

**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

**Wasserbauliche Systemanalyse für das  
Offshore-Terminal Bremerhaven**

**S t e l l u n g n a h m e**  
**zur Veränderung der Seegangsbelastung**  
**des Seedeichs Bremerhaven**

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Unterlagen und Daten	2
3	Grundsätzliche Anmerkungen zur Vorgehensweise	2
4	Simulationen im numerischen Modell	3
5	Eingrenzung der zu erwartenden Wellenhöhenzunahme (Ausführungsentwurf)	4
6	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	5

Auftraggeber: Bremenports GmbH & Co. KG  
Am Strom 2  
27568 Bremerhaven

Auftrag vom: 11.11.2010, Az.: 42816850

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. A 3955 02 10135

Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Küstenbereich  
Referat: Ästuarsysteme I (K2)  
Bearbeiter: Dr.-Ing. R. Schubert  
Dr.-Ing. U. Vierfuß  
Dipl.-Ing. H. Brand  
Dipl.-Ing. U. Schiller

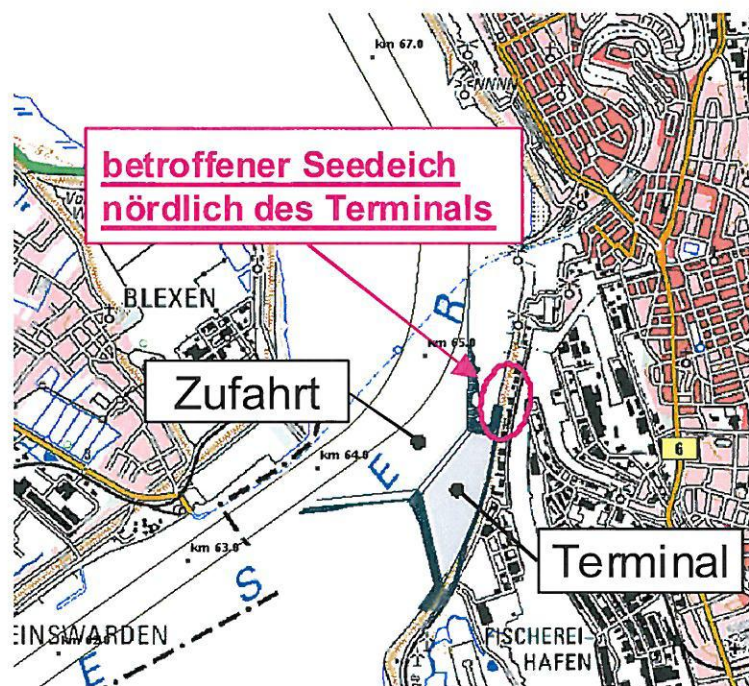
Hamburg, im Januar 2013



## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

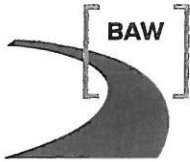
Auf Grund des stark wachsenden Marktes für Offshore-Windkraftanlagen plant Bremenports die Errichtung eines Offshore-Terminals in Bremerhaven (OTB). Die Auswirkungen des Terminals auf die Hydrodynamik einschließlich der Seegangsbedingungen wurden im Auftrag von Bremenports durch die Bundesanstalt für Wasserbau untersucht und im Gutachten vom September 2012 dargestellt (Unterlage [3]).

Das Terminal-Bauwerk wird sich auf die Seegangsparameter im Umfeld des Hafens auswirken. Insbesondere werden die senkrechten Wände des Terminals die anlaufenden Wellen reflektieren und dadurch zu einem lokalen Anstieg der Wellenhöhen führen [3]).



**Bild 1: Lage des OTB und des hier behandelten Seedeichs Bremerhaven**

Auch am Bremerhavener Seedeich nördlich des Terminals (Bild 1) werden die Wellenhöhen vorhabensbedingt ansteigen. Diese Zunahme ist nicht durch die senkrechten Wände des OTB bedingt, sondern durch die Seegangsreflektion an der geböschten Nordflanke des Terminals (Norddamm). Sie ist im Wesentlichen von der Böschungsneigung der Terminalflanke abhängig; je flacher die Böschung ausgebildet wird, desto geringer ist der vorhabensbedingte Anstieg der Wellenhöhen. Bei der Durchführung der Modellsimulationen für das Gutachten [3] lag die heutige Ausführungsplanung noch nicht vor. Die bisher angegebenen Prognosewerte für den Anstieg der Wellenhöhen am Seedeich liegen durch die Annahme



einer relativ großen Reflektionswirkung weit auf der sicheren Seite. In der vorliegenden Stellungnahme wird die tatsächlich zu erwartende Größe des Anstiegs für die geplante Ausführung des Norddamms (Unterlagen [1] und [2]) prognostiziert.

In den Abschnitten 3 und 4 dieser Stellungnahme werden die wesentlichen Aspekte des BAW-Gutachtens [3] kurz zusammengefasst. In den Abschnitten 5 und 6 werden die Vorhabenswirkungen abgeleitet, die für den Seedeich Bremerhaven bei der geplanten (flacher geneigten) Ausbildung des Norddamms zu erwarten sind.

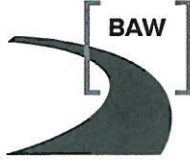
## **2 Unterlagen und Daten**

- [1] Offshore-Terminal Bremerhaven (OTB), Erläuterungsbericht. Bremenports GmbH & Co. KG, Dok-ID 412348, Dezember 2012
- [2] Offshore-Terminal Bremerhaven, Randdämme – Querschnitte Seedeich / Anschluss Terminal, Zeichnungs-Nr. 5.8, Bremenports GmbH & Co. KG, 01.11.2012
- [3] Wasserbauliche Systemanalyse für das Offshore-Terminal Bremerhaven. Gutachten, Bundesanstalt für Wasserbau, BAW-Nr. A39550210135, Hamburg, September 2012
- [4] Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken durch den Ausschuss für Küstenschutzwerke (EAK 2002). Hrsg. Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, Die Küste, Heft 65, korrigierte Ausgabe 2007

## **3 Grundsätzliche Anmerkungen zur Vorgehensweise**

Die im Gutachten [3] dokumentierte Seegangsuntersuchung zielte darauf ab, die maximal zu erwartenden vorhabensbedingten Veränderungen der Wellenhöhen mit Hilfe von numerischen Modellsimulationen zu prognostizieren. Gesucht waren also die Differenzen der Seegangszustände mit und ohne Terminal (Ausbauzustand – Referenzzustand) unter sehr ungünstigen Bedingungen.

Eine sehr wichtige Frage war somit, welche „sehr ungünstigen“ Bedingungen der Untersuchung zu Grunde gelegt werden sollten, damit die für die Deichbemessung relevanten Vorhabenswirkungen nicht unterschätzt werden:



- Es existiert eine Bemessungsturmflut des NLWKN zur Ermittlung der Wasserstände und Strömungen.
- Dieses Sturmflut-Szenario liefert wegen der lokalen westlichen Windrichtungen relativ geringen Seegang am OTB (kurze Fetchlänge).
- Für die Deichbemessung auf Seegangswirkungen wurden keine Vorgaben gemacht.
- Trotz der Bemühungen von Bremenports kam ein Fachgespräch mit NLWKN nicht zustande.
- Bei eigenen Seegangsuntersuchungen hat das NLWKN die Bemessungsturmflut mit Wind aus NW kombiniert (Details nicht vollständig bekannt).

Für die BAW-Untersuchung zum OTB wurde folgendes Szenario konstruiert:

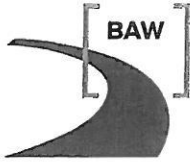
- Bemessungsturmflut des NLWKN (d.h. mit den dazu festgelegten Windfeldern, Wasserstands- und Zuflusssteuerungen wurden im Modell die Strömungen und Wasserstände erzeugt)
- Seegang in Folge Wind aus NW mit einer Windgeschwindigkeit von 30 m/s

Es wurden also zwei sehr ungünstige Situationen miteinander kombiniert, die zwar so nicht gleichzeitig auftreten können, aber in ihrer überlagerten Wirkung nicht unmöglich sind (z. B. weil auch bei NW-Wind sehr hohe Wasserstände denkbar sind oder weil Winddrehungen nicht auszuschließen sind). Die (sehr geringe) Eintrittswahrscheinlichkeit ist nicht bekannt.

Die Frage der Bemessungsszenarien und Eintrittswahrscheinlichkeiten konnte im Rahmen des BAW-Gutachtens [3] nicht tiefergehend behandelt werden und war für die Aufgabenstellung auch nicht relevant. Wichtig ist, dass die gewählten Randbedingungen so ungünstig waren, dass die vorhabensbedingten Zunahmen der Wellenhöhen damit auf der sicheren Seite liegend ermittelt werden konnten. Bei schwächerem Seegang und/oder niedrigeren Wasserständen sind auch die Vorhabenswirkungen geringer.

#### **4 Simulationen im numerischen Modell**

Wie im Gutachten [3] beschrieben, wurde die Seegangsuntersuchung in einem spektralen Seegangsmodell durchgeführt. Es wurde das Modellsystem: SWAN (vgl. [www.swan.tudelft.nl](http://www.swan.tudelft.nl)) angewendet, wobei die Strömungen und Wasserstände durch die Kopplung mit einem Strömungsmodell (Delft3D-FLOW) berücksichtigt wurden.



Im spektralen Seegangmodell wird der physikalische Prozess der Seegangsreflektion nicht als solcher modelliert, sondern mit Hilfe von Reflektionskoeffizienten berücksichtigt. Dazu wurden folgende Werte vorgegeben:

- senkr. Kaje:  $\chi_R = 1,0$  (Totalreflektion)
- Böschungen:  $\chi_R = 0,5$  (Teilreflektion)

Dabei gilt der Wert 0,5 für relativ steile Böschungen (der zugehörige Böschungswinkel ist von den Seegangsbedingungen abhängig).

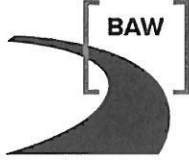
Die Prognosewerte wurden aus den Simulationsergebnissen unter Berücksichtigung der Annahmen der Modellbildung abgeleitet. Für den Seedeich Bremerhaven wurde – mit dem o. g. Reflektionskoeffizienten - eine Zunahme der signifikanten Wellenhöhe um bis zu 0,30 m angegeben [3].

## **5 Eingrenzung der zu erwartenden Wellenhöhenzunahme (Ausführungsentwurf)**

Die Zunahme der signifikanten Wellenhöhen nördlich des Terminals ist ausschließlich durch Reflektionseffekte der geböschten Terminal-Nordflanke bedingt. Für die relativ flache Böschungsneigung gemäß Ausführungsplanung ist eine geringere Reflektionswirkung zu erwarten, als im Gutachten angenommen wurde. Die Abminderung der Wirkung kann durch eine Betrachtung des zu erwartenden geringeren Reflektionskoeffizienten abgeschätzt werden, so dass weitere Simulationen nicht erforderlich sind.

Nach der Ausführungsplanung beträgt die Böschungsneigung des Norddamms oberhalb des Treibselräumweges 1:6. Der Treibselräumweg ist 1:15 geneigt, das unter dem Niveau von 3,50 m NHN angeordnete Deckwerk 1:3. Die Dammkrone liegt auf 7,5 bis 7,6 m NHN (Unterlage [1], Abschnitt 6.5, Unterlage [2]). Der Bemessungswasserstand liegt bei 6,62 m NHN und die maximal zu erwartende signifikante Wellenhöhe bei etwa 2,0 m [3]. Damit werden die Wellen teilweise über die Dammkrone in die dort angeordnete Abflussmulde laufen, so dass ein Teil der Wellenenergie dort dissipiert wird.

Die Größe der reflektierten Seegangsenergie wird bei entsprechend hohen Wasserständen im Wesentlichen durch die 1:6 geneigte Böschung beeinflusst, da in diesem Höhenbereich ein großer Teil der Wellenenergie konzentriert ist. Die steilere Deckwerksböschung hat einen geringeren Anteil an der Reflektionswirkung.



Ausgehend von Wellenhöhen  $H_s$  zwischen 1,5 und 2,0 m und Wellensteilheiten zwischen 0,05 und 0,1 ergeben sich nach Battjes (vgl. EAK 2002 [4], Abb. A 3.29) folgende Reflektionskoeffizienten  $\chi_R$ :

Böschungsneigung 1:6:  $\chi_R = 0,04$  bis  $0,07$

Böschungsneigung 1:3:  $\chi_R = 0,10$  bis  $0,25$

Nach [3] ergibt sich für einen Reflektionskoeffizienten von 0,5 eine Zunahme der signifikanten Wellenhöhen um bis zu 0,30 m. Da sich der Koeffizient linear auf die Zunahme der Wellenhöhen  $\Delta H_s$  auswirkt, verringert sich  $\Delta H_s$  für die geplanten flacheren Böschungen im Verhältnis des neuen Reflektionskoeffizienten zum alten Wert von 0,5:

Böschungsneigung 1:6:  $\Delta H_s = 0,03$  m bis  $0,05$  m

Böschungsneigung 1:3:  $\Delta H_s = 0,06$  m bis  $0,15$  m

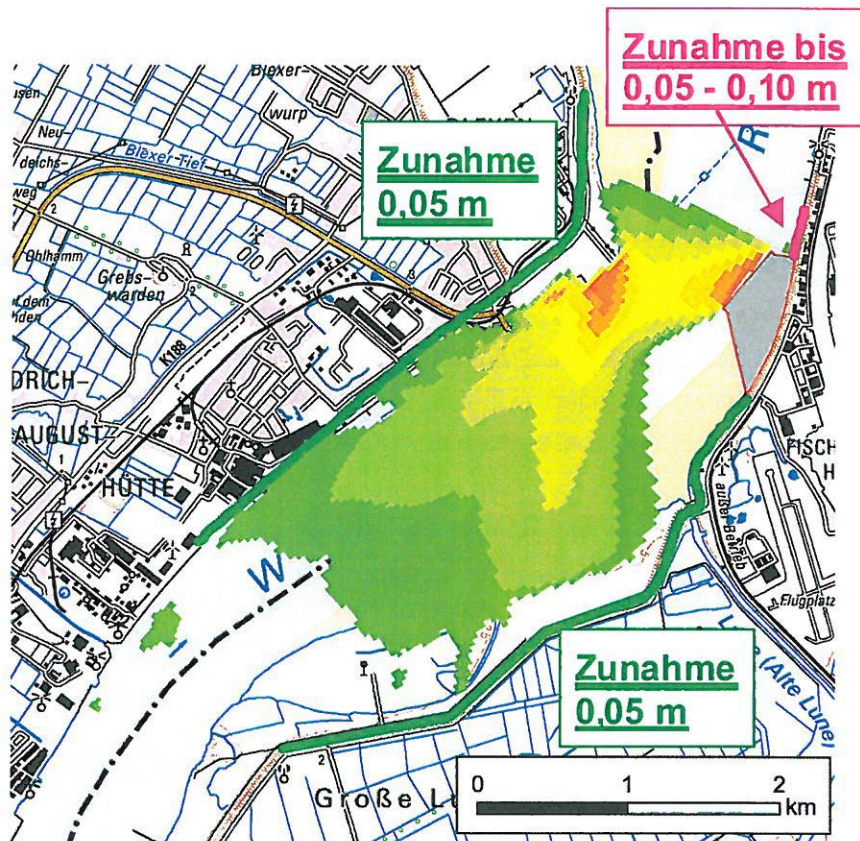
## 6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Unter Berücksichtigung der o. g. Tatsachen,

- dass die Größe der reflektierten Seegangsenergie mehr durch die 1:6 geneigte Grasböschung als durch das 1:3 geneigte Deckwerk beeinflusst wird,
- dass sich zwischen Grasböschung und Deckwerk eine „Berme“ (1:15 geneigter Treibselräumweg) befindet
- dass ein Teil der Seegangsenergie über die Dammkrone abgeführt wird,

wird die vorhabensbedingte Zunahme der signifikanten Wellenhöhen am Bremerhavener Seedeich mit 0,05 bis 0,10 m prognostiziert (Bild 2).

Die Abminderung im Vergleich zum Bezugsgutachten [3] betrifft nur den Bremerhavener Seedeich nördlich des Terminals, da im Übrigen die vorhabensbedingte Zunahme der Wellenhöhen von der senkrechten Reflektionsfläche der Kaje ausgeht.



**Bild 2:** Prognosewerte für die Zunahme der signifikanten Wellenhöhen an den Deichlinien unter Berücksichtigung der Ausführungsplanung für die geböschten Flanken des OTB (mit Steelwind-Kaje, vgl. Bild 67 des Bezugsgutachtens [3])

Für die Überprüfung der Auswirkungen auf den Seedeich Bremerhaven sind demnach zu berücksichtigen:

- Die Bemessungswerte (ohne OTB) gemäß Festlegung der zuständigen Deichbehörde; z.B. für die Berechnung der Wellenauflaufhöhe:

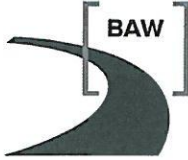
$$H_{m0} \text{ und } T_{m-1,0}$$

- Die vorhabensbedingte Zunahme der signifikanten Wellenhöhe gemäß o. g. Prognose:

$$\Delta H_{m0} = \Delta H_s = 0,05 \text{ bis } 0,10 \text{ m}$$

- Die vorhabensbedingte Zunahme sollte z. B. auf den ersten 100 Metern ab OTB mit 0,05 bis 0,10 m berücksichtigt werden. Auf den anschließenden 200 Metern kann





nach Norden hin eine lineare Abnahme auf Null angesetzt werden. In weiterer Entfernung sind keine vorhabensbedingten Änderungen der Seegangparameter zu erwarten.


- Die relative Änderung der Wellenhöhe ( $\Delta H_s/H_s$ ) und somit der Anteil der reflektierten Seegangenergie ist gering. Daher kann der Einfluss der Reflektion auf die maßgebende Wellenperiode vernachlässigt werden:

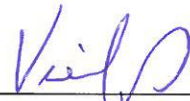
$$\Delta T_{m-1,0} = 0,0 \text{ s}$$

Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg  
Hamburg, im Januar 2013

Im Auftrag

Bearbeiter

  
\_\_\_\_\_  
Dipl.-Ing. H. Rahlf

  
\_\_\_\_\_  
Dr.-Ing. U. Vierfuß