

DÄMPFUNG DER WELLENUNRUHE IM HAFEN BORKUM

von

Karl-Friedrich Daemrich

Stephan Mai

Nino Ohle

ABSTRACT

During southerly wind conditions, unfavourable wave conditions are to be expected in Borkum harbour. Main reason are multiple reflections of the incoming waves at the vertical walls all around the harbour basin. Based on far-field wave conditions from the numerical model SWAN, the wave conditions in the harbour were calculated with an Elliptic Mild Slope Model. Distinct improvement of the situation could be achieved by replacing the most effected northern waterfront by a low-reflecting revetment. After that basic measure, a relative small additional absorbing area near the harbour entrance could be shown to be very effective in further reduction of the wave heights in the harbour area.

1. EINFÜHRUNG

Der im Süden der Insel Borkum gelegene Neue Hafen Borkum wurde bis 1997 ausschließlich als Schutzhafen und im nordöstlichen Teil als Marinehafen genutzt. Nachdem die Einheiten der Bundeswehr Borkum verlassen hatten, wurde dieser Hafenteil durch den Wassersportverein Burkana als Sportboothafen genutzt. Wegen der fast ausschließlich senkrechten und damit stark reflektierenden Ufereinfassungen bei den maßgebenden Wasserständen, wird bei südlichen Windrichtungen einlaufender Seegang im Hafengebiet verstärkt und beeinträchtigt die Nutzung durch die kleineren Schiffe der Sportschiffahrt. Eine extreme Seegangssituation, die durch Videoaufnahmen dokumentiert ist, trat im Sommer 2002 bei Wind mit Stärke 8 aus SSW auf (Abb. 1.1).

Das Franzius-Institut wurde von der Stadt Borkum mit der Durchführung von Untersuchungen mit dem Ziel der Verbesserung der Wellenverhältnisse beauftragt. Dazu wurden zunächst die Seegangsverhältnisse vor der Hafeneinfahrt ermittelt und dann mit einem numerischen Seegangsmodell die derzeitigen Verhältnisse im Hafen und die Wirkung von wellenabmindernden Maßnahmen untersucht.



Abb. 1.1: Seegangsverhältnisse im Sommer 2002 bei Wind Beaufort 8 aus SSW

2. ÖRTLICHE VERHÄLTNISS

Eine Übersicht der Lage der Hafenanlagen und der topographischen Verhältnisse im Nahbereich ist in den Abbildungen 2.1 und 2.2 gegeben



Abb. 2.1: Lage der Hafenanlagen und topographische Verhältnisse im Nahbereich

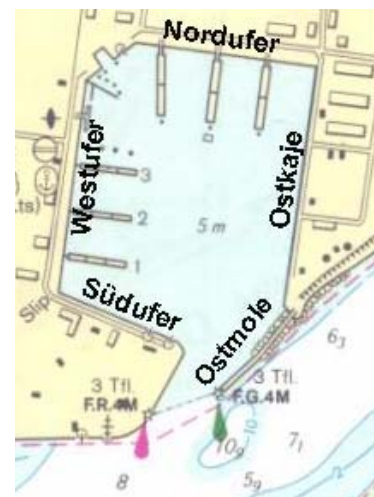


Abb. 2.2: Übersicht des Hafens und Bezeichnungen

Nord-, West und Südufer des Hafens sind in Spundwandbauweise (Oberkante Spundwand NN +1,50 m) mit anschließender Böschung ausgeführt. Bei Wasserständen bis etwa MThw sind diese Ufer nahezu totalreflektierend, die Ostkaje mit Oberkante Spundwand auf NN +5,30 m auch bei noch höheren Wasserständen.

Damit ist die wesentliche Ursache der auch als „Schwellproblem“ bezeichneten starken Wellenunruhe aufgezeigt. Der durch die Einfahrtsöffnung einlaufende Seegang breitet sich zwar durch Diffraktion in den Hafenbereich aus und wird dabei abgemindert, wird aber auch an den senkrechten Wänden reflektiert. Die reflektierten Wellen treffen immer wieder auf senkrechte Wände. Es finden Mehrfachreflexionen statt, die zu einer ständigen Erhöhung der Wellenunruhe führen. Seegangsenergie kann den Hafenbereich im wesentlichen nur durch die Öffnung wieder verlassen. Das ist jedoch in nennenswertem Umfang erst möglich, wenn die Wellenhöhen im Hafen etwa so hoch sind wie im Seegang außerhalb.

3. Seegang vor der Hafeneinfahrt

Aus der Lage des Hafens kann generell gesagt werden, dass der Seegang vor der Einfahrt relativ gering ist bei nördlichen Winden, also NW, N und NO, weil dann die Insel Borkum selbst den Seegang abhält. Aus den südlichen Richtungen SW, S und SO, die von der Anlaufriechung her für den Hafen besonders gefährlich sind, ist die Windwirklänge zwar gering und auch die Wassertiefen wirken hier noch begrenzend, dennoch kann dieser Seegang so stark werden, dass er zu Nutzungseinschränkungen führen kann.

Das Gebiet um Borkum wurde großräumig modelliert und mit dem numerischen Seegangmodell SWAN die Höhen, Perioden und Richtungen des Seegangs für verschiedene Wasserstände, Windrichtungen und Windstärken berechnet. Ein Beispiel für die Verteilung der signifikanten Wellenhöhen für einen Wasserstand NN +2,0 m, eine Windgeschwindigkeit 20 m/s und die Windrichtung 240° zeigt Abb. 3.1.

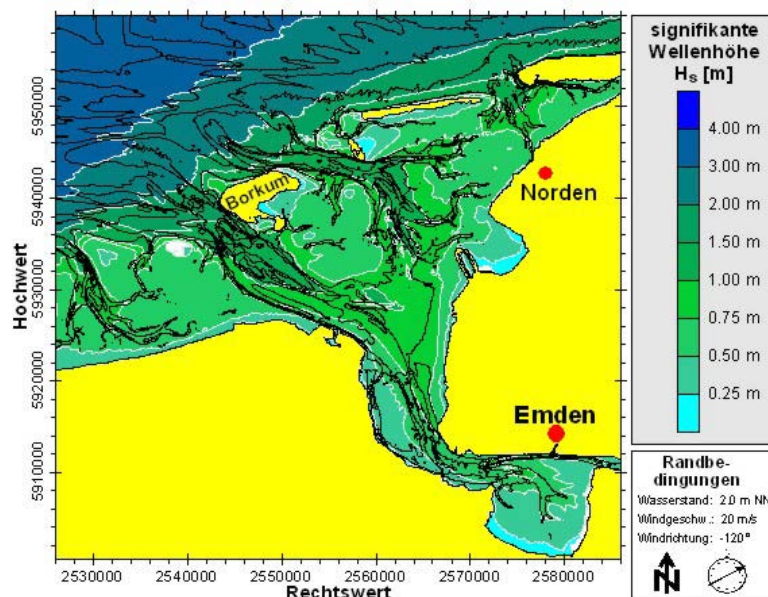


Abb. 3.1: Signifikante Wellenhöhe im Modellgebiet Ems-Ästuar und Borkum (Bsp.: Wasserstand NN +2,0 m, Windgeschw. 20 m/s, Windrichtung 240°)

Die Ergebnisse vor der Hafeneinfahrt wurden dann ausgelesen. Ein Beispiel aller Berechnungsergebnisse für den Wasserstand NN +1,0 m ist in Abb. 3.2 dargestellt. Das Seegangereignis vom Sommer 2002 ist durch den roten Kreis gekennzeichnet.

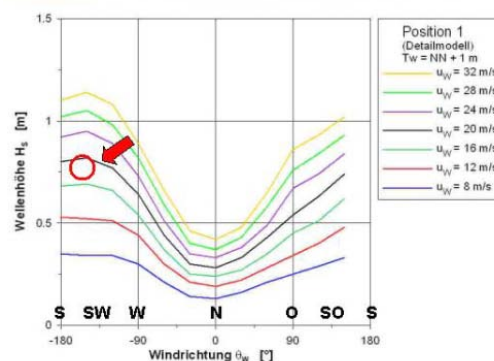


Abb. 3.2: Seegang vor der Hafeneinfahrt bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten (Wasserstand NN +1 m)

4. Seegang im Hafen

Zur Modellierung des Seegangs im Hafenbereich wurde ein auf dem „Elliptic Mild Slope“-Ansatz basierendes numerisches Seegangmodell verwendet, mit dem die Ausbreitung von regelmäßigen Wellen und die Interaktion mit reflektierenden Rändern berechnet werden kann. Alle Berechnungen wurden für verschiedene Anlaufrichtungen vorgenommen. Als Beispiel sind immer die Ergebnisse für die Wellenanlaufrichtung 180° (Süd) wiedergegeben. Die Ergebnisse der Berechnungen für den derzeitigen Zustand des Hafens sind in Abb. 4.1 als relative Wellenhöhen, d.h. als das Verhältnis Wellenhöhe im Hafen zur Wellenhöhe vor der Hafeneinfahrt, dargestellt.

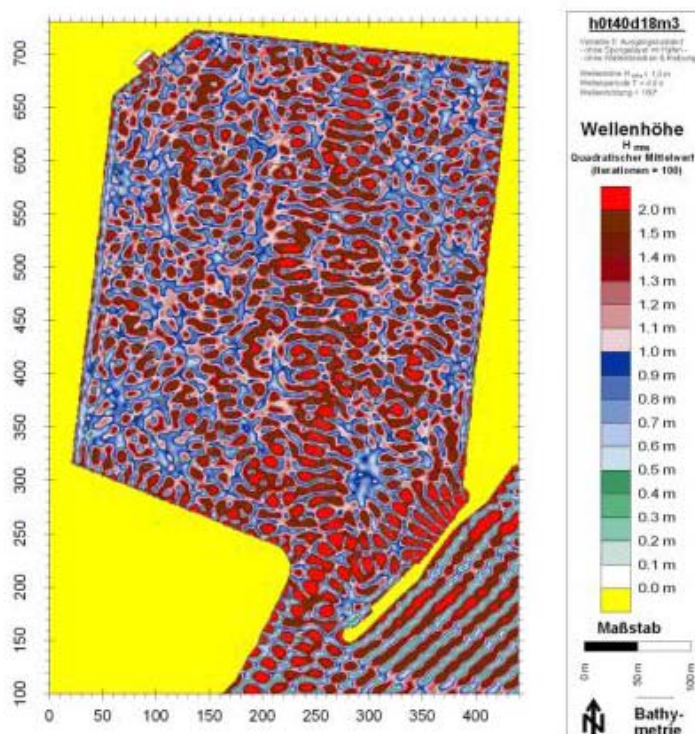


Abb. 4.1: Wellenverhältnisse im Neuen Hafen: Variante 0 (Ausgangszustand)
(Wellenanlaufrichtung 180° , $H = 1,0$ m, $T = 4$ s)

Die starken örtlichen Schwankungen sind typisch für die Wellenhöhenverteilung in Wellenfeldern, in denen sich einlaufende und reflektierte Wellen überlagern (Kreuzsee). Zur Bewertung der komplexen Wellenverhältnisse wurden in verschiedenen Hafenbereichen Mittelwerte gebildet (quadratisch wegen der Energie). Im nördlichen Hafenbereich liegt der Mittelwert bei rd. 1,25, d.h. die Wellen sind im Hafen höher als vor dem Hafen. Aus den grundsätzlichen Betrachtungen zur Reflexion als der Hauptursache der derzeitigen starken Wellenunruhe folgt zwangsläufig, dass zur Verbesserung der Verhältnisse im Hafen Bereiche zu schaffen sind, an denen Wellen nicht reflektiert werden. Der effektivste Bereich dafür ist das Nordufer, weil die anlaufenden Wellen hier am höchsten sind. Weitere Maßnahmen sind dann die Verminderung des Energieeintrags im Bereich der Einfahrt und die Abgrenzung von Hafenbereichen durch Wellenschutzbauwerke im Hafinneren. Bei der Auswahl der Verbesserungsmaßnahmen war zu berücksichtigen, dass die Zufahrt zum Schutzhafen nicht beeinträchtigt wird, der Bereich des Wendekreises frei bleibt, die Zufahrt zur Ostkaje nicht erschwert wird und die Ostkaje in der bestehenden Bauform er-

halten bleibt. Die für den Burkanahafen untersuchten Maßnahmen sind in Abb. 4.2 zusammengestellt.

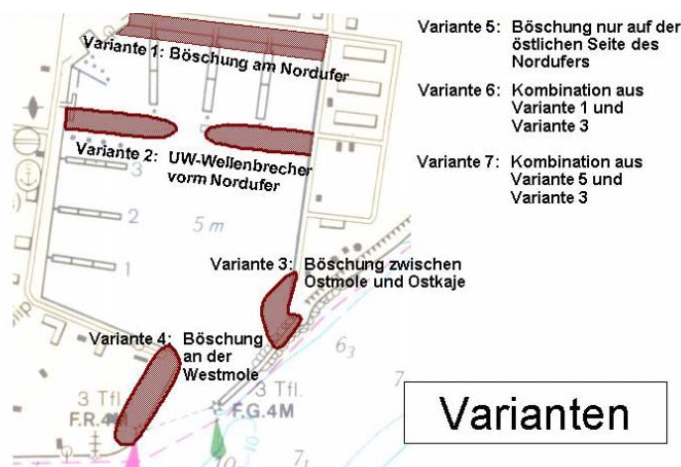


Abb. 4.2: Untersuchte Varianten zur Verbesserung der Wellenverhältnisse im Hafen

Die Ergebnisse für den Fall, dass das Nordufer als reflexionsmindernde Böschung gebaut wird sind in Abb. 4.3 dargestellt.

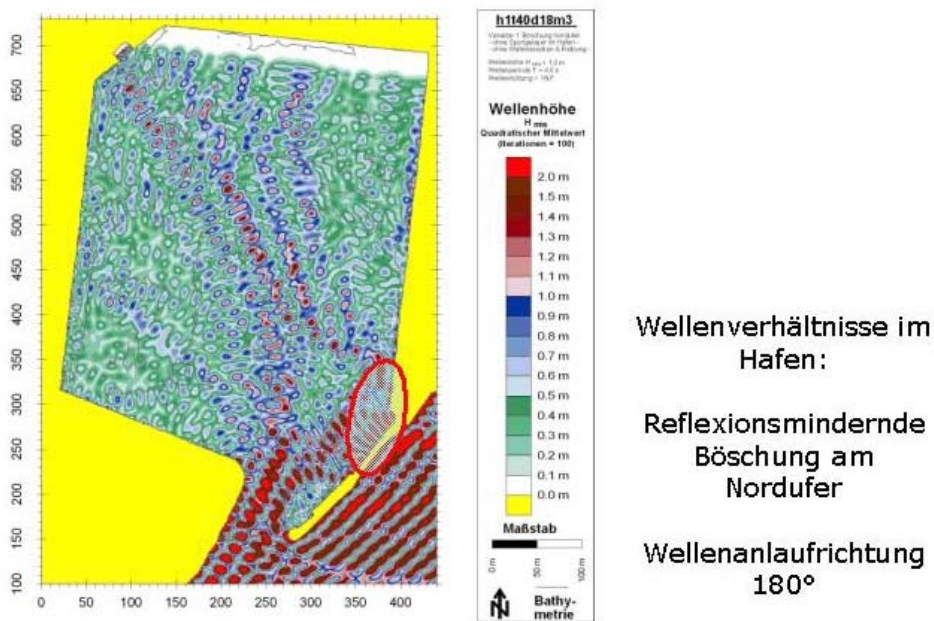


Abb. 4.3: Wellenverhältnisse im Neuen Hafen
 Variante 1: reflexionsmindernde Böschung am Nordufer
 (Wellenanlaufrichtung 210°, H = 1,0 m, T = 4 s)

Die Wellenhöhen werden durch diese Maßnahme deutlich reduziert. Der Mittelwert der relativen Wellenhöhen im nördlichen Hafenbereich liegt bei rd. 0,55 (gegenüber rd. 1,25 im Ausgangszustand). Aus der Wellenhöhenverteilung in Abb. 4.3 ist aber auch deutlich zu ersehen, dass ein Teil der in den Hafen eingetragenen Wellenenergie auf Reflexion der in den Hafen einlaufenden Wellen im Bereich des Übergangs der Ostmole zur Ostkaje zurückzuführen ist. Auch in diesem Bereich ist die Anordnung einer reflexionsmindernden Böschung sehr wirkungsvoll, wie die Berechnungsergebnisse in Abb. 4.4 zeigen.

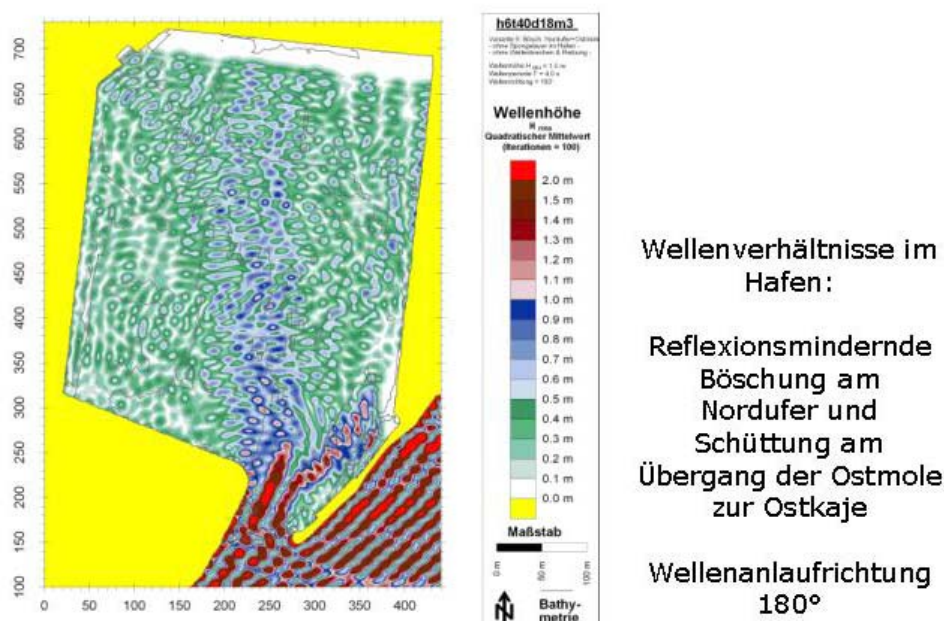


Abb. 4.4: Wellenverhältnisse im Neuen Hafen

Variante 6: Ausbildung des Nordufers als reflexionsmindernde Böschung in Kombination mit einer Schüttung am Übergang der Ostmole zur Ostkaje (Wellenanlauffrichtung 210° , $H = 1,0$ m, $T = 4$ s)

Der Mittelwert der relativen Wellenhöhen im nördlichen Hafenbereich vermindert sich auf rd. 0,4, also um nochmals rd. 30%.

Alle weiteren in Abb. 4.2 dargestellten Varianten und Kombinationen von Varianten, sowie auch die Ausbildung nur der östlichen Hälfte der Nordböschung wurden berechnet, sind aber hier nicht dargestellt, da sie nicht zur Ausführung vorgesehen wurden.

5. Zusammenfassung

Bei südlichen Winden tritt im Hafen von Borkum eine starke Wellenunruhe auf, die die Nutzung durch die Sportschiffahrt im Burkanahafen beeinträchtigt. Die wesentliche Ursache ist in der Ausführung der Hafenufer als senkrechte Wände anzusehen, durch die der einlaufende Seegang mehrfach reflektiert und nicht abgebaut wird. Auf der Grundlage der mit dem numerischen Seegangsmodell SWAN berechneten windrichtungs- und wasserstandsabhängigen Seegangsbedingungen wurden mit einem numerischen Modell, basierend auf dem „Elliptic Mild Slope“-Ansatz, die Wellenverhältnisse im Hafen modelliert. Bereits die Anordnung einer reflexionsmindernden Böschung im nördlichen Hafenbereich konnte die Gesamtsituation deutlich verbessern. Aus den Berechnungsergebnissen konnten dann weitere Bereiche identifiziert werden, in denen reflexionsmindernde Maßnahmen besonders wirksam sind.