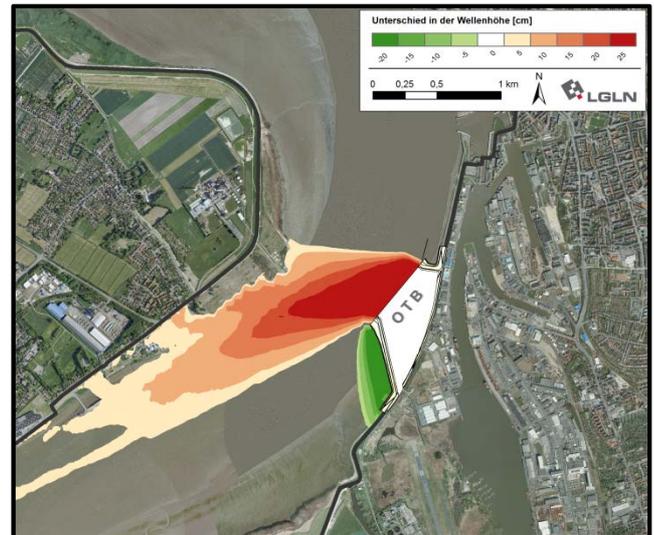
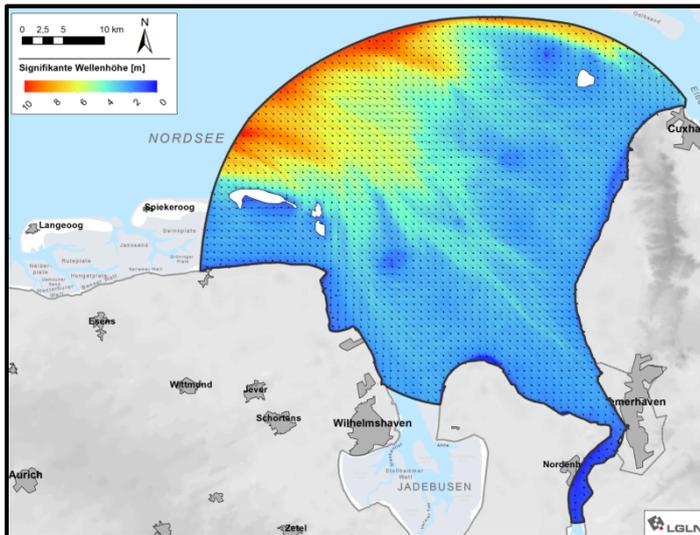




Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
-Forschungsstelle Küste-



Markus Witting, Maike Kuhn & Cordula Berkenbrink

Überprüfung der Sturmflutsicherheit im Einflussbereich des geplanten Offshore-Terminals Bremer- haven



Niedersachsen

Herausgeber:

Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)
Geschäftsbereich Gewässerbewirtschaftung und Flussgebietsmanagement
-Forschungsstelle Küste-
2014

Titelblatt: links: Signifikante Wellenperiode im Modellgebiet [m]
rechts: Unterschied in der Wellenhöhe verursacht durch den OTB

NLWKN - Forschungsstelle Küste
An der Mühle 5, 26548 Norderney
Tel.: 04932-916-0
Fax: 04932-1394
E-mail: postfach@nlwkn-ny.niedersachsen.de

**NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR
WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ
Betriebsstelle Norden-Norderney
-Forschungsstelle Küste-**

Markus Witting, Maike Kuhn & Cordula Berkenbrink

**Überprüfung der Sturmflutsicherheit im Einflussbereich
des geplanten Offshore-Terminals Bremerhaven**

Norderney, im August 2014
Endfassung November 2014
(ersetzt den Stand von August und Oktober 2014)

Dezernent
Forschungsstelle Küste



Dr.- Ing. Andreas Wurpts

Aufgabenbereichsleiterin
Küsteningenieurwesen



Dipl.- Ing. Cordula Berkenbrink.

Überprüfung der Sturmflutsicherheit im Einflussbereich des geplanten Offshore-Terminals Bremerhaven

Markus Witting, Maike Kuhn & Cordula Berkenbrink

Inhaltsverzeichnis

1. Veranlassung	2
2. Das Untersuchungsgebiet.....	2
3. Bemessungswasserstand	3
4. Bemessungsseegang	4
4.1. Modellbildung.....	4
4.2. Modelltopographie	5
4.3. Randbedingungen.....	6
4.4. Berücksichtigung des Offshore-Terminals.....	7
4.5. Ergebnisse.....	8
5. Bemessungswellenauflauf und Freibord	11
6. Rechnerische Bestickhöhe.....	12
7. Zusammenfassung und Empfehlungen	13
8. Literatur	14
9. Abkürzungen und Symbole	16

1. Veranlassung

Die Bremenports GmbH & Co KG plant die Realisierung eines Offshore-Terminals im Süden von Bremerhaven in der Weser als Schwerlast-, Montage- und Umschlagsanlage für den wachsenden Markt der Offshore-Windenergieindustrie. In diesem Zusammenhang ist zu überprüfen welchen Einfluss der am Prallhang des Blexer Bogens geplante Terminal auf den Seegang und damit auf die Sturmflutsicherheit der angrenzenden Gebiete hat.

Die Forschungsstelle Küste im NLWKN wurde am 04.03.2014 von der Bremenports GmbH & Co KG beauftragt die Bestickhöhen der im Einflussbereich des OTB liegenden Deichabschnitte zu überprüfen. Dies betrifft am rechten Weserufer den Seedeich in Bremerhaven, aber auch auf der niedersächsischen Seite den Bereich Blexen bis Einswarden.

2. Das Untersuchungsgebiet

Die vom OTB beeinflussten Deichstrecken liegen in unmittelbarer Nähe des Bauwerks. Auf der rechten Seite der Weser (Bremerhaven) ist der sich dort befindende Seedeich von den Reflexionen des Bauwerks betroffen. Auch die Deiche am linken Weserufer (Niedersachsen) werden durch die Reflexion des am Prallhang geplanten Bauwerks eine Erhöhung in der rechnerischen Bestickhöhe erfahren. Damit erstreckt sich das Untersuchungsgebiet über den Seedeich am rechten Weserufer und den Blexer Bogen bis nach Nordenham am linken Weserufer (Abb. 1).

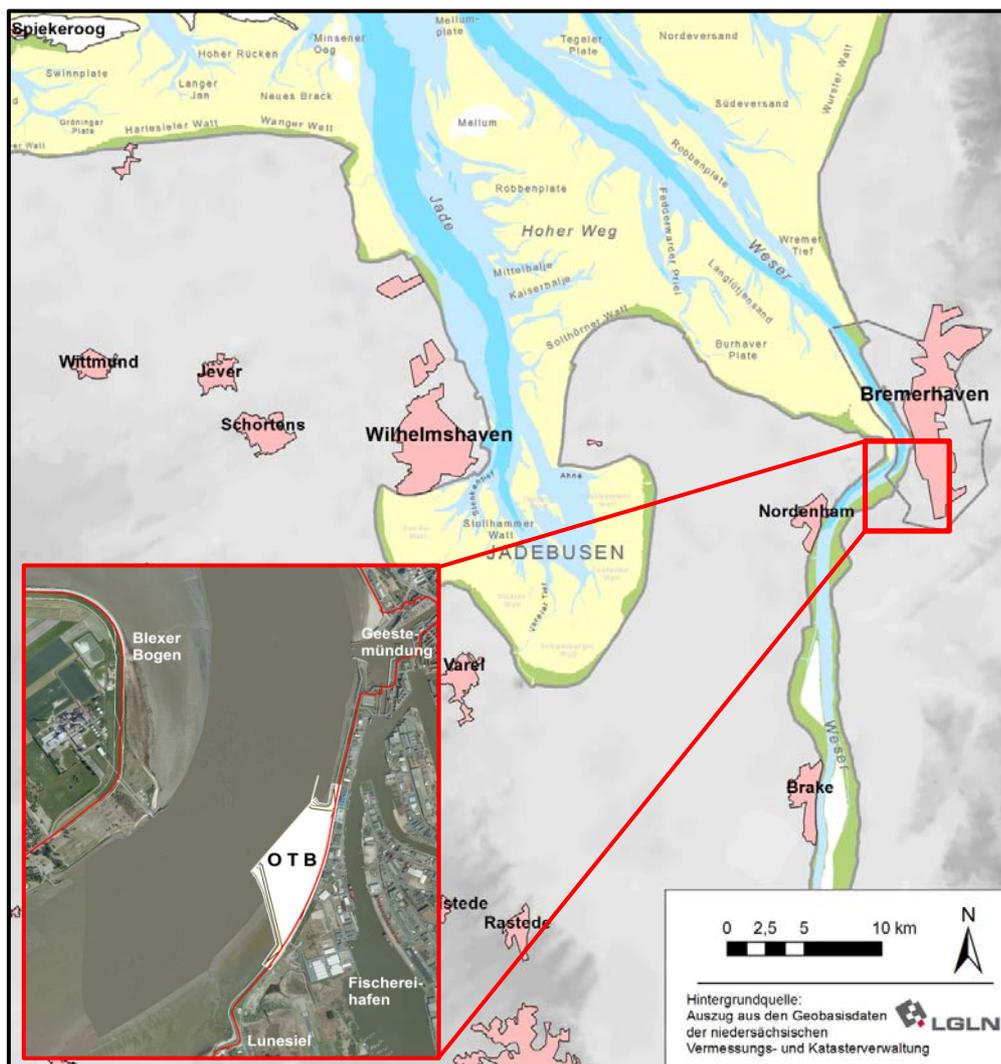


Abb. 1: Untersuchungsgebiet

3. Bemessungswasserstand

Die Bemessungswasserstände (BWSt) des Weserästuars sind zuletzt im Jahre 2008 unter Berücksichtigung des 2007 eingeführten erhöhten Vorsorgemaßes ermittelt worden (NIEMEYER et al. 2008) und sind bis heute aktuell.

Für den Pegel Bremerhaven-Alter Leuchtturm gilt dabei das Einzelwertverfahren, welches in Niedersachsen gemäß Kommentar zum niedersächsischen Deichgesetz (LÜDERS & LEIS 1964) zur Bestimmung des BWSt an der offenen Küste herangezogen wird. Das Einzelwertverfahren sieht die Addition des aktuellen fünfjährigen mittleren Tidehochwassers (MThw), der maximalen Springerhöhung gegenüber dem MThw, des höchsten bisher gemessenen Staus bezogen auf das seinerzeitige fünfjährige MThw, und des Vorsorgemaßes für säkularen Anstieg und Klimaänderung vor, derzeit 50 cm/Jahrhundert (Abb. 2).

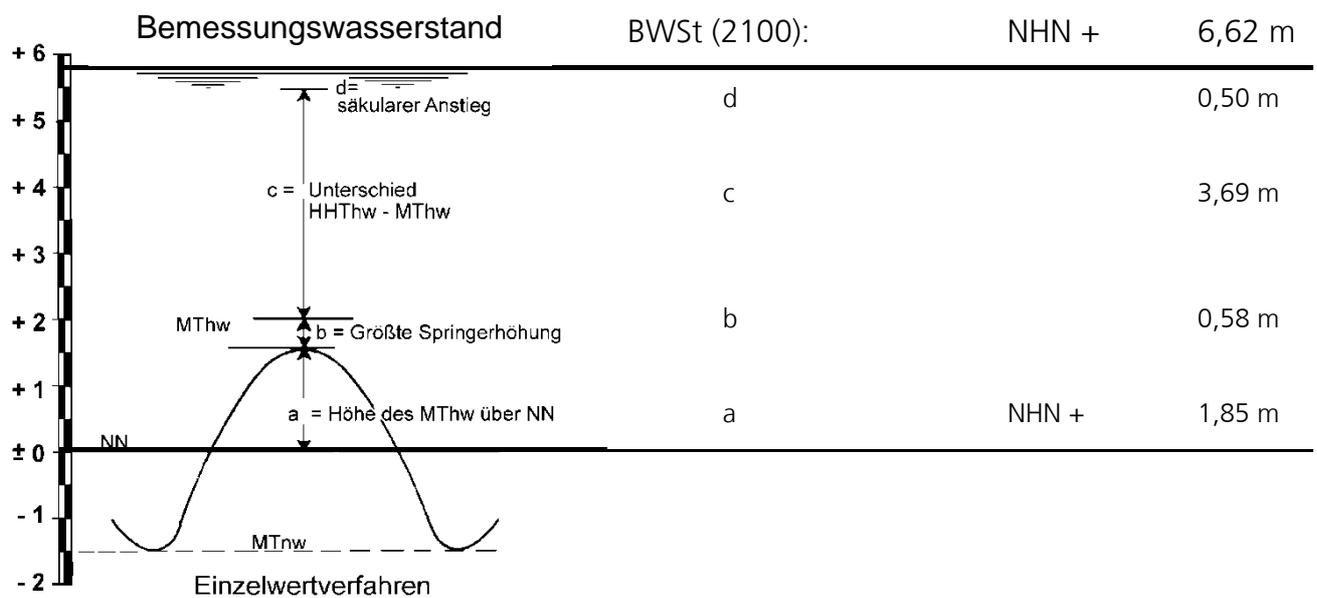


Abb. 2: Bemessungswasserstand nach dem Einzelwertverfahren (LÜDERS & LEIS 1964) für den Pegel Bremerhaven-Leuchtturm

Die Bemessungswasserstände im Ästuar wurden analog zu den Untersuchungen der Sturmflutsicherheit an der Unterweser 2003 und 2008 (NIEMEYER et al. 2003a, NIEMEYER et al. 2003b, NIEMEYER et al. 2008, KNAACK et al. 2006) für die aktuelle Topografie mittels hydrodynamischer Modellierung ermittelt. Dabei wurde eine abgestufte Vorgehensweise mit einer schrittweisen Verkleinerung der Modellgebiete und einer Verfeinerung der räumlichen Auflösung gewählt. Die großräumige Sturmflutsituation wird hierbei mit dem kontinentalen Schelfmodell (VERBOOM et al. 1992) über das Deutsche-Bucht-Modell (WL|Delft HYDRAULICS 1997) an das Jade-Weser-Modell (HARTSUIKER 2003; KNAACK et al. 2006) übergeben.

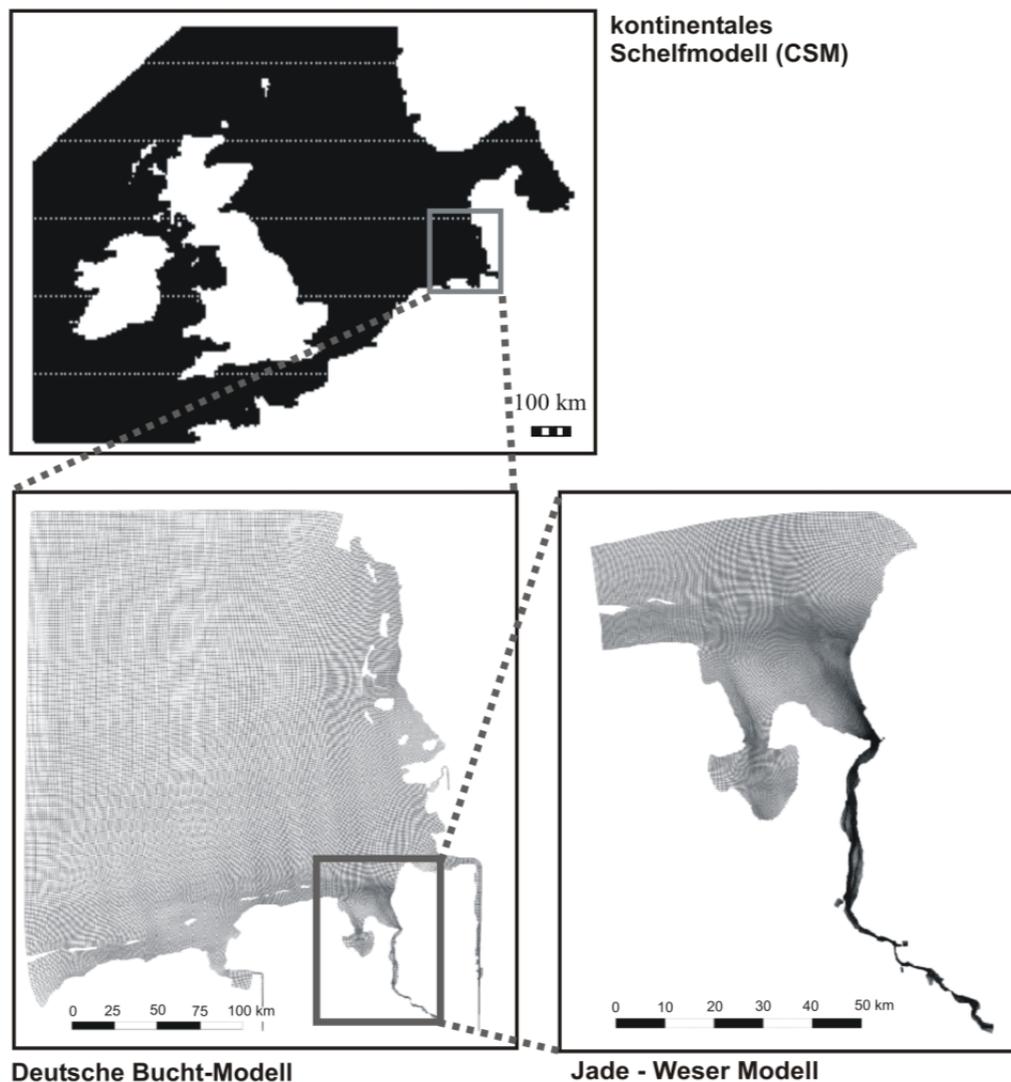


Abb. 3: Modellkaskade

Die gekoppelten Modelle wurden anhand gelaufener Sturmfluten kalibriert und daraufhin durch eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit und des Wasserstandes dahingehend modifiziert, dass der Scheitelwert der Bemessungsturmflut mit dem Bemessungswasserstand in Bremerhaven Alter-Leuchtturm übereinstimmt. Dabei wird ein Oberwasser mit $Q_0=2000 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Intschede zu Grunde gelegt, was in Übereinstimmung mit dem Vorgehen an der Unterems einem Wert von etwa $0,58 \cdot \text{HQ}$ entspricht (NIEMEYER 1997). Im Einflussbereich des OTB ergeben sich Bemessungswasserstände in der Höhe von NHN +6,62 bis +6,67 m.

4. Bemessungsseegang

4.1. Modellbildung

Der Bemessungsseegang für See- und Ästuardeiche in Niedersachsen wird nach einer bewährten Vorgehensweise (NIEMEYER & KAISER 2001, NIEMEYER 2001) mit Hilfe mathematischer Modellierungen ermittelt. Als Werkzeug dient das vollspektrale Seegangmodell SWAN (Simulating Waves Nearshore) der 3. Generation (RIS 1995, HOLTHUIJSEN 1998, BOOIJ 1999). Das Modell wird an Deichstrecken der niedersächsischen Küste mit Erfolg zur Bestimmung des Bemessungsseegangs eingesetzt (WITTING et al. 2007, NIEMEYER et al. 2003a, NIEMEYER et al. 2003b, NIEMEYER et al. 2008, ELSEBACH et al. 2010).

Die Modellierung erfolgt mit einem Modell der Außenweser vom Küstenvorfeld bis Kleinensiel mit 577 x 257 Rechenknoten und einer stromauf feiner werdenden Auflösung, die von 500 m im Seegebiet auf 20 m im Bereich Bremerhaven zunimmt. Das Seegangmodell besitzt ein gekrümmt-lineares Modellgitter (Abb. 4).

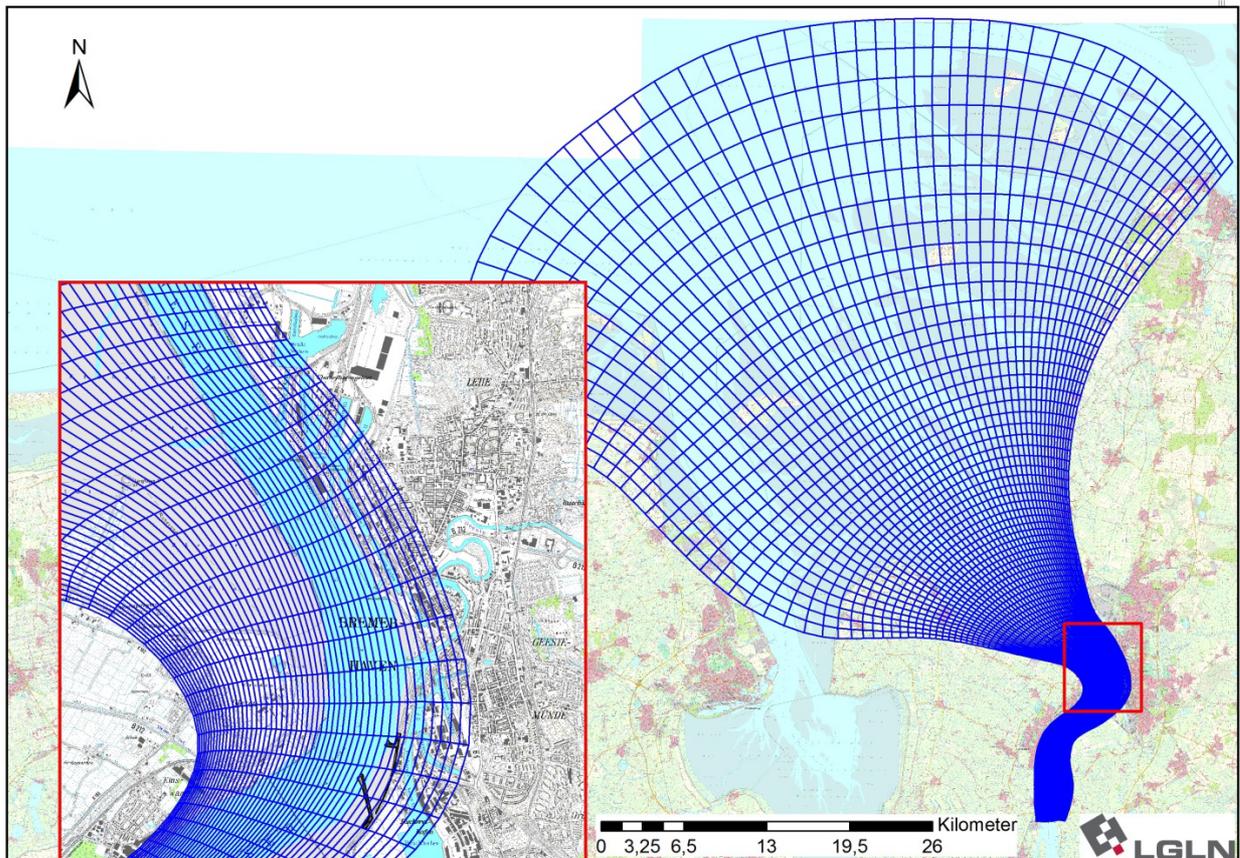


Abb. 4: Struktur des Gitternetzes für das Seegangmodell in fünffacher Vergrößerung

Die Seegangparameter werden an 65 Ausgabepunkten am rechten und an 81 Ausgabepunkten am linken Weserufer ermittelt. Die Ausgabepunkte liegen 70 m seawärts der Deichlinie in einem Abstand von 50 m.

4.2. Modelltopographie

Die Grundlage der Modelltopographie bilden Digitale, numerische Modelle der Geländehöhen und -formen der Vorländer, der Wasserwechselzone und des Gewässerbettes, einschließlich der Wattflächen und Priele aus dem DGM-W Datensatz der Elbe aus 2010 vom Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg, aus dem DGM-W Datensatz der Unter- und Außenweser aus 2012 vom Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven sowie aus dem DGM-W Datensatz der Jade aus 2012 vom Wasser- und Schifffahrtsamt Wilhelmshaven und der Forschungsstelle Küste im NLWKN (Abb. 5). Ergänzend zur den beschriebenen DGM-W Datensätzen wurden vorhandene Datenlücken mit Gewässerbettdatensätzen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie geschlossen.

Die topografischen Daten aus den genannten Quellen wurden mit Hilfe eines Geografischen Informationssystems aufbereitet und zu einem homogenen Datensatz ohne Überschneidungen zusammengesetzt, wobei an den Grenzen naturähnliche Übergänge geschaffen wurden. Dies gilt vor allem für Strukturelemente wie Priele und Ränder von Salzwiesen. Aktuellste und hoch

aufgelöste Datensätze wurden dabei bevorzugt. Auf Basis dieser Daten wurden die Höhen auf die Gitterpunkte des Modells interpoliert und so eine Modelltopographie generiert.

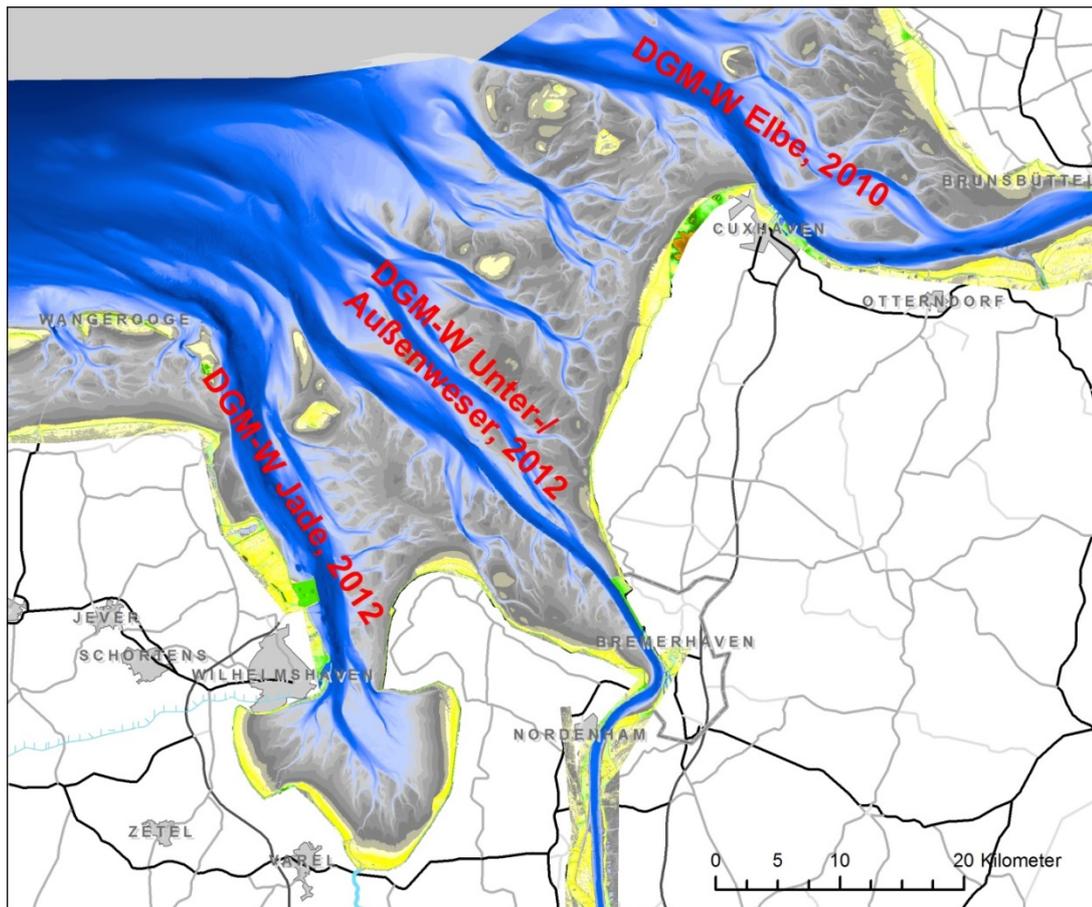


Abb. 5: Topografische Grundlage des mathematischen Modells

4.3. Randbedingungen

Entsprechend dem Vorgehen der vorangegangenen Untersuchungen zur Überprüfung der Sturmflutsicherheit (NIEMEYER et al. 2003a, NIEMEYER et al. 2003b, NIEMEYER et al. 2008) wird das Modell am seeseitigen Rand durch ein vorgegebenes Spektrum (Abb. 6) angetrieben, das den Randbedingungen entspricht, die bei Eintritt des Bemessungswasserstandes herrschen (NIEMEYER 2001, NIEMEYER & KAISER 2001). Für die Anfachung des von See her einschwingenden Seegangs wurde im Modell ein Windfeld mit einer räumlich differenzierten Windgeschwindigkeit angesetzt. Dabei wird auf der offenen Nordsee eine Windgeschwindigkeit $u = 30$ m/s erreicht, welche sich landeinwärts etwas abschwächt. Es wurde der Seegang für Wind aus der Richtung 270°

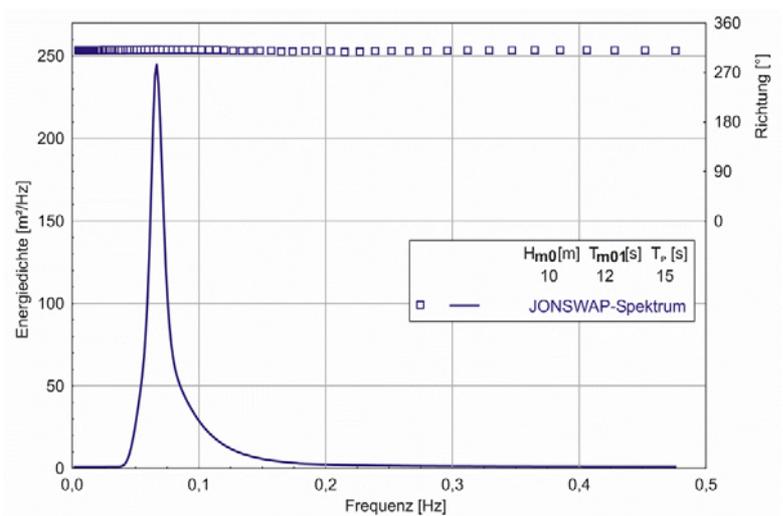


Abb. 6: Spektrum im Küstenvorfeld als Randbedingungen für das Seegangsmodell bei Nordwestwind (315°)

(West), 292,5° (Westnordwest) und 315° (Nordwest) modelliert, die den stauwirksamsten Sektor für das Untersuchungsgebiet bilden.

Aus dem hydrodynamischen Modell wurde für den Zeitpunkt des Sturmflutscheitels bei Bremerhaven das momentane Strömungsfeld im Modellgebiet des Seegangmodells für die Seegangmodellierung berücksichtigt, da sie in Folge der Kenterpunktverschiebung beim Eintritt des Sturmflutscheitels nicht vernachlässigbar klein ist.

4.4. Berücksichtigung des Offshore-Terminals

Neben den Veränderungen des Strömungsfeldes durch den OTB hat die Reflexion des Seegangs am Bauwerk einen entscheidenden Einfluss auf den Seegang und damit auf die Bestickhöhen der angrenzenden und gegenüberliegenden Deiche. Für die Westseite des OTB wurde eine nahezu vollständige Reflexion des Seegangs angenommen, da diese Seite gemäß den Planungsunterlagen aus senkrechten Stahlpundwänden besteht. Der Reflektionskoeffizient wird dort mit $K_r = 0,98$ im Modell angesetzt.

Die Ermittlung der Reflektionskoeffizienten für die Nord-, und Südseite des OTB erfolgt mit einem Ansatz für gegliederte Böschungen (ZANUTTIGH 2007):

$$K_r = \tanh(a \cdot \xi_{m-1,0}^b)$$

Wobei für $a=0,16$ und $b=1,43$ angesetzt wurde (ZANUTTIGH 2007) und $\xi_{m-1,0}$ für die Irribarrenzahl unter Verwendung der Wellenperiode $T_{m-1,0}$ steht. Für die Bemessungsturmflut ist der obere Böschungsabschnitt für die Reflexion maßgeblich, weshalb lediglich dessen Neigung in die Ermittlung des Reflektionskoeffizienten eingehen.

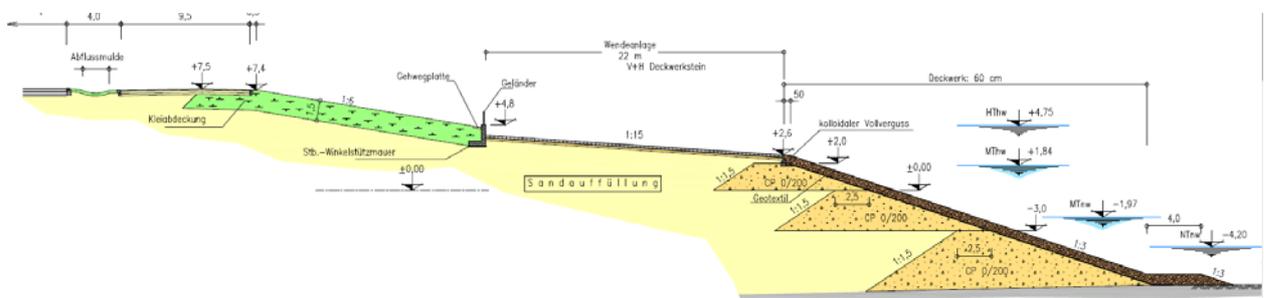


Abb. 7: Querschnitt des Norddamms (Planunterlage 5.08 Querschnitte und Detailpläne)

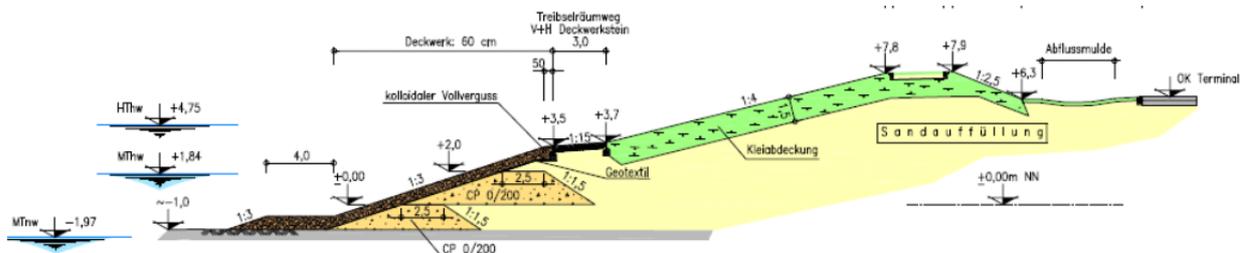


Abb. 8: Querschnitt des Süddamms (Planunterlage 5.08 Querschnitte und Detailpläne)

Tab. 1: Übersicht über die Reflexionskoeffizienten des Offshore-Terminals und dessen Böschungen

Flanke OTB	K_r
Norddamm	0,12
Westseite (Kaje)	0,98
Süddamm	0,30

4.5. Ergebnisse

Der von der Nordsee einschwingende Seegang prägt das Seegangsklima im Bemessungsfall trotz erheblicher Energieumwandlung im Küstenvorfeld bis in den Bereich Blexen-Bremerhaven, was hier anhand der Windrichtung Nordwest dargestellt wird (Abb. 9). Über die tiefen Rinnen der Außenweser breiten sich Wellen mit spektralen signifikanten Wellenhöhen H_{m0} von anderthalb Metern und höher in das Untersuchungsgebiet aus. Dabei wird eine Richtungsänderung durch Refraktion an den flachen Uferbereichen vor dem Blexer Groden beobachtet, was dort auch zu einer lokalen Vergrößerung der Wellenhöhe (Abb. 9) führt. Vor der Westkaje des OTB sind die Wellen erhöht – eine Folge der Reflektion des Seegangs an den senkrechten Kajenwänden. Südlich des geplanten OTB dominiert durch die Richtungsänderung des Weserverlaufs der lokal angeregte Seegang.

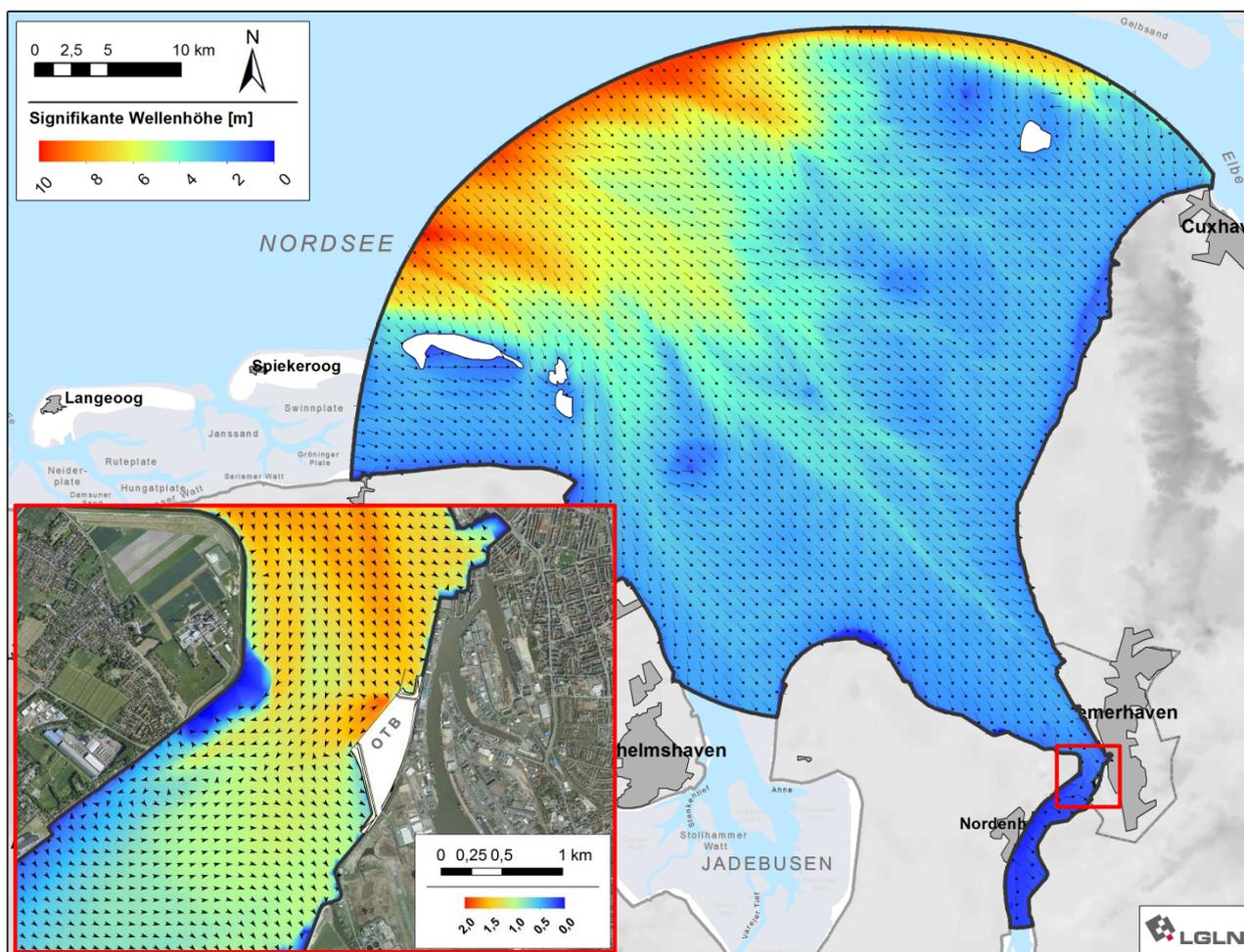


Abb. 9: Wellenhöhe H_{m0} und mittlere Wellenangriffsrichtung bei Nordwestwind (315°)

Auch die Energieperioden laufen mit großer Länge von mehr als vier Sekunden bis in den Bereich von Blexen ein, während sie am Bremerhavener Ufer bereits geringfügig kürzer sind (Abb. 10).

Seegang mit längeren Perioden pflanzt sich am Ostufer bis zum OTB fort, am Westufer etwa bis in den Bereich des Fähnanlegers an der B 212. Stromauf dieses Bereichs folgt – wie bereits bei Wellenhöhen und –richtungen erkennbar – der Bereich der durch lokal generierten Seegang dominiert ist.

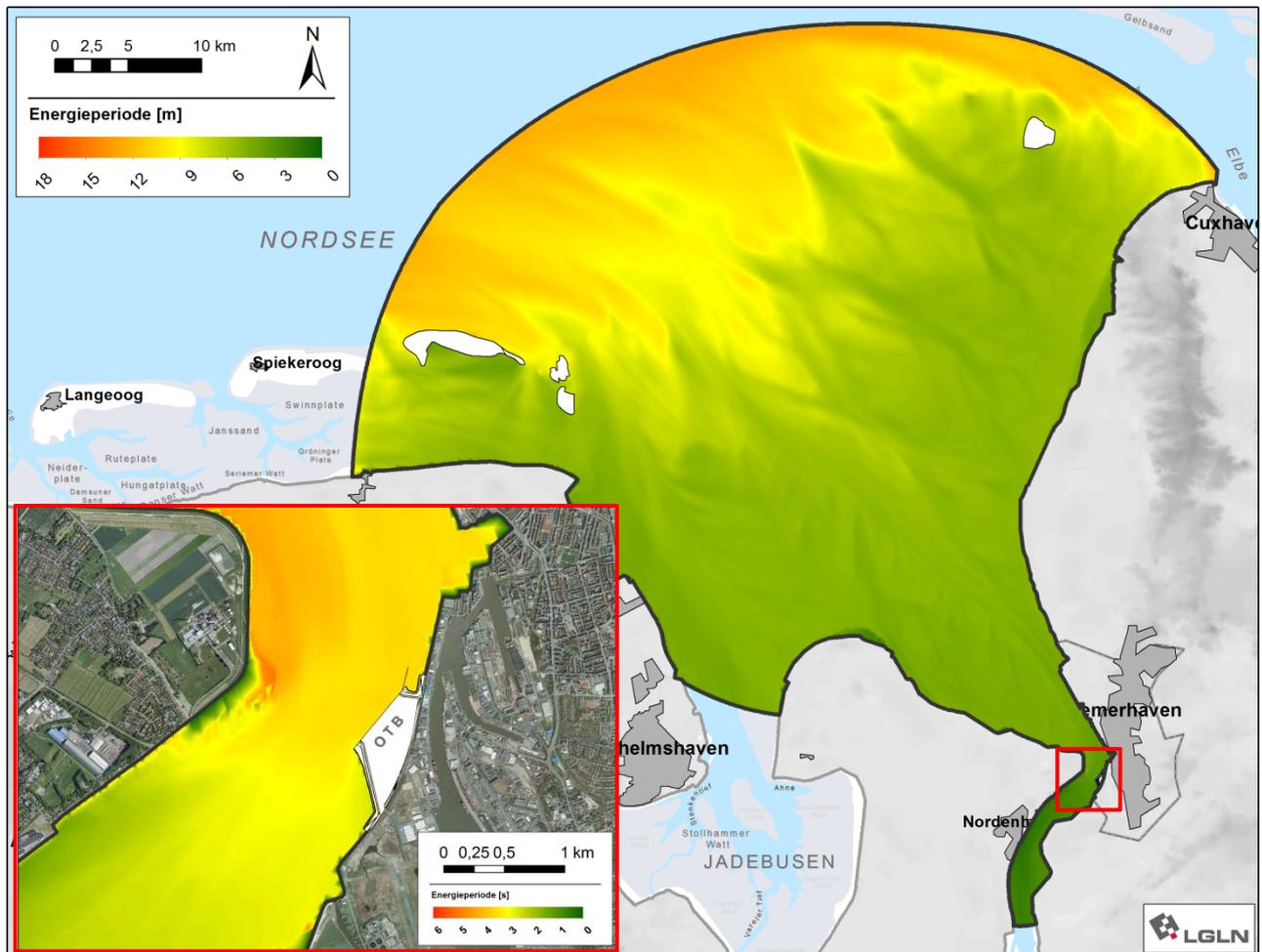


Abb. 10: Wellenperiode $T_{m-1,0}$ des Bemessungsseegangs bei Nordwestwind (315°)

Der Einfluss des OTB auf den Bemessungsseegang ist nachfolgend als Differenz der Seegangparameter aus den Ergebnissen der durchgeführten mathematischen Modellierungen des Ausgangszustands und des geplanten Zustandes dargestellt. Die Ergebnisse der Modellierungen mit Westnordwestwind ($292,5^\circ$) werden nicht dargestellt, da diese Windrichtung für die hier untersuchten Uferabschnitte nicht bemessungsrelevant ist.

Bei Nordwestwind ist deutlich die Reflektion des Seegangs an der Kajenseite des OTB zu erkennen. Diese führt zur Vergrößerung der Wellenhöhen um bis zu 15 cm am gegenüberliegenden Westufer (Abb. 11). Eine geringfügige Abnahme der Wellenhöhe ist südlich des OTB zu verzeichnen, weil dieser dort einen Wellenschatten wirft. Auch nördlich des Bauwerks ist eine sehr geringe Abnahme infolge der Dissipation von Wellenenergie auf der Nordböschung des OTB erkennbar.

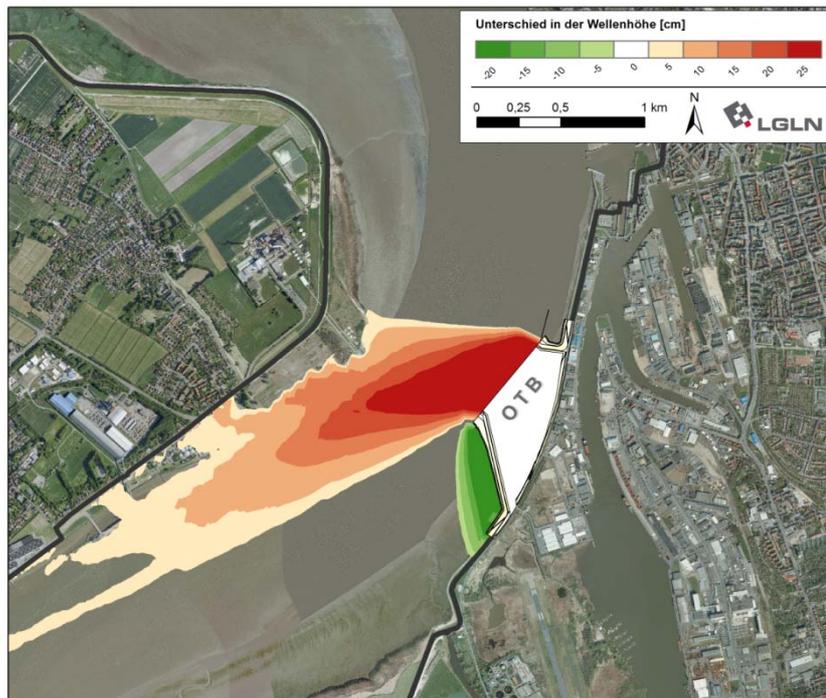


Abb. 11: Einfluss des OTB auf die Wellenhöhe H_{m0} bei Nordwestwind (Differenz OHNE OTB - MIT OTB)

Bei Westwind verschiebt sich der vom OTB beeinflusste Bereich am linken Weserufer. Dieser erstreckt sich dann vom Nordufer des Blexer Grodens bis zur Fähranlegestelle an der B 212 (Abb. 12). Allerdings ist die Erhöhung von H_{m0} an diesem Uferbereich räumlich kleiner als bei Nordwestwind, erreicht aber ebenfalls Werte von bis zu 15 cm. Bei Westwind wirft der geplante OTB auch nördlich des Norddamms einen Wellenschatten, was dort zu einer lokalen Verringerung der Wellenhöhen führt. Dieser Effekt ist südlich des Bauwerks bei der hier untersuchten Windrichtung nicht mehr so ausgeprägt wie bei Nordwestwind, hier wirkt lediglich die Energiedissipation auf der Südböschung leicht verringernd auf die Wellenhöhe (Abb. 12).

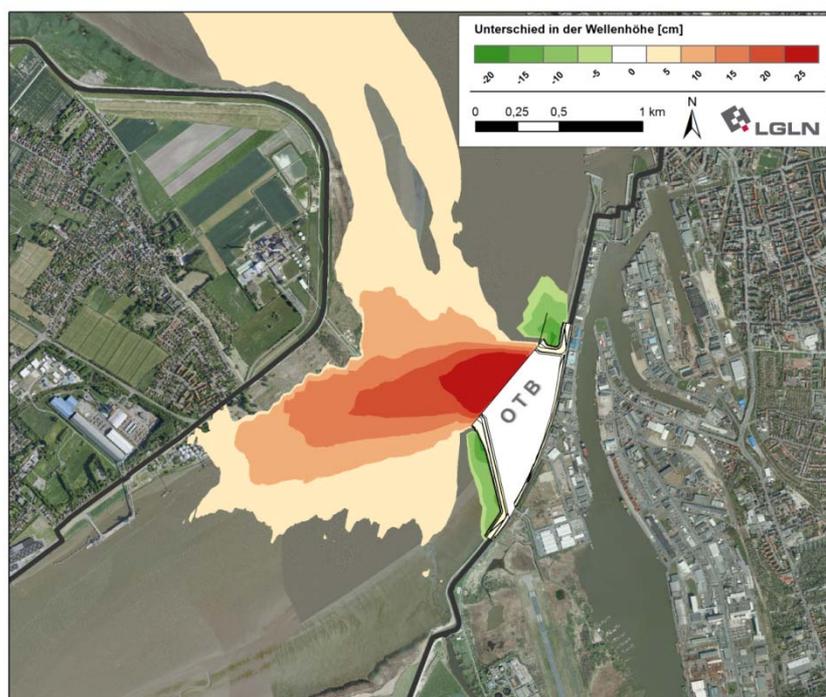


Abb. 12: Einfluss des OTB auf die Wellenhöhe H_{m0} bei Westwind

Analog zur oben dargestellten räumlichen Verteilung des Einflusses auf die Wellenhöhen verhält sich auch die Energieperiode. Jedoch ist der Einfluss so gering, dass sie sich am linken Weserufer im Rahmen der Modellungenauigkeit bewegt. Auf der rechten Seite der Weser erfahren die Energieperioden am Deich vom Blexer Groden bis Friedrich-August-Hütte noch eine Erhöhung von bis zu 0,3 s.

5. Bemessungswellenauflauf und Freibord

Der Bemessungswellenauflauf bei Deichen wird in Niedersachsen in Wahrung der mittelbaren Vorgabe des Niedersächsischen Deichgesetzes zur gleichen Sicherheit bei der Bemessung in seinem Geltungsbereich nach einheitlichen Verfahren ermittelt, die dem Stand der Technik und der Wissenschaft entsprechen (NIEMEYER 2001). Der Bemessungswellenauflauf wird aus den Parametern spektrale signifikante Wellenhöhe H_{m0} , Energieperiode T_e bzw. $T_{m-1,0}$, mittlere Wellenrichtung des Bemessungsseegangs und der Neigung der Deichaußenböschung $\tan \alpha$ ermittelt (NIEMEYER 2001). Dabei wird ein für die niedersächsischen Gegebenheiten modifiziertes Verfahren (VAN GENT 1999) für die Berechnung des Aufbaus (A_{97}) mit einer Überlauftoleranz von 3 % benutzt:

$$A_{97} = 1,62 \cdot \sqrt{\frac{g}{2\pi}} \cdot H_{m0} \cdot T_{m-1,0} \cdot \tan \alpha \cdot \gamma_R$$

Der schräge Wellenangriff wird über den Winkel β als Differenz der mittleren Wellenrichtung zur Deichnormalen über den Ansatz von VAN DER MEER & DE WAAL (1993) berücksichtigt:

$$\gamma_R = 1 - 0,0022 \cdot \beta$$

Am linken Weserufer befinden sich Abschnitte mit senkrechten Uferschutzmauern bzw. Kajen, dort wird die Höhe des Freibords ermittelt mit dem Ansatz (MÜHLESTEIN 1993)

$$F_b = (0,041 \cdot H_{m0} - 0,003) \cdot \Delta$$

mit

$$45^\circ \leq \Delta \leq 70^\circ$$

und

$$\Delta = 45^\circ \text{ für } \Delta < 45^\circ \quad \text{und} \quad \Delta = 70^\circ \text{ für } \Delta > 70^\circ.$$

Tab. 2: Beschaffenheit des linken Weserufers - Berechnungsansatz

Deichkilometer	Beschaffenheit / Berechnungsansatz
Linkes Weserufer	
353,00 - 358,71	Deich / Wellenauflauf
358,82 – 359,52	Wand / Freibordberechnung
359,57 – 360,11	Deich / Wellenauflauf
360,17 – 361,62	Wand / Freibordberechnung
361,67 – 361,97	Deich / Wellenauflauf
Rechtes Weserufer	
Bremerhaven Seedeich	Deich / Wellenauflauf

6. Rechnerische Bestickhöhe

Die rechnerischen Bestickhöhen ergeben sich aus der Addition von Bemessungswasserstand und Bemessungswellenauflauf bzw. –freibord. Der Einflussbereich des OTB am rechten Weserufer bezieht sich auf den Abschnitt Seedeich, der als reiner Deichkörper ohne Sturmflutschutzwände ausgeführt ist. Für die rechnerische Bestickhöhe werden sowohl die derzeitigen Verhältnisse für die Neigung der Deichaußenböschung angesetzt (IST) als auch die laut Vorhabensbeschreibung geänderten Neigungen auf durchgängig 1:6 (PLAN) angesetzt (Abb. 13).

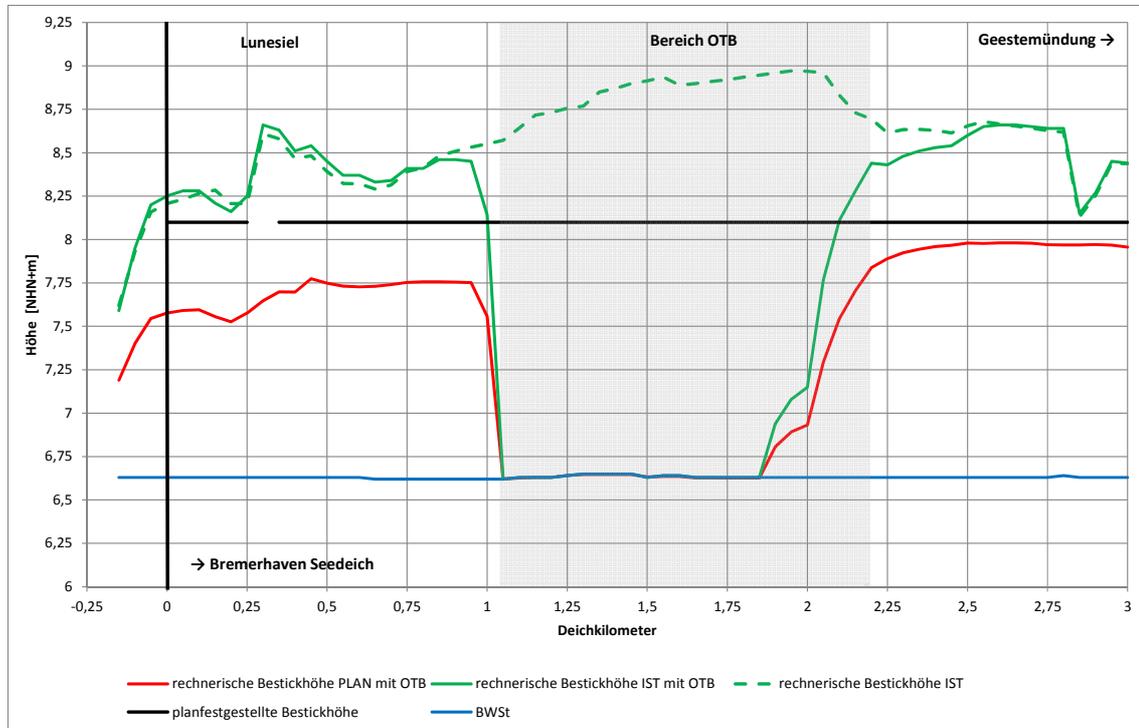


Abb. 13: Rechnerische Bestickhöhe am Seedeich in Bremerhaven

Der Einfluss des OTB ist für den IST Zustand gezeigt. Im unmittelbaren Nahbereich hat er eine seegangsabschwächende und damit den Wellenauflauf reduzierende Wirkung auf den Seedeich (Abb. 13). Südlich vom OTB in Richtung Lunesiel stellt sich eine geringfügige Erhöhung um bis zu 5 cm ein. Die geplante Deichhöhe mit der geplanten Neigung von 1:6 ist auch unter dem Einfluss des OTB ausreichend.

Durch den an der Kajenseite des OTB reflektierenden Seegang erhöht sich das rechnerische Bestick am linken Weserufer an der Südspitze des Blexer Grodens deutlich. Bereits vor Einswarden ist der Einfluss so weit abgeklungen, dass die Unterschiede meist weniger als 5 cm betragen.

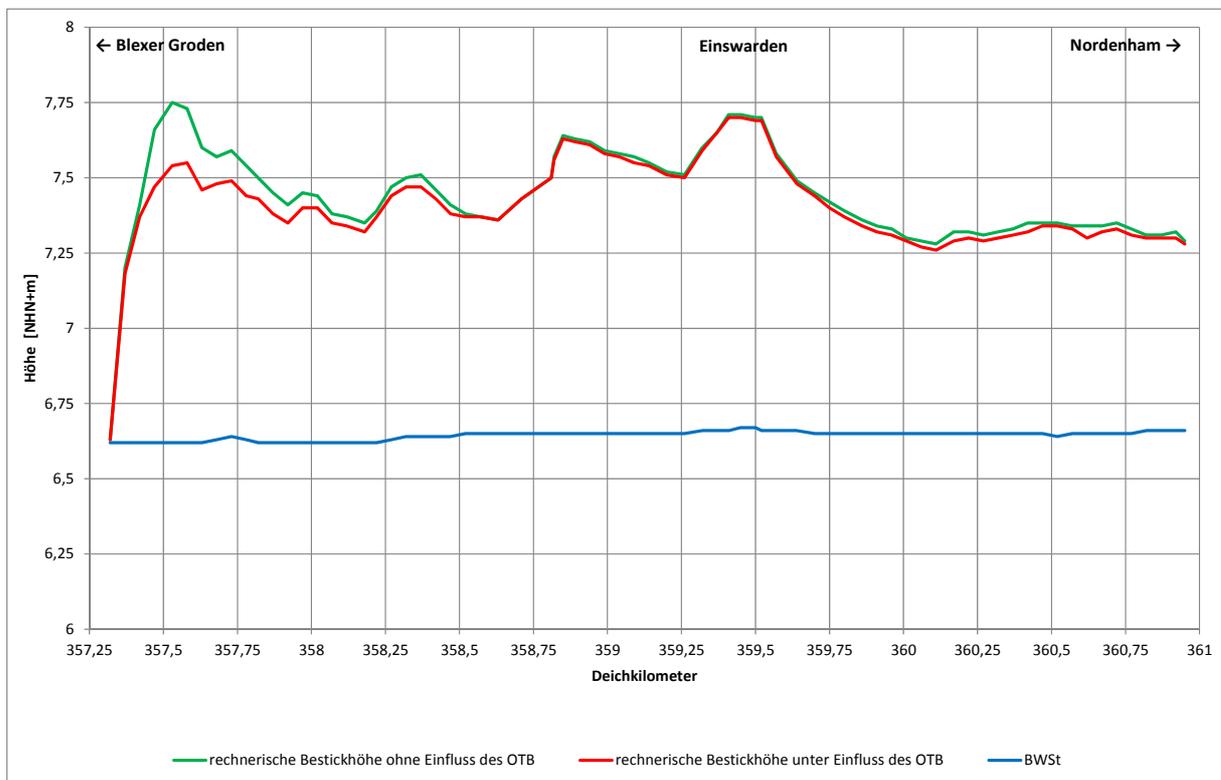


Abb. 14: Rechnerische Bestickhöhen am linken Weserufer

7. Zusammenfassung und Empfehlungen

Eine Ermittlung des rechnerischen Besticks für die Weserdeiche im Bereich des geplanten OTB und am gegenüberliegenden linken Weserufer erfolgte zuletzt im Jahre 2008 (NIEMEYER et al. 2008) unter den aktuell geltenden Randbedingungen. Basierend auf der Vorgehensweise dieser Untersuchung sind Modellierungen vorgenommen worden, die den Einfluss des OTB auf die Sturmflutsicherheit der angrenzenden Deiche quantifizieren.

Für das rechte Weserufer ergeben sich Erhöhungen des rechnerischen Besticks im Bereich von bis zu 5 cm. Für den dort geplanten Deichneubau ergibt sich auch mit dem Einfluss des OTB kein Gefährdungspotential, die rechnerischen Bestickhöhen liegen dort durchgehend unter der geplanten Kronenhöhe von NHN +8,10 m.

Das linke Weserufer wird von dem Seegang beaufschlagt, der von den Kajen des OTB reflektiert wird. Eine Zunahme des rechnerischen Besticks von bis zu 20 cm ist auf einen kurzen Abschnitt südlich des Blexer Grodens beschränkt. Dadurch ist ein maßgeblicher Teil des Vorsorgemaßes verbraucht, weswegen ein Vergleich mit den dort vorhandenen IST-Höhen notwendig ist.

8. Literatur

- BOOIJ, N.; RIS, R.C.; HOLTHUIJSEN, L.H. (1999): A Third-Generation Wave Model for Coastal Regions. Part I, Model Description and Validation, *J. Geophys. Research*, 104, C4
- ELSEBACH, J., KAISER, R., KNAACK, H. NIEMEYER, H.D. (2010): Ermittlung von Bemessungssee-
gang und –wellenauflauf für die Deiche am Ems-Dollart-Ästuar. Forschungsbericht 03/2010
NLWKN-Forschungsstelle Küste (unveröff.)
- HARTSUIKER, G. (2003): Tidal model Weser estuary. Alkyon Report A 589 (unveröff.)
- HOLTHUIJSEN, L.H., RIS, R.C. & BOOIJ, N. (1998): A Verification of the Third-generation Model
"SWAN". 5th Int. Worksh. Wave Hindcast. & Forecast.; Melbourne / Fl. USA
- KNAACK, H., KAISER, R., HARTSUIKER, G., MAYERLE, R., NIEMEYER, H.D. (2006): Ermittlung der
Bemessungswasserstände für die Unterweser mit mathematischen Modellen, Forschungsbe-
richt 01/06 NLWKN-Forschungsstelle Küste (unveröff.)
- KRAATZ, S. KAISER, R., KNAACK, H., NIEMEYER, H.D.: (2009): Überprüfung der Sturmflutsicher-
heit im Deichverband Land Wursten. Gutachten 02/2009 NLWKN-Forschungsstelle Küste
(unveröff.)
- LÜDERS, K. & LEIS, G. (1964): Nds. Deichgesetz-Kommentar. Verl. Wasser u. Boden, Hamburg
- MÜHLESTEIN, D. (1993): Bemessung von Deichen- südliches Elbufer Dkm 0-25, Niedersachsen.
Danish Hydraulic Institute, Gutacht. f. StWA Lüneburg (unveröff.).
- NIEMEYER, H.D. (1997): Überprüfung der Bestickhöhen von Deichstrecken an der Unterems.
Dienstber. 05/97 NLÖ-Forsch.-Stelle Küste; veröff. in: Niemeyer, H.D. & Kaiser, R.(1999): Un-
tersuchungen zur Deichsicherheit an der Unterems. Arb. Forsch.-Stelle Küste, 13
- NIEMEYER, H.D. (2001): Bemessung von See- und Ästuardeichen in Niedersachsen. *Die Küste*,
Heft 64
- NIEMEYER, H.D. & KAISER, R. (2001): Evaluation of Design Water Levels and Design Wave Run-
up for an Estuarine Coastal Protection Master Plan. Proc. 27th Int. Conf. Coast. Eng., Syd-
ney/ Australia, ASCE, New York
- NIEMEYER, H. D., KAISER, R., KNAACK, H., WITTING, M. (2003a) : Ergebnisse der Untersuchun-
gen zur Sturmflutsicherheit an der Unterweser (Niedersächsischer Teil), Gutachten 09a/2003
NLÖ-Forschungsstelle Küste (unveröff.)
- NIEMEYER, H. D., KAISER, R., KNAACK, H., WITTING, M. (2003b) : Ergebnisse der Untersuchun-
gen zur Sturmflutsicherheit an der Unterweser (Bremerhaven und Bremen), Gutachten
09a/2003 NLÖ-Forschungsstelle Küste (unveröff.)
- NIEMEYER, H. D., KAISER, R., KNAACK, H., WITTING, M. (2008) : Ermittlung des rechnerischen
Besticks an der Unterweser bei Berücksichtigung des neu festgesetzten Vorsorgemaßes für
säkularen Anstieg und Klimaänderungen, 4 Kurzgutachten, NLWKN-Forschungsstelle Küste
(unveröff.)
- RIS, R.C., HOLTHUIJSEN, L.H., BOOIJ, N. (1995): A Spectral Model for Water Waves in the Near
Shore Zone. Proc. 24th Intern. Conf. o. Coast. Engng., Kobe/Japan. ASCE, New York
- VAN DER MEER, J.W. & DE WAAL, J.P. (1993): Waterbeweging op taluds. WL|Delft Hydraul.,
Rapp. H 1256
- VAN GENT, M.R.A. (1999): Wave Run-up and Wave Overtopping for Double Peaked Wave Ener-
gy Spectra. WL|Delft Hydraul., Rapp. H 3551
- VERBOOM; G.K.; Ronde, J.G. de; Dijk; R.P. van (1992): A Fine Grid Tidal Flow and Storm Surge
Model of the North Sea. *Continent. Shelf Res.*, Vol. 12

- WITTING, M., KAISER, R., NIEMEYER, H.-D. (2007): Besticküberprüfung im Bereich der 4. Einfahrt Wilhelmshaven, Gutachten 05/2007 NLWKN-Forschungsstelle Küste (unveröff.)
- WL|Delft Hydraulics (1997): Set-up and Calibration of Tidal Flow Models Deutsche Bucht und Dithmarschen Bucht. Rapp. H 1821 (unveröff.)
- ZANUTTIGH, B., van der Meer, J. W. (2007): Wave reflection for composite slopes and oblique waves, Proc. Coastal Structures 2007

9. Abkürzungen und Symbole

Symbol	Bezeichnung	Einheit
A_{97}	= Bemessungswellenauflauf	[m]
BWSt	= Bemessungswasserstand	[NHN +m]
F_b	= Bemessungsfreibord	[m]
H_{m0}	= signifikante (spektrale) Wellenhöhe	[m]
HHThW	= Höchstes Tidehochwasser	[NHN +m]
HQ	= Höchster Abfluss	[m ³ /s]
K_r	= Reflexionskoeffizient	
MThw	= Mittleres Tidehochwasser	[NHN +m]
MTnw	= Mittleres Tideniedrigwasser	[NHN +m]
NHN	= Normalhöhennull	
OTB	= Offshore-Terminal Bremerhaven	
Q_0	= Oberwasserzufluss	[m ³ /s]
$T_{m-1,0} / T_e$	= Energieperiode des Seegangsspektrums	[s]
T_p	= Peakperiode des Seegangsspektrums	[s]
u	= Windgeschwindigkeit	[m/s]
α	= Winkel der Deichaußenböschung	[°]
β	= Winkel der Wellenangriffsrichtung zur Deichnormalen	[°]
Δ	= Winkel der Wellenangriffsrichtung zur Mauerachse	[°]
$\xi_{m-1,0}$	= Irribarenzahl	
γ_R	= Reduktionsfaktor beim Wellenauflauf für schrägen Wellenangriff	[-]
θ	= Mittlere Wellenangriffsrichtung	[°]

Anlage

- a. Rechnerische Bestickhöhe für den Seedeich Bremerhaven unter Berücksichtigung der geplanten Neigung für die Deichaußenböschung (1:6) und des geplanten OTB

Rechtswert	Hochwert	ca. Deich- km	rechnerische Bestickhöhe (PLAN mit OTB) [NHN+m]	Geplante Bestickhöhe [NHN+m]	Anmerkung zur Ortslage
3470930,17	5930892,17	0,00	7,58	8,10	Landesgrenze
3470948,57	5930938,65	0,05	7,59	8,10	
3470952,78	5930950,39	0,10	7,60	8,10	
3470977,98	5930992,76	0,15	7,56	8,10	
3471024,43	5931009,52	0,20	7,53	8,10	
3471071,55	5931026,27	0,25	7,58	8,10	
3471116,21	5931047,59	0,30			Lunesiel
3471126,46	5931093,62	0,35	7,70	8,10	
3471113,64	5931141,84	0,40	7,70	8,10	
3471098,61	5931189,53	0,45	7,77	8,10	
3471084,40	5931237,46	0,50	7,75	8,10	
3471080,81	5931285,93	0,55	7,73	8,10	
3471103,99	5931330,09	0,60	7,73	8,10	
3471135,67	5931368,70	0,65	7,73	8,10	
3471168,76	5931406,18	0,70	7,74	8,10	
3471201,64	5931443,85	0,75	7,75	8,10	
3471234,04	5931481,93	0,80	7,76	8,10	
3471265,80	5931520,54	0,85	7,76	8,10	
3471295,34	5931560,88	0,90	7,76	8,10	
3471324,59	5931601,43	0,95	7,75	8,10	
3471353,85	5931641,98	1,00	7,56	8,10	
3471382,61	5931682,87	1,05	6,62	8,10	OTB
3471409,23	5931725,17	1,10	6,63	8,10	OTB
3471435,57	5931767,66	1,15	6,63	8,10	OTB
3471460,87	5931810,77	1,20	6,63	8,10	OTB
3471485,76	5931854,14	1,25	6,64	8,10	OTB
3471509,71	5931898,01	1,30	6,65	8,10	OTB
3471532,15	5931942,69	1,35	6,65	8,10	OTB
3471554,29	5931987,52	1,40	6,65	8,10	OTB
3471575,99	5932032,55	1,45	6,65	8,10	OTB
3471595,18	5932078,72	1,50	6,63	8,10	OTB
3471613,50	5932125,24	1,55	6,64	8,10	OTB
3471631,22	5932172,00	1,60	6,64	8,10	OTB

Rechtswert	Hochwert	ca. Deich- km	rechnerische Bestickhöhe (PLAN mit OTB) [NHN+m]	Geplante Bestickhöhe [NHN+m]	Anmerkung zur Ortslage
3471648,11	5932219,06	1,65	6,63	8,10	OTB
3471664,95	5932266,14	1,70	6,63	8,10	OTB
3471679,95	5932313,83	1,75	6,63	8,10	OTB
3471694,16	5932361,76	1,80	6,63	8,10	OTB
3471707,43	5932409,97	1,85	6,63	8,10	OTB
3471718,43	5932458,72	1,90	6,81	8,10	OTB
3471727,85	5932507,82	1,95	6,89	8,10	OTB
3471736,62	5932557,04	2,00	6,93	8,10	OTB
3471745,32	5932606,28	2,05	7,29	8,10	OTB
3471754,47	5932655,44	2,10	7,54	8,10	OTB
3471763,63	5932704,59	2,15	7,71	8,10	OTB
3471772,86	5932753,73	2,20	7,84	8,10	OTB
3471781,74	5932802,94	2,25	7,89	8,10	
3471790,29	5932852,20	2,30	7,92	8,10	
3471799,04	5932901,43	2,35	7,94	8,10	
3471809,82	5932950,24	2,40	7,96	8,10	
3471821,09	5932998,95	2,45	7,97	8,10	
3471832,42	5933047,65	2,50	7,98	8,10	
3471844,12	5933096,27	2,55	7,98	8,10	
3471855,41	5933144,97	2,60	7,98	8,10	
3471866,44	5933193,74	2,65	7,98	8,10	
3471877,60	5933242,48	2,70	7,98	8,10	
3471888,32	5933291,32	2,75	7,97	8,10	
3471897,87	5933340,39	2,80	7,97	8,10	
3471906,45	5933389,64	2,85	7,97	8,10	
3471916,04	5933438,71	2,90	7,97	8,10	
3471925,95	5933487,72	2,95	7,97	8,10	
3471935,86	5933536,73	3,00	7,96	8,10	Geestemündung

b. Rechnerische Bestickhöhe für den Seedeich Bremerhaven für den Ausgangszustand mit und ohne Einfluss des OTB

Rechtswert	Hochwert	ca. Deich- km	Neigung Deichböschung 1:x	rechnerische Bestickhöhe IST ohne OTB [NHN+m]	rechnerische Bestickhöhe IST mit OTB [NHN+m]	Anmerkung zur Ortslage
3470930,17	5930892,17	0,00	3,50	8,21	8,25	Landesgrenze
3470948,57	5930938,65	0,05	3,50	8,23	8,28	
3470952,78	5930950,39	0,10	3,50	8,27	8,28	
3470977,98	5930992,76	0,15	3,50	8,29	8,21	
3471024,43	5931009,52	0,20	3,50	8,21	8,16	
3471071,55	5931026,27	0,25	3,50	8,21	8,25	
3471116,21	5931047,59	0,30				Lunesiel
3471126,46	5931093,62	0,35	3,20	8,58	8,63	
3471113,64	5931141,84	0,40	3,40	8,47	8,51	
3471098,61	5931189,53	0,45	3,60	8,48	8,54	
3471084,40	5931237,46	0,50	3,70	8,39	8,45	
3471080,81	5931285,93	0,55	3,80	8,32	8,37	
3471103,99	5931330,09	0,60	3,80	8,32	8,37	
3471135,67	5931368,70	0,65	3,90	8,29	8,33	
3471168,76	5931406,18	0,70	3,90	8,31	8,34	
3471201,64	5931443,85	0,75	3,80	8,39	8,41	
3471234,04	5931481,93	0,80	3,80	8,41	8,41	
3471265,80	5931520,54	0,85	3,70	8,48	8,46	
3471295,34	5931560,88	0,90	3,70	8,51	8,46	
3471324,59	5931601,43	0,95	3,70	8,53	8,45	
3471353,85	5931641,98	1,00	3,70	8,55	8,14	
3471382,61	5931682,87	1,05	3,70	8,57	6,62	OTB
3471409,23	5931725,17	1,10	3,60	8,64	6,63	OTB
3471435,57	5931767,66	1,15	3,50	8,72	6,63	OTB
3471460,87	5931810,77	1,20	3,50	8,73	6,63	OTB
3471485,76	5931854,14	1,25	3,50	8,76	6,64	OTB
3471509,71	5931898,01	1,30	3,50	8,77	6,65	OTB
3471532,15	5931942,69	1,35	3,40	8,85	6,65	OTB
3471554,29	5931987,52	1,40	3,40	8,87	6,65	OTB
3471575,99	5932032,55	1,45	3,40	8,90	6,65	OTB
3471595,18	5932078,72	1,50	3,40	8,91	6,63	OTB
3471613,50	5932125,24	1,55	3,40	8,94	6,64	OTB
3471631,22	5932172,00	1,60	3,50	8,89	6,64	OTB
3471648,11	5932219,06	1,65	3,50	8,90	6,63	OTB

Rechtswert	Hochwert	ca. Deich- km	Neigung Deichböschung 1:x	rechnerische Bestickhöhe IST ohne OTB [NHN+m]	rechnerische Bestickhöhe IST mit OTB [NHN+m]	Anmerkung zur Ortslage
3471664,95	5932266,14	1,70	3,50	8,91	6,63	OTB
3471679,95	5932313,83	1,75	3,50	8,92	6,63	OTB
3471694,16	5932361,76	1,80	3,50	8,94	6,63	OTB
3471707,43	5932409,97	1,85	3,50	8,95	6,63	OTB
3471718,43	5932458,72	1,90	3,50	8,96	6,94	OTB
3471727,85	5932507,82	1,95	3,50	8,97	7,08	OTB
3471736,62	5932557,04	2,00	3,50	8,97	7,15	OTB
3471745,32	5932606,28	2,05	3,50	8,96	7,77	OTB
3471754,47	5932655,44	2,10	3,70	8,83	8,11	OTB
3471763,63	5932704,59	2,15	3,90	8,73	8,28	OTB
3471772,86	5932753,73	2,20	4,00	8,69	8,44	OTB
3471781,74	5932802,94	2,25	4,20	8,61	8,43	
3471790,29	5932852,20	2,30	4,20	8,63	8,48	
3471799,04	5932901,43	2,35	4,20	8,63	8,51	
3471809,82	5932950,24	2,40	4,20	8,63	8,53	
3471821,09	5932998,95	2,45	4,20	8,61	8,54	
3471832,42	5933047,65	2,50	4,10	8,66	8,60	
3471844,12	5933096,27	2,55	4,00	8,68	8,65	
3471855,41	5933144,97	2,60	4,00	8,67	8,66	
3471866,44	5933193,74	2,65	4,00	8,65	8,66	
3471877,60	5933242,48	2,70	4,00	8,64	8,65	
3471888,32	5933291,32	2,75	4,00	8,63	8,64	
3471897,87	5933340,39	2,80	4,00	8,62	8,64	
3471906,45	5933389,64	2,85	5,30	8,13	8,15	
3471916,04	5933438,71	2,90	4,90	8,25	8,27	
3471925,95	5933487,72	2,95	4,40	8,44	8,45	
3471935,86	5933536,73	3,00	4,40	8,44	8,44	

- c. Rechnerische Bestickhöhe für das linke Weserufer vom Blexer Groden bis Nordenham mit und ohne Einfluss des OTB

Rechtswert	Hochwert	Nds. Deich-km	Neigung Deichböschung 1:x	rechnerische Bestickhöhe mit OTB [NHN+m]	rechnerische Bestickhöhe ohne OTB [NHN+m]	Anmerkung zur Ortslage
3469827,93	5932501,41	357,32	4	6,63	6,63	Blexer Groden
3469788,48	5932470,7	357,37	4	7,2	7,18	
3469749,65	5932439,21	357,42	4	7,41	7,37	
3469710,24	5932408,45	357,47	4	7,66	7,47	
3469671,28	5932377,11	357,53	4	7,75	7,54	
3469632,2	5932345,93	357,58	4	7,73	7,55	
3469591,85	5932316,4	357,63	4	7,6	7,46	
3469554,06	5932283,77	357,68	4	7,57	7,48	
3469518,91	5932248,53	357,73	4	7,59	7,49	
3469481,19	5932215,72	357,78	4	7,54	7,44	
3469440,15	5932187,64	357,82	4	7,5	7,43	
3469398,3	5932160,41	357,87	4	7,45	7,38	
3469357,86	5932131,01	357,92	4	7,41	7,35	
3469317,41	5932101,6	357,97	4	7,45	7,4	
3469277,32	5932071,76	358,02	4	7,44	7,4	
3469238,95	5932039,7	358,07	4	7,38	7,35	
3469202,11	5932006,02	358,12	4	7,37	7,34	
3469162,89	5931975,05	358,18	4	7,35	7,32	
3469121,72	5931947,22	358,22	4	7,39	7,37	
3469082,9	5931915,71	358,27	4	7,47	7,44	
3469040,14	5931890,54	358,32	4	7,5	7,47	
3468999,89	5931860,88	358,37	4	7,51	7,47	
3468959,75	5931831,06	358,42	4	7,46	7,43	
3468919,62	5931801,24	358,47	4	7,41	7,38	
3468879,48	5931771,43	358,52	4	7,38	7,37	
3468839,34	5931741,61	358,57	4	7,37	7,37	
3468800,29	5931710,4	358,63	4	7,36	7,36	
3468762,43	5931677,75	358,71	4	7,43	7,43	
3468725,38	5931644,22	358,81	Mauer	7,5	7,5	
3468731,98	5931602,75	358,82	Mauer	7,57	7,56	
3468728,56	5931565,25	358,85	Mauer	7,64	7,63	
3468688,63	5931535,16	358,89	Mauer	7,63	7,62	
3468648,69	5931505,08	358,94	Mauer	7,62	7,61	
3468608,75	5931474,99	358,99	Mauer	7,59	7,58	

Rechtswert	Hochwert	Nds. Deich-km	Neigung Deichböschung 1:x	rechnerische Bestickhöhe mit OTB [NHN+m]	rechnerische Bestickhöhe ohne OTB [NHN+m]	Anmerkung zur Ortslage
3468568,82	5931444,91	359,04	Mauer	7,58	7,57	
3468528,88	5931414,83	359,09	Mauer	7,57	7,55	
3468488,94	5931384,74	359,14	Mauer	7,55	7,54	
3468449,00	5931354,66	359,2	Mauer	7,52	7,51	
3468409,07	5931324,58	359,26	Mauer	7,51	7,5	
3468379,56	5931284,86	359,32	Mauer	7,6	7,59	
3468352,72	5931242,67	359,37	Mauer	7,65	7,65	
3468325,88	5931200,48	359,41	Mauer	7,71	7,7	
3468288,41	5931167,89	359,45	Mauer	7,71	7,7	
3468250,51	5931135,42	359,5	Mauer	7,7	7,69	
3468210,42	5931116,18	359,52	Mauer	7,7	7,69	
3468165,66	5931123,37	359,57	4	7,58	7,57	
3468126,13	5931092,76	359,64	4	7,49	7,48	
3468086,47	5931062,31	359,7	4	7,45	7,44	
3468047,28	5931031,26	359,75	4	7,42	7,4	
3468008,66	5930999,5	359,8	4	7,39	7,37	
3467970,8	5930966,86	359,86	4	7,36	7,34	
3467934,6	5930932,39	359,91	4	7,34	7,32	
3467900,45	5930895,87	359,96	4	7,33	7,31	
3467866,42	5930859,24	360,01	4	7,3	7,29	
3467832,38	5930822,61	360,06	4	7,29	7,27	
3467798,9	5930785,48	360,11	4	7,28	7,26	
3467765,34	5930748,47	360,17	Mauer	7,32	7,29	
3467733,38	5930710,04	360,22	Mauer	7,32	7,3	
3467701,18	5930671,99	360,27	Mauer	7,31	7,29	
3467669,03	5930633,69	360,32	Mauer	7,32	7,3	
3467636,89	5930595,39	360,37	Mauer	7,33	7,31	
3467604,75	5930557,09	360,42	Mauer	7,35	7,32	
3467572,6	5930518,79	360,47	Mauer	7,35	7,34	
3467540,46	5930480,49	360,52	Mauer	7,35	7,34	
3467508,88	5930441,73	360,57	Mauer	7,34	7,33	
3467477,6	5930402,72	360,62	Mauer	7,34	7,3	
3467447,13	5930363,08	360,67	Mauer	7,34	7,32	
3467416,71	5930323,4	360,72	Mauer	7,35	7,33	
3467386,3	5930283,71	360,77	Mauer	7,33	7,31	
3467355,29	5930244,49	360,82	Mauer	7,31	7,3	

Rechtswert	Hochwert	Nds. Deich-km	Neigung Deichböschung 1:x	rechnerische Bestickhöhe mit OTB [NHN+m]	rechnerische Bestickhöhe ohne OTB [NHN+m]	Anmerkung zur Ortslage
3467324	5930205,49	360,87	Mauer	7,31	7,3	
3467292,71	5930166,49	360,92	Mauer	7,32	7,3	
3467260,25	5930129,77	360,95	Mauer	7,29	7,28	
						Siel Friedrich- August-Hütte