

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 1 of 39

Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse

Erste Ausgabe	00	20/02/2024	M. Muilwijk 	E. Meyer 	J. de Groot 	
Status	Ausgabe	Datum	Erstellt von	Geprüft von	Genehmigt von	Anmerkung

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 2 of 39

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Ausgangspunkte	6
3	Wellenklima.....	8
4	Ponton-Reaktionsergebnisse (RAOs)	14
5	Vertäubemessung	23
6	Fazit	38

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU	Page 3 of 39	

1 Einleitung

Für die FSRU Wilhelmshaven wird eine Not-Anlegestelle für den Evakuierungsfall benötigt. Sie muss zur Evakuierung des Personals zur Verfügung stehen, wenn die FSRU sich an der Anlegestelle befindet. Dieses Bauwerk muss aus einem Schwimm-Ponton bestehen, der über eine Gangway von MD6 aus zugänglich ist.

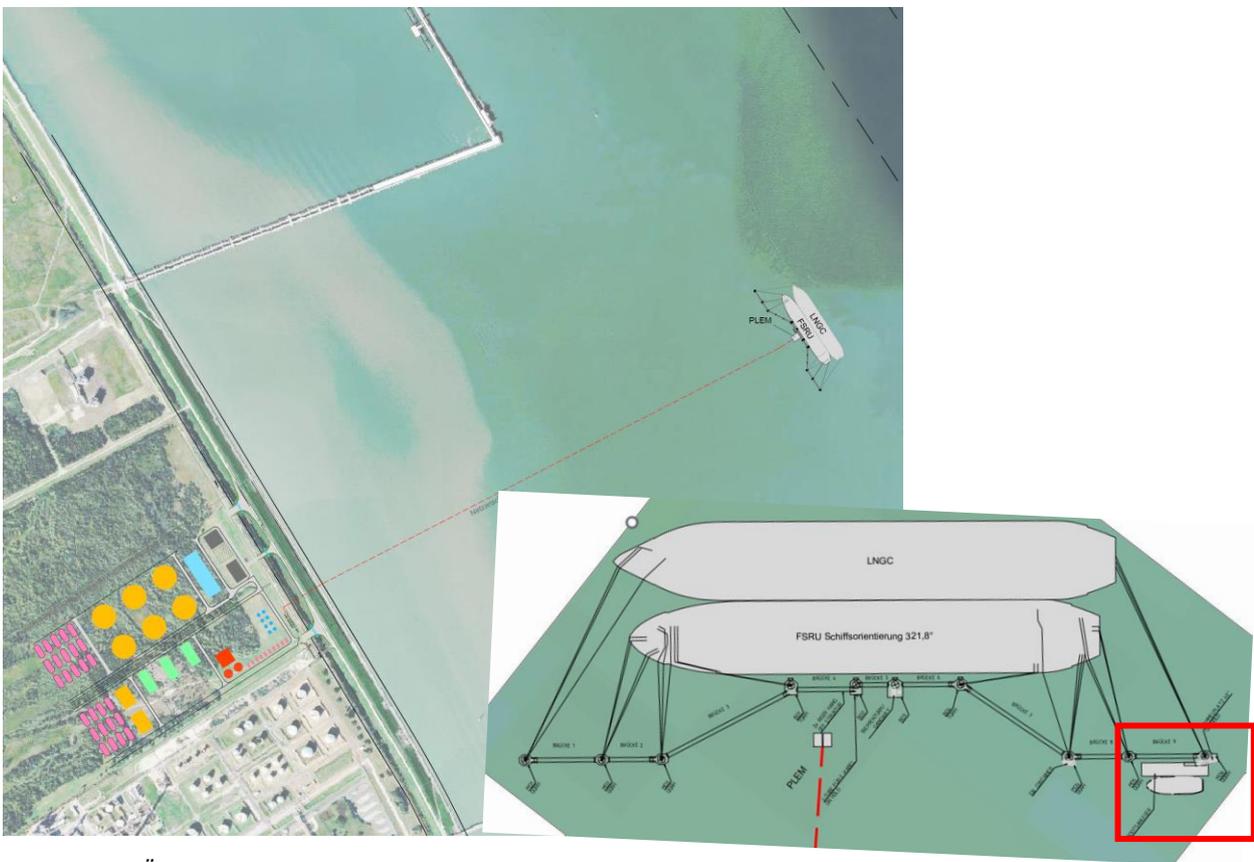
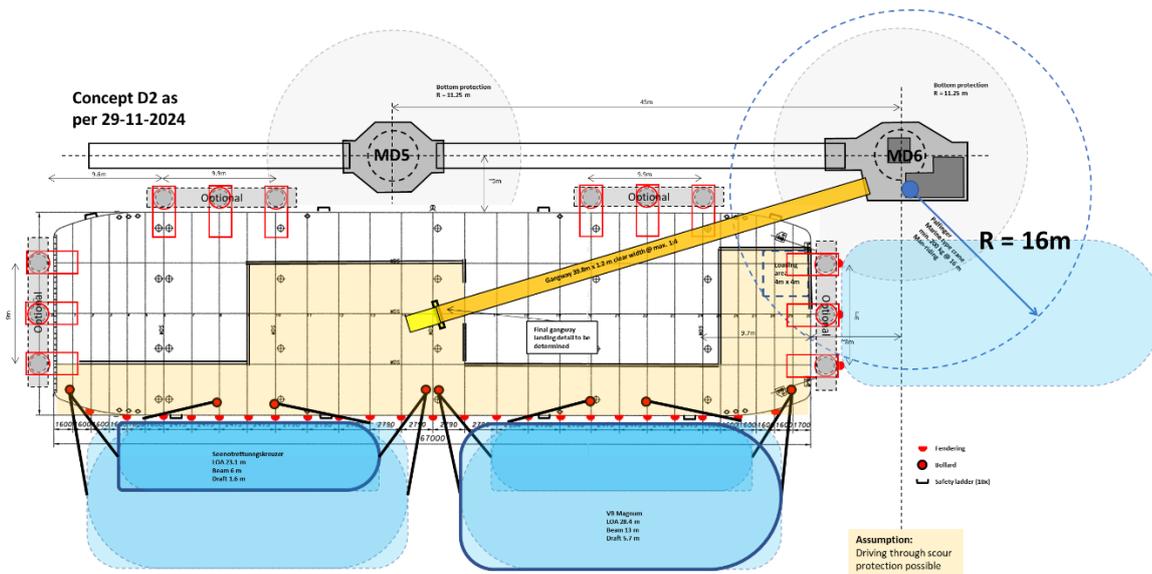


Abbildung 1 Übersicht über das Projektgebiet

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Begungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 4 of 39

Die nachstehende Abbildung zeigt den schematischen Aufbau der Ponton-Anlage. Die Ponton-Anlage besteht aus einem Schwimm-Ponton, der an Rammpfählen vertäut ist. Der Ponton wird mit Klammern/Pfahlführungen befestigt.



Concept D2 as per 29-11-2024	Konzept D2, Stand: 29.11.2024
Bottom protection	Kolkschutz
R - 11.25 m	r = 11,25 m
Optional	Optional
Gangway 39,8m x 1.2m clear width @ max. 1:4	Gangway 39,8 m x 1,2 m lichte Breite bei max. 1:4
Final gangway landing detail to be determined	Gangway-Auflagerung im Detail noch festzulegen
Loading area 4m x 4m	Ladebereich 4 m x 4 m
Palfinger	Palfinger
Marine type crane	Seekran
min. 200 kg @ 16 m	mind. 200 kg bei 16 m
Man-riding	Man-Riding
Sornotrettungskreuzer	Seenotrettungskreuzer
Beam 6 m	Breite 6 m
Draft 1.6 m	Tiefgang 1,6 m
VB Magnum	VB Magnum
Beam 13 m	Breite 13 m
Draft 5.7 m	Tiefgang 5,7 m
Tendering	Fender

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 5 of 39

Bollard	Poller
Safety ladder (10x)	Sicherheitsleiter (10 Stück)
Assumption:	Annahme:
Driving through scour protection possible	Rammung durch Kolkschutz möglich

Abbildung 2 Aufbau der Ponton-Anlage

Zweck dieses Hinweises zur technischen Bemessung (Technical Design Note) ist, die Bewegungen des Pontons mittels Reaktionsamplitudenoperatoren (Response Amplitude Operators, RAOs) nachzustellen. Zusätzlich wird die Situation betrachtet, in der der ausgewählte Ponton vertäut liegt, um die Anzahl der erforderlichen Vertäupfähle und die auf diese Pfähle einwirkenden Lasten zu ermitteln.

In der vorangegangenen Phase wurden die folgenden Pontons auf ihre Eignung untersucht:

- Ponton Damen Stan B24 (63 m), beide Zustände berücksichtigt: ohne Ballast („leicht“) und mit Ballast („schwer“)
- Ponton Damen Stan 8916 (89 m), nur ein Zustand berücksichtigt: mit Ballast („schwer“)
- Ponton Baars Couple, nur ein Zustand berücksichtigt: ohne Ballast („leicht“)
- Ponton HEBO-P63, beide Zustände berücksichtigt: ohne Ballast („leicht“) und mit Ballast („schwer“)

Aus diesen Ponton-Typen wurde der HEBO-P63 ausgewählt. Die Eignung dieses Pontons wird in Kapitel 4 erläutert.

Die Modellierung des Schwimmverhaltens erfolgt mithilfe von Ansys AQWA, einem 3-D-Diffraktionsprogramm. Die RAOs geben das Verhältnis zwischen der Reaktion des frei schwimmenden Pontons (Rollen, Stampfen, Tauchen, Schnellen, Versetzen, Gieren) im Verhältnis zur Höhe der ankommenden Wellen für die Spanne der Wellenperioden an. Dies wird Aufschluss über das Ponton-Verhalten bei Wellenbelastung geben.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 6 of 39

2 Ausgangspunkte

Ponton-Kennzahlen

Die Ponton-Bewegungsanalyse wurde für den Ponton des Typs HEBO-P63 durchgeführt. Es wurden zwei Belastungszustände berücksichtigt: voll belastet („schwer“) mit einem maximalen Tiefgang von 3,2 m, und im Bemessungszustand mit einem Tiefgang von 2,3 m. Die relevanten Kennzahlen, die bei der Vertäuanalyse berücksichtigt wurden, sind in der nachstehenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 1: Ponton-Kennzahlen

Kennwert	Einheit	HEBO-P63	
		„schwer“	Bemessungsbed.
Länge	[m]	67	67
Breite	[m]	18	18
Seitenhöhe	[m]	4,5	4,5
Tiefgang	[m]	3,2	2,3
Verdrängung	[t]	3849	2740
Schwerpunkt (COG) bezogen auf den Kiel	[m]	2,25	2,5
K _{xx} (0,34 × Breite)	[m]	6,12	6,12
K _{yy} (0,25 × Länge)	[m]	16,75	16,75
K _{zz} (0,26 × Länge)	[m]	17,42	17,42

Meeresbodenhöhe und Wasserstand für die Modellierungszwecke

Als Wassertiefe werden 21 m angenommen; das Baggerniveau liegt bei -15 m SKN und der Wasserspiegel bei +6,15 m SKN.

Die Niedrigwasserszenarien wurden bei einem Wasserstand von -1,0 m SKN und einer Sohle von -11 m SKN geprüft, was einer Wassertiefe von 10 m entspricht.

Bewegungsgrenzwerte

	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 7 of 39

In den vorangegangenen Abschnitten wurde die Reaktion der verschiedenen Pontons auf ankommende Wellen ermittelt. In den nächsten Abschnitten werden Bewegungsgrenzwerte definiert und anhand des tatsächlichen Wellenklimas wird die Eignung des Pontons überprüft.

Die nachstehende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus den empfohlenen Bewegungskriterien, wie sie in [PIANC WG24 (1995)] genannt werden. Als Grenzwerte für die zulässigen Bewegungen des Pontons während der Arbeitsbedingungen mit einer Jährlichkeit von 1 werden die Sturmflutkriterien ausgewählt (in der nachstehenden Abbildung rot umrandet).

Ship Type	Cargo Handling Equipment	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)
Fishing vessels	Elevator crane	0.15	0.15				
	Lift-on-lift-off	1.0	1.0	0.4	3	3	3
	suction pump	2.0	1.0				
Freighters, coasters	Ship's gear	1.0	1.2	0.6	1	1	2
	Quarry cranes	1.0	1.2	0.8	2	1	3
Ferries, Ro-Ro	Side ramp ²	0.6	0.6	0.6	1	1	2
	Dew/storm ramp	0.8	0.6	0.8	1	1	4
	Linkspan	0.4	0.6	0.8	3	2	4
	Rail ramp	0.1	0.1	0.4	-	1	1
General cargo	-	2.0	1.5	1.0	3	2	5
Container vessels	100% efficiency	1.0	0.6	0.8	1	1	3
	50% efficiency	2.0	1.2	1.2	1.5	2	6
Bulk carriers	Cranes	2.0	1.0	1.0	2	2	6
	Elevator/bucket-wheel	1.0	0.5	1.0	2	2	2
	Conveyor belt	5.0	2.5		3		
Oil tankers	Loading arms	3.0 ³	3.0				
Gas tankers	Loading arms	2.0	2.0		2	2	2

- Remarks: ¹⁾ Motions refer to peak-peak values (except for sway: zero-peak).
²⁾ Ramps equipped with rollers.
³⁾ For exposed locations 5.0 m (regular loading arms allow large movements)

Remarks: ¹⁾ Motions refer to peak-peak values (except for sway: zero-peak).	Anmerkungen: ¹⁾ Bewegungen beziehen sich auf Spitze-Spitze-Werte (außer bei Versetzen, dort Null-Spitze).
²⁾ Ramps equipped with rollers.	²⁾ Mit Rollen ausgestattete Rampen.
³⁾ For exposed locations 5.0 m (regular loading arms allow large movements)	³⁾ Bei exponierten Standorten: 5,0 m (übliche Ladearme ermöglichen große Bewegungen)

Abbildung 3: Bewegungskriterien für sichere Arbeitsbedingungen [PIANC WG24]

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 8 of 39

3 Wellenklima

Vor dem Hintergrund des Berichts über die meteorologisch-ozeanographische Kampagne [TES-WHV-FSRU-ENV-DOC-2049.01] wurden Wellenklimabedingungen ausgewählt, die mit dem Bericht über die Bemessungsgrundlage [DMC-231121-R-00006-MVB] konform sind. Nachstehend erfolgt eine kurze Beschreibung des Klimas.

Richtung

Das Wellenklima ist überwiegend NNW-orientiert. Es treten auch andere Richtungen auf, jedoch mit einer viel geringeren Wahrscheinlichkeit und einer geringeren maßgeblichen Wellenhöhe.

Wellenhöhe im Vergleich zur Wellenperiode

Die lokalen Wellenbedingungen zeigen eine typische Meereswellenkomponente mit Perioden von 0 bis zu 5 oder 6 s (bis zu 2,0 m) und eine Dünungskomponente mit Wellen größerer Periode (6 bis 15 s) bei geringerer Amplitude (< 0,2 m).

Die nachstehende Skizze zeigt die Richtung der ankommenden Wellen in Bezug auf das Anlandeterminal.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 9 of 39

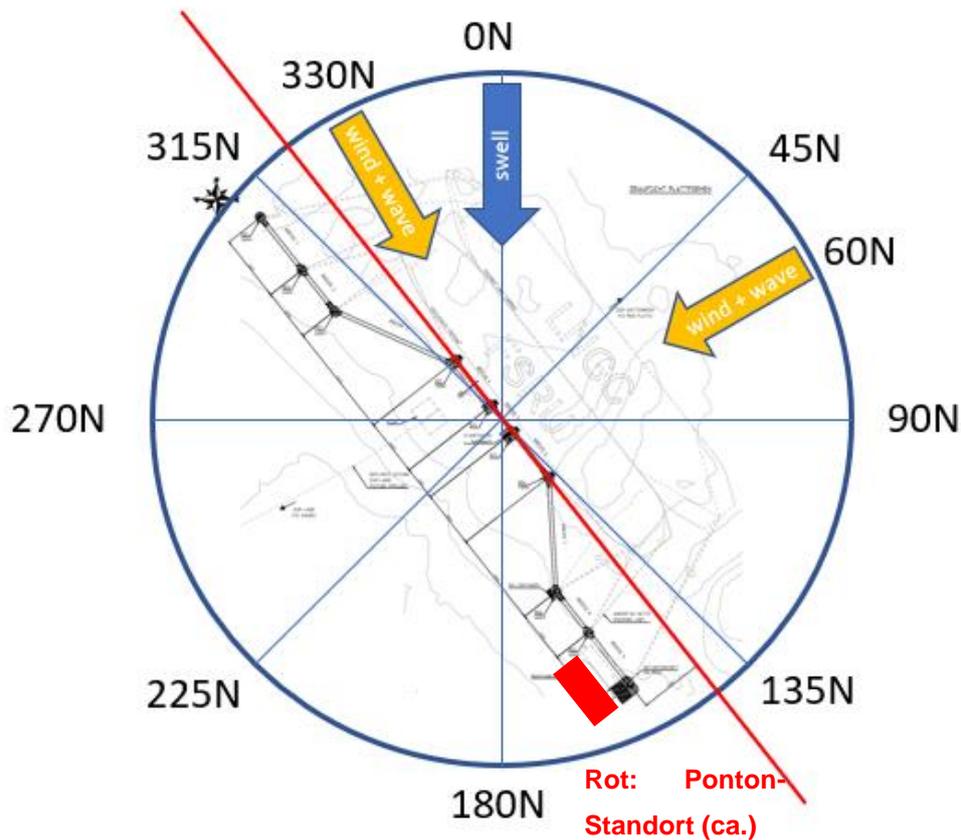


Abbildung 4: Ponton-Standort und Hauptrichtungen von Wind, Wellen und Dünung

Vor dem Hintergrund der vorstehend beschriebenen Bedingungen und des Berichts zur meteorologisch-ozeanographischen Kampagne [TES-WHV-FSRU-ENV-DOC-2049.01] wurden folgende Wellenszenarien ausgewählt:

Extrembedingungen (T = 100 Jahre)

Zur Ermittlung der Bemessungslasten für die Ponton-Vertäupfähe wurden die Bedingungen mit einer Jährlichkeit von 1/100 angesetzt.

		Struktur		
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN		Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse		Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 10 of 39		

Tabelle 2: Meereswellenbedingungen ($T = 100$ Jahre), gemäß [TES-WHV-FSRU-ENV-DOC-2049.01]

Wind		Windwellen					
Richtung aus ($^{\circ}$ N)	Geschwindigkeit (m/s)	Mdir aus ($^{\circ}$ N)	Hm0 (m)	T_p (s)	Gamma (JONSWAP)	Richtungs--ausbreitung (s)	Richtungs--ausbreitung ($^{\circ}$)
0	27,2	347,2	2,1	5,1	2,3	9,6	24,7
30	22,6	9,4	1,6	4,4	2,8	5,4	32,4
60	18,0	51,1	1,2	3,8	3,3	5,5	32,1
90	21,0	94,2	1,3	3,8	3,4	5,7	31,6
120	17,9	122,8	1,1	3,7	3,5	7,5	27,7
150	16,8	138,8	1,0	3,7	2,4	10,3	24,0
180	21,6	150,7	1,3	4,1	1,7	7,9	27,0
210	24,2	171,0	1,2	3,8	1,5	4,5	35,0
240	26,4	239,5	1,0	3,0	2,9	1,9	46,5
270	26,0	314,3	1,3	4,3	1,5	4,9	33,8
300	26,8	333,5	1,8	4,9	1,9	11,5	22,8
330	27,8	339,0	2,1	5,2	2,0	13,7	21,1

Tabelle 3: Dünungswellenbedingungen ($T = 100$ Jahre), gemäß [TES-WHV-FSRU-ENV-DOC-2049.01]

Swell waves						
Sector	Mdir Coming from ($^{\circ}$ N)	Hm0 (m)	T_p (s)	Gamma (Jonswap)	Directional spreading (s)	Directional spreading ($^{\circ}$)
West	345	0.1	13.5	1.8	34.0	13.5
WNW	348	0.1	14.7	1.8	29.9	14.5
NNW	356	0.2	15.4	1.8	19.2	18.1
North	358	0.4	8.7	1.1	12.6	21.9
NNE	0	0.4	6.7	1.7	9.4	25.0
Representative swell scenario	357	0.3	12.1	1.5	15.4	20.0

Swell waves	Dünungswellen
Sector	Sektor
West	West
WNW	WNW
NNW	NNW
North	Nord
NNE	NNO
Representative swell scenario	Repräsentatives Dünungsszenario

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 11 of 39

Mdir Coming from (°N)	Mdir aus (°N)
Hm0 (m)	Hm0 (m)
Tp (s)	Tp (s)
Gamma (Jonswap)	Gamma (JONSWAP)
Directional spreading (s)	Richtungsausbreitung (s)
Directional spreading (°)	Richtungsausbreitung (°)

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 12 of 39

Betriebsbedingungen (T = 10 Jahre)

Für die Ermittlung der Ermüdungslasten an den Ponton-Vertäupfählen wurden die Bedingungen mit einer Jährlichkeit von 1/10 angesetzt.

Tabelle 4: Meereswellenbedingungen (T = 10 Jahre), gemäß [TES-WHV-FSRU-ENV-DOC-2049.01]

Wind		Wind waves					
Direction Coming from (°N)	Speed (m/s)	Mdir Coming from (°N)	Hm0 (m)	Tp (s)	Gamma (Jonswap)	Directional spreading (°)	Directional spreading (s)
0	21.0	347.7	1.7	4.7	2.4	9.4	24.9
30	18.1	10.2	1.3	4.1	2.8	5.2	32.9
60	15.1	51.1	1.0	3.5	3.3	5.4	32.4
90	16.6	91.9	1.0	3.5	3.2	5.8	31.4
120	14.7	122.6	0.9	3.4	3.5	7.3	28.0
150	14.4	138.9	0.8	3.4	2.2	10.1	24.1
180	17.7	151.1	1.1	3.8	1.7	8.3	26.5
210	20.3	171.5	1.0	3.5	1.5	4.5	35.0
240	21.7	239.8	0.8	2.8	2.8	2.0	45.8
270	21.4	313.5	1.1	4.0	1.7	4.8	34.2
300	21.9	334.2	1.5	4.5	1.9	11.1	23.2
330	22.4	339.7	1.7	4.9	2.1	13.7	21.1

Wind	Wind
Direction Coming from (°N)	Herkunftsrichtung aus (°N)
Speed (m/s)	Geschwindigkeit (m/s)
Wind waves	Windwellen
Mdir Coming from (°N)	Mdir aus (°N)
Hm0 (m)	Hm0 (m)
Tp (s)	Tp (s)
Gamma (Jonswap)	Gamma (JONSWAP)
Directional spreading (s)	Richtungsausbreitung (s)
Directional spreading (°)	Richtungsausbreitung (°)

	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 13 of 39

Betriebsbedingungen (T = 1 Jahr)

Die Ponton-Bewegungen bei Arbeitsbedingungen wurden mittels der Betriebsbedingungen ermittelt.

Tabelle 5: Meereswellenbedingungen (T = 1 Jahr), gemäß [TES-WHV-FSRU-ENV-DOC-2049.01]

Wind		Wind waves					
Direction Coming from (°N)	Speed (m/s)	Mdir Coming from (°N)	Hm0 (m)	Tp (s)	Gamma (Jonswap)	Directional spreading (°)	Directional spreading (s)
0	14.8	349.1	1.2	4.1	2.4	9.1	25.4
30	13.5	12.3	1.0	3.7	2.8	5.3	32.7
60	12.1	51.7	0.7	3.5	3.3	7.2	28.3
90	12.3	90.4	0.7	3.0	3.2	5.9	31.1
120	11.4	121.9	0.7	3.1	3.5	7.2	28.2
150	12.0	138.7	0.6	3.1	2.2	10.0	24.3
180	13.8	151.7	0.9	3.6	1.7	8.3	26.5
210	16.4	172.5	0.8	3.2	1.5	4.5	35.2
240	17.0	240.3	0.6	2.5	2.8	2.1	45.3
270	16.7	312.6	0.9	3.6	1.7	4.6	34.7
300	16.9	334.6	1.2	4.2	1.9	10.6	23.6
330	17.0	339.6	1.4	4.4	2.1	13.7	21.1

Dünungswellenbedingungen (T = 1 Jahr)

Bei Betriebsbedingungen wurden keine Dünungswellen vorgesehen.

Ausgangspunkte der Modellierung

- Die Berechnungszeit der Simulationen betrug 3 Stunden (10.800 s).
- Es wurde angenommen, dass eine Gezeitenströmung vorliegt. Bei den Berechnungen wurde eine Strömungsgeschwindigkeit von 1,88 m/s angenommen, deren Richtung mit der Windrichtung übereinstimmt (entweder einlaufende oder ablaufende Strömung, also am Ponton-Bug oder -Heck) gemäß BOD [DMC-231121-R-00006-MVB]

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 14 of 39

4 Ponton-Reaktionsergebnisse (RAOs)

Die modellierte Ponton-Geometrie ist in der nachstehenden Abbildung dargestellt. In dieser Analysephase wird nur der Ponton-Schwimmkörper berücksichtigt, noch keine Vertäuung.

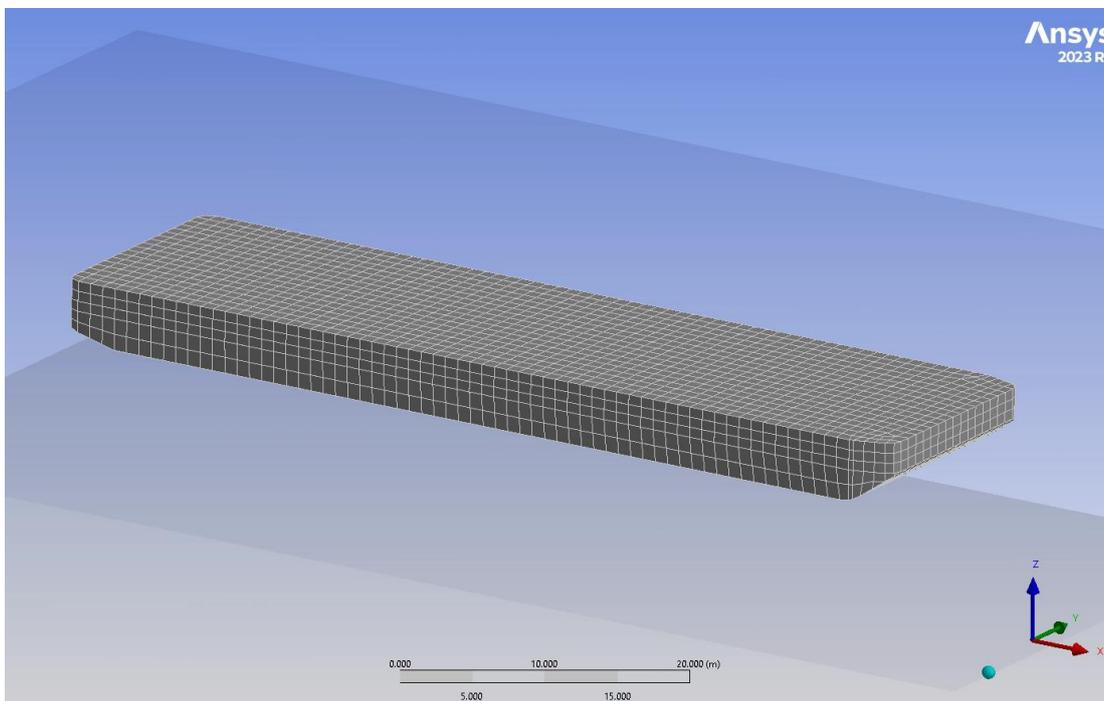


Abbildung 5: Ansys-AQWA-Modell: Ponton-Panel-Modell für die hydrodynamische Diffraktionsanalyse

Der Ponton wird mit Panels modelliert. Die Panelgröße variiert zwischen 0,5 und 1 m. Damit lassen sich Wellenperioden von 3 bis 60 Sekunden simulieren.

Die Analyse im Programm Ansys AQWA erfolgt in zwei Phasen. Die erste Phase bildet die hydrodynamische Diffraktionsanalyse, bei der das Programm die Reaktion des Schwimmkörpers auf die Welleneinwirkung berechnet, unter Berücksichtigung verschiedener Wellenperioden und Winkeln ankommender Wellen. Diese Reaktion wird mittels Reaktionsamplitudenoperatoren (Response Amplitude Operators, RAOs) dargestellt, die in diesem Kapitel für die Richtungen „dwars“ und „vorlich“ vorgestellt werden. In der zweiten Phase wird die Analyse um Führungspfähle des Pontons ergänzt. Es wird eine Zeitbereichsanalyse durchgeführt, die die tatsächlichen Bewegungen und Kräfte ausgibt. Diese Ergebnisse werden in Kapitel 5 vorgestellt.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 15 of 39

Die Reaktionsamplitudenoperatoren (RAOs) werden für den Ponton bei zwei Belastungszuständen konfiguriert: voll belastet („schwer“) und im Bemessungszustand. Diese RAOs zeigen das Ponton-Verhalten bei bestimmten Wellenhöhen und -perioden auf. Sie geben Aufschluss über die Eignung des Pontons bei den jeweiligen Umgebungsverhältnissen.

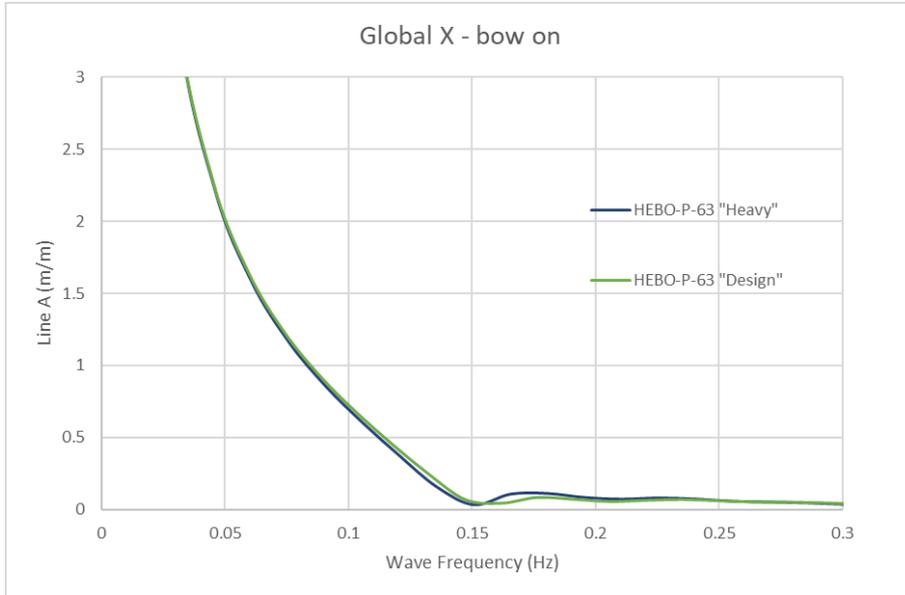
Bei vorlichen Wellen zeigen die RAOs Schnellen (linear X), Tauchen (linear Z) und Stampfen (Rollen um die RY-Achse) auf; die Werte für Versetzen, Rollen und Gieren betragen Null. Bei Darswellen zeigen die RAOs Versetzen (linear Y), Tauchen (linear Z) und Rollen (Rollen um die RX-Achse) auf; die Werte für Schnellen, Stampfen und Gieren betragen Null.

Vorliche Wellen

Die RAOs des Pontons sind für beide Belastungszustände auf derselben Skala abgebildet. Der Ponton zeigt bei beiden Belastungszuständen, „schwer“ und „Bemessung“, ein ähnliches Verhalten hinsichtlich aller drei Bewegungstypen (Schnellen, Tauchen und Stampfen). Dies lässt darauf schließen, dass der Belastungszustand sich nur begrenzt auf die Tauchbewegungen des Pontons bei vorlichen Wellen auswirkt.

Die Schnellbewegung (Abbildung 6) hat mit zunehmender Frequenz eine geringere Reaktionsamplitude. Der Grenzwert für Schnellbewegungen liegt bei 0,8 m (Spitze-zu-Spitze). Bei vorlichen Wellen von bis zu 1,2 m Höhe wird dieser Grenzwert durch den Ponton bei Wellenfrequenzen von weniger als 0,1 Hz bzw. 10 s überschritten. Dies liegt außerhalb des erwarteten Wellenperiodenbereichs. Es ist daher nicht zu erwarten, dass die Schnellbewegung den festgesetzten Grenzwert von 0,8 m überschreitet.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 16 of 39



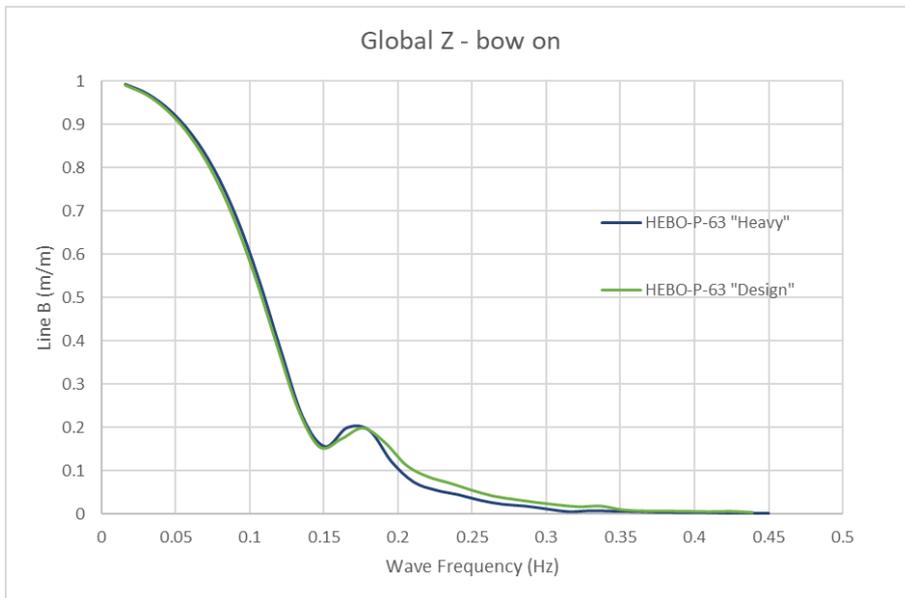
Global X -bow on	Global X – vorlich
HEBO-P-63 "Heavy"	HEBO-P-63 „Schwer“
HEBO-P-63 "Design"	HEBO-P-63 „Bemessungsbed.“
Line A (m/m)	Leine A (m/m)
Wave Frequency (Hz)	Wellenfrequenz (Hz)

Abbildung 6: Vergleich der RAO-Schnellbewegung bei vorlichen Wellen

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 17 of 39

Die Tauchbewegung (Abbildung 7) nimmt mit zunehmender Frequenz ebenfalls ab. Allerdings ist in der Kurve im Bereich um die Frequenz von 0,18 Hz (ca. 6 s) eine Beule nach oben zu sehen, an der das Tauchen leicht zunimmt.

Der Grenzwert für Tauchbewegungen liegt bei 0,8 m. Bei vorlichen Wellen von bis zu 1,2 m Höhe (T = 1 Jahr) wird dieser Grenzwert durch den Ponton bei Wellenfrequenzen von weniger als 0,1 Hz bzw. 10 s überschritten. Dies liegt außerhalb des erwarteten Wellenperiodenbereichs. Es ist daher nicht zu erwarten, dass die Tauchbewegung den festgesetzten Grenzwert von 0,8 m überschreitet.



Global X -bow on	Global X – vorlich
HEBO-P-63 "Heavy"	HEBO-P-63 „Schwer“
HEBO-P-63 "Design"	HEBO-P-63 „Bemessungsbed.“
Line A (m/m)	Leine A (m/m)
Wave Frequency (Hz)	Wellenfrequenz (Hz)

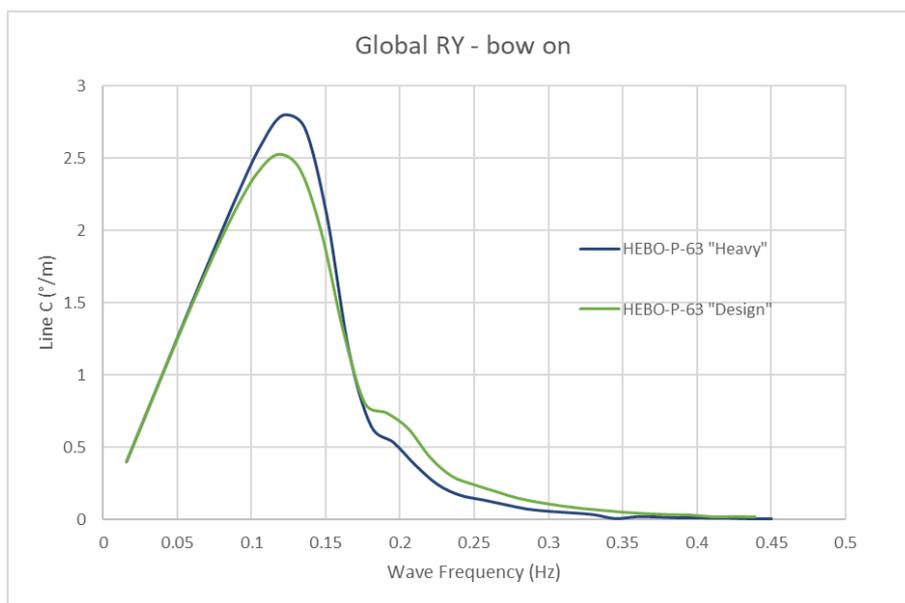
Abbildung 7: Vergleich der RAO-Tauchbewegung bei vorlichen Wellen

	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 18 of 39

Für die Stampfbewegungen (Abbildung 8) zeigt sich ein starker Reaktionsanstieg bei niedrigen Frequenzen und eine Reaktionsabnahme bei Frequenzen über 1,12 Hz (ca. 8 s).

Beim Ponton mit dem Bemessungsgewicht kommt es zu etwas geringeren Stampfbewegungen als beim „schwer“ belasteten Ponton.

Der Grenzwert für die Stampfbewegung beträgt 1°. Bei vorlichen Wellen von bis zu 1,2 m Höhe (T = 1 Jahr) wird dieser Grenzwert durch den Ponton bei Wellenfrequenzen von weniger als 0,05 bis 0,17 Hz bzw. 6 bis 20 s überschritten. Dies liegt außerhalb des erwarteten Wellenperiodenbereichs. Es ist daher nicht zu erwarten, dass die Stampfbewegung bei Arbeitsbedingungen den festgesetzten Grenzwert von 1° überschreitet.



Global X -bow on	Global X – vorlich
HEBO-P-63 "Heavy"	HEBO-P-63 „Schwer“
HEBO-P-63 "Design"	HEBO-P-63 „Bemessungsbed.“
Line A (m/m)	Leine A (m/m)
Wave Frequency (Hz)	Wellenfrequenz (Hz)

Abbildung 8: Vergleich der RAO-Stampfbewegung bei vorlichen Wellen

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 19 of 39

Dwarswellen

Die RAOs des Ponton-Typs HEBO-P63 sind für beide Belastungszustände bei Dwarswellenbedingungen auf derselben Skala abgebildet. Der Ponton zeigt bei beiden Belastungszuständen, „schwer“ und „Bemessung“, ein ähnliches Verhalten hinsichtlich beider Bewegungstypen (Schnellen und Tauchen). Dies lässt darauf schließen, dass der Belastungszustand sich nur begrenzt auf die Versetz- und Tauchbewegungen des Pontons bei Dwarswellen auswirkt.

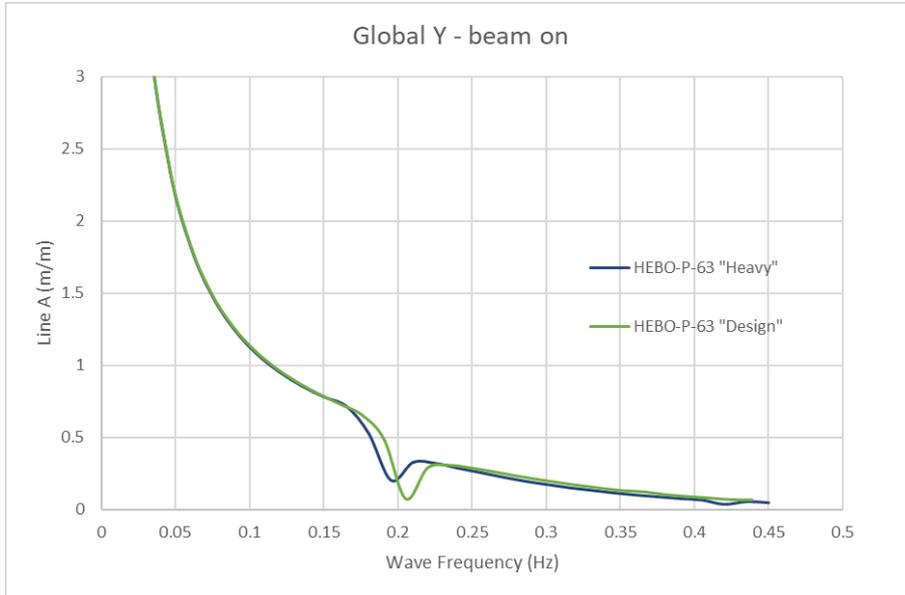
Wie bei der Schnellbewegung nimmt mit zunehmender Wellenfrequenz auch die Versetzbewegung ab (

HEBO-P-63 "Heavy"	HEBO-P-63 „Schwer“
HEBO-P-63 "Design"	HEBO-P-63 „Bemessungsbed.“
Line A (m/m)	Leine A (m/m)
Wave Frequency (Hz)	Wellenfrequenz (Hz)

Abbildung 9 9). Im „schwer“ belasteten Zustand zeigt der Ponton-Typ HEBO-P63 ein sehr ähnliches Verhalten wie unter Bemessungsbedingungen. Der Hauptunterschied ist die Frequenz, bei der der „Bewegungseinbruch“ auftritt.

Der Grenzwert für Versetzbewegungen liegt bei 0,6 m (Spitze-zu-Spitze). Bei Dwarswellen von bis zu 0,7 m Höhe (T = 1 Jahr) wird dieser Grenzwert durch den Ponton bei Wellenfrequenzen von weniger als 0,18 Hz bzw. 5,5 s überschritten. Dies liegt außerhalb des erwarteten Wellenperiodenbereichs aus dieser Richtung. Es ist daher nicht zu erwarten, dass die Schnellbewegung den festgesetzten Grenzwert von 0,6 m überschreitet.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 20 of 39



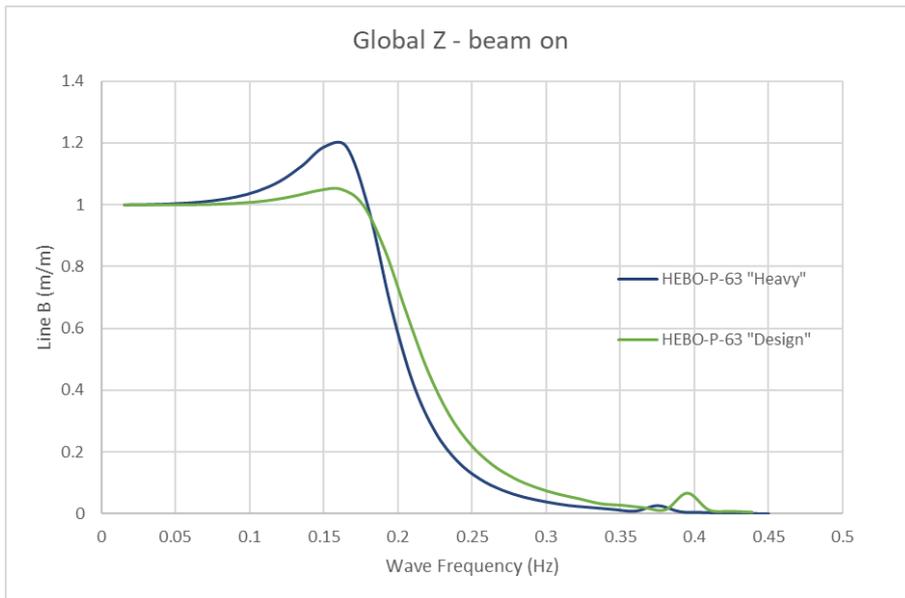
HEBO-P-63 "Heavy"	HEBO-P-63 „Schwer“
HEBO-P-63 "Design"	HEBO-P-63 „Bemessungsbed.“
Line A (m/m)	Leine A (m/m)
Wave Frequency (Hz)	Wellenfrequenz (Hz)

Abbildung 9: Vergleich der RAO-Versetzbewegung bei Dwarswellen

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 21 of 39

Für die Tauchbewegung (Abbildung 10) zeigt sich ein leichter Reaktionsanstieg bei niedrigen Wellenfrequenzen, gefolgt von einer starken Reaktionsabnahme bei Frequenzen über ca. 0,17 Hz (ca. 5,9 s). Bei der Tauchbewegung ist ein signifikanter Unterschied zwischen dem „schwer“ belasteten Ponton und dem Ponton unter Bemessungsbedingungen festzustellen. Bei dem höher belasteten Ponton tritt das Maximum schon bei einer geringeren Frequenz auf, und die Maximalbewegung selbst ist höher.

Der Grenzwert für Tauchbewegungen liegt bei 0,8 m. Bei Darswellen von bis zu 0,7 m Höhe (T = 1 Jahr) wird dieser Grenzwert bei Wellenfrequenzen von weniger als 0,2 Hz bzw. 5 s unter beiden Belastungsbedingungen durch den Ponton überschritten. Dies liegt außerhalb des erwarteten Wellenperiodenbereichs. Es ist daher nicht zu erwarten, dass die Tauchbewegung den festgesetzten Grenzwert von 0,8 m überschreitet.



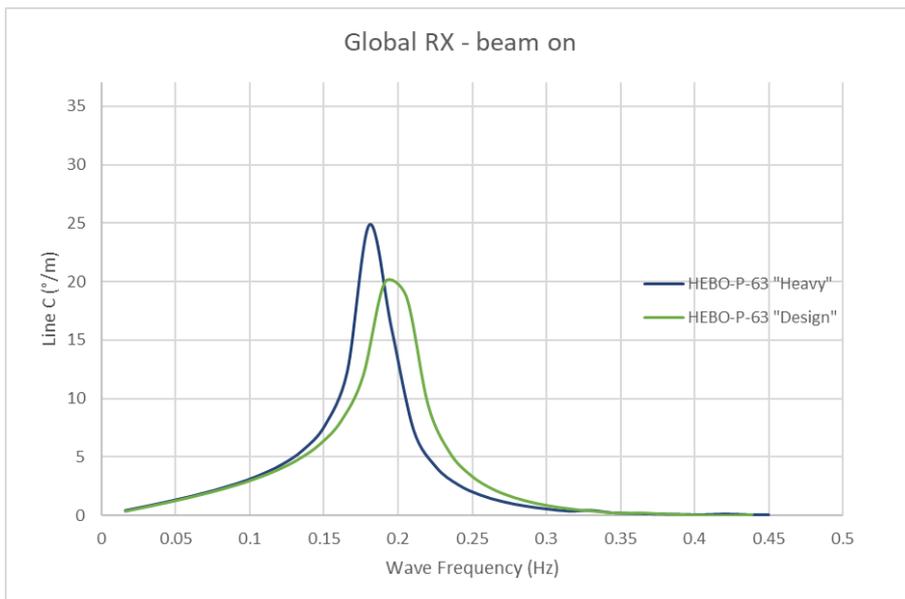
HEBO-P-63 "Heavy"	HEBO-P-63 „Schwer“
HEBO-P-63 "Design"	HEBO-P-63 „Bemessungsbed.“
Line A (m/m)	Leine A (m/m)
Wave Frequency (Hz)	Wellenfrequenz (Hz)

Abbildung 10: Vergleich der RAO-Tauchbewegung bei Darswellen

	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 22 of 39

Für die Rollbewegung (Abbildung 11) zeigt sich ein starker Reaktionsanstieg bei niedrigen Wellenfrequenzen, gefolgt von einer starken Reaktionsabnahme bei Frequenzen über ca. 0,16 bis 0,2 Hz (ca. 5 bis 5,5 s). Bei der Rollbewegung ist ein signifikanter Unterschied zwischen dem „schwer“ belasteten Ponton und dem Ponton unter Bemessungsbedingungen festzustellen. Bei dem höher belasteten Ponton tritt das Maximum schon bei einer geringeren Frequenz auf, und die Maximalbewegung selbst ist höher. Beim Ponton mit dem Bemessungsgewicht kommt es zu etwas geringeren Stampfbewegungen als beim „schwer“ belasteten Ponton.

Der Grenzwert für die Rollbewegung beträgt 4°. Bei Darswellen von bis zu 0,7 m Höhe (T = 1 Jahr) wird dieser Grenzwert durch den Ponton bei Wellenfrequenzen zwischen 0,12 und 0,24 Hz bzw. 4 bis 6 s überschritten. Dies liegt knapp außerhalb des erwarteten Wellenperiodenbereichs. Es ist daher nicht zu erwarten, dass die Rollbewegung bei Bedingungen einer Jährlichkeit von 1 den festgesetzten Grenzwert von 1° überschreitet.



HEBO-P-63 "Heavy"	HEBO-P-63 „Schwer“
HEBO-P-63 "Design"	HEBO-P-63 „Bemessungsbed.“
Line A (m/m)	Leine A (m/m)
Wave Frequency (Hz)	Wellenfrequenz (Hz)

Abbildung 11: Vergleich der RAO-Rollbewegung bei Darswellen

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 23 of 39

5 Vertäubemessung

Der Ponton-Typ HEBO-P63 mit einer Konfiguration von 2,3 m Tiefgang wird als Bemessungs-Ponton ausgewählt, da er gegenüber dem „schweren“ Ponton hinsichtlich Rollen und Stampfen geringfügig besser abschneidet. Um diesen Ponton an seinem Platz zu halten, ist eine Reihe von Vertäupfählen vorgesehen, wie in den nachstehenden Abbildungen dargestellt. Es werden insgesamt 12 Pfähle eingesetzt, mit je 3 Pfählen an jedem Ponton-Ende (Heck und Bug). An den Ponton-Seiten werden 6 Pfähle platziert, die in zwei Dreiergruppen angeordnet sind. Das Verhalten dieser Anordnung wird mit dem hydrodynamischen Reaktionsmodul der Ansys-AQWA-Software modelliert.

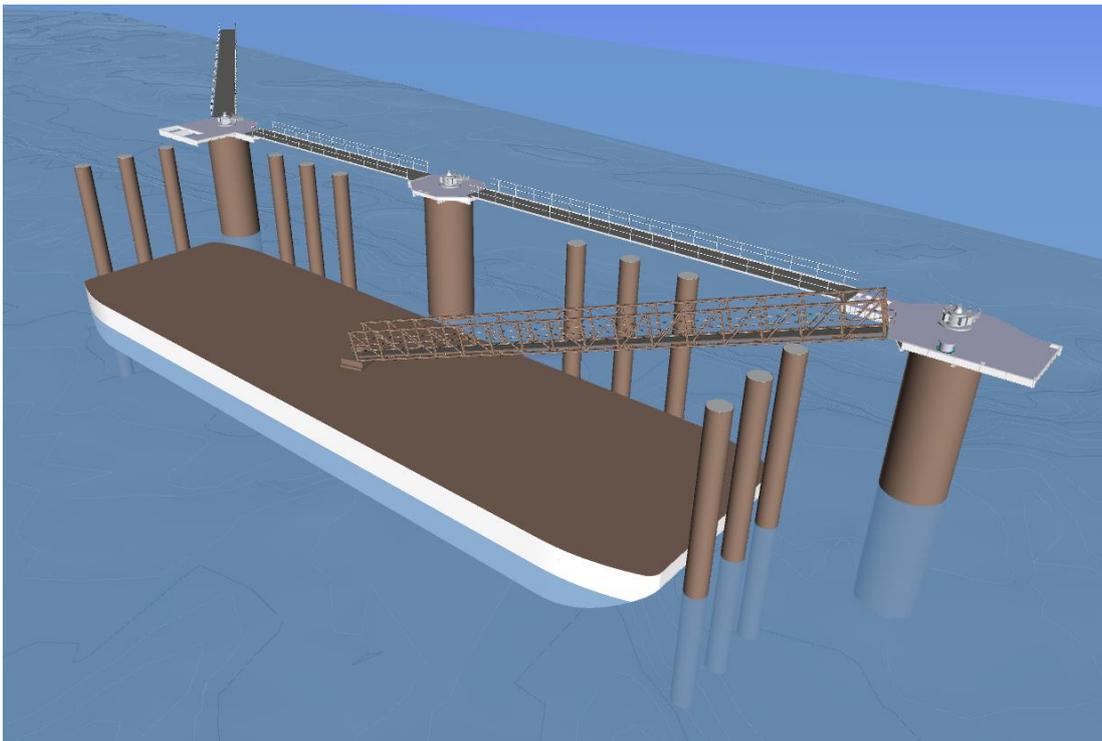


Abbildung 12: Ponton-Anordnung mit Pfählen

Im Ansys-AQWA-Modell wurden die Vertäupfähle schematisch als Kombination von 4 linear angeordneten Fendern dargestellt, die in verschiedene Richtungen agieren. Jeder Fender agiert lediglich in eine Richtung (auf der X- oder Y-Achse) und erlaubt nur Drucklasten. Es können keine Zuglasten auf den Fender übertragen werden, daher werden für jede Richtung zwei gegenüberliegende Fender modelliert. In vertikaler Richtung hat der Ponton volle Bewegungsfreiheit; auf die Fender wirken keine Reibungskräfte ein und die Fender werden nicht in vertikaler Richtung modelliert. In der Ruheposition wirken keine Lasten auf die Fender ein (0 kN/m).

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU	Page 24 of 39	

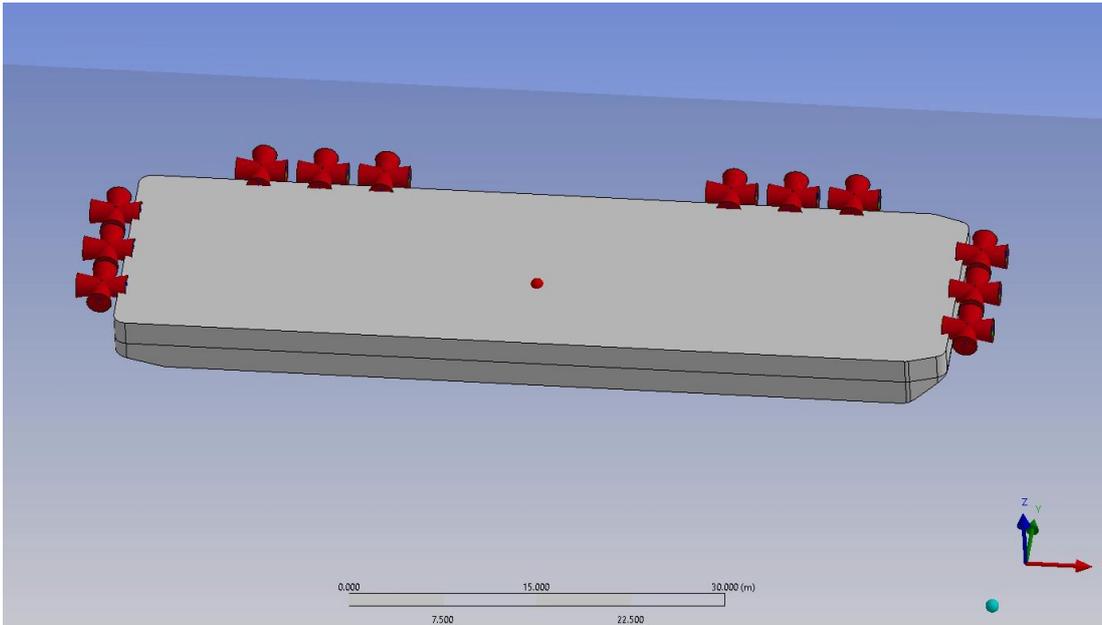


Abbildung 13: Modell des vertäuten Pontons mit maximal 3 Vertäupfählen je Ponton-Seite

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 25 of 39

Hydrodynamische Reaktionsergebnisse

Die Steifigkeit der Vertäupfähle hängt von den Pfahleigenschaften und der Wassertiefe ab. Es wird ein festes Bodenniveau zugrunde gelegt.

Als erste Annäherung werden für die Vertäupfahlmaße vorerst eine Länge von 1400 mm und eine Dicke von 45 mm angenommen. Mit diesen Maßen hat der Pfahl bei hohem Wasserstand eine andere Steifigkeit als bei niedrigem, da bei Hochwasser ein längerer Abschnitt des Pfahls aus dem Wasser ragt, was dem Pfahl solange eine geringere Steifigkeit verleiht. Anmerkung: Die finalen Pfahlabmessungen werden im Pfahlbemessungsbericht bestimmt.

Die folgenden Steifigkeiten wurden für die Bedingungen einer Jährlichkeit von 1/100 angenommen:

- Niedrigwasser: 9224 kN/m
- Hochwasser: 831 kN/m

Die dynamische Vertäuanalyse wurde für diese beiden Konfigurationen durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde auch ein Modell bei Niedrigwasserbedingungen (bei einer Wassertiefe von 10 m) vorbereitet. Das Hochwasser-Modell bei Hochwasserbedingungen sieht eine Wassertiefe von 21 m vor.

Ergebnisse bei Bedingung mit Jährlichkeit von 1/100

Das Modell wurde den hydraulischen Bedingungen unterzogen, die in Abschnitt 3 dargelegt sind, darunter Windwellen- und Dünungswellenbedingungen. Zudem wurden auch Bedingungen geprüft, bei denen nur Wellen bzw. Strömung einwirken, siehe Tabelle 1 und Tabelle 2. Wie sich gezeigt hat, wirken bei Nur-Wellen-Bedingungen (Dwarsrichtung) die stärksten Kräfte auf die Pfähle ein. Dies gilt für alle untersuchten Pfahl-/Fendersteifigkeiten. Hinsichtlich der Nur-Wellen-Bedingungen handelt es sich um eine konservative Annahme, insofern diese Wellen typischerweise durch starke Winde aus derselben Richtung verursacht werden.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 26 of 39

Tabelle 1: Ergebnisse Ponton-Analyse, Bedingung mit Jährlichkeit von 1/100, hohe Pfahlsteifigkeit (9224 kN/m)

Wind Speed	Wind Direction	Wave Direction	Significant Wave Height	Wave Peak Period	Irregular Wave Gamma	Current Speed	Current Direction	Pile stiffness	max longitudinal force (fx)	max lateral force (FY)	maximum total force (Fcombined)	maximum surge motion (dx)	maximum sway motion (dx)
[m/s]	[deg]	[deg]	[m]	[s]	[-]	[m/s]	[deg]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
27.2	321.75	334.55	2.1	5.1	2.3	1.88	0	9224	235	167	289	0.06	0.04
22.6	291.75	312.35	1.6	4.4	2.8	1.88	0	9224	109	133	172	0.02	0.03
18	261.75	270.65	1.2	3.8	3.3	1.88	180	9224	19	611	612	0.00	0.17
21	231.75	227.55	1.3	3.8	3.4	1.88	180	9224	58	109	124	0.01	0.01
17.9	201.75	198.95	1.1	3.7	3.5	1.88	180	9224	53	50	73	0.01	0.00
16.8	171.75	182.95	1	3.7	2.4	1.88	180	9224	78	47	91	0.01	0.00
21.6	141.75	171.85	0.6	3.2	1.7	1.88	180	9224	42	26	50	0.01	0.00
24.2	111.75	150.75	1.2	3.8	1.5	1.88	180	9224	37	70	80	0.01	0.01
26.4	81.75	82.25	1	3	2.9	1.88	0	9224	26	384	385	0.00	0.04
26	51.75	7.45	1.3	4.3	1.5	1.88	0	9224	163	102	192	0.02	0.01
26.8	21.75	-11.75	1.8	4.9	1.9	1.88	0	9224	185	114	218	0.04	0.01
27.8	-8.25	-17.25	2.1	5.2	2	1.88	0	9224	252	160	299	0.06	0.03
1	0	0	0.1	2	3.3	1.88	0	9224	22	16	27	0.00	0.00
1	180	180	0.1	2	3.3	1.88	180	9224	18	13	22	0.00	0.00
1	-23.25	-23.25	0.1	13.5	1.8	0.1	0	9224	8	6	10	0.01	0.00
1	-26.25	-26.25	0.1	14.7	1.8	0.1	0	9224	8	6	9	0.01	0.00
1	-34.25	-34.25	0.2	15.4	1.8	0.1	0	9224	17	14	22	0.01	0.01
1	-36.25	-36.25	0.4	8.7	1.1	0.1	0	9224	65	36	74	0.03	0.01
1	321.75	321.75	0.4	6.7	1.7	0.1	0	9224	40	30	50	0.02	0.02
1	-35.25	-35.25	0.3	12.1	1.5	0.1	0	9224	31	20	37	0.02	0.01
1	51.75	7.45	1.3	4.3	1.5	0.1	0	9224	98	47	109	0.02	0.01
1	81.75	82.25	1	3	2.9	0.1	0	9224	24	466	467	0.00	0.06
1	261.75	270.65	1.2	3.8	3.3	0.1	0	9224	13	587	587	0.00	0.16

Wind Speed [m/s]	Windgeschwindigkeit [m/s]
Wind Direction [deg]	Windrichtung [Grad]
Wave Direction [deg]	Wellenrichtung [Grad]
Significant Wave Height [m]	Maßgebliche Wellenhöhe [m]
Wave Peak Period [s]	Wellenkammerperiode [s]
Irregular Wave Gamma [-]	Gamma unregelmäßige Wellen (JONSWAP) [-]
Current Speed [m/s]	Strömungsgeschwindigkeit [m/s]
Current Direction [deg]	Strömungsrichtung [Grad]
Pile stiffness [kN/m]	Pfahlsteifigkeit [kN/m]
max longitudinal force (fx) [kN]	max. Längskraft (Fx) [kN]
max lateral force (FY)[kN]	max. Querkraft (Fy) [kN]
maximum total force (Fcombined) [kN]	max. Gesamtkraft (Fkomb) [kN]
maximum surge motion (dx) [m]	max. Schnell-Bewegung (dx) [m]
maximum sway motion (dx) [m]	max. Versetz-Bewegung (dx) [m]

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 27 of 39

Tabelle 2: Ergebnisse Ponton-Analyse, Bedingung mit Jährlichkeit von 1/100, geringe Pfahlsteifigkeit (831 kN/m)

Wind Speed	Wind Direction	Wave Direction	Significant Wave Height	Wave Peak Period	Irregular Wave Gamma	Current Speed	Current Direction	Pile stiffness	max longitudinal force (fx)	max lateral force (FY)	maximum total force (Fcombined)	maximum surge motion (dx)	maximum sway motion (dx)
[m/s]	[deg]	[deg]	[m]	[s]	[-]	[m/s]	[deg]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
27.2	321.75	334.55	2.1	5.1	2.3	1.88	0	831	260	311	406	0.30	0.14
22.6	291.75	312.35	1.6	4.4	2.8	1.88	0	831	420	377	565	0.47	0.14
18	261.75	270.65	1.2	3.8	3.3	1.88	180	831	38	616	617	0.04	0.77
21	231.75	227.55	1.3	3.8	3.4	1.88	180	831	199	188	274	0.23	0.08
17.9	201.75	198.95	1.1	3.7	3.5	1.88	180	831	78	117	141	0.08	0.03
16.8	171.75	182.95	1	3.7	2.4	1.88	180	831	80	87	119	0.09	0.01
21.6	141.75	171.85	0.6	3.2	1.7	1.88	180	831	26	22	34	0.03	0.01
24.2	111.75	150.75	1.2	3.8	1.5	1.88	180	831	107	140	176	0.12	0.06
26.4	81.75	82.25	1	3	2.9	1.88	0	831	27	340	341	0.03	0.38
26	51.75	7.45	1.3	4.3	1.5	1.88	0	831	227	160	278	0.26	0.03
26.8	21.75	-11.75	1.8	4.9	1.9	1.88	0	831	311	211	376	0.35	0.05
27.8	-8.25	-17.25	2.1	5.2	2	1.88	0	831	276	252	374	0.32	0.10
1	0	0	0.1	2	3.3	1.88	0	831	4	2	4	0.00	0.00
1	180	180	0.1	2	3.3	1.88	180	831	4	2	5	0.01	0.00
1	-23.25	-23.25	0.1	13.5	1.8	0.1	0	831	7	6	9	0.00	0.01
1	-26.25	-26.25	0.1	14.7	1.8	0.1	0	831	7	7	9	0.00	0.01
1	-34.25	-34.25	0.2	15.4	1.8	0.1	0	831	13	16	20	0.01	0.01
1	-36.25	-36.25	0.4	8.7	1.1	0.1	0	831	32	46	56	0.02	0.03
1	321.75	321.75	0.4	6.7	1.7	0.1	0	831	33	53	62	0.04	0.04
1	-35.25	-35.25	0.3	12.1	1.5	0.1	0	831	20	26	33	0.01	0.02
1	51.75	7.45	1.3	4.3	1.5	0.1	0	831	206	147	253	0.23	0.02
1	81.75	82.25	1	3	2.9	0.1	0	831	20	355	355	0.02	0.38
1	261.75	270.65	1.2	3.8	3.3	0.1	0	831	27	648	649	0.03	0.83

Wind Speed [m/s]	Windgeschwindigkeit [m/s]
Wind Direction [deg]	Windrichtung [Grad]
Wave Direction [deg]	Wellenrichtung [Grad]
Significant Wave Height [m]	Maßgebliche Wellenhöhe [m]
Wave Peak Period [s]	Wellenkammerperiode [s]
Irregular Wave Gamma [-]	Gamma unregelmäßige Wellen (JONSWAP) [-]
Current Speed [m/s]	Strömungsgeschwindigkeit [m/s]
Current Direction [deg]	Strömungsrichtung [Grad]
Pile stiffness [kN/m]	Pfahlsteifigkeit [kN/m]
max longitudinal force (fx) [kN]	max. Längskraft (Fx) [kN]
max lateral force (FY)[kN]	max. Querkraft (Fy) [kN]
maximum total force (Fcombined) [kN]	max. Gesamtkraft (Fkomb) [kN]
maximum surge motion (dx) [m]	max. Schnell-Bewegung (dx) [m]
maximum sway motion (dy) [m]	max. Versetz-Bewegung (dy) [m]

Die maßgebliche Krafrichtung liegt in Querrichtung („Dwarsrichtung“), da dies die Ponton-Seite ist, die Wind und Wellen am stärksten ausgesetzt ist. Es zeigt sich, dass die Kräfte bei hohem Wasserstand am größten sind, obwohl die Pfahlsteifigkeit dann geringer ist als bei niedrigem Wasserstand (siehe nachstehende Tabelle).

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 28 of 39

Pfehlsteifigkeit [kN/m]	Wassertiefe [m]	max Fx [kN]	max Fy [kN]
831	21	420	648
9224	10	241	619

Im nächsten Abschnitt werden die Ponton-Bewegungen für die gegebenen Steifigkeitswerte ausgearbeitet. Die angezeigten Positionen gelten für den Ponton-Schwerpunkt (Centre of gravity, COG). Die Position des Schwerpunkts (COG) liegt in Längsrichtung (X) 33 cm achtern zur Ponton-Mittellinie. Die nachstehenden Ergebnisse berücksichtigen dies. Die Bewegungen, die der Ponton bei der jeweiligen Steifigkeit zeigt, erfolgen um diese Position herum.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 29 of 39

Pfahlsteifigkeit [kN/m]	COG X (**) (min) [m]	COG X (**) (max) [m]	COG Y (min) [m]	COG Y (max) [m]	COG Z (min) [m]	COG Z (max) [m]
831	-0,77	0,14	-0,83	0,70	-0,06	0,44
9224 (*)	-0,37	-0,27	-0,17	0,11	-0,07	0,42

ANMERKUNG (*): mittels Hochwasserstandmodel bestimmt (Wassertiefe von 21 m)

ANMERKUNG (**): Die Position des Schwerpunkts (COG) liegt in Längsrichtung (X) 33 cm achtern zur Ponton-Mittellinie.

Die nachstehende Tabelle zeigt die Rotationsbewegungen des Pontons. Der Ponton vollführt bei einem Pfahlzustand mit niedriger Steifigkeit (bei Hochwasser) eine Rollbewegung (RX) von mehr als 5° in Backbord- und Steuerbordrichtung. Die Stampfbewegung, also eine Rotation um die Y-Achse, ist bei beiden untersuchten Steifigkeiten größer als 1°. Die Pfahlsteifigkeit wirkt sich offenbar wenig auf das Stampfen aus.

Pfahlsteifigkeit [kN/m]	RX (min) [Gr]	RX (max) [Gr]	RY (min) [Gr]	RY (max) [Gr]	RZ (min) [Gr]	RZ (max) [Gr]
831	-5,39	5,68	-1,36	1,27	-0,49	0,52
9224 (*)	-3,84	3,51	-1,33	1,22	-0,02	0,04

ANMERKUNG (*): mittels Hochwasserstandmodel bestimmt (Wassertiefe von 21 m)

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 30 of 39

Ergebnisse bei Bedingung mit Jährlichkeit von 1

Das Modell wurde den hydraulischen Bedingungen mit einer Jährlichkeit von 1 unterzogen, wie in Abschnitt 3 dargelegt, darunter Windwellen- und Dünungswellenbedingungen. Zudem wurden auch Bedingungen geprüft, bei denen nur Wellen bzw. Strömung einwirken, siehe Tabelle 3 und Tabelle 4. Wie sich gezeigt hat, wirken bei Nur-Wellen-Bedingungen (Dwarsrichtung) die stärksten Kräfte auf die Pfähle ein. Dies gilt für alle untersuchten Pfahl-/Fendersteifigkeiten.

Tabelle 3: Ergebnisse Ponton-Analyse, Bedingung mit Jährlichkeit von 1, geringe Pfahlsteifigkeit (1599 kN/m)

Wind Speed	Wind Direction	Wave Direction	Significant Wave Height	Wave Peak Period	Irregular Wave Gamma	Current Speed	Current Direction	Pile stiffness	max longitudinal force (fx)	max lateral force (FY)	maximum total force (Fcombined)	maximum surge motion (dx)	maximum sway motion (dx)
[m/s]	[deg]	[deg]	[m]	[s]	[-]	[m/s]	[deg]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
14.8	321.75	332.65	1.2	4.1	2.4	1.88	0	1599	72	83	110	0.04	0.02
13.5	291.75	309.45	1	3.7	2.8	1.88	0	1599	103	164	194	0.06	0.07
12.1	261.75	270.05	0.7	3.5	3.3	1.88	180	1599	15	307	308	0.01	0.19
12.3	231.75	231.35	0.7	3	3.2	1.88	180	1599	64	95	115	0.04	0.04
11.4	201.75	199.85	0.7	3.1	3.5	1.88	180	1599	44	59	73	0.03	0.01
12	171.75	183.05	0.6	3.1	2.2	1.88	180	1599	79	67	104	0.05	0.00
13.8	141.75	170.05	0.9	3.6	1.7	1.88	180	1599	109	87	140	0.07	0.01
16.4	111.75	149.25	0.8	3.2	1.5	1.88	180	1599	46	50	68	0.03	0.02
17	81.75	81.45	0.6	2.5	2.8	1.88	0	1599	28	289	290	0.01	0.17
16.7	51.75	9.15	0.9	3.6	1.7	1.88	0	1599	162	118	200	0.09	0.01
16.9	21.75	-12.85	1.2	4.2	1.9	1.88	0	1599	136	107	173	0.09	0.01
17	-8.25	-17.85	1.4	4.4	2.1	1.88	0	1599	120	101	156	0.07	0.03
1	261.75	270.05	0.7	3.5	3.3	0.1	0	1599	10	312	312	0.01	0.19

Wind Speed [m/s]	Windgeschwindigkeit [m/s]
Wind Direction [deg]	Windrichtung [Grad]
Wave Direction [deg]	Wellenrichtung [Grad]
Significant Wave Height [m]	Maßgebliche Wellenhöhe [m]
Wave Peak Period [s]	Wellenkammerperiode [s]
Irregular Wave Gamma [-]	Gamma unregelmäßige Wellen (JONSWAP) [-]
Current Speed [m/s]	Strömungsgeschwindigkeit [m/s]
Current Direction [deg]	Strömungsrichtung [Grad]
Pile stiffness [kN/m]	Pfahlsteifigkeit [kN/m]
max longitudinal force (fx) [kN]	max. Längskraft (Fx) [kN]
max lateral force (FY)[kN]	max. Querkraft (Fy) [kN]
maximum total force (Fcombined) [kN]	max. Gesamtkraft (Fkomb) [kN]
maximum surge motion (dx) [m]	max. Schnell-Bewegung (dx) [m]
maximum sway motion (dy) [m]	max. Versetz-Bewegung (dy) [m]

	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 31 of 39

Tabelle 4: Ergebnisse Ponton-Analyse, Bedingung mit Jährlichkeit von 1, hohe Pfahlsteifigkeit (7538 kN/m)

Wind Speed	Wind Direction	Wave Direction	Significant Wave Height	Wave Peak Period	Irregular Wave Gamma	Current Speed	Current Direction	Pile stiffness	max longitudinal force (fx)	max lateral force (FY)	maximum total force (Fcombined)	maximum surge motion (dx)	maximum sway motion (dx)
[m/s]	[deg]	[deg]	[m]	[s]	[-]	[m/s]	[deg]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
14.8	321.75	332.65	1.2	4.1	2.4	1.88	0	7538	71	76	104	0.01	0.01
13.5	291.75	309.45	1	3.7	2.8	1.88	0	7538	60	145	157	0.01	0.02
12.1	261.75	270.05	0.7	3.5	3.3	1.88	180	7538	19	298	299	0.00	0.06
12.3	231.75	231.35	0.7	3	3.2	1.88	180	7538	26	98	101	0.01	0.01
11.4	201.75	199.85	0.7	3.1	3.5	1.88	180	7538	38	30	48	0.01	0.00
12	171.75	183.05	0.6	3.1	2.2	1.88	180	7538	68	49	83	0.01	0.00
13.8	141.75	170.05	0.9	3.6	1.7	1.88	180	7538	60	41	72	0.01	0.00
16.4	111.75	149.25	0.8	3.2	1.5	1.88	180	7538	29	43	52	0.01	0.01
17	81.75	81.45	0.6	2.5	2.8	1.88	0	7538	41	336	339	0.01	0.04
16.7	51.75	9.15	0.9	3.6	1.7	1.88	0	7538	105	70	126	0.01	0.00
16.9	21.75	-12.85	1.2	4.2	1.9	1.88	0	7538	125	80	148	0.02	0.01
17	-8.25	-17.85	1.4	4.4	2.1	1.88	0	7538	130	101	165	0.02	0.01
1	261.75	270.05	0.7	3.5	3.3	0.1	0	7538	15	248	248	0.00	0.06

Wind Speed [m/s]	Windgeschwindigkeit [m/s]
Wind Direction [deg]	Windrichtung [Grad]
Wave Direction [deg]	Wellenrichtung [Grad]
Significant Wave Height [m]	Maßgebliche Wellenhöhe [m]
Wave Peak Period [s]	Wellenkammerperiode [s]
Irregular Wave Gamma [-]	Gamma unregelmäßige Wellen (JONSWAP) [-]
Current Speed [m/s]	Strömungsgeschwindigkeit [m/s]
Current Direction [deg]	Strömungsrichtung [Grad]
Pile stiffness [kN/m]	Pfahlsteifigkeit [kN/m]
max longitudinal force (fx) [kN]	max. Längskraft (Fx) [kN]
max lateral force (FY)[kN]	max. Querkraft (Fy) [kN]
maximum total force (Fcombined) [kN]	max. Gesamtkraft (Fkomb) [kN]
maximum surge motion (dx) [m]	max. Schnell-Bewegung (dx) [m]
maximum sway motion (dy) [m]	max. Versetz-Bewegung (dy) [m]

Die maßgebliche Krafrichtung liegt in Querrichtung, da dies die Ponton-Seite ist, die Wind und Wellen am stärksten ausgesetzt ist. Es zeigt sich, dass die Kräfte bei hohem Wasserstand am größten sind, obwohl die Pfahlsteifigkeit dann geringer ist als bei niedrigem Wasserstand. Die Wasserstände, und somit die Pfahlsteifigkeit, weichen von der Bedingung mit einer Jährlichkeit von 1/100 ab.

Pfahlsteifigkeit [kN/m]	Wassertiefe [m]	max Fx [kN]	max Fy [kN]
1599	21	162	312

	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 32 of 39

7538	10	130	336
------	----	-----	-----

Im nächsten Abschnitt werden die Ponton-Bewegungen für die gegebenen Steifigkeitswerte ausgearbeitet. Die angezeigten Positionen gelten für den Ponton-Schwerpunkt (Centre of gravity, COG). Die Position des Schwerpunkts (COG) liegt in Längsrichtung (X) 0,33 m achtern zur Ponton-Mittellinie. Die nachstehenden Ergebnisse berücksichtigen dies. Die Bewegungen, die der Ponton bei der jeweiligen Steifigkeit zeigt, erfolgen um diese Position herum. Alle Ponton-Bewegungen liegen innerhalb der in Abschnitt 2 angegebenen Grenzwerte.

Pfahlsteifigkeit [kN/m]	COG X ** (min) [m]	COG X ** (max) [m]	COG Y (min) [m]	COG Y (max) [m]	COG Z (min) [m]	COG Z (max) [m]
1599	-0,42	-0,24	-0,19	0,18	0,09	0,29
7538 (*)	-0,35	-0,31	-0,06	0,05	0,09	0,29

ANMERKUNG (*): mittels Hochwasserstandmodel bestimmt (Wassertiefe von 21 m)

ANMERKUNG (**): Die Position des Schwerpunkts (COG) liegt in Längsrichtung (X) 33 cm achtern zur Ponton-Mittellinie.

Die nachstehende Tabelle zeigt die Rotationsbewegungen des Pontons. Der Ponton vollführt bei einem Pfahlzustand mit hoher Steifigkeit (bei Niedrigwasser) eine Rollbewegung (RX) von mehr als 1° in Backbord- und Steuerbordrichtung. Die Stampfbewegung, also eine Rotation um die Y-Achse, sowie die Gierbewegung sind bei beiden untersuchten Steifigkeiten geringer als 1°.

Pfahlsteifigkeit [kN/m]	RX (min) [Gr]	RX (max) [Gr]	RY (min) [Gr]	RY (max) [Gr]	RZ (min) [Gr]	RZ (max) [Gr]
1599	-0,73	0,80	-0,30	0,23	-0,12	0,11
7538 (*)	-1,10	1,02	-0,29	0,18	-0,02	0,02

ANMERKUNG (*): mittels Hochwasserstandmodel bestimmt (Wassertiefe von 21 m)

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 33 of 39

Sensibilitätsprüfungen

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die Ergebnisse der umgebungsbedingten Einwirkungen mit Wiederkehrintervallen von 1 Jahr und 100 Jahren untersucht. Im folgenden Abschnitt wird die Sensibilität des Systems gegenüber Schwankungen und Abweichungen bestimmter Parameter geprüft. Es wurden die folgenden Prüfungen durchgeführt:

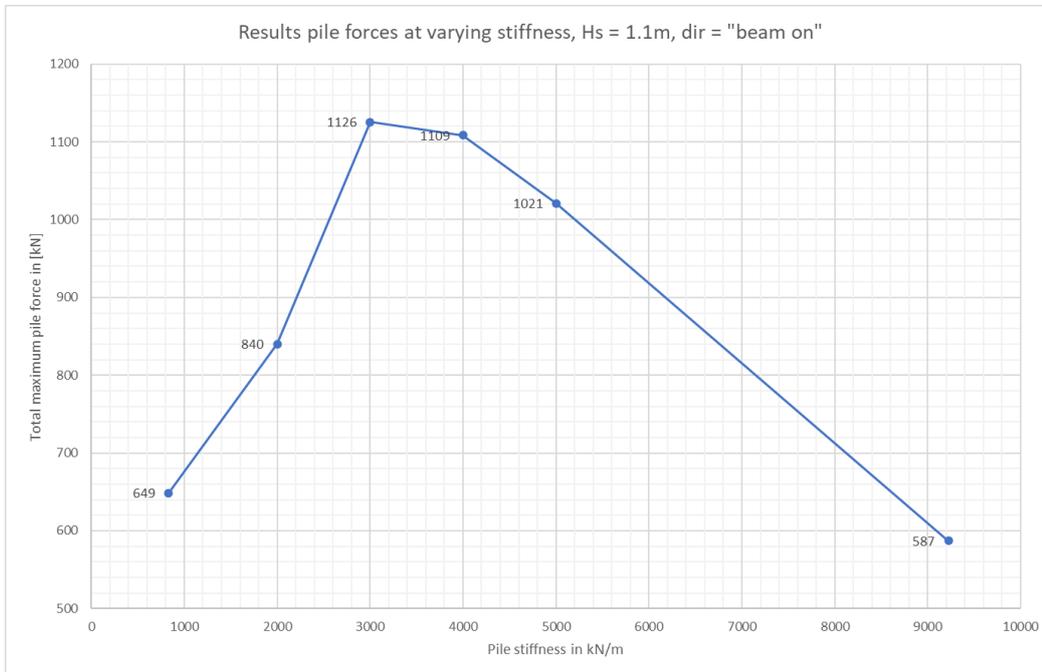
- Unterschiedliche Steifigkeiten
- Variationen beim Seed-Wert
- Unterschiedliche Halterungshöhen

Unterschiedliche Steifigkeiten

Angesichts dessen, dass die Pfahlsteifigkeit sich mit schwankendem Wasserstand ändert, werden intermittierende Steifigkeiten für die maßgebliche Richtung untersucht. Aus den oben beschriebenen Berechnungen lässt sich schließen, dass die maßgebliche Bedingung Wind- und Wellen aus Dwarsrichtung ist (aus 60° N bzw. 260/270° gemäß Ansys-AQWA-Modell). Für diese Bedingung wird die Auswirkung auf die Kräfte, die auf die Pfähle einwirken, bei unterschiedlicher Steifigkeit untersucht. Für diese Analyse wird das Tiefwassermodell verwendet.

Die nachstehende Abbildung zeigt das Analyseergebnis. Die Steifigkeit bei Hochwasser (T = 100 Jahre) mit 831 kN/m befindet sich links im Diagramm. Die Steifigkeit bei Niedrigwasser (T = 100 Jahre) ist rechts sehen (9224 kN/m). Es zeigt sich, dass die auf die Pfähle einwirkenden Kräfte bei einer Steifigkeit von ca. 3000 kN/m ihren Höchstwert erreichen, mit einer Maximalkraft von 1126 kN.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 34 of 39



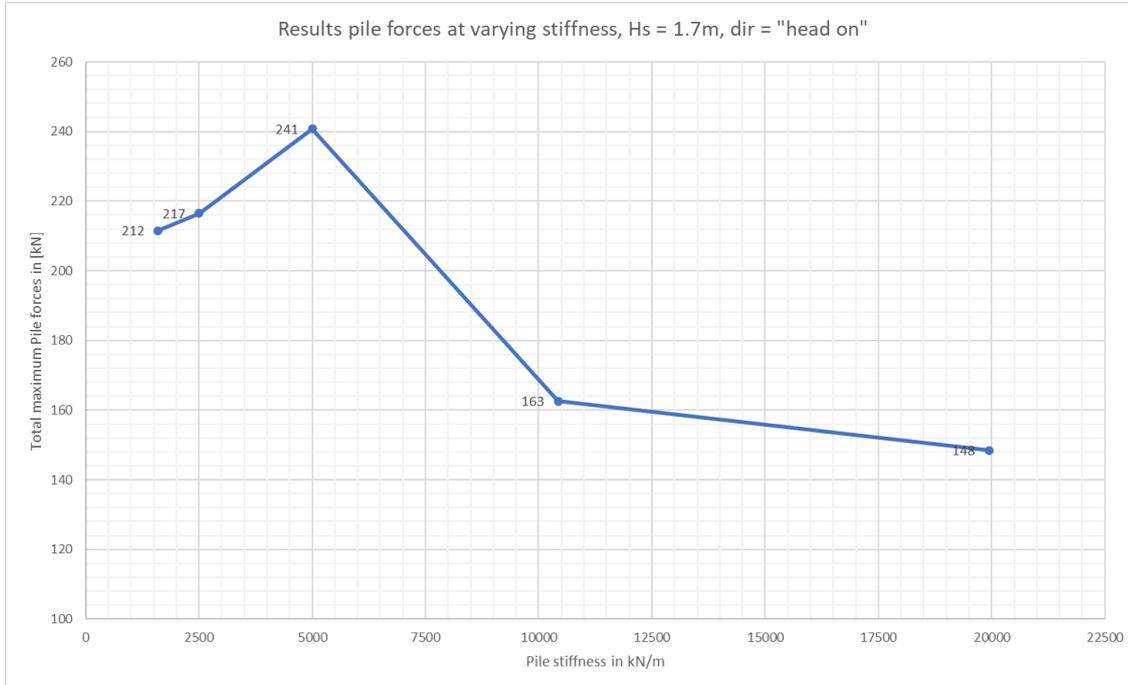
Results pile forces at varying stiffness, Hs = 1.1m, dir = "beam on"	Ergebnisse auf die Pfähle einwirkende Kräfte bei versch. Steifigkeit, Hs = 1,1 m, Richtung = „dwars“
Total maximum pile force in [kN]	Gesamt max. auf die Pfähle einwirkende Kräfte in [kN]
Pile stiffness in kN/m	Pfahlsteifigkeit in kN/m

Abbildung 14: Maximale auf die Pfähle einwirkenden Kräfte bei unterschiedlicher Steifigkeit des Pfahls (Wellenbedingungen mit T = 100 Jahre; Dwarsrichtung)

Die in diesem Diagramm dargestellte auf die Pfähle einwirkende Kraft ist die resultierende auf die Pfähle einwirkende Kraft, die sich aus der Quadratwurzel aus der Summe der Maximalkraft in Längsrichtung (x) und der Maximalkraft in Querrichtung (y) ergibt.

Dieselbe Analyse wurde für vorliche Winde und Wellen (aus 330° N bzw. 351,75° gemäß AQWA) durchgeführt. Für diese Richtung wird ein geringeres Wiederkehrintervall angenommen; es wurde die Wellenbedingung mit einer Jährlichkeit von 1/10 und einer Wellenhöhe (H_s) von 1,7 m angesetzt. Das Analyseergebnis ist nachstehend dargestellt. Die Maximalkraft wird laut Diagramm bei einer Steifigkeit von ca. 5000 kN/m erreicht und beträgt 241 kN.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 35 of 39



Results pile forces at varying stiffness, Hs = 1.7m, dir = "head on"	Ergebnisse uf die Pfähle einwirkende Kräfte bei versch. Steifigkeit, Hs = 1,7 m, Richtung = „vorlich“
Total maximum pile force in [kN]	Gesamt max. auf die Pfähle einwirkende Kräfte in [kN]
Pile stiffness in kN/m	Pfahlsteifigkeit in kN/m

Abbildung 15: Maximale auf die Pfähle einwirkenden Kräfte bei unterschiedlicher Steifigkeit des Pfahls (Wellenbedingungen mit T = 10 Jahre; vorlich)

Die in diesem Diagramm dargestellte auf die Pfähle einwirkende Kraft ist die resultierende auf die Pfähle einwirkende Kraft, die sich aus der Quadratwurzel aus der Summe der Maximalkraft in Längsrichtung (x) und der Maximalkraft in Querrichtung (y) ergibt.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 36 of 39

Seed-Analyse

Dynamische Simulationen verwenden Seed-Werte (Startwerte), um Zeitreihen von Wind und Wellen aus stochastischen Parametern wie der maßgeblichen Wellenhöhe (H_s), der Wellenkammerperiode (T_p) und einem Überhöhungsfaktor (γ) zu berechnen. Für jeden beliebigen Seed-Wert ergibt sich stets dieselbe Zeitreihe, was Berechnungen wiederholbar macht. Da diese Zeitreihen von Natur aus schwankend und zeitlich begrenzt sind, werden möglicherweise nicht alle Spitzen erfasst, die in einer Zeitreihe mit festgelegten Merkmalen auftreten können (wie H_s , T_p und γ). Um diese Möglichkeit (Unterschätzung der Spitzenwerte) zu untersuchen und eine konservative Schätzung der Kräfte abzuleiten, wird in diesem Abschnitt untersucht, wie sich Variationen der Seed-Werte auswirken.

Der vorherige Wert wurde für einen einzigen Seed-Wert ermittelt. Gemäß gängiger Praxis wird der Einfluss des Seed-Werts auf die maximal ermittelte Kraft untersucht. In dieser Analyse wird der Seed-Wert 7 Mal variiert, siehe nachstehende Ergebnisse.

Tabelle 5: Ergebnisse der Seed-Werte-Analyse

Steifigkeit [kN/m]	Seed-Wert [-]	max Fx [kN]	max Fy [kN]
3333	1	72	1118
3333	10	76	982
3333	100	55	1044
3333	1.000	70	981
3333	10.000	73	1017
3333	100.000	58	1017
3333	1E+06	61	863
3333	1E+07	65	936

Es zeigt sich, dass der anfangs angesetzte Seed-Wert von 1 [-] den höchsten Querkräftewert liefert. Alle anderen Seed-Werte ergeben geringere Belastungen. Es ist daher mit Sicherheit davon auszugehen, dass die mit dem Niedrigwassermodell (Wassertiefe = 10 m) ermittelte Maximalkraft von 1164 kN die höchste wahrscheinliche Maximalkraft ist.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 37 of 39

Halterungshöhen

In allen Berechnungen wird angenommen, dass die Fender in einer Höhe von 2,0 m (über dem Wasserspiegel) an den Pfählen befestigt sind. Es könnte allerdings zu einer höheren Befestigungshöhe kommen als ursprünglich angenommen. Um zu beurteilen, wie eine Änderung der Befestigungshöhe sich auswirken würde, wurde eine Prüfung mit einer Befestigungshöhe von +3,3 m (über dem Wasserspiegel) durchgeführt. Diese Prüfung erfolgte sowohl für die Bedingung einer Jährlichkeit von 1 als auch von 1/100.

Pfahlsteifigkeit [kN/m]	Wassertiefe [m]	Bedingungen [T]	max Fx [kN]	max Fy [kN]
3333	21	1 Jahr	26	424
3333	21	100 Jahre	57	1024

Daraus resultieren geringfügig höhere Belastungen bei der Bedingung mit einer Jährlichkeit von 1 und geringfügig niedrigere bei der Bedingung einer Jährlichkeit von 1/100. Für die aktuelle Bemessungsphase wird dieser Effekt vernachlässigt, da eine höhere Befestigungshöhe zu einer geringeren Pfahlsteifigkeit führt. Dies wurde bereits im vorstehenden Abschnitt berücksichtigt.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 38 of 39

6 Fazit

In diesem Memo wurde das Verhalten eines Pontons vom Typ HEBO-P63 für den Standort des neuen Anlandeterminals in Wilhelmshaven untersucht.

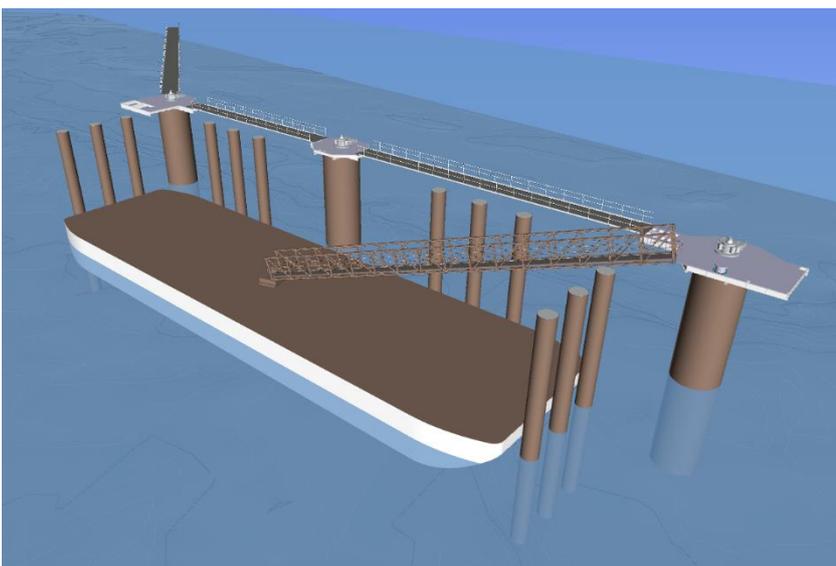
Die Untersuchung erfolgte sowohl für Pontons im „schwer“ belasteten Zustand als auch im Bemessungszustand.

Es zeigt sich, dass der Ponton mit dem Bemessungsgewicht bei Wellenbedingungen ein besseres Verhalten aufweist (geringere Stampf- und Rollbewegungen). Vor diesem Hintergrund wurde in dieser Studie ein Ponton des Typs HEBO-P63 mit Bemessungsgewicht ausgewählt.

Vorgeschlagene Anordnung

Das Vertäuerhalten dieses Pontons wird unter der Annahme untersucht, dass die Pfähle an den Ponton-Enden und entlang der Backbordseite angeordnet sind. Die Pfähle werden als Fender mit unterschiedlichen Steifigkeiten modelliert, um die optimale Anordnung zu ermitteln.

Es werden insgesamt 12 Pfähle angenommen, mit je 3 Pfählen an jedem Ponton-Ende (Heck und Bug) und zwei entlang der Seite angeordneten Dreiergruppen, siehe nachstehende Abbildung.



  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FRSU: Ponton - Bewegungsanalyse	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC.2200_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 39 of 39

Es zeigt sich, dass bei dieser Konfiguration aus Vertäupfählen und HEBO-P63 die Ponton-Bewegungen für die gegebenen Bedingungen mit einer Jährlichkeit von 1 innerhalb der in Abschnitt 2 festgelegten Anforderungen bleiben.

Es wurden zahlreiche Berechnungen durchgeführt, bei denen die Steifigkeit, die Umgebungsverhältnisse und die Seed-Werte variiert wurden. Es zeigt sich, dass die Steifigkeit sich wesentlich auf die resultierenden auf die Pfähle einwirkenden Kräfte auswirkt. Aus den Berechnungen geht hervor, dass die Kräfte bei einer Steifigkeit von ca. 3000 kN/m ihren Höchstwert erreichen. Die maximale Kraft, die dieser Pfahlsteifigkeit bei Dwarswellen von 1,2 m Höhe (T = 100 Jahre) entspricht, beträgt 1126 kN.

Bei vorlichen Wellen wird als Höchstwert 5000 kN/m festgestellt. Die maximale Kraft, die dieser Pfahlsteifigkeit bei vorlichen Wellen von 1,7 m Höhe (T = 10 Jahre) entspricht, beträgt 241 kN. Dieser Wert wird bei der Ermüdungsanalyse im Pfahlbemessungsbericht verwendet [DMC-232011-M-00001-SBE].

Die Seed-Wert-Analyse ergab, dass der anfangs verwendete Seed-Wert von 1 [-] das höchste Ergebnis liefert.