

<p>Aufgestellt: Bayreuth, den 30.06.2023</p> <p><i>i.V. Brühl</i> <i>i.V. M. Heing</i></p>	<p>Unterlage zur Planfeststellung</p>
---	--

Anhang 1 zu Anlage 11.9.2 zum Vorhaben

NOR-9-3
±525 kV-HGÜ-Offshore-Netzanbindungssystem
Konverterplattform NOR-9-3 – Unterweser
für den Bereich der 12-sm-Grenze bis Anlandungspunkt Dornumergröde
– Abschnitt Seetrasse –

Prüfvermerk					
Datum	08.01.2020				
Ersteller	IBL Umweltplanung				

Änderung(en):		
Rev.-Nr.	Datum	Erläuterung
1		

Netzanbindung von Offshore-Windparks

Orientierungsrahmen Naturschutz für Anschlussleitungen, Abschnitt Seetrasse

Anlage 1 zu Teil 2 – Arbeitshilfe
Effekte und Auswirkungen der Kabelverlegung

Auftraggeber:




TenneT Offshore GmbH



Bild: Bohlen & Doyen, Vortrag T. Böke auf dem IRO Forum, 26. Oldenburger Rohrleitungsforum, Februar 2012

Rev.-Nr. 5-0	08.01.2020	D. Wolters	D. Wolters
Version	Datum	geprüft	freigegeben

Auftraggeber			
	<p>TenneT Offshore GmbH Bernecker Straße 70 95448 Bayreuth</p>	Ansprechpartner AG	F. Baierlein
		<p>Tel.: E-Mail:</p>	<p>+49 (0)921 50740-4756 felix.baierlein@tennet.eu</p>

Auftragnehmer			
	<p>IBL Umweltplanung GmbH Bahnhofstraße 14a 26122 Oldenburg Tel.: +49 (0)441 505017-10 www.ibl-umweltplanung.de</p>	Zust. Abteilungsleitung	D. Wolters
		<p>Projektleitung: Bearbeitung:</p>	<p>D. Wolters K. Thomsen, D. Wolters, Dr. C. Hinz, S. von Gleich 1220</p>
		Projekt-Nr.:	1220

Inhalts

1	Einleitung	1
2	Primäre Wirkungen bei der Kabelverlegung	1
3	Verlege- und Eingrabetechnik beim Kabeleinbau.....	3
3.1	Vorarbeiten, Trassenräumung und Kampfmittelräumung.....	4
3.1.1	Allgemeine Charakterisierung der Trassenräumung	4
3.1.2	Allgemeine Charakterisierung der Kampfmittelräumung	7
3.1.3	Allgemeine Charakterisierung der Vorbereitung eines Kabelgrabens mittels SCAR Plough	7
3.2	Verlegetechnik	8
3.3	Eingrabetechniken	9
3.3.1	Vibrationskabelpflug mit Kettenfahrwerk (Einsatz im Watt- und Flachwasserbereich).....	9
3.3.2	Heavy Duty Plough	12
3.3.3	Vibrationsschwert an schwimmender Einheit	15
3.3.4	Unterwasserfräse.....	17
3.3.5	Kettenfräse an TROV.....	18
3.3.6	Spülschwert an Spülschlitten oder TROV.....	21
3.3.7	Vertical Injector (Stehendes Spülschwert).....	27
3.3.8	Mass Flow Excavator (MFE).....	31
3.3.9	Airlift	32
3.3.10	Spüllanze	34
3.3.11	Air-Lanze (Modifizierte Spüllanze).....	36
3.3.12	Dredge Operating Pump.....	38
3.4	Ankerpositionierungen und Kreuzungsbauwerke	39
3.4.1	Ankerpositionierungen	39
3.4.2	Kreuzungsbauwerke für vorhandene Kabel und Leitungen.....	39
3.5	Muffen	40
3.6	Horizontalbohrung (HDD)	41
4	Literatur	44

Abbildungen

Abbildung 1:	Kette mit Suchanker und Drahtcatchern.....	5
Abbildung 2:	Schematische Darstellung des Prelay Grapnel Run	6
Abbildung 3:	SCAR Plough der Firma Ecosse Subsea	8
Abbildung 4:	Kabellegung im Wattenmeer mit Vibrationskabelpflug	9
Abbildung 5:	Kabellegung im Wattenmeer (Sandwatt) mit Vibrationskabelpflug	11
Abbildung 6:	Heavy Duty Plough HD3.....	12
Abbildung 7:	Skizze Heavy Duty Plough	14
Abbildung 8:	Kabellegung im Wattenmeer mit Vibrationsschwert an Barge	15
Abbildung 9:	Bereich des Verlegespalts wenige Stunden nach Einsatz des Vibrationsschwerts (Bild 6)	16
Abbildung 11:	Unterwasserfräse (Hartboden-Fräskopf)	17
Abbildung 12:	Unterwasserfräse im Einsatz.....	17
Abbildung 13:	TROV Kombigerät CBT 1100 mit Kettenfräse.....	19
Abbildung 14:	Spülschlitten	21
Abbildung 15:	Systemskizze simultane Kabellegung Küstenmeer mit Spülschlitten	21
Abbildung 16:	Unterwasser-Eingrabegerät (TROV) mit Laufketten	22
Abbildung 17:	Sedimentschleppen und Trübungswolken hinter dem Spülschlitten	23
Abbildung 18:	Hinterlassener Spülgraben nach Einsatz Spülschlitten in festerem Gewässergrund	24
Abbildung 19:	Einsatz Spülschlitten in weichem Gewässergrund.....	24
Abbildung 20:	Schematischer und tatsächlicher Einsatz eines Spülschwerts.....	25
Abbildung 21:	Entstandene Grabenmulde in weichem Gewässergrund.....	26
Abbildung 22:	Berücksichtigte Eingriffsbereiche bei Eingraben der Kabel mit Spülschwert	26
Abbildung 23:	Systemskizze Vertical Injector an Verlegeeinheit.....	28
Abbildung 24:	Vertical Injector (unterer Teil des stehenden Spülschwerts).....	28
Abbildung 25:	Nach Kabeleinspülung mit dem Vertical Injector im Tertiusand entstandene Grabenmulde im Watt inkl. Abschätzung der Breite (Bild 19)	29
Abbildung 26:	Rotech T8000	31
Abbildung 27:	Spüldüse (jet nozzles) des Mass Flow Excavators	31
Abbildung 28:	Airlift (4fach).....	33
Abbildung 29:	Hydraulikbagger mit Spüllanze.....	34
Abbildung 30:	Air-Lanze (Modifizierte Spüllanze).....	36
Abbildung 31:	Beispiel einer Dredge Operating Pump (DOP) in Testbetrieb	38

Tabellen

Tabelle 1:	Primäre Wirkungen von Kabelverlegungen zur Netzanbindung von Offshore-Windparks im Abschnitt der Seetrasse	2
------------	---	---

1 Einleitung

Im Zuge der Erstellung naturschutzfachlicher bzw. umweltbezogener Unterlagen sind Wirkungen der Netzanbindungen von Offshore-Windparks detailliert zu bilanzieren. Ziel dieses Dokuments ist es, den Umfang betroffener Grundflächen darzustellen. Für diese Abschätzung sind vor allem die primären Wirkungen (Definition Wirkungen vgl. Teil I, Kap 2.3) von Bedeutung, d.h. die direkten mechanischen oder physikalischen Effekte.

Die Informationen entstammen aus Angaben von TenneT, eigenen Recherchen (wie z.B. gerätespezifischen Datenblättern, Internetrecherchen, Literatur), mdl. Information bauausführender Firmen, Auswertung von Video-Surveys ein Jahr nach der Verlegung im Sublitoral sowie maßgeblich auch aus den Berichten der naturschutzfachlichen Baubegleitung bereits realisierter oder in Realisierung befindender Projekte (Netzanbindungen Alpha Ventus und BorWin1 (ecoplan 2009b, c) oder Helwin1 (GFN 2012) Deichkreuzungen und Seekabelverlegungen DoWin3 und BorWin3 (alle IBL 2012-2015), Deichkreuzungen und Inselquerungen DoWin6, IBL 2017, 2018).

Bei den genannten Projekten wurden die HDD-Baustellen und der Bauablauf im Eulitoral begleitet, so dass die Wirkungen z.B. aus dem Einsatz eines Vibrationskabelpflugs, eines Vibrationschwerts oder eines Vertical Injectors (Stehendes Spülschwert) gut bekannt sind. Diese und andere gängige Verlege- und Eingrabetechniken als Wirkfaktoren im Eu- und im Sublitoral werden in Kap. 3 beschrieben.

Die jeweiligen vor allem mechanischen bzw. physikalischen Wirkungen (primäre Wirkungen) sind zunächst in Kap. 2 unabhängig vom spezifischen Wirkfaktor - also gerätetechnisch unabhängig - zusammengefasst. Daher werden diejenigen Wirkungen (Licht- und Geräuschemissionen, Wahrnehmung (z.B. von Baufahrzeugen (An- und Abtransport), Schiffen, Baupersonal (Arbeiten im Watt)), die zu Reaktionen wie z.B. Beunruhigung bei Tieren führen können, ansonsten aber keine Effekte auf Grundflächen wie Wattmorphologie oder Gewässergrund haben, nur der Vollständigkeit wegen in Kap. 2 aufgeführt, ansonsten aber nicht weiter diskutiert.

2 Primäre Wirkungen bei der Kabelverlegung

In Tabelle 1 werden alle derzeit bekannten und mit der Kabelverlegung verbundenen Wirkungen zusammengefasst. Teilweise ähneln sich die Wirkungen, gleichwohl werden sie zunächst so differenziert wie möglich und ohne weitere Gewichtung untereinander aufgeführt. Die Wirkungen sind mit W1 bis W13 abgekürzt und danach unterschieden, ob sie im bzw. unter oder über Wasser wirken. Es wird zudem zwischen bau-, anlage- und betriebsbedingten Wirkungen unterschieden.

Tabelle 1: Primäre Wirkungen von Kabelverlegungen zur Netzanbindung von Offshore-Windparks im Abschnitt der Seetrasse

baubedingt/rückbaubedingt		anlagebedingt		betriebsbedingt	
Wirkungen im aquatischen Bereich (Sub- und Eulitoral): Gewässergrund und in der Wassersäule darüber (unterhalb MThw)			Wirkungen über dem Wasser oder an Land (oberhalb MThw)		
W1	Verflüssigung (Fluidisierung) und Verteilung bzw. Aufwirbelung/Aufschwemmung (Resuspension) von Sediment und Substrat, Bildung von Trübung/Trübungsfahnen und Sedimentschleppen, ggf. Stofffreisetzung (Nähr- und Schadstoffe)				
W2	Sedimentumlagerung bzw. Substratverlagerung: Sedimentauftrag (Deposition) von aufgewirbeltem oder ausgeworfenem Sediment bzw. Überlagerung von natürlich anstehendem Sediment im Seitenraum				
W2a	In Verbindung mit W7a im Nahbereich: Sedimentation und Erosion mit Änderung der Sedimentzusammensetzung				
W3a ¹	Verdichtung und Pressung (vertikaloberflächennah), ggf. mit Luftabschluss (im Eulitoral bei Niedrigwasser), Verdrängung und Verwerfung (horizontal)	W3b	Flächennutzung, Bodenverdichtung, ggf. Voll- oder Teilversiegelung		
W4 ²	Flache Ausspülungen und tiefere Auskolkung, Abscheren oberer Sedimentschichten, Eintiefung und Sackung, ggf. sekundäre Graben- und Prielbildung				
W5 ³	Tiefgründige Umschichtung und Durchmischung (Turbation der Gefügestruktur und Sedimentschichten)				
W6a ⁴	Sediment- und Substratentnahme/-aushub, Aufschüttung und ggf. Wiedereinbau (Verfüllen und Planieren)	W6b	Bodenentnahme/-aushub und (lagegerechter) Wiedereinbau, Bodenlagerung		
W7a ⁵	Einbau von inertem Hartsubstrat (Beton, Steinschüttung) mit Änderung der Struktur des Gewässergrunds (direkt)	W7b	Teilversiegelung/ggf. Versiegelung		
W8a	Unterwassergeräusche, akustische Emissionen (durch z.B. Unterwasserverlegegerät, durch Schiffsantrieb) ggf. Rammarbeiten! Licht- und Geräuschemissionen (Luft), Visuelle Wahrnehmung (z.B. von Baufahrzeugen (An- und Abtransport), Schiffen, Baupersonal (Arbeiten im Watt)	W8b	Licht- und Geräuschemissionen (Luft), Visuelle Wahrnehmung von Baufahrzeugen (An- und Abtransport), Baupersonal, ggf. Rammarbeiten landseitige HDD		
W9a	Erwärmung (Sediment, Sedimentporenwasser)	W9b	Bodenerwärmung		
W10a	Magnetische Felder	W10b	Magnetische Felder		
W11a	Kabel und Leerrohr/Schutzrohr (im Watt)	W12b	Kabel und Leerrohr/Schutzrohr		
W12 ⁶	Erschütterungen und Vibrationen (im Sediment) mit Störung der Gefügestruktur, ggf. Verdichtung				

¹ Z.B. durch Kettenfahrwerke, Hilfsbaggerspuren oder Liegeplätze von Schiffen und Pontons, Ankerpositionierungen

² Z.B. durch Schiffsantriebe und –manöver, oder durch Ankerketten

³ Z.B. durch Vibrationspflug, Unterwasserfräse oder Spülschwert, durch Eingraben von Seitenankern

⁴ Z.B. durch Baugruben für Schutzrohre oder beim Wechsel der Verlegetechnik, Nachprüfung der Verlegetiefe oder Eingraben von Ankern

⁵ Z.B. bei Kreuzungsbauwerken

⁶ Z.B. durch Verlegung mit Vibrationsverfahren oder beim Rammen von Baugrubenumfassungen oder Dalbaineinbau

3 Verlege- und Eingrabetechnik beim Kabeleinbau

Die Kabelverlegung in der Seetrasse erfolgt in den zwei Arbeitsschritten:

- Auslegen der Leitung (im Watt stets bei Hochwasser) und
- Einbringen in den Gewässergrund⁷ (Eingraben (*trenching*) / Kabeleinbau mit unterschiedlichen von den Wassertiefen, den Tiden und der Verlegetiefe⁸ abhängigen Verfahren).

Das Auslegen und Einbringen der Kabel kann gleichzeitig oder zeitlich nacheinander erfolgen. Die zeitliche Dauer variiert im zweiten Fall zwischen mehreren Minuten oder Stunden, bis hin zu Tagen oder – im ungünstigsten Fall – gar Wochen.

Beim gleichzeitigen (simultanen) Auslegen und Einbringen der Kabelbündel⁹ (**simultaneous lay and burial**) in den Gewässergrund erfolgen Verlegen und Eingraben ins Sediment in einem Arbeitsgang. Beim simultanen Arbeiten werden die Kabel von der Verlegeeinheit (Verlegeschiff, Ponton oder Barge) aus durch das Eingrabegerät direkt in den frischen Graben im Sediment (im Eulitoral und im Sublitoral) geführt und in die vorgesehene Verlegetiefe gebracht.

Beim nachträglichen Eingraben ins Sediment (**post lay burial**) werden zunächst die Kabel entlang der festgelegten Route auf den Gewässergrund abgelegt – im Wattbereich bei Hochwasser von einer Verlegeeinheit aus (s. Kap. 3.2 - Verlegetechnik), die trockenfallen kann (z. B. ein Ponton oder Barge). In einem zweiten Arbeitsschritt erfolgt nachträglich das Einbringen in das Sediment in die vorgesehene Tiefe.

Unter Umständen ist es nötig, abhängig vom Sedimenttyp bzw. den Substraten und der zu erreichenden Überdeckung, den erforderlichen Kabelgraben vor dem eigentlichen Niederbringen der Kabel durch einen pre-trench vorzubereiten. Diese entsprechende Vorbereitung des Kabelgrabens erfolgt zumeist nur im Sublitoral oder bei fest gelagerten Sanden auch im Eulitoral, wenn dort eine größere Verlegetiefe erforderlich ist. In diesem Fall fährt ein Verlegegerät zunächst den späteren Kabelgrabenbereich ohne Kabel ab und bricht vorhandene, z.B. härtere Strukturen (Kiese oder dicht gelagerte Sande) auf. Anschließend erfolgt zeitnah der eigentliche Kabeleinbau mit in der Regel derselben Eingabetechnik.

Nachstehend werden die gängigen Vorarbeiten, Lege- und vor allem Eingrabetechniken beschrieben und den möglichen Wirkungen zugeordnet. Auswirkungen sind im Einzelfall zu beurteilen.

⁷ Der Gewässergrund der Nordsee als flaches Küstenmeer besteht überwiegend aus eiszeitlichen Ablagerungen bzw. (marinen) Sedimenten. Darunter sind Sande und Kiese die am weitesten verbreiteten Substrate, gefolgt von Schlack im Bereich der Watten. Anders als an Land (oberhalb der mittleren Tidehochwasserlinie, MThw) werden die Kabel daher nicht in den Boden, sondern in Sedimente verlegt. In dieser Unterlage wird deswegen der Begriff Gewässergrund (statt Gewässerboden oder Nordseeboden) verwendet.

⁸ Anmerkung: Mit Verlegetiefe (auch Verlegetiefe) ist immer die Tiefe im Gewässergrund gemeint, die zum Erreichen der geforderten bzw. der erforderlichen Überdeckung (ab Oberseite Kabel/Kabelbündel) benötigt wird.

⁹ Es wird von Kabelbündeln (Plural) als Begriff gesprochen, weil in diesem Falle die Leitung aus zwei Leistungskabeln und einem Steuerkabel besteht.

3.1 Vorarbeiten, Trassenräumung und Kampfmittelräumung

3.1.1 Allgemeine Charakterisierung der Trassenräumung

Vor Beginn der Kabellegearbeiten ist eine Trassenräumung durchzuführen. Grundsätzlich sind hierzu zwei Aktivitäten erforderlich:

- Trassenräumung von außer Betrieb genommenen Leitungen (Route Clearance)
- Räumung des Arbeitsbereichs (Pre-Lay Grapnel Run (PLGR))

Abhängig von der Zielsetzung ergeben sich unterschiedliche Räumungskorridore.

Die vorgesehene Trasse muss vorher von außer Betrieb genommenen Leitungen (Out-Of-Service (OOS) Kabeln) geräumt werden, so dass die Kabellegung und das Eingraben mit minimalen Hindernissen oder möglichst risikofrei erfolgen kann. Bei dieser **Route Clearance** werden die bekannten und zu beseitigenden Kabel gezielt angefahren. Das jeweilige Fremdkabel wird durch einen Suchanker aufgenommen und hochgezogen. An Bord wird ein Stück herausgeschnitten und die Enden werden - nach Verschluss der Kabelenden - mit Beton beschwert wieder abgelegt. Die herausgeschnittenen Kabelreste werden an Land ordnungsgemäß wiederverwertet oder entsorgt. Hinsichtlich der Wirkungen ist davon auszugehen, dass diese nicht über die eigentlichen Wirkungen des Kabeleinbaus hinausgehen, da die Route Clearance punktuell im Bereich der Seetrasse erfolgt. Selbst wenn dieses nicht der Fall ist, kann davon ausgegangen werden, dass lediglich kleine Flächen betroffen sind. Die Eingriffsrelevanz ist im Einzelfall zu prüfen.

Die **Räumung des Arbeitsbereichs (PLGR)** wird entlang der gesamten Route ab etwa der 2 m Wassertiefenlinie im Sublitoral kurz vor Beginn der Arbeiten der Kabellegung und des Kabeleinbaus durchgeführt. Dabei wird ein spezieller Suchanker mit angehängten Drahtcatchern (bzw. mehrere unterschiedlich geformte Anker, die hintereinander gereiht sind) entlang der vorgesehenen Kabelroute geschleppt (Abbildung 1). Die Anker dringen ca. 0,5 m tief ins Sediment ein, um Legehindernisse (z.B. Netze, Stahltrossen, Ketten oder nicht bekannte am Gewässergrund und im Sediment befindliche Kabel) entfernen zu können. Entdeckte Fremdkörper werden geborgen und an Land wiederverwertet oder ordnungsgemäß entsorgt.



Abbildung 1: Kette mit Suchanker und Drahtcatchern

Wirkungen

Die direkte Wirkbreite mit einer Durchmischung des Sediments entspricht in etwa der Breite des breitesten Suchankers, die üblicherweise zwischen 0,45 m und max. 0,55 m beträgt (mdl. Auskunft Hr. Pätzold, TenneT, 21.02.12). Es kommt zu einer mechanischen Schädigung des Benthos und durch die mitgeschleppte Fangkette mit Drahtcatchern zu einer Spur in der oberen Sedimentschicht durch Abscherung (z.B. werden Rippel nivelliert), die ebenfalls das Benthos beeinträchtigt (Abbildung 2).

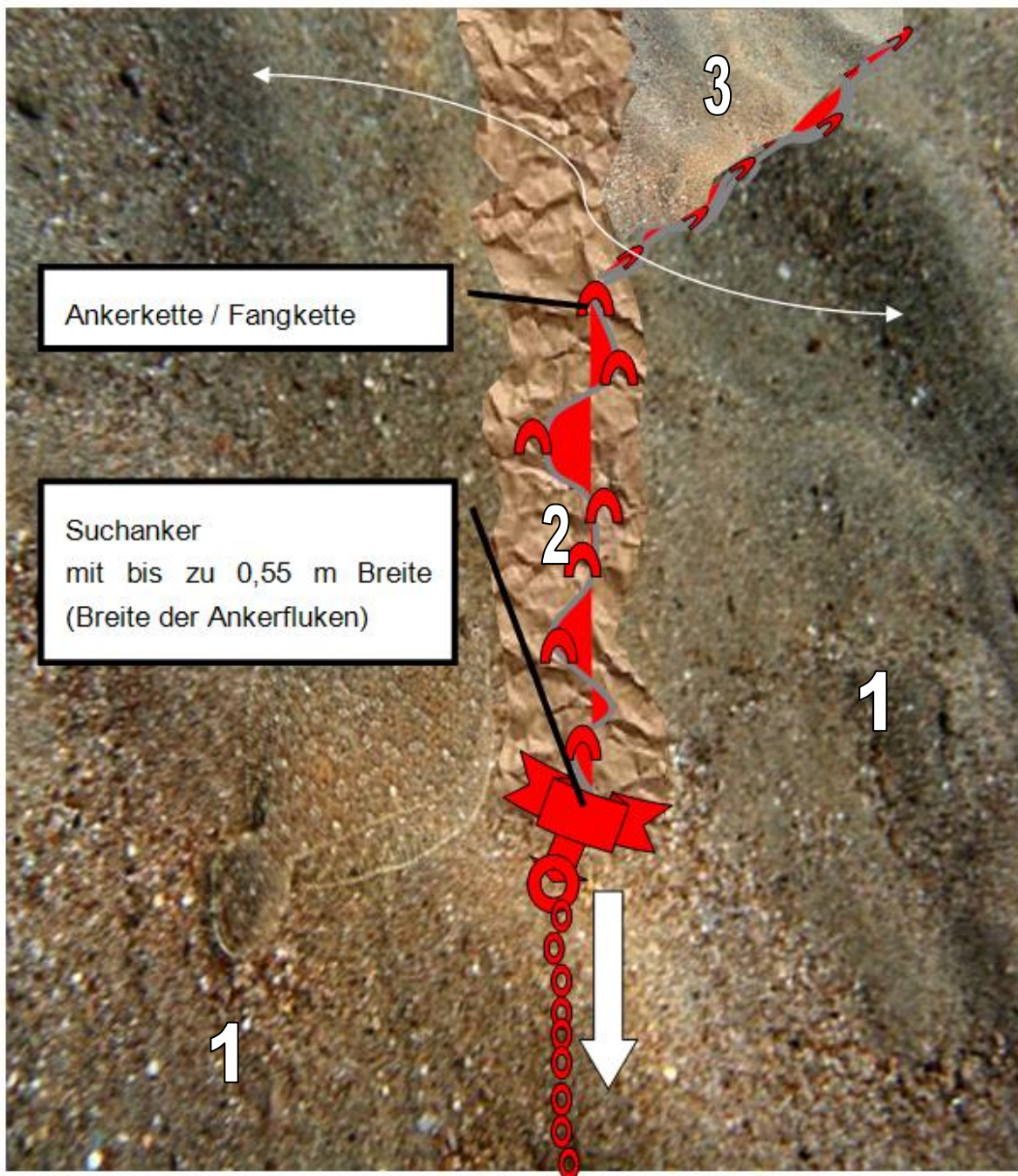


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Prelay Grapnel Run

Erläuterung:

Schematische Veranschaulichung der Wirkungen des Suchankers und der Ankerkette (rot) in der Draufsicht

1 = anstehendes unbeeinflusstes Sediment

2 = Umschichtung und Durchmischung sowie Aufwirbelung und Substratverlagerung: Der Suchanker greift bis zu 0,5 m Tiefe x Breite der Ankerfluken [bis 0,55 m breite Ankerspur] in das Weichsubstrat-Sediment ein.

3 = durch mitgeschleppte Ankerkette (Fangkette / Drahtcatcher) oberflächlich nivelliertes Sediment (Abscheren oberflächlicher Sedimentschichten). Die Ankerkette „schwänzelt“ über den Gewässergrund und überstreicht so einen Korridor von bis zu 4 m Breite (1 - 2 m beiderseits der Ankerspur).

Aufwirbelungen der Weichsubstrat-Sedimente und eine entsprechende Deposition im Seitenraum sind als Wirkungen ebenfalls nicht auszuschließen, dürften aber nicht oder nur geringfügig über die des eigentlichen Kabeleinbaus, der kurze Zeit später auf den PLGR folgt, hinausgehen.

Dem Grunde nach sind die Wirkungen der Räumung des Arbeitsbereichs nur dann zusätzlich relevant, wenn die durch den PLGR verursachten direkten Eingriffsflächen (Wirkungen W5 - Durchmischung und W4 - Abscheren) von denen des eigentlichen Kabeleinbaus abweichen oder seitlich darüber hinaus gehen. Als notwendige Räumungsmaßnahme wird der PRGL möglichst genau über die Mittellinie der Route gefahren. Da keine konkreten Angaben zu etwaigen Abweichungen vorliegen soll diese Kenntnislücke über eine Annahme auf der sicheren Seite geschlossen werden. Die Eingriffsbreite des Suchankers wird mit gerundet 1 m angesetzt (bei rd. 0,6 m breitem Suchanker). Die Wirtktiefe geht bis zu 0,5 m. Die dem Suchanker nachführenden „schwänzeldenden“ Fangketten überstreichen einen Bereich von etwa 2 m zu beiden Seiten der Spur des Suchankers. Der Eingriffskorridor ist somit 5 m breit.

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht:

- Abscheren und Durchmischen des Sedimentes durch Fangketten sofern sie über die Eingriffsbreiten der Eingrabetechnik (hier werden die Wirkungen überlagert) hinausgehen. Für etwaige räumliche Abweichungen der Räumung des Arbeitsbereichs aus der Mittellinie des Kabeleinbaus sind näherungsweise 15 % auf die Grundflächen zu addieren.

3.1.2 Allgemeine Charakterisierung der Kampfmittelräumung

Bei der Kampfmittelräumung (KMR) werden Verdachtspunkte lagegenau sondiert und im Falle von Funden von Kampfmitteln, in durch Tiefbauarbeiten tangierten Bereichen oder in Liegeflächen von trockenfallenden Pontons, erfolgt eine sachgerechte Räumung (oder Elimination vor Ort). Teilweise wird es erforderlich, dass UXO (Unexploded ordnance = „Blindgänger“) im Nahbereich der Verlegetroute seitlich abweichend der sog. Centerline des Kabels sondiert und geborgen werden. Es ist in der Regel davon auszugehen, dass je Kilometer der Verlegestrecke fünf Sondierungen erfolgen.

Wirkungen

Es kann von einer Sondierungstiefe mittels Airlift oder Spüllanze von 2 m auf 1,5 x 1,5 m ausgegangen (2,25 m²) werden. Die Fläche randlicher Störungen ergibt sich aus dem Faktor $f=1,3$ Periode 3 (entsprechend der Umrechnung wie bei Spülgräben (bezogen auf die Soll-Verlegetiefe).

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht:

- Tiefgehende Sedimentstörung und Oberflächliche Eintiefung durch Spüllanze auf im Mittel 3 m² je Sondierung

3.1.3 Allgemeine Charakterisierung der Vorbereitung eines Kabelgrabens mittels SCAR Plough

Ggf. ist im Falle vorkommender Ton-, Torf- oder Lehmschichten die Vorbereitung eines Kabelgrabens notwendig. Der „Kerbe-Pflug“ greift in das Meeresbodengefüge bis zur gewünschten Verlegetiefe der Leitung durch ein- oder mehrmaliges Durchziehen des Geräts auf der Verlegetroute ein (Abbildung 3). Die Sedimentschichten werden durchmischt und seitlich unmittelbar am Rand des Graben aufgeworfen. Es entsteht ein „V-Graben“ mit 35° Böschungen. Nach Umrüstung des Geräts wird der Scar Plough erneut über den Graben und den seitlichen Auswurf gezogen. Das ausgeworfene seitlich la-

gernde (durchmischte) Substrat wird in den Graben zurückgeworfen. Im Anschluss kann die Leitung (Kabelbündel) durch Einspülen (z.B. einem Spülschlitten) verlegt werden.



Abbildung 3: SCAR Plough der Firma Ecosse Subsea

Quelle: ABB

Wirkungen des SCAR Plough

Die Gesamtbreite („Streichbleche“) der zwei Konfigurationen unterscheiden sich: 6 m (pre-cutting mode) bzw. 14 m (backfill configuration).

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht:

- Oberflächliche Sedimentstörung durch Abrasion und Egalisierung auf 14 m Breite (Pflug + Streichbleche) x Länge der Trasse in m die folgende Wirkungen des pre-cutting überlagern:
- Tiefgehende Sedimentstörung (V-Profil) durch Pflug im pre-cutting mode auf 6 m Breite (Pflug + Streichbleche) x Länge der Trasse in m.
- Überdeckung der anstehenden Sedimente im Seitenraum mit Sedimentauswurf auf beidseitig je ca. 1 m x Länge der Trasse in m.

3.2 Verlegetechnik

Das Kabel wird entweder von Pontons (bzw. Barges) oder speziellen Verleges Schiffen transportiert und abgespult. Pontons (oder Barges) überwinden im Allgemeinen mittels Schleppschiffen größere Distanzen. Am Einsatzort halten sie durch Mooring-Anker ihre Position und bringen die Haltekräfte zum Fixieren und zur Fortbewegung über Zugwinden auf (zu Wirkungen durch Positionsanker siehe Kap.

3.4). Sie können im Gegensatz zu Verlegeschiffen auch im flachen Wasser eingesetzt werden und bei Niedrigwasser trockenfallen. Verlegeschiffe haben eigene Propulsionsantriebe. Hier wird die Sollposition oft in Verbindung mit Dynamic Positioning (DP) Systemen ohne Ankereinsatz gehalten.

Ob aus der Auslegung eines Kabelbündels vor dessen eigentlichem Einbau (post lay and burial) abweichende, zusätzliche Wirkungen und Auswirkungen resultieren, kann nur im Einzelfall beschrieben und beurteilt werden.

3.3 Eingrabetechniken

3.3.1 Vibrationskabelpflug mit Kettenfahrwerk (Einsatz im Watt- und Flachwasserbereich)

Allgemeine Charakterisierung

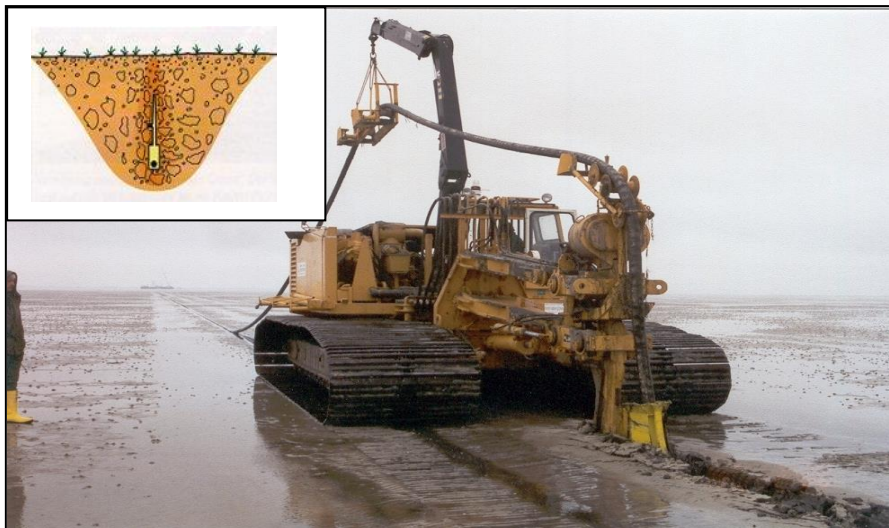


Abbildung 4: Kabellegung im Wattenmeer mit Vibrationskabelpflug

Erläuterung: Die reine Kabelverlegung im Watt dauert max. 14 Tage, optimal 3 – 4 Tage
Quelle: Bohlen&Doyen

Mit dem Vibrationskabelpflug werden die bereits im Arbeitsbereich vorher abgelegten Kabel nachträglich ins Sediment eingebracht (post lay burial). Das Kettenfahrzeug (Abbildung 4) nimmt die auf dem Watt liegenden und vorher ausgerichteten Seekabel auf und „pflügt“ diese in einem Arbeitsgang ins Sediment ein. Der Vibrationskabelpflug ist durch die hydraulisch hochfahrbare Fahrerkabine bis zu 2,5 m Wassertiefe einsatzfähig. Während der Hochwasserphase verbleibt das Fahrzeug im Arbeitsbereich, um somit ein erneutes Einfädeln des Pflugs in das Kabelbündel zu vermeiden. Mögliche Einsatzflächen sind Supralitoral (Vorstrand), Eulitoral (Watt) und flaches Sublitoral (wenig mit Wasser bedeckter Flachwasserbereich) bei entsprechend tragfähigem Grund. Laut TenneT können während einer Niedrigwasserphase bis zu 1 km Kabel verlegt werden.

Wirkungen

Das Sediment wird durch den Vibrationskabelpflug nicht völlig umgeschichtet, sondern überwiegend durchschnitten und seitlich verdrängt. Nur in den obersten Schichten fällt das Sediment zusammen

und wird durchmischt (siehe Abbildung 5). Neben dem Graben und den Kettenspuren sind beiderseitig des Fahrzeugs jeweils eine parallel zum Kabel verlaufende „Wasserspür“ von jeweils etwa 1,5 m Breite erkennbar. Es handelt sich wahrscheinlich um die typischen Sedimentstörungen durch Verdichtung und dem Abscheren der oberen Sedimentschichten durch einen Wattbagger, die beim Ausrichten der Kabel vor dem Einpflügen entstehen können.

Der schlitzförmig geweitete Kabelgraben von unter 0,5 m Breite (GFN 2012, S. 87), fällt unmittelbar nach Verlegung im Mischwatt größtenteils wieder zu, im Sandwatt spätestens nach einer Tide. Beim Einsatz bei Niedrigwasser kommt es zu keiner lateralen Sedimentumlagerung bzw. Sedimentverdriftung (GFN 2012, S. 86).

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt ermittelt:

- Tiefgehende Sedimentstörung durch Vibrationspflug auf im Mittel 0,8 m Breite (Pflugspalt < 0,5 m und seitliches Verdrängen, Gefügestörung durch Vibration) x Länge der Trasse in m.
- Oberflächliche Sedimentstörung durch 2 x Laufbreite der Ketten¹⁰ x Länge der Trasse in m (im Watt und ggf. noch im Flachwasser).
- Oberflächliche Sedimentstörungen durch Begleitbagger zum Ausrichten der Kabel und sonstige begleitende Baggerfahrten innerhalb eines 15 m breiten Arbeitsstreifens (15 m Breite x Länge der Trasse in m im Watt).
- Ferner werden bei Niedrigwasser stundenweise auf dem Watt oder im Flachwasser aufliegende Pontons oder Barges (rd. 2.100 m²) plus Arbeits- und Versorgungsschiffe mit Flachboden (rd. 700 m²) als oberflächliche Sedimentstörung berücksichtigt: zusammen rund 2.800 m² angesetzt.

Bei der Bilanzierung sind die oben unterschiedenen Wirkzonen jeweils auf den nächsten halben Meter aufgerundet in Ansatz zu bringen, um auf der sicheren Seite zu sein.

¹⁰ Ketten Fahrwerk: 2 x 1,5 m x 6,9 m, Druck: 225 g/cm³



Abbildung 5: Kabellegung im Wattenmeer (Sandwatt) mit Vibrationskabelpflug

Quelle: http://filapper.de/wp-images/2009/0428_vibrationspflug2.jpg

3.3.2 Heavy Duty Plough

Allgemeine Charakterisierung

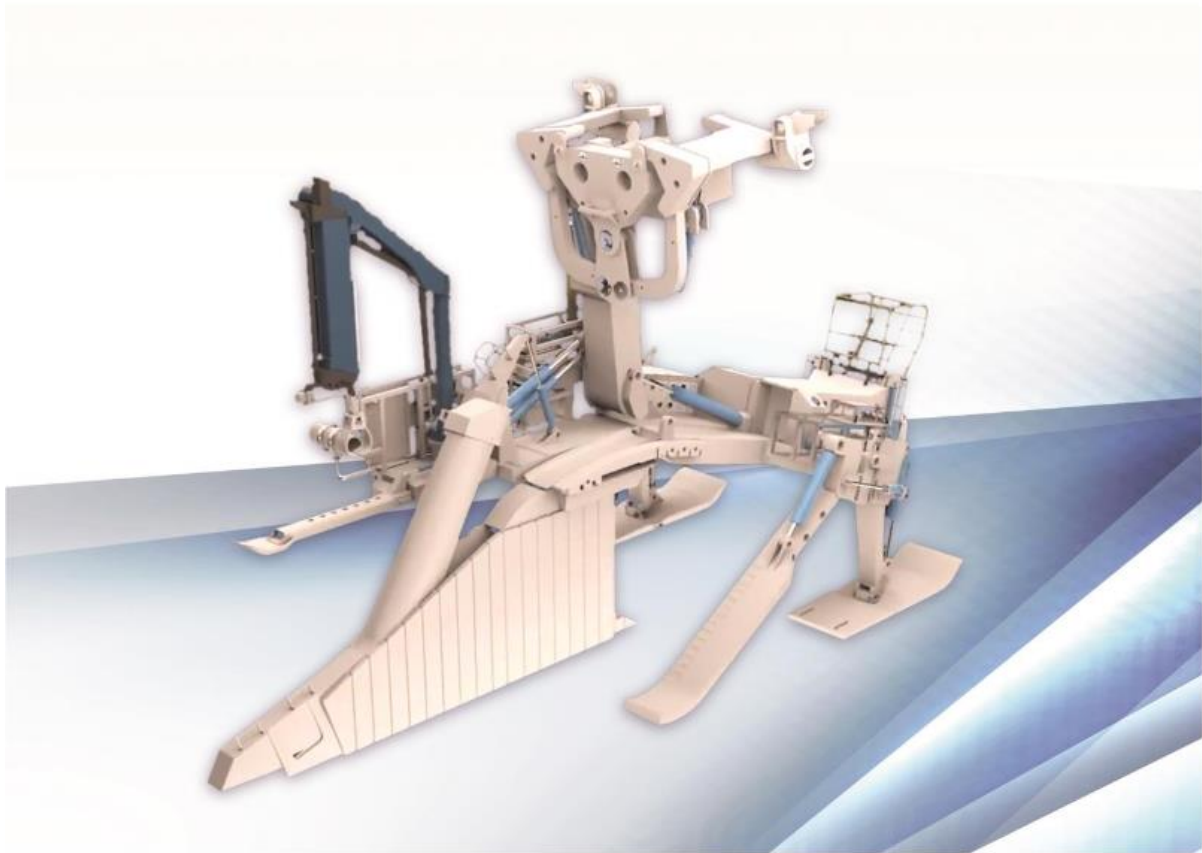


Abbildung 6 Heavy Duty Plough HD3

Quelle: Physmian Group

Das kufengeführte Verlegegerät Heavy Duty Plough - im Folgenden HDP - (bei 45 t Gewicht) arbeitet im „simultaneous lay and burial-Verfahren“ und ist auch bei bautechnisch schwierigen Gewässergründen bzw. dicht gelagerten, festen Sedimenten dazu geeignet das Kabelbündel auf die planfestgestellte Verlegetiefe und betriebsandauernde Mindestüberdeckung zu bekommen. Das Schiff verlegt das Kabel entlang der planfestgestellten Kabeltrasse und schleppt gleichzeitig mit gemäßigter Kraft den HDP. Es kommen Zuganker zum Einsatz (keine Seiten- oder Positionsanker), die alle 900 m auf der Trasse oder in Kurven über die Trasse hinaus umpositioniert werden. Das vom Schiff abgerollte Kabel (bzw. Kabelbündel) hängt bis zum Aufsetzpunkt am Meeresboden durch und tritt dann in den HDP ein. Die Pflugschar verursacht einen Kabelschlitz im Sediment, der nach Angabe von TenneT unmittelbar wieder hinter dem Gerät kollabiert.

Mögliche Einsatzflächen sind Eulitoral (Watt) und Sublitoral bei entsprechend tragfähigem Grund.

Auswirkungen

Der HDP hat folgende für die Eingriffsbeurteilung relevante Abmessungen (vgl. Abbildung 7):

Technische Angaben	Breite in [cm]	In [m]	Eingriffsbreite in [m]
Gerätebreite	658,6 (gerundet 660)	6,6	nicht relevant
Kufen (an breitester Stelle)	152,8 (gerundet 155)	1,55	3,1 (für beide Kufen zusammen)
Pflugschar (Angabe von Prysmian)	45	0,45	1,0 (für Graben)

Entsprechend Abbildung 7 wird im zeichnerischen Querschnitt eine Eintiefung und eine seitliche Aufhöhung dargestellt. Diese wird als seitliche Störzone von je ca. 1 m Breite beidseitig des Gerätes interpretiert, wobei von einer üblichen Verlegetiefe von rund 1,5 m ausgegangen wird. Bei deutlich größerer Verlegetiefe - 3 m - wird die seitliche Störzone verdoppelt, um auf der sicheren Seite zu sein.

Die lichte Weite zwischen den Kufen wird in Abbildung 7 mit rund 3,5 m angegeben. Der Raum zwischen Kufen und Pflugspalt/Störzone ist durch die Verlegung nicht beeinträchtigt.

Unbeachtlich der Verlegetiefe von 1,5 m oder 3 m wird der Pflugspalt mit 1 m Breite festgelegt. Eine Verwerfung der konsolidierten Sedimentschichten ist nicht anzunehmen. Hinsichtlich der Wirkungen auf das Sediment (auf das Sediment-Benthos-Gefüge als Habitat der Meeresumwelt) ist es vielmehr plausibel, von einer Aufspaltung auszugehen; Aus der Verlegetechnik resultiert daher kein Graben/Spülgraben, sondern vielmehr ein Spalt. Statt von Verwerfungen der Sedimentschichten auszugehen, wäre eher eine seitliche Störung durch Verpressung als Worst Case anzunehmen.

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht:

- Tiefgehende Sedimentstörung durch HDP auf im Mittel 1 m Breite (Pflugspalt und seitliches Verdrängen) x Länge der Trasse in m.
- Oberflächliche Sedimentstörung und Verdichtung durch die Kufen von zusammen 3,1 m Breite und die Schwere des HDP (45 t „in air“, 39 t im Wasser) x Länge der Trasse.
- Leichte seitliche Sedimentaufhöhung mit je 1 m beidseitig (2 m gesamt) des Pflugspalts x Länge der Trasse.
- Ferner werden bei Niedrigwasser stundenweise auf dem Watt oder im Flachwasser aufliegende Pontons oder Barges (rd. 2.100 m²) plus Arbeits- und Versorgungsschiffe mit Flachboden (rd. 700 m²) als oberflächliche Sedimentstörung berücksichtigt, zusammen rund 2.800 m², angesetzt.

Bei der Bilanzierung sind die oben unterschiedenen Wirkzonen jeweils auf den nächsten halben Meter aufgerundet in Ansatz zu bringen, um auf der sicheren Seite zu sein.

Prysmian Group
Linking the Future

Project: COBRACable Interconnector

Tennet
Taking power further

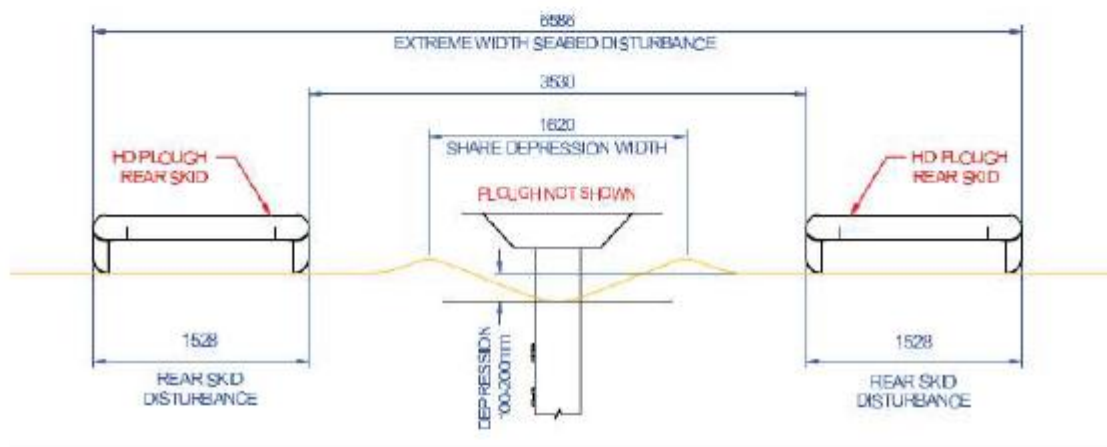
ENERGINET/DK

BURIAL TOOLS SEABED IMPACT EVALUATION

This document contains information proprietary to Prysmian PowerLink Srl and shall not be reproduced or transferred to other documents or disclosed to others or used for any purpose other than that for which it is furnished without the written permission of Prysmian PowerLink Srl

Heavy Duty Plough

REAR SKID DEPRESSION FOR HD PLOUGH



FRONT SKID DEPRESSION FOR HD PLOUGH

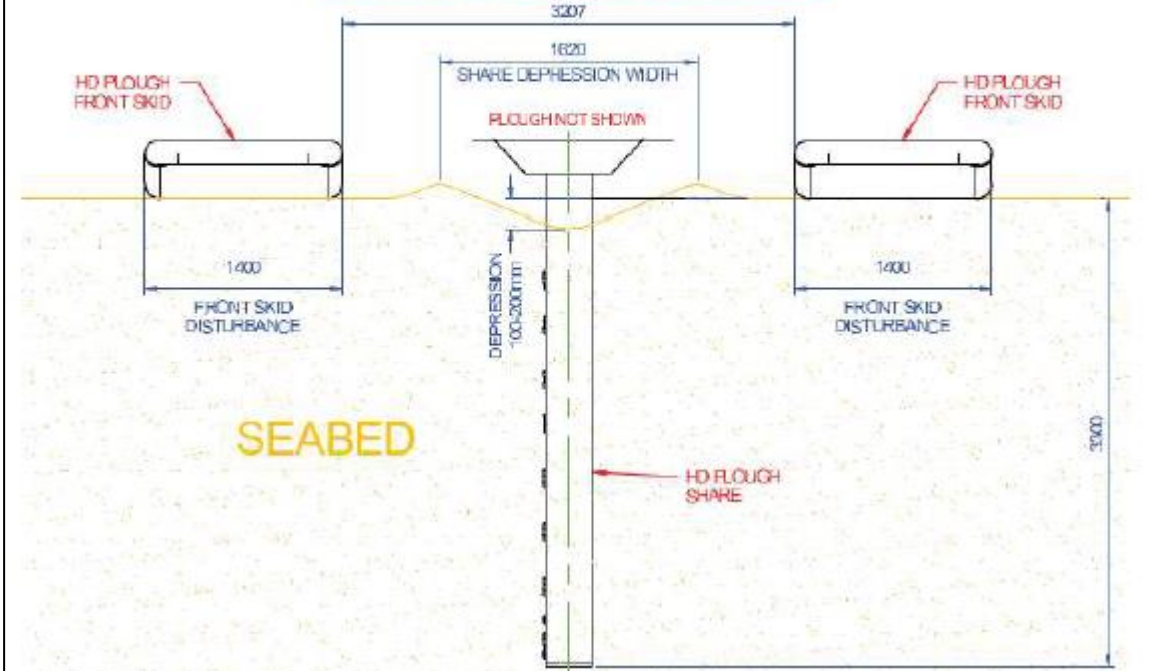


Abbildung 7: Skizze Heavy Duty Plough

3.3.3 Vibrationsschwert an schwimmender Einheit

Allgemeine Charakterisierung



Abbildung 8: Kabellegung im Wattenmeer mit Vibrationsschwert an Barge

Quelle: http://bg-ecoplan.de/images/110322_ponton_jd1_mit_vibroschwert.jpg

Bei diesem Verfahren werden die Seekabel bei Hochwasser gleichzeitig verlegt und eingegraben (simultaneous lay and burial-Verfahren). Das Vibrationsschwert an einer schwimmenden Verlegeeinheit (Ponton oder Barge) kann bei Hochwasser abhängig von der Wasserbedeckung und dem Tiefgang der Barge im unteren Wattbereich (unteres Eulitoral) und im Wasserbereich (Sublitoral) - bis höchstens ca. 10 bis 14 m Wassertiefe - eingesetzt werden (Abbildung 8). Es eignet sich für alle Weichbodensedimente (Kies-, Sand-, Misch-, Schlicksediment).

Das Schwert als Verlegeeinheit ist regelmäßig 180 – 200 mm breit (mdl. Angabe vom 19.03.2012, Bohlen & Doyen, Herr Hinrichs), kann in der Breite jedoch auch variieren. Durch die Vibration wird das Sediment im unmittelbaren Bereich des Schwerts „verflüssigt“ und sinkt somit auf die Eingabetiefe ein (Verlegetiefe bis 2,5 m im Gewässergrund des Eulitorals). Die Verlegung erfolgt ohne Unterstützung durch Wasserdruck (Wasserinjektion).

Wirkungen

Der Verlegespalt ist sehr schmal¹¹. Nach GFN (2012, S. 38) war der Trench während der ersten Niedrigwasserphase nach der Verlegung im Sandwatt „mit 30 cm sehr schmal und unauffällig“ und bereits zwei Stunden nach der Verlegung annähernd normal trittfest. Im Mischwatt bei der Verlegung von DoWin3 haben die Erfahrungen von IBL teilweise deutlich größere Breiten festgestellt, die durchaus einen Meter Breite erreicht haben.

Es wird daher eine Einwirkbreite beim Einvibrieren mit dem Vibrationsschwert von 0,8 m angesetzt.

¹¹ Der Verlegespalt ist kaum breiter als das Schwert und ein 30 cm breiter Verlegespalt entspricht den Erfahrungen (mdl. Auskunft G. Moll, MOLL-prd).

Die mit dieser Verlegetechnik bei Hochwasser auftretenden Sedimentaufwirbelungen, Trübungen und Sedimentverdriftung sind gering, da die Verlegespur - wie bei Niedrigwasser in Abbildung 6 gut erkennbar - lediglich als sehr flache Eintiefung der Oberfläche ausgebildet ist. Bei größerem Sedimentaustrag müsste die „Wasserspur“ deutlicher und tiefer zu erkennen sein. Nach GFN (2012) konnte bei dieser Eingrabetechnik keine Sedimentverdriftung beobachtet werden. Bei der Wattkabelverlegung von DoWin3 (2014) konnte die NFB ebenfalls keine Sedimentverdriftungen beobachten (IBL).



Abbildung 9: Bereich des Verlegespalts wenige Stunden nach Einsatz des Vibrationschwerths (Bild 6)

(Quelle: http://bg-ecoplan.de/images/110322_vibroschwert_verlegespalt.jpg)

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht:

- Tiefgehende Sedimentstörung durch Vibrationsschwert auf im Mittel 0,8 m Breite (Verlegespalt und geringes seitliches Verdrängen, Vibrationen) x Länge der Trasse in m.
- Zusätzlich oberflächliche Eintiefung (flache Grabenmulde) / Störung des Gefüges im Seitenraum über dem Verlegespalt auf ca. 0,8 m Breite (0,4 m beidseitig des Verlegespalts) x Länge der Trasse.
- Bei Niedrigwasser stundenweise auf dem Watt oder im Flachwasser aufliegendes Ponton-Arbeitsschiff (ca. 22 x 65 m Liegefläche¹²; rd. 1.430 m²). Es werden ca. 500 m Verlegestrecke bis zum Aufliegen geschafft.

Bei der Bilanzierung sind die oben unterschiedenen Wirkzonen jeweils auf den nächsten halben Meter aufgerundet in Ansatz zu bringen, um auf der sicheren Seite zu sein.

¹² Faustwert als erste Setzung (entnommen GFN 2012, S. 2, Tabelle 1). Im Vorhabenseinzelfall ist Liegefläche anzupassen.

3.3.4 Unterwasserfräse

Allgemeine Charakterisierung



Abbildung 10: Unterwasserfräse (Hartboden-Fräskopf)

Quelle: <http://www.pressair.com/images/2.gif>



Abbildung 11: Unterwasserfräse im Einsatz

Quelle: <http://www.4coffshore.com/windfarms/images/equipment/r3.jpg>

Fräsen schneiden in das Sediment ein und eignen sich besonders für bindige bis harte Sedimente bzw. Substrate im Eu- und Sublitoral und bei steilen Unterwasserböschungen. Das durch die Fräse gelöste Bodenmaterial wird mechanisch durch die Umlaufbewegung der Fräskette aus dem Schlitz gefördert.

Wirkungen

Durch die Fräse entsteht ein Graben und seitlich davon Ablagerungen: „Die Herstellung des Kabelgrabens bei wasserbedecktem Watt führt zu so schneller Verflüssigung und Verteilung des Substrats,

dass es nicht zur Wiederverfüllung des Grabens, sondern zu lateralen Ablagerungen kommt. Auch nach mehreren Tiden fand keine spontane Verfüllung des im Mittel 2,5 m breiten Grabens statt.“ (ecoplan 2009, S. B-85). In Hunke et al (2009) wird differenzierter zu der Breite der Ablagerung ausgeführt: Stehmeier (2009) gibt bei kontrollierter Arbeitsweise Ablagerung von Sediment beiderseits des Grabens von < 1m über Wasser und 1,5 - 2,5 m unter Wasser an (bei Wattsand, steigt mit hohem Schluffanteil). Der Arbeitsfortschritt liegt bei 600 – 800 m pro Stunde in Wattsand (Stehmeier, 2009).“

Ecoplan (2009b, S. B-106, Tab. 22) mittelte die Mächtigkeit der seitlichen Sandablagerungen aus 10 Messungen bei Unterwasserfräsungen in den drei Klassen 20 cm bis 5 cm, 5 cm bis 1 cm und unter 1 cm. Der mit bis zu 1 cm durch Überlagerung von natürlich anstehendem Sediment betroffene Seitenraum von gut 5 m Breite (2,6 m auf jeder Seite des Fräsgrabens) dürfte nach erster Einschätzung naturschutzfachlich unerheblich sein, ist aber je Projekt bei Einsatz einer Unterwasserfräse anhand des betroffenen Bestands (Sedimenttyp und Benthosbesiedlung) im Einzelfall zu beurteilen.

Der Bereich mit einer Überlagerung von über 1 cm ist hingegen als Eingriffsbereich festzulegen (unbeachtlich der Schwere und Intensität, die im Einzelfall zu beurteilen ist) und umfasst eine gemittelte Breite von 7,1 m beidseitig des Kabelgrabens. Zusammen werden aufgerundet 15 m in Ansatz gebracht, um auf der sicheren Seite zu sein.

Der entstandene Kabelgraben muss im Eulitoral, um eine sekundäre Prielbildung zu vermeiden, nachträglich durch einen Wattbagger verfüllt werden. Das Material dürfte im Wesentlichen aus dem Überlagerungsbereich im Seitenraum genommen werden. Mithin wird ein Arbeitsstreifen von wenigstens 15 m Breite durch Kettenspuren und Baggerschaufel zusätzlich beansprucht. Im Sublitoral entfällt diese Maßnahme.

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht:

- Tiefgehende Sedimentstörung im Watt und Flachwasser durch Fräse auf 2,5 m Breite (Kabelgraben) x Länge der Trasse
- Laterale Sedimentumlagerung, Trübung (bei Einsatz unter Wasser), Deposition im Seitenraum und Überlagerung von natürlich anstehendem Sediment auf 15 m Breite x Länge der Trasse
- Im Eulitoral: Wiederverfüllung des Kabelgrabens mittels Wattbagger mit Sedimenten aus dem Seitenraumbereich, 15 m Arbeitskorridor x Länge der Trasse
- Bei Niedrigwasser stundenweise auf dem Watt oder im Flachwasser aufliegendes Ponton-Arbeitsschiff (Liegefläche rd. 1.430 m²), je 500 m Verlegestrecke einmaliges Aufliegen bei Niedrigwasser.

Bei der Bilanzierung sind die oben unterschiedenen Wirkzonen jeweils auf den nächsten halben Meter aufgerundet in Ansatz zu bringen, um auf der sicheren Seite zu sein.

Es wird darauf hingewiesen, dass der Einsatz einer Fräse im Eulitoral und Flachwasser keine gängige Verlegetechnik darstellt, die dem Vermeidungsgrundsatz genügt.

3.3.5 Kettenfräse an TROV

Allgemeine Charakterisierung

Im *post lay burial* besteht eine weitere Verlegevariante mit Einsatz eines ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugs: Nach dem Ablegen der Kabel auf dem Meeresgrund erfolgt in einem zweiten Vorgang das Einspülen mit einem TROV (trenching remotely operated vehicle). Die Trennung von Lege- und

Einspülvorgang nimmt Rücksicht auf die deutlich unterschiedlichen Arbeitsgeschwindigkeiten der beiden Vorgänge. Diese Verlegetechnik ist jedoch nicht in Flachwasserbereichen anwendbar, sondern erst ab 10 m Wassertiefe. Bis etwa zur 20 m Wassertiefe werden üblicherweise Kombi-Eingrabergeräte verwendet, die das Eingraben mit Kettenfräse und/oder Einspülen (vgl. Kap. 3.3.6) ermöglichen.

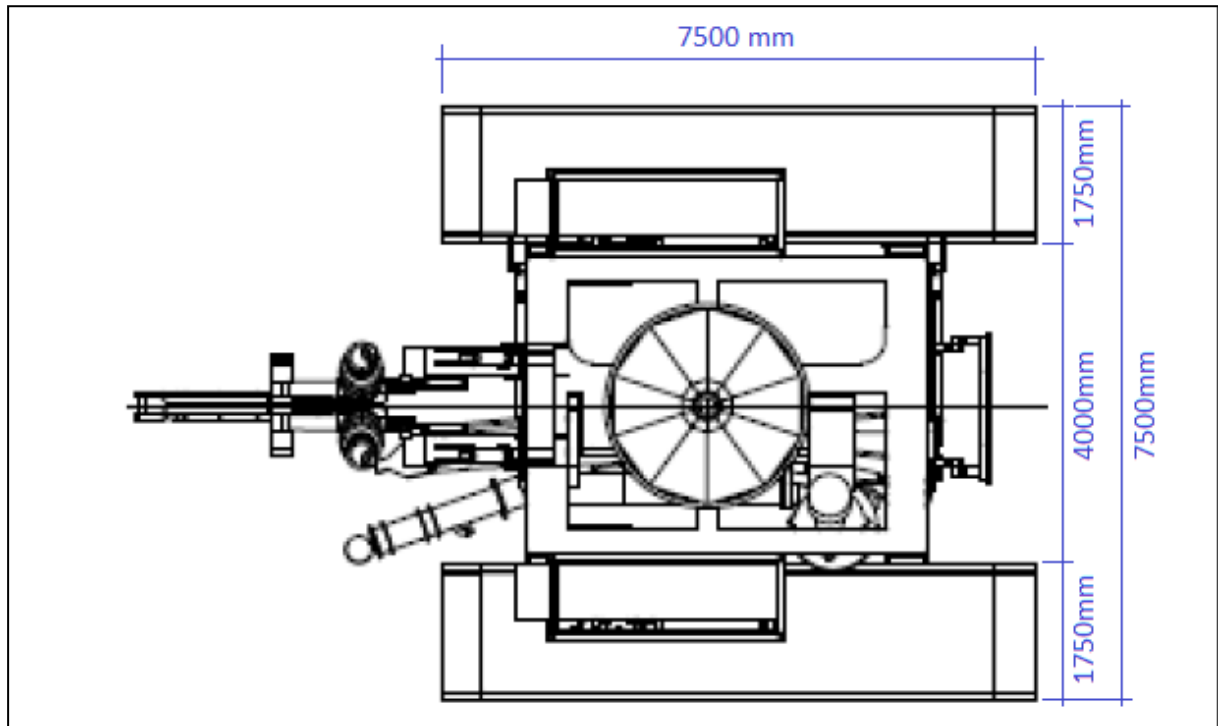


Abbildung 12: TROV Kombigerät CBT 1100 mit Kettenfräse

Wirkungen

Mit den chain cutter trenching tools (Kettenfräse) wird der Graben in den Untergrund des tiefen Sublitorals (vorwiegend Mittelsand mit Lehmbändern bzw. dicht gelagerte Sedimente) geschnitten/gefräst. Es entsteht ein Graben und seitlich davon Ablagerungen. Zu beachten ist, dass im Grundsatz mit zunehmender Wassertiefe die morphologische Aktivität am Gewässergrund abnimmt, weshalb eine Rückbildung der hinterlassenen Verlegespuuren länger dauert als im Flachwasser (vgl. Kap. 3.3.4).

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht:

Für die Bilanzierung sind die gerätespezifischen Maße heranzuziehen.

- Tiefgehende Sedimentstörung in dem durch die Kettenfräse geschnittenen Graben (= dreifache Breite Kettenfräse) x Länge der Trasse
- Oberflächliche Sedimentstörung durch:
 - Nachrutschen der Böschungen zum Graben (Ausbildung einer Grabenmulde)
 - Ggf. randlicher Sedimentauftrag (teilweise in Grabenmulde abgerutscht)
 - Kettenspurenals Wirkbreite wird die Breite des TROV abzüglich Fräsgraben x Länge der Trasse angesetzt.
- Laterale Sedimentumlagerung, Trübung, Deposition im Seitenraum und Überlagerung von natürlich anstehendem Sediment auf 3 m Breite beiderseits x Länge der Trasse.

Bei der Bilanzierung sind die oben unterschiedenen Wirkzonen jeweils auf den nächsten halben Meter aufgerundet in Ansatz zu bringen, um auf der sicheren Seite zu sein.

3.3.6 Spülschwert an Spülschlitten oder TROV

Allgemeine Charakterisierung

Der Unterwasserschlitten mit dem Spülschwert oder Spülschlitten (Abbildung 13) wird vom Verlegeschiff - oder bei geringen Wassertiefen auch von einem Ponton oder einer Barge - gezogen und das Kabel wird in den vom Spülschwert simultan erzeugten Graben in die entsprechende Tiefe gelegt (bis zu 5 m Verlegetiefe ist möglich, Abbildung 14).



Abbildung 13: Spülschlitten

Quelle: Bohlen & Doyen, 2011

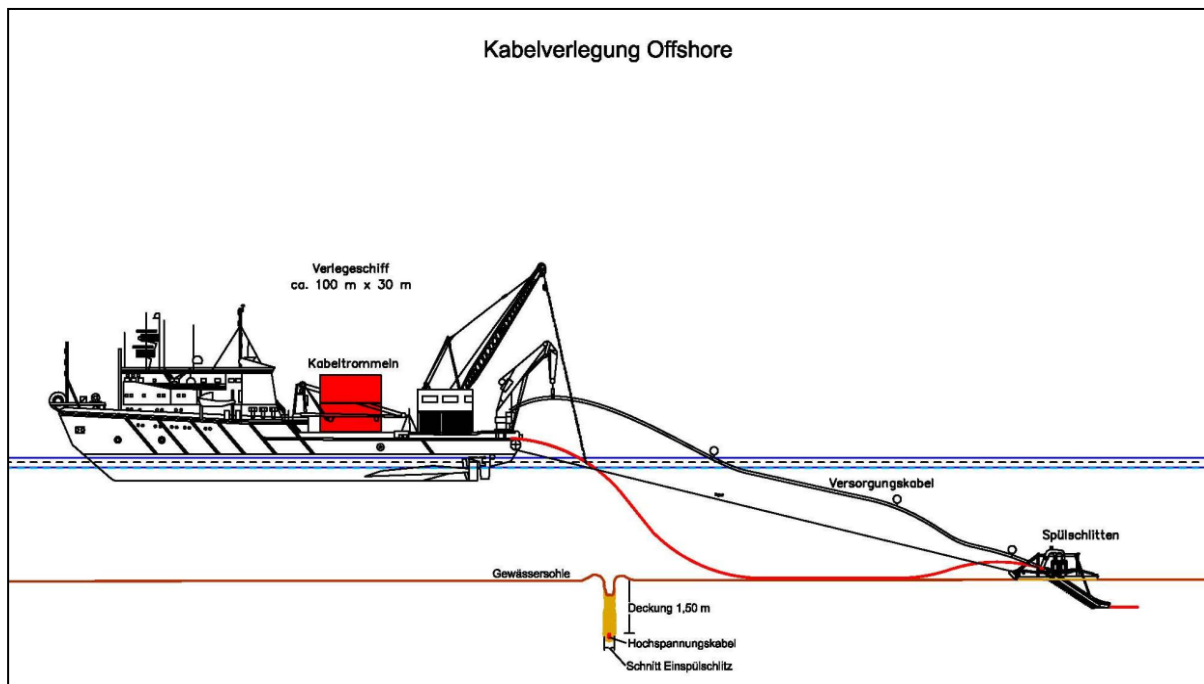


Abbildung 14: Systemskizze simultane Kabellegung Küstenmeer mit Spülschlitten

Quelle: Bohlen & Doyen, ohne Jahr

Im *post lay burial* besteht eine weitere Verlegevariante mit Einsatz eines ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugs: Nach dem Ablegen der Kabel auf dem Meeresgrund erfolgt in einem zweiten Vorgang das Einspülen mit einem TROV (trenching remotely operated vehicle, Abbildung 15). Die Trennung von Lege- und Einspülvorgang nimmt Rücksicht auf die deutlich unterschiedlichen Arbeitsgeschwindigkeiten der beiden Vorgänge. Diese Verlegetechnik ist jedoch nicht in Flachwasserbereichen anwendbar, sondern erst ab 10 m Wassertiefe. Bis etwa zur 20 m Wassertiefe werden üblicherweise Kombi-Eingrabegeräte verwendet, die das Eingraben (mit Kettenfräse, vgl. Kap. 3.3.5) und/oder Einspülen ermöglichen. Ab etwa der 20-m-Tiefenlinie ist grundsätzlich die Verwendung eines Spülschwerts (ohne Fräse) üblich.



Abbildung 15: Unterwasser-Eingrabegerät (TROV) mit Laufketten

Wirkungen

Das Sediment wird durch das Spülschwert fluidisiert und im Gefüge gestört und es entstehen Trübungsfahnen oder -wolken bzw. Sedimentschleppen (Abbildung 16).



Abbildung 16: Sedimentschleppen und Trübungswolken hinter dem Spülschlitten

Quelle: Screenshot aus <http://www.youtube.com/watch?v=Y0gCl5bwew>

Der Anteil des Sediments, das nicht im Kabelgraben verbleibt oder unmittelbar zurückfällt, sedimentiert im Seitenraum. Je nach Anteil der feinen Kornfraktionen und der Strömung werden die Feinstsande und Schluffe auch weit verdriftet.

Die Breite des zunächst entstehenden Spülgrabens hängt vom Gerätetyp, vom Spüldruck, dem anstehenden Sediment (im Sublitoral meist Fein- bis Mittelsande), der Höhe der Wassersäule über dem Spülgraben, der Strömung und der Verlegetiefe ab und ist damit variabel. Gleichwohl ist es in jedem Fall plausibel, dass der im Weichbodensediment am Gewässergrund zurückbleibende Kabelgraben an den Oberkanten deutlich breiter als das Spülschwert ist (ca. 23 cm Breite; Kabelfachbreite ca. 18 cm). Diese Einschätzung ergibt sich aus den nachstehenden Überlegungen und Annahmen:

Etwa 70 % des fluidisierten Sediments (mdl. Auskunft TenneT) verbleiben im Kabelgraben. Das Spülschwert „verflüssigt“ das gelagerte aber weiche Sediment im schmalen Bereich eines Kastenprofils¹³ und das schwere Kabelbündel sinkt ab.

¹³ Steilkantiger schmaler Graben (theoretisch), um die weiteren Effekte anschaulich zu machen.



Abbildung 17: Hinterlassener Spülgraben nach Einsatz Spülschlitten in festerem Gewässergrund

Erläuterung: Das Foto zeigt einen Unterwassergraben im festeren Sediment. Es soll damit verdeutlicht werden, dass das Spülschwert von seiner Wirkung her eher einen schmalen Graben mit „Kastenprofil“ hinterlässt. Zur angenommenen Breite siehe nächste Abbildung 18.

Quelle: Global Marine Offshore (screenshot 2012 aus Youtube-Video)



Abbildung 18: Einsatz Spülschlitten in weichem Gewässergrund

Erläuterung: Das Foto zeigt den Einsatz eines Spülschwerts im Sandsediment **ohne Wasserüberdeckung**. Der entstehende Spülgraben entspricht in etwa der dreifachen Breite des Spülschwerts.

Quelle: Global Marine Offshore (screenshot 2012 aus Youtube-Video)

Die Böschungen des Spülgrabens sind jedoch nicht stabil. Nur bei festen Sedimenten wie Mergel würden zunächst steile Böschungen verbleiben (s. Abbildung 19). Wassergesättigte Fein- und Mittel-

sande rutschen jedoch nach (direkter hydromorphologischer Nachlauf der Böschungen). Dieser Prozess findet in einer Zone statt, in der infolge der Aufwirbelungseffekte des Spülschwerts Sedimente randlich des Spülgrabens deponieren und einen Sedimentauftrag hinterlassen. Die Zone ist also von einer oberflächlichen Störung des Sediments durch Sedimentauftrag einerseits und Böschungsrutschen andererseits gekennzeichnet (Abbildung 20).

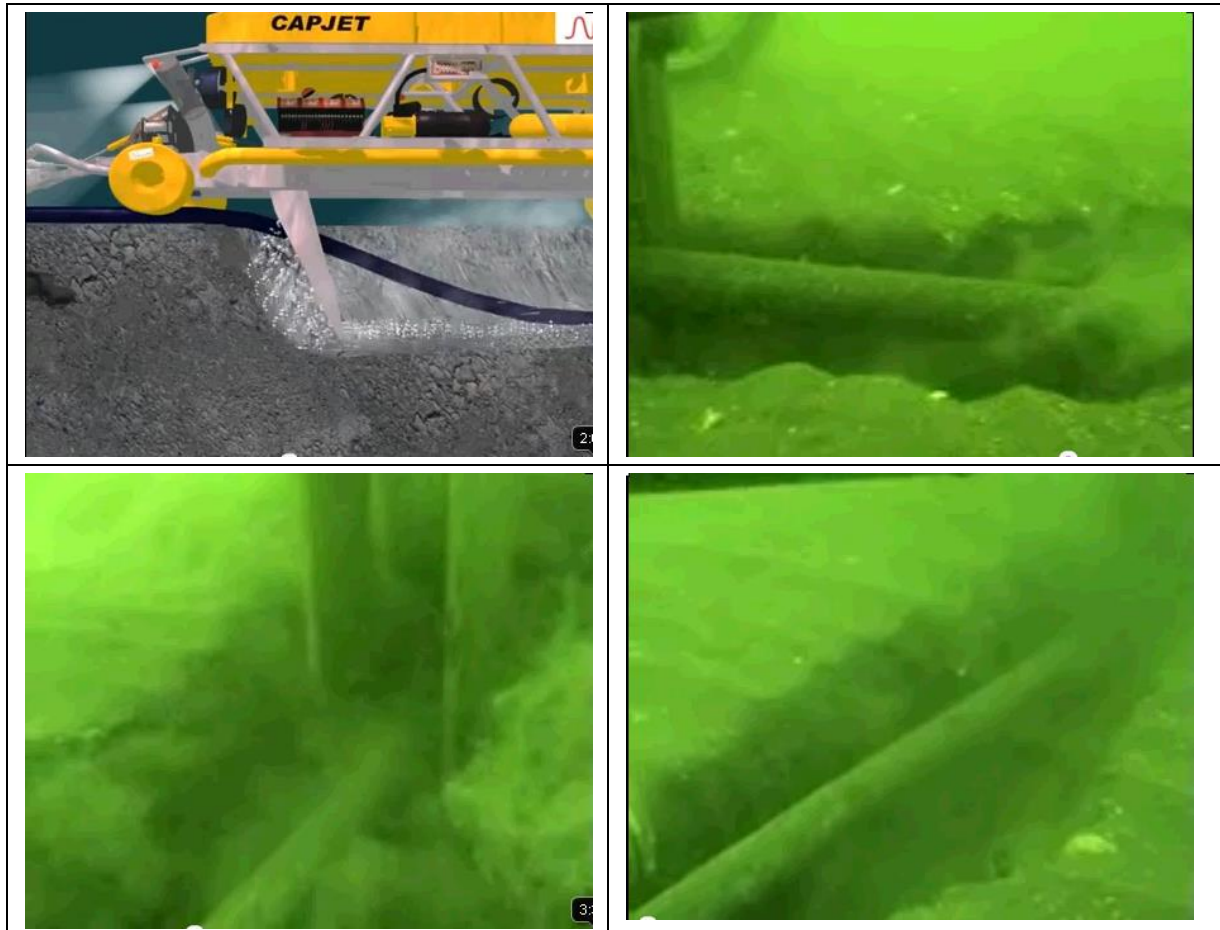


Abbildung 19: Schematischer und tatsächlicher Einsatz eines Spülschwerts

Quelle: Nexans (www.nexans.com), <http://www.youtube.com/watch?v=FzEFgzRh49U&feature=related>
<http://www.youtube.com/watch?v=yiu12lpmKM&feature=channel>

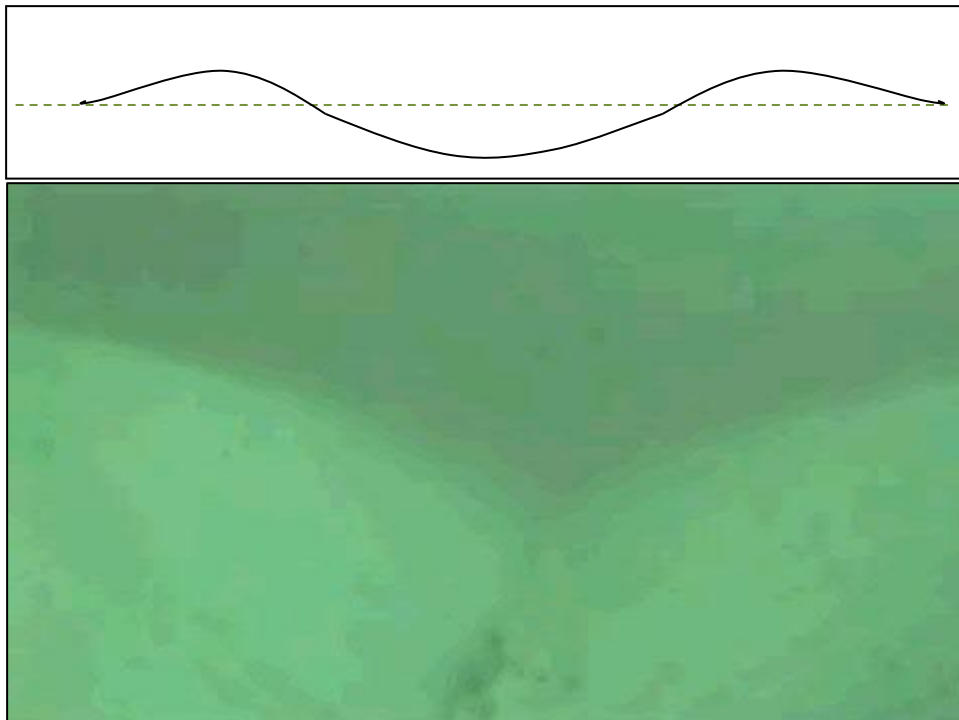


Abbildung 20: Entstandene Grabenmulde in weichem Gewässergrund

Erläuterung

Hinter dem Spülschlitten oder TROV sinkt das Sediment im Spülgraben wieder ab und von den Seiten rutschen Sedimente aus dem Spülgraben und der seitlichen Auftragszone nach. Es bildet sich eine Grabenmulde mit flachem seitlichen Randwall aus, weil Unterwasserböschungen in weichen Sedimenten erst bei einer vergleichsweise flachen Neigung von unter 35° erosionsstabil werden.

Quelle:

Global Marine Offshore, www.youtube.com/watch?v=SsZiv7yMhAc (screenshot)

Diese zwei Wirkzonen a) Spülgraben und b) Böschungsanpassung werden außenseitig durch die Kufen oder die Ketten des Spülschlittens oder des TROV begrenzt.

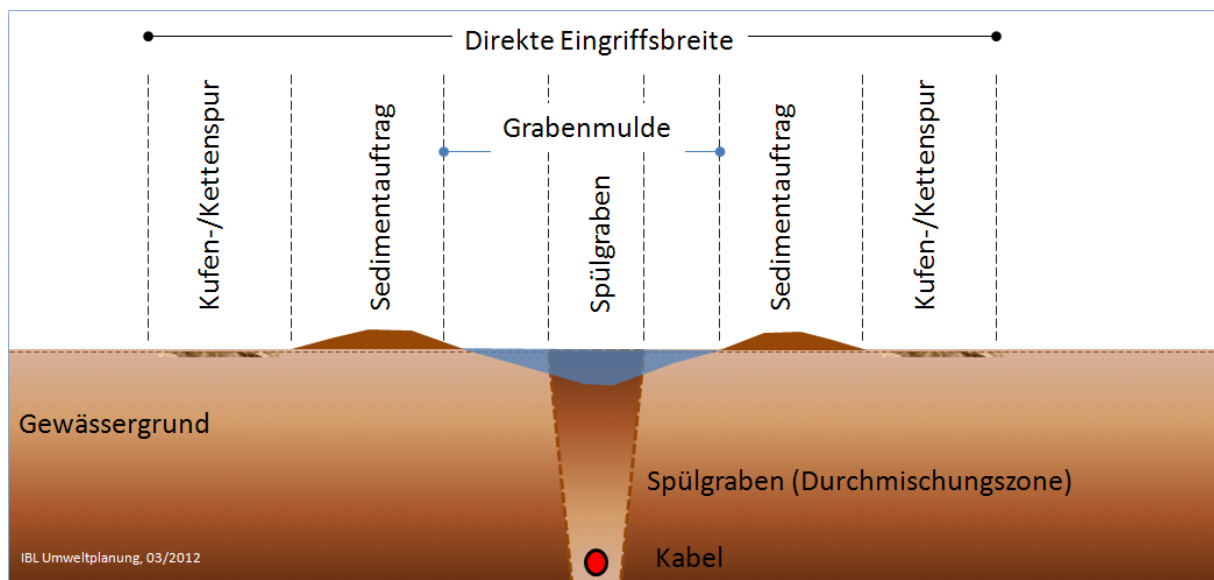


Abbildung 21: Berücksichtigte Eingriffsbereiche bei Eingraben der Kabel mit Spülschwert

Erläuterung:

Die Zone einer möglichen Trübung und Deposition aufgewirbelter Sedimente ist in dieser Abbildung nicht dargestellt. In Abbildung 19 ist kein seitlicher Sedimentauftrag zu erkennen. Die Riffel des Gewässergrunds gehen bis an den Rand des Spülgrabens heran und sind nicht überdeckt.

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen (vgl. schematisch Abbildung 21) wie folgt in Ansatz gebracht:

- Tiefgehende Sedimentstörung durch Spülschwert¹⁴ auf 0,6 m Breite (Spülgraben = dreifache Breite Spülschwert) x Länge der Trasse–
- Oberflächliche Sedimentstörung durch
 - Nachrutschen der Böschungen zum Spülgraben (Ausbildung einer Grabenmulde)
 - Ggf. randlicher Sedimentauftrag (teilweise in Grabenmulde abgerutscht)
 - Kufen- oder Kettenspurenals Wirkbreite wird die Breite des Spülschlittens oder TROV¹⁵ angesetzt:
Breite abzüglich Spülgraben x Länge der Trasse
- Laterale Sedimentumlagerung, Trübung, Deposition im Seitenraum und Überlagerung von natürlich anstehendem Sediment auf 3 m Breite beiderseits x Länge der Trasse.¹⁶

Bei der Bilanzierung sind die oben unterschiedenen Wirkzonen jeweils auf den nächsten halben Meter aufgerundet in Ansatz zu bringen, um auf der sicheren Seite zu sein.

3.3.7 Vertical Injector (Stehendes Spülschwert)

Allgemeine Charakterisierung

Über ein „Stehendes Spülschwert“ wird ein Seekabel gelegt und gleichzeitig mit Wasserinjektion in Verlegerichtung eingespült (simultaneous lay and burial). Um eine Verwechslung dieser Technik mit dem Vibrationsschwert (Kap. 3.3.3, Abbildung 8) zu vermeiden, wird für das Stehende Spülschwert die bautechnisch gängige Bezeichnung Vertical Injector verwendet.

¹⁴ WI = vertikale Wasserinjektion in den Gewässergrund (Fluidisierung des Sediments)

¹⁵ Spülschlitten und TROV haben sehr unterschiedliche Breiten: 6,5 m - Seajet 2000, 8,65 m - SCP Deep Burial Sled DBS4, 3,7 m - CMROV 03, 7,8 m - UT1 Ultra Trencher, 4,0 m - Nexans CAPJET 1MW – CBT1100, 7,5 m.

¹⁶ Dem Video und den Bildern in Abbildung 19 nach ist die Deposition im Seitenraum bei Einsatz eines Spülschwerts im Sublitoral gering. Danach ist der gewählte Ansatz von 3 m beiderseitig des Geräts auf der sicheren Seite.

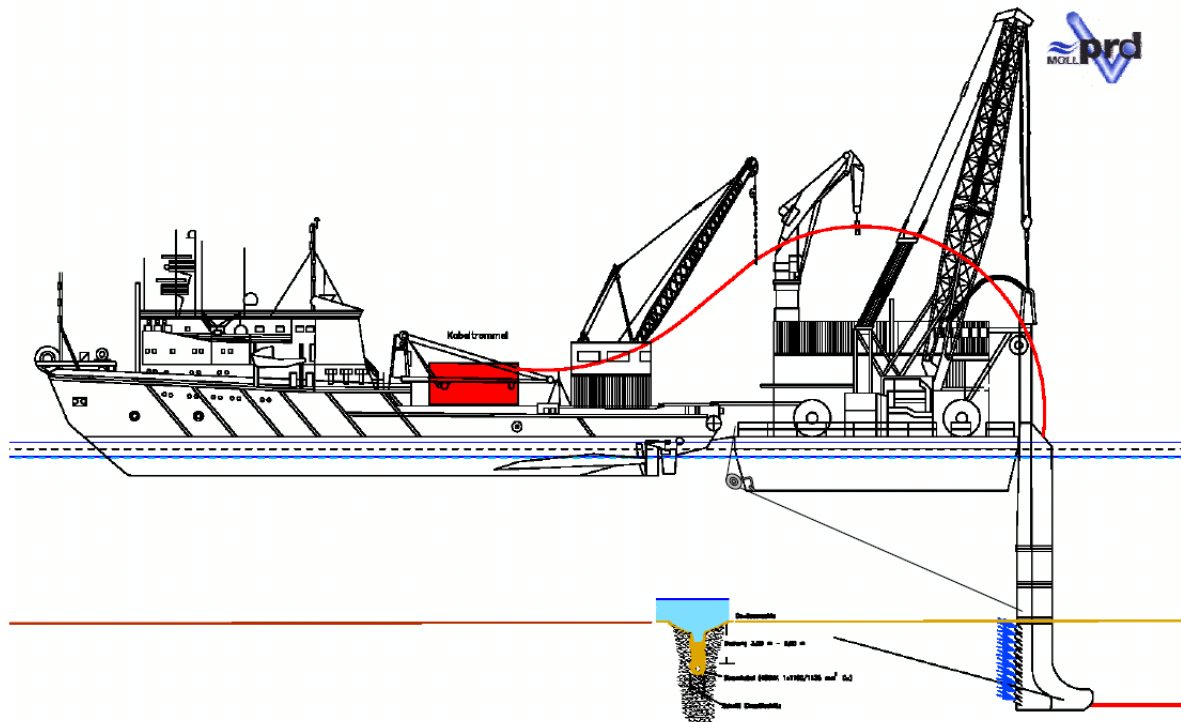


Abbildung 22: Systemskizze Vertical Injector an Verlegeeinheit

Erläuterung: Die Spüldüsen werden in Verlegerichtung eingesetzt.
Quelle: MOLLprd



Abbildung 23: Vertical Injector (unterer Teil des stehenden Spülschwerts)

Erläuterung: Das Führungsfach ist 190 mm breit. Beide DC-Kabel und das optische Kabel verlaufen untereinander durch das Führungsfach.
Quelle: Bohlen & Doyen (Installationshandbuch Flachwasser DolWin1, 2012)

Für den Einsatz des Vertical Injectors ist eine Mindestwassertiefe von 2,5 m erforderlich. Im Flachwasserbereich wird das stehende Spülschwert von einem Ponton oder einer Barge aus betrieben, von dem auch direkt die Versorgung mit Spülwasser unter hohem Druck erfolgt.

Wirkungen

Bohlen & Doyen Bauunternehmung GmbH haben für die Seetrasse HelWin (Büsumtrasse, Schleswig-Holstein) einen Vertical Injector auf ca. 2 km Länge im Tertiussand eingesetzt (Kabeleinspülung bei Hochwasser). Für den trockenfallenden Abschnitt liegen Beobachtungen direkt nach der Kabeleinspülung beim nächsten Niedrigwasser vor. Die im Watt zunächst „sichtbare Rinne war ca. 1,5 m breit und ca. 0,5 – 0,6 m tief, setzte sich aber nach wenigen Tiden komplett zu und war nicht mehr zu sehen“ (Hermann Hinrichs (Bohlen & Doyen) mdl. 20.03.12).



Abbildung 24: Nach Kabeleinspülung mit dem Vertical Injector im Tertiussand entstandene Grabenmulde im Watt inkl. Abschätzung der Breite (Bild 19)

Erläuterung:
Quelle:

Die Verlegeeinheit ist ca. 67 m lang und wird quer gezogen.
Bohlen & Doyen, Hermann Hinrichs (per mail vom 21.03.2012)

In der Abbildung 24 wurde die Breite der Grabenmulde in Relation zu der Breite der Verlegeeinheit (67 m) näherungsweise ermittelt. Die wahrscheinlich flache Grabenmulde über dem Verlegespalt ist demnach 8 m breit. Dass sich wenige Tiden nach dem Einsatz des Vertical Injektors aus der zunächst entstandenen frischen Rinne eine breitere aber auch flachere Grabenmulde über den Trench bildet hängt vermutlich mit dem Anpassen der Böschungen des Kabelgrabens zusammen (ähnlich beim Spülschwert im Sublitoral, Kap. 3.3.6).

Das biologische Baumonitoring zur Wattkabelverlegung HeiWin1 (GFN 2012, S. 27ff, und Sigrun Geiger (GFN) mdl.) ergab für den Vertical Injector folgende Breiten:

Pre-Trench (1,7 m Tiefe): Einen Tag nach dem Spülvorgang (im Sandwatt) wies der Spülgraben eine Tiefe von 0,3 - 0,5 m auf bei einer Breite von 1,2 m (zwischen den Böschungsoberkanten. Der Graben war größtenteils trittfest. Zwei Tage später waren die Böschungen abgeflacht und die Grabenmulde über dem Trench 2 m breit. Etwa zwei Wochen später war der Graben nahezu nivelliert und kaum noch zu erkennen.

Verlegetrench (3 m Verlegetiefe): Zwei Tage nach Einsatz des Vertical Injector war der Spülgraben im Tertius sand (Sandwatt) 3 - 4 m breit und max. 0,3 m tief und teilweise wieder trittfest. Eine Woche später war der Spülgraben nur noch als flache, wenige Zentimeter mit Wasser gefüllte Mulde zu erkennen (und durchgängig trittfest). Nach 3 - 4 Wochen war der Bereich wattmorphologisch regeneriert.

Die Breite des Spülgrabens dürfte wie beim Spülschwert am Spülschlitten oder TROV kaum breiter als der untere Teil des Stehenden Spülschwerts sein (s. Abbildung 23), wenn die Spüldüsen in Verlegerichtung eingesetzt werden (mdl. Auskunft G. Moll, Moll-prd). Unter Wasser wie auch im Watt finden Böschungsanpassungen statt, die je nach vergangener Zeit und Verlegetiefe zu Grabenmulden von bis zu 4 m Breite (und geringer Tiefe) führen (bei 3 m Verlegetiefe). Die morphologische Regeneration im Sublitoral ist vergleichbar.

Die Sedimentverdriftung wird von GFN (2012) mit „mittel“ eingeschätzt und wie folgt bewertet: *„Auch wenn (...) keine konkreten Aussagen zum Umfang der Wassertrübung durch den Spülvorgang selbst gemacht werden können, ist festzustellen, dass die Wassertrübung im Wattenmeer durch die Wasserströmungen bei Ebbe und Flut allgemein sehr hoch ist und Beeinträchtigungen durch Trübungsfahnen beim Spülvorgang wahrscheinlich nicht über das für den Lebensraum Wattenmeer natürliche Maß hinausgehen.“* (GFN 2012, S. 26). Dass durch den Spülvorgang aufgewirbelte Sedimente aus dem anoxischen Milieu zu einer messbaren Sauerstoffzehrung führen könnten, wird ebenfalls als äußerst unwahrscheinlich eingeschätzt (ebenda).

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht):

- Tiefgehende Sedimentstörung (Spülgraben) durch Stehendes Spülschwert auf 0,6 m Breite (dreifache Breite Spülschwert) x Länge der Trasse
- Oberflächliche Sedimentstörung durch Böschungsanpassung und Ausbildung einer Grabenmulde von bis zu 6 m Breite (gesamt) bei ≥ 4 m Verlegetiefe, 2 m Breite bei 1,7 m Verlegetiefe. Die Breite der Grabenmulde entspricht demnach in etwa dem 1,333-fachen der Eingabetiefe (um die Wirkbreite zu erhalten ist der Spülgraben abzuziehen).
- Aufwirbelung von Sediment und Deposition im Seitenraum von nennenswerter Dimension ist eher zu vernachlässigen und wenn entsprechend maximal mit 3 m beiderseits der Grabenmulde anzusetzen.

Bei der Bilanzierung sind die oben unterschiedenen Wirkzonen jeweils auf den nächsten halben Meter aufgerundet in Ansatz zu bringen, um auf der sicheren Seite zu sein.

3.3.8 Mass Flow Excavator (MFE)

Allgemeine Charakterisierung

Ein MFE arbeitet prinzipiell wie ein Schleppkopfsaugbagger (Hopperbagger) mit dem Unterschied, dass am Rohrende kein Sediment eingesaugt wird, sondern stattdessen mit geringem Druck und hohem Wasserdurchsatz der Gewässergrund „verflüssigt“ (fluidisiert) und teils auch erodiert bzw. ausgespült wird (Abbildung 25, Abbildung 26). Der MFE verspült das gelagerte Sediment seitlich und unter dem (auf-) liegenden Kabelbündel, so dass dieses im Spülgraben tiefer sinkt, sobald der Spülkopf des MFE über das Kabel gefahren ist. Ein MFE kann auch als Nachspülgerät eingesetzt werden.



Abbildung 25: Rotech T8000

Quelle: <http://subseaworldnews.com/2012/11/21/uk-reef-subsea-completes-seabed-excavation-job-for-centrica/>



Abbildung 26: Spüldüse (jet nozzles) des Mass Flow Excavators

Erläuterung: Das nach oben gerichtete Rohrende dient der Stabilisierung des nach unten gerichteten Spülrohrs. Durch den nach oben gerichteten Wasserstrahl wird das Spülrohr am Gewässergrund stabilisiert.

Quelle: Van Oord

Die Breite des zunächst entstehenden Spülgrabens hängt schlussendlich von der Gerätekonfiguration, vom Spüldruck, dem anstehenden Sediment (im Sublitoral meist Fein- bis Mittelsande), der Seitenströmung und der zu erzielenden Verlegetiefe ab und ist damit variabel.

Je feiner das Sediment und je stärker die Strömung desto höher der Austrieb und Anteil an der seitlichen Verfrachtung bzw. der Dauer der Suspension in der Wassersäule (umgekehrt bei mittel- bis grobsandigen Fraktionen).

Nach dem Einsatz verbleibt über dem Spülgraben eine Grabenmulde. Durch die in der Nordsee vorherrschende beachtliche West-Ost-Strömung und sehr hohe grundnahe Morphodynamik wird die "Relief-Änderung" am Gewässergrund binnen Tagen spätestens Wochen, längstens nach dem nächsten Sturm völlig nivelliert sein. Selbst wenn alles Sediment theoretisch aus dem Spülgraben ausgetrieben und das Kabel am "Grabenboden" ohne Überdeckung liegen würde, würde es sehr schnell einsedimentieren.

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht):

- Tiefgehende Sedimentstörung (Spülgraben) durch MFE mit 5 - 15 m Breite (im Mittel 10 m) x Länge der Trasse
- Oberflächliche Sedimentstörung durch:
 - Nachrutschen der Böschungen zum Spülgraben (Ausbildung einer Grabenmulde)
 - Ggf. randlicher Sedimentauftrag (teilweise in Grabenmulde abgerutscht)

Als Wirkbreite wird bei einer Verlegetiefe von 3,0 m je Grabenseite 5 m (zusammen 10 m) angesetzt.

Bei der Bilanzierung sind die oben unterschiedenen Wirkzonen jeweils auf den nächsten halben Meter aufgerundet in Ansatz zu bringen, um auf der sicheren Seite zu sein.

3.3.9 Airlift

Allgemeine Charakterisierung

Der Airlift ist geeignet für post lay burial Verlegung, oder kommt bei der Kampfmittelräumung zum Einsatz (Abbildung 27). Mit dem Airlift wird das Sediment mittels Lufthebeverfahren aus dem Verlegebereich gefördert.

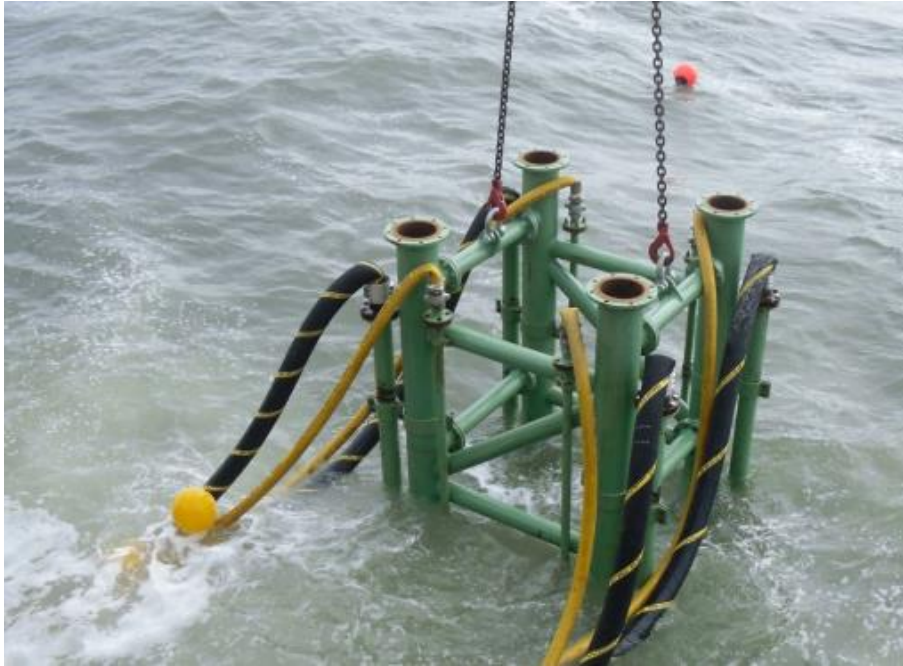


Abbildung 27: Airlift (4fach)

Erläuterung:

Die komprimierte Luft wird über die gelbe Schläuche eingeblasen, aus den großen grünen Rohren tritt das beim Wiederaufstieg mitgerissene Wasser-Sediment Gemisch aus.

Quelle:

Es werden auch einfache Airlifts (1 Rohr) eingesetzt.
Bohlen und Doyen

Wirkungen

Es wird zunächst komprimierte Luft in die unmittelbare Nähe des Gewässergrunds eingeblasen, welche dann beim Wiederaufstieg ein Wasser-Sediment Gemisch mitreißt.

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht:

- Tiefgehende Sedimentstörung im durch den Airlift entstandenen Spülgraben mit dreifacher Breite des Airlifts x Länge der Trasse
- Oberflächliche Sedimentstörung durch Nachrutschen der Böschungen zum Spülgraben (Ausbildung einer Grabenmulde), Die Breite der Grabenmulde entspricht in etwa dem 1,333-fachen der Eingabetiefe (Um die Wirkbreite zu erhalten ist der Spülgraben abzuziehen).
- Ggf. zu berücksichtigen ist die Sedimentverwirbelung durch das austretende Wasser-Sediment Gemisch

Bei der Bilanzierung sind die oben unterschiedenen Wirkzonen jeweils auf den nächsten halben Meter aufgerundet in Ansatz zu bringen, um auf der sicheren Seite zu sein.

3.3.10 Spüllanze

Allgemeine Charakterisierung

Die Spüllanze verfügt über zwei Düsen, die links und rechts vom Seekabelsystem positioniert werden (Abbildung 28). Das Seekabel kann mit Hilfe von Sensorik, die im unteren Lanzenbereich montiert ist, geortet werden. Durch den Lanzenschaft wird über einen angeschlossenen Wasserschlauch ein hoher Wassermassenstrom befördert, der sich im unteren Schaftbereich in zwei Flussrichtungen aufteilt. Der Durchmesser des Gabelausganges ist an der Außenseite verjüngt. Durch die Reduzierung des Austrittsquerschnittes wird eine höhere Durchflussgeschwindigkeit erzeugt.

Im Spülbereich wird durch den hohen Druck und durch die hohe Fließgeschwindigkeit des Wassers der Meeresboden verflüssigt. Der Meeresboden hat in diesem Zustand keine Tragfähigkeit mehr, so dass das Kabel mit seinem Eigengewicht tiefer in dem Meeresboden absinkt.



Abbildung 28: Hydraulikbagger mit Spüllanze

Quelle: Bohlen & Doyen

Wirkungen

Die Spüllanze ist ca. 1 m breit. Im Spülgraben kommt es durch den Spülwasserdruck zur Fluidisierung des Sediments und zur Turbation der gelagerten Schichten.

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht):

- Tiefgehende Sedimentstörung durch Spüllanze auf 3 m Breite (Spülgraben = dreifache Breite der Spüllanze) x Länge der Trasse
- Oberflächliche Sedimentstörung durch:
 - Nachrutschen der Böschungen zum Spülgraben (Ausbildung einer Grabenmulde)
 - Ggf. randlicher Sedimentauftrag (teilweise in Grabenmulde abgerutscht)

Die Breite der Grabenmulde entspricht demnach in etwa dem 1,333-fachen der Eingabetiefe (um die Wirkbreite zu erhalten ist der Spülgraben abzuziehen).
- Laterale Sedimentumlagerung, Trübung, Deposition im Seitenraum und Überlagerung von natürlich anstehendem Sediment auf 3 m Breite beiderseits x Länge der Trasse.

Bei der Bilanzierung sind die oben unterschiedenen Wirkzonen jeweils auf den nächsten halben Meter aufgerundet in Ansatz zu bringen, um auf der sicheren Seite zu sein.

3.3.11 Air-Lanze (Modifizierte Spüllanze)

Allgemeine Charakterisierung

Bei der Air-Lanze handelt es sich um eine modifizierte Spüllanze. Die Modifikation der Spüllanze besteht aus der Installation eines Saugrohres, welches sich am Ende zu zwei Saugschläuchen aufteilt (Abbildung 29). An die Saugleitung ist eine Druckluftleitung angeschlossen, welche zu mit einem Kompressor verbunden ist. Der Kompressor drückt Luft in die Saugleitung. Dadurch entsteht ein Unterdruck und Wasser bzw. ein Wasser-Sand-Gemisch wird angesaugt (Lufthebeverfahren, vgl. Airlift Kap. 3.3.9). Das Wasser-Sand-Gemisch wird über der Wasseroberfläche ausgestoßen.

Gleichzeitig wird im Spülbereich durch hohen Druck und durch hohe Fließgeschwindigkeit des Wassers der Meeresboden verflüssigt. Der Meeresboden hat in diesem Zustand keine Tragfähigkeit mehr, so dass das Kabel mit seinem Eigengewicht tiefer in dem Meeresboden absinkt.



Abbildung 29: Air-Lanze (Modifizierte Spüllanze)

Quelle: Bohlen und Doyen

Wirkungen

Durch das zusätzliche Lufthebeverfahren soll überschüssiger Sand über dem Kabel abgesaugt werden und so das Einspülen des Kabels begünstigen. Somit wird ein Teil des Sediments abgesaugt (abhängig vom Einstrom komprimierter Luft), überwiegend wird das Sediment fluidisiert und es entsteht ein Spülgraben.

Das Wasser-Sand-Gemisch, was bei diesem Gerätetyp oberflächennah ausgestoßen wird, wird zu einer kurzzeitigen lokalen Trübung führen und schnell absinken. Hierdurch sind lediglich geringfügige Überdeckungen am Gewässergrund zu erwarten, die voraussichtlich zu keiner nachhaltigen Störung des Benthos führen.

Die Spüllanze selbst ist ca. 1 m breit. Im Spülgraben kommt es neben dem Sedimentaustrag durch den Spülwasserdruck zur Fluidisierung des Sediments und zur Turbation der gelagerten Schichten.

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht:

- Tiefgehende Sedimentstörung durch Spüllanze auf 3 m Breite (Spülgraben = dreifache Breite modifizierte Spüllanze) x Länge der Trasse
- Oberflächliche Sedimentstörung durch:
 - Nachrutschen der Böschungen zum Spülgraben (Ausbildung einer Grabenmulde)
 - Ggf. randlicher Sedimentaufrag (teilweise in Grabenmulde abgerutscht, teilweise durch die Modifizierung abgesaugt)

Die Breite der Grabenmulde entspricht in etwa dem 1,333-fachen der Eingabetiefe (um die Wirkbreite zu erhalten ist der Spülgraben abzuziehen).

- Ggf. zu berücksichtigen sind die laterale Sedimentumlagerung, Trübung, Deposition im Seitenraum und Überlagerung von natürlich anstehendem Sediment auf 3 m Breite beiderseits x Länge der Trasse, sowie Sedimentverwirbelung durch das austretende Wasser-Sand-Gemisch

Bei der Bilanzierung sind die oben unterschiedenen Wirkzonen jeweils auf den nächsten halben Meter aufgerundet in Ansatz zu bringen, um auf der sicheren Seite zu sein.

3.3.12 Dredge Operating Pump

Allgemeine Charakterisierung

Die Bagger-Tauchpumpe (Dredge Operating Pump) wird mittels Kran oder Bagger vorsichtig in horizontaler und vertikaler Richtung hin- und her bewegt, um die gewünschte Baggertiefe zu erreichen (Abbildung 30). Die Pumpe muss dabei mit Wasser bedeckt sein. Durch die Bagger-Tauchpumpe wird das umgebende Wasser gleich einem Strahl nach unten gerichtet um damit Sediment aufzuwirbeln, welches dann abgesaugt wird.



Abbildung 30: Beispiel einer Dredge Operating Pump (DOP) in Testbetrieb

Quelle: Bohlen & Doyen

Wirkungen

Der entstehende Graben ist abhängig von der Größe des Saugkopfes und der ausgeführten Bewegungen desselben.

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht:

- Tiefgehende Sedimentstörung durch Bagger-Tauchpumpe im Spülgraben mit dreifacher Breite des Saugkopfes x Länge der Trasse
- Oberflächliche Sedimentstörung durch Nachrutschen der Böschungen zum Spülgraben (Ausbildung einer Grabenmulde), Die Breite der Grabenmulde entspricht in etwa dem 1,333-fachen der Eingabetiefe (um die Wirkbreite zu erhalten ist der Spülgraben abzuziehen).

Bei der Bilanzierung sind die oben unterschiedenen Wirkzonen jeweils auf den nächsten halben Meter aufgerundet in Ansatz zu bringen, um auf der sicheren Seite zu sein.

3.4 Ankerpositionierungen und Kreuzungsbauwerke

3.4.1 Ankerpositionierungen

Allgemeine Charakterisierung

Bei z.T. nur geringen Wassertiefen kommt anstelle eines motorisierten Verlegeschiffs eine Verlegebarge zum Einsatz, die mittels eines Zugankers auf der Trasse und maximal vier seitlich ausgebrachten Positionsankern bewegt wird (im Nearshorebereich meist zwei, im Offshorebereich meist drei Anker). Die positionsgenaue Kabelverlegung wird durch den Einsatz einer entsprechenden Anzahl von Schub- und Schleppschiffen unterstützt. Insgesamt benötigen die Verlegegeräte einen Arbeitskorridor von 500 m, der sich aus beidseitigen Arbeitsstreifen von je max. 250 m zusammensetzt. In diesem Korridor kann bei entsprechenden Witterungs- und Strömungsverhältnissen das Setzen von Positionsankern (tonnenschwere Anker von bis zu 3 m Breite) nötig werden.

Wirkungen

Die Positionsanker ziehen sich bis zu 0,5 m tief und auf einer Strecke von bis zu 10 m durch das Sediment, bis sie stabil positionieren. Es wird im „Worst Case“ von 4 Positionsankern ausgegangen, deren neue Positionierung auf der Trasse alle 600 m erfolgt.

Die Wirkungen der Positionsanker sind mit Durchmischung und Gefügestörung der Sedimente verbunden, vergleichbar den Wirkungen beim Räumen des Arbeitsbereichs mit Suchankern (vgl. Kap. 3.1). Die Aufwirbelung von Sedimenten und deren Deposition im Seitenraum wird in diesem Fall nicht berücksichtigt, weil im Ansatz mit vier Positionsankern bereits der „Worst Case“ abgebildet ist, so dass das Sediment nicht auf längerer Strecke durchwühlt und aufgewirbelt wird. Im Weiteren wird davon ausgegangen, dass die Positionsanker im Misch- und Schlickwatt nur bei Hochwasser mittels Schlepper ausgebracht und positioniert werden. Beim Ausbringen der Anker bzw. Ankerseile mit dem Wattlebagger entstehen ansonsten zusätzliche Fahr- und Schleifspuren im Watt.

Die Ankerseile können großflächig Abrasionserscheinungen der Wellenrippeln verursachen und die Epifauna schädigen. Bei der Netzanbindung HelWin1 waren im Sandwatt die Spuren nach ein bis zwei Tiden nicht mehr sichtbar (GFN 2012). Grundsätzlich wird empfohlen, statt Stahlseilen die leichteren Polypropylenleinen für die Positionsanker zu verwenden (GFN 2012, S. 68).

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht):

- Tiefgehende Durchmischung und Gefügestörung durch Positionsanker (im Worst Case vier Anker) auf einer Fläche von Ankerbreite x 10 m Strecke je Ankervorgang
- Ggf. Oberflächliche Sedimentstörung durch Abscheren und Durchmischen des Sediments durch Ankerseile.

3.4.2 Kreuzungsbauwerke für vorhandene Kabel und Leitungen

Allgemeine Charakterisierung

Kreuzungsbauwerke sind bei zu kreuzenden Kabeln und Leitungen notwendig, um a) ein vorhandenes Kabel gegen das neue Kabel und b) das neue Kabel gegen äußere mechanische Schäden zu schützen. Zunächst werden auf das vorhandene Substrat, in dem eine vorhandene Leitung liegt, lagegenau

zentral auf der Achse Betonmatratzen (Mattressing) mit den Maßen 3 x 6 m (bis 10 m) ausgelegt. Das neue Kabel soll die somit geschützte vorhandene Leitung möglichst rechtwinkelig queren.

Das neue Kabel wird im Anschluss mit einer Steinschüttung (aus unverwittertem Gneis, 10 – 30 cm Korngröße) von ca. 0,5 m bis 1,25 m Überdeckung gegen äußere mechanische Schäden geschützt, weil es im Bereich der Kabelquerung nicht in die entsprechend nötige Verlegetiefe gebracht werden kann.

Wirkungen

Je nach geplanter Verlegetiefe beiderseitig der Leitungskreuzung, der Lage des Kabels (z.B. im VTG) und der notwendigen Schütthöhe sind die Kreuzungsbauwerke unterschiedlich groß dimensioniert. Regelmäßig ist jedoch von einer Breite von bis etwa 10 m auszugehen (hier gewählter Ansatz). Entsprechend der nötigen Länge der Steinschüttung variiert die betroffene Grundfläche zwischen 600 m² bis 900 m² (es wird von 900 m² ausgegangen). Die Wirkungen sind dauerhaft.

Neben den direkten Effekten der Steinschüttung (Überbauung des Gewässergrunds) können beiderseits der Berme indirekte Wirkungen durch Änderungen der Strömung und der lokalen Hydromorphologie eintreten. Ausgehend von dem Strömungsregime und dem damit verbundenen großräumigen Materialtransport werden durch die Dammkörper lokale Effekte ausgelöst, die räumlich und zeitlich variieren und dabei phasenweise labile Gleichgewichtszustände erreichen können (IMP 2012). Innerhalb des dominanten Transportstromes kann davon ausgegangen werden, dass sich während der stabilen Phasen an der Luvflanke der Berme begrenzte Sedimentationsbereiche und auf der Leeseite entsprechend Erosionsbereiche bilden, die mit bis zu 10 m (je Bermenseite) abgeschätzt werden. Die Wirkungen sind dauerhaft und betreffen in erster Linie die Zusammensetzung des Sediments.

Die Anzahl der Kreuzungsbauwerke hängt von der Anzahl zu kreuzender Kabel und Leitungen ab.

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht:

- Einbau von inertem Hartsubstrat (Beton, Steinschüttung) mit Änderung der Struktur des Gewässergrunds auf einer bestimmten Fläche (Breite (bis 10 m) x Länge (bis 90 m))
- Sedimentation und Erosion mit Änderung der Sedimentzusammensetzung mit bis zu 10 m (je Bermenseite)

3.5 Muffen

Allgemeine Charakterisierung

Die einzelnen Teilabschnitte des Kabels werden an ihren Enden mittels Seemuffen verbunden. Die Installation der Muffen dauert ca. 7 Tage, in denen das Schiff die Position sicher halten muss. Bei der anschließenden Ablage der Muffen auf dem Meeresboden wird zwischen sogenannten Inline- und Omega-Muffen unterschieden. Die Inline-Muffe wird in Linie mit dem Kabel auf dem Meeresboden abgelegt und eingespült. Für die Einspülung wird im Worst Case der Mass-Flow-Excavator (MFE) angenommen. Bei der Omega-Muffe wird, bedingt durch entstandene Überlänge des Kabels (mindestens zweifache maximale Wassertiefe), die Muffe links oder rechts neben der Trasse abgelegt. Die entstandene Überlänge wird in Form eines Omega (Ω) abgelegt und eingespült. Sollte das Einspülen durch ein anderes Schiff durchgeführt werden, wird die Muffe bis zum Einspülen durch ein Verkehrssicherungsschiff bewacht.

Abhängig von der Reihenfolge und Richtung, in der die einzelnen Verlegabschnitte abgearbeitet werden, kommt eine der beschriebenen Muffenverbindungen bzw. Muffenablage zum Einsatz.

Wirkungen

Die Wirkungen sind letztlich von der eingesetzten Verlegetechnik abhängig. Zu beachten ist, dass die Herstellung ca. 7 Tage dauert, während das Schiff die Position sicher halten muss (Positionsanker). Ggf. ist es zudem erforderlich, die auf dem Gewässergrund abgelegten Muffen bis zum Einspülen auf die Verlegetiefe mit Wachbooten zu bewachen.

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht:

- Je Muffeninstallation werden pauschal Störungen des Gewässergrunds auf 50 m Länge und 6 m Breite angesetzt

3.6 Horizontalbohrung (HDD)

Allgemeine Charakterisierung

Als geschlossenes Bauverfahren ermöglicht die gesteuerte Horizontalbohrtechnik die Unterquerung längerer Bereiche ohne oberflächennahe Bautätigkeiten. Jede HDD Baustelle ist einzelfallbezogen unterschiedlich. Grundsätzlich lassen sich folgende zwei Vorhabensbereiche unterscheiden: Land- und (meist) wattseitige Baustelle. Erstere ist i.d.R. der Startpunkt der HDD-Bohrung.

Das Bohrgerät wird auf der landseitigen BE-Fläche installiert und mittels Spundwänden, die als Widerlager fungieren und vor dem Bohrgerät in den Boden gerammt oder einvibriert werden, in der Lage gesichert. Anschließend wird mit verschiedenen Bohrgestängen ein Bohrkanal hergestellt. Während der Bohrung wird stetig eine Bentonit-Bohrspülung verpumpt, die den Bohrkanal stabilisiert. In den bestehenden Bohrkanal wird dann mit Hilfe des Bohrgeräts (i.d.R.) ein Leerrohr/Kabelschutzrohr eingezogen. Abschließend wird der Ringraum um das Leerrohr mit aushärtender Verdämmer-Bohrspülung verdichtet. Während der Bohrvorgangs wird die Position des Bohrohrkopfes über ein spezielles Messinstrument gemessen. Für dieses Messverfahren ist eine Messschleife auf der Geländeoberfläche vom Bohreintrittspunkt (Land) zum Bohraustrittspunkt (Watt) und zurück, in einem Abstand von ca. 50 m zueinander zu verlegen. Nach Abschluss der Pilotbohrung werden die Messschleife und die Markierungen wieder entfernt (fußläufig durch eine Person). Alternativ bestehen weitere Überwachungstechniken (z.B. Kreiselkompass), deren Verfügbarkeit jedoch eingeschränkt ist.

Wasserseitig ist die Einrichtung einer Arbeitsfläche für die Erfüllung der folgenden Aufgaben notwendig:

- Sicherung des Bohraustrittspunktes gegen Bentonitaustritt während des Bohrvorgangs
- Sicherung des Bohrkanals gegen den Eintrag von Salzwasser und einem damit verbundenen negativen Einfluss auf die Bohrkanalstabilität
- Durchführung von Gestänge- und Werkzeugwechsel während des Bohrvorgangs
- Zwischenlagerung der erforderlichen Bohrgestänge und Bohrwerkzeuge
- Zwischenlagerung der Schutzrohrstränge bis zum Einzug in die Bohrung
- Durchführung der erforderlichen Prüf- und Sicherungsmaßnahmen für den eingezogenen Rohrstrang
- Lagerung von Material, Geräten und Aufenthalt von Personal für die Überwachung und Eingrenzung möglicher Spülsaustritte

Alle geplanten Baumaßnahmen werden bei Lage in oder in der Nähe zu Schutzgebieten (Nationalpark, Vogelschutzgebiet) meist in der Zeit zwischen dem 15.07. und dem 30.09. eines Jahres – außerhalb der Hauptbrut- und Aufzuchtzeit – geplant und durchgeführt.

Wirkungen der landseitigen Baustelle

Für die Baustelleneinrichtungsfläche (BE-Fläche) und die Zufahrt werden die oberen 40 cm Oberboden (Mutterboden) abgeschoben und lagegerecht in Bodenmieten angelagert (Oberbodenmiete). Nach Einbau ggf. Sand, Trennvliesen und Geogittern werden die Flächen geschottert (40 cm Schicht) und somit teilversiegelt. Der spätere Baubetrieb erfordert Baucontainer, Lagerflächen, gedichtete Spülflüssigkeitslagunen etc., so dass die Grundflächenbeanspruchung in mindestens diesen Bereichen als Vollversiegelung anzusehen ist, vorsorglich werden 5.000 m² angesetzt. Sobald die Flächen nicht mehr benötigt werden erfolgt der ordnungsgemäße Rückbau.

Neben dem Bohr- und sonstigem landseitigen Bauablauf wird ein bis zu 2 m breiter Kabelgraben in offener Bauweise für Steuerkabel und Lichtwellen-Leiter (LWL) gezogen. Der nebenseitige Arbeitsstreifen für die Bagger und die lagegerechte Zwischenlagerung des Bodenaushubs ist 10 m breit. Nach Einzug des LWL-Kabels wird der Graben wieder durch lagerechten Einbau des Bodens verschlossen. Die Arbeiten werden lediglich wenige Tage andauern.

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt in Anspruch genommenen landseitigen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht:

- Baustelleneinrichtungsfläche (BE-Fläche), rund 10.000 m², davon 5.000 m² teilversiegelt
- 6 m breite Zufahrt (Baustraße)
- bis zu 4 m hohe Oberbodenmiete
- Übergabestation (LWL Containerfläche), rund 100 m²
- Kabelgraben und (meist rund 10 m breiter) Arbeitsstreifen zum Lichtwellenleiter (LWL) Container

Es gelten die Flächenmaße aus der Baubeschreibung.

Wirkungen der typischen Baustelle außendeichs im Watt

Um im Fall von Spülsaustritten mit einem Bagger ins Watt fahren zu können und sich dabei möglichst innerhalb der genehmigten Flächen zu bewegen geht die BE-Fläche im Austrittsbereich im Watt (5.000 m²) über die Flächen des Arbeitspontons (Arbeitsebene) und der Spundwandkästen (Umschließung der Baustellenfläche Bohraustritt oder Schwimmenden Baugrubenumschließung (SBU)) hinaus. Die Spundwandkästen bzw. die Spundbohlen der SBU werden in den Wattboden eingepresst bzw. eingerammt/einvibriert. Da die Spundbohlen ca. 80 cm in den Wattboden eindringen und wird ein

eindringen von Seewasser weitestgehend verhindert. In Verlängerung der Bohrungen wird ggf. eine Dalbenreihe hergestellt (meist 75 m Abstand untereinander), um die per Schiff angelieferten, bis zu 1000 m langen Stränge der Kabelschutzrohre (KSR) bis zum Einzug in die hergestellten Bohrlöcher zwischenzulagern. Die Dalben werden mit schwimmenden Geräten eingebaut (einviertelt ggf. mit manuellen Spüllanzen unterstützt), um eine sichere Befestigung der Rohrstränge zu gewährleisten. Nach Abschluss der Arbeiten werden die Dalben wieder gezogen. Alternativ kann ggf. auf ein Setzen von Dalben verzichtet werden. Stattdessen wird das KSR per Schiff eingeschwommen und direkt für den Einzug vorbereitet.

Zur Sicherung gegen Auftrieb der Schutzrohrenden (PEHD-Rohre), nach Einzug des KSR, bis zum Kabeleinzug werden diese im Wattbereich mit Betonelementen o. ä. gesichert und auf eine Tiefe von ca. 1,5 m eingegraben (abgelegt). Im Fall einer Verwendung von Stahlrohren werden diese bis zum Kabeleinzug aufgeständert. In beiden Fällen sind zwei Baugruben im Eulitoral erforderlich, die in offener Bauweise hergestellt werden und in den Flächen der Spundwandkästen liegen.

Für den Kabeleinzug werden die Schutzrohrenden freigelegt und neue offene Baugruben erforderlich, die ggf. außerhalb der durch die Spundwandkästen betroffenen Grundflächen liegen. Im Fall der Aufständigung bei Stahlrohren werden die Rohre bis auf Verlegetiefe freigegeben. Die Baugruben bzw. die Bohraustrittspunkte sind meist 20 m bis 30 m voneinander entfernt. Die Zusammenführung der eingezogenen Kabel mit den Kabeln des folgenden Bauabschnitts erfolgt in einer ca. 50 m langen offenen Baugrube.

Hinsichtlich der direkten Wirkungen werden die baubedingt im Watt in Anspruch genommenen Grundflächen wie folgt in Ansatz gebracht:

- Baustelleneinrichtungsfläche (BE-Fläche Watt), rd. 5.000 m²
- In der Regel Baustellenumschließungen in Form von in den Wattboden eingebrachten Spundwandkästen, jeweils 250 m²
- über mehrere Wochen trockenfallende Pontons als
 - Arbeitsebene (Arbeitsponton) vor den Spundwandkästen 700 m²
 - Fähre (Fährponton, elektrisch betrieben) für Materialtransporte zum Arbeitsponton, 500 m²
 - Ebene zum Überladen von Material von Schiff auf Fährponton (Anlegeponton), 700 m²
- Ggf. Dalbenreihe (Ein- und Rückbau) je 3 m² pro Dalbe
Lage der Rückspüleleitung im Watt (Länge in m x Breite + evtl. Lageänderung)
- 2 - 3 Baugruben (je 75 m²) im Eulitoral zum Einzug der Kabel
- Zusammenführen der Kabel in offener Bauweise (je 50 m Länge; Graben und seitliche Deposition des Sedimentaushubs) und Herstellung einer Baugrube am Übergabepunkt zum nächsten Bauabschnitt, insgesamt rund 1.600 m² [50 x 15 m x 2 + 75 m² Baugrube = 1.575 m²]

4 Literatur

- BioConsult 2010a. Verlegung des Drehstromkabels Alpha Ventus im Nationalpark Nds. Wattenmeer: Auswirkungen auf das Benthos. Untersuchungen Oktober 2008 bis Oktober 2009. Bericht i.A. transpower offshore GmbH [später TenneT Offshore GmbH].
- BioConsult 2010b. Verlegung des Gleichstromkabels BorWin1 im Nationalpark Nds. Wattenmeer: Auswirkungen auf das Benthos 2. Zwischenbericht: Kartierung Oktober 2009 und Juni 2010. Bericht i.A. transpower offshore GmbH [später TenneT Offshore GmbH].
- BioConsult 2012. Verlegung des Gleichstromkabels BorWin1 im Nationalpark Nds. Wattenmeer: Auswirkungen auf das Benthos 3. Zwischenbericht: Probenahmen Oktober 2009, Juni 2010 und Mai 2011. Bericht i.A. TenneT Offshore GmbH.
- Ecoplan 2009a. Netzanbindung OWP Alpha Ventus im Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer. Wattboden-Monitoring 2008 – 2009. Abschlussbericht i.A. E.ON Netz Offshore GmbH [später TenneT Offshore GmbH].
- Ecoplan 2009b. Naturschutzfachliche Projektbegleitung. Netzanbindung des Offshore-Windparks „Alpha Ventus“ im Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer – Teilprojekt Kabelverlegung 2008 – Teil B und C.
- Ecoplan 2009c. Naturschutzfachliche Projektbegleitung. Netzanbindung „BorWin1“ im Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer – Teilprojekt Kabelverlegung 2009 – Teil C.
- Ecoplan 2011. Netzanbindung OWP Alpha Ventus im Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer. Wattboden-Monitoring Nachtrag 2011. Bericht i.A. TenneT Offshore GmbH
- GFN (Gesellschaft für Freilandökologie und Naturschutzplanung mbH) 2012. Kabelverlegung HelWin1. Dokumentation der biologischen Baubegleitung. Verlegung des Wattkabels. Bericht vom 14.03.2012
- IBL Umweltplanung. 2012. Netzanbindung von Offshore-Windparks - Orientierungsrahmen Naturschutz für Anschlussleitungen im Abschnitt Seetrasse. Teil I - Festlegungen für die naturschutzfachlichen Unterlagen. Teil II - Begründungen und Erläuterungen. Erläuterungsbericht (Stand September 2012) im Auftrag der TenneT Offshore GmbH.
- ICPC Recommendation. 2007. Recommendation No. 10. The Minimum Requirements for Load and Lay Reporting and Charting, Issue 2A, 26 January 2007.
- IMP 2011. Ingenieur Büro Manzenrieder & Partner. Auswirkungen des Rockdumpings auf die Strömungsverhältnisse im Vorhabensgebiet.
- Schröder, A.; Gutow L.; Gusk M. 2008. Auswirkungen von Grundschieppnetzfischereien sowie von Sand- und Kiesabbauvorhaben auf die Meeresbodenstruktur und das Benthos in den Schutzgebieten der deutschen AWZ der Nordsee (MAR 36032/15) Abschlussbericht für das Bundesamt für Naturschutz (BfN) Juni 2008. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven

Videos (links)

http://www.globalmarinesystems.com/Capabilities/subsea_cable_installation#watchvid

http://www.globalmarinesystems.com/Capabilities/subsea_remedial_works

<http://www.youtube.com/watch?v=SXRG5rpYUP4>

<http://www.youtube.com/watch?v=YOGCl5bwew>

<http://www.youtube.com/watch?v=d9tRmJLOCdg>

<http://www.youtube.com/watch?v=SsZiv7yMhAc>

<http://www.youtube.com/watch?v=yiu12lpnmKM> (Nexans CAPJET: Animation)