



AQUADOT · Ingenieurgesellschaft mbH

Stegananlage Fuhlendorf

Gutachten zur Ermittlung der Seegangbelastung an der geplanten Anlage



Lageplan Projekt Stegananlage Fuhlendorf, FHG floating house GmbH, Berlin

Hamburg, 1. Februar 2018

Auftraggeber: FHG floating house GmbH, Berlin

AQUADOT Ingenieurgesellschaft mbH – Wasserbau und Küsteningenieurwesen

Prof. Dr.-Ing. Bärbel Koppe

Oberhafenstraße 1

20097 Hamburg

Telefon: 040 – 7421 4904

koppe@aquadot.de

www.aquadot.de

Inhalt

1	Anlass und Aufgabenstellung	1
2	Vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Informationen und Dokumente	1
3	Bodstedter Bodden und Steganlage Fuhlendorf	1
4	Windverhältnisse im Planungsgebiet.....	4
5	Wellenbelastung im Planungsgebiet	6
6	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	8

1 Anlass und Aufgabenstellung

Die FHG floating House GmbH mit Sitz in Berlin plant vor Fuhlendorf im Bodstedter Bodden die Erstellung von Schwimmstegen mit schwimmenden Ferienhäusern, Hausbooten und Gastliegeplätzen. Im Zuge der wasserbaulichen Planung sind die im Planungsgebiet wirkenden relevanten Seegangsbelastungen zur Abschätzung des Erfordernisses eines Wellenschutzes zu ermitteln.

2 Vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Informationen und Dokumente

Die folgenden Informationen wurden vom Auftraggeber bzw. von Dritten für die Erstellung des Gutachtens zur Verfügung gestellt:

- Lageplan Steganlage Fuhlendorf mit Lage der geplanten Hausbootanlage, 15.02.2016, BEP Architekten GmbH Berlin

3 Bodstedter Bodden und Steganlage Fuhlendorf

Der Bodstedter Bodden ist Teil der Darß-Zingster Boddenkette zwischen Rostock und Stralsund in Mecklenburg-Vorpommern mit von West nach Ost dem Saaler Bodden, dem Bodstedter Bodden, dem Barther Bodden und der Grabow. Von der Ostsee wird die Boddenkette durch die rund 45 km lange Halbinsel Fischland-Darß-Zingst getrennt (Abb. 1).

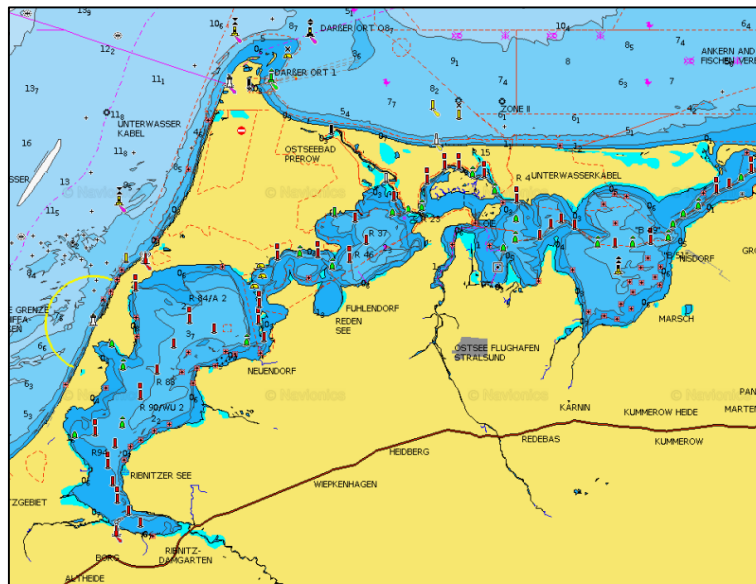


Abb. 1: Fischland-Darß-Zingster Boddenkette mit Bodstedter Bodden und Fuhlendorf¹

Uferlinie und Wassertiefen des Bodstedter Boddens sind in Abb. 2 dargestellt. Die maximalen Wassertiefen liegen bei 3 m. Im Nahbereich des Planungsgebiets der Steganlage Fuhlendorf (Abb. 3) liegen die Wassertiefen bei 1 bis 2 m.

¹ <https://webapp/navionics.com>

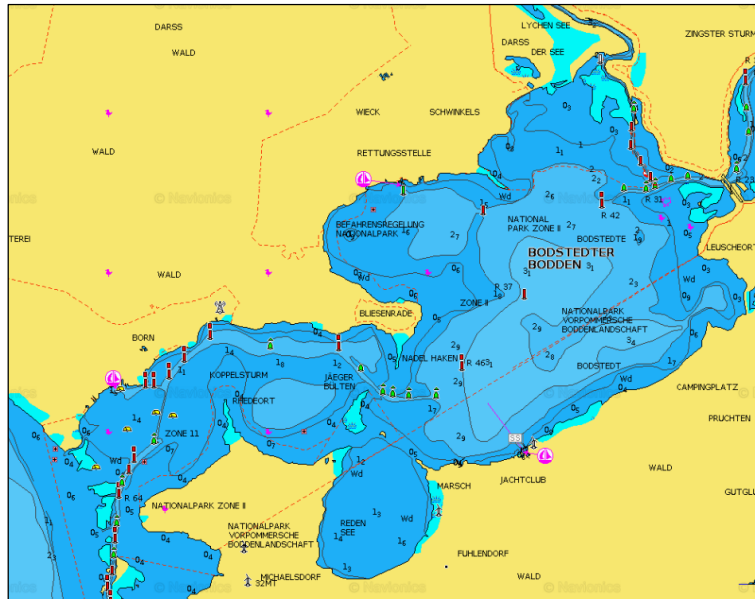


Abb. 2: Uferlinie und Wassertiefen im Bodstedter Bodden²

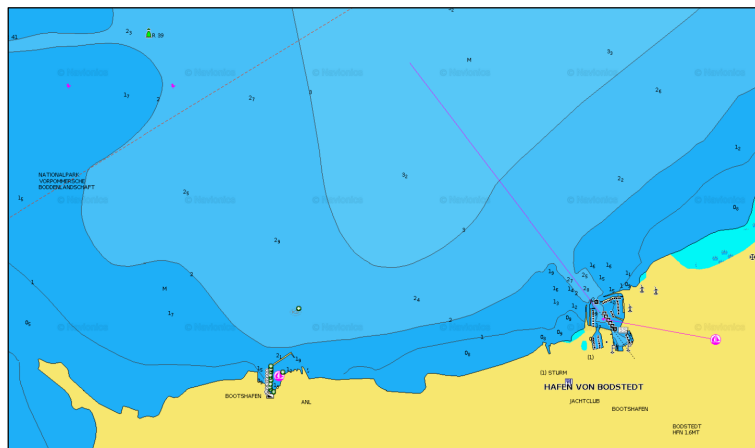


Abb. 3: Planungsgebiet Steganlage Fuhlendorf (links, bezeichnet als Bootshafen) und der Hafen von Bodstedt³

Bezogen auf das Planungsgebiet Steganlage Fuhlendorf beträgt die längste effektive Windwirklänge des Bodstedter Boddens rund 5.400 m bei Winden aus 30° (Tab. 1). Aus dieser Richtung ist auch die größte mittlere Wassertiefe mit 2,5 m bei Mittelwasser anzusetzen.

Tab. 1: Windwirklängen und mittlere Wassertiefen vor dem Planungsgebiet

Richtung	300°	330°	0°	30°	60°
Windwirklänge	1.940 m	2.060 m	4.250 m	5.420 m	3.710 m
Mittlere Wassertiefe	1,5 m	1,8 m	2,3 m	2,5 m	1,0 m

² <https://webapp/navionics.com>

³ <https://webapp/navionics.com>

Der Bemessungshochwasserstand BHW⁴ laut Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern, der einem Hochwasserereignis mit einer Jährlichkeit von 200 Jahren zuzüglich des mittleren Meeresspiegelanstiegs bezogen auf das Jahr 2020 sowie zuzüglich des Klimazuschlags für die kommenden hundert Jahre von 50 cm entspricht, beträgt im Bodstedter Bodden BHW=NHN+1,90 m.

Der höchste jemals gemessene Hochwasserstand am Pegel Barth im Barther Bodden trat beim Extremhochwasserereignis 1872 auf und liegt bei NHN +2,14 m (Tab. 2). Der zweithöchste jemals gemessene Wasserstand am Pegel Barth liegt bei NHN +0,98 m und trat im Jahr 1983 auf.

Die schwimmenden Häuser, Hausboote und Gastliegeplätze sollen beidseits der Steganlage Fuhlendorf angeordnet werden (Abb. 4).

Tab. 2: Zehn höchste jemals gemessene Hochwasserstände am Pegel Barth⁵

mNHN	2,14	0,98	0,87	0,80	0,77	0,75	0,73	0,73	0,68	0,64
Datum	13.11.1872	8.2.83	28.11.83	21.2.2002	28.2.71	30.11.78	25.1.2005	29.12.71	14.3.2002	22.2.93



Abb. 4: Steganlage Fuhlendorf mit den geplanten schwimmenden Häusern, Hausbooten und Gastliegeplätzen⁶

⁴ MLUV MV, 2012: Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern – Bemessungshochwasserstand und Referenzhochwasserstand. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin

⁵ LUNG-MV, 2005: Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch 2005, Teil Küstengebiet Mecklenburg-Vorpommern. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Güstrow

⁶ Lageplan Projekt Steganlage Fuhlendorf, FHG floating house GmbH, Berlin

4 Windverhältnisse im Planungsgebiet

Winddaten liegen vom Deutschen Wetterdienst für die dem Planungsgebiet benachbarte Station Barth vor. In Abb. 5 ist die Windrose der Station Barth, entwickelt auf der Grundlage der stündlichen Winddaten im Zeitraum 2008 bis 2016, dargestellt. Überwiegend wehen Winde aus West und Südwest, vergleichsweise selten wehen Winde aus Nord und Nordwest. Die höchsten Windgeschwindigkeiten in der Betrachtung mittlerer, nicht extremer Windverhältnisse, liegen aus westlichen Richtungen vor.

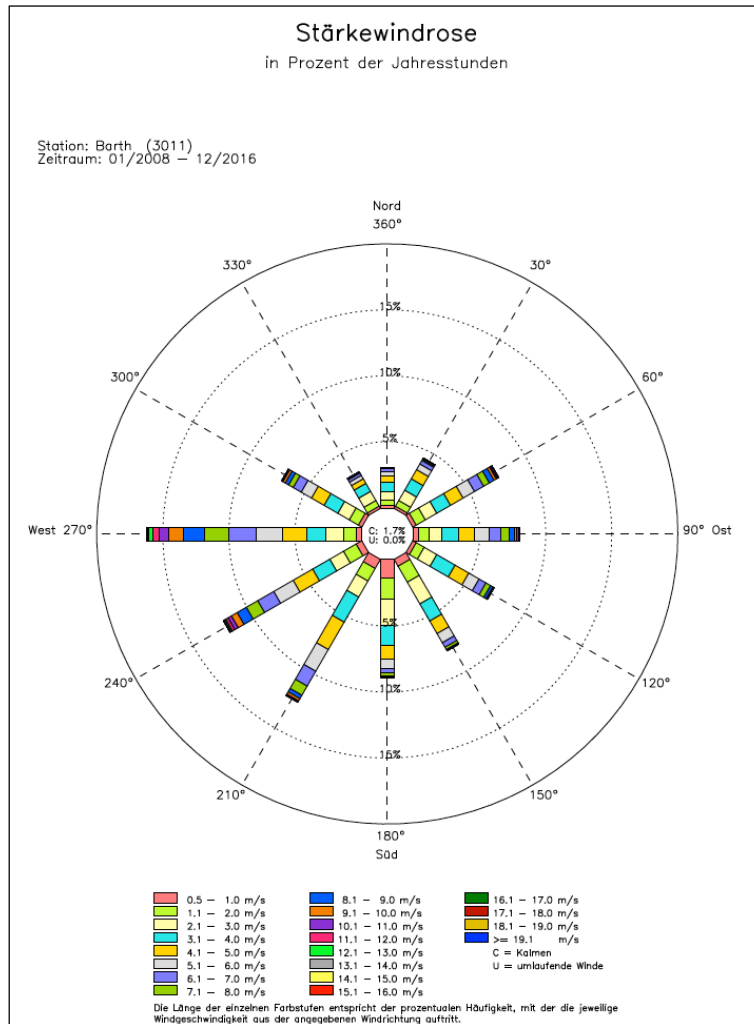


Abb. 5: Windrose der Station Barth (1908-2016)⁷

Richtungsabhängige Windgeschwindigkeiten als Stundenmittel liegen für die Station Barth vom Deutschen Wetterdienst für den Zeitraum 1981 bis 2016 vor⁸. Wegen der kurzen Windwirklängen und der hiermit verbundenen kurzen Ausreifzeiten sind zur Ermittlung des Seegangs vorzugsweise 10-Minuten-Mittel statt Stundenmittel der Windgeschwindigkeiten anzusetzen. Zur überschlägigen Umrechnung auf einen 10-Minuten-Mittelwert sind die Stundenwerte mit dem Faktor 1,1 zu multiplizieren.

⁷ Deutscher Wetterdienst

⁸ DWD: Daten bezogen vom Climate Data Center des Deutschen Wetterdienstes

In Tab. 3 sind die nach der Gumbel- bzw. Extremal-I-Verteilung ausgewerteten für die Seegangsvorhersage relevanten richtungsabhängigen (300° bis 60°) Jahresmaximalgeschwindigkeiten des Zeitraums 1981 bis 2016 für statistische Wiederkehrzeiten von $T=2$ Jahre, $T=50$ Jahre und $T=100$ Jahre dargestellt. Zusätzlich ist eine richtungsunabhängige Auswertung vorgenommen worden. Richtungsabhängig sind die höchsten Extremalwindgeschwindigkeiten aus 300° mit $v_{T=2a}=16,1$ m/s, $v_{T=50a}=22,6$ m/s und $v_{T=100a}=23,9$ m/s zu erwarten. Bei richtungsunabhängiger Auswertung der Winddaten ergeben sich Werte von $v_{T=2a}=18,1$ m/s, $v_{T=50a}=23,1$ m/s und $v_{T=100a}=24,2$ m/s.

Tab. 3: Windgeschwindigkeiten v_{2a} mit einem statistischen Wiederkehrintervall von $T=2$ Jahren, v_{50a} mit einem statistischen Wiederkehrintervall von $T=50$ Jahren und v_{100a} mit einem statistischen Wiederkehrintervall von 100 Jahren bei richtungsabhängiger Auswertung von 10-Minuten-Mittel der Jahre 1981 bis 2016 der DWD-Station Barth

θ	300°	330°	0°	30°	60°	Alle Richtungen
T=2 a	16,1 m/s	12,2 m/s	10,9 m/s	11,5 m/s	13,5 m/s	18,1 m/s
T=50 a	22,6 m/s	19,6 m/s	17,5 m/s	17,2 m/s	18,3 m/s	23,1 m/s
T=100 a	23,9 m/s	21,1 m/s	18,9 m/s	18,3 m/s	19,2 m/s	24,2 m/s

Zum Vergleich liefert die DIN EN 1991-1-4/NA, 2010⁹ eine ungünstigere Extremwindgeschwindigkeit bei richtungsunabhängiger Betrachtung. Das Planungsgebiet Fuhlendorf liegt in der Windlastzone 3 (Abb. 6) und die anzusetzende Basiswindgeschwindigkeit v_b mit einer statistischen Wiederkehrzeit von 50 Jahren beträgt $v_b = 27,5$ m/s. Die Referenzwindgeschwindigkeit entspricht einem 10-Minuten-Mittelwert der Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund im offenen Gelände.

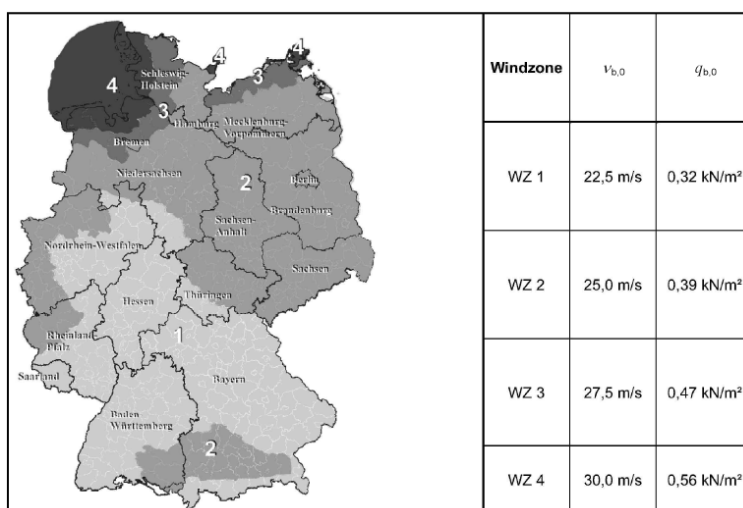


Abb. 6: Windzonen nach DIN EN 1991-1-4/NA (2010)

⁹ DIN EN 1991-1-4/NA, 2010: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten

5 Wellenbelastung im Planungsgebiet

Zur Abschätzung der im Planungsgebiet wirkenden Wellenbelastung wird das Seegangsvorhersageverfahren nach dem Shore Protection Manual SPM 1984¹⁰ verwendet. Als Eingangsgrößen gehen die effektive Windwirklänge in Richtung des wirkenden Windes (Streichlänge des seegangserzeugenden Windes über Wasser, sogenannter Fetch), die Windgeschwindigkeit, die Winddauer sowie die mittlere Wassertiefe im Gebiet der Seegangsgenerierung in das Seegangsvorhersageverfahren ein.

Wegen der geringen Wassertiefen im Bodstedter Bodden liegen Flachwasserverhältnisse vor. Wegen der ebenfalls geringen effektiven Windwirklängen von maximal 5.400 m (Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) ist von fetchbegrenztem und nicht dauerbegrenztem Seegang auszugehen. Eine Abminderung infolge geringer Winddauern ist somit nicht relevant.

Maßgebend für die Abschätzung der Seegangparameter im Planungsgebiet sind die richtungsabhängig ermittelten Extremwerte der Windgeschwindigkeiten. Unter Berücksichtigung der in Tab. 1 und Tab. 3 zusammengestellten Eingangsparameter Windwirklänge, Wassertiefe und Windgeschwindigkeit werden die Wellenparameter signifikante Wellenhöhe H_s und Peakperiode T_p mit dem Seegangsvorhersageverfahren nach SPM 1984 für einen Wasserstand gemäß Mittelwasser, für einen um 1,0 m erhöhten Wasserstand sowie für einem Wasserstand entsprechend des BHW=1,90 m NHN abgeschätzt (Tab. 4)¹¹. H_{\max} wurde für einen Rayleigh-verteilten Seegang und eine Anzahl von 1.000 Wellen ermittelt.

Die höchsten signifikanten Wellenhöhen ergeben sich bei Winden aus 30° mit $H_{s, \text{Wind } 2a} = 0,36$ m, $H_{s, \text{Wind } 50a} = 0,51$ m bzw. $H_{s, \text{Wind } 100a} = 0,53$ m und Peakperioden $T_p = 2,2$ s bis $T_p = 2,5$ s bei Mittelwasser bzw. $H_{s, \text{Wind } 50a} = 0,58$ bzw. $H_{s, \text{Wind } 100a} = 0,61$ m und Peakperioden von $T_p = 2,2$ s bis $T_p = 2,6$ s bei Bemessungshochwasserstand BHW=+1,90 m NHN. Die abgeschätzten maximalen Wellenhöhen bei diesen Windereignissen betragen $H_{\max \text{ Wind } 2a} = 0,68$ m, $H_{\max \text{ Wind } 50a} = 0,95$ m bzw. $H_{\max \text{ Wind } 100a} = 0,99$ m sowie $H_{\max \text{ Wind } 2a} = 0,68$ m, $H_{\max \text{ Wind } 50a} = 1,07$ m bzw. $H_{\max \text{ Wind } 100a} = 1,13$ m. Es ist zu beachten, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit des BHW 200 Jahre beträgt und die kombinierte Eintrittswahrscheinlichkeit des BHW und des 50-jährlichen Windereignisses aus 30°, auch wenn Extremwasserstände und Starkwindereignisse nicht als voneinander unabhängige Größen anzusehen sind, deutlich geringer als 200 Jahre ist.

¹⁰ SPM, 1984: Shore Protection Manual, Volume I. Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, 1984

¹¹ SPM, 1984: Shore Protection Manual, Volume I. Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, 1984

Tab. 4: Seegangparameter Wellenhöhe H_s , Peakperiode T_p und Wellenlänge L im Planungsgebiet unter Ansatz der Windgeschwindigkeiten v_{2a} , v_{50a} und v_{100a} und für Wasserstände gemäß Mittelwasser bis BHW (Eingangswerte Tab. 1 und Tab. 3)

θ	300°	330°	0°	30°	60°
H_s , T=2 a, ± 0 mNHN	0,30 m	0,25 m	0,31 m	0,36 m	0,27 m
H_{max} , T=2 a, ± 0 mNHN	0,56 m	0,47 m	0,58 m	0,68 m	0,51 m
T_p , T=2 a, ± 0 mNHN	1,8 s	1,7 s	2,0 s	2,2 s	1,9 s
L , T=2 a, ± 0 mNHN	4,7 m	4,3 m	6,0 m	7,1 m	4,8 m
H_s , T=50 a, ± 0 mNHN	0,40 m	0,38 m	0,47 m	0,51 m	0,33 m
H_{max} , T=50 a, ± 0 mNHN	0,74 m	0,71 m	0,87 m	0,95 m	0,62 m
T_p , T=50 a, ± 0 mNHN	2,0 s	1,9 s	2,3 s	2,5 s	2,1 s
L , T=50 a, ± 0 mNHN	5,7 m	5,7 m	7,9 m	8,9 m	5,5 m
H_s , T=100 a, ± 0 mNHN	0,42 m	0,40 m	0,50 m	0,53 m	0,34 m
H_{max} , T=100 a, ± 0 mNHN	0,78 m	0,75 m	0,92 m	0,99 m	0,64 m
T_p , T=100 a, ± 0 mNHN	2,0 s	2,0 s	2,4 s	2,5 s	2,1 s
L , T=100 a, ± 0 mNHN	5,8 m	5,9 m	8,2 m	9,2 m	5,6 m
H_s , T=2 a, +1,0 mNHN	0,33 m	0,27 m	0,33 m	0,39 m	0,35 m
H_{max} , T=2 a, +1,0 mNHN	0,62 m	0,49 m	0,62 m	0,72 m	0,65 m
T_p , T=2 a, +1,0 mNHN	1,8 s	1,7 s	2,0 s	2,2 s	2,0 s
L , T=2 a, +1,0 mNHN	5,2 m	4,5 m	6,4 m	7,6 m	6,2 m
H_s , T=50 a, +1,0 mNHN	0,45 m	0,41 m	0,51 m	0,55 m	0,45 m
H_{max} , T=50 a, +1,0 mNHN	0,84 m	0,77 m	0,94 m	1,03 m	0,83 m
T_p , T=50 a, +1,0 mNHN	2,0 s	2,0 s	2,4 s	2,5 s	2,2 s
L , T=50 a, +1,0 mNHN	6,4 m	6,1 m	8,6 m	9,7 m	7,3 m
H_s , T=100 a, +1,0 mNHN	0,47 m	0,44 m	0,54 m	0,58 m	0,46 m
H_{max} , T=100 a, +1,0 mNHN	0,88 m	0,82 m	1,01 m	1,09 m	0,86 m
T_p , T=100 a, +1,0 mNHN	2,1 s	2,0 s	2,4 s	2,6 s	2,3 s
L , T=100 a, +1,0 mNHN	6,6 m	6,4 m	9,0 m	10,1 m	7,5 m
H_s , T=2 a, +1,9 mNHN	0,34 m	0,27 m	0,34 m	0,40 m	0,37 m
H_{max} , T=2 a, +1,9 mNHN	0,64 m	0,50 m	0,63 m	0,74 m	0,70 m
T_p , T=2 a, +1,9 mNHN	1,9 s	1,7 s	2,1 s	2,2 s	2,1 s
L , T=2 a, +1,9 mNHN	5,3 m	4,6 m	6,6 m	7,8 m	6,7 m
H_s , T=50 a, +1,9 mNHN	0,47 m	0,43 m	0,53 m	0,58 m	0,49 m
H_{max} , T=50 a, +1,9 mNHN	0,87 m	0,79 m	0,98 m	1,07 m	0,91 m
T_p , T=50 a, +1,9 mNHN	2,1 s	2,0 s	2,4 s	2,6 s	2,3 s
L , T=50 a, +1,9 mNHN	6,7 m	6,3 m	9,0 m	10,2 m	8,1 m
H_s , T=100 a, +1,9 mNHN	0,49 m	0,46 m	0,57 m	0,61 m	0,51 m
H_{max} , T=100 a, +1,9 mNHN	0,92 m	0,85 m	1,05 m	1,13 m	0,95 m
T_p , T=100 a, +1,9 mNHN	2,1 s	2,1 s	2,5 s	2,6 s	2,3 s
L , T=100 a, +1,9 mNHN	6,9 m	6,6 m	9,4 m	10,6 m	8,3 m

6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Unter Berücksichtigung der Lage der geplanten Anlage am Steg Fuhlendorf im Bodstedter Bodden wurden die bei sehr seltenen (bis zu einer Überschreitungshäufigkeit kleiner $p_U=0,005$) sowie zweijährlichen Windereignissen zu erwartenden Wellenbelastungen zur strukturellen und funktionellen Bemessung der Anlage ermittelt.

Starkwinde aus 30° erzeugen die höchsten Seegangsbelastungen im Planungsgebiet. Die mit einer Jährlichkeit im statistischen Mittel von $T=2a$ zu erwartenden signifikanten Wellenhöhen bei Mittelwasser betragen $H_{s, \text{Wind } 2a}=0,36$ m und die entsprechenden maximalen Wellenhöhen $H_{\text{max Wind } 2a}=0,68$ m. Als 50-jährliches Ereignis bei Mittelwasser sind signifikante Wellenhöhen von $H_{s, \text{Wind } 50a}=0,51$ m und entsprechende maximale Wellenhöhen $H_{\text{max Wind } 2a}=0,95$ m zu erwarten. Bei erhöhten Wasserständen von +1,0 m NHN sind jeweils um rund 10% erhöhte Werte und bei Bemessungswasserstand BHW um rund 20% erhöhte Werte zu verzeichnen.

Hamburg, den 1. Februar 2018

A handwritten signature in blue ink that reads 'Bärbel Koppe'.

(Prof. Dr.-Ing. Bärbel Koppe)