in SWAN berücksichtigte Richtungsverteilung der Seegangsenegie dennoch auch ohne Diffraktion Wellenenergie eingetragen. Im eigentlichen Diffraktionsbereich ist die Wellenenergie jedoch üblicherweise ohne Berücksichtigung des Diffraktionseffektes, insbesondere in der Nähe der Wellenbrecherrückseite, geringer.

Wellenhöhen aus Diffraktion können mit einem linearen Superpositionsmodell für Richtungsspektren berechnet und die Ergebnisse als Diffraktionsdiagramme dargestellt werden (z.B. DAEMRICH, 1996; GODA, 1985 und 2000).

Um die Unterschiede der Berechnungen in solchen Bereichen mit und ohne Diffraction deutlich zu machen, werden für den Fall eines halbunendlichen, totalreflektierenden Wellenbrechers (Wellenanlaufrichtung senkrecht zur Wellenbrecherachse,  $\theta_0 = 90^\circ$ ) Ergebnisse entsprechend dem Seegangmodell SWAN und Diffractionsrechnungen für das gleiche Richtungsspektrum gegenübergestellt. Als Beispiele sind in Abb. 4.1 und Abb. 4.2 die Ergebnisse als Diffractionskoeffizienten  $K'$  (Wellenhöhen bezogen auf die Höhe der anlaufenden Wellen am Wellenbrecherkopf) in einem, bezogen auf die signifikante Wellenlänge, dimensionslosen Koordinatensystem dargestellt. Aus dem Vergleich solcher Diagramme kann der Diffractionseinfluss ermittelt werden.

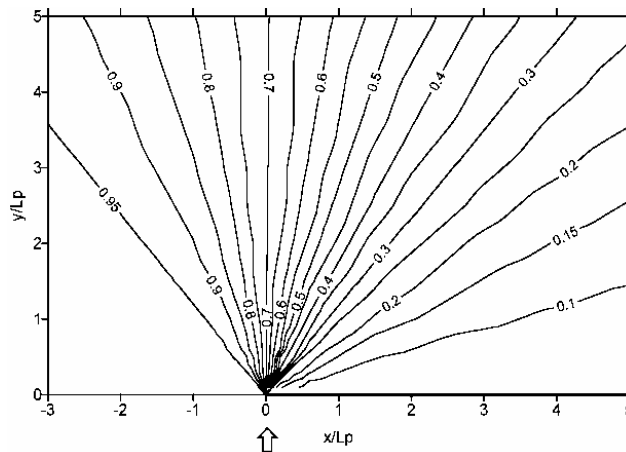


Abb. 4.1: Wellenhöhen hinter einem halbunendlichen Wellenbrecher nach Berechnungen mit SWAN  
JONSWAP-Richtungsspektrum nach MITSUYASU (in GODA, 1985, 2000)

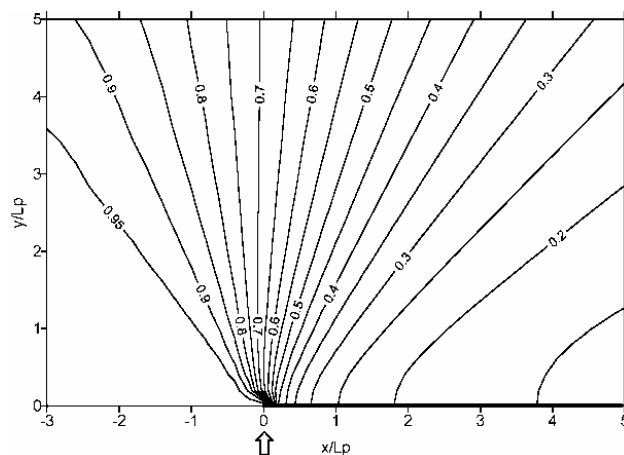


Abb. 4.1: Wellenhöhen hinter einem halbunendlichen Wellenbrecher aus Diffraction  
JONSWAP-Richtungsspektrum nach MITSUYASU (in GODA, 1985, 2000)

Im Untersuchungsgebiet Wangerooge sind Diffractionseinflüsse am Westgrodendeich hinter den als Wellenbrecher wirkenden Harlehdünen und an dem in Richtung NNO verlaufenden östlichen Ende des Ostgrodendeichs zu erwarten (Abb. 2.7).

Die Situation am Westgrodendeich entspricht in guter Näherung der Situation an einem halbunendlichen Wellenbrecher. Legt man die mittleren Seegangsbedingungen im Bereich des „Wellenbrecherkopfes“ zugrunde, liegt der Diffractionseinfluß am westlichen Ende

des Westgroodendeichs (Station 0) bei etwa  $\Delta H_s = 0,1$  m. Ab etwa Station 1000 ist der Diffraktionseinfluß vernachlässigbar.

Der östliche Teil des Ostgroodendeichs ist bezüglich der Diffraktion als Eckteil anzusehen. Bei einem Anlaufwinkel des einlaufenden Seegangs im Eckbereich von  $\theta_s = 240^\circ$  ist jedoch nur ein Diffraktionssektor von etwa  $50^\circ$ , und damit nur noch ein geringer Diffraktionseinfluß von unter 0,05 m gegenüber den Berechnungsergebnissen von SWAN vorhanden.

## 6. Zusammenfassung

Als Grundlage zur Ermittlung der Bestickhöhen von Inseldeichen auf Juist und Wangerooge wurden Seegangsberechnungen mit dem numerischen Seegangmodell SWAN durchgeführt. Aufgrund des teilweise sehr schräg anlaufenden Seegangs wurde auf die Bedeutung der Wahl der Formel zur Berücksichtigung der Richtungsabhängigkeit des Wellenaufbaus hingewiesen.

Außerdem wird eine Vorgehensweise zur Berücksichtigung der im numerischen Modell SWAN nicht nachgebildeten Diffraktion vorgestellt und am Beispiel der Wellenausbreitung hinter einem halbunendlichen Wellenbrecher erläutert.

## 7. Schrifttum

DAEMRICH, K.-F.: Diffraktion und Reflexion von Richtungsspektren mit linearen Überlagerungsmodellen. Festschrift Prof. Partenscky, Hannover, 1996

EAK 2002: Empfehlungen A 2002, Äußere Belastungen als Grundlage für Planung und Bemessung von Küstenschutzwerken. Die Küste, Heft 65, 2002

GODA, Y.: Random Seas and Design of Maritime Structures. University of Tokyo Press, 1985; auch 2. geänderte Auflage, Advanced Series of Ocean Engineering – Volume 15, World Scientific, Singapore, 2000

MAI, S., DAEMRICH, K.-F., ZIMMERMANN, C.: Wahrscheinlichkeit des Wellenüberlaufs an einer Containerkaje. Mitteilungen des Franzius-Instituts, Heft 89, S.85-104, Hannover, 2003

OHLE, N., DAEMRICH, K.-F., ZIMMERMANN, C., MÖLLER, J., SCHÜTTRUMPF, H., OUMERACI, H.: Schräger Wellenaufbau an Seedeichen. Mitteilungen des Franzius-Instituts, Heft 89, S.105-154, Hannover, 2003

RIS, R.C.: Spectral Modelling of Wind Waves in Coastal Areas. Report No. 97-4, TU Delft, 1997