

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage –	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST- DOC 2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU	Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Page 1 of 22

Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung

00	19/02/2024	M.van den Bosch 	E. Meyer 	J.de Groot 	
Ausgabe	Datum	Erstellt von	Geprüft von	Genehmigt von	Anmerkung

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 2 of 22

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Literatur	4
3	Abkürzungen.....	4
4	Zeichen	5
5	Beschreibung der Ponton-Anlage	5
6	Baugrunduntersuchung	6
7	Auswertung der Monopiles-Rammprotokolle	8
8	Allgemeine Ausgangspunkte.....	11
8.1	Allgemeines.....	11
8.2	Pfahldaten	11
8.3	Auswahl des Hammergeräts	11
8.4	Bodenbemessungsparameter	12
8.5	Damping- und Quake-Faktoren.....	12
8.6	Kolkenschutz	12
9	Verfahren zur Rammbarkeitsuntersuchung	13
9.1	Statischer Rammwiderstand (Static Resistance to Driving, SRD)	13
9.2	Bodenprofile (BE, LB und UB)	13
10	Ergebnisse der Rammbarkeitsuntersuchung	13
11	Schlussfolgerungen.....	21

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 3 of 22

1 Einleitung

In Wilhelmshaven soll ein LNG-Terminal gebaut werden. Am östlichen Ende des LNG-Terminals wird eine Ponton-Anlage errichtet. Siehe Abbildung 1 für einen Eindruck vom Standort. Die Monopiles des Anlandeterminals sind bereits eingebaut worden. Bei der Konstruktion der Ponton-Anlage kommen zwölf Führungspfähle zum Einsatz.

In diesem Hinweis zur technischen Bemessung (Technical Design Note) wird eine Rammbarkeitsuntersuchung vorgestellt, die für die Führungspfähle der Ponton-Anlage durchgeführt wurde.



Abbildung 1 Standort der FSRU Wilhelmshaven (links) und der Ponton-Anlage (rechts)

Dieses Rammbarkeitsmemo besteht aus Folgendem:

- Überprüfung der durchgeführten Baugrunduntersuchung;
- Bewertung der Daten, die zu den Rammarbeiten für die Monopiles vorliegen;
- Festlegung des methodischen Vorgehens zur Bewertung der Pfahlrammbarkeit;
- Standortbezogene Bewertung der Rammbarkeit unter Berücksichtigung von IQIP-Hydraulikhämmern;
- Die Bewertung wird für die IQIP-Hydraulikhämmer S-120 und S-150 durchgeführt, die bei voller Leistung über die gesamte Einbringtiefe für die untere Schranke (Lower bound, LB), obere Schranke (Upper bound, UB) und den besten Schätzwert (Best estimate, BE) der Bodenprofile betrieben werden. Diese Ergebnisse werden zur Eignungsbewertung des Hammers herangezogen, der vom Auftragnehmers für die Rammarbeiten zu verwendenden ist.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 4 of 22

2 Literatur

- [1] Zeichnung CEP.05716-DMC-1021 Version 0A2, LNG-Terminal Wilhelmshaven, Pfahlpositionsplan Ponton-Anlage, Schnitt & Typische Angaben, Stand 05.01.2024;
- [2] Baugrunduntersuchung Lankelma FRSU Wilhelmshaven, Sachbericht über die küstennahe Bodenuntersuchung, Projekt-Referenz P-108348-11, Berichtsausgaben-Nr. P-108348_02, Stand 11.01.2024;
- [3] Van Oord Technical Note FSRU Wilhelmshaven Rammbarkeitsuntersuchung, Dok.-Nr. 25.3444-VOOW-TF-ENG-TN-1004, Version B, Stand 28.09.2023;
- [4] Van Oord, FSRU Wilhelmshaven – Meeresarbeiten, Pfahlbericht MD-6, Projekt-Nr. 253444, Dok.-Nr. 253444-VOW-MPI-INS-REP-0101, Stand 02.11.2023;
- [5] Bemessungsgrundlage Ponton-Anlage Wilhelmshaven, Dok.-Nr. DMC-231121-R-00006-MVB, Stand 14.01.2024.

3 Abkürzungen

Abkürzung	Definition
SKN*	Seekartennull
CPT	Drucksondierung (Cone penetration test)
BC	Schlagzahl (Blow count)
BE	Schätzwert (Best estimate)
LB	Untere Schranke (Lower bound)
UB	Obere Schranke (Upper bound)
PPD	Pfahleindringtiefe (Pile penetration depth)
Da	Außendurchmesser
SI	Baugrunduntersuchung (Site investigation)
WD	Wanddicke
LNG	Flüssigerdgas
bsf	unter dem Meeresboden (below sea floor)
SRD	Statischer Rammwiderstand (Static resistance to driving)

* In der offenen Nordsee orientiert sich das SKN am niedrigsten Gezeitenwasserstand (Lowest Astronomical Tide; LAT). In den tidebeeinflussten Flüssen wird das SKN gesondert festgesetzt.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 5 of 22

4 Zeichen

T	Tiefe [m]
B	Breite [m]
L	Länge [m]
D	Pfahldurchmesser [mm]
t	Wanddicke [mm]
L	Pfahllänge [m]
f	Mantelreibung [kPa]
qc	Spitzenwiderstand [MPa]
Rf	Reibungsverhältnis [%]
As	Schaftaußenwandfläche des eingetriebenen Pfahls [m ²]
Aw	Kreisringfläche an Pfahlspitze [m ²]

5 Beschreibung der Ponton-Anlage

Abbildung 2 zeigt eine Draufsicht [1] der Ponton-Anlage, die aus den folgenden Elementen besteht:

- Schwimm-Ponton mit den allgemeinen Abmessungen $L \times B \times T = 67,00 \text{ m} \times 18,00 \text{ m} \times 4,53 \text{ m}$ und mindestens 2,23 m Freibord;
- 12 Führungspfähle (PP-01 bis PP-12) $D \times t = 1.500 \times 50 \text{ mm}$ mit $L = 44 \text{ m}$ [5];
- Die Monopiles ($D \times t = 4.500 \times 60 \text{ mm}$ mit $L = 71 \text{ m}$) wurden bereits eingebaut;
- An den Pfählen der Ponton-Anlage ist ein Kolkschutz vorhanden;
- Gangway von rund 40 m vom Vertäudalben MD-6 auf den Ponton.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 6 of 22

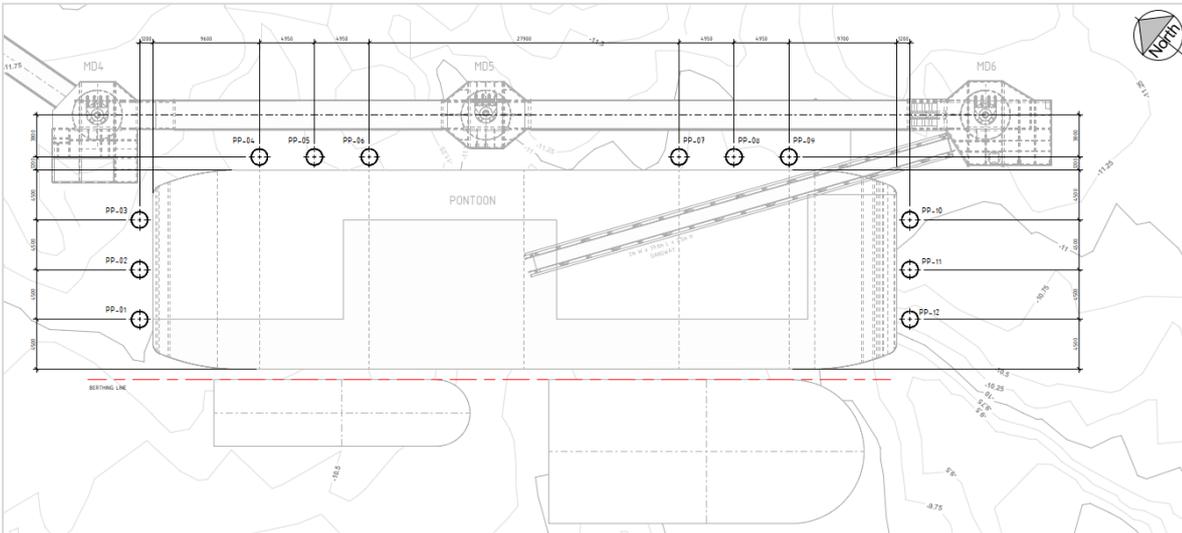


Abbildung 2 Draufsicht der Ponton-Anlage mit Monopiles und Führungspfählen [1]

Vom Kunden wurden die folgenden Informationen zur Verfügung gestellt:

- Baugrunduntersuchung am Standort der Ponton-Anlage [2];
- Rammprotokolle vom Monopiles-Einbau [4].

6 Baugrunduntersuchung

Im Jahr 2023 hat die Firma Lankelma am Standort der Ponton-Anlage eine Baugrunduntersuchung [2] durchgeführt. Hierzu erfolgten drei tiefe Drucksondierungen an den Monopiles-Standorten MD-4, MD-5 und MD-6. Die Drucksondierungen sind in Anhang A beigefügt. Die oberflächennahen Bodenschichten wurden vorgebohrt. Die Bohrschichtdicke variiert je nach Drucksondierung zwischen 1,2 und 3,0 m. In Tabelle 1 sind die relevanten Informationen aus den Drucksondierungen angegeben.

Die Endtiefe der verfügbaren Drucksondierungen ist ausreichend für eine Rammbarkeitsuntersuchung mit einer Pfahlfußhöhe von –32 m SKN, was ca. 20,5 m bsf entspricht.

	Meeresbodenniveau zum Zeitpunkt der Baugrunduntersuchung [m SKN]	Vorbohrtiefe [m]	Endtiefe [m SKN]	Endtiefe [m bsf]
MD-4	-11,78	1,65	-56,2	44,4
MD-5	-10,97	3,00	-95,7	84,7

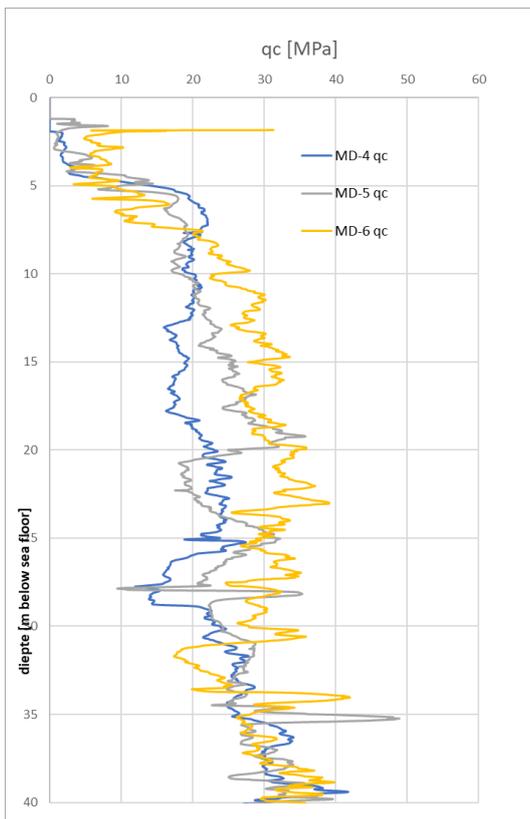
  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 7 of 22

MD-6	-11,53	1,80	-59,1	47,6
------	--------	------	-------	------

Tabelle 1: Relevante Drucksondierungen am Standort der Ponton-Anlage

In Abbildung 3 wird der Spitzendruck aus den Drucksondierungen in Abhängigkeit von der Tiefe unter dem Meeresboden dargestellt.

Aus den aufgezeichneten Drucksondierungen lässt sich schließen, dass der höchste Spitzendruck bei der Drucksondierung für MD-6 auftritt. Der maximale Spitzendruck auf Höhe des Pfahlfußes beträgt ca. 35 MPa. Daher wird die Drucksondierung für MD-6 als maßgebend für die Pfahlrammbarkeit angesehen und für die Bewertung der Pfahlrammbarkeit mittels GRLWEAP verwendet.



tiefte [m below sea floor]	Tiefe [m unter dem Meeresboden]
----------------------------	---------------------------------

Abbildung 3: Spitzendruck bei Drucksondierung für MD-4, MD-5 und MD-6 (Pfahlfußhöhe 20,5 m bsf)

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 8 of 22

7 Auswertung der Monopiles-Rammprotokolle

Im November 2023 wurden die Monopiles MD-4, MD-5 und MD-6 ($D \times t = 4.500 \times 60$ mm) für die Ponton-Anlage eingebaut. Die Rammprotokolle [4] wurden zur Verfügung gestellt und dienen als Referenz für die Bewertung der Rammbarkeit der Pfähle mit einem Durchmesser $D = 1.500$ mm. Wie festgestellt, ist die Drucksondierung für MD-6 maßgebend, weshalb das Rammprotokoll zu Monopile MD-6 berücksichtigt wurde.

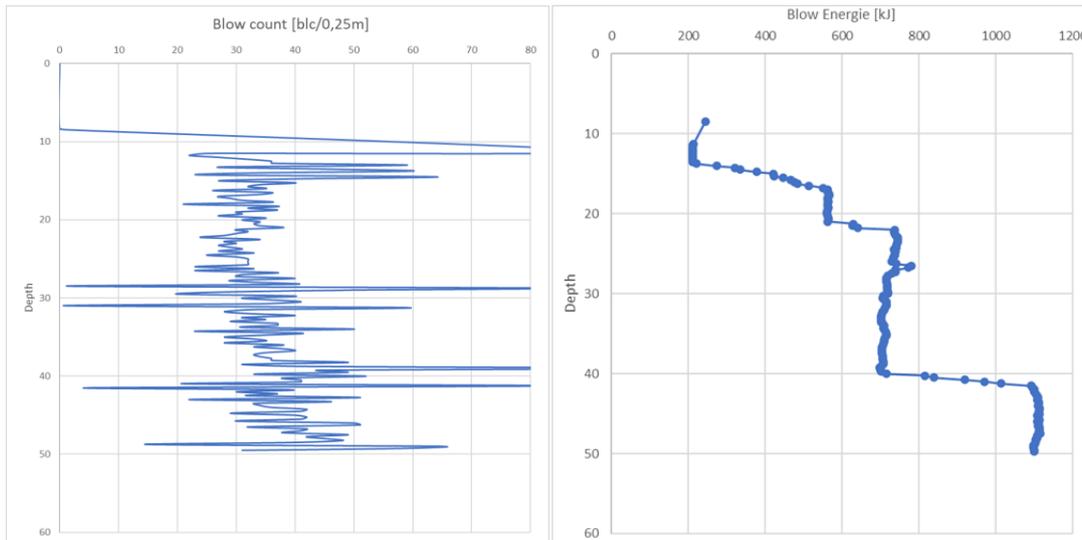
Blow count [blc/0,25m]	Schlagzahl [je 0,25 m]
Depth	Tiefe
Blow Energie [KJ]	Rammenergie [kJ]
Depth	Tiefe

Abbildung 4 zeigt eine grafische Darstellung der aufgezeichneten Schlagzahlen und der Rammenergie beim Einbauen von MD-6 mit einem Hydraulikhammer des Typs IQIP S-2000. Die maximale Schlagenergie des Hammers S-2000 beträgt 2.000 kJ. Aus

Blow count [blc/0,25m]	Schlagzahl [je 0,25 m]
Depth	Tiefe
Blow Energie [KJ]	Rammenergie [kJ]
Depth	Tiefe

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 9 of 22

Abbildung 4 lässt sich schließen, dass die während der Rammarbeiten eingesetzte Hammerkapazität ca. 50 % betrug.



Blow count [blc/0,25m]	Schlagzahl [je 0,25 m]
Depth	Tiefe
Blow Energie [KJ]	Rammenergie [kJ]
Depth	Tiefe

Abbildung 4: Schlagzahlen (links) und Rammenergie (rechts) für Monopile MD-6 gemäß Pfahlrammprotokoll [4]

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 10 of 22

Der aus der Rammbarkeitsuntersuchung ermittelte SRD-Wert (BE-Profil) für Monopile MD-6 [3] wurde mit dem SRD-Wert verglichen, der aus den aufgezeichneten Schlagzahlen beim Rammen abgeleitet wurde [4], siehe Abbildung 5 (linkes Diagramm). Der SRD-Wert wurde durch Multiplizieren der Rammenergie mit der Schlagzahl ermittelt (SRD = Rammenergie × Schlagzahl).

Wenn man die Rammprotokolle mit dem Faktor 2 multipliziert, stimmt die Rammvorhersage gut mit den Rammprotokollen überein. Somit wird das LB-Profil höchstwahrscheinlich am besten passen. Aus dem Diagramm lässt sich schließen, dass die BE-Rammvorhersage im Vergleich zu den Rammprotokollen konservativ ist.

Daraus kann gefolgert werden, dass bei Verwendung eines ähnlichen Modells in GRLWEAP, wie es für die Monopiles verwendet wurde, ein nennenswerter Puffer besteht.

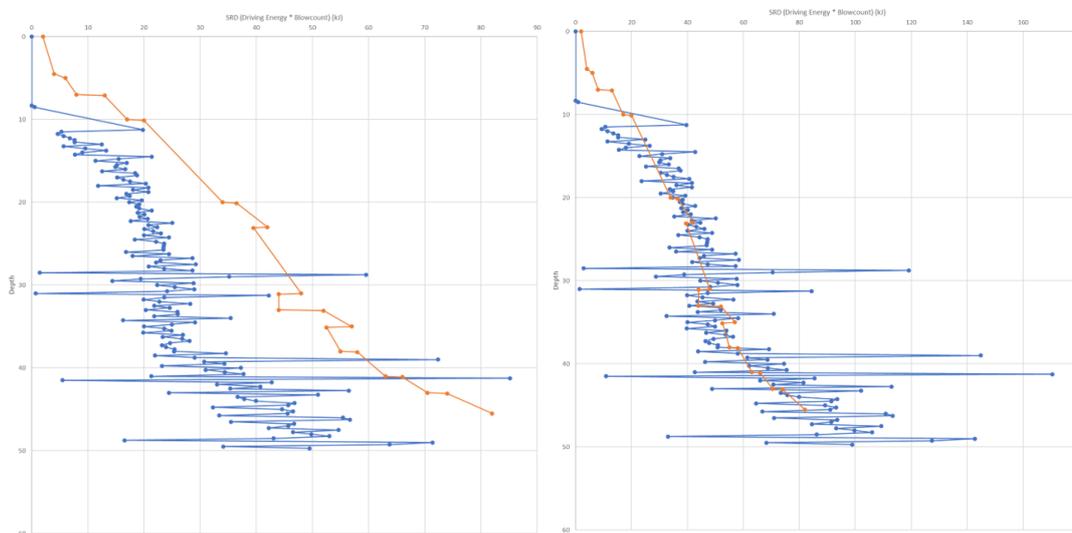


Abbildung 5: Vergleich SRD aus Rammbarkeitsuntersuchung und Rammprotokollen (links) sowie dem Zweifachen aus der Rammbarkeitsuntersuchung (rechts)

SRD (Driving Energy * Blowcount) [kJ]	SRD (Rammenergie × Schlagzahl) [kJ]
Depth	Tiefe

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST- DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 11 of 22

8 Allgemeine Ausgangspunkte

8.1 Allgemeines

Bei der für die Rammbarkeitsuntersuchung verwendeten Software handelt es sich um das Programm GRLWEAP 14 (Version 14.1.20.1). Für die Rammbarkeitsuntersuchung wurde die maßgebliche Drucksondierung (MD-6) herangezogen, für die die gravierendsten Rammarbeiten zu erwarten sind. Bei den berücksichtigten Geräten handelt es sich um die IQIP-Hydraulikhämmer S-120 und S-150.

8.2 Pfahldaten

Die Pfahldaten beruhen auf der Zeichnung CEP.05716-DMC-1021 [1]. Bei der Rammbarkeitsuntersuchung werden die 12 Führungspfähle berücksichtigt (PP-01 bis PP-12). Diese haben konstante Außendurchmesser und Wandstärken. Siehe Tabelle 2 für die einzelnen Pfahldaten.

Führungspfähle	Durchmesser	Wanddicke	Pfahllänge	Pfahlspitze	Pfahlfuß
Ponton-Anlage	[mm]	[mm]	[m]	[m SKN]	[m bsf] / [m SKN]
PP-01 bis PP-12	1.500	50	44	+12,0	-20,5 / -32,0

Tabelle 2: Spezifikationen der Führungspfähle der Ponton-Anlage

8.3 Auswahl des Hammergeräts

Für die Rammbarkeitsuntersuchung wurden IQIP-Hydraulikhämmer berücksichtigt. Nach technischem Ermessen wurden die Modelle S120 und S150 als geeignet angesehen. Die Spezifikationen dieser Hämmer sind in Tabelle 3 angegeben.

IQIP-Hydraulikhammer	Schlagenergie [kJ]	Schlaggewicht [kN]	max. äquivalanter Hub [m]	Wirkungsgrad [%]
S-120	120	59.962	2,02	0,95
S-150	150	73.840	2,02	0,95

Tabelle 3: Spezifikationen der IQIP-Hydraulikhämmer S-120 und S-150 (lt. GRLWEAP)

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 12 of 22

8.4 Bodenbemessungsparameter

Die Bodenbemessungsparameter basieren auf den CPT-Daten (Spitzendruck, Mantelreibung und daraus resultierendes Reibungsverhältnis) der Drucksondierung für MD-6.

8.5 Damping- und Quake-Faktoren

Die bei der Rammbarkeitsuntersuchung verwendeten Faktoren zu Damping (Dämpfungsverhalten) und Quake (elastische Bodenverformung) entsprechen den Empfehlungen von GRLWEAP, siehe Tabelle 4.

Dämpfung [s/m]		Bodenverformung [mm]	
Schaft	0,164	Schaft	2,54
Fuß	0,490	Fuß	2,54

Tabelle 4: Damping- und Quake-Faktoren

8.6 Kolkschutz

Bei der Rammbarkeitsuntersuchung mittels GRLWEAP wurde der Kolkschutz nicht berücksichtigt. Er wird nur unter praktischen Gesichtspunkten betrachtet; der Rammwiderstand der Pfähle erhöht sich durch den Kolkschutz nicht.

Hinsichtlich des Einbringens der Pfähle durch den Kolkschutz hindurch wird aufgrund von Erfahrungswerten und gängiger Logik Folgendes festgehalten: Nachdem die Pfähle mit den Abmessungen 4.500 × 60 mm bereits erfolgreich durch den Kolkschutz getrieben wurden, werden auch für die Pfähle mit den Maßen 1.500 × 50 mm keine Probleme erwartet. Zum einen weisen sie ein besseres Pfahldurchmesser-/Wandstärkenverhältnis auf, zum anderen sind sie mit einer Wandstärke von 50 mm sehr stabil. Die Deckschicht hat eine Dicke von 0,6 m mit einem D_{85max} von 329 mm. Bei den Rammarbeiten werden die Steine des Kolkschutzes durch die Pfähle örtlich zerteilt oder beiseite gedrückt. Daher ist nicht zu erwarten, dass das Durchdringen des Kolkschutzes ein Problem darstellen wird.

Für diese Annahme sollte eine Bestätigung des für den Pfahleinbau verantwortlichen Auftragnehmers eingeholt werden.

Es besteht das Risiko, dass es beim Rammen durch den Kolkschutz zu horizontalen Verschiebungen der Pfähle kommt. Daher muss eine Rammschablone verwendet werden. Hinsichtlich der vertikalen Ausrichtung der Pfähle sind strenge Toleranzen zu beachten.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 13 of 22

9 Verfahren zur Rammbarkeitsuntersuchung

9.1 Statischer Rammwiderstand (Static Resistance to Driving, SRD)

Der statische Rammwiderstand wurde in GRLWEAP unter Verwendung der Standard-Setup-Analyse (ST) ermittelt. Unter der Annahme, dass die Pfähle ohne Pfropfenbildung gerammt werden, wird nur die Schaftreibung an der Außenwand berücksichtigt. Der SRD-Wert wird mit der folgenden Formel ermittelt:

$$SRD = f \times A_s + q \times A_w$$

f = Schaftreibung des Pfahls [kPa]

q = Endwiderstand des Pfahls [MPa]

A_s = Schaftaußenwandfläche des eingetriebenen Pfahls [m²]

A_w = Ringbereich an Pfahlspitze [m²]

9.2 Bodenprofile (BE, LB und UB)

Für die Rammbarkeitsuntersuchung wurden die Ergebnisse der Drucksondierungen für MD-6 (q_c, f und R_f) als Eingabewerte verwendet, um den SRD-Wert zu bestimmen, der als bestes Schätzwertprofil (BE) zu werten ist. Aus dem BE-Profil wurden eine untere Schranke (Lower bound, LB) und eine obere Schranke (Upper bound, UB) abgeleitet. Das LB-Profil errechnet sich durch Multiplizieren des BE-Werts mit 0,85 und das UB-Profil durch Multiplizieren des BE-Werts mit 1,25.

10 Ergebnisse der Rammbarkeitsuntersuchung

Die Ergebnisse der Rammbarkeitsuntersuchung mittels GRLWEAP sind in den nachstehenden Abbildungen dargestellt.

Die Schlagzahlen (BE, UB und LB) sind in Abbildung 6 für den Hammer S-150 und in Abbildung 10 für den Hammer S-120 angegeben. Die Rammenergie ist in Abbildung 7 für den Hammer S-150 und in Abbildung 11 für den Hammer S-120 angegeben. Der SRD-Wert (= Schlagzahl x Rammenergie) ist in Abbildung 8 für den Hammer S-150 und in Abbildung 12 für den Hammer S-120 angegeben. Die maximale Druck- und Zugspannung im Pfahl ist in Abbildung 10 für den Hammer S-150 und in Abbildung 13 für den Hammer S-120 angegeben. Tabelle 5 zeigt einen Überblick über die Maximalwerte der Rammbarkeitsuntersuchung. Die maximalen Druck- und Zugspannungswerte im Pfahl sind für die betrachteten Hämmer und SRD-Profile

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST- DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 14 of 22

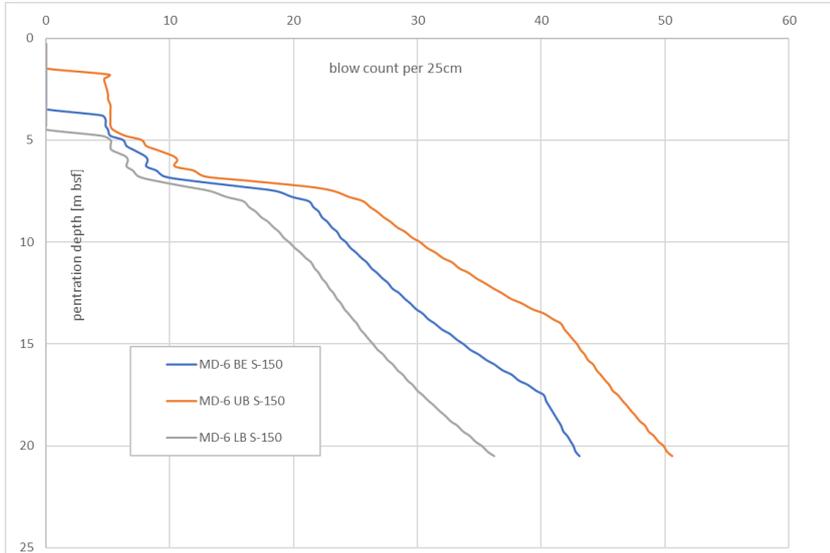
annähernd gleich. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Rammbarkeitsuntersuchung bestehen in der Verteilung der Zugspannungen in Abhängigkeit von der Pfahltiefe.

Die Rammbarkeitsuntersuchungen für die ausgewählten Hämmer basieren auf der maximalen Schlagenergie und gehen von einem Dauerbetrieb aus, also nur kurzen Verzögerungen, z. B. weniger als eine Stunde Unterbrechung der Rammarbeiten. Ein Hammer wird als ausreichend stark eingeschätzt, wenn seine maximale Schlagzahl einen Wert von 100 Schlägen je 25 cm nicht überschreitet. Aus Tabelle 5 kann gefolgert werden, dass die Hämmer S-120 und S-150 gleichermaßen für den Einbau der Führungspfähle geeignet sind.

SRD-Profil	SRD [kN]	Schlagzahl (BC) [BC/0,25 m]	Druck- spannung [MPa]	Zugspannung		Gesamt- anzahl der Schläge [-]
				Oberer Pfahlbereich [MPa]	Pfahlfuß [MPa]	
<i>Hydraulikhammer S-120</i>						
LB	4.939	49	125	97	57	1.876
BE	5.674	56	125	97	61	2.371
UB	6.770	67	125	95	67	2.951
<i>Hydraulikhammer S-150</i>						
LB	4.576	36	127	98	57	1.399
BE	5.448	43	127	97	59	1.787
UB	6.396	51	127	96	65	2.234

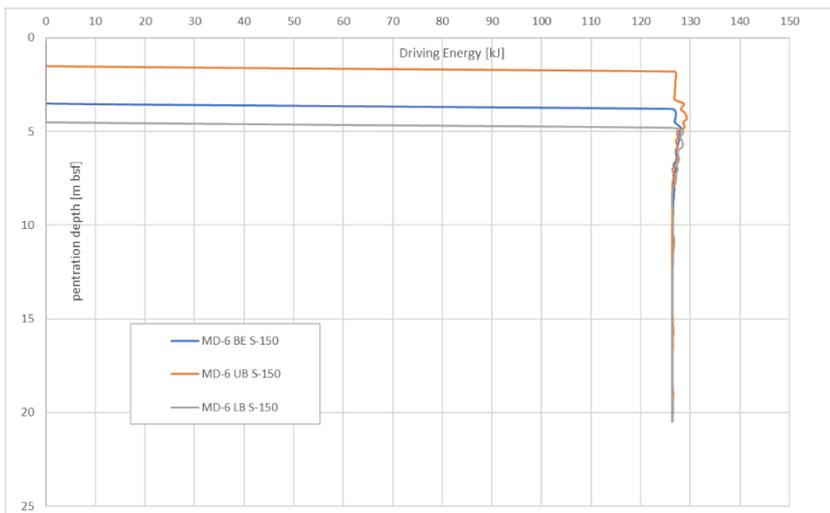
Tabelle 5: S-120 und S-150 – Maximalwerte für Dauerbetrieb bei maximaler Energie

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 15 of 22



blow count per 25cm	Schlagzahl je 25 cm
penetration depth [m bsf]	Eindringtiefe [m bsf]

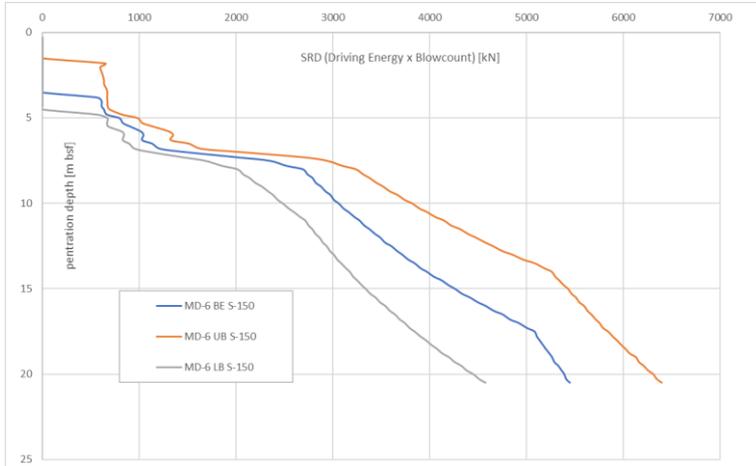
Abbildung 6: S-150 – Schlagzahlen für Schätzwert (BE), obere Schranke (UB) und untere Schranke (LB) (gemäß GRLWEAP-Ergebnissen)



Driving Energy [KJ]	Rammenergie [kJ]
penetration depth [m bsf]	Eindringtiefe [m bsf]

Abbildung 7: S-150 – Rammenergie für Schätzwert (BE), obere Schranke (UB) und untere Schranke (LB) (gemäß GRLWEAP-Ergebnissen)

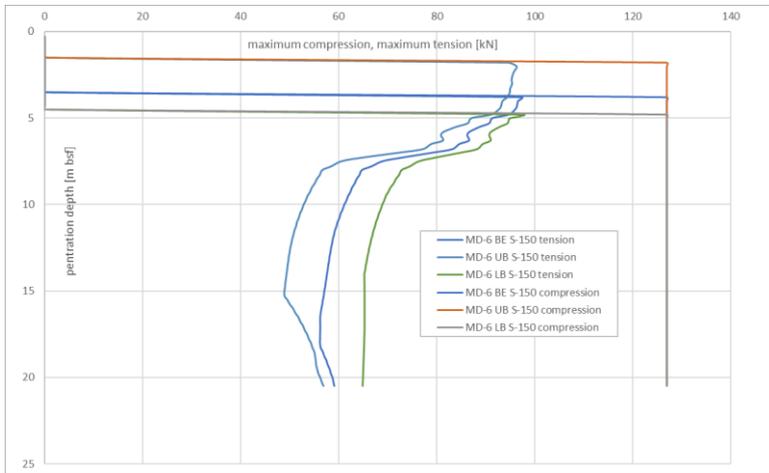
  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 16 of 22



SRD (Driving Energy x Blowcount) [kN]	SRD (Rammenergie x Schlagzahl) [kN]
penetration depth [m bsf]	Eindringtiefe [m bsf]

Abbildung 8: S-150 – SRD-Wert für Schätzwert (BE), obere Schranke (UB) und untere Schranke (LB) (gemäß GRLWEAP-Ergebnissen)

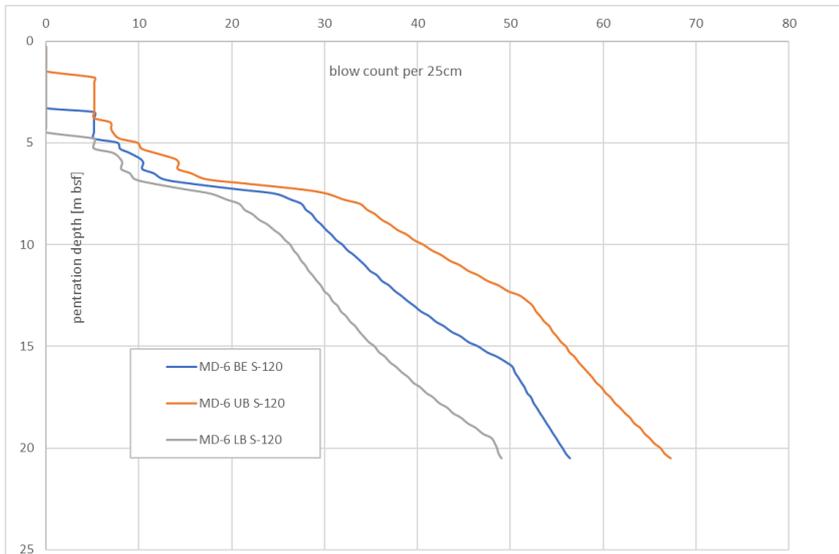
  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 17 of 22



MAXIMUM COMPRESSION, MAXIMUM TENSION [kN]	max. Druck- und Zugspannung [kN]
penetration depth [m bsf]	Eindringtiefe [m bsf]
MD-6 BE S-150 tension	MD-6 BE S-150 Zugspannung
MD-6 UN S-150 tension	MD-6 UB S-150 Zugspannung
MD-6 LB S-150 tension	MD-6 LB S-150 Zugspannung
MD-6 BE S-150 tension	MD-6 BE S-150 Zugspannung
MD-6 UB S-150 tension	MD-6 UB S-150 Zugspannung
MD-6 LB S-150 tension	MD-6 LB S-150 Zugspannung

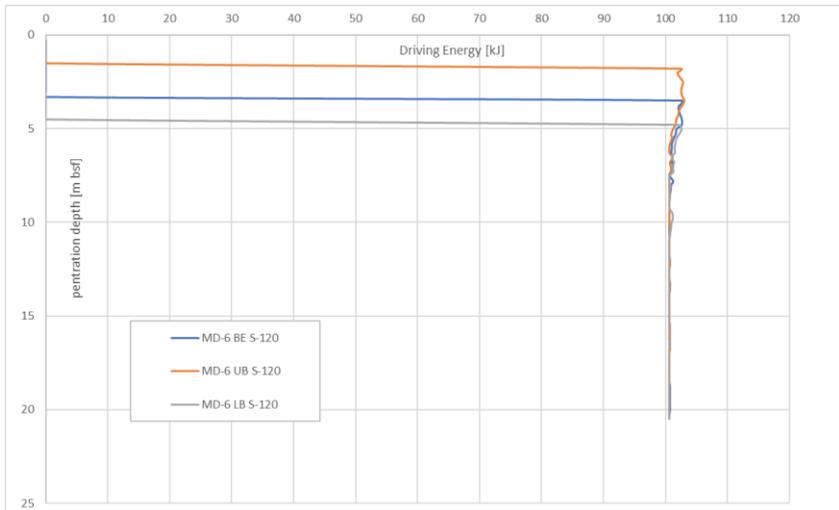
Abbildung 9: S-150 – Maximale Druck- und Zugspannung für Schätzwert (BE), obere Schranke (UB) und untere Schranke (LB) (gemäß GRLWEAP-Ergebnissen)

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 18 of 22



blow count per 25cm	Schlagzahl je 25 cm
penetration depth [m bsf]	Eindringtiefe [m bsf]

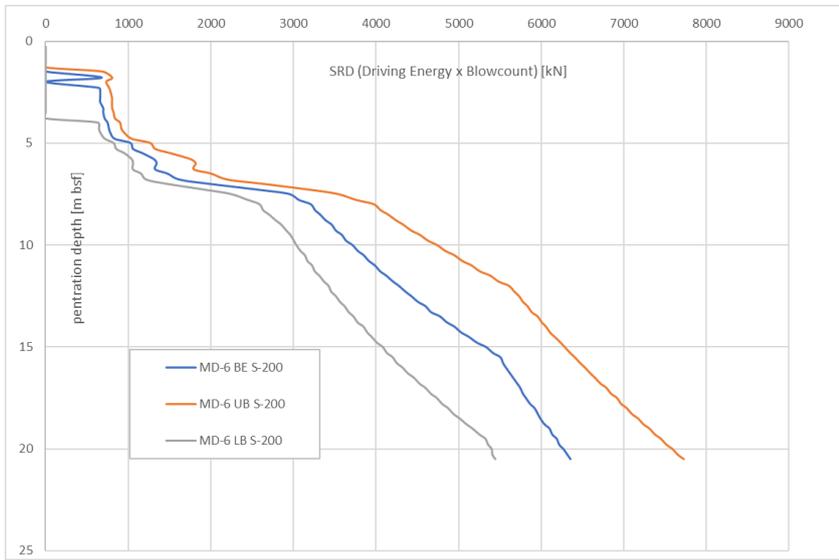
Abbildung 10: S-120 – Schlagzahlen für Schätzwert (BE), obere Schranke (UB) und untere Schranke (LB) (gemäß GRLWEAP-Ergebnissen)



Driving Energy [kJ]	Rammenergie [kJ]
penetration depth [m bsf]	Eindringtiefe [m bsf]

Abbildung 11: S-120 – Rammenergie für Schätzwert (BE), obere Schranke (UB) und untere Schranke (LB) (gemäß GRLWEAP-Ergebnissen)

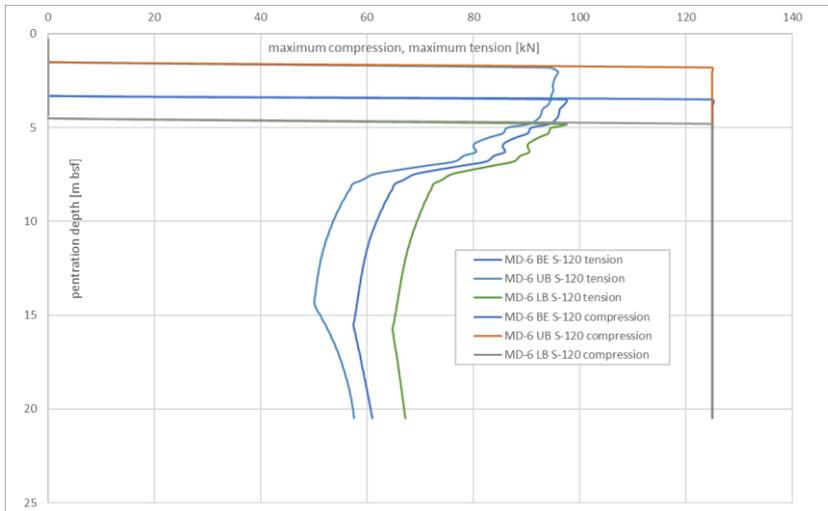
  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 19 of 22



SRD (Driving Energy x Blowcount) [kN]	SRD (Rammenergie x Schlagzahl) [kN]
penetration depth [m bsf]	Eindringtiefe [m bsf]

Abbildung 12: S-120 – SRD-Wert für Schätzwert (BE), obere Schranke (UB) und untere Schranke (LB) (gemäß GRLWEAP-Ergebnissen)

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 20 of 22



maximum compression, maximum tension [kN]	max. Druck- und Zugspannung [kN]
penetration depth [m bsf]	Eindringtiefe [m bsf]
MD-6 BE S-120 tension	MD-6 BE S-120 Zugspannung
MD-6 UB S-120 tension	MD-6 UB S-120 Zugspannung
MD-6 LB S-120 tension	MD-6 LB S-120 Zugspannung
MD-6 BE S-120 compression	MD-6 BE S-120 Druckspannung
MD-6 UB S-120 compression	MD-6 UB S-120 Druckspannung
MD-6 LB S-120 compression	MD-6 LB S-120 Druckspannung

Abbildung 13: S-120 – Maximale Druck- und Zugspannung für Schätzwert (BE), obere Schranke (UB) und untere Schranke (LB) (gemäß GRLWEAP-Ergebnissen)

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 21 of 22

11 Schlussfolgerungen

Es kann geschlussfolgert werden, dass beide IQIP-Hydraulikhämmer S-150 und S-120 für den Einbau aller Führungspfähle PP-01 bis PP-12 ($D \times t = 1.500 \times 50 \text{ mm}$) der Ponton-Anlage geeignet sind. Aus den Rammprotokollen zu den Monopiles mit großem Durchmesser ($D \times t = 4.500 \times 60 \text{ mm}$) und der Rammvorhersage für diese Pfähle lässt sich schließen, dass der Hydraulikhammer S-150 für die Rammarbeiten möglicherweise überdimensioniert ist. Die Entscheidung für den Hammer liegt in der Verantwortung des Auftragnehmers für die Rammarbeiten.

Die maximale Druckspannung des Pfahls während der Rammarbeiten beträgt 127 MPa, die maximale Zugspannung 98 MPa. Die maximal zulässige Pfahlspannung beträgt ca. 335 MPa. Daher werden die während der Rammarbeiten auftretenden Pfahlspannungen die Pfähle nicht beschädigen.

Große Steine oder andere Hindernisse bergen das Risiko eines Zurückweichens und/oder einer Beschädigung des Pfahls. Während des Einbaus der Monopiles wurden allerdings keine großen Steine oder andere Hindernisse angetroffen.

Es ist nicht zu erwarten, dass das Durchdringen des Kolksschutzes ein Problem darstellen wird. Für diese Annahme sollte jedoch eine Bestätigung des für den Pfahleinbau verantwortlichen Auftragnehmers eingeholt werden.

  	Struktur	
TES Proj. No.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Ponton-Anlage – Pfahlrammbarkeitsuntersuchung	Doc. No: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC_2205_00
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Page 22 of 22

Anhang A

Drucksondierungen für MD-4, MD5 und MD-6