Seegang in der Weser vor Bremerhaven

–ein Vergleich von Naturmessung und numerischer Simulation–

Stephan Mai, Nicole von Lieberman, Thomas Fittschen, Klaus Bartels

1. Untersuchungsgebiet

Zur Ermittlung der Seegangsbelastung in der Weser vor Bremerhaven wurden im Hinblick auf eine Kajenbemessung durch das HANSESTADT BREMISCHE HAFENAMT, BEZIRK BREMERHAVEN (HBH) im Zuge der Erweiterung des Containerterminals Bremerhaven – Bauabschnitt CTIII – Naturmessungen und eine Voruntersuchung beauftragt.

In Naturmessungen wurde vom INGENIEURBÜRO FITTSCHEN mit einer Richtungswellenmessboje des Typs „Directional Waverider„ der Firma Datawell BV am südlichen Ende des Wurster Arms in der Weser (Abb. 1) im Zeitraum vom Februar 1997 bis April 1998 der Seegang bestimmt. Die Windgeschwindigkeit wurde im entsprechenden Zeitraum an der Station Dwarsgat in einer Entfernung von ca. 14,5 km von der Segangsmessboje gemessen. Der Wasserstand wurde durch lineare Interpolation aus den vom WASSER- UND SCHIFFAHRTSAMT (WSA) BREMERHAVEN durchgeführten Messungen an den Pegeln Robbensüdsteert und Bremerhaven Alter Leuchtturm ermittelt.

Die am FRANZIUS-INSTITUT FÜR WASSERBAU UND KÜSTENINGENIEURWESEN durchgeführte Voruntersuchung ergab zunächst auf der Basis des im Shore Protection Manual (CERC, 1984) veröffentlichten Verfahrens zur Flachwasserberechnung unter Berücksichtigung von Anmerkungen von BISHOP ET AL. (1992) eine Abschätzung der Seegangsverhältnisse für die Untersuchungsposition an der Stromkaje des Containerterminals CTIII [3]. Aufbauend auf dieser Voruntersuchung wurde das Seegangsklima der Außenweser und Jade mit dem numerischen Seegangsmodell Shallow Waves Nearshore, SWAN [10], simuliert.

Diese Arbeit stellt die Naturmessungen den Seegangssimulationen vergleichend gegenüber.

2. Naturmessung

Die für die Naturmessungen eingesetzte Boje wurde an der Position 53°37,88`N/8°28,30`E bzw. Gauß-Krüger 3465100/ 5944380 in der Außenweser ausgebracht und an der Sohle in einer Tiefe von NN – 9,00 m mit einer elastischen Vertäuung an einer Stahlkette der Masse 500 kg verankert. Die Ermittlung der Wasserspiegelauslenkungen erfolgte durch Messung der Bojenbeschleunigungen in den drei Raumrichtungen und anschließender zweifacher Integration über die Zeit.

Aus den gemessenen Wasserspiegelauslenkungen wurden durch Fourieranalyse Richtungsseegangsspektren berechnet und die Daten über Funk zur Landstation am CTIII in Bremerhaven fernübertragen. Aus den Richtungsspektren wurden die Parameter signifikante Wellenhöhe, mittlere Wellenperiode und Hauptwellenrichtung berechnet. Diese Parameter sind beispielhaft in Abb. 2 dargestellt und den Routinemessungen von Wasserstand und Wind des WSA Bremerhaven zugeordnet.

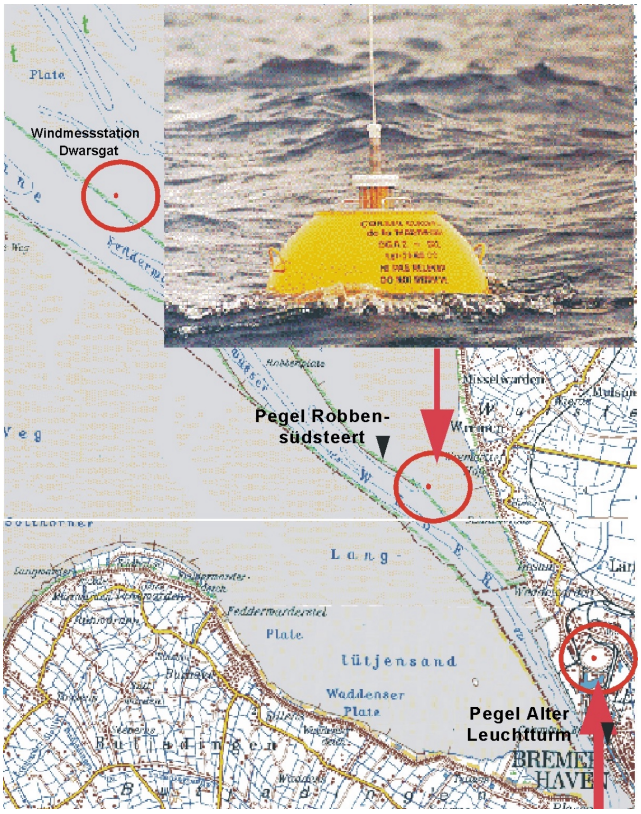

Abb. 1: Untersuchungsgebiet mit Lage der Messboje, der Pegel Robbensüdsteert und Bremerhaven Alter Leuchtturm, der Windmessstation Dwarsgat sowie der Untersuchungsposition am Containerterminals CTIII (Kartengrundlage: LGN, 1998)

3. Numerische Simulation

Zur numerischen Simulation der Seegangsparameter in der Weser vor Bremerhaven wurde unter Anwendung des Programmsystems SWAN, ein phasengemitteltes Seegangsmodell für die gesamte Außenweser und Jade aufgebaut. Die Parameter des Seegangsmodells zur Beschreibung von Wellenbrechen und Bodenreibung wurden gegenüber den Voreinstellungen verändert. Die Kalibrierung erfolgte durch Vergleich der Simulation mit Bojenmessungen vor der nordfriesischen Küste und Messungen im Großen Wellenkanal Hannover [8]. Für die Parameter zur Beschreibung von winderzeugtem Seegang wurden die Standardeinstellungen beibehalten. Der Eingangsseegang am seeseitigen Modellrand, nördlich Weser-km 125, wurde auf der Grundlage eines Wellenvorhersagediagramms [2] aus dem herrschenden Wind ermittelt. Für einen Wasserstand von 3 mNN und Wind der Geschwindigkeit u = 20 m/s aus 330° ist dieses Vorgehen in Abb. 3 dargestellt. Es zeigt sich die Abnahme der signifikanten Wellenhöhe des einlaufenden Seegangs

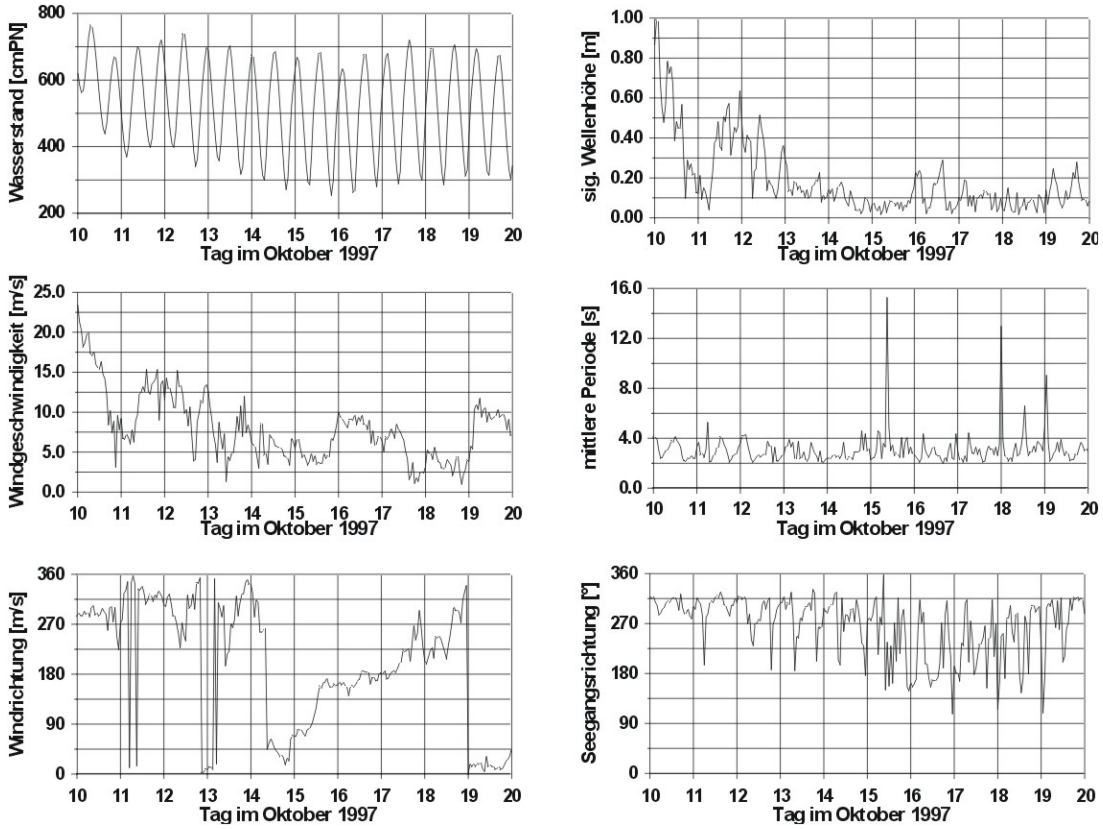

Abb. 2: Beispiel der Naturmessung im Zeitraum 10. bis 20. Oktober 1997:
Tidewasserstand (oben, links), Windgeschwindigkeit (Mitte, links) und Windrichtung (unten, links) sowie Wellenhöhe (oben, rechts), -periode (Mitte, rechts) und Hauptseegangsrichtung (unten, rechts) (nach: FITTSCHEN, 1999)

über dem Wurster Watt und dem Hohen Weg (siehe Abb. 1 und 3). In den tieferen Fahrrinnen von Jade und Weser ist nur eine vergleichsweise geringe Abnahme der Wellenhöhe zu verzeichnen.

Aus der flächenhaften Darstellung der Seegangsparameter wurden die signifikante Wellenhöhe, die mittlere Wellenperiode und die Hauptwellenrichtung einerseits für den Vergleich mit den Bojenmessungen an der in Abb. 3 bezeichneten Position 1, andererseits zur Übertragung des Seegangs von der Boje zur Kaje des CT III an der Position 2 ausgelesen.

4. Ergebnisvergleich

Ein Vergleich der Seegangsparameter an der Position 1 (Standort der Seegangsboje) ist in den Abb. 4 und 5 dargestellt. In Abb. 4 wurden Messereignisse mit Wasserständen von 6,5 bis 7,5 mPN (1,5 bis 2,5 mNN) und einer Windrichtung DD = 225° bis 255° ausgewählt. Die Ergebnisse der

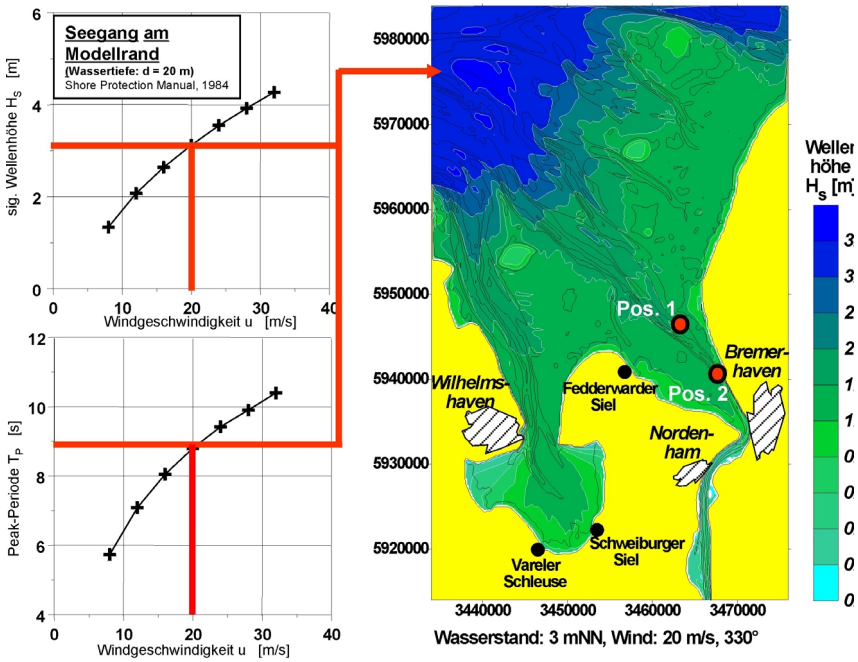

Abb. 3: Seegangssimulation für einen Wasserstand von 3 mNN und einen Wind der Geschwindigkeit 20 m/s und der Richtung 330° (nach: [9])

numerischen Simulationen bilden für die signifikante Wellenhöhe und die mittlere Wellenperiode eine obere Schranke. Unterschreitungen dieser Schranke sind u.a. auf nicht voll ausgereiften Seegang sowie Wechselwirkungen des Seegangs mit den Tideströmungen zurückzuführen.

Die in Abb. 5 für Wasserstände von 5,5-6,5 mPN (0,5-1,5 mNN) und Windgeschwindigkeiten von 10-14 m/s dargestellte Hauptseegangsrichtung weist eine weist eine deutliche Windrichtungsabhängigkeit auf. Für die Naturmessungen zeichnet sich eine s-förmige Abhängigkeit der Hauptseegangsrichtung von der Windrichtung ab, d.h. die Seegangsrichtung ist nicht identisch mit der Windrichtung. Diese wird durch das Seegangsmodell gut widergespiegelt. Die größten Streuungen ergeben sich für östliche Windrichtungen, bei der für die betrachtete Messposition nur eine kurze Fetchlänge zur Verfügung steht.

Abb. 4 verdeutlicht auch die Problematik der Ermittlung eines Bemessungsseegangs aus Naturmessungen. So überschritt die Windgeschwindigkeit im dargestellten Beispiel während des Untersuchungszeitraums nicht den Wert von 20 m/s, welcher etwa der Windstärke 8 (stürmischer Wind) entspricht. Auch für andere Klassifizierungen von Wasserstand und Windrichtung ergaben sich während der Messung keine höheren Windgeschwindigkeiten als 22,5 m/s, so dass die Messungen das Bemessungsereignis nicht umfassen. Dieser Nachteil kann durch die Anbindung an die Statistik langjähriger Windmessungen [5] ausgeglichen und deren Ergebnisse durch darauf aufbauende Verwendung numerischer Seegangsmodelle abgerundet werden (Abb. 4).

Eine geringere Abweichung zwischen numerischer Modellierung und den Ergebnissen der Messungen in der Natur ist besser mit instationären Seegangssimulationen zu erreichen. Hierzu ist jedoch neben der Kenntnis der Zeitreihe des Windes auch die Kenntnis der Veränderungen des Eingangsseegangs nötig. Dieser kann entweder aus einer zweiten Bojenmessung am seeseitigen Rand des Modells [8] oder durch instationäre Seegangsimulation in einem großräumigen Modell, z.B. Wave Model WAM [7], gewonnen werden.

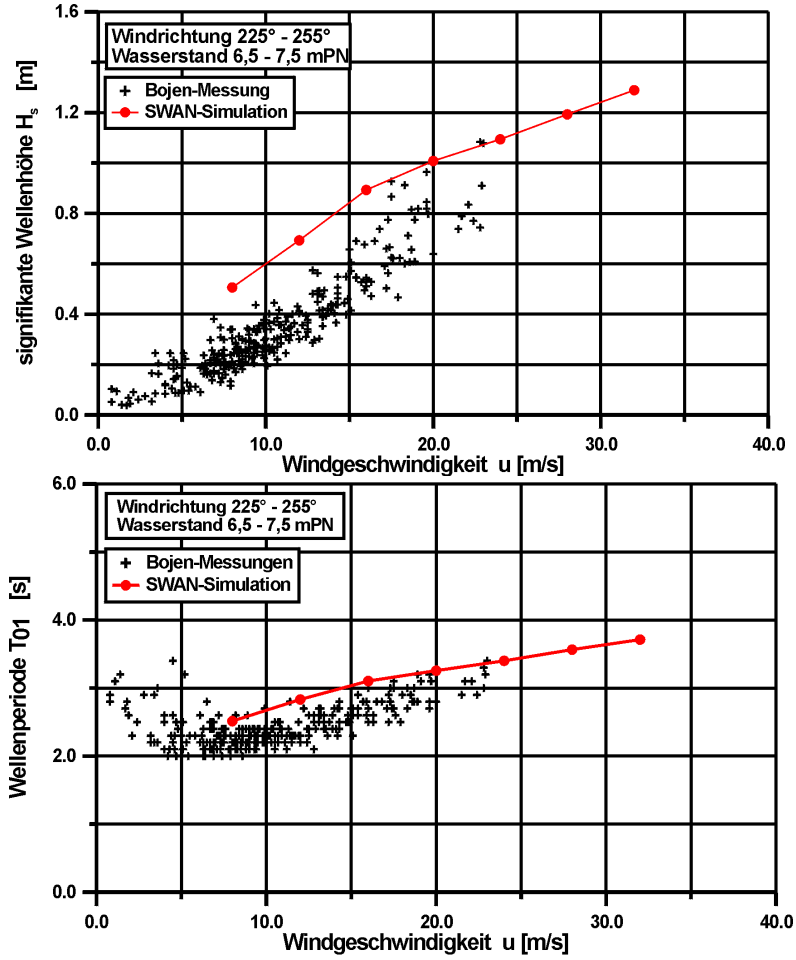

Abb. 4: Seegangsmessung und -simulation im Vergleich: signifikante Wellenhöhe (oben) und mittlere Periode (unten)

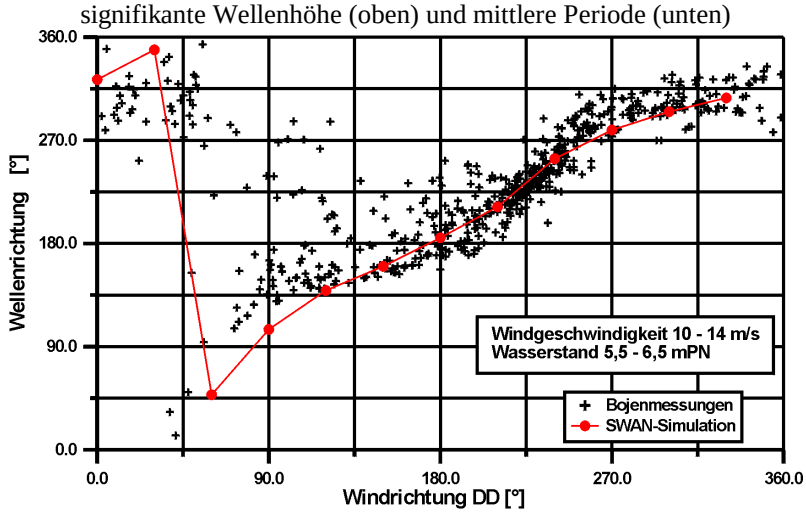

Abb. 5: Seegangsmessung und -simulation im Vergleich: Hauptwellenrichtung

5. Seegang an der Stromkaje Bremerhavens

Die Übertragung des Seegangs von der Boje (Position 1, Abb. 3) zur Kaje des CT III (Position 2, Abb. 3) mit Hilfe der numerischen Simulation ist in Abb. 6 für verschiedene Tidewasserstände bei Winden aus 330° dargestellt. Die signifikante Wellenhöhe nimmt von Position 1 zu Position 2 etwa um 20% ab, während die mittlere Wellenperiode um rd. 10% reduziert wird. Diese abnehmende Tendenz verstärkt sich für höhere Wellenhöhen. Die Windrichtungsabhängigkeit der Seegangsparameter ist für einen Wasserstand von 4 mNN und Windgeschwindigkeiten von 8 m/s, 16 m/s und 24 m/s in Abb. 7 dargestellt. Aufgrund der geringeren Wind-

streichlänge ergibt sich für Winde aus östlichen Richtungen die geringste Wellenhöhe und –periode, für Winde aus ca. 300° sind die Seegangsparameter maximal. Der Analyse der Windrichtungsabhängigkeit der Seegangsparameter in Kajennähe kommt im Zuge einer Bemessung der Überlaufmengen an Kajen eine besondere Bedeutung zu, da eine starke Abhängigkeit zwischen dem Angriffswinkel des Seegangs auf die Kaje und der Überlaufmenge besteht.

6. Zusammenfassung

Der Vergleich der im Zuge der Erweiterung des Containerterminals Bremerhaven (CTIII) gemessenen Seegangsparameter mit den in dem numerischen Seegangsmodell SWAN gewonnenen zeigt die Anwendbarkeit des Modells zur Seegangsermittlung im Rahmen der Bemessung von Kaianlagen.

7. Schrifttum

[1] BISHOP, C.T. ET AL.: Shore Protection Manual`s Wave Prediction Reviewed, Coastal Engineering, H. 17, 1992.

[2] COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER (CERC): Shore Protection Manual, Vol. 1, Washington, 1984.

[3] DAEMRICH, K.F. / ZIMMERMANN, C.: Untersuchungen zu Wasserstands- und Wellenbedingungen an der Containerkaje in Bremerhaven und der dabei zu erwartenden Überlaufwassermengen, Teil 1: Theoretische Voruntersuchungen, 1997, unveröffentlicht.

[4] FITTSCHEN, T.: Nördliche Erweiterung des Containerterminals Wilhelm Kaisen Bremerhaven (CT III) – Wellenmessungen in der Weser vor Bremerhaven, Abschlussbericht, 1999, unveröffentlicht.

[5] FRÖHLE, P. / FITTSCHEN, T.: Assessment of Short-Term Directional Wave Measurements with respect to long-term Statistical Evaluations, Proc. of the 5th Int. Conf. on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, Cape Town, South Africa, 1999.

[6] LANDESVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION NIEDERSACHSEN (LGN): Amtliche topographische Karte Niedersachsen / Bre men, TOP 50, 1998.

[7] HASSELMANN, ET AL.: The WAM Model - a Third Generation Ocean Wave Prediction Model, J. Phys. Oceanogr., Vol. 18, No. 12, 1988.

[8] MAI, S. ET AL.: 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, 1999.

[9] MAI, S. / VON LIEBERMAN, N.: Untersuchungen zum Risikopotential einer Küstenregion, Mitteilungen des Franzius-Institutes für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, 1999.

[10] RIS, R.C.: Spectral Modelling of Wind Waves in Coastal Areas, Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering, Report No. 97-4,1998

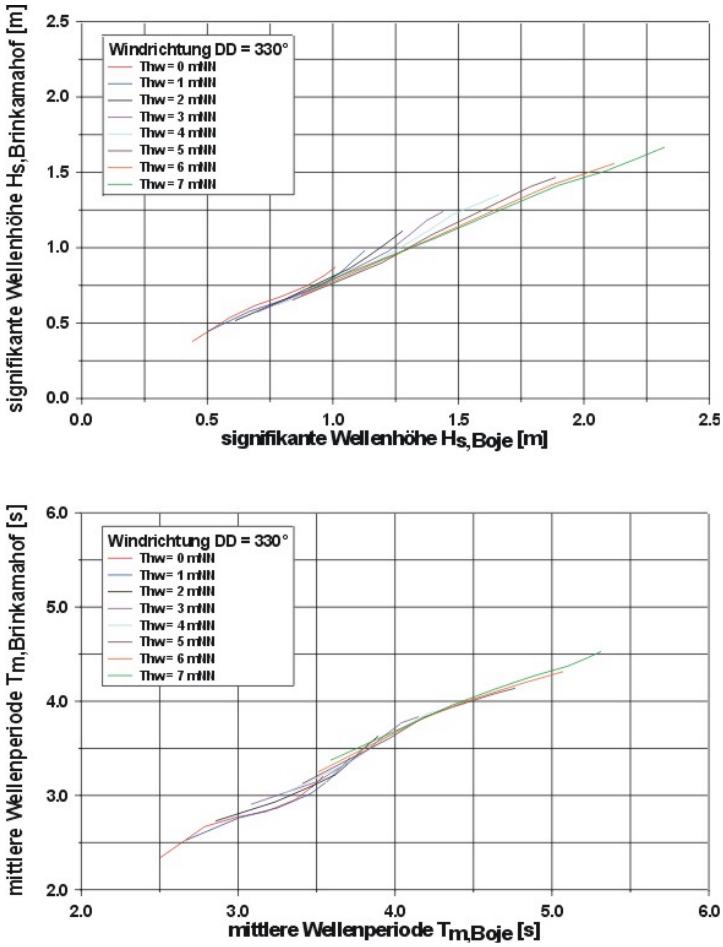

Abb. 6: Veränderung des Seegangs von der Boje (Position 1) zur Kaje (Position 2): signifikante Wellenhöhe (oben) und mittlere Periode (unten)

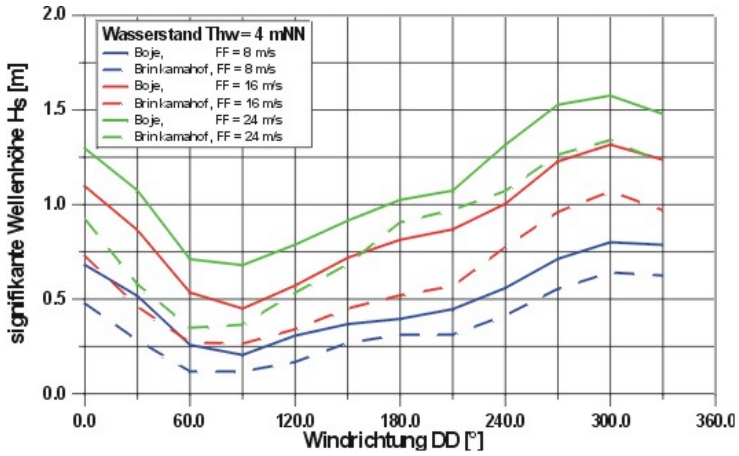

Abb. 7: Richtungs- und Wasserstandsabhängigkeit der signifikanten Wellenhöhe des Seegangs an ausgewählten Positionen im Modellgebiet