

# Hafenentwicklung in Pakistan - Planung eines LNG-Terminals

Dipl.-Ing. Dirk Lesemann, Fichtner Water & Transportation GmbH, Hamburg

Corinna Hohls, M.Sc., Fichtner Water & Transportation GmbH, Hamburg

*Um die steigende Nachfrage nach Energie in Pakistan infolge des Wirtschaftswachstums gerecht zu werden, plant die Bahria Foundation den Neubau eines LNG-Terminals. Der bevorzugte Standort für das Terminal liegt im arabischen Meer vor der Küste nahe Karachi.*

*Das Planungsgebiet ist durch überwiegend ruhige Seegangsverhältnisse geprägt. Für die Planung sind einerseits Monsune sowie singuläre Stürme (Cyclone) mit extremen Wind- und Wellenbedingungen bemessungsrelevant.*

*Die geplante Gasanlieferung erfolgt über eine dauerhaft am Anleger festgemachte schwimmende Regasifizierungseinheit (FSRU), welche durch Tankerschiffe beliefert wird. Geplant wird das Terminal mit dem derzeit größten verfügbarem Tankerschiff Q-Max mit 345 m Länge, 53,8 m Breite und einem Fassungsvermögen von 266.000 m<sup>3</sup> (LNG) bei 12 m maximalem Tiefgang. Die Landanbindung erfolgt über eine Unterwasser-Pipeline.*

*Zur Gewährleistung der Liegeruhe ( $H_s \leq 2$  m) und der sehr hohen geforderten Verlässlichkeit von 99,5 % war bei der Planung der Bau eines Wellenbrechers zu berücksichtigen. Dieser sollte bestmöglich die abschirmende Wirkung einer im Seegebiet befindlichen Insel ausnutzen. Gleichzeitig bedeutet die Nähe der Insel Einschränkungen in Bezug auf die Wassertiefe und die nautische Auslegung des Terminals.*

## 1 Einleitung

Der wachsende Energiebedarf stellt Pakistan und insbesondere die Industrieregionen im Süden des Landes vor eine große Herausforderung. Hierzu zeigte eine Studie, dass bereits im Jahr 2015 eine Lücke zwischen der Bereitstellung von Energie und dem Bedarf besteht. Der größte Teil am Gesamtenergiemix in Pakistan bestand im Jahr 2015 aus LNG mit 36 %. Für das Jahr 2035 wird ein Anteil von 43 % erwartet. Die entstehende Bedarfslücke würde somit zwischen 2015 und 2035 von 2 Bcfd (billion cubic feet per day) auf 7,8 Bcfd ansteigen. Aus diesem Grund legt Pakistan verstärkt den Fokus auf LNG-Projekte beim Energieausbau.

Das hier beschriebene Projekt zur Entwicklung eines LNG-Importterminals wurde von der Bahria Foundation in Form einer techno-ökonomische Machbarkeitsstudie in Auftrag gegeben. Die Hauptplanungsbestandteile des LNG-Terminals sind ein bis zu 1,7 km langer Wellenbrecher, eine aufgeständerte Pfahlkopfplatte als Entladeplattform, 8 Dalben, die Ausstattung des Terminals und der Anfahrtskorridor der Schiffe inklusive erforderliche Ausbaggerung.

Der Bauherr, die Bahria Foundation, ist eine halb-staatliche Organisation. Die im Jahre 1982 gegründete Organisation mit Geschäftsfeldern in Infrastrukturprojekten wie Hafenbau bis hin zu Projekten in der Pharmaziebranche hat ihren Hauptsitz in Karachi.

## 2 Planungsrandbedingungen zum LNG Terminal

### 2.1 Planungsgebiet

Das angestrebte LNG Terminal ist im Arabischen Meer in der Sonmiani Bay vorgesehen. Zwei mögliche Standorte wurden von dem Bauherren zur weiteren Betrachtung vorgegeben (vgl. Abbildung 1). Die Standorte liegen zwischen 5 und 7,5 km von der Küste entfernt. Die betrachteten Standorte ergaben sich aus den anfänglichen Überlegungen des Bauherren, dass Ausbaggerungen für die Hafengebiete und den Zufahrtskanal möglichst vermieden werden sollten.



**Abbildung 1 Links: Planungsgebiet mit favorisierten LNG-Terminal Standorten; Rechts: Impressionen Churna Island**

Eine kleine unbewohnte Insel, Churna Island, befindet sich in unmittelbarer Nähe zu der Lokation 1 (vgl. Abbildung 1). Die Insel misst eine Länge von ca. 1,2 km bei einer Breite von max. 0,5 km. In der Vergangenheit wurde das Gebiet von der pakistanischen Marine für Übungszwecke (insbesondere Schießübungen) genutzt. Heute wird das Gebiet vorwiegend für Freizeitaktivitäten, wie (Geräte-)tauchen und Angeln, benutzt. Vor allem durch ein die Insel umschließendes Korallenriff ist eine intensive Umwelt- und Sozialverträglichkeitsprüfung erforderlich.

Wind und Wellen sind maßgeblich durch den Monsun geprägt. Sturmereignisse treten verstärkt im Sommer zur Monsun-Saison zwischen April bis September auf. Die planungsrelevanten Ereignisse sind vor allem der Südwest-Monsun und der Nordost-Monsun. Die mittlere maximale Windgeschwindigkeit an der Küste beträgt laut Statistik 13,2 kt (Bft. 4, mäßiger Wind). Die maximalen Windgeschwindigkeiten treten bei Cyclonereignissen mit 22 kt (Bft. 6, starker Wind) mit südöstlicher bis östlicher Richtung auf.

Daraus resultierende Wellendaten sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Hauptangriffsrichtung der Wellen ist aus der zugehörigen Wellenrose abzulesen und liegt zwischen 210°N und 270°N.

**Tabelle 1 Bemessungsdaten Wellenbedingungen**

Wiederkehr-interval	Hs - Signifikante Wellenhöhe [m]	Tu - zero up-crossing Verfahren [s]	Tp - Peak Periode [s]	Notiz
1 Year	5	7,7	10,5	Monsoon
10 Year	5,5	8	10,9	Monsoon
100 Year	8,5	9,9	12,7	Cyclone

Tiden treten in dem Planungsgebiet halbtägig auf, d.h. mit 2 Hoch- und Niedrigwasserereignissen pro Tag. Der mittlere Tidehub beträgt ca. 2,0 m. Strömungen sind im Wesentlichen durch Tide und Wind geprägt und variieren im gesamten Arabischen Meer saisonabhängig. Mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren erreicht die Strömungsgeschwindigkeit im Planungsgebiet Werte von bis zu 1,1 m/s.

Pakistan gilt als erdbebengefährdetes Gebiet. Die tektonischen Bewegungen sind daher planungsrelevant. Tsunamis treten in dem Planungsgebiet nur mit einer extrem geringen Wahrscheinlichkeit auf. Aufgrund von wirtschaftlichen Gesichtspunkten wird dieses Szenario nicht in der Planung berücksichtigt (Risikoabwägung).

Erste Bewertungen der beiden vorgegebenen Standorte haben ergeben, dass sich beide Positionen grundsätzlich für die Errichtung des Terminals eignen. Durch die wind- und wellenabschirmende Wirkung der Insel am Standort 1 wird dieser bevorzugt. In der weiteren Bearbeitung erfolgte eine Optimierung des Standorts.

## 2.2 Schiffgrößen und Nautik

Für die Planung mussten sowohl die Abmessungen des größtmöglichen Erdgas-Tankers (LNGC) als auch die schwimmende Regasifizierungseinheit (FSRU) berücksichtigt werden. Die Terminalanlagen sollen so ausgelegt werden, dass Tanker mit der Ladekapazität zwischen 70.000 m<sup>3</sup> und 266.000 m<sup>3</sup> (Qmax-Vessel) anlegen und entladen werden können. Die zu berücksichtigenden Abmessungen sind in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2 Abmessungen der LNG Tanker**

Capacity	DWT	M <sub>D</sub>	L <sub>OD</sub>	L <sub>BP</sub>	B	H	D <sub>max</sub>
[m <sup>3</sup> ]	[t]	[t]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
266 000	125 000	175 000	345,0	333,0	53,8	26,2	12,0
70 000	48 429	55 429	241,7	226,0	34,0	20,1	9,5

Die FSRU ist permanent an dem Terminal festgemacht. Aufgrund der großen Kapazität zur Speicherung von 170.000 m<sup>3</sup> Erdgas ergeben sich Abmessungen des Schiffes von 294 m Länge bei 46 m Breite und 12,5 m Tiefgang. Da die Wärmeerzeugung durch die Entnahme von Seewasser erfolgt, ist eine Under-Keel-Clearance von 2 m zu berücksichtigen.

Die Randbedingungen für die Nautik ergeben sich einerseits aus der Bathymetrie und andererseits aus bereits vorhandenen Anlagen in dem Gebiet. Vermessungsdaten wurden seitens der Bahria Foundation während der Planung geliefert. Anhand dieser Daten wurde

die Standortoptimierung vorgenommen (vgl. Abschnitt 3.3). Als minimale Wassertiefe für die sichere Anfahrt wird -15 mLAT gewählt.

Eine Single Point Mooring (SPM) Anlage wird in unmittelbarer Nähe des Planungsgebietes betrieben. Diese muss, einschließlich Anfahrtskorridor, bei den nautischen Betrachtungen Berücksichtigung finden. Die örtliche Situation ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Anlage befindet sich ca. 15 km von der Küstenlinie (Mouza Kund, Balochistan) entfernt.

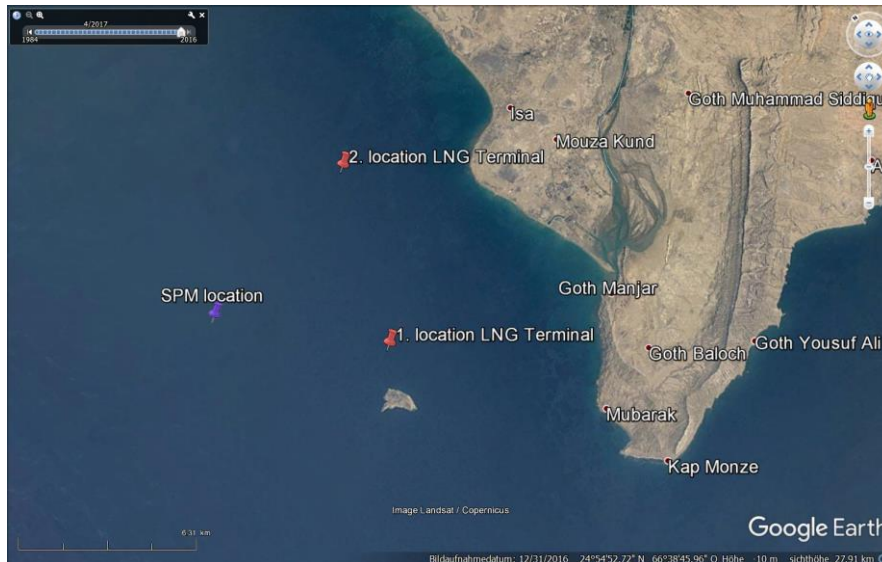


Abbildung 2 Planungsgebiet mit vorhandener Anlage [GoogleEarth, 2016]

### 2.3 Baugrund

Aufgrund der frühen Planungsphase waren nur wenige Informationen zum Baugrund vorhanden. Es wurden gestörte Bodenproben (Grabsamples) des Meeresbodens im Bereich der Lokation 1 und der SPM-Lokation entnommen und lediglich visuell eingeordnet. Diese Einordnung ergibt, dass unterschiedliche Arten von Sediment protokolliert wurden. Es wurden folgende Sedimente verzeichnet: Korallenfragmente, grobe Kiese und Sande, schluffiger Ton und Sand, grober bis feiner Sand und kalkhaltige Sedimente.

In Küstennähe wurden zudem Bohrprofile erstellt, deren Bohrtiefe zwischen 3 m und 9 m variiert. Hier zeigt sich ein ähnliches Bild, weicher Fels (Siltstone) wird von lockeren Sedimenten (i.d.R. sandiges Material) überlagert.

## 3 Planung und Auslegung der Planungsbestandteile

### 3.1 Zufahrt zum Terminal

Zur Bewertung der nautischen Gegebenheiten wurde die Anfahrt der LNGC mittels nautischer Simulation abgebildet. Die Simulation wurde für den Standort 1 durchgeführt. Abbildung 3 zeigt den geplanten Zufahrtsweg (orange Linie) zur Lokation 1.

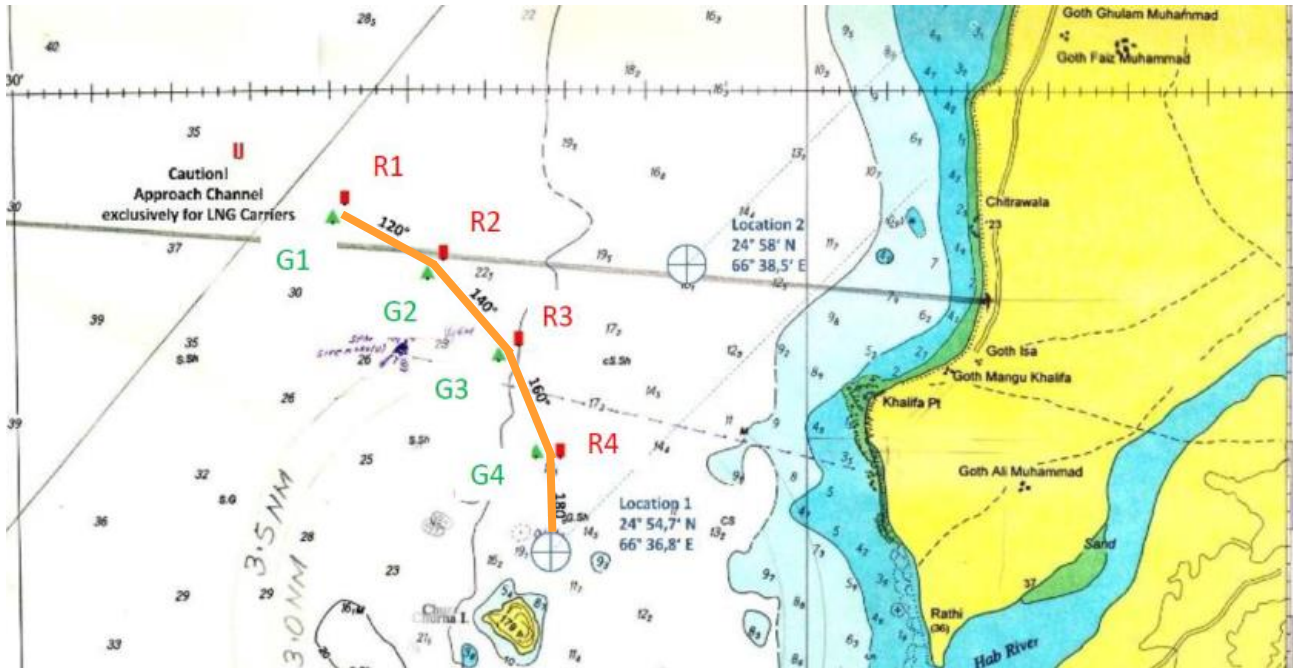


Abbildung 3 Optimaler Zufahrtsskorridor für Lokation 1

Aus nautischer Sicht ergeben sich größere Risiken bei der Anfahrt zum südlicher gelegenen Standort. Wegen der Nähe zur oben genannten SPM ergibt sich hier ein etwas erhöhtes Risiko, darüber hinaus ergeben sich aus den maßgebenden Szenarios des Südwest-Monsuns erhöhte Anforderungen an die Navigation.

Die nautische Simulation weist Risiken in Bezug auf Kollisionen infolge Schiffsverkehrs und der vorhandenen Infrastruktur sowie im Fall einer Manövrierunfähigkeit auch ein erhöhtes Risiko auf Grund zu laufen aus.

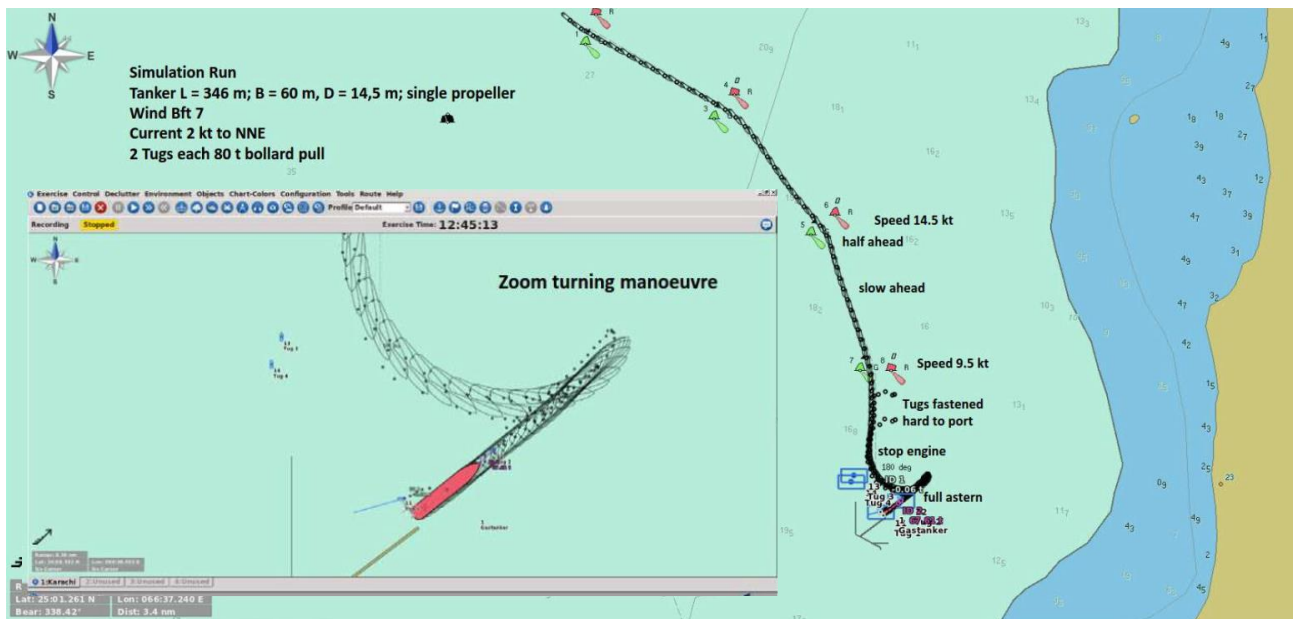


Abbildung 4 Nautischer Simulationslauf

Der Simulationslauf zu dem SW-Monsun-Szenario ist in Abbildung 4 dargestellt. Die nautische Betrachtung schließt mit den folgenden Aussagen ab:

- Die Anfahrt, auch zu SW-Monsun, ist technisch möglich und nautisch mit erhöhten Sicherheitsvorkehrungen vorzunehmen.
- Zwei Bojenpaare werden als ausreichend angesehen, diese sollten 1,5 km und 3 km vor dem Anleger installiert werden. Der Anfahrtskorridor sollte eine minimale Breite von 5 kbl (Kabellängen) betragen.
- Sicherheitsvorkehrungen bei dem Vorbeisteuern an der SPM müssen im Vorfeld dokumentiert und kommuniziert sein. Endgültige Sicherheitsabstände müssen definiert sein.
- Insbesondere bei schwierigen Seegangsbedingungen ist eine sichere Steuerung der Schiffe nur mit ausreichenden Schlepperkapazitäten gewährleistet. Es werden mindestens zwei hochseetaugliche Schlepper mit einer Zugkraft von mindestens 90 t benötigt.
- Das sichere Festmachen am LNG-Terminal bedarf zusätzlich mindestens einen Hafenschlepper.

### 3.2 Wellenbrecher - Planung und Optimierung

#### 3.2.1 Entwurf

Ein Wellenbrecher ist als prägender Bestandteil des Terminals zwingend erforderlich um eine für den Hafenbetrieb verträgliche Wellenhöhe von max. 2 m zu gewährleisten. Als Anforderung an die Betriebssicherheit ist eine Verlässlichkeit von 99,5 % gefordert.

Aus wirtschaftlichen Betrachtungen hat sich bei der Planung ergeben, dass die Stabilität des Wellenbrechers für die Eintrittswahrscheinlichkeit von 1 / 100 Jahren, entsprechend einer signifikanten Wellenhöhe  $H_s$  von 8,5 m ausgelegt wird. Die Liegeruhe und damit die Gebrauchstauglichkeit, die sich aus der transmittierten Welle ergibt, wird für den Fall von 1 / 10 Jahren mit  $H_s$  von 5,5 m ausgelegt.

Die Bemessung ergab für die Deckschicht bei Verwendung von Naturstein ein Einzelgewicht von mehr als 40 to. Durch die Verwendung von Betonformsteinen mit hohem Verzahnungsgrad, zum Beispiel XBLOC, konnte ein erforderliches Steingewicht in wirtschaftlicher Größenordnung ermittelt werden. Abbildung 5 zeigt den Regelquerschnitt des geplanten Wellenbrechers.

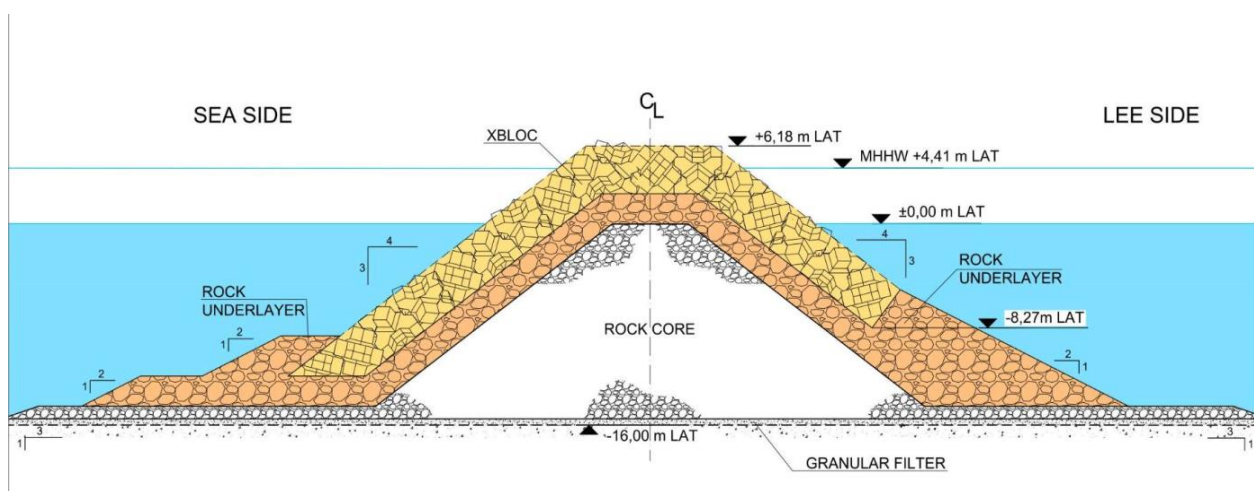


Abbildung 5 Querschnitt des geplanten Wellenbrechers

Abbildung 6 zeigt die Ausrichtung des Terminals und die Orientierung unter Vernachlässigung der Insel. Seitens des Nautikers wurde gefordert, dass mindestens eine Schiffslänge (inklusive Schlepper) vor dem Anleger im wellenberuhigten Bereich liegt. Unter Berücksichtigung der Hauptwellenangriffsrichtung (210°N und 270°N) wurde mit Hilfe von Diffraktionsdiagrammen die Länge des Wellenbrechers mit ca. 1.500 m ermittelt.



Abbildung 6 Ursprüngliche Ausrichtung und Orientierung des LNG-Terminals

### 3.2.2 Numerisches Wellenmodell

Der erste Entwurf des Wellenbrechers wurde von DHI mit der Simulationssoftware Mike 21 für Wiederkehrintervalle von 1 / 10 und 1 / 100 numerisch untersucht. Das Wellenmodell zeigt den Ausschnitt der Lokation 1 (C) (vgl. Abbildung 7). Der betrachtete omnidirektionale Fall wurde für das Wiederkehrintervall 1 in 10 Jahren berechnet. Die Betrachtungen des Wellenmodells schließen mit dem Fazit ab, dass die Randbedingungen mit dem geplanten Wellenbrecher eingehalten werden. Die maximale signifikante Wellenhöhe im geschützten Wellenbrecherbereich ist kleiner als 2,0 m.

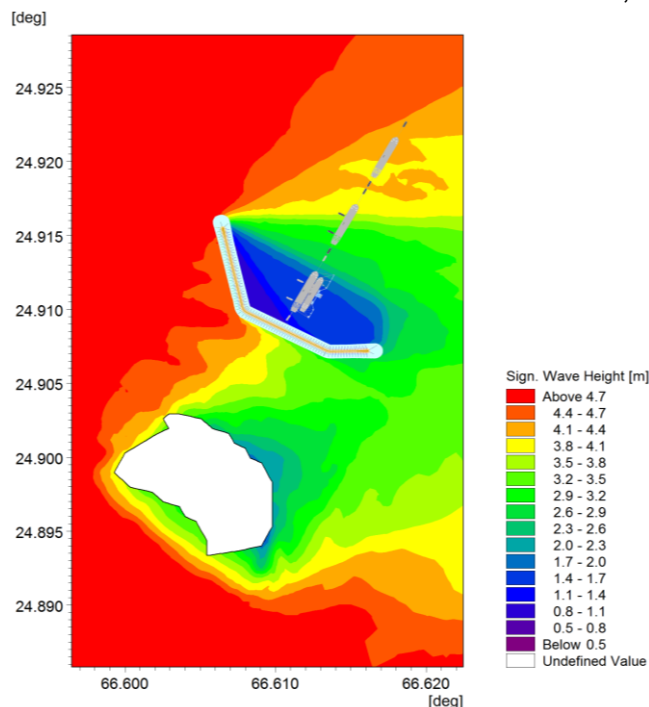


Abbildung 7 Ergebnis des numerischen Wellenmodells für den omnidirektionalen Fall

### 3.3 Standortoptimierung

Da der Wellenbrecher den weitaus größten Anteil an den Investitionskosten für das Projekt ausmacht, wurde aus wirtschaftlichen Gründen eine Standortoptimierung vorgenommen. Für die Betrachtung wurden jeweils 4 Aspekte gegenübergestellt: Volumen des Baumaterials für den Wellenbrecher, die sich daraus ergebenden Kosten, Umweltaspekte und nautische Risiken.

Insgesamt wurden 6 Standorte im Umfeld von Churna Island betrachtet (vgl. Abbildung 8 plus Standort 2). Dabei wurde die Insel als natürlicher Wellenbrecher einbezogen. Für Standort 1 A ergab sich durch eine sehr steile Unterwasserböschung keine Einsparung der Investitionskosten, zudem ergeben sich aus der Nautik (Drift gegen die Insel) größere Risiken gegenüber Standort 1. Für Standort 1 B südlich der Insel wurden Untiefen in Bezug auf die Nautik sowie erwartete höhere Sedimentationsraten als Ausschlussgründe identifiziert.



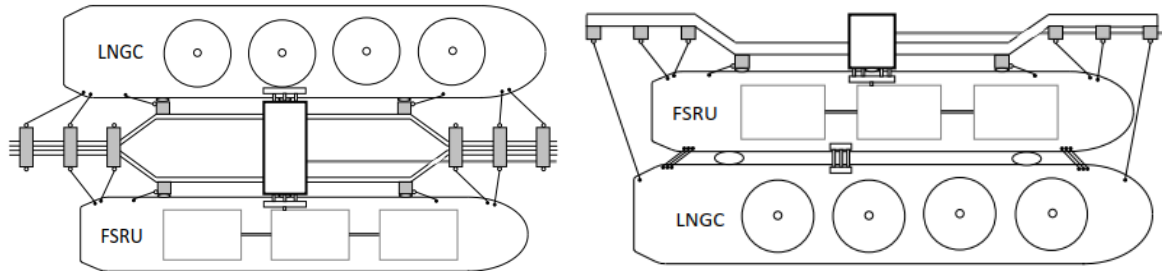
Abbildung 8 Links: Darstellung der betrachteten Standorte; Mitte: Standort 1C; Rechts: Standort: 1D

Die Standortbetrachtung schließt mit 2 möglichen Standorten (1C und 1D) ab. Der Bauherr favorisiert Standort 1D aufgrund der, durch den kürzeren Wellenbrecherverlauf, deutlich geringeren Investitionskosten. Risiken, die aus nautischen Betrachtungen entstehen, sind durch Betriebsanweisungen bzw. nautische Maßnahmen zu minimieren. An diesem Standort muss die hellgrau dargestellte Fläche (vgl. Abbildung 8) ausgebaggert werden, die Einsparungen am Wellenbrecher überwiegen jedoch die zusätzlichen Kosten infolge der Baggerung.

### 3.4 Terminalauslegung

In der Studie wurden zwei Varianten zur Schiffsanordnung am Terminal betrachtet (vgl. Abbildung 9). Ein twin jetty bietet sich aufgrund unterschiedlicher Kriterien, darunter Sicherheitsaspekte und Erweiterungsmöglichkeiten des Terminals an, aufgrund wirtschaftlicher Erwägungen entschied sich der Bauherr jedoch einen single jetty zu wählen.

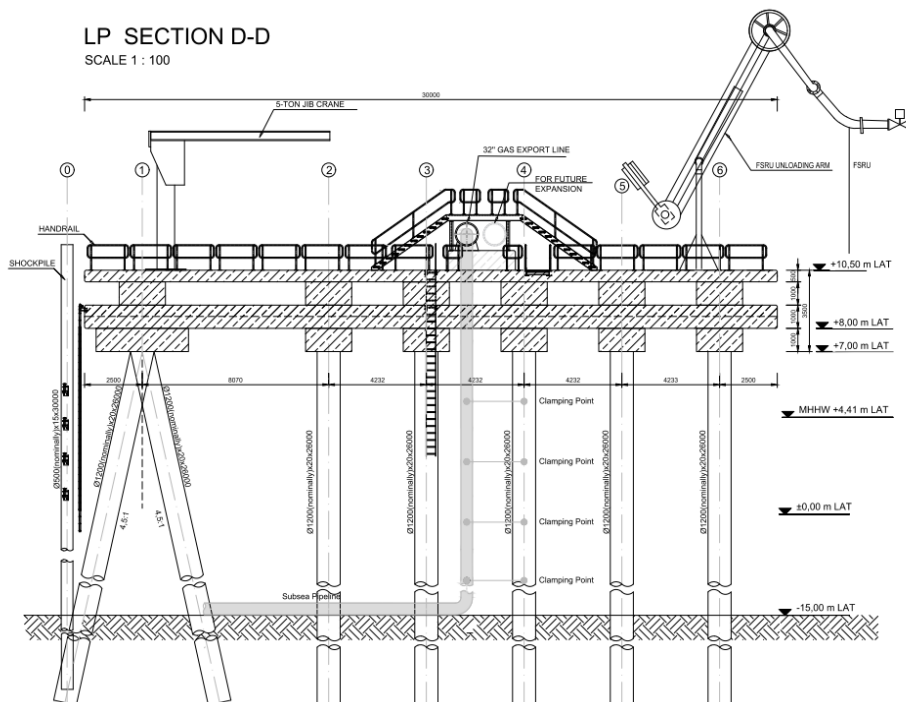




**Abbildung 9 Schematische Anordnung des Terminals; Links: Twin Jetty; Rechts: Single Jetty**

Folgende Komponenten prägen die Auslegung des Terminals:

- Die Entladeplattform (vgl. Abbildung 10) mit einer Größe von 30 m x 30 m wird auf Pfählen gegründet. Die Pfähle haben nach erster Vorbemessung eine Länge von ca. 26 m bei 120 mm Pfahldurchmesser. Auf der Entladeplattform sind Entladearme, Feuerlöscheinrichtungen, Molchstation, Aufenthaltsgebäude, Stromaggregat mit Betriebsstoffvorrat sowie zwei Krane und Anlegemöglichkeiten für Versorgungsschiffe vorgesehen.
- Zwei Festmache- und Fenderplattformen (Breasting Dolphins) mit einer Grundfläche von jeweils 12,5 m x 22 m sind u.a. mit Fender-Platten, Feuerlöscheinrichtungen, Automatikpollern (Quick release hooks) und festen Pollern ausgestattet.
- Sechs Festmacheplattformen (Mooring Dolphins), Grundfläche von je 9 m x 9 m sind mit Quick release hooks und festen Pollern ausgestattet.
- Die Plattformen sind mit Stegen mit einer Gesamtlänge von ca. 270 m verbunden.
- Ferner sind Fender zwischen dem LNGC und der FSRU vorgesehen.



**Abbildung 10 Entladeplattform**

Das regasifizierte LNG wird mittels Offshore-Pipeline an Land befördert. Diese wird in einem Leitungsgaben mit Schutzbewurf gegen Ankerzug verlegt.

#### **4 Fazit und Ausblick**

Die Bahria Foundation wird in Zukunft ihren Beitrag zur Deckung des Energiebedarfes in Pakistan mit einem küstennahen LNG Terminal leisten. Die erste Planungsphase, eine techno-ökonomische Machbarkeitsstudie, ist abgeschlossen. Für die Planung lagen einerseits zum Teil nur wenige Informationen vor (z.B. mangelnde Baugrunderkundung), seitens des Bauherren wurde andererseits eine eher detaillierte Planung erwartet. Die wesentlichen Bestandteile des Terminals wurden in einem ersten Entwurf ausgelegt und umfassen einen Wellenbrecher, ein Entladeterminal mit entsprechenden Installationen einschließlich einer schwimmenden Regasifizierungseinheit, Anfahrtskorridor für LNG Tanker der Größe Qmax und der Pipeline für den Transport des LNGs zur landseitigen Anbindung an das überregionale Versorgungsnetz.

Die nächste Planungsphase, FEED (Front End Engineering Design), befindet sich in der Bearbeitung. Diese Planungsphase soll in einer Vergabeeinheit für einen EPC-Vertrag münden. Für die FEED-Phase wird ein Zeitraum von maximal 7 Monaten angesetzt. Wesentliche Bestandteile werden in der FEED unter anderem eine detaillierte HSE-Betrachtung, eine Umweltverträglichkeitsprüfung und die Auswertung des durchgeführten geotechnischen Untersuchungen Gutachtens sein. Der Bauherr zieht zudem den bereits in der Machbarkeitsstudie verworfenen Twin Jetty erneut als Terminalausrichtung, dann allerdings mit doppelter Kapazität, in Betracht.