VERBESSERUNG DER MOBILFUNKVERSORGUNG IN DER DEUTSCHEN BUCHT

VORSTUDIE KOSTENPLANUNG MOBILFUNKTURM

25.06.2021

Projektträger:
NETZ-Zentrum für innovative Technologie Osterholz GmbH
Sachsenring 11
27711 Osterholz-Scharmbeck

Offshore Wind Technologie GmbH
Hafenstr. 6c
26789 Leer – Germany

tel.: +49 491 912 18 0
web: www.owt.de

Autor	Geprüft
Stefan Dörfeldt	Sigurd Weise

EXECUTIVE SUMMARY

Für die Errichtung von Mobilfunktürmen zur Verbesserung der Mobilfunkabdeckung in der Deutschen Bucht werden aus technischer Sicht Einzelpfahlbauwerke vorgeschlagen. Hier können etablierte Technologien, Fertigungs- und Installationsmöglichkeiten eingesetzt werden, die in den letzten Jahren durch den Einsatz in der Offshore-Wind-Industrie erprobt worden sind.
Aus technischer Sicht sind vor allem zwei Punkte hervorzuheben. Zum Ersten spielt die Masthöhe bei der Qualität der Netzabdeckung eine große Rolle. Sie hat bei der Kostenstruktur jedoch zunächst nur geringe Relevanz, wenn sie den Rahmen des vorgeschlagenen Systems nicht sprengt. Insofern ist eine große Masthöhe zu avisieren, einen sinnvollen Grenzwert wird die technische Planung feststellen.
Zum Zweiten ist für eine langfristige Nutzbarkeit eine Seekabelverbindung zu empfehlen. Eine autarke Versorgung erfordert eine umfangreichere Planung und Ausrüstung sowie kontinuierliche Wartung. Reparaturen und Inspektionen offshore sind im Betrieb treibende Kostenfaktoren, die durch vorausschauende Planung reduziert werden können.

In einer unverbindlichen Kostenindikation wird von ca. 6,3 Mio. € je Turm für die Errichtung mit jeweils ca. 500.000 € strukturellen Unterhaltungskosten je Jahr ausgegangen. In der Vorbereitung sind 1,2 Mio. € für verschiedene Elemente der Vorplanung einzurechnen. Für die Seekabelanbindung ist laut Kostenstudie der Firma Seaway Offshore Cables GmbH (Seaway 7) für die unterschiedlichen Erschließungsszenarien mit Kosten zwischen 29,5 Millionen Euro und 62,8 Millionen Euro zu rechnen.

So ergibt sich für das hier erstmalig entworfene Konzept zur Verbesserung der Mobilfunkversorgung in der Deutschen Bucht ein Budgethorizont von 55 bzw. 92 Mio. €.

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung 7

2 Planung 9

2.1 Prinzipieller Aufbau des Bauwerks und Begriffe 9

2.2 Einfluss des Baugrundes und der Wassertiefe 12

2.3 Wind- und Wellen am Standort 13

2.4 Bauformen von Unterwasser- bzw. Gründungsstrukturen in der Nordsee 14

2.5 Anforderungen an eine Plattform 16

2.6 Bauformen von Masten 17

2.7 Einfluss der Masthöhe 18

2.8 Besonderheiten der Bemessung auf Lebensdauer 18

2.9 Korrosionsschutz 19

2.10 Dynamisches Verhalten 20

3 Realisierung 20

3.1 Verfügbare Monopiles 20

3.2 Verfügbare Installationsschiffe 21

4 Betrieb 23

4.1 Zugang 23

4.2 Bemannte oder unbemannte Betriebsweise 24

4.3 Wartung der Struktur 25

5 Energieversorgung und Netzanbindung per Seekabel 26

5.1 Anbindung per Seekabel 26

5.2 Mögliche Routen des Seekabels 27

6 Rückbau 28

7 Planungsvorschlag 28

7.1 Aufbau und Layout 28

7.2 Kostenübersicht 31

7.2.1 Vorbereitende Arbeiten 31

7.2.2 Herstellung und Errichtung einer Plattform 32

7.2.3 Seekabelanbindung 32

7.2.4 Jährliche Kosten 33

8 Ausblick und weitere Schritte 34

8.1 Gesamtplanung 34

8.2 Struktur 34

8.3 Seekabel 35

8.4 Bau und Installation 35

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1-1: Messmaste Amrumbank West (links, Nordsee, 2005, weitestgehend von OWT geplant), FINO 2 (mittig, Ostsee, Quelle ebd.) und Arkona (rechts, Ostsee, Monopile von OWT geplant, Quelle: Züblin) 7
Abbildung 1-2: Geplante oder mögliche Standorte [bereitgestellt vom BZNB, E-Mail vom 1.03.2021] 8
Abbildung 1-3: Wassertiefen im Seegebiet, Quelle: BSH 8
Abbildung 2-1: Grundsätzlicher Aufbau, Beispiel Messmast Amrumbank West 9
Abbildung 2-2: Einschlag einer Welle bei FINO2, Quelle: DNV 13
Abbildung 2-3: Monopile des Messmasts Amrumbank West 14
Abbildung 2-4: Jacket, Quelle: Salzgitter Mannesmann Renewables, https://www.szmr.de/de/lieferprogramm/systemloesungen/offshore-wind-jackets.html 15
Abbildung 2-5: Tripod, Quelle OWT 15
Abbildung 2-6: Links Verschmutzung durch Vogelexkremente auf der FINO2, Quelle: DNV, rechts vollgeschlossene Plattform 16
Abbildung 2-7: Rohrturm mit Scruton-Wendel, Quelle Wikipedia 18
Abbildung 2-8: Korrosionseffekt, Quelle: https://www.hdt.de/korrosion-und-korrosionsschutz-von-offshore-windenergiekonstruktionen-h010035123 19
Abbildung 3-1: Monopile Installation, Quelle: https://www.trianel-borkumzwei.de/aktuelles/rammen-der-monopiles-und-installieren-der-transition-pieces 21
Abbildung 3-2: Jack-up Barge Thor von DEME, https://www.deme-group.com/technologies/thor 22
Abbildung 4-1: Walk-to-Work- System, Foto: Ampelmann, Quelle: THB https://www.thb.info/rubriken/detail/news/walk-to-work-weiter-gefragt.html 23
Abbildung 4-2: Inspektion der Unterseite von FINO2 mittels aufwendiger Seilzugangstechnik, Quelle: DNV ... 25
Abbildung 5-1: Beispiel mit drei Seekabeln mit Führung im inneren des Monopiles 26
Abbildung 5-2: Variante 1 – 225 km Seekabeltrasse 27
Abbildung 5-3: Variante 2 – 95 km Seekabeltrasse 28
Abbildung 7-1: Entwurfsvorschlag für einen Mobilfunkturm in der Deutschen Bucht 30

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: Strukturelle Begriffe 10
Tabelle 2-2: Etablierte Begriffe bzw. Prozesse / Meilensteine der Planung 11
Tabelle 7-1: Kostenübersicht in Mio € 31
Tabelle 7-2: Vorbereitende Arbeiten 31
Tabelle 7-3: Budgetkosten für Herstellung und Errichtung einer Plattform 32
Tabelle 7-4: Budgetkosten Seekabelanbindung 33
Tabelle 7-5: Jährliche Kosten 33

VERWEISE

Nr. – Beschreibung	Autor
[V.01] Kostenschätzung Seekabelanbindung	Seaway Offshore Cables GmbH (Seaway 7)

ANLAGEN

Nr. – Beschreibung
[A.01] Entwurf eines Layouts für einen 50 m und für einen 80 m hohen Mobilfunkturm
[A.02] Auszug aus [V.01] Kosten Seekabelanbindung

ABKÜRZUNGEN

Abkürzung	Beschreibung
AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone, Hoheitsgebiet des Anrainerstaates, Seegebiet jenseits der 12-Seemeilen-Grenze
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
CTV	Crew Transfer Vessel. relative kleine, schnelle Schiffe zum Versetzen von Personal zu Offshore-Lokation
DNV	Det Norske Veritas, hier Sachverständigen- und Prüfunternehmen, oft als Zertifizierer tätig
EPCI	Engineering-Procurement-Construction-Installation, engl. für eine Vertragsform, bei der ein Generalunternehmer mit der Umsetzung eines Projektes beauftragt wird, typische Terminologie im internationalen Bau- und Anlagengeschäft
sm	Seemeile, Entfernung 1 sm = 1,85201 km

1 Einleitung

Zur Verbesserung der Mobilfunkabdeckungen auf See im Küstenmeer, innerhalb der 12-Seemeilen-Zone (sm), aber auch außerhalb kommt auch die Errichtung spezieller, eigenständiger Mobilfunktürme in Frage, sofern nicht vorhandene Infrastruktur wie Windparks, Konverterstationen oder Messmaste verwendet werden können. Tatsächlich bieten Messmasten, wie z.B. Amrumbank West oder FINO1/2/3 eine gute Ausgangsbasis für konzeptionelle Überlegungen zu Mobilfunktürmen.

Abbildung 1-1: Messmaste Amrumbank West (links, Nordsee, 2005, weitestgehend von OWT geplant), FINO 2 (mittig, Ostsee, Quelle ebd.) und Arkona (rechts, Ostsee, Monopile von OWT geplant, Quelle: Züblin)

Abbildung 1-1 zeigt Beispiele für diese Bauwerke. Offshore-Bauwerke müssen neben den an sie gestellten funktionalen Anforderungen auch stets den natürlichen Standortbedingungen gerecht werden. So wird in den Abbildungen bereits ein Unterschied zwischen Ostsee und Nordsee deutlich. In der Nordsee liegen die Plattformen signifikant höher, was seine Ursache in den dort anzutreffenden Gezeiten und größeren Wellenhöhen hat.

Abbildung 1-2 zeigt aktuelle Planungen möglicher Standorte. Danach kommen fünf Standorte in Betracht, von denen zwei bereits über eine nutzbare bauliche Infrastruktur verfügen (blaues Symbol). Die neuen Standorte befinden sich innerhalb der 12-sm-Zone. Dies geht mit einer zu erwartenden Wassertiefe von 10 - 30 m einher, siehe Abbildung 1-3. Baurechtlich ist die 12-sm-Grenze insofern von Bedeutung, als dass innerhalb der 12 sm das Genehmigungsverfahren vom jeweiligen Bundesland (hier Niedersachsen und Schleswig-Holstein) geführt wird.
Wichtiger wird es noch sein, die Naturschutzgebiete zu berücksichtigen und Standorte und Kabeltrassen davon fernzuhalten.

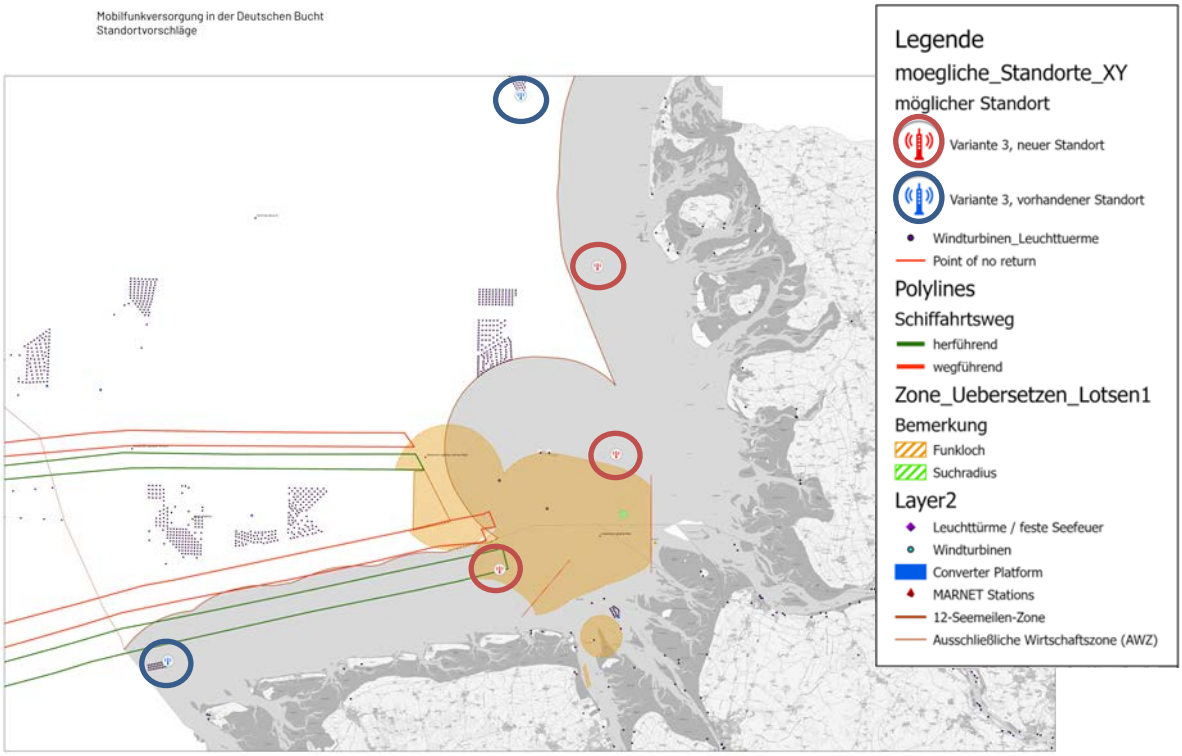


Abbildung 1-2: Geplante oder mögliche Standorte [bereitgestellt vom BZNB, E-Mail vom 1.03.2021]

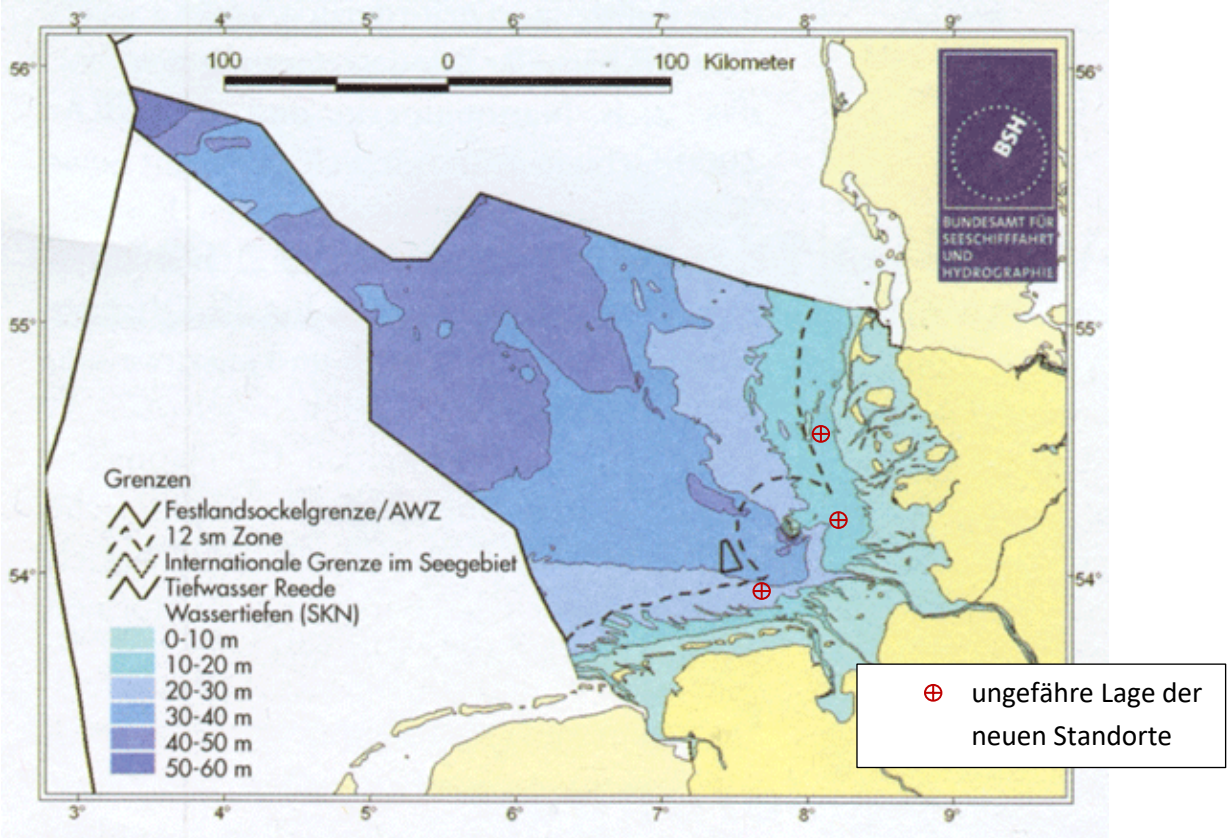


Abbildung 1-3: Wassertiefen im Seegebiet, Quelle: BSH

2 Planung

2.1 Prinzipieller Aufbau des Bauwerks und Begriffe

Die Hauptbestandteile, die für einen Offshore-Mobilfunk-Turm zu erwarten sind, zeigt Abbildung 2-1 anhand eines Messmastes.

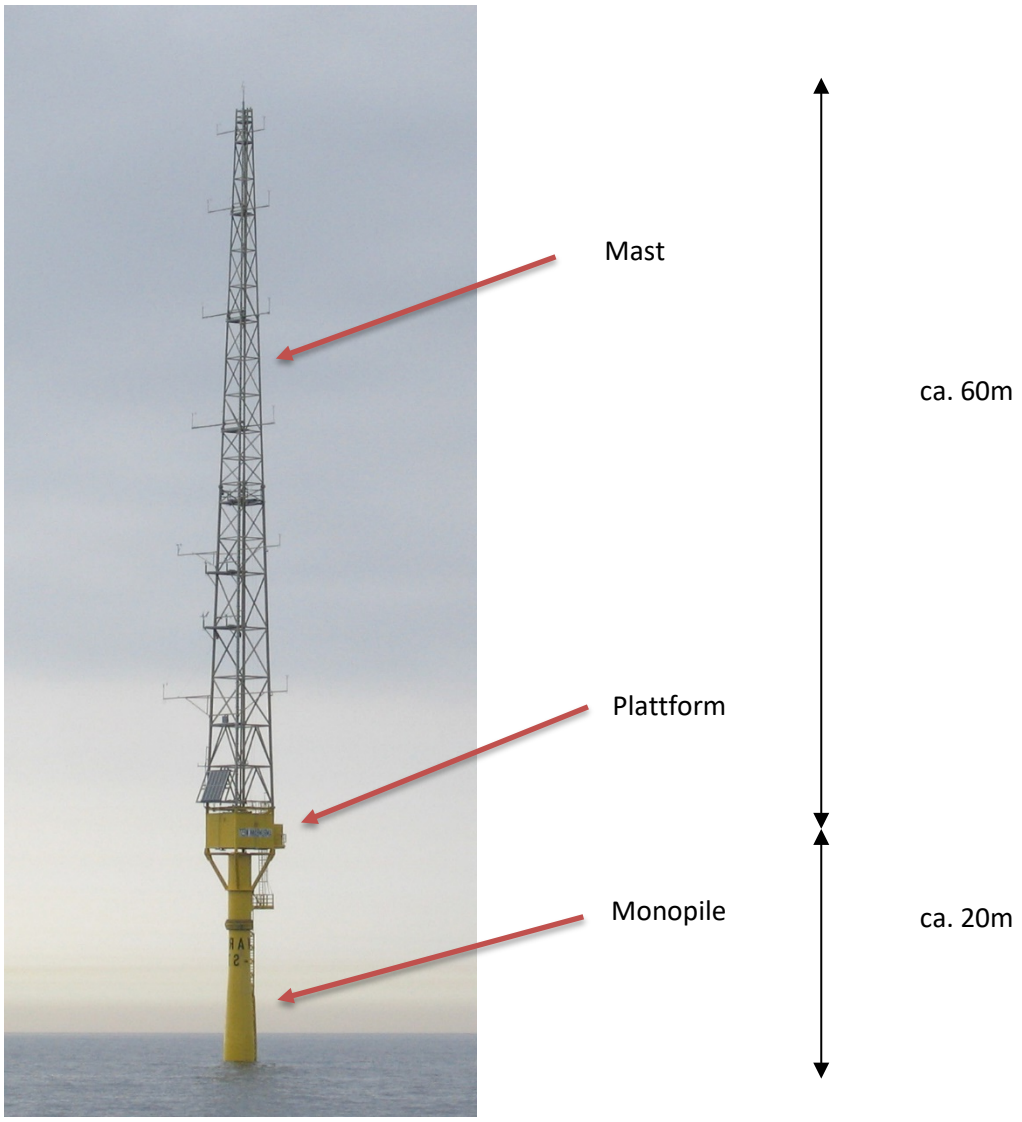


Abbildung 2-1: Grundsätzlicher Aufbau, Beispiel Messmast Amrumbank West

Mit der Offshore-Bautechnik gehen fachspezifische Begriffe einher, von denen die wichtigsten in Tabelle 2-1 genannt und erläutert werden. Damit soll sowohl zum besseren Verständnis des vorliegenden Dokumentes beigetragen, als auch eine Grundlage für etwaig folgende Planungsschritte gelegt werden. Dies scheint umso wertvoller, als dass die Planung des in Rede stehenden Bauvorhabens naturgemäß interdisziplinären Charakter trägt. In Tabelle 2-2 werden prozedurale Begriffe des Planungsprozesses von Offshore-Bauprojekten eingeführt, die für die Verständigung im weiteren Verfahren Bedeutung besitzen.

Tabelle 2-1: Strukturelle Begriffe

Strukturelle Begriffe	Erläuterung
Monopile	Einzelpfahllösung als großes Stahlrohr, Durchmesser ab 4 m, Wandstärken ab 40mm, Länge je nach Wassertiefe und Schnittstellen ab 50 m.
Transition Piece	Ein Übergangsstück, das ggf. zum Einsatz kommt, um Plattform und Monopile zu verbinden.
Plattform	Stahlbauliche Konstruktion mit Aufnahme von Containern, Zugangssysteme, ggf. auch Helikopterdeck.
Plattformhöhe	Der notwendige Freiraum der Plattform über dem Meeresspiegel wird durch die maximale Wellenhöhe plus Sicherheit festgelegt.
Wave-run-up	Wasser aus Wellenbewegung läuft am Monopile hinauf. Er kann relativ große örtliche Drücke auslösen (Wellenschlag) und muss daher berücksichtigt werden.
Mast	Gitter- oder Rohrmast zur Aufnahme der Signaltechnik.
Ringflanschverbindung	Umlaufende Flansche mit Schraubengrößen ab M36, geeignet zur Offshore-Montage von Hauptkomponenten Monopile, Plattform, Rohrmast.
Groutverbindung	Alternative Verbindungstechnik zur Ringflanschverbindung, ebenfalls geeignet zur Offshore-Montage von Hauptkomponenten Monopile, Plattform. Die Plattform besitzt dann einen Rohrdurchmesser der größer ist, als der des Monopiles. Er übergreift den Monopile. Die Zwischenfuge von ca. 10 cm wird mit Hochleistungsbeton ausgefüllt. Mit dieser Verbindung kann eine tragfähige Verbindung mit Toleranzausgleich hergestellt werden.
Kolk	Auswaschungen des Bodens durch Strömung und Wellen im Bereich des Monopiles. Kann erhebliche Tiefen annehmen, daher wird ein Kolkschutz (gestufte Kiesschicht) eingebaut.
Einbindelänge	Tiefe des Monopiles im Meeresboden, i.d.R. mindestens 25 m zu erwarten. Wird durch Lasten und Steifigkeit bestimmt.
Beschichtung	Die Strukturen werden für den Korrosionsschutz im Überwasserbereich und Wechselzone beschichtet, in einigen Bereichen verzinkt und beschichtet. Organische Beschichtungen besitzen eine begrenzte Lebensdauer.
Kathodischer Korrosionsschutz	Mittels aktiver (Fremdspannungsanlage) oder passiver (Opferanoden aus Aluminium oder Zink) wird ein Spannungspotential aufgebaut, das eine Korrosion des Stahls im Unterwasserbereich verhindert. In der Wasserwechselzone nur teilweise wirksam.
Abrostungszuschlag	Für Abrostung wird eine Materialzugabe gewährt, insbesondere in der Wasserwechselzone.
Lüftungsöffnungen	Der Monopile erhält Unterwasser-Öffnungen, die einen Wasseraustausch ermöglichen, um chemische Veränderungen des Innenwassers zu vermeiden.
Air-tight-Plattform	Ein Monopile erhält innen eine Plattform, die zum Wasser luftdicht und druckfest abschließt, um ein Eintreten von Seeluft in den Innenbereich zu verhindern.
Primary Steel	Synonym für tragende Teile der Struktur, deren Ausfall ein Kollaps herbeiführen würde.
Secondary Steel	Synonym für Anbauten, oft funktioneller Art, ohne Auswirkungen auf die tragende Struktur.
Boatlanding	System aus Fender und Leitern für den Zugang per Arbeitsboot (Crew Transfer Vessel - CTV).
Walk-to-Work	Synonym für automatisch hydraulisch bewegungskompensierte Laufstege, die auf größeren Schiffen montiert, einen direkten, sehr sicheren Zugang zur Plattform ohne Verwendung des Boatlandings erlauben.

Strukturelle Begriffe	Erläuterung
Eigenfrequenz	Frequenz bzw. Periode der für das Bauwerk natürlichen Eigenschwingungen, d.h. in welcher das Bauwerk nach einer Anregung ausschwingen würde. In dieser Frequenz ist das Bauwerk besonders anfällig für Resonanz. Windenergieanlagen liegen um 3 bis 4 Sekunden, Messmaste bei 1 bis 2 Sekunden, große Wellenenergien werden ab 4 Sekunden eingetragen.
Richtfunkkriterium	Würde beabsichtigt werden, eine Signalverbindung zum Mobilfunkturm per Richtfunk aufzubauen, bestünde das Erfordernis, akzeptable Verformungsgrenzen zur Aufrechterhaltung von Richtfunkstrecken einzuhalten. Dies wäre strukturell zu berücksichtigen. Derzeit gibt es jedoch keinen Hinweis auf einen derartigen Bedarf.
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg.

Tabelle 2-2: Etablierte Begriffe bzw. Prozesse / Meilensteine der Planung

Begriffe der Bearbeitung	Erläuterung
Design Basis	Grundlagendokument, das zunächst alle meteorologisch-ozeanographischen und geotechnischen Daten (z.B. Wellenhöhen, Wellenverteilung, Winddaten, Strömung, geotechnisches Profil), anhand derer der Design Brief ausgearbeitet werden kann.
Design Brief	Beabsichtigte technische Bearbeitung mit Auflistung der gewählten Standards und Vorgehensweisen.
Design Report	Bericht zur Berechnung, Statik und ggf. Funktion.
Zertifizierung	Prüfung durch einen unabhängigen Dritten, innerhalb der 12-sm-Zone durch den Prüfingenieur des Bundeslandes, in der AWZ durch akkreditierte und vom BSH zugelassene Zertifizierer
Genehmigung	Planfeststellungsbeschluss, Plangenehmigung setzen gemäß §5 Seeanlagengesetz voraus, dass: 1. die Meeresumwelt nicht gefährdet wird, insbesondere a) eine Verschmutzung der Meeresumwelt im Sinn des Artikels 1 Absatz 1 Nummer 4 des Seerechtsübereinkommens der Vereinten Nationen vom 10. Dezember 1982 (BGBl. 1994 II S. 1798, 1799) nicht zu besorgen ist, und b) der Vogelzug nicht gefährdet wird und 2. die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs nicht beeinträchtigt werden, 3. die Sicherheit der Landes- und Bündnisverteidigung nicht beeinträchtigt wird, 4. er mit vorrangigen bergrechtlichen Aktivitäten vereinbar ist, 5. er mit bestehenden und geplanten Kabel-, Offshore-Anbindungs-, Rohr- und sonstigen Leitungen vereinbar ist, 6. er mit bestehenden und geplanten Standorten von Konverterplattformen oder Umspannanlagen vereinbar ist und 7. andere Anforderungen nach diesem Gesetz und sonstige öffentlich-rechtliche Bestimmungen eingehalten werden.

2.2 Einfluss des Baugrundes und der Wassertiefe

Die Nordsee weist überwiegend Sande mit hoher Lagerungsdichte aufgrund der eiszeitlichen Überdeckung auf. Damit liegt ein Baugrund vor, der für die Bauform eines Monopiles besonders geeignet ist.
In Einzelfällen werden bei der Baugrunduntersuchung örtlich begrenzte Störungen festgestellt. Je nach Grad der Schwere wird daraufhin der Monopile verlängert oder der Standort um mehrere hundert Meter versetzt.
Mittlere und hohe Lagerungsdichten des Sandes stellen keinen besonderen Einfluss auf die Bemessung des Monopiles dar. Sehr lange Monopiles können bei hohen Lagerungsdichten schwierige Rammungen mit sich bringen, allerdings ist den Autoren kein Fall bekannt, in dem dies nicht zu lösen war. Zusammenfassend darf erwartet werden, dass der Baugrund zu keinen besonderen Einschränkungen führt.

Die Wassertiefen in den fraglichen Bereichen variieren zwischen 10 m und 30 m. Dies stellt für den Monopile eines Funkturms keine Herausforderung dar. Der Monopile wird zunächst länger und zur Sicherstellung angemessener Steifigkeit, vgl. Abschnitt *2.10 Dynamisches Verhalten*, mit größerem Durchmesser entworfen. Auswirkungen hat die Wassertiefe vor allem auf die Installation eines größeren und schwereren Monopiles, was die Kosten erhöht. In größeren Wassertiefen sind in der Regel auch größere maximale Wellenhöhen zu erwarten.
Die Wassertiefen haben zwar eine Auswirkung auf die Kosten, die Machbarkeit wird davon voraussichtlich (vorbehaltlich des dynamischen Verhaltens) nicht eingeschränkt. Das dynamische Verhalten des Bauwerkes verlangt besondere Berücksichtigung, weil sicherzustellen ist, dass es durch periodische Anregung aus Wind und Welle nicht in Resonanz gebracht werden kann.

Selbst für den flachsten Standort scheint eine Mindestwassertiefe von 10 m gegeben zu sein, so dass kaum Beschränkungen hinsichtlich der Erreichbarkeit der Lokation durch Installationsschiffe zu befürchten ist. Gleichwohl ist es sinnvoll frühzeitig ein Installationskonzept zu entwerfen und kontinuierlich zu pflegen.

2.3 Wind- und Wellen am Standort

Im Verlauf der Entwicklung der Offshore-Industrie hat sich die Kenntnis über die meteorologisch-ozeanographischen Daten signifikant verbessert. Heute werden mittels Rückwärtsanalyse Wind-, Wellen- und Strömungsdaten der letzten Jahre statistisch aufbereitet und zu Extrem- und Lebensdauerereignissen ausgewertet. Aus diesen Daten werden auch Korrelationen abgeleitet, die Aussagen über die Verfügbarkeit des Zugangs zur Lokation per Schiff oder Helikopter erlauben. Es sind Dienstleister am Markt präsent, die diese spezifischen Daten liefern können. Diese Daten finden Eingang in die Design Basis (siehe Tabelle 2-2). Sie werden für den Zweck der Planung und des Betriebes des Bauwerks spezifiziert, abgefragt und dokumentiert. Der Prozess dafür ist klar strukturiert.

Typische Werte, die sich lokal ändern können, sind:

- maximale Wellenhöhe zwischen 14 und 21 m, je nach Wassertiefe
- Strömungen aus Tide um 1 m/s
- Wind (Böe mit 3 Sekunden) je nach Höhe ab 55 m/s, in größerer Höhe mit Umströmungseffekten gesteigert

Abbildung 2-2: Einschlag einer Welle bei FINO2, Quelle: DNV

2.4 Bauformen von Unterwasser- bzw. Gründungsstrukturen in der Nordsee

Für den Bauzweck bieten sich an:

- Monopile
- Jacket
- Tripod

Der Monopile als Einzelpfahl stellt immer die kostengünstige Bauform der Unterwasserstruktur dar. Die Verfügbarkeit großformatiger Rohre ist mit Unternehmen wie Steelwind Nordenham oder EEW Special Pipe Construction, Rostock umfangreich gegeben.

Abbildung 2-3: Monopile des Messmasts Amrumbank West

Das Jacket ist eine aufgelöste Fachwerkstruktur. Sie hat eine große Verwendung in der Öl- & Gasindustrie und wurde für Windenergieanlagen für größere Wassertiefen ab 30 m eingesetzt, letztlich jedoch zunehmend durch große Monopiles verdrängt. Nachteilig für einen langfristigen Betrieb sind vor allem die großen Oberflächen und die Vielzahl von Inspektionspunkten. Das Jacket hat den Vorteil des steifsten Systems mit den geringsten Eigenfrequenzen und Verformbarkeit. Aufgrund der größeren Grundfläche hat das Jacket Vorteile bei räumlich großen Plattformen.

Abbildung 2-4: Jacket, Quelle: Salzgitter Mannesmann Renewables, https://www.szmr.de/de/lieferprogramm/systemloesungen/offshore-wind-jackets.html

Der Tripod ist ein Kompromiss zwischen den Formen. Er hat eine größere Steifigkeit des Systems als ein Monopile in einer robusteren Bauform gegenüber dem Jacket. Er wird aus Großrohrkomponenten hergestellt und ist auf verschiedene Weise am Meeresboden zu verankern, Abbildung 2-5.

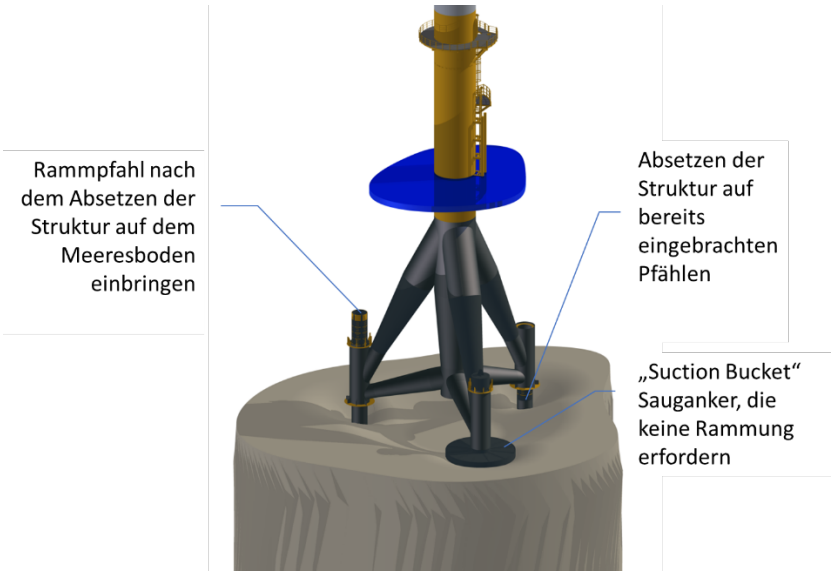


Abbildung 2-5: Tripod und Gründungsformen, Quelle OWT

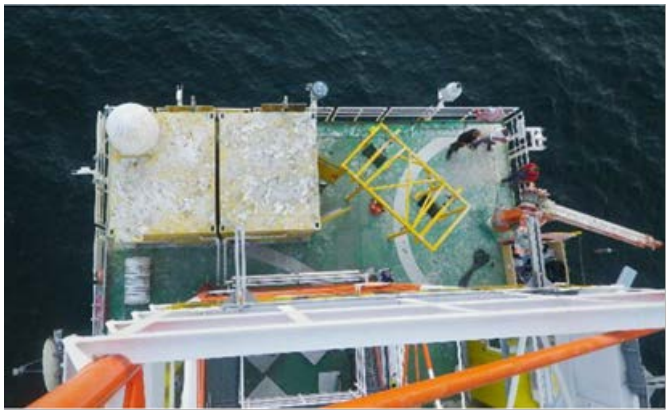
Die räumlichen Strukturen Tripod und Jacket liegen in den Kosten geschätzt bei Faktor 1,5 und 2 zzgl. Pfählen. Sie kommen daher nur in Frage, wenn ein Monopile für die Übertragungsqualität nicht steif genug wäre (Richtfunkkriterium).

2.5 Anforderungen an eine Plattform

Plattformen tragen die funktionale Infrastruktur des Systems. Primär ist dabei der Flächenbedarf zu benennen. Er bestimmt wesentlich Aufwand und Kosten der Struktur. Wird z.B. ein Helikopterdeck vorgesehen, entstehen schnell Plattformen größer 20 x 20 m Grundfläche verbunden mit weiteren funktionalen Anforderungen, was insgesamt zu relevanten Kosten führt.

Ein wesentlicher Aspekt ist die Austauschbarkeit von Komponenten. Zu diesem Zweck haben sich Container etabliert, die per Schiff mit ausreichender Krankapazität abgehoben werden können. In jedem Fall ist auf eine Modularität der Komponenten zu achten, um Offshore-Montagearbeiten zu vermeiden.

Ein nicht unwesentlicher Aspekt ist die Verschmutzung durch Vogelexkremente und der schädliche Einfluss der salzhaltigen Seeluft. Eine vollgeschlossene Plattform ist zu empfehlen, um die Angriffsoberfläche zu reduzieren. Eine geschlossene Oberfläche verhindert Schäden an den umfangreichen, verzweigten Oberflächen der Komponenten und lässt sich leichter jährlich reinigen.



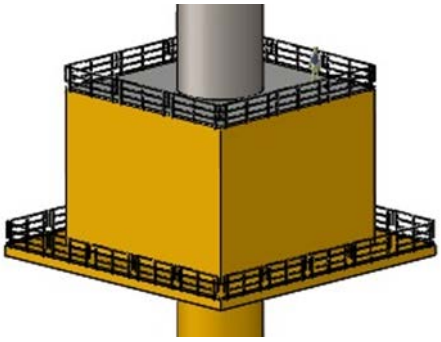


Abbildung 2-6: Links Verschmutzung durch Vogelexkremente auf der FINO2, Quelle: DNV, rechts vollgeschlossene Plattform

Dieser Trend hat sich bei Offshore-Umspannstationen gezeigt. Die ersten Ausführungen waren offene Systeme in Containerbauweise, die letzteren fast immer voll geschlossene Plattformen. Der Aufwand für Austauschbarkeit von Komponenten mag zwar steigen, in Summe ist der Vorteil für den Strukturerhalt größer. Insofern ist eine geschlossene Plattform zu empfehlen.

2.6 Bauformen von Masten

Für Messmaste werden notwendigerweise transparente Gittermaststrukturen eingesetzt, um den zu messenden Windfluss nicht zu stören. Alternativ können Rohrtürme eingesetzt werden. Sie haben eine deutlich größere Robustheit in der aggressiven Meeresumgebung aufgrund geringerer Oberflächen.

Für das vorliegende Bauvorhaben empfiehlt sich ein Rohrturm. Die Vorteile sind der geschützte Innenbereich für Aufstieg und Ausrüstung und der geringe Wartungsaufwand. In Windenergieanlagen haben sich einfache Lifte durchgesetzt, die auch hier wertvolle Unterstützung für Mann und Material bieten.

Ein Nachteil des Rohrturms ist seine Anfälligkeit für wirbelerregte Querschwingungen. Das ist keine unübliche Herausforderung für derartige Strukturen. Hierauf wird mit strukturellen und technischen Gegenmaßnahmen reagiert.

Abbildung 2-7: Rohrturm mit Scruton-Wendel, Quelle https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14871163

2.7 Einfluss der Masthöhe

Es darf davon ausgegangen werden, dass die tatsächliche Länge des Rohrturms eine untergeordnete Relevanz in der Kosten- und Strukturplanung darstellt. Der laufende Meter Rohrturm ist relativ kostengünstiger Stahlbau. Es besteht daher zunächst keine Veranlassung die Länge aus Kostengründen zu begrenzen.

Der Monopile selbst wird hauptsächlich durch Wellenlasten bemessen. Die Lasten aus einem Rohrturm werden einen Monopile nur in geringem Maße vergrößern.

Verständlicherweise steigt mit größerer Länge die Verformbarkeit und damit ggf. Einschränkungen des Richtfunkkriteriums. Falls vorhanden, kann dies begrenzend wirken oder den Monopile vergrößern, um Steifigkeit zu erzeugen.

Es ist in jedem Fall möglich, die kürzere Ausführung des Mastes mit einem Verbindungsflansch auszustatten, der die spätere Montage einer Verlängerung erlaubt.

Wenn die Masthöhe über die Abdeckung und damit die Anzahl der Türme insgesamt entscheidet, dann lässt sich mit großer Sicherheit jetzt schon feststellen:

Es sollte der maximal höchste Mast realisiert werden, der strukturell sinnvoll zu leisten ist. Dies wird günstiger ausfallen als weitere Plattformen zu bauen. Ein Monopile, der für sich allein bereits der Nordsee widersteht, wird in jedem Fall einen Rohrturm nicht unerheblicher Länge aufnehmen können.

2.8 Besonderheiten der Bemessung auf Lebensdauer

Strukturen im Meeresbereich sind aufgrund der Wechselbeanspruchungen durch Wind und Wellen üblicherweise in ihrer Lebensdauer begrenzt. Dafür haben sich konstruktive Bauformen durchgesetzt, die lebensdauerfreundliche Wirkung aufweisen. Die Nachweise dazu gegen Ermüdung sind sicher und etabliert.

Der Ermüdungswiderstand von Stahlkonstruktionen unterliegt immer einem Oberflächeneinfluss, der nicht zu vernachlässigen ist. Bei Offshore- Konstruktionen kommt dieser Oberflächeneinfluss durch die Wirksamkeit des Korrosionsschutzes zum Tragen. Vollständige Abwesenheit des Korrosionsschutzes führt zu sog. freier Korrosion, die eine negative, exponentielle Wirkung auf die Standzeit entfaltet. Wichtig ist, dass die im Design diesbezüglich getroffenen Planungsannahmen auch im Betrieb aufrechterhalten werden.

Für das vorliegende Projekt ist es eine zentrale Entscheidung, welche Standzeit angestrebt wird. Beispielhaft werden Windenergieanlagen mit 25 Jahren veranschlagt, Umspannstationen mit 40 Jahren. Organische Beschichtungen haben nur eine Haltbarkeit von ca. 10 bis 15 Jahren. Teilweise werden auch Zusagen der Farbhersteller von 25 Jahren in Aussicht gestellt, womit besondere Anforderungen an die Applikation einhergehen. Dies ist bei der gesamtheitlichen Planung zu beachten. Dazu empfiehlt es sich, frühzeitig ein integriertes Stahlbau-Korrosionsschutz-Konzept entwerfen und verfolgen zu lassen.

2.9 Korrosionsschutz

Wie durch den vorhergehenden Abschnitt erläutert, ist der Korrosionsschutz für die Lebensdauer der Struktur entscheidend. Dabei spielt nicht nur der Materialverlust eine Rolle, sondern vor allem die negative, exponentielle Wirkung auf die Standzeit, siehe Abschnitt 2.8.

Unterwasser wird mit aktiven und passiven Systemen geschützt. Aufgrund der Fehlerrate der aktiven Systeme und Einfachheit sowie Robustheit der passiven Systeme, wären im vorliegenden Fall Opferanoden zu empfehlen. Im Laufe einer längeren Nutzungszeit ist zwar mit einem Austausch zu rechnen, der jedoch recht planbar erfolgen kann.

Abbildung 2-9: Korrosionseffekt, Quelle: https://www.hdt.de/korrosion-und-korrosionsschutz-von-offshore-windenergiekonstruktionen-h010035123

Überwasser wird in der Regel beschichtet und in Bereichen hoher Abnutzung zusätzlich verzinkt. Eine Verzinkung weist nicht automatisch eine ausreichende Standzeit auf.

Die Wasserwechselzone stellt eine Herausforderung dar. Die Beschichtung verschwindet hinter einer dicken Bewuchsschicht und entzieht sich so einer Kontrolle und Reparatur. Gleichzeitig wechseln sich Luft und Wasser ab, wobei das Schutzpotential aus dem kathodischen Korrosionsschutz nicht wirksam ist.

Die Verwendung von Edelstählen ist kritisch zu sehen. Tatsächlich tauglich für die Nordsee sind nur sehr hochwertige, sogenannte Duplexstähle, auch V4A ist nicht geeignet. Zusätzlich kommt die Problematik von Kontaktkorrosion am unvermeidlichen Übergang zur Hauptstruktur.

Viel wichtiger für eine lange Standzeit ist die Möglichkeit, Beschichtung zu erneuern. Auch zu diesem Zweck ist eine geschlossene Plattform zu empfehlen.

2.10 Dynamisches Verhalten

Offshore-Bauwerke sind dynamischen, mit anderen Worten zeitlich veränderlichen Einwirkungen aus Wind und Welle ausgesetzt. Hohe Bauwerke mit ausgeprägter Schlankheit wie Masten lassen sich eher zum Schwingen anregen als völligere. Mit zunehmender Schlankheit nimmt die Steifigkeit der Konstruktion ab und ihre Eigenfrequenz sinkt. Entscheidend für das dynamische Verhalten ist das Verhältnis der Eigenfrequenz des Bauwerkes zur Frequenz der Anregung durch die äußeren Einwirkungen. In dieser Abstimmung liegt also ein Teil der Entwurfs- und Planungsarbeit, die jedoch mit Blick auf die Erfahrungen in der Planung von Tragstrukturen für Windenergieanlagen zuverlässig bewältigt werden kann.

3 Realisierung

3.1 Verfügbare Monopiles

Monopiles sind heute bis 10 m Durchmesser mit 90 mm Wandstärke industriell verfügbar, wie sie für Windenergieanlagen mit 500 t Kopfgewicht und 160 m Rotordurchmesser geeignet sind. Derartige Dimensionen werden im vorliegenden Fall nicht erforderlich.

Derartige Monopiles liegen bei 800 bis 1.300 t. Der Messmast Amrumbank West (Standzeit 2004-2016) lag bei ca. 260 t. Es ist zu vermuten, dass das Bemessungsergebnis für den Mobilfunkturm zwischen diesen Werten liegen wird.

Monopiles werden z.B. bei Steelwind Nordenham hergestellt, wo sie nur eine kurze Anfahrstrecke zum Einbauplatz haben. Bei der Bestellung ist die Auslastung der Werke mit einzurechnen. Das ist bei Anfrage allerdings rechtzeitig feststellbar.

3.2 Verfügbare Installationsschiffe

Die Entwicklung der Offshore-Windenergie hat zu einer Vielzahl von Schiffen und Installationsgeräten geführt. Es ist davon auszugehen, dass die zur Rede stehende Größe mit den üblichen Verfahren installiert wird. Der Installationsprozess gliedert sich typischerweise wie folgt:

1. Abholen des Monopiles, der Plattform und des Turmes vom Lagerplatz und Übernahme auf das Installationsschiff
2. Fahrt zum Standort
3. Einrichten der Schallschutzmaßnahmen
4. Aufnahme des Monopiles in den Bordkran
5. Schwenken über die Bordkante und Einfädeln in die Rammführung
6. Aufsetzen des Hammers
7. Rammung des Monopiles
8. Montage der Plattform und des Mastes

Sofern noch Arbeiten erforderlich sind, wird in der Regel ein Jack-up Schiff oder eine Jack-up Barge genutzt, Abbildung 3-2. Diese Einheiten verfügen über Beine, die auf den Meeresboden abgelassen werden können, und an denen der Schwimmkörper aus dem Wasser herausgehoben wird. Damit wird eine sichere Arbeitsplattform geboten, bis der Mobilfunkturm voll für den Betrieb eingerichtet ist.

Abbildung 3-1: Monopile Installation, Quelle: https://www.trianel-borkumzwei.de/aktuelles/rammen-der-monopiles-und-installieren-der-transition-pieces

Abbildung 3-2: Jack-up Barge Thor von DEME, https://www.deme-group.com/technologies/thor

In der Installation liegen die größten Kostenrisiken und Einsparpotentiale. Während an der Größe und Eignung des Gerätes nicht gespart werden sollte, sind vor allem Arbeitszeiten offshore kurz zu halten. Daher müssen Plattform und Turm an Land voll funktionsfähig eingerichtet sein, so dass offshore nur montiert wird.

Bei der Vertragsverhandlung zur Installation auf See wird es vor allem um die Übernahme des Wetterrisikos gehen. Wetterstatistiken können als Grundlage dienen, sind jedoch nur ein Anhalt. Letztendlich wird ein Auftragnehmer einen höheren Preis mit Übernahme des Wetterrisikos anbieten oder einen niedrigeren, wobei Wartezeiten aufgrund von ungeeignetem Wetter zu vergüten sind. Ersteres hat sich trotz der höheren Kosten zugunsten der Planungssicherheit und des Anreizes, die Arbeiten zügig abzuschließen, bewährt.

Die tatsächlichen Kosten der Installation hängen dann stark von der Auslastung der Installateure ab. Zwischen zwei größeren Aufträgen lassen sich oft günstig Einzelinstallationen unterbringen. Sind die Unternehmen gut ausgelastet, können günstige Konditionen nur mit ausreichend Vorlauf erreicht werden. In jedem Fall ist der Projektzeitplan so abzustimmen, dass die Fertigungsziele gut erreicht werden. Die zu einem gewissen Grad unvermeidlichen Fertigungsverzögerungen dürfen auf keinen Fall den Installationsbeginn verschieben.

Die typische Arbeitszeit offshore beginnt im Frühjahr und endet zumeist im September. Danach werden die Wetterfenster deutlich geringer in Häufigkeit und Länge. Wird dieses Fenster nicht erreicht, verschiebt sich die Arbeit automatisch ins nächste Jahr.

Eine Installation mit Rammen erfordert Schallschutzmaßnahmen zum Schutz der Meeressäuger. Es handelt sich jedoch um etablierte Methoden, wodurch die Installation eines Monopiles zu einem gewissen Grad als Routine angesehen werden kann.

4 Betrieb

4.1 Zugang

Wesentlich für den Zugang sind die gegenläufigen Aspekte Verfügbarkeit und Kosten. Mit geringen Aufwänden können keine hohen Verfügbarkeiten realisiert werden. Weiterhin spielt auch die Häufigkeit geplanter Besuche eine Rolle.

Die voraussichtlich günstigste Form ist zunächst das fallweise Anmieten von Crew Transfer Vessels (CTV), die für ca. 3.000 € bis 5.000 € je Tag zu mieten sind. Damit werden Personen mittels einer Zugangsleiter (Boatlanding) übergesetzt. Der Anteil der Fahrzeit ist je nach Standort nicht unerheblich an der Gesamteinsatzzeit, so dass die Nettoarbeitszeit eingeschränkt ist. Die Verfügbarkeit dieser Fahrzeuge ist relativ gut und damit auch preisstabil. Diese Methode bietet sich für gelegentliche und Fahrten mit geringer Dringlichkeit an.

Im Bereich der Windenergie wird zunehmend auf Walk-to-Work gesetzt: hydraulisch voll stabilisierte Gangways, die vom Schiff auf die Struktur führen, Abbildung 4-1. Es setzt jedoch eine Mindestgröße für ein Schiff voraus, was die Kosten deutlich steigert (ab ca. 20.000 €/Tag). Dieses System bietet sich für geplante, längere Wartungsaufenthalte oder Systemtausche an, die mehrere Tage andauern und Material mit einer gewissen Obergrenze an Gewicht beinhaltet. Es ist allerdings fraglos das sicherste System für den Überstieg und wird daher von den Offshore-Arbeitern bevorzugt, insbesondere von Technikern und Spezialisten ohne regelmäßige Offshore-Einsätze. Walk-to-Work erfordert nahezu keine Infrastruktur, lediglich ein Geländersegment an der Plattform muss geöffnet werden können und ist in dieser Hinsicht die günstigste Form. Über diese Fähigkeit sollte heute jedes Offshore-Bauwerk verfügen, um an der wachsenden Verfügbarkeit von Dienstleistern im Seegebiet partizipieren zu können.

Abbildung 4-1: Walk-to-Work- System, Foto: Ampelmann, Quelle: THB https://www.thb.info/rubriken/detail/news/walk-to-work-weiter-gefragt.html

Der Zugang mit einem Helikopter kann zusätzlich in Frage kommen, wenn es darum geht, systemrelevante Funktionen mit hoher Verfügbarkeit gewährleisten zu müssen. Es ist fraglos eine kostenintensive Form des Zugangs. Eine Flugstunde liegt zwischen 2.000 - 6.000 € (die Preise könnten zwischenzeitlich gesunken sein), je nach Helikopter und Anbieter zzgl. Wartezeit. Die Nettoarbeitszeit ist größer, dafür kann nur begrenzt Material mitgenommen werden. Die Mitarbeiter müssen entsprechende Schulungen absolvieren, die auch eine gewisse körperliche Fitness voraussetzen.

Auf Seiten des Funkturmes wäre ein Helikopterdeck erforderlich, dass auch strukturell zu Mehrkosten führt. Der Anflug muss ausreichend Abstand zum Turm beinhalten, allerdings ist ein vorhandener Turm kein Ausschlusskriterium. Zusätzlich sind funktionale Anforderungen wie z.B. Feuerlöschsysteme erforderlich, die regelmäßig gewartet und geprüft werden müssen. Auch ein Helikopter ist in seiner Verfügbarkeit limitiert, bei stärkerem Wind und Nebel wird er aufgrund des Turmes die Plattform nicht anfliegen können.

Es wird empfohlen, die funktionalen Systeme so zu planen, dass ausreichende Redundanz und Fernsteuerung gegeben sind. Ziel ist es, die regelmäßigen Wartungen auf der Plattform zusammenzufassen, damit sich der Einsatz vergleichsweise großer Offshore-Versorgungsschiffe lohnt. Diese sind dafür mit Walk-to-Work-Vorrichtungen ausgestattet, die einen sicheren Überstieg vom Schiff auf das Bauwerk ermöglichen. Für kurzfristige Besuche wird auf sog. Crew Transfer Vessel (CTV) zurückgegriffen. Ein Zugang per Helikopter kommt aus Sicht der Autoren nur in Frage, wenn systemrelevante Funktionen aufrecht zu halten sind, sodass man die maximal erreichbare Verfügbarkeit benötigt bzw. die Kosten nicht das primäre Kriterium in der Entscheidungsfindung sind.

Je nach Transportsystem, Anzahl der Arbeitskräfte und Vorausplanung liegt eine Arbeitsstunde offshore bei 200 € bis 1.000 € (auch mehr in Sonderfällen).

4.2 Bemannte oder unbemannte Betriebsweise

Im Augenblick ist kein Grund zu erkennen, der für einen längeren Aufenthalt auf der Plattform spricht. Das ist insofern wichtig, dass geplante Übernachtungen (auch wenn nicht Vollzeit) umfangreiche Anforderungen an Infrastruktur und Sicherheit stellen. Für unbemannte Plattformen sind üblicherweise Notausstattungen für unvorhergesehene Übernachtungen vorzuhalten. Sanitäre Infrastruktur ist in der Regel durch das Versorgungsschiff vorhanden, bei Verwendung von Helikoptern wird ein Sanitärsystem erforderlich.

4.3 Wartung der Struktur

Die Struktur muss regelmäßig überprüft werden. In der Regel wird dafür einmal im Jahr eine Kampagne geplant. Sie besteht üblicherweise aus den folgenden Punkten:

- Prüfung aller sicherheitsrelevanten Bauteile (Steighilfe, Anschlagpunkte, Lift, Rettungsmittel etc.),
- Prüfung und Reparatur von Beschichtungsschäden,
- Prüfung auf strukturelle Abweichungen, die auf Schadensentwicklungen hinweisen können,
- Vorspannung von strukturrelevanten Schraubverbindungen,

Unterwasser wird mittels ferngesteuertem Tauchgerät (ROV) der allgemeine Zustand geprüft sowie insbesondere ein ausreichendes Potential des Korrosionsschutzsystems. Weiterhin wird die Kolktiefe und Bewuchsstärke überprüft.

Taucherarbeiten sollen dabei möglichst vermieden werden. Sie müssen als teuer und gefährlich angesehen werden.

Abbildung 4-2: Inspektion der Unterseite von FINO2 mittels aufwendiger Seilzugangstechnik, Quelle: DNV

5 Energieversorgung und Netzanbindung per Seekabel

5.1 Anbindung per Seekabel

Ein wesentliches Thema ist die Energieversorgung und die Anbindung an das Telekommunikationsnetz per Seekabel. Es wird in den Monopile durch eine Öffnung in der Nähe des Meeresbodens geführt und an der Air-Tight-Plattform im oberen Bereich des Monopiles abgehängt. Von da aus kann es zum Anbindungsschaltschrank geführt werden.

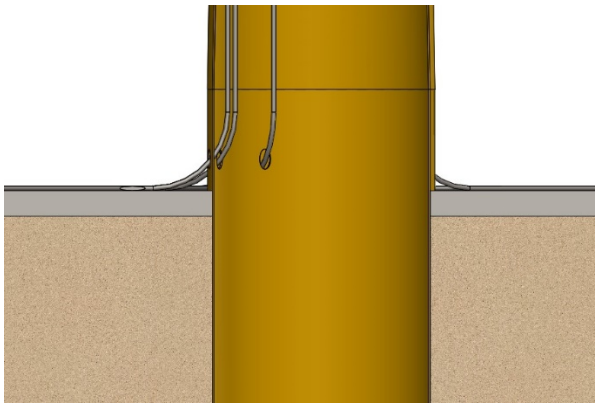


Abbildung 5-1: Beispiel mit drei Seekabeln mit Führung im inneren des Monopiles

Das Seekabel für den Mobilfunkturm ist eine eigene Planungsaufgabe. Neben den damit verbundenen Kosten sind eine Reihe von Genehmigungsaspekten abzuleisten. Kreuzt das Kabel z.B. den Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer sind entsprechende Studien zur Umweltverträglichkeit gefordert. Kann eine Kabelverbindung zu einer Plattform der Energieversorger hergestellt werden, wäre das die Vorzugslösung.

Wird die Anbindung ans Datennetz per Funk hergestellt, liegt der Gedanke einer autarken Stromversorgung nahe. Entscheidend ist dabei der Energieverbrauch der Systeme. Als Quellen für die Energieversorgung stehen Sonne, Wind und Wellen zur Verfügung.

Photovoltaik kann nur bei geringem Bedarf als ausreichend angesehen werden. Flächen für die PV-Anlage können an den Seiten und auf dem Dach einer geschlossenen Plattform gefunden werden, sind jedoch insgesamt begrenzt, eine Reihe von kleineren 1 bis 3 kW Kleinwindanlagen ist ebenfalls möglich. Es erscheint naheliegend eine größere Kleinwindenergieanlage auf dem Mast zu montieren, diese erfordert jedoch Infrastruktur zur Wartung und ggf. Tausch. Ein relativ kontinuierlicher Strom kann aus der Druckveränderung im Monopile bei durchlaufenden Wellen erzeugt werden. In jedem Fall würde das System durch entsprechende Puffer ergänzt. Die avisierte Grundlast von 30kW für die Netzausrüstung stellt eine hohe Anforderung für eine autarke Versorgung dar, die einer eigenen energetischen Planung bedarf.

Es ist eine frühzeitige Klärung des Themas Seekabelanbindung zu empfehlen, um die entsprechenden Aktivitäten zur Kostenplanung auszulösen.

Insgesamt ist technisch eine Seekabelanbindung zu empfehlen, auch wenn dies einen erheblichen Kostenpunkt zwar nicht an der Struktur jedoch in der Gesamtplanung darstellt.

5.2 Mögliche Routen des Seekabels

Der Entwurf der Kabelroute erfolgte durch das BZNB. Es ergeben sich bei dem gewählten Ansatz zwei Varianten. Für beide Szenarien ist festzuhalten, dass aufgrund der sehr hohen Anforderungen für einen Bau von Infrastrukturen im Nationalpark Wattenmeer auf eine jeweilige Anbindung der möglichen Standorte von Land aus verzichtet wurde und deshalb eine Verbindung der Standorte untereinander geschaffen werden soll.
Variante eins bildet die Anbindung von allen fünf möglichen Standorten untereinander ab, Abbildung 5-2. Durch die zusätzlichen Strecken sind die höheren Kosten begründet.
Variante zwei verzichtet auf die Anbindung von Standort drei und vier, da dort an vorhandenen Strukturen bereits eine Versorgungsanbindung vorhanden ist, Abbildung 5-3.

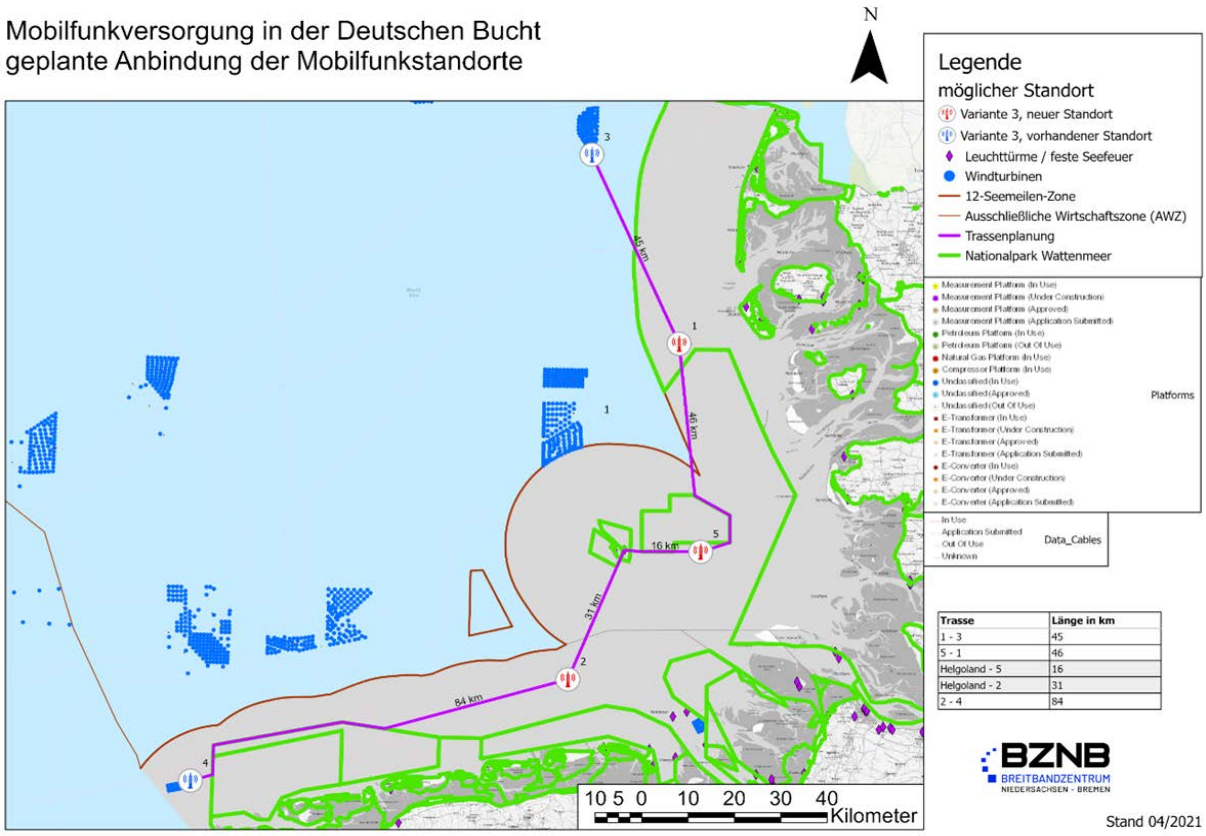


Abbildung 5-2: Variante 1 – 225 km Seekabeltrasse

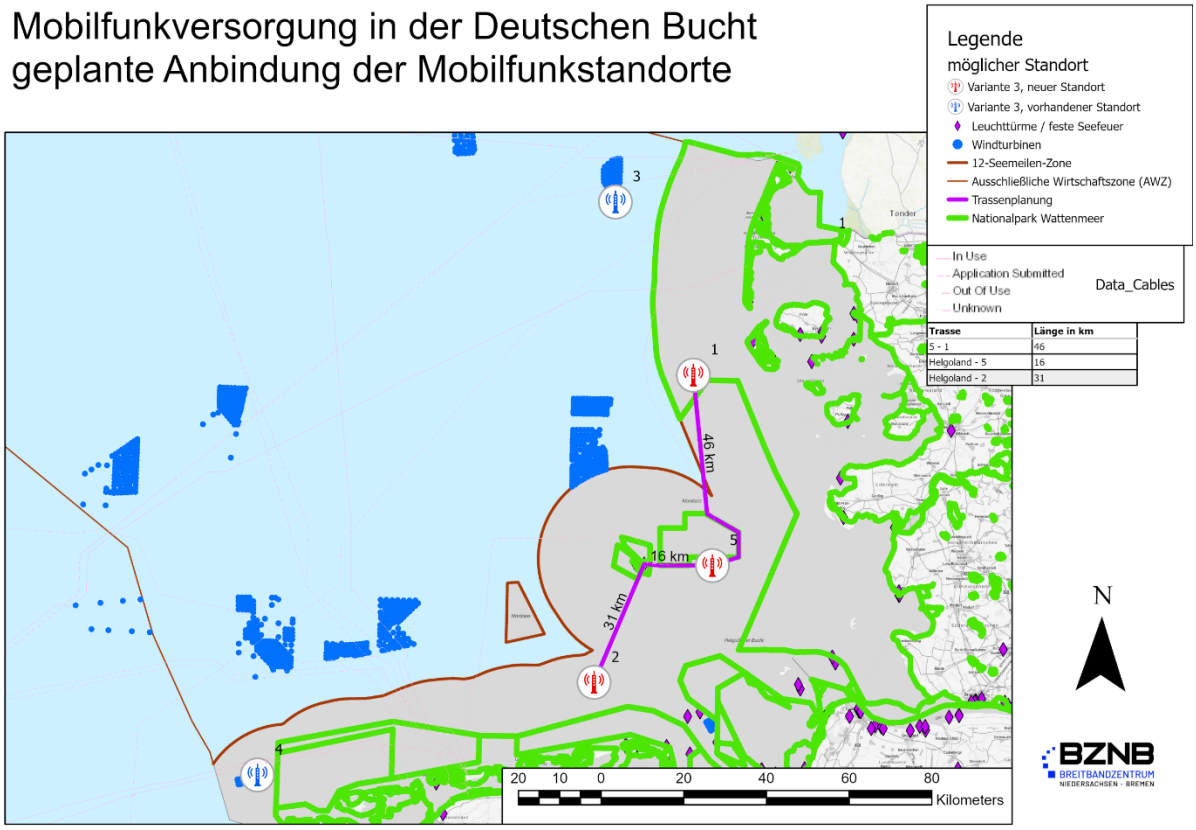


Abbildung 5-3: Variante 2 – 95 km Seekabeltrasse

6 Rückbau

Der Rückbau gestaltet sich vergleichbar zur Installation in umgekehrter Reihenfolge. Der Monopile wird per Wasserstrahl in einer Tiefe von ca. 5 m unter dem Meeresboden geschnitten. Es wird seitens der Behörden Wert auf die Reinheit des Meeresbodens gelegt.

7 Planungsvorschlag

7.1 Aufbau und Layout

Basierend auf den vorstehenden Überlegungen wird daher konzeptionell folgendes Turmlayout als Ausgangsbasis für weitere Überlegungen erstellt, Abbildung 7-1. Zwei Höhenvarianten sind als Layoutzeichnung in der Anlage beigefügt.

Im Unterschied zu den einführenden Beispielen in Abschnitt 1, die Gittermasten zeigten, wird für die Mobilfunkversorgung in der Deutschen Bucht ein Rohrturm vorschlagen. Gründe für diese Präferenz sind u.a. folgende:

- Preiswert, weil hochgradig industrialisierte Herstellung durch Nutzung der Lieferketten der Offshore Windenergie
- Ermüdungsgerechte Konstruktion, siehe Abschnitt 2.8
- Beschichtungsgerechte Konstruktion, da eine geschlossene Oberfläche geboten wird, siehe Abschnitte 2.8 und 2.9
- Geschützter Aufstieg zur Antennenplattform, Befahranlage wie in Türmen von Windenergieanlagen und Lastaufzüge möglich

Der Technikraum, dessen Platzbedarf heute noch nicht festliegt, kann gegebenenfalls genügend Raum in der Turmstruktur selbst finden. Heute wird eine eigene voll geschlossene Plattform vorgesehen, die in einem weiten Bereich skalierbar ist, und die jeder zukünftigen Anforderung gerecht werden kann. Beispielsweise kann ein Oberdeck geboten werden, auf dem Lasten von einem Schiff mit einem Kran abgesetzt werden können. Die Zahl der innenliegenden Decks und die Grundfläche des Aufbaus sind wählbar. Am unteren Rand des Aufbaus gibt es ein Hauptdeck, welches den Zugang durch Walk-to-Work-Systeme (Abbildung 4-1) von vier Seiten ermöglicht. Es bietet auch den Zugang zu den Wänden des Aufbaus, etwaigen Seekennzeichen etc.

Das Boatlanding (siehe auch Abschnitt 4.1) ermöglicht den Zugang vom Wasser. Die große Höhe von der Wasseroberfläche bis zum Erreichen des Hauptdecks macht eine Zwischenplattform erforderlich. Sie ist hier als Konus gestaltet, da sie gegen einschlagende Wellen zu bemessen ist, die charakteristischerweise erhebliche Vertikalkomponenten nach oben entwickeln. Bei Windenergieanlagen, wo das gleiche Problem besteht, findet man auch vermeintlich einfachere Lösungen. Dem vorliegenden Verwendungszweck kann eine Konusausführung durchaus angemessen sein und muss nicht aufwändiger sein, da bereits die Grundform beanspruchungsgerecht gewählt wird.

Am Meeresboden treten die Seekabel durch Öffnungen aus dem Monopile aus, siehe auch Abbildung 5-1. Durch diese und ggf. weitere Öffnungen im Pfahl erfolgt durch Ebbe und Flut planmäßig ein periodischer Wasseraustausch mit der Umgebung.

In unmittelbarer Umgebung des Pfahls wird ein Kolkschutz am Meeresboden, meist durch Schütten von Steinen, hergestellt. So wird das unweigerliche Ausspülen des Meeresbodens am Fuße des Bauwerks verhindert. Es kann interessant sein, eine Planung zu verfolgen, die dieses Ausspülen zulässt. Man verzichtet dann auf den Einbau der Steinschüttung und vergrößert entsprechend die Einbindetiefe des Monopiles im Meeresboden.

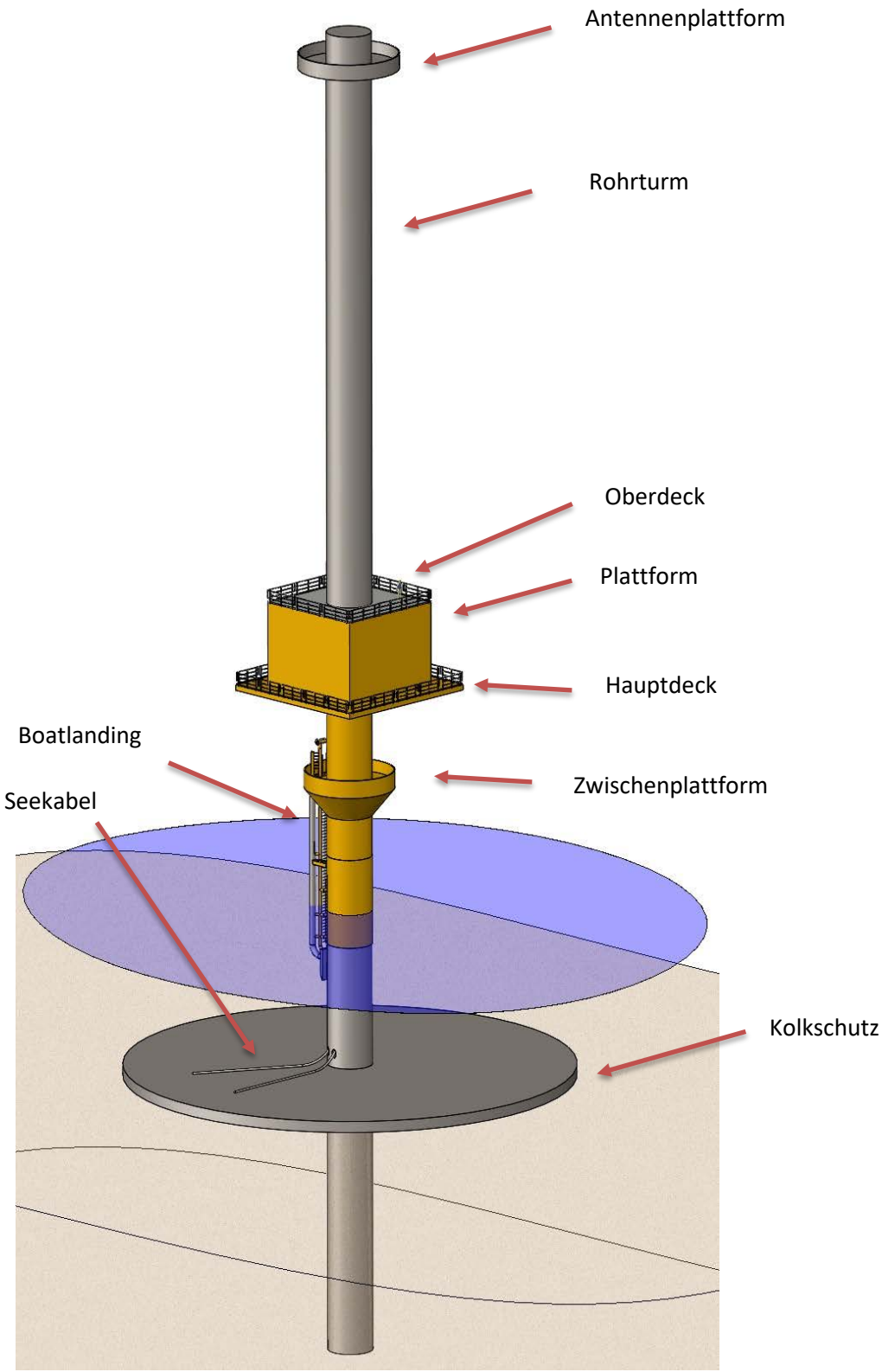


Abbildung 7-1: Entwurfsvorschlag für einen Mobilfunkturm in der Deutschen Bucht

7.2 Kostenübersicht

In der bisher skizzierten Umsetzung werden Errichtungskosten je nach Umfang der Seekabelanbindung zwischen 55 und 92 Mio. € veranschlagt, Tabelle 7-1. Erläuterungen zu den Einzelpositionen folgen in den weiteren Abschnitten.

Tabelle 7-1: Kostenübersicht in Mio. €

Position	Variante 1 – 225 km Seekabel	Variante 2 – 95 km Seekabel
Vorarbeiten	1,2	1,2
3 Mobilfunktürme	18,9	18,9
Seekabel	62,8	29,5
Planungsreserve 10%	8,3	5,0
Projektvolumen	**91,2**	**54,6**

7.2.1 Vorbereitende Arbeiten

In der grundsätzlichen Planung sind Kosten für meteorologisch-ozeanographische Daten, behördliche Genehmigungsplanung, Projektmanagement und Schnittstellenmanagement enthalten.

Für die ausgewählten drei Standorte wird eine vorherige Bodenuntersuchung erforderlich. Diese ist allgemein in der Größenordnung 1.000.000 € für die geplanten drei Standorte einzuschätzen, letztendlich jedoch variabel nach Marktverfügbarkeit.

Tabelle 7-2: Vorbereitende Arbeiten

		geschätzter Einzelpreis / pauschal	Summe (netto)
Planungsarbeiten			
	Grundsätzliche Planung	200.000 €	
	Geotechnische Vorerkundung an 3 Standorten	1.000.000 €	
			1.200.000 €

7.2.2 Herstellung und Errichtung eines Mobilfunkturmes

Die strukturellen Kosten werden in der Größenordnung 6.350.000 € verortet, zzgl. Ausrüstung und deren Planung sowie Seekabelanbindung. Bei Mehrfachausführung besteht das Potential von Synergien in der Planung, es sind jedoch in der Regel individuelle Arbeiten je Standort erforderlich.

Wie bereits ausgeführt, beeinflusst die Höhe des Mastes die Struktur nur in geringerem Maße. Die zusätzlichen strukturellen Kosten für eine zusätzliche Masthöhe von 50 m auf 80 m über Meeresspiegel werden daher in der Größenordnung von 400.000 € geschätzt. Die größere Höhe erfordert ggf. ein etwas größeres Installationsfahrzeug, eine Abschätzung ist jedoch nicht möglich.

Tabelle 7-3: Budgetkosten für Herstellung und Errichtung eines Mobilfunkturmes

		geschätztes Gewicht	geschätzter Einheitspreis	geschätzter Einzelpreis / pauschal	Summe (netto)
Planungsarbeiten					
	Design Basis, stahlbauliche Planung Tragwerk und Anbauten,				300.000 €
	Planung Kaltausrüstung (Brandschutz, elektrische Planung			derzeit nicht einzuschätzen	200.000 €
Struktur					
	Monopile	400 t	3 €/kg	1.200.000 €	
	Übergangsstück	100 t	3 €/kg	300.000 €	
	Plattform	50 t	10 €/kg	500.000 €	
	Rohrturm	100 t	3 €/kg	300.000 €	
	Strukturelle Anbauten	75 t	10 €/kg	750.000 €	
	Summe				3.050.000 €
Installation					
	pauschal				3.000.000 €

7.2.3 Seekabelanbindung

Für die Abschätzung der Kosten für die Seekabelanbindung wurde von den beiden Szenarien aus Abschnitt 5.2 ausgegangen, die von der Firma Seaway Offshore Cables GmbH (Seaway 7) mit Kosten beplant wurden [V.01]. In der Betrachtung wurden folgende Aktivitäten berücksichtigt:

- Projekt Management
- Materiallieferung
- Trassenuntersuchung
- Pre-Lay Grapnel Run (Vorbereitung der Kabeltrasse)
- Kreuzungsbauwerke
- Seekabelinstallation
- Kabeleinzüge und -montage
- Guard Vessel (Assistenzschiff)
- Verschiedenes und Unvorhergesehenes (10%)

Eine detaillierte Aufstellung zu der Kostenschätzung ist in Anlage [A.02] zu finden.

Tabelle 7-4: Budgetkosten Seekabelanbindung [V.01]

	Budgetkosten
Variante 1 – 225 km	62,8 Mio €
Variante 2 – 95 km	29,5 Mio €

Die Installation des ersten Seekabels ist für ca. 18 Monate nach Vertragsschluss geplant. Die Gesamtprojektdauer von Vertragsschluss bis zur Abgabe der Baudokumentation beträgt ca. 27 Monate.

7.2.4 Jährliche Kosten

Die strukturell indizierten Besuche werden wie folgt geschätzt, Tabelle 7-5.

Tabelle 7-5: Jährliche Kosten

Typ	Tage	Tagessatz der Flotte	Kosten	
Regelmäßiger Tagesbesuch 2x je Monat mit betreibereigenem Personal	24	4.000 €	96.000 €	
Jährliche große Kampagne	10	40.000 €	400.000 €	
Summe				496.000 €

Das jährliche Budget läge in diesem Szenario bei ca. 500.000 €. Kleinere Reparaturen sind damit voraussichtlich abgedeckt, größere Arbeiten sind separat zu sehen. So wird alle 15 Jahre mit einer größeren Beschichtungsreparatur zu rechnen sein.

Sofern Fahrten aufgrund der Wartung der Ausrüstung erforderlich werden, sind diese als zusätzlich anzusehen.

Die Kostenschätzung ist erkennbar ein grober Richtwert. Arbeiten offshore sind stark abhängig von den Kosten der Fahrzeuge, die wiederrum sehr markt- und vertragsabhängig sind. Für die Kostenplanung der Installation ist vor allem vorausschauende Planung erforderlich.

8 Ausblick und weitere Schritte

8.1 Gesamtplanung

Auf Basis der dargestellten Überlegungen sind im Wesentlichen folgende nächste gesamtplanerischen Schritte erforderlich:

- Auswahl der Masthöhe, wobei aus struktureller Sicht die Ausführung mit 80 m unproblematisch ist
- Auswahl geeigneter Standorte und daraus folgend die Erstellung der Bemessungsgrundlagen (Design Basis) mit Angaben zu Wassertiefe, meteorologisch-ozeanographischen Daten sowie einer geotechnischen Studie vorhandener Daten
- Erstellung einer detaillierten Vorauslegung zur besseren Kostenplanung
- Finale Klärung der Seekabelanbindung, d.h. mögliche Routen, Anbindepunkte etc.

8.2 Struktur

Die Bemessung eines Monopiles und des Rohrmastes ist eine relativ klar definierte konstruktive Aufgabe.

Funktionale Klärungen und Entscheidungen sind vor allem im Bereich der Plattform notwendig, d.h.:

- Platzbedarf und Größe der Plattform
- Notwendigkeit eines Helikopterzugangs

Diese Punkte sind aber für eine globale Vorauslegung nicht relevant. Aus den geplanten Standorten lässt sich eine ungefähre Wassertiefe ableiten. Damit steht auch die typische Maximalwelle fest. Zusammen mit Verformungskriterien für den Mast, falls vorhanden, kann eine Vorauslegung des Monopiles und Rohrturms detailliert durchgeführt werden:

- Grundsätzliches Layout der Station
- Einbindetiefe Monopile
- Masthöhe als Ergebnis der Struktur und Festlegung in Abstimmung mit dem Kunden

Daher wird als nächster Schritt eine solche Vorauslegung vorgeschlagen.

8.3 Seekabel

Für die Planung des Seekabels sind als nächste Schritte als sinnvoll anzunehmen:

- Bedarf und Versorgungsstrategie
- Finale Routenplanung
- Strukturierung des Genehmigungsprozesses

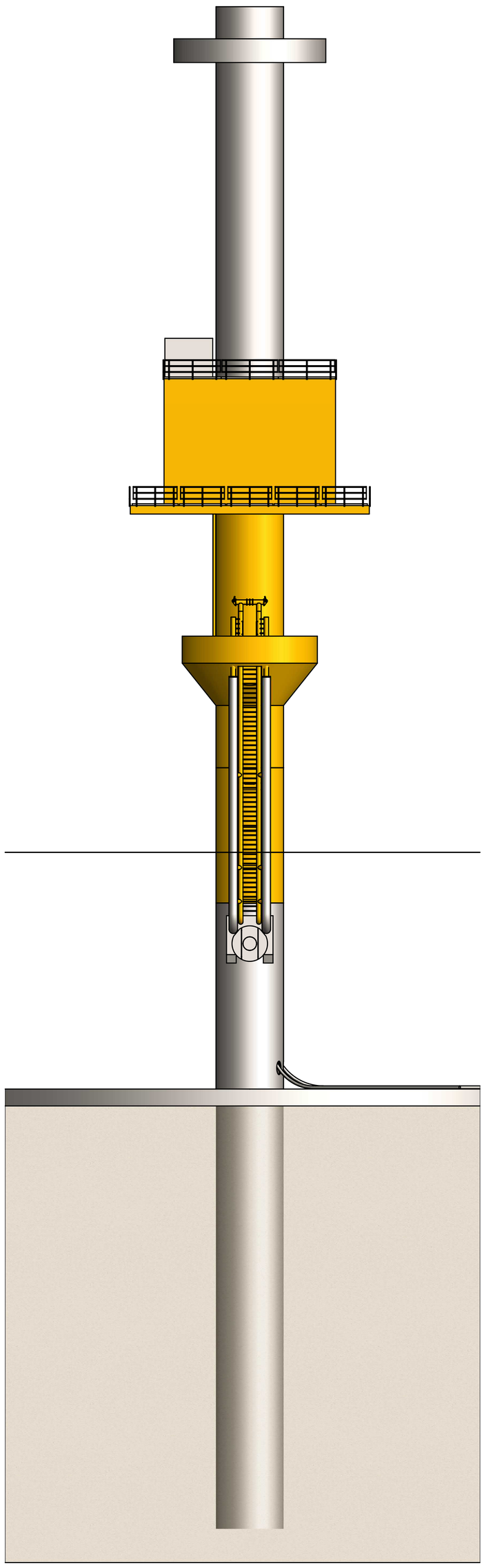
Die Seekabelverlegung ist zunächst vor allem eine planerische Aufgabe, z.B. die Identifizierung von Anbindestellen, Trassenplanung inkl. Kreuzungen von anderen Trassen sowie geschützten Flächen, Umweltverträglichkeitsprüfung, ggf. Nutzungsverträge für Grundstücke etc.

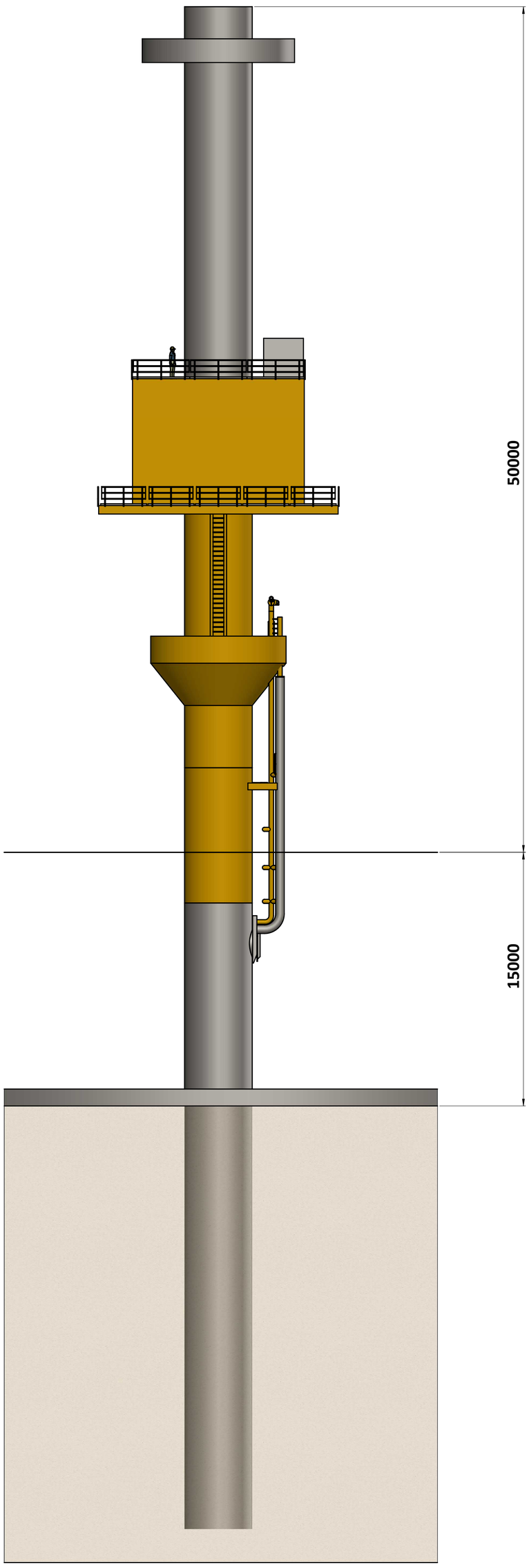
Dieser Prozess ist ebenfalls frühzeitig zu beginnen. Der Zeitbedarf für Umweltverträglichkeitsprüfungen liegt voraussichtlich über den Zeiträumen der strukturellen Planung.

8.4 Bau und Installation

Mit den Ergebnissen der vollständigen strukturellen Planung kann die Ausschreibung zum Bau und Installation (EPCI) initiiert werden. Aufgrund der Kompaktheit und der einzelnen Struktur bietet sich ein Gesamtvertrag über beide Punkte (EPCI) an. Eine Trennung in Bau und nachfolgend Installation beinhaltet das Risiko von Schnittstellen, die zu Mehrkosten führen. Die strukturelle Planung muss vollständig finalisiert sein, bevor die Ausschreibung herausgegeben wird, um Mehrkosten zu vermeiden.

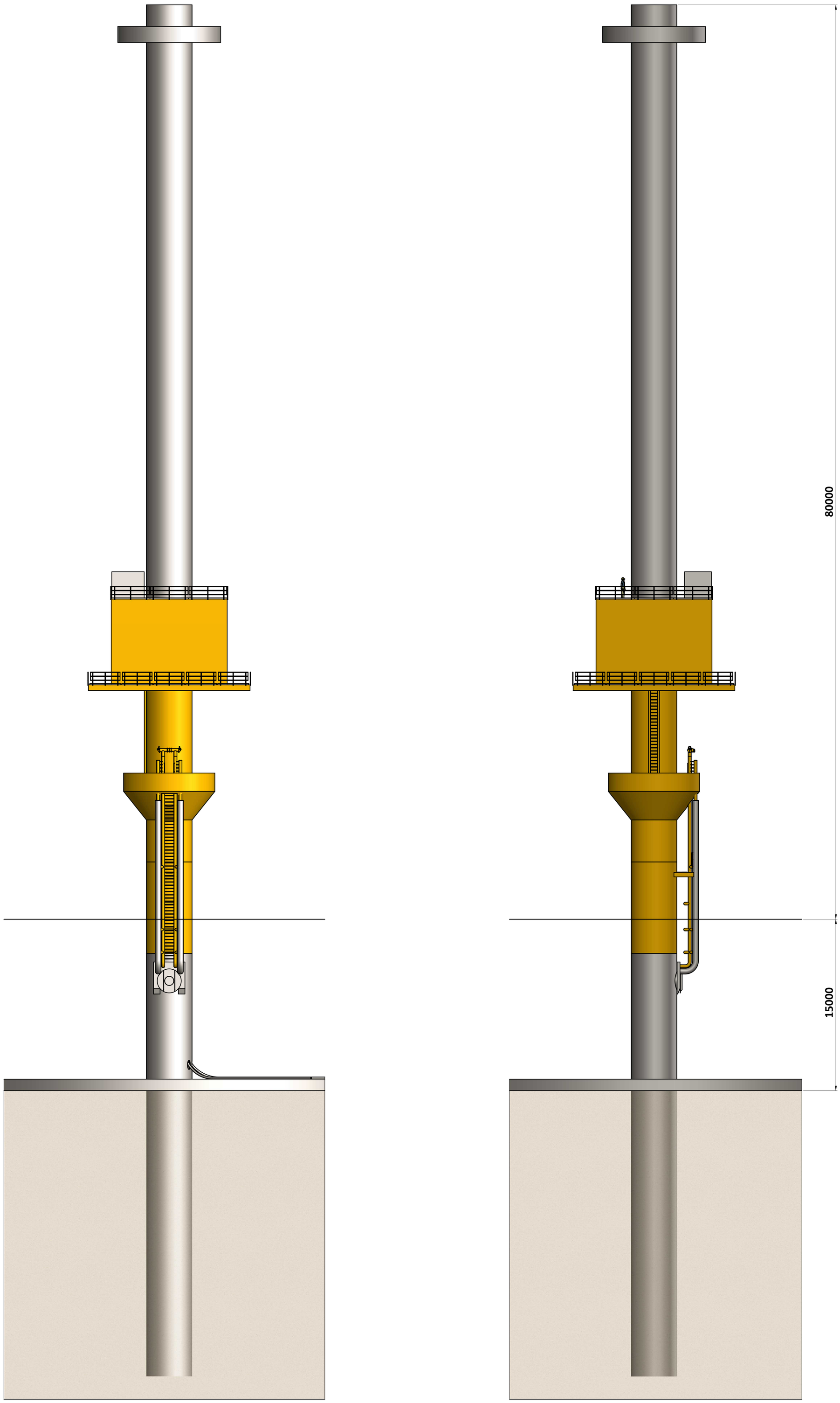
ANLAGE 1





Kunde / Client NETZ-Zentrum für innovative Technologie Osterholz GmbH Sachsenring 11 27711 Osterholz-Scharmbeck	Ersteller / Originated by OWT Offshore Wind Techn. GmbH Hafenstr. 6c 26789 Leer - Germany www.owt.de . +49 491 91218 0
Titel / Title GA Version 1 - 50m	Projekt / Project Offshore Mobilfunkmast
Gez./Drawn Elsasser / 18.03.2021 · Geprüft / Appr. / · Freigg. / Release /	
Blatt / Sheet A0 · Status Preliminary	Zeichnungsart / Type of drawing Overview · Datum Ausgabe / Date current 18.03.2021
Sachnummer (Auftraggeber.Projekt.Z.INDEX) / Document number (Client.Project.Z.INDEX) NIT.OMM.Z.0001.GA-V1	Revision 0E · Seite / Page 1 / 1
S:\CAD Home\2021\NIT\CAD\00.DRW\NIT.OMM.Z.0001.GA-V1	

The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without express authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design. / Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Designeintragung vorbehalten.



Kunde / Client

NETZ-Zentrum für innovative Technologie Osterholz GmbH
Sachsenring 11
27711 Osterholz-Scharmbeck

Ersteller / Originated by

Offshore Wind Techn. GmbH
Hafenstr. 6c
26789 Leer - Germany
www.owt.de .. +49 491 91218 0

Titel / Title: GA Version 2 - 80m

Projekt / Project: Offshore Mobilfunkmast

Gez./Drawn: Elsasser / 18.03.2021 | Geprüft / Appr.: / | Freigg. / Release: /

Blatt / Sheet	Status	Zeichnungsart / Type of drawing	Datum Ausgabe / Date current
A0	Preliminary	Overview	18.03.2021

Sachnummer (Auftraggeber.Projekt.Z.INDEX) / Document number (Client.Project.Z.INDEX)	Revision	Seite / Page
NIT.OMM.Z.0002.GA-V2	0E	1 / 1

Q:\CAD.Home\DES.NIT\CAD\00.DRW\NIT.OMM.Z.0002.GA-V2

The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without express authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design. / Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Designeintragung vorbehalten.

ANLAGE 2

ANLAGE 2

Seaway Offshore Cables GmbH
Bavinkstrasse 23
26789 Leer
Germany

Tel: +49 491 91243-0
Fax: +49 491 91243-133

www.seaway7.com

Seaway Offshore Cables GmbH | Bavinkstrasse 23 | 26789 Leer | Germany

Breitbandzentrum Niedersachsen-Bremen
Attn: Peer Beyersdorff
Sachsenring 11
277111 Osterholz-Schambeck
Germany

Our Reference	**Date**
LET-F9999-210618001	18-Jun-2021
Your Reference	**Date**
Email	28-May-2021

Kostenschätzung – Rough Order of Magnitude

Kosten Seekabel für die Anbindung von Mobilfunkplattformen in der Deutschen Bucht

Sehr geehrter Herr Beyersdorff,

mit Bezug auf Ihre Email vom 28. Mai 2021 und unsere Videokonferenz vom 31. Mai 2021 bedanken wir uns für Ihr Interesse und übersenden wir Ihnen anbei die folgenden Informationen:

- Kostenschätzung – cost overview
- Kabelspezifikation - cable specification
- Spezifikation der CLV Seaway Aimery
- Spezifikation der CLV Seaway Phoenix
- Spezifikation der ISV Seaway Moxie
- Spezifikation der MRSV Siem Dorado
- Spezifikation des ROVjet 1200
- Allgemeine Methodenbeschreibung des ROVjet 1200 - Generic Method Statement ROVjet 1200
- Spezifikation der SV Fugro Mercator
- Spezifikation der MV Marianne G (PLGR)
- Spezifikation der MV Braveness (FPV)
- Spezifikation der MV Aurora-G (GV)

Auf Basis der uns zur Verfügung gestellten Informationen, haben wir eine Kostenschätzung erstellt, die zum einen auf dem Einsatz unserer Spezialschiffe, als auch dem Einsatz von frei auf dem Markt verfügbaren Standardschiffe basiert.

Desweiteren basiert unsere Kostenschätzung auf einem Angebot zur Lieferung von 225km eines 33kV Seekabels seitens der Firma Hengtong Energylink (HEL). HEL ist ein Tochterunternehmen der Chinesischen Hengtong Gruppe. Unsere Wahl fiel auf HEL, da Europäische Seekabellieferanten normalerweise kein großes Interesse an dem zu liefernden Seekabel haben.

Die Kostenschätzung ergab eine Budgetsumme in Höhe von ca. € 62,8 Millionen.

Die geschätzte Ausführungsdauer beträgt ca. 27 Monate, gerechnet von Auftragseingang bis zur Übergabe der finalen Baudokumentation. Der Beginn der Bautätigkeit Offshore ist bereits nach 18 Monaten geplant.

Bei Rückfragen stehen wir Ihnen jederzeit gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen,

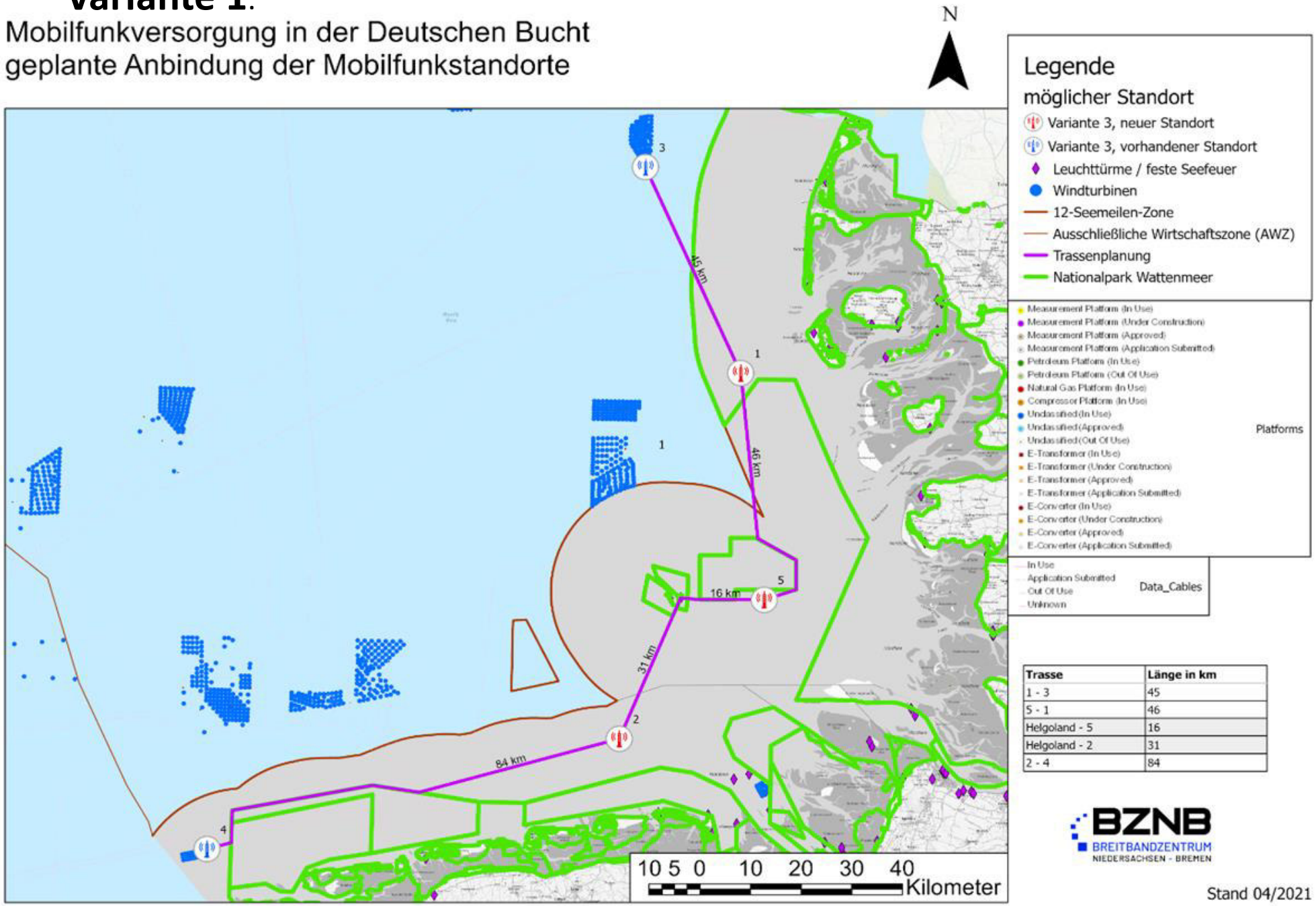
Seaway Offshore Cables GmbH

Lars Muck
Commercial Director

Anlagen

Variante 1:

Mobilfunkversorgung in der Deutschen Bucht
geplante Anbindung der Mobilfunkstandorte



Trasse	Länge in km
1 - 3	45
5 - 1	46
Helgoland - 5	16
Helgoland - 2	31
2 - 4	84

BZNB
BREITBANDZENTRUM
NIEDERSACHSEN - BREMEN

Stand 04/2021

Nr.	Aktivität	Schiffstyp	Dauer	Tagesrate	Anzahl	Einheitspreis	Kosten	Bemerkungen
1	**Project Management**	**N/A**			**1**	**€ 5,000,000.00**	**€ 5,000,000.00**	
1.1	Project Engineering		360					
1.2	Baudokumentation		90					
2	**Materiallieferung**	**N/A**			**225 km**	**€ 85,000.00**	**€ 19,125,000.00**	inkl. 3 km Ersatzkabel
2.1	**Seekabel (Typ 3x1x70mm² AL 19/33(36)kV + 12 SMFO)**		**540**					
2.1.1	Engineering		180					
2.1.2	Herstellung		300					
2.1.3	Lieferung		60					
2.2	**Kabelschutzsysteme**		**360**					
2.2.1	Engineering		180					
2.2.2	Herstellung		160					
2.2.2.1	J-tube CPS				**8 St.**	€ 30,000.00	€ 240,000.00	
2.2.2.2	Landfall CPS				**2 St.**	€ 40,000.00	€ 80,000.00	
2.2.3	Lieferung		20					
3	**Trassenuntersuchung**	**SV**	**26.20**	**€ 40,000.00**			**€ 1,048,000.00**	
3.1	Mobilisierung		2.00					
3.2	Kabeltrasse Riffgat - Station Spiekeroog (84km)		8.40					
3.3	Kabeltrasse Station Spiekeroog - Helgoland (31km)		3.10					
3.4	Kabeltrasse Helgoland - Station Helgoland (16km)		1.60					
3.5	Kabeltrasse Station Helgoland - Station Amrum (46km)		4.60					
3.6	Kabeltrasse Station Amrum - Buitendiek (45km)		4.50					
3.7	Demobilisierung		2.00					
4	**Pre-Lay Grapnel Run**	**PLGR**	**42.30**	**€ 30,000.00**			**€ 1,269,000.00**	
4.1	Mobilisierung		2.00					
4.2	Kabeltrasse Riffgat - Station Spiekeroog (84km)		12.60					
4.3	Kabeltrasse Station Spiekeroog - Helgoland (31km)		4.65					
4.4	Kabeltrasse Helgoland - Station Helgoland (16km)		2.40					
4.5	Kabeltrasse Station Helgoland - Station Amrum (46km)		6.90					
4.6	Kabeltrasse Station Amrum - Buitendiek (45km)		6.75					
4.7	Abladen und Entsorgen von Debris		5.00					
4.8	Demobilisierung		2.00					
5	**Kreuzungsbauwerke**							
5.1	Betonmatratzen (Separation Layer)	**CSV**	**21.00**	**€ 75,000.00**			**€ 1,575,000.00**	
5.1.1	Mobilisierung		2.00					
5.1.2	Materialladung (2x Matratzen pro Kreuzung)		2.00		**20 St.**	€ 1,000.00	€ 20,000.00	
5.1.3	Kabeltrasse Riffgat - Station Spiekeroog (84km)		7.50					10 Kreuzungen
5.1.4	Kabeltrasse Station Spiekeroog - Helgoland (31km)		0.75					1 Kreuzungen
5.1.5	Kabeltrasse Helgoland - Station Helgoland (16km)		1.50					2 Kreuzungen
5.1.6	Kabeltrasse Station Helgoland - Station Amrum (46km)		1.50					2 Kreuzungen
5.1.7	Kabeltrasse Station Amrum - Buitendiek (45km)		3.75					5 Kreuzungen
5.1.8	Demobilisierung		2.00					

Nr.	Aktivität	Schiffstyp	Dauer	Tagesrate	Anzahl	Einheitspreis	Kosten	Bemerkungen
5.2	Steinstürzung (Top Layer)	**FPV**	**22.00**	**€ 120,000.00**			**€ 2,640,000.00**	
5.2.1	Mobilisierung		2.00					
5.2.2	Materialladung (1,000t pro Kreuzung)		8.00		**20,000 t**	€ 35.00	€ 700,000.00	
5.2.3	Kabeltrasse Riffgat - Station Spiekeroog (84km)		5.00					10 Kreuzungen
5.2.4	Kabeltrasse Station Spiekeroog - Helgoland (31km)		0.50					1 Kreuzungen
5.2.5	Kabeltrasse Helgoland - Station Helgoland (16km)		1.00					2 Kreuzungen
5.2.6	Kabeltrasse Station Helgoland - Station Amrum (46km)		1.00					2 Kreuzungen
5.2.7	Kabeltrasse Station Amrum - Buitendiek (45km)		2.50					5 Kreuzungen
5.2.8	Demobilisierung		2.00					
6	**Seekabelinstallation**	**CLV**	**146.55**	**€ 105,000.00**			**€ 15,387,750.00**	
6.1	Mobilisierung		2.00					
6.2	Kabelladen		20.00					
6.3	**Kabeltrasse Riffgat - Station Spiekeroog (84km)**		**45.10**					
6.3.1	1st End Pull-in		0.50					
6.3.2	Surface Laying		12.60					
6.3.3	2nd End Pull-in		0.50					
6.3.4	Post-Lay Trenching		31.50					
6.4	**Kabeltrasse Station Spiekeroog - Helgoland (31km)**		**17.28**					
6.4.1	1st End Pull-in		0.50					
6.4.2	Surface Laying		4.65					
6.4.3	2nd End Pull-in		0.50					
6.4.4	Post-Lay Trenching		11.63					
6.5	**Kabeltrasse Helgoland - Station Helgoland (16km)**		**9.40**					
6.5.1	1st End Pull-in		0.50					
6.5.2	Surface Laying		2.40					
6.5.3	2nd End Pull-in		0.50					
6.5.4	Post-Lay Trenching		6.00					
6.6	**Kabeltrasse Station Helgoland - Station Amrum (46km)**		**25.15**					
6.6.1	1st End Pull-in		0.50					
6.6.2	Surface Laying		6.90					
6.6.3	2nd End Pull-in		0.50					
6.6.4	Post-Lay Trenching		17.25					
6.7	**Kabeltrasse Station Amrum - Buitendiek (45km)**		**24.63**					
6.7.1	1st End Pull-in		0.50					
6.7.2	Surface Laying		6.75					
6.7.3	2nd End Pull-in		0.50					
6.7.4	Post-Lay Trenching		16.88					
6.8	Abladen von Überlängen/Ersatzkabellängen		1.00					
6.9	Demobilisierung		2.00					

Nr.	Aktivität	Schiffstyp	Dauer	Tagesrate	Anzahl	Einheitspreis	Kosten	Bemerkungen
7	**Kabeleinzüge und -montage**	**N/A**						
7,1	Riffgat							
7,1,1	J-tube Installation				1	€ 1,000,000.00	€ 1,000,000.00	
7.1.2	Einzug und Montage				1	€ 200,000.00	€ 200,000.00	
7.2	Station Spiekeroog				2	€ 150,000.00	€ 300,000.00	
7.3	Helgoland							
7.3.1	Anladungen				2	€ 275,000.00	€ 550,000.00	
7.3.2	Landkabelanschluss				2	€ 75,000.00	€ 150,000.00	
7.4	Station Helgoland				2	€ 150,000.00	€ 300,000.00	
7.5	Station Amrum				2	€ 150,000.00	€ 300,000.00	
7.6	Buitendiek							
7.6.1	J-tube Installation				1	€ 1,000,000.00	€ 1,000,000.00	
7.6.2	Einzug und Montage				1	€ 200,000.00	€ 200,000.00	
8	**Guard Vessel**	**GV**	**1000**	**€ 6,000.00**			**€ 6,000,000.00**	
8.1	Kabeltrasse Riffgat - Station Spiekeroog (84km)		765					
8.2	Kabeltrasse Station Spiekeroog - Helgoland (31km)		60					
8.3	Kabeltrasse Helgoland - Station Helgoland (16km)		105					
8.4	Kabeltrasse Station Helgoland - Station Amrum (46km)		50					
8.5	Kabeltrasse Station Amrum - Buitendiek (45km)		20					
9	**Verschiedenes und Unvorhergesehenes (10%)**				**1**	**€ 5,708,475.00**	**€ 5,708,475.00**	
							€ 62,793,225.00	

Bemerkungen:

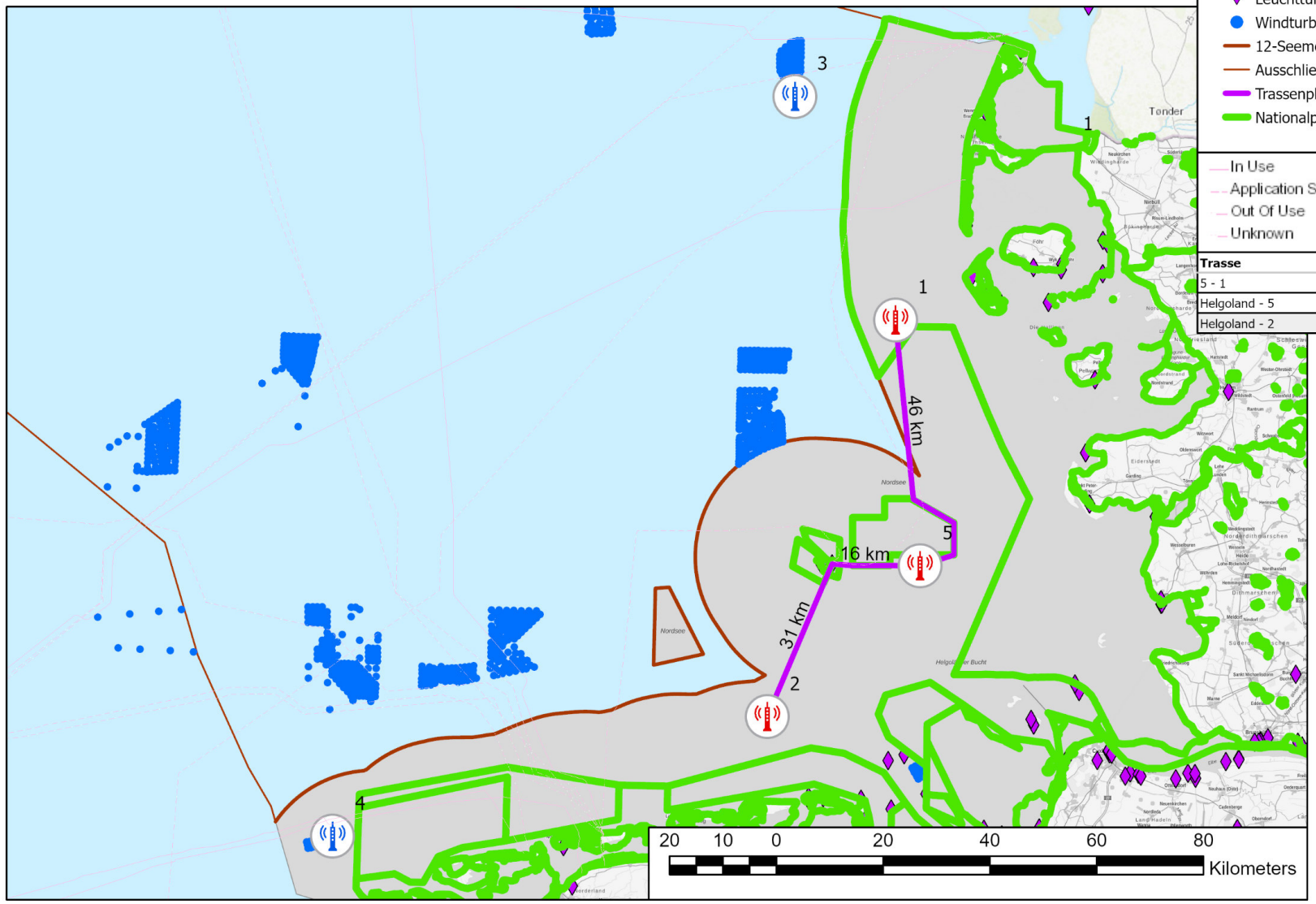
PLGR - pre-lay grapnel run - Suchankerlauf zur Räumung von Unrat
SV - survey vessel - Vermessungsschiff
CSV - construction support vessel - Installationschiff
FPV - fall-pipe vessel - Steinstürzer
CLV - cable lay vessel - Kabelleger
ISV - installation support vessel - Unterstützungsschiff
GV - guard vessel - Verkehrssicherungsschiff

Die Installation des ersten Seekabels ist für ca. 18 Monate nach Vertragsschluss geplant.

Die Gesamtprojektdauer von Vertragsschluss bis zu Abgabe der Baudokumentation betragt ca. 27 Monate.

Variante 2:

Mobilfunkversorgung in der Deutschen Bucht
geplante Anbindung der Mobilfunkstandorte



Legende

möglicher Standort

- Variante 3, neuer Standort
- Variante 3, vorhandener Standort
- Leuchttürme / feste Seefeuer
- Windturbinen
- 12-Seemeilen-Zone
- Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ)
- Trassenplanung
- Nationalpark Wattenmeer

Data_Cables

- In Use
- Application Submitted
- Out Of Use
- Unknown

Trasse	Länge in km
5 - 1	46
Helgoland - 5	16
Helgoland - 2	31

Stand 04/2021

N

BZNB
BREITBANDZENTRUM
NIEDERSACHSEN - BREMEN

Nr.	Aktivität	Schiffstyp	Dauer	Tagesrate	Anzahl	Einheitspreis	Kosten	Bemerkungen
1	**Project Management**	**N/A**			**1**	**€ 5,000,000.00**	**€ 5,000,000.00**	
1.1	Project Engineering		360					
1.2	Baudokumentation		90					
2	**Materiallieferung**	**N/A**			**95 km**	**€ 85,000.00**	**€ 8,075,000.00**	inkl. 2 km Ersatzkabel
2.1	**Seekabel (Typ 3x1x70mm² AL 19/33(36)kV + 12 SMFO)**		**540**					
2.1.1	Engineering		180					
2.1.2	Herstellung		300					
2.1.3	Lieferung		60					
2.2	**Kabelschutzsysteme**		**360**					
2.2.1	Engineering		180					
2.2.2	Herstellung		160					
2.2.2.1	J-tube CPS				**6 St.**	€ 30,000.00	€ 180,000.00	
2.2.2.2	Landfall CPS				**2 St.**	€ 40,000.00	€ 80,000.00	
2.2.3	Lieferung		20					
3	**Trassenuntersuchung**	**SV**	**13.30**	**€ 40,000.00**			**€ 532,000.00**	
3.1	Mobilisierung		2.00					
3.3	Kabeltrasse Station Spiekeroog - Helgoland (31km)		3.10					
3.4	Kabeltrasse Helgoland - Station Helgoland (16km)		1.60					
3.5	Kabeltrasse Station Helgoland - Station Amrum (46km)		4.60					
3.7	Demobilisierung		2.00					
4	**Pre-Lay Grapnel Run**	**PLGR**	**20.95**	**€ 30,000.00**			**€ 628,500.00**	
4.1	Mobilisierung		2.00					
4.3	Kabeltrasse Station Spiekeroog - Helgoland (31km)		4.65					
4.4	Kabeltrasse Helgoland - Station Helgoland (16km)		2.40					
4.5	Kabeltrasse Station Helgoland - Station Amrum (46km)		6.90					
4.7	Abladen und Entsorgen von Debris		3.00					
4.8	Demobilisierung		2.00					
5	**Kreuzungsbauwerke**							
5.1	Betonmatratzen (Separation Layer)	**CSV**	**9.75**	**€ 75,000.00**			**€ 731,250.00**	
5.1.1	Mobilisierung		2.00					
5.1.2	Materialladung (2x Matratzen pro Kreuzung)		2.00		**5 St.**	€ 1,000.00	€ 5,000.00	
5.1.4	Kabeltrasse Station Spiekeroog - Helgoland (31km)		0.75					1 Kreuzungen
5.1.5	Kabeltrasse Helgoland - Station Helgoland (16km)		1.50					2 Kreuzungen
5.1.6	Kabeltrasse Station Helgoland - Station Amrum (46km)		1.50					2 Kreuzungen
5.1.8	Demobilisierung		2.00					

Nr.	Aktivität	Schiffstyp	Dauer	Tagesrate	Anzahl	Einheitspreis	Kosten	Bemerkungen
5.2	Steinstürzung (Top Layer)	**FPV**	**14.50**	**€ 120,000.00**			**€ 1,740,000.00**	
5.2.1	Mobilisierung		2.00					
5.2.2	Materialladung (1,000t pro Kreuzung)		8.00		**5 t**	€ 35.00	€ 175.00	
5.2.4	Kabeltrasse Station Spiekeroog - Helgoland (31km)		0.50					1 Kreuzungen
5.2.5	Kabeltrasse Helgoland - Station Helgoland (16km)		1.00					2 Kreuzungen
5.2.6	Kabeltrasse Station Helgoland - Station Amrum (46km)		1.00					2 Kreuzungen
5.2.8	Demobilisierung		2.00					
6	**Seekabelinstallation**	**CLV**	**66.83**	**€ 105,000.00**			**€ 7,016,625.00**	
6.1	Mobilisierung		2.00					
6.2	Kabelladen		10.00					
6.4	**Kabeltrasse Station Spiekeroog - Helgoland (31km)**		**17.28**					
6.4.1	1st End Pull-in		0.50					
6.4.2	Surface Laying		4.65					
6.4.3	2nd End Pull-in		0.50					
6.4.4	Post-Lay Trenching		11.63					
6.5	**Kabeltrasse Helgoland - Station Helgoland (16km)**		**9.40**					
6.5.1	1st End Pull-in		0.50					
6.5.2	Surface Laying		2.40					
6.5.3	2nd End Pull-in		0.50					
6.5.4	Post-Lay Trenching		6.00					
6.6	**Kabeltrasse Station Helgoland - Station Amrum (46km)**		**25.15**					
6.6.1	1st End Pull-in		0.50					
6.6.2	Surface Laying		6.90					
6.6.3	2nd End Pull-in		0.50					
6.6.4	Post-Lay Trenching		17.25					
6.8	Abladen von Überlängen/Ersatzkabellängen		1.00					
6.9	Demobilisierung		2.00					

Nr.	Aktivität	Schiffstyp	Dauer	Tagesrate	Anzahl	Einheitspreis	Kosten	Bemerkungen
7	**Kabeleinzüge und -montage**	**N/A**						
7.2	Station Spiekeroog				2	€ 150,000.00	€ 300,000.00	
7.3	Helgoland							
7.3.1	Anladungen				2	€ 275,000.00	€ 550,000.00	
7.3.2	Landkabelanschluss				2	€ 75,000.00	€ 150,000.00	
7.4	Station Helgoland				2	€ 150,000.00	€ 300,000.00	
7.5	Station Amrum				2	€ 150,000.00	€ 300,000.00	
8	**Guard Vessel**	**GV**	**215**	**€ 6,000.00**			**€ 1,290,000.00**	
8.2	Kabeltrasse Station Spiekeroog - Helgoland (31km)		60					
8.3	Kabeltrasse Helgoland - Station Helgoland (16km)		105					
8.4	Kabeltrasse Station Helgoland - Station Amrum (46km)		50					
9	**Verschiedenes und Unvorhergesehenes (10%)**				**1**	**€ 2,687,855.00**	**€ 2,687,855.00**	
							€ 29,566,405.00	

Bemerkungen:
PLGR - pre-lay grapnel run - Suchankerlauf zur Räumung von Unrat
SV - survey vessel - Vermessungsschiff
CSV - construction support vessel - Installationschiff
FPV - fall-pipe vessel - Steinstürzer
CLV - cable lay vessel - Kabelleger
ISV - installation support vessel - Unterstützungsschiff
GV - guard vessel - Verkehrssicherungsschiff

Die Installation des ersten Seekabels ist für ca. 18 Monate nach Vertragsschluss geplant.

Die Gesamtprojektdauer von Vertragsschluss bis zu Abgabe der Baudokumentation betragt ca. 27 Monate.