

Nautische Simulationsstudie MTC 87 AVG - Stade

Abschlussbericht



Auftraggeber:



Hanseatic
Energy
Hub

Hanseatic Energy Hub GmbH

Verfasser:



Johannes C. Kluge
Dipl.-Wirtsch.-Ing. für Seeverkehr (FH)

Juni 2022

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
2. Aufgaben- und Leistungsbeschreibung	5
3. Methodik und Verfahren	7
4. Untersuchungsgrößen	8
4.1. Bemessungsschiffe.....	8
4.1.1. Bemessungsschiff Q - LNG	9
4.1.2. Bemessungsschiff Global Energy.....	10
4.2. Untersuchungsgebiet (Seegebiet).....	11
4.2.1. FSRU Einheit	11
4.2.2. Wassertiefen	13
4.2.3. Strömung	14
4.2.4. Liegeplatzbelegung / Traffic Ships.....	14
4.2.5. Weitere Anpassungen	14
4.2.5.1. Entfernung der Tonne 101	14
4.2.5.2. Entfernung des Sektorenfeuers Bützflethersand	15
4.2.5.3. Verlängerung des bestehenden Anlegers	15
4.3. Umweltbedingungen	15
4.3.1. Wind.....	15
4.3.1.1. Windschatten.....	16
4.3.1.2. Windstärke zu Beginn einer Simulation.....	17
4.3.2. Gezeitenströmung.....	17
4.3.3. Sichtbedingungen und Tageszeiten	19
4.4. Manöurvorgaben.....	19
4.4.1. Laufliste (geplant).....	20
4.4.2. Schleppkräfte	22
4.4.3. Sonstige Restriktionen	22
5. Laufdurchführung	23
5.1. Steuerung der Assistenzschlepper.....	24
5.2. Datenaufzeichnung.....	24
5.3. Durchgeführte Läufe (Laufliste).....	24
6. Bewertungskriterien.....	26
7. Bewertung.....	26
7.1. Referenzläufe	26
7.2. Bewertung Lauf #3, #3 B, #3 C	27

7.3.	Bewertung Lauf #4.....	28
7.4.	Bewertung Lauf #5.....	28
7.5.	Bewertung Lauf #6.....	28
7.6.	Bewertung Lauf #7.....	29
7.7.	Bewertung Lauf #8.....	29
7.8.	Bewertung Lauf #19.....	30
7.9.	Bewertung Lauf #20.....	30
7.10.	Bewertung Lauf #22	30
7.11.	Bewertung Lauf #23	31
8.	Management Summary	32
9.	Empfehlungen	33

1. Einleitung

Im November / Dezember 2020 erfolgte im Auftrag der der Firma Hanseatic Energy Hub GmbH (im Weiteren nur HEH) durch die Firma MTC Hamburg (im Weiteren nur MTC) eine nautische Simulationsstudie zur Untersuchung der sicheren Erreichbarkeit von LNG Tankern zu einem geplanten LNG Terminal im Bereich Bützfleth.

Im Frühjahr 2022 beauftragte die Firma HEH die Firma MTC eine weitere nautische Simulationsstudie durchzuführen.

Ziel dieser zweiten Studie im Simulator ist die Untersuchung der sicheren Erreichbarkeit (einschließlich sicheren Verlassens (Auslaufen)) eines LNG Tankers an eine schwimmende LNG Einheit (Floating Storage and Regasification Unit (FSRU)) in der geplanten Hafenanlage, eine Bewertung dieser Untersuchung und deren Dokumentation.

Dies beinhaltet die Durchführung verschiedener Echtzeit-Simulationsfahrten, die Ermittlung von sicheren Ein- und Auslaufkriterien und Grenzwerten, insbesondere bezüglich des Einflusses von Wind und Strömung, sowie die Ermittlung erforderlicher Assistenzkräfte durch Schlepper.

Zu den Untersuchungsschiffen gehörten zwei LNG Tankermodelle ähnlicher Größen jeweils in abgeladenem und Ballast-Tiefgang, wobei das eine Modell als FSRU und das andere als das im Simulator zu fahrende Modell fungierte. Die Abmessungen der Untersuchungsschiffe betragen zwischen 294,9 m – 297,5 m Länge, 45,8 m – 46,4 m Breite und 9,0 m – 12,5 m Tiefgang (siehe Kapitel 4.1). Die Einlauf-Manöver erfolgten im abgeladenen Zustand, die Auslauf-Manöver im Ballast Zustand.

Am 04.04.22 wurden in einem virtuellen Kickoff-Meeting alle Details und Rahmenbedingungen erörtert und festgelegt.

Im Anschluss erfolgte das Erstellen bzw. Anpassen und Integrieren des mathematischen und visuellen Modells des Seegebietes, sowie das Erstellen der unterschiedlichen Szenarien im Simulator als Sit-Files durch MTC. Sowohl Schiffsmodelle als auch Strömungs-, Tiden- und Windmodelle wurden aus der ersten Simulationsstudie unverändert übernommen.

Die Simulationsstudie wurde an drei Tagen in der KW 19 2022 im MTC durchgeführt. Die insgesamt 17 Simulationsläufe mit dem Bemessungsschiff unter unterschiedlichen Bedingungen wurden von je zwei täglich wechselnden Elblotsen im 360° Simulator durchgeführt und abschließend gemeinsam bewertet. In diesem Abschlussbericht sind neben den Ergebnissen aus den Nachbesprechungen (Expert-Rating) und den allgemeinen Laufbeobachtungen auch die physikalischen Ergebnisgrößen der Simulationen eingeflossen. Diese Bewertungsgrundlagen erlauben eine ausführliche Darlegung und präzise Beschreibung der ermittelten Einzelergebnisse sowie eine fundierte Betrachtung dieser Ergebnisse in Hinsicht auf Fehlergrößen, möglichen Risiken, genereller Umsetzbarkeit, Lösungsansätzen und der praktischen Realisierung. Daneben werden ausführliche Projektinformationen hinsichtlich

- Simulationsvorbereitungen
- Simulationsgrundlagen

- Auswertungsverfahren und
- Umsetzbarkeit von Simulationsergebnissen

dargestellt.

2. Aufgaben- und Leistungsbeschreibung

Die Simulationsstudie zum „Anleger für verflüssigte Gase in Stade“ (im weiteren nur AVG-Stade) mit den in Abschnitt 1 bezeichneten Untersuchungsschiffen umfasst im Wesentlichen folgende Aufgaben:

- Planung und Vorbereitungen
- Durchführung der Simulationsläufe
- Zusammenfassung und Bewertung der ermittelten Erkenntnisse in einem Abschlussbericht

Grundlage für die Untersuchungsstudie ist die Leistungsbeschreibung des Auftraggebers:

1. Aufgaben und Zielsetzung der Simulationsstudie

Die primäre Aufgabe der Simulationsstudie „Anleger für Verflüssigte Gase“, kurz AVG, besteht darin, die sichere Erreichbarkeit des in Stade geplanten Anlegers an der Simulationsanlage des Maritimen Training Centers (MTC) zu überprüfen. In einem Abschlussbericht werden die wesentlichen Aufgaben, Vorbereitungen und Randbedingungen aufgeführt und ggf. bewertet.

1.1. Durchführung der Simulationsstudie

Hauptaufgabe der Simulationsstudie ist die Durchführung und Dokumentation von nautischen Fahrversuchen zur Ermittlung und Bewertung sicherer An- und Auslaufkriterien für den geplanten AVG unter besonderer Berücksichtigung, dass bereits eine FSRU (Floating Storage and Regasification Unit) mit den in Abschnitt 1. dieses Berichtes angegebenen Abmessung festgemacht ist.

2. Besondere Fragestellungen

- Bestehen grundsätzliche Risikobereiche oder Gefährdungspotentiale hinsichtlich der verfügbaren Wasserflächen?
- Bestehen grundsätzliche Risikobereiche oder Gefährdungspotentiale hinsichtlich äußerer Einflüsse (Wind / Strömung)?
- Welche Assistenzkräfte sind erforderlich, um sicheres Manövrieren der Bemessungsschiffe zu gewährleisten?

3. Auswertung

Da bei den Simulationsläufen fachkundige Beobachter des WSA, der Lotsenbrüderschaft „Elbe“, des Auftraggebers und von Niedersachsen Ports zugegen waren, sind auf dem Wege eines „Expert Ratings“ die jeweiligen Simulationsläufe ausgewertet worden. Dabei wurden die für die Untersuchung des jeweiligen Simulationslaufes relevanten Aussagen der beteiligten Experten ausführlich diskutiert und abschließend dokumentiert. Ferner wurden während der Simulationsläufe relevante Simulationsdaten aufgezeichnet und dem Abschlussbericht, wo angebracht, beigelegt.

3. Methodik und Verfahren

Die Durchführung, Untersuchung und Verifizierung sowie ggf. Bewertung verschiedener Schiffsmanöver im Simulator ist ein grundsätzlich bewährtes Verfahren. Die Ergebnissenauigkeit der zu bewertenden physikalischen Größen hängt dabei im Wesentlichen von der Präzision der Eingangsgrößen und der Genauigkeit des Simulators ab. Die Simulationsanlage des MTC Hamburg gehört zu den technisch hochwertigsten Anlagen ihrer Art auf der Welt. Die mathematischen Rechenmodelle entsprechen dem heutigen Stand der Technik. Zur Bewertung der einzelnen Simulationsläufe wurde das sog. „Expert Rating“ verwendet. Im Gegensatz zur Analyse nach statistischen Verfahren, die nur auf Grundlage vieler Simulationsläufe (mindestens ein „kleines Sample“ mit 10 Läufen) unter identischen Bedingungen möglich ist, wird bei dem hier verwendeten Verfahren jeder Lauf individuell von Experten bewertet. Die fachkundigen Berater waren

- Experten des Auftraggebers (Hanseatic Energy Hub GmbH)
- Experten von Niedersachsen Ports
- Lotsen der Lotsenbrüderschaft Elbe
- Experte vom WSA
- Experten vom MTC Hamburg

An dieser Stelle möchte der Verfasser dieses Berichts allen Beteiligten für ihr Engagement und die professionelle Mitarbeit danken.

Die für die Untersuchung bzw. den jeweiligen Simulationslauf relevanten Aussagen wurden in den Debriefing-Gesprächen ausführlich diskutiert und abschließend dokumentiert. Während der Versuchsläufe wurden sorgfältig ausgesuchte physikalische Simulationsdaten in regelmäßigen Intervallen (1 Sekunde) aufgezeichnet. Die Auswertung dieser Daten bildet eine weitere wichtige Grundlage zur endgültigen Bewertung der verschiedenen Untersuchungsszenarien.

Die Zusammenfassung der Bewertungskriterien

- Laufbeobachtungen
- Laufbesprechung (Expert Rating)
- Auswertung der Simulationsdaten

erlauben auch bei einer kleineren Anzahl von Läufen eine ausreichende und aussagekräftige Beurteilung und Bewertung der Ergebnisse. Die physikalischen Daten dienen dabei im Wesentlichen der Stützung und Vertiefung der ermittelten Ergebnisse.

4. Untersuchungsgrößen

Zu den Untersuchungsgrößen und Rahmenbedingungen zählen:

- die Bemessungsschiffe
- das Untersuchungsgebiet
- die Umweltbedingungen
- die Manöurvorgaben

welche im Folgenden näher erläutert werden sollen.

4.1. Bemessungsschiffe

Für die Simulationsstudie wurden vom Auftraggeber zwei verschiedene Klassen von LNG-Tankern benannt und priorisiert. Die wesentlichen Kenngrößen werden im Weiteren vorgestellt.

Für diese Studie wurde das Modell des Typs Q-LNG in der Funktion als „fahrendes“ Modell priorisiert wobei das Modell Global Energy in der Funktion als FSRU priorisiert wurde.

Es war zunächst geplant auch Simulationen mit jeweils getauschten Funktionen der Schiffstypen durchzuführen. Dies wurde schlussendlich nicht durchgeführt, da bei diesen Manövern hauptsächlich mit Schleppern gearbeitet wurde und die unterschiedlichen Antriebe der Schiffe erfahrungsgemäß einen nur sehr geringen bis vernachlässigbaren Einfluss auf die Manöver habe. Die Unterschiede in den Abmessungen der zwei Modelle sind vernachlässigbar gering und das Modell Q-LNG wurde aufgrund seines Antriebes und des fehlenden Bugstrahlruders als das „schwieriger zu handhabende“ Schiff (im Vergleich zu dem Modell Global Energy) bewertet. Im Sinne der „worst case“ Betrachtung wurde die Global Energy nicht als „fahrendes“ Modell eingesetzt und diente lediglich als passives Modell in den Simulationen als FSRU.

Auflistung der Schiffsdatenblätter und Diagramme der Winddruckkurven – siehe Anhang B.

4.1.1. Bemessungsschiff Q - LNG

Bemessungsschiff 1: Q-LNG	
Länge über alles (Lüa)	297,5 m
Breite über alles (Büa)	45,75 m
Tiefgang (T) (abgeladen)	10,95 m
Tiefgang (T) (im Ballast)	9,00 m
Verdrängung (∇) (abgeladen)	105.000 to
Verdrängung (∇) (im Ballast)	81.385 to
Seitliche Windangriffsfläche (abgeladen)	7711 m ²
Seitliche Windangriffsfläche (im Ballast)	8263 m ²
Antrieb	1 Festpropeller a 26.800 kW (Dampfturbine)
Ruder	1
Bugstrahlruder	0

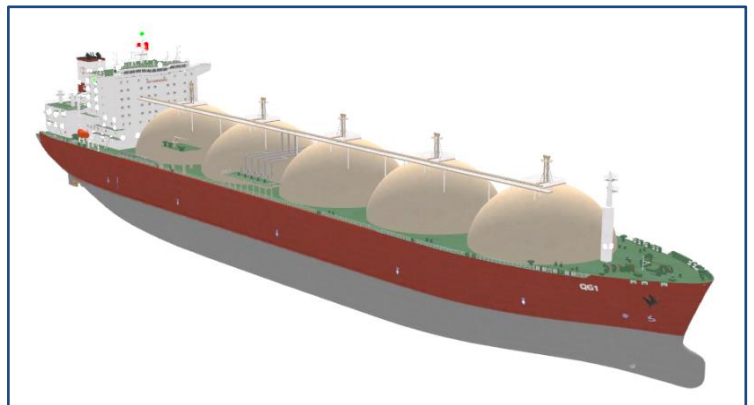


Abbildung 1: Q-LNG Al Wajbah (Quelle: www.aukevisser.nl) 3D Modell

4.1.2. Bemessungsschiff Global Energy

Bemessungsschiff 2: Global Energy	
Länge über alles (Lüa)	294,9 m
Breite über alles (Büa)	46,40 m
Tiefgang (T) (abgeladen)	12,5 m
Tiefgang (T) (im Ballast)	9,40 m
Verdrängung (∇) (abgeladen)	131.225 to
Verdrängung (∇) (im Ballast)	96.299 to
Seitliche Windangriffsfläche (abgeladen)	7055 m ²
Seitliche Windangriffsfläche (im Ballast)	7670 m ²
Antrieb	2 Festpropeller a 12.590 kW
Ruder	2 Full Spade (synchron)
Bugstrahlruder	1 x 2.500 KW



Abbildung 2: Global Energy (Quelle: www.vesselfinder.com)



3D Modell

4.2. Untersuchungsgebiet (Seegebiet)

Das für die Studie notwendige Seegebiet wurde von der vorherigen Studie geringfügig modifiziert übernommen. Grundlage hierfür war ein von Niederachsen Ports bereitgestellter Konstruktionsplan (siehe Abbildung 4). Dieser Bauplan wurde im DWG Format übermittelt und von MTC in eine aktuelle elektronische Seekarte (ENC)¹ integriert (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5). Diese ENC mit dem integrierten LNG Terminal diente als Grundlage für das Modellieren eines 3D-Sichtmodells, eines mathematischen Modells des Seegebietes sowie für das Erstellen einer sogenannten Radarmap.

Folgende Modifizierungen wurden, im Vergleich zu dem Seegebiet aus der vorherigen Studie, auf Grundlage der Konstruktionszeichnung vorgenommen:

- Die flussseitige Schutzwand wurde am nördlichen Ende um ca. 15m Richtung Fahrwasser aufgeklappt
- Die Stützdalben der flussseitigen Schutzwand wurden angepasst
- Die Fender des Liegeplatzes wurden um ca. 80 cm verlängert
- Ober- und Unterfeuerträger für eine neue Richtfeuerlinie wurden eingefügt
- Hafenlichter wurden eingefügt

4.2.1. FSRU Einheit

Als FSRU Einheit wurde das Schiffsmodell Global Energy verwendet. In dieser Funktion wurde als Modell ein sog. Trafficship in das Seegebiet an die entsprechende Position eingesetzt und fungierte in allen Simulationsläufen als passives Objekt.

Zusätzlich wurden seeseitig an die FSRU Einheit fünf Yokohama-Fender mit einem Durchmesser von 4,5 m in Abständen von 30 m platziert.

Gemäß Vorgabe lag die FSRU Einheiten mit ihrer Backbordseite am AVG festgemacht.

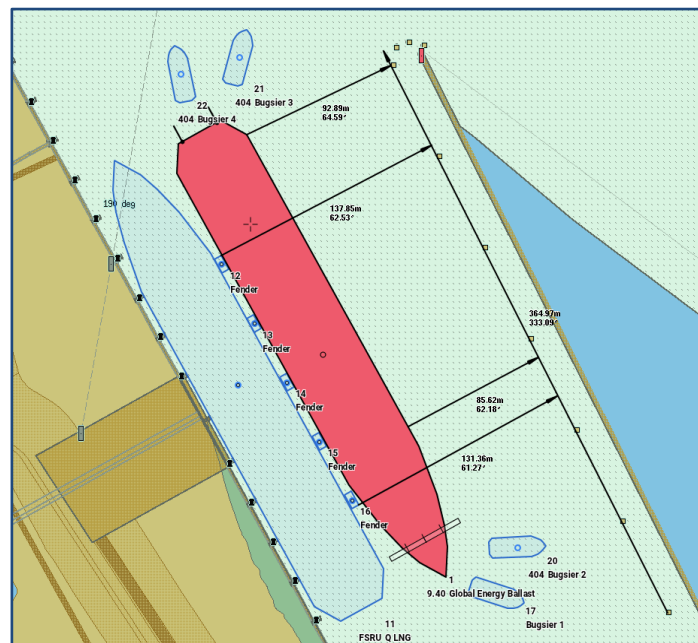


Abbildung 3: FSRU Einheit mit Yokohama Fendern

¹ Electronic Navigational Chart (ENC)

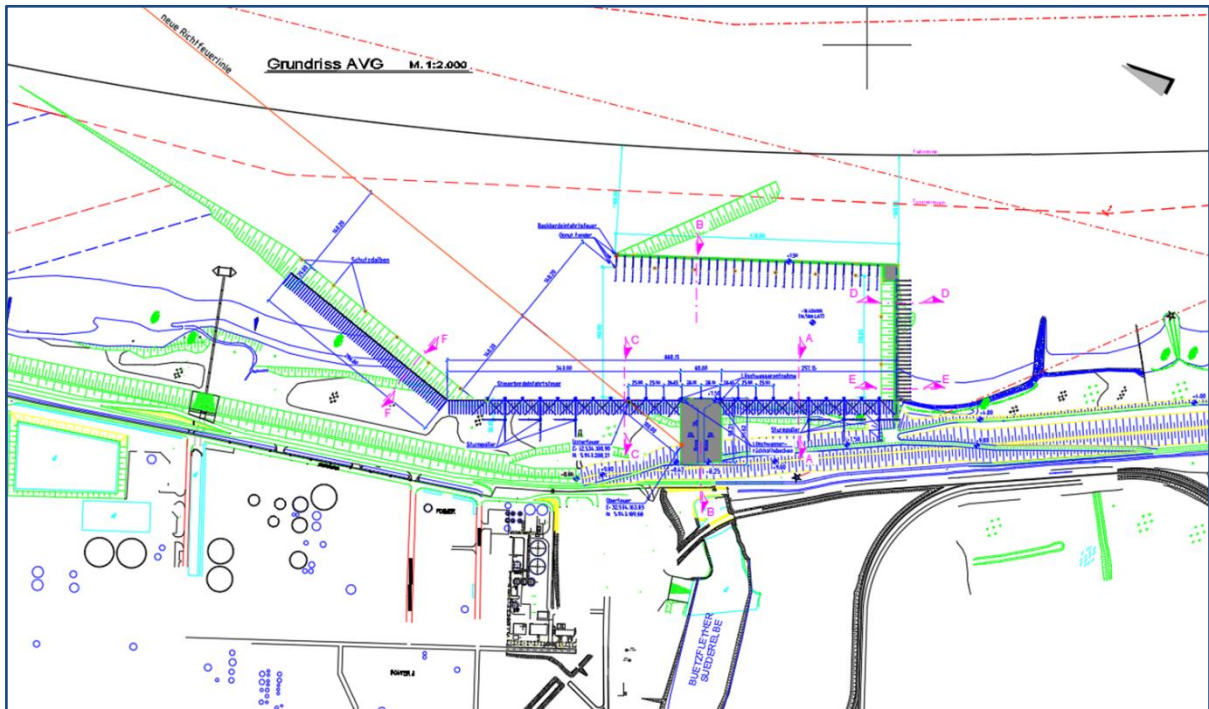


Abbildung 4: Ausschnitt aus Konstruktionszeichnung LNG Anleger Stade



Abbildung 5: 3D-Sichtmodell des geplanten LNG-Terminals mit FSRU Einheit

4.2.2. Wassertiefen

Die im Simulator berechneten Wassertiefen ergeben sich aus Tiefenflächen der zugewiesenen ENC's bzw. werden in den Bereichen, in denen keine konstante Wassertiefe vorliegt, ergänzt durch bathymetrische Daten, den sog. b-ENC's. Die b-ENC's enthalten eine Vielzahl von Einzellotungen (single spot soundings). Eine aktuelle b-ENC wurde von Seiten der Lotsenbrüderschaft Elbe zur Verfügung gestellt. Durch die ergänzende b-ENC wurden außerhalb der Tiefenflächen, dem Fahrwasser mit 15,4 m (SKN / LAT) und dem Bereich des LNG Terminals mit 14,5 m (SKN / LAT), die Wassertiefen stets akkurat berechnet. Das Gefälle zwischen diesen beiden Tiefenflächen wurde (von Niedersachsen Ports) mit 1:5 angegeben und in der ENC durch Hinzufügen von drei stufenartigen Tiefenflächen umgesetzt² (siehe Abbildung 6).

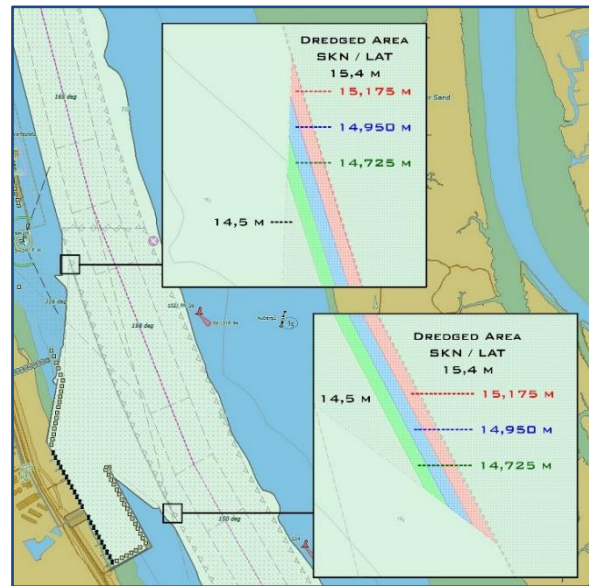


Abbildung 6: Tiefenflächen

Im Vergleich zur vorherigen Studie wurden die Tiefenflächen lediglich im Bereich der äußeren Schutzwand angepasst.

Die im Simulator berechneten Wassertiefen bzw. Kielfreiheiten auf Grundlage der ENC's und b-ENC's wurden ergänzt durch drei dem Seegebiet zugeordnete Tidenhubkurven. Die Daten zum Tidenhub wurden zusammen mit den Strömungsdaten vom DHI berechnet und bereitgestellt (siehe Kapitel 4.3.2.).

An dieser Stelle sei erwähnt, dass die genauen Wassertiefen bzw. Kielfreiheiten für eine akkurate Simulation natürlich wichtig sind, allerdings zu keinem Zeitpunkt innerhalb des Fahrwassers und des geplanten LNG Terminals sowie dessen Zufahrt einen kritischen Faktor darstellten, da die Wassertiefen selbst bei den Schiffen mit dem größten Tiefgang, stets eine sichere Kielfreiheit ergaben. Dies trifft auch unter Einbeziehung eines etwaigen Squat-Effekts zu, der allerdings aufgrund der geringen Geschwindigkeiten nur marginal ausfiel.

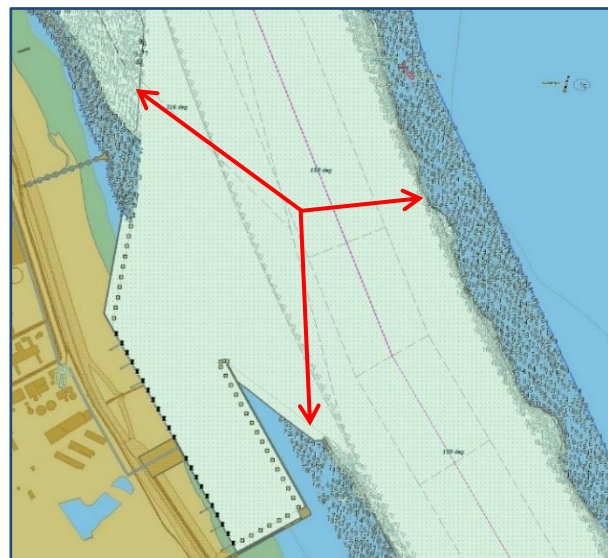


Abbildung 7: Einzellotungen aus b-ENC

² Diese Lösung entspricht zwar nicht der zukünftigen Realität, war jedoch die effektivste Lösung, da das Erstellen von Einzellotungen sehr aufwändig und zeitlich nicht realisierbar gewesen wäre. Für den Zweck dieser Studie war diese Lösung ausreichend.

4.2.5.2. Entfernung des Sektorenfeuers Bützflethersand

Das Sektorenfeuer Bützflethersand wurde ebenfalls aus der ENC und dem Sichtmodell entfernt, da es für den Zweck der Simulation nicht notwendig war und bei Realisierung des LNG Terminals eine Verlegung vorgesehen ist.

4.2.5.3. Verlängerung des bestehenden Anlegers

Gemeinsam mit dem geplanten LNG Terminal ist eine Erweiterung des bestehenden südlichen Anlegers Stade-Bützfleth um ca. 120 m vorgesehen. Details hierzu wurden ebenfalls dem bereitgestellten Konstruktionsplan entnommen und gleichermaßen in ENC und Sichtmodell übernommen (siehe Abbildung 5).

4.3. Umweltbedingungen

Die Umweltbedingungen, i.e. Stärke und Richtung von Wind und Strömung, wurden im Zuge des Kick-Off Meetings weitestgehend besprochen und festgelegt. Es wurde beschlossen die in der ersten Simulationsstudie ermittelten maximalen Wind- und Strömungsstärken zu verwenden. Weiter wurde vereinbart, die festgelegten Bedingungen ggf. während der Durchführung der Simulationsläufe erneut zu validieren sich vorbehalten diese ggf. zu ändern⁴.

4.3.1. Wind

Ein Ziel dieser Untersuchungsstudie ist die Ermittlung von Grenzwerten der Umweltbedingungen. Es wurde beschlossen die Simulationsläufe zunächst unter den Windbedingungen durchzuführen die bei der ersten Studie als die maximal möglichen Werte ermittelt wurden.

Die Festlegung auf Windstärke Bft. 6 in Böen 7 – 8 war vorbehaltlich möglicher Änderungen während der Simulationen.

Die Windrichtung wurde für die einzelnen Simulationsläufe unterschiedlich auf Nordost, Ost oder Südwest festgelegt. Siehe dazu die Laufliste in Kapitel 4.4.1 und 5.1.

Um eine gewisse Realitätsnähe zu gewährleisten, und das manuelle Nachjustieren der Einstellungen für Windrichtung- und Stärke zu vermeiden, wurde anstatt der Verwendung von statischen Windbedingungen ein Windmodell mit variierenden Windrichtungen und Windstärken erstellt. Dieses Windmodell wechselt eigenständig Windrichtung- und -stärke innerhalb vorgegebener Parameter.

Die Windstärke variiert hier in drei Stufen. In der unteren Stufe liegt die Windstärke ungefähr bei der oberen Grenze von Bft. 5 (21,45 kn) für eine Dauer von ca. 107 Sekunden. In der mittleren Stufe beträgt die Windstärke Bft. 7 (obere Grenze von 7 Bft. = im Mittel 32,7 kn) für eine Dauer von ca. 3,5 Minuten, und die höchste Stufe entspricht einer Sturmbö mit einer Stärke von Bft. 8 (obere Grenze von 8 Bft. = 38,65 kn) für eine Dauer von ca. 100 Sekunden.

⁴ Die ursprünglich beschlossenen Umweltbedingungen wurden, bezügliche der Grenzwertbetrachtung, auf ein maximal schwieriges Niveau festgelegt. Während der Simulationsdurchführung wurden Änderungen vorgenommen.

Die Realisierung einer größeren Varianz im Wechsel der Windstärken- und Richtungen ist nicht möglich gewesen.

Auch die Windrichtung variierte um insgesamt ca. 35°. Eine eingestellte Windrichtung von beispielsweise 225° (SW) ergab eine Varianz zwischen 216° und 251° (siehe Diagramm 1: Windmodell mit Böen).

Im Mittel ergaben sich an Beispiel des Laufes Nr. 3 folgende Werte.

- Vorgegebene Werte: 225° Bft. 6, in Böen Bft. 7 – 8
- Gemittelte Windstärke: 31,409 kn (entspricht Bft.)
- Gemittelte Windrichtung: 223,5°

Dieses Windmodell wurde allgemein akzeptiert.

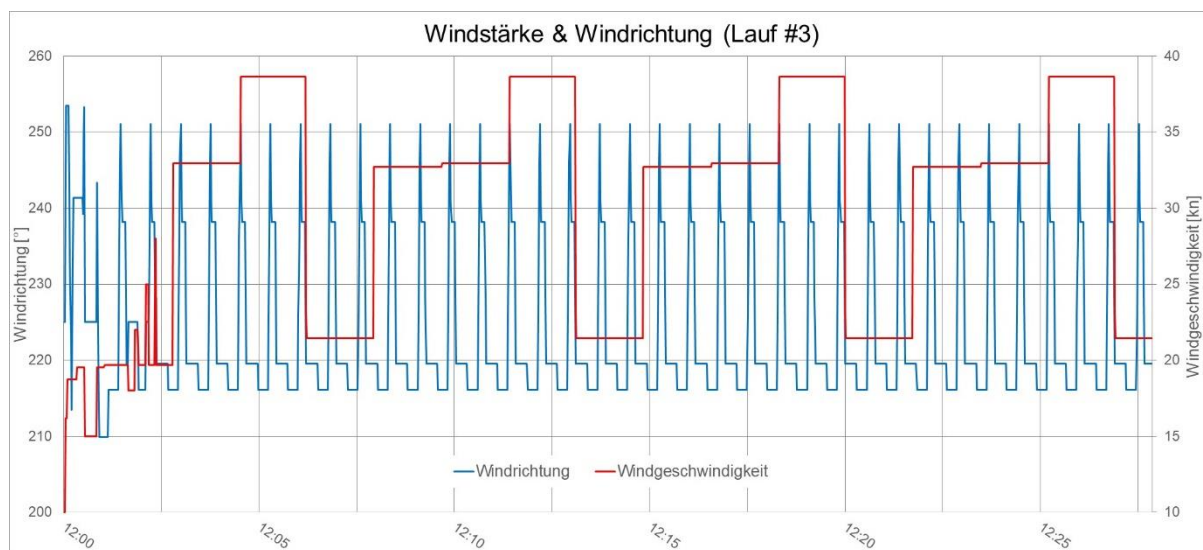


Diagramm 1: Windmodell mit Böen

Die tatsächlich vorherrschenden Windbedingungen sind den Diagrammen der einzelnen Simulationsläufe zu entnehmen (siehe Anhang A).

4.3.1.1. Windschatten

In Landnähe, insbesondere innerhalb des LNG Terminals, ist je nach Windrichtung in der Realität von einer gewissen Reduktion der Windstärke aufgrund von Abschattungen (durch Deiche, Schutzwände oder sonstige Objekte) auszugehen. Es wurde jedoch beschlossen auf das Einbeziehen einer etwaigen Windabschattung zu verzichten. Diese Entscheidung beruhte auf folgenden Gründen:

1. Mangelnde Daten:
Es lagen keine Daten hierzu vor. Eine verlässliche Einbindung von Windabschattungen war somit nicht möglich.
2. Implementierung im Simulator:
Die Implementierung von Windabschattungen im Simulator ist zwar grundsätzlich möglich, jedoch mit einem erheblichen Aufwand verbunden, der aufgrund der Kürze der zur Verfügung stehenden Vorbereitungszeit nicht möglich war.

3. Zusätzliche Sicherheit:

Wo immer es im Simulator nicht möglich ist die Realität exakt nachzubilden, ist das Bestreben die Bedingungen so einzustellen, dass sie im Vergleich zur Realität etwas schwieriger sind. Dadurch ergibt sich bei der Bewertung, insbesondere hinsichtlich einer Grenzwertbetrachtung, ein gewisser Sicherheitspuffer. Durch die fehlende Windabschattung ergab sich ein gewisser Sicherheitspuffer, da in der Realität davon auszugehen ist, dass sich die Windbedingungen zu einem gewissen Grad als einfacher darstellen.

4.3.1.2. Windstärke zu Beginn einer Simulation

Zu Beginn eines jeden Simulationslaufes wurde die Windstärke, für eine kurze Dauer von ca. ein bis zwei Minuten, etwas niedriger eingestellt. Dies ist ein gängiges Verfahren, um eine unrealistische Abdrift direkt nach dem Start eines Simulationslaufes zu vermeiden, da der Simulator i.d.R. zu Beginn eine kurze Zeit benötigt um sich 'einzupendeln'.

4.3.2. Gezeitenströmung

Hinsichtlich der Grenzwertermittlung stellen die Strömungsgeschwindigkeiten- und Richtungen bei An- und Ablegemanövern sowie dem Eindrehen ins Fahrwasser einen signifikanten Faktor dar. Die Strömungsbedingungen werden durch Bauwerke wie das geplante LNG Terminal signifikant beeinflusst und mussten daher für diese Simulationsstudie als Strömungsmodell neu erstellt werden.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass die südliche Schutzwand des geplanten LNG Terminals teilweise durchlässig ist, so dass im Bereich der Liegewanne Strömung vorherrscht.

Das Danish Hydraulic Institute (DHI) wurde beauftragt ein realistisches Strömungsmodell zu erstellen. Grundlage dazu war ebenfalls die in Kapitel 4.2 erwähnte Konstruktionszeichnung.

Das DHI berechnete daraufhin folgende vier verschiedene Strömungsmodelle (für jeweils einen Tidenlauf) für den Bereich der deutschen Küste bis Hamburg sowie die dazugehörigen Tidenhubdaten:

- Mittlere Tide mit Oberflächen-Strömungsgeschwindigkeiten
- Mittlere Tide mit Tiefengemittelten-Strömungsgeschwindigkeiten
- Sturmflut Tide mit Oberflächen-Strömungsgeschwindigkeiten
- Sturmflut Tide mit Tiefengemittelten-Strömungsgeschwindigkeiten

Nach Absprache mit den beteiligten Elblotsen wurde entschieden, das Tidenszenario der mittleren Tide mit Tiefengemittelten-Strömungsgeschwindigkeiten zu verwenden. Begründet wurde diese Entscheidung aufgrund der Tatsache, dass bei Tiefgängen zwischen 9 m – 12 m die Tiefengemittelte-Strömungsgeschwindigkeit realitätsnäher ist als die Oberflächen-Strömungsgeschwindigkeit, die eher für Fahrzeuge mit kleinem Tiefgang relevant wäre. Des Weiteren unterscheiden sich die Strömungsgeschwindigkeiten zwischen dem mittleren Tidenszenario und dem Sturmflutszenario nur gering. Größere Unterschiede sind hier vor allem beim Tidenhub vorhanden, der in dieser Studie eine eher geringe Bedeutung hat.

Die Daten zu dem Strömungsmodell wurden im ASCII Format übermittelt und enthalten über 100.000 einzelne Vektorpunkte die über einen Zeitraum von 750 Minuten (in Zeitschritten von je 10 Minuten) jeweils die Strömungsrichtung- und Stärke angeben.

Die ASCII Datei(en) wurde(n) über einen Linux–Shell-Befehl in ein für den Simulator lesbares Format konvertiert und dem mathematischen Seegebietsmodell zugewiesen.

Zur Veranschaulichung der Strömungs- und Tidendaten wurde eine Messung im Simulator an zwei Positionen, im Fahrwasser vor dem geplanten LNG Terminal und in der Liegewanne des geplanten LNG Terminals (siehe Abbildung 8), über den Zeitraum einer kompletten Tidenkurve vorgenommen⁵ (siehe Diagramm 2).

Die dazugehörigen Tidenhubdaten für die Standorte Glückstadt, Stadersand und St. Pauli wurden im Excelformat übermittelt, manuell als Modell in den Simulator eingefügt und gleichermaßen dem Tidenmodell (respektive dem Seegebietsmodell) zugewiesen. Die Berechnung des Tidenhubs im Simulator zwischen den genannten Standorten erfolgt durch Interpolation (siehe Diagramm 3).

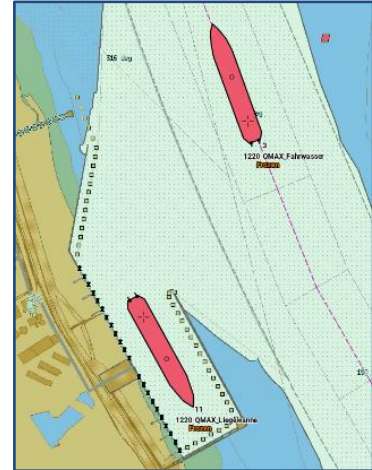


Abbildung 10: Messpositionen

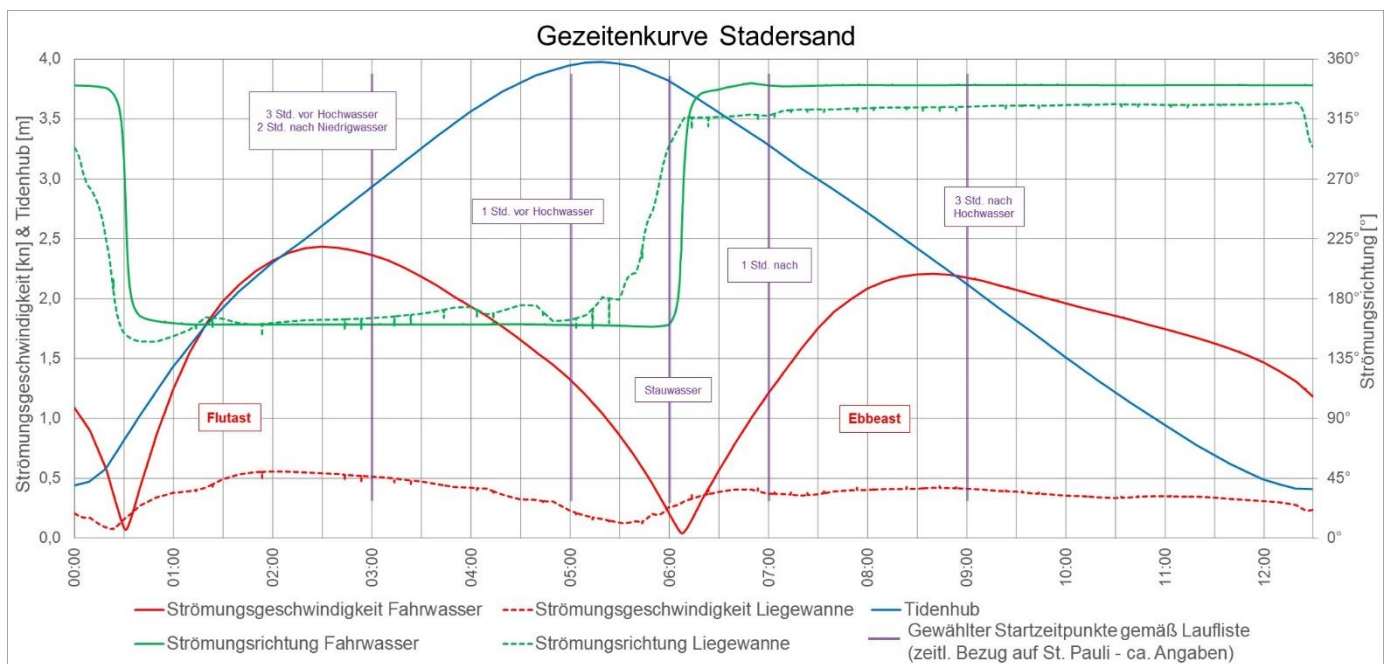


Diagramm 2: Gezeitenkurve Stadersand

⁵ Die Strömungsgeschwindigkeit im Bereich der Liegewanne unterliegt stärkeren Schwankungen. Abseits des Messpunktes in der Liegewanne treten abweichende Werte in Richtung und Stärke auf.

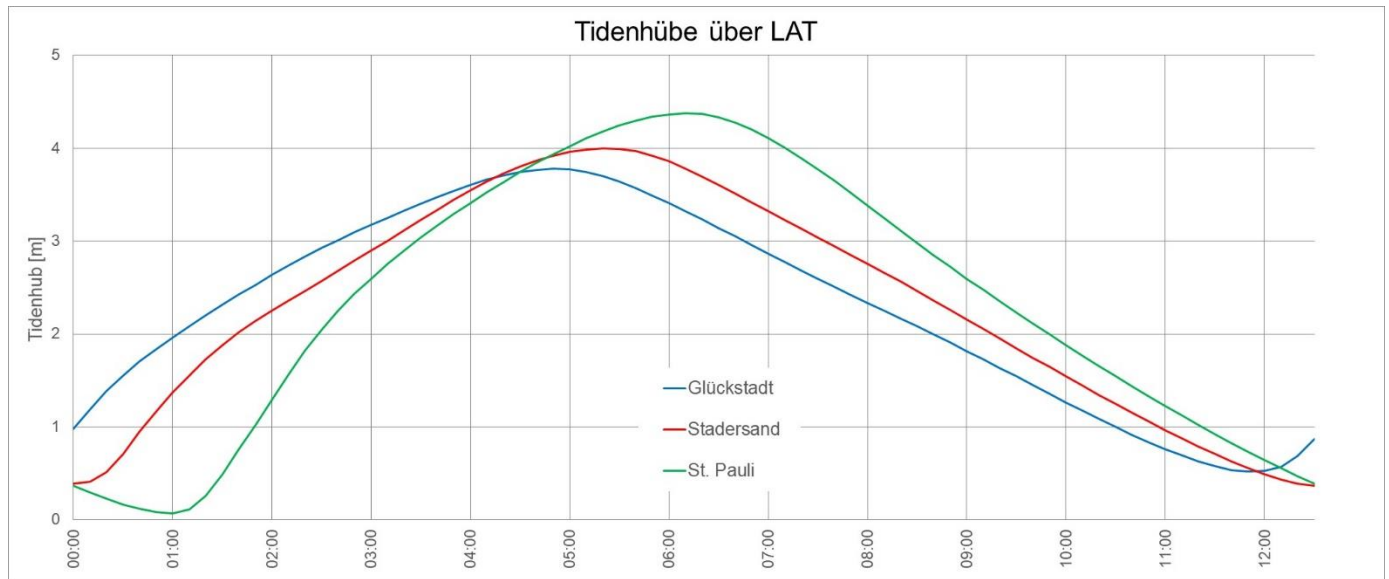


Diagramm 3: Tidenhübe

Das Strömungsmodell wurde unverändert aus der ersten Simulationsstudie übernommen. Aufgrund der baulichen Änderung der äußeren Schutzwand war dieses Strömungsmodell in unmittelbarer Nähe (15 m) der Schutzwand nicht realistisch. Dieser Umstand wurde von allen Beteiligten als vernachlässigbar bewertet, da das Bemessungsschiff in diesen Bereichen nicht navigierte, bzw. die Punkte an denen die Strömung am Bemessungsschiff im Simulator berechnet werden auf der Mittschiffsachse liegen und damit stets außerhalb der Bereiche lagen in denen die Strömung nicht der Gegebenheit der veränderten Schutzwand entsprach.

4.3.2.1. Strömungsgeschwindigkeiten

Gleichermaßen wie für die Windgeschwindigkeit wurde bezüglich der Strömungsgeschwindigkeiten beschlossen die aus der ersten Studie ermittelten maximalen Werte zu verwenden.

4.3.3. Sichtbedingungen und Tageszeiten

Zu den im Kick-Off Meeting beschlossenen Rahmenbedingungen zählten auch die Sichtverhältnisse und Tageszeiten. Es wurde allgemein beschlossen alle Simulationsläufe am Tag bei guter Sicht zu fahren. Auf Simulationen mit verminderter Sicht oder bei Dunkelheit wurde verzichtet.

4.4. Manövervorgaben

Die Manövervorgaben sind relativ einfach gehalten. Es galt die Vorgabe unter den gegebenen Umweltbedingungen (Wind und Strömung – siehe Laufliste Kapitel 4.4.1 und 5.1) unter Zuhilfenahme der gegebenen Assistenzschleppkräfte **vorwärts** in das geplante LNG Terminal einzulaufen. Gleichermaßen gilt für das Auslaufmanöver, **über den Achtersteven** die Liegewanne zu verlassen und das Schiff außerhalb der Liegewanne ins Fahrwasser Richtung See einzudrehen. Eine Schiffseite, über die gedreht werden sollte, wurde nicht vorgegeben.

4.4.1. Laufliste (geplant)

Die folgende Tabelle zeigt die Liste der geplanten Simulationsläufe mit den unterschiedlichen Bemessungsschiffen unter den unterschiedlichen Umweltbedingungen gemäß dem Beschluss des Kick-Off Meetings. Die durchgeführten Simulationsläufe wurden zum Teil mit (leicht) abweichenden Umweltbedingungen durchgeführt, vergleiche Kapitel 5.3 bzw. siehe Tabelle 2: Laufliste mit Änderungen.

#	Ship	In/out	Tide	NW-Zeit St. Pauli	Stromstärke im Fahrwasser	Wind	Kommentar
---	------	--------	------	----------------------	---------------------------------	------	-----------

Tag 1

1	Q-LNG (F)	In	0 Ref		0 Ref	0	
2	Q-LNG (B)	Out	0 Ref		0 Ref	0	
3	Q-LNG (F)	In	<1h v. HW	ca 07:00	1 kn Flut	6 (7-8) SW	
4	Q-LNG (F)	In	1h n. HW	05:00	1,3 kn Ebb	6 (7-8) SW	
5	Q-LNG (F)	In	1h n. HW	05:00	1,3 kn Ebb	6 (7-8) NE	
6	Q-LNG (B)	Out	2h n. NW	09:00	2,4 kn Flut	6 (7-8) SW	
7	Q-LNG (B)	Out	<1h n. HW	ca. 05:30	1 kn Ebb	6 (7-8) E	
8	Q-LNG (F)	In	<1h v. HW	ca 07:00	1 kn Flut	6 (7-8) NE	

Tag 2

9	Global Energy (F)	In	0 Ref		0 Ref	0	
10	Global Energy (B)	Out	0 Ref		0 Ref	0	
11	Global Energy (F)	In	<1h v. HW	ca 07:00	1 kn Flut	6 (7-8) SW	
12	Global Energy (F)	In	1h n. HW	05:00	1,3 kn Ebb	6 (7-8) SW	
13	Global Energy (F)	In	1h n. HW	05:00	1,3 kn Ebb	6 (7-8) NE	
14	Global Energy (B)	Out	2h n. NW	09:00	2,4 kn Flut	6 (7-8) SW	
15	Global Energy (B)	Out	<1h n. HW	ca. 05:30	1 kn Ebb	6 (7-8) E	
16	Global Energy (F)	In	<1h v. HW	ca 07:00	1 kn Flut	6 (7-8) NE	

Tag 3

17	Q-LNG (F)	In	0 Ref		0 Ref	0	
18	Q-LNG (B)	Out	0 Ref		0 Ref	0	
19	Q-LNG (F)	In	<1h v. HW	ca 07:00	1 kn Flut	6 (7-8) E	
20	Q-LNG (F)	In	1h n. HW	05:00	1,3 kn Ebb	6 (7-8) E	
21	Q-LNG (B)	Out	<1h n. HW	ca. 05:30	1 kn Ebb	6 (7-8) SW	
22	Q-LNG (B)	Out	2h n. NW	09:00	2,4 kn Flut	6 (7-8) NE	
23	Q-LNG (B)	Out	<1h n. HW	ca. 05:30	1 kn Ebb	6 (7-8) NE	
24	Q-LNG (B)	Out	2h n. NW	09:00	2,4 kn Flut	6 (7-8) E	

Nicht abgedeckt (evtl. Tag 4)

25	Global Energy (F)	In	0 Ref		0 Ref	0	
26	Global Energy (B)	Out	0 Ref		0 Ref	0	
27	Global Energy (F)	In	<1h v. HW	ca 07:00	1 kn Flut	6 (7-8) E	
28	Global Energy (F)	In	1h n. HW	05:00	1,3 kn Ebb	6 (7-8) E	
29	Global Energy (B)	Out	<1h n. HW	ca. 05:30	1 kn Ebb	6 (7-8) SW	
30	Global Energy (B)	Out	2h n. NW	09:00	2,4 kn Flut	6 (7-8) NE	
31	Global Energy (B)	Out	<1h n. HW	ca. 05:30	1 kn Ebb	6 (7-8) NE	
32	Global Energy (B)	Out	2h n. NW	09:00	2,4 kn Flut	6 (7-8) E	

Tabelle 1 Geplante Laufliste

4.4.2. Schleppkräfte

Die aus der vorherigen Simulationsstudie ermittelten notwendigen Schleppkräfte von vier Schleppern mit je 70 t Pfahlzug wurden für diese Studie übernommen.

Es wurde, wie in der vorherigen Simulationsstudie, vorausgesetzt, dass die an der Schiffsseite eingesetzten Drückerschlepper in der Lage sein sollen gleichermaßen abzutauen. Das bedeutet, dass die beiden mittig eingesetzten Schlepper eine Schleppleinenverbindung z.B. an der Springklüse (vorne und achtern) zum Schiff haben, dabei aber in der Lage sind so viel Leine auszustecken um an den Druckpositionen (mit bestehender Leinenverbindung) das Schiff drücken zu können. Dieses Prinzip nennt sich „Arbeiten auf Leine an der Seite“. Dabei ist zu beachten, dass für diese Arbeitsweise eine entsprechend geschulte Schlepperbesatzung erforderlich ist.

Die Entscheidung bezüglich der Positionierung der Assistenzschlepper am Bemessungsschiff oblag dem jeweiligen Fahrlotsen.

Optional wurde ein fünfter Schlepper (ebenfalls mit 70 t Pfahlzug) angeboten und bereitgehalten.

Weitere Details zum Einsatz der Assistenzschleppkräfte sind in Kapitel 5.1 aufgeführt, bzw. die tatsächlich eingesetzten Schleppkräfte sind den Diagrammen der einzelnen Simulationsläufe zu entnehmen (siehe Anhang A).

4.4.3. Sonstige Restriktionen

Diese Simulationsstudie verfolgt hauptsächlich das Ziel die nautischen Möglichkeiten, Schwierigkeiten und Risiken bezüglich des Ein- und Auslaufens an und von der FSRU Einheit in dem geplanten LNG Terminal mit dem Bemessungsschiff unter den bestimmten Umweltbedingungen zu untersuchen und zu bewerten.

Ausdrücklich ausgeschlossen von dieser Untersuchung sind etwaige Restriktionen von dritter Seite wie (aber nicht beschränkt auf) etwa dem Betreiber der Schiffe oder der Schiffsführung. Derlei Einschränkungen wie z.B. (aber nicht beschränkt auf) maximale Geschwindigkeiten bei Ein- und Auslaufen, maximale Drehraten (RoT) oder sonstiges wurden im Zuge dieser Studie nicht berücksichtigt.

5. Laufdurchführung

Die Durchführung der Simulationsläufe erfolgte an drei Tagen in der Kalenderwoche 16 (2022) im MTC. Zu Beginn der jeweiligen drei Tage wurden zwei Referenzläufe (Ein- und Auslaufen) ohne Einfluss von Wind oder Strömung, zur Gewöhnung an den Simulator und zur Verifizierung der Schiffsmodelle, durchgeführt.⁶

Ursprünglich waren für diese Simulationsstudie insgesamt 32 Simulationsläufe, 16 Ein- und Auslaufmanöver für jedes der beiden Bemessungsschiffe, vorgesehen.

Auf die Durchführung der Simulationsläufe mit dem Bemessungsschiff Global Energy wurde verzichtet (siehe Absatz 4.1).

Von den verbleibenden 16 geplanten Simulationsläufen wurden zwei Läufe (#21 & # 24) nicht durchgeführt (vergleiche Tabelle 2: Laufliste mit Änderungen Seite 21).

Insgesamt wurde 17 Simulationsläufe durchgeführt, wobei der Lauf #3 zweimal wiederholt wurde (vergleiche Tabelle 2: Laufliste mit Änderungen Seite 21).

Die Startposition des Bemessungsschiffes bei den einlaufenden Simulationsläufen lag, in Absprache mit dem jeweiligen Fahrlotsen, etwa in der Mitte der einlaufenden Fahrwasserseite querab Tonne 97 bzw. 99. Die Geschwindigkeit zu Beginn der Simulationsläufe betrugen 6,1 kn über Grund. Die Assistenzschlepper waren zu Beginn bereits mit dem Bemessungsschiff verbunden (vergleiche Laufprotokolle und Diagramme in Anhang A).

Die einlaufenden Simulationsläufe wurden nach Erreichen einer sicheren Position in der Liegewanne beendet.

Die Startposition des Bemessungsschiffes bei den auslaufenden Simulationsläufen lag längsseits der FSRU Einheit. Die Geschwindigkeiten zu Beginn der Simulationsläufe betrug 0 kn über Grund (siehe Laufprotokolle und Diagramme in Anhang A). Die Assistenzschlepper waren zu Beginn bereits mit dem Bemessungsschiff verbunden. Eine Leinenverbindung des Bemessungsschiffes zum Land oder der FSRU Einheit bestand nicht.

Die auslaufenden Simulationsläufe wurden nach Erreichen einer verkehrsgerechten Position im Fahrwasser beendet.

⁶ Am zweiten Tag der Studie wurde nach allgemeinem Beschluss nur ein Referenzlauf durchgeführt.

5.1. Steuerung der Assistenzschlepper

Die Steuerung der Assistenzschlepper (Fremdschiffschlepper) erfolgte durch den Simulatorinstruktor mit Unterstützung eines erfahrenen ehemaligen Schlepperkapitäns.

Schlepperkommandos erfolgten von der Simulatorbrücke per Sprechfunk und wurden entsprechend der jeweiligen Situation von den Instruktoren umgesetzt. Sowohl Positionierung als auch Leistung wurden entsprechend der dynamischen Situation des Schiffes (Fahrt durchs Wasser) als auch der relativen Lage des jeweiligen Schleppers zu dem Bemessungsschiff (i.e. Winkel und Länge des Schleppdrahtes, längsseitige Position etc.) eingestellt.

Die Assistenzschlepper hatten zu Beginn einer jeden Simulation gemäß Absprache mit dem jeweiligen Fahrlotsen bereits eine Leinenverbindung mit dem Schiff.

5.2. Datenaufzeichnung

Die Daten der einzelnen Simulationsläufe wurden folgendermaßen gesichert.

- Bildschirmaufzeichnungen (Screenshots) nach Ende eines jeweilige Simulationslaufes in verschiedenen Vergrößerungsstufen (siehe Anhang A).
- Sicherung des jeweils gesamten Simulationslaufes innerhalb des Simulators als sog. *Replay File (Rex file)*.
Replay Files ermöglichen die nachträgliche Wiedergabe eines Simulationslaufes inkl. der Möglichkeit einer nachträglichen Daten-Extrahierung im Simulator.
- Tabellarische Datensicherung mittels externer Software.
- Handschriftliche Notizen der einzelnen Simulationsläufe und deren Nachbesprechungen.

5.3. Durchgeführte Läufe (Laufliste)

Die folgende Tabelle zeigt, im Vergleich zur geplanten Laufliste (vergleiche Kapitel 4.4.1), die Umweltbedingungen der tatsächlich durchgeführten Simulationsläufe.

Abweichungen sind mit einem **X** markiert, Abweichungen bei wiederholten Läufen sind mit einem **/** gekennzeichnet (siehe Kommentarzeile). Die abweichenden Werte sind ebenfalls in der Liste in **roter Schrift** angegeben.

Weiter sind in der folgenden Tabelle die Reihenfolge der Durchführung sowie die Anzahl der Versuche der einzelnen Läufe inklusive einer einfachen Bewertung angegeben.

Sicher (ausreichend Reserven)	Sicher (wenig Reserven)	Kritisch (keine Reserven)	Kein sicheres Manöver oder Kollision
----------------------------------	----------------------------	------------------------------	---

#	chronological order	Deviation	Ship	In/out	Tide	LW-Time St. Pauli	current speed in fairway	Wind Bft. / dir.	runs / assessment	Comments
1	1 / 6 / 12		Q-LNG (F)	In	0	-	0	0		Reference run
2	2 / 13		Q-LNG (B)	Out	0	-	0	0		Reference run
3	3 / 4 / 15		Q-LNG (F)	In	1h b4 HW	07:00	1,2 kn Flood	6 (7-8) SW		3 rd run with reduced wind force (5 no gusts)
4	5		Q-LNG (F)	In	1h after HW	05:00	1,3 kn Ebb	5 (6-7) SW		reduced wind force (5 gusts 6-7 bft.)
5	7		Q-LNG (F)	In	1h after HW	05:00	1,3 kn Ebb	5 (6-7) NE		reduced wind force (5 gusts 6-7 bft.)
6	8		Q-LNG (B)	Out	2h after LW	09:00	2,4 kn Flood	5 (6-7) SW		reduced wind force (5 gusts 6-7 bft.)
7	9		Q-LNG (B)	Out	1h after HW	05:00	1,3 kn Ebb	5 (6-7) E		reduced wind force (5 gusts 6-7 bft.)
8	10		Q-LNG (F)	In	1h b4 HW	07:00	1,2 kn Flood	6 (7-8) NE		reduced wind force (5 gusts 6-7 bft.)
9			Global Energy (F)	In	0	-	0	0		Skipped
10			Global Energy (B)	Out	0	-	0	0		
11			Global Energy (F)	In	<1h b4 HW	ca 07:00	1 kn Flood	6 (7-8) SW		
12			Global Energy (F)	In	1h after HW	05:00	1,3 kn Ebb	6 (7-8) SW		
13			Global Energy (F)	In	1h after HW	05:00	1,3 kn Ebb	6 (7-8) NE		
14			Global Energy (B)	Out	2h after LW	09:00	2,4 kn Flood	6 (7-8) SW		
15			Global Energy (B)	Out	<1h after HW	ca. 05:30	1 kn Ebb	6 (7-8) E		
16			Global Energy (F)	In	<1h b4 HW	ca 07:00	1 kn Flood	6 (7-8) NE		
17			Q-LNG (F)	In	0	-	0	0		see run #1
18			Q-LNG (B)	Out	0	-	0	0		see run #2
19	14		Q-LNG (F)	In	1h b4 HW	07:00	1,2 kn Flood	5 E		reduced wind force (5 no gusts)
20	11		Q-LNG (F)	In	1h after HW	05:00	1,3 kn Ebb	5 (6-7) NE		reduced wind force (5 gusts 6-7 bft.)
21			Q-LNG (B)	Out	<1h after HW	ca. 05:30	1 kn Ebb	6 (7-8) SW		Skipped
22	16		Q-LNG (B)	Out	2h after LW	09:00	2,4 kn Flood	5 NE		reduced wind force (5 no gusts)
23	17		Q-LNG (B)	Out	<1h after HW	05:00	1,3 kn Ebb	5 SW		reduced wind force (5 no gusts) / wind direction
24			Q-LNG (B)	Out	2h after LW	09:00	2,4 kn Flood	6 (7-8) E		Skipped
25			Global Energy (F)	In	0	-	0	0		Skipped
26			Global Energy (B)	Out	0	-	0	0		
27			Global Energy (F)	In	<1h b4 HW	ca 07:00	1 kn Flood	6 (7-8) E		
28			Global Energy (F)	In	1h after HW	05:00	1,3 kn Ebb	6 (7-8) E		
29			Global Energy (B)	Out	<1h after HW	ca. 05:30	1 kn Ebb	6 (7-8) SW		
30			Global Energy (B)	Out	2h after LW	09:00	2,4 kn Flood	6 (7-8) NE		
31			Global Energy (B)	Out	<1h after HW	ca. 05:30	1 kn Ebb	6 (7-8) NE		
32			Global Energy (B)	Out	2h after LW	09:00	2,4 kn Flood	6 (7-8) E		

Tabelle 2: Laufliste mit Änderungen

6. Bewertungskriterien

Die im folgenden Kapitel 7 vorgestellten Ergebnisse berücksichtigen die relevanten hydrodynamischen Einflussgrößen, Umweltfaktoren sowie genutzte und verfügbare Ressourcen. Die Einflussgrößen der Umweltbedingungen stellen für die geforderte sichere Manöverdurchführung signifikante Parameter dar. Aufgrund der beschlossenen Rahmenbedingungen für die einzelnen Simulationsläufe fließen diese Größen kombiniert in die Bewertung ein. Eine differenzierte Zuordnung einzelner Einflussgrößen auf die Manöver erfolgte im Rahmen der Nachbesprechung (Expert Rating).

Im Rahmen der Bewertungen der einzelnen Simulationsläufe wurde in der Nachbesprechung die generelle Sicherheit des jeweiligen Manövers in Bezug auf sichere Abstände sowie vorhanden Reserven eingeordnet. Reserven bezeichnen hier in erster Linie die eingesetzten bzw. noch verfügbaren Schlepperkräfte. Weiter zählen zu den Reserven die genutzte bzw. noch vorhandene Manöverfläche (Manöverraum), sowie schiffseigene Ressourcen wie Hauptmaschine und Ruder.

7. Bewertung

Im Rahmen der dreitägigen Untersuchung wurden insgesamt 17 Simulationsläufe mit Ein- und Auslaufmanövern an und von der FSRU Einheit in dem geplanten LNG-Terminal AVG-Stade gemäß der Aufgabenstellung aus der Leistungsbeschreibung mit dem Bemessungsschiff Q-LNG durchgeführt.

Auf Grundlage der ermittelten Daten, der Experteneinschätzung sowie den Erfahrungen aus vorhergehenden Simulationsstudien können belastbare Ergebnisse zu den Grenzwerten der Ein- und Auslaufbedingungen abgeleitet werden.

Nachfolgend wird die Auswertung der Simulationsläufe in Reihenfolge gemäß der geplanten Laufliste wiedergegeben. Die chronologische Reihenfolge ist abweichend und der Tabelle 2: Laufliste mit Änderungen zu entnehmen.

7.1. Referenzläufe

Die Analyse der Referenzläufe⁷ ergibt, dass sowohl das Ein- als auch das Auslaufen mit dem Bemessungsschiff, ohne den Einfluss von Wind und Strömung, sicher und kontrolliert durchgeführt werden kann. Die verfügbaren Schlepperkräfte waren insofern mehr als ausreichend, als dass die eingesetzten Schlepperkräfte fast ausschließlich im mittleren Bereich lagen. Der Einsatz maximaler Schlepperkräfte erfolgte kaum und wenn auch nur sehr kurzzeitig. Die Manöver der Referenzläufe wurden als jederzeit sicher bewertet, Reserven waren stets ausreichend vorhanden.

⁷ Nach Laufliste: Nr. 1;2; 9; 10; 17; 18; 25; 26

7.2. Bewertung Lauf #3, #3 B, #3 C

Einlaufen ca. 1 Stunde vor Hochwasser (St. Pauli), Flut-Strömungsgeschwindigkeit bei Start (Tonne 99) ca. 1,2 kn abnehmend. Windrichtung: Südwest; Windstärke: Bft. 6 (in Böen 7 – 8), in der zweiten Wiederholung konstant Bft. 5.

#3

Der Simulationslauf 3 wurde aufgrund folgender Aspekte als unsicher bewertet:

Das Bemessungsschiff lief mit sicheren Abständen zur Dalbenreihe und der äußeren Schutzwand in die Liegewanne ein. Bei der Einfahrt in die Liegewanne kam es im weiteren Verlauf zu einer kritischen Annäherung an die FSRU Einheit (Steven auf Steven) von unter 25 m bei der das Bemessungsschiff noch eine Geschwindigkeit von ca. 3 kn über Grund hatte. Das Bemessungsschiff kollidierte im weiteren Verlauf im Vorschiffsbereich mit dem inneren Dalben der äußeren Schutzwand.

Die eingesetzten Schlepperkräfte waren nicht ausreichend den Winddruck genügend zu kompensieren und das Bemessungsschiff sicher und kontrolliert in die Liegewanne längsseits an die FSRU Einheit zu manövrieren.

Eine Wiederholung dieses Simulationslaufes wurde beschlossen.

#3 B

Der Simulationslauf 3 B konnte ohne Kollision oder kritische Annäherung abgeschlossen werden. Maßgeblich hierfür war eine geringere Geschwindigkeit bei der Einfahrt in die Liegewanne. Die Sicherheit dieses Laufes wurde jedoch aufgrund des durchgehend hohen Einsatzes der Assistenzschlepper als grenzwertig bzw. kritisch bewertet. Reserven hinsichtlich der Schlepperkräfte waren hier nicht mehr gegeben. So wurde dieses Manöver auch in der Nachbesprechung als „Kraftakt“ bezeichnet.

Aus diesem Lauf folgte die Erkenntnis, dass die Windkräfte zu stark und gleichzeitig die Schlepperkräfte als nicht ausreichend angesetzt waren. Es wurde daraufhin im Einvernehmen aller Beteiligten im Einverständnis des Auftragsgebers beschlossen die Windstärke für alle weiteren Simulationsläufe um eine Windstärke (5 kn) auf Bft. 5 (in Böen 6 – 7) zu reduzieren.

Eine weitere Wiederholung dieses Laufes wurde für einen späteren Zeitpunkt allgemein erwünscht und erfolgte am dritten Tag mit anderen Fahrlotsen und weiter reduzierter Windstärke

#3 C

Die zweite Wiederholung des Simulationslaufes 3 (3 C) wurde mit reduzierter Windstärke (Bft. 5 konstant ohne Böen) durchgeführt und als sicher bewertet. Das Manöver mit dem Bemessungsschiff war jederzeit unter Kontrolle und es waren stets ausreichend Reserven hinsichtlich der verfügbaren Schlepperkapazitäten und des verfügbaren Manövrierraumes vorhanden.

Im Ganzen wirkte dieses Manöver ruhiger und kontrollierter als die beiden vorherigen, was sich u.a. durch eine deutlich geringere Anzahl an Schlepperkommandos und einen allgemein geringeren Einsatz der Schlepper darstellte.

Ein fünfter Schlepper wurde genutzt.

7.3. Bewertung Lauf #4

Einlaufen ca. 1 Stunde nach Hochwasser (St. Pauli), Ebb-Strömungsgeschwindigkeit bei Start (Tonne 99) ca. 1,2 kn zunehmend. Windrichtung: Südwest; reduzierte Windstärke: Bft. 5 (in Böen 6 – 7).

Der Simulationslauf 4 wurde nach vorherigem Beschluss mit reduzierter Windstärke durchgeführt. Das Manöver wurde als sicher allerdings mit nur wenig Reserven bewertet.

Das Bemessungsschiff lief in sicheren Abständen zu der Dalbenreihe und der äußeren Schutzwand in die Liegewanne ein ohne, dass es zu einer kritischen Annäherung zu der FSRU Einheit kam.

Die Schlepperkräfte wurden innerhalb der Liegewanne weitestgehend maximal eingesetzt, so dass hier nur eine geringe Reserve blieb.

7.4. Bewertung Lauf #5

Einlaufen ca. 1 Stunde nach Hochwasser (St. Pauli), Ebb-Strömungsgeschwindigkeit bei Start (Tonne 99) ca. 1,2 kn zunehmend. Windrichtung: Nordost; reduzierte Windstärke: Bft. 5 (in Böen 6 – 7).

Der Simulationslauf 5 wurde nach vorherigem Beschluss mit reduzierter Windstärke durchgeführt. Das Manöver wurde aufgrund einer Kollision des Hecks mit einem Dalben als unsicher bewertet.

Nach einem kontrollierten Anlauf und anfänglich kontrollierten Einlaufen in die Liegewanne kollidierte der steuerbordseitige Heckbereich des Bemessungsschiffes mit einem der Dalben der landseiteigen Dalbenreihe. Der Simulationslauf wurde an dieser Stelle nicht abgebrochen, sondern fortgeführt und das Manöver wurde kontrolliert und sicher abgeschlossen.

In der Nachbesprechung dieses Manövers wurde festgehalten, dass die Kollision vermeidbar gewesen wäre, da zu dem Zeitpunkt der Kollision (bzw. davor) genügend Reserven der Schlepperkräfte zur Verfügung standen diese zu verhindern. Abgesehen von dieser Kollision wurde das Manöver vor und nach dieser Kollision als sicher und kontrolliert bewertet.

Insbesondere aus diesem Lauf folgte die Erkenntnis, dass für derartige Manöver ein umfangreiches Training inklusive der Handhabung von vier Schleppern auf beschränktem Manövrierraum erforderlich ist.

7.5. Bewertung Lauf #6

Auslaufen ca. 2 Stunden nach Niedrigwasser (St. Pauli), Flut-Strömungsgeschwindigkeit bei Start (im Fahrwasser) ca. 2,4 kn abnehmend. Windrichtung: Südwest; reduzierte Windstärke: Bft. 5 (in Böen 6 – 7).

Der Simulationslauf 6 wurde nach vorherigem Beschluss mit reduzierter Windstärke durchgeführt. Das Manöver wurde als sicher allerdings mit nur wenig Reserven bewertet.

Das Bemessungsschiff konnte sicher von der FSRU Einheit ablegen. Im weiteren Verlauf näherte sich der Vorschiffsbereich des Bemessungsschiffes, bei der Achterausfahrt aus der Liegewanne, dem nördlichen Ende der Schutzwand und gleichzeitig der FSRU Einheit soweit an, dass die vorne eingesetzten Schlepper kurzzeitig nicht unterstützen konnten.

Aus diesem Grunde sowie der weitgehend hohen Nutzung der Schleppkräfte wurden die verfügbaren Reserven als gering bewertet.

7.6. Bewertung Lauf #7

Auslaufen ca. 1 Stunde nach Hochwasser (St. Pauli), Ebb-Strömungsgeschwindigkeit bei Start (im Fahrwasser) ca. 1,3 kn zunehmend. Windrichtung: Ost; reduzierte Windstärke: Bft. 5 (in Böen 6 – 7).

Der Simulationslauf 7 wurde nach vorherigem Beschluss mit reduzierter Windstärke durchgeführt. Das Manöver wurde als sicher mit ausreichend Reserven bewertet.

Das Bemessungsschiff konnte kontrolliert von der FSRU Einheit ablegen und im weiteren Verlauf mit sicheren Abständen zur Dalbenreihe und der äußeren Schutzwand die Liegewanne mit rückwärtiger Fahrt verlassen und in das Fahrwasser eindrehen.

Erwartungsgemäß stellte sich die Ebbströmung als erschwerender Faktor für das Eindrehen und Positionieren im Fahrwasser dar. Die Fahtaufnahme nach dem Eindrehen in das Fahrwasser erfolgte zunächst in der einkommenden Fahrwasserseite bis das Fahrzeug auf Höhe des Anlegers Stade-Bützfleth nach etwa 15 Minuten eine verkehrsgerechte Lage mit ausreichender Geschwindigkeit durchs Wasser einnehmen konnte.

Das Manöver war jederzeit sicher und unter Kontrolle.

7.7. Bewertung Lauf #8

Einlaufen ca. 1 Stunde vor Hochwasser (St. Pauli), Flut-Strömungsgeschwindigkeit bei Start (Tonne 99) ca. 1,2 kn abnehmend. Windrichtung: Nordost; reduzierte Windstärke: Bft. 5 (in Böen 6 – 7).

Der Simulationslauf 8 wurde nach vorherigem Beschluss mit reduzierter Windstärke durchgeführt. Das Manöver wurde aufgrund einer Kollision im Vorschiffsbereich mit der FSRU Einheit als unsicher bewertet.

Nach einem zunächst kontrollierten An- und Einlaufen in die Liegewanne mit sicheren Abständen zur Dalbenreihe und der äußeren Schutzwand waren die eingesetzten Schlepperkräfte nicht ausreichend die Winddrift zu ausreichend kompensieren und das Bemessungsschiff kollidierte mit der FSRU Einheit im Bereich der steuerbord Schultern.

7.8. Bewertung Lauf #19

Einlaufen ca. 1 Stunde vor Hochwasser (St. Pauli), Flut-Strömungsgeschwindigkeit bei Start (Tonne 99) ca. 1,3 kn abnehmend. Windrichtung: Ost; reduzierte Windstärke: Bft. 5 (konstant ohne Böen).

Der Simulationslauf 19 wurde nach vorherigem Beschluss mit reduzierter Windstärke durchgeführt.

Das Manöver wurde als jederzeit kontrolliert und sicher mit ausreichenden Reserven bewertet.

Das Bemessungsschiff lief mit sicheren Abständen zur äußeren Schutzwand und der Dalbenreihe in die Liegewanne ein. Die eingesetzten Schlepperkräfte waren ausreichend den Winddruck auszugleichen und das Schiff kontrolliert in der Liegewanne zu positionieren.

7.9. Bewertung Lauf #20

Einlaufen ca. 1 Stunde nach Hochwasser (St. Pauli), Ebb-Strömungsgeschwindigkeit bei Start (Tonne 99) ca. 1,3 kn zunehmend. Windrichtung (geändert): Nordost; reduzierte Windstärke: Bft. 5 (in Böen 6 – 7).

Der Simulationslauf 20 wurde nach vorherigem Beschluss mit reduzierter Windstärke und auf Nordost geänderte Windrichtung (ursprünglich Ost) durchgeführt. Das Manöver wurde aufgrund mangelnder Reserven und einer kritischen Annäherung als unsicher bewertet.

Das Bemessungsschiff lief zunächst in sicheren Abständen zu der Dalbenreihe und der äußeren Schutzwand in die Liegewanne ein. Im weiteren Verlauf kam es zu einer kritischen Annäherung an die FSRU Einheit (Steven auf Steven) von unter 25 m bei der das Bemessungsschiff noch eine Geschwindigkeit von ca. 2,4 kn über Grund hatte.

Auch wenn das Bemessungsschiff ohne Kollision längsseits an die FSRU Einheit gebracht werden konnte wurde das Manöver aufgrund der genannten kritischen Annäherungssituation und den weitestgehend maximal eingesetzten Schlepperkräften als nicht sicheres Manöver bewertet.

Aus diesem Lauf folgte der Beschluss die Windstärke für alle folgenden Simulationsläufe auf Bft. 5 (21 kn) ohne Böen zu reduzieren.

7.10. Bewertung Lauf #22

Auslaufen ca. 2 Stunden nach Niedrigwasser (St. Pauli), Flut-Strömungsgeschwindigkeit bei Start (im Fahrwasser) ca. 2,4 kn abnehmend. Windrichtung: Nordost; reduzierte Windstärke: Bft. 5 (konstant ohne Böen).

Der Simulationslauf 22 wurde nach vorherigem Beschluss mit reduzierter Windstärke durchgeführt. Das Manöver wurde als sicher mit ausreichend Reserven bewertet.

Das Bemessungsschiff konnte kontrolliert von der FSRU Einheit ablegen und im weiteren Verlauf mit sicheren Abständen zur Dalbenreihe und der äußeren Schutzwand die Liegewanne mit rückwärtiger Fahrt verlassen und in das Fahrwasser eindrehen.

Erwartungsgemäß stellte sich die Flutströmung als erleichternder Faktor für das Eindrehen und Positionieren im Fahrwasser dar.

Das Manöver war jederzeit sicher und unter Kontrolle.

7.11. Bewertung Lauf #23

Auslaufen ca. 1 Stunde nach Hochwasser (St. Pauli), Ebb-Strömungsgeschwindigkeit bei Start (im Fahrwasser) ca. 1,3 kn zunehmend. Windrichtung: Südwest; reduzierte Windstärke: Bft. 5 (konstant ohne Böen).

Der Simulationslauf 23 wurde nach vorherigem Beschluss mit reduzierter Windstärke durchgeführt. Das Manöver wurde als sicher mit ausreichend Reserven bewertet.

Das Bemessungsschiff konnte kontrolliert von der FSRU Einheit ablegen. Im weiteren Verlauf reduzierte sich bei der Achterausfahrt der Abstand zur äußeren Schutzwand infolge dessen die beiden seitlich eingesetzten Schlepper kurzzeitig nicht mehr unterstützen konnten. Die verfügbaren Schlepperkräfte waren jedoch ausreichend das Schiff jederzeit unter Kontrolle halten, sicher aus der Liegewanne auszulaufen und ins Fahrwasser einzudrehen.

8. Management Summary

Im Rahmen der dreitägigen Untersuchung wurden insgesamt 17 Simulationsläufe mit Ein- und Auslaufmanövern zum und vom Liegeplatz (längsseits FSRU) des geplanten LNG Terminals (AVG-Stade) mit dem Bemessungsschiff (in Ballast und abgeladen) durchgeführt. Auf der Grundlage der ermittelten Daten, den dokumentierten Expertenmeinungen sowie den Erfahrungen aus vorhergehenden Simulationsuntersuchungen können belastbare Ergebnisse zu den Anlaufbedingungen, Grenzwertermittlung und Risikoanalysen abgeleitet werden. Im Nachfolgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der untersuchten Simulationsläufe wiedergegeben. Die am Beginn eines jeden Tages durchgeführten Referenzläufe dienten neben der Verifizierung des Simulators und des Schiffsmodells den beteiligten Lotsen auch zur Gewöhnung an die Simulationsumgebung sowie an das Bemessungsschiff. Zusammenfassend wurden folgende Erkenntnisse gewonnen.

- Ein- und Auslaufmanöver ohne Einfluss von Wind und Strömung wurden stets als sicher und kontrollierbar mit ausreichenden Reserven bewertet.
- Bei Einlaufmanövern erwies sich die Flutströmung als nachteilhaft.
- Bei Auslaufmanövern erwies sich die Ebbströmung beim Eindrehen ins Fahrwasser als nachteilhaft.
- Der Windeinfluss erwies sich als der bedeutendere Faktor für den Grad der Schwierigkeit der Manöver im Vergleich zum Einfluss durch Strömung.
- Die Simulationsläufe mit Windstärken von 6 Bft., in Böen 7 – 8 Bft., aus unterschiedlichen Richtungen, erwiesen sich aufgrund des starken Windeinflusses und des damit notwendigen hohen Einsatzes der Schlepper als kritisch bis nicht sicher.
- Die Simulationsläufe mit Windstärken von 5 Bft., in Böen 6 – 7 Bft., aus unterschiedlichen Richtungen, erwiesen sich aufgrund des starken Windeinflusses und des damit notwendigen hohen Einsatzes der Schlepper als kritisch bis nicht sicher.
- Die Simulationsläufe mit einer konstanten Windstärke von 5 Bft. (21 kn), aus unterschiedlichen Richtungen, erwiesen sich zwar als anspruchsvoll aber wurden durchgehend als sicher und kontrolliert mit stets ausreichenden Reserven bewertet.
- Es zeigte sich in allen Läufen, dass aufgrund des geringen Manöverraumes, frühzeitige Reaktionen auf ungewünschte Bewegungstendenzen erforderlich sind und wenig Spielraum für Fehlerkorrekturen vorhanden ist.
- Für das Eindrehen ins Fahrwasser ist ausreichend Manövrierraum vorhanden.

9. Empfehlungen

Maßgebend für die Schwierigkeit der Manöver sind die Umweltbedingungen. Die folgenden Empfehlungen richten sich daher vorrangig auf Einschränkungen von Wind- und Strömungsstärken.

- **Windstärken**
Windstärke Bft. 5 (21 kn) sollte nicht überschritten werden und zunächst als obere Grenze gelten.
Es wird empfohlen die ersten Anläufe (bzw. Abgänge) bei geringerer Windstärke durchzuführen, um Erfahrungen aus der Praxis zu gewinnen und die Ergebnisse aus der Studie zu validieren und ggf. neu zu bewerten.
- **Tidefenster**
Für die Ein- und Auslaufmanöver wird empfohlen folgende Strömungsgeschwindigkeiten nicht zu überschreiten:
 - Einlaufmanöver: 1 kn Flutströmung bis 1,3 kn Ebbströmung
 - Auslaufmanöver: 2,4 kn Flutströmung bis 1 kn EbbströmungEs wird empfohlen die ersten Anläufe (bzw. Abgänge) bei geringeren Strömungsgeschwindigkeiten durchzuführen, um Erfahrungen aus der Praxis zu gewinnen und die Ergebnisse aus der Studie zu validieren und ggf. neu zu bewerten.
 - **Einlaufen**
Um die empfohlenen Strömungsgeschwindigkeiten für die Einlaufmanöver nicht zu überschreiten wird als Zeitfenster eine Stunde vor bis eine Stunde nach Hochwasser empfohlen.
Die Ergebnisse der Simulationsläufe haben gezeigt, dass das Einlaufen bei ablaufendem Wasser mit größeren Sicherheitsreserven als bei Flutströmung behaftet ist.
Es wird daher empfohlen zumindest die ersten Anläufe bei Flut-Stauwasser bzw. Ebbströmung zu planen.
- **Auslaufen**
Auslaufen und Eindrehen ins Fahrwasser bei starkem Ebbstrom mit starken Winden aus östlichen Richtungen ist zu vermeiden.
- **Schlepper**
Es wird empfohlen mindestens vier Schlepper mit einer jeweiligen Schleppleistung von 70 t Pfahlzug einzusetzen.
Die eingesetzten Schlepper sollten das „Arbeiten auf Leine an der Seite“ leisten können.
Es wird empfohlen bei den ersten Ein- und Auslaufmanövern sowie bei höheren Windstärken generell einen fünften Schlepper mit vergleichbarer Schleppleistung bereit zu halten.

- Schleppertyp
Aufgrund des geringen Manövrierraumes sollten die eingesetzten Schlepper in ihren Abmessungen möglichst klein aber gleichzeitig ausreichend Leistungsstark sein.
Für ein optimales Arbeiten auf einem derart geringen Manövrierraum sollte der Einsatz von „Rotor“-Schleppern (Rotortug) oder Karussellwinden-Schlepper wie z.B. Carrousel Rave Tug erwogen werden.
- Windmessstelle
Zur Bestimmung der örtlich vorherrschenden Windbedingungen wird die Errichtung einer Windmessenrichtung in geographischer Nähe zum Anleger empfohlen. Die gemessenen Winddaten sollten in einer Live-Übertragung an die WSV und / oder Verkehrszentralen, idealerweise auch auf die PPU⁸ weitergeleitet werden.
- Festmacher
Eine schnelle Herstellung einer Leinenverbindung ist insbesondere bei bestimmten Wetterlagen (z.B. ablandigen Windrichtungen) äußerst wichtig. Es wird empfohlen sicherzustellen, dass eine zügige Leinenverbindung mit Festmacherleinen stets gewährleistet werden kann. Der Einsatz von Festmacherbooten sollte hierbei erwogen werden.
- Manöverstrategie
Es wird empfohlen Manöverstrategien für alle denkbaren Szenarien zu erarbeiten. Diese sollten u.a. folgende Punkte beinhalten:
 - Beim Einlaufen:
Schlepper sollten frühzeitig, etwa auf Position querab Tonne 99, festgemacht sein.
 - Strategie für eine effektive und optimale Nutzung der Schlepper auch hinsichtlich der gewählten und möglichen Verbindungspunkte am Schiff.
 - Beim Auslaufen nach dem Eindrehen:
Schlepper sollten nicht vor Erreichen einer verkehrsgerechten Position im Fahrwasser mit ausreichender Geschwindigkeit durchs Wasser entlassen werden.
 - Große Quertendenzen sind zu vermeiden.
- Training und Weiterbildung
Für Ein- und Auslaufmanöver zu und von diesem Liegeplatz wird empfohlen ein rechtzeitiges umfangreiches Trainingsprogramm im Simulator für die Elblotsen zu entwickeln und durchzuführen.
 - Das Trainingsprogramm sollte so rechtzeitig beginnen, dass alle Lotsen der Lotsenbrüderschaft Elbe vor einem ersten Anlauf teilgenommen haben können. Es wird empfohlen das Trainingsprogramm mindestens 1 Jahr vor dem ersten Anlauf zu beginnen.

⁸ Portable Pilot Unit (PPU)

- Nach einem initialem Trainingsprogramm wird empfohlen die Erfahrungen aus der Praxis in eine kontinuierliche Weiterbildung einfließen zu lassen.
- Es wird empfohlen die Schlepperbesatzungen in die Trainings- und Weiterbildungsmaßnahmen einzubeziehen.
- Kontinuierliche Kompetenz (continued proficiency)
Es wird empfohlen die kontinuierliche Kompetenz der für diese Manöver eingesetzten Lotsen sicherzustellen sowie Kriterien für die kontinuierliche Kompetenz zu definieren. Für die Kriterien zur Sicherstellung der kontinuierlichen Kompetenz könnten die Anzahl an gefahrenen Manövern innerhalb eines bestimmten Zeitraumes oder die Teilnahme an Trainings und / oder Weiterbildungsmaßnahmen innerhalb eines zeitlich definierten Rahmens zu den tatsächlichen Einsätzen als Gradmesser dienen.
- Besetzung des Schiffes während der Liegezeit
Sofern eine für einen eventuellen Notfall permanente Auslaufbereitschaft gefordert sein sollte, muss dabei die für die Bereitstellung von Lotsen erforderliche Zeit (ca. 2,5 Std.) berücksichtigt und eine durchgehende Lotsbesetzung in Erwägung gezogen werden.
- Es wird empfohlen die Erfahrungen aus den ersten Anläufen vor dem Hintergrund der Ergebnisse dieser Simulationsstudie zu validieren und im Rahmen von Fortbildungsmaßnahmen der gesamten Bruderschaft zur Verfügung zu stellen.
- PPU
Bezüglich der Nutzung von PPU's empfiehlt sich der Einsatz von schiffsunabhängigen hochpräzisen Positionssensoren.
- Landseitige Manövrierhilfen
Die Bereitstellung von landseitigen Manövrierhilfen wie einer Richtfeuerlinie oder Alternativen, wie beispielsweise ein sog. 'Inogon leading mark'⁹, wird empfohlen.
- Beleuchtung
Anleger, Schutzwände sowie Dalben und auch die FSRU Einheit sollten ausreichend beleuchtet sein.
Dabei ist zu berücksichtigen, die Beleuchtung in der Art zu installieren, dass eine Blendung der Schiffsführung ausgeschlossen wird.
- Platzierung der Tonne 101
Bei der Konstruktion dieses LNG Terminals ist eine Verlegung der Tonne 101 unvermeidlich. Der neue Standort sollte den verfügbaren Manövrierraum nicht verkleinern.
- Befenderung der äußeren Schutzwand
Es wird empfohlen den nördlichen Abweiser der äußeren Schutzwand rundherum ausreichend durch Fender zu schützen.

⁹ Positionierungshilfe, Funktionsweise basiert auf dem Moiré-Effekt

- Strömungsdaten
Es wird empfohlen eine Vorrichtung zur Messung der Gezeitenströmung an einer ortsnahen Stelle einzurichten und die gemessenen Daten in Echtzeit zu übermitteln (beispielsweise an die PPU's).
- Verkehr
Das An- und Ablegen muss in Abstimmung mit der Verkehrszentrale und dem beratenden Lotsen an Bord erfolgen und dabei die jeweilige Verkehrssituation berücksichtigen.
Seemännische Grundregeln zur Vermeidung von Sog und Wellenschlag sollten eingehalten werden.