



Net op zee Ten noorden van de Waddeneilanden

Achtergronddocument techniek

15 mei 2020

Project Net op zee Ten noorden van de Waddeneilanden

Document Achtergronddocument techniek

Status Definitief

Datum 15 mei 2020

Auteur(s) B. van der Linde, V. Schepel, I. Vlasman, L. de Wit

Gecontroleerd door R. van den Boogaard, R. Bijker, J. Groefsema, K. Haans, M. Kranse, E. Mom, R. Passau,
W. Snip, D. Vree, F. de Vries

Goedgekeurd door J. Nijland

Paraaf



Adres

TenneT TSO B.V.
Mariëndaal Centre of Excellence
Utrechtseweg 310, Arnhem
Nederland

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	6
2	ALGEMENE INFORMATIE	8
2.1	Inleiding	8
2.2	Installatiemethodes tracés	8
	2.2.1 Op zee	8
	2.2.2 Op land	16
2.3	Kwantitatieve informatie tracés en transformatorstationlocaties	20
3	TECHNISCHE COMPLEXITEIT AANLEG	22
3.1	Inleiding	22
3.2	Op zee	22
3.3	Op land	31
3.4	Transformatorstationlocaties	41
4	TECHNISCHE COMPLEXITEIT BEHEER EN ONDERHOUD	51
4.1	Op zee	51
4.2	Op land	52
4.3	Transformatorstationlocaties	52
5	BESCHIKBAARHEID VERBINDING	53
5.1	Op zee	53
5.2	Op land	53
5.3	Transformatorstationlocaties	55
	Laatste pagina	56

Bijlage(n)

Aantal pagina's

I	Tabel beoordelingscriteria op zee	1
II	Tabel beoordelingscriteria op land	1
III	Tabel beoordelingscriteria transformatorstations	1

Afkortingenlijst

BGM	-	Burgum
BZK	-	Binnenlandse zaken en Koninkrijksrelaties
EEM	-	Eemshaven
EZK	-	Economisch zaken en Klimaat
GFT	-	Gesloten front techniek
HDD	-	Horizontal Directional Drilling
HS	-	Hoogspanning
IEA	-	Integrale effectenanalyse
LMB	-	Luftmine B (type niet-ferromagnetische zeemijn)
NAM	-	Nederlandse Aardolie Maatschappij
NEN	-	Nederlandse Norm
NGE	-	Niet gesprongen explosieven
NOZ TNW	-	Net op zee Ten noorden van de Waddeneilanden
OO	-	Open ontgraving
PvE	-	Programma van eisen
ROV	-	Remotely Operated Vehicle
VI	-	Vertical Injector
VKA	-	Voorkeursalternatief
VSS	-	Verkeerscheidingsstelsel
VVL	-	Vierverlaten
WK	-	Westkern Kootstertille
ZRO	-	Zakelijk recht overeenkomst

1

INLEIDING

Het project Net op zee Ten noorden van de Waddeneilanden (hierna: NOZ TNW) heeft tot doel om het nieuw te realiseren windenergiegebied Ten noorden van de Waddeneilanden aan te sluiten op het Nederlandse hoogspanningsnet. In fase 1 van het NOZ TNW project worden negen tracéalternatieven onderzocht (zie Afbeelding 1.1). De ministers van EZK en BZK kiezen één van deze negen tracéalternatieven als het voorkeursalternatief op basis van de informatie uit de integrale effectenanalyse (IEA).

De integrale effectenanalyse presenteert de beslisinformatie om te komen tot een voorkeursalternatief voor de aansluiting van het NOZ TNW. In de IEA zijn de grote en onderscheidende effecten voor het NOZ TNW samengevat: de effecten op milieu, omgeving, techniek, toekomstvastheid en op kosten, per alternatief voor de kabeltracés en transformatorstationlocaties.

Dit rapport presenteert de resultaten van het technisch onderzoek naar de tracéalternatieven en transformatorstationslocatie alternatieven voor het NOZ TNW project¹. Het technisch onderzoek betreft een studie naar de technische haalbaarheid van de netaansluiting, en het in kaart brengen van verschillen en overeenkomsten van de alternatieven. De belangrijkste resultaten van het onderzoek, de beslisinformatie, zijn opgenomen in de IEA.

De onderzoekscriteria voor het technisch onderzoek zijn als volgt gecategoriseerd:

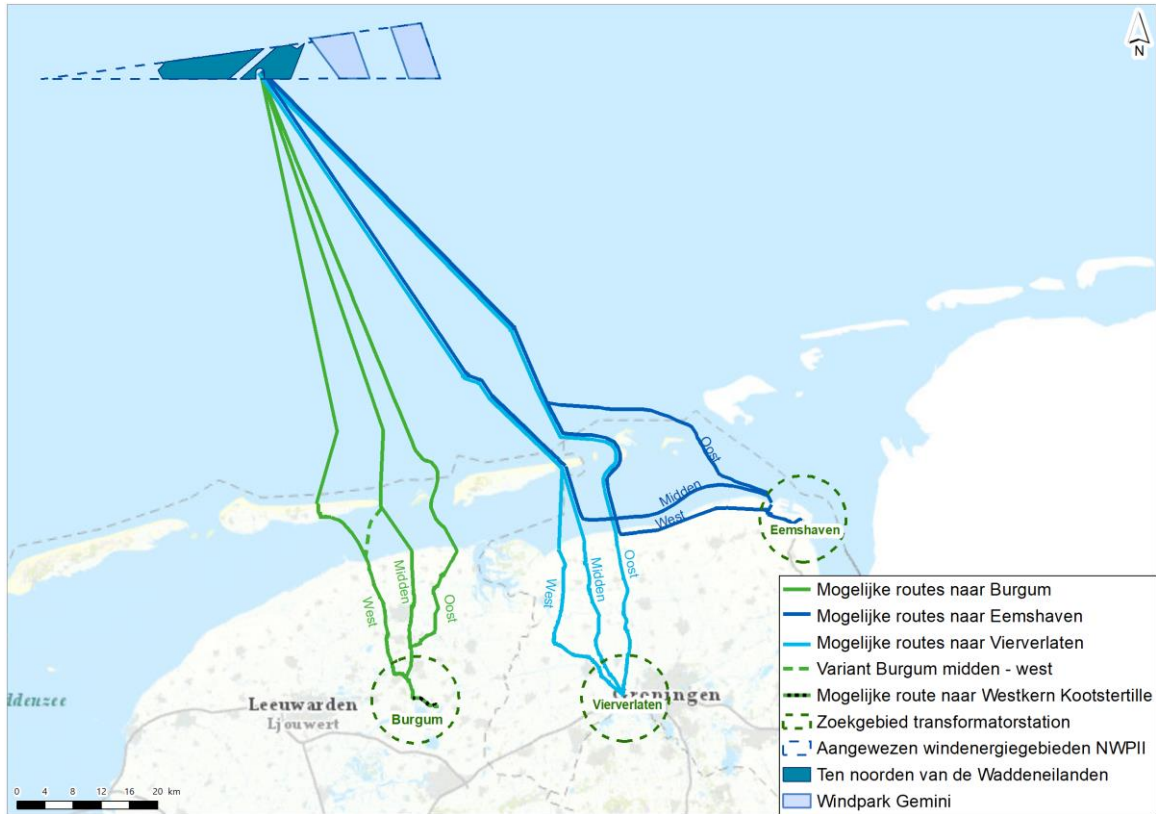
- algemene informatie;
- technische complexiteit aanleg;
- technische complexiteit beheer en onderhoud;
- beschikbaarheid verbinding.

Deze aspecten zijn onderzocht voor het tracé op zee (Noordzee en Waddenzee), het tracé op land en de transformatorstationlocaties op land. Het transformatorstation op zee is niet opgenomen in de het onderzoek, omdat deze gelijk is voor alle alternatieven.

De vier hierboven benoemde aspecten worden achtereenvolgens beschreven in Hoofdstuk 2 tot en met Hoofdstuk 5. Bijlagen I, II en III tonen respectievelijk voor de tracés op zee, de tracés op land en de transformatorstationlocaties een totaaloverzicht van de beoordeling van alle technische criteria.

¹ Netstrategie wordt bij het thema toekomstvastheid in de IEA toegelicht.

Afbeelding 1.1 Negen tracéalternatieven voor NOZ TNW



2

ALGEMENE INFORMATIE

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de mogelijke installatiemethodes langs de verschillende tracéalternatieven en de technische informatie die input vormt voor de andere thema's in de IEA.

2.2 Installatiemethodes tracés

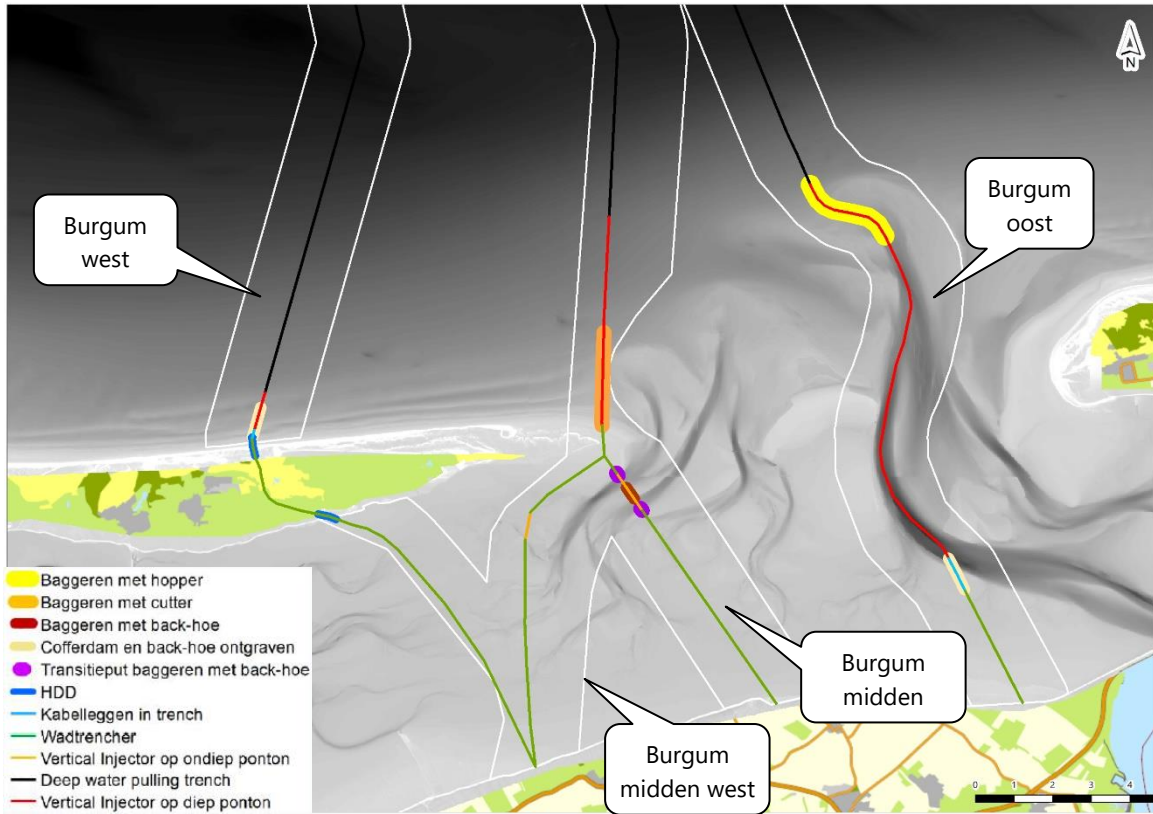
In deze paragraaf worden een aantal gebruikelijke en bekende opties voor installatietechnieken die kunnen worden ingezet bij aanleg van hoogspanningskabels op land en op zee (Noordzee en Waddenzee) beschreven. Het is mogelijk dat er bij de uitvoeringswerkzaamheden andere installatiemethodes worden ingezet. De markt voor de installatietechnieken is volop in beweging, veel aannemers investeren in nieuw kabelinstallatiematerieel en bestaande methoden en technieken worden voortdurend verder ontwikkeld. Wat in deze paragraaf beschreven is, is een selectie uit de technieken voor de installatie van kabels op zee die in de afgelopen jaren en op dit moment worden ingezet in Nederland en Duitsland. Deze selectie is niet alles omvattend maar bevat de installatiemethoden die relevant worden geacht voor het in kunnen inschatten van de beïnvloeding van de omgeving door de installatie van de kabels.

2.2.1 Op zee

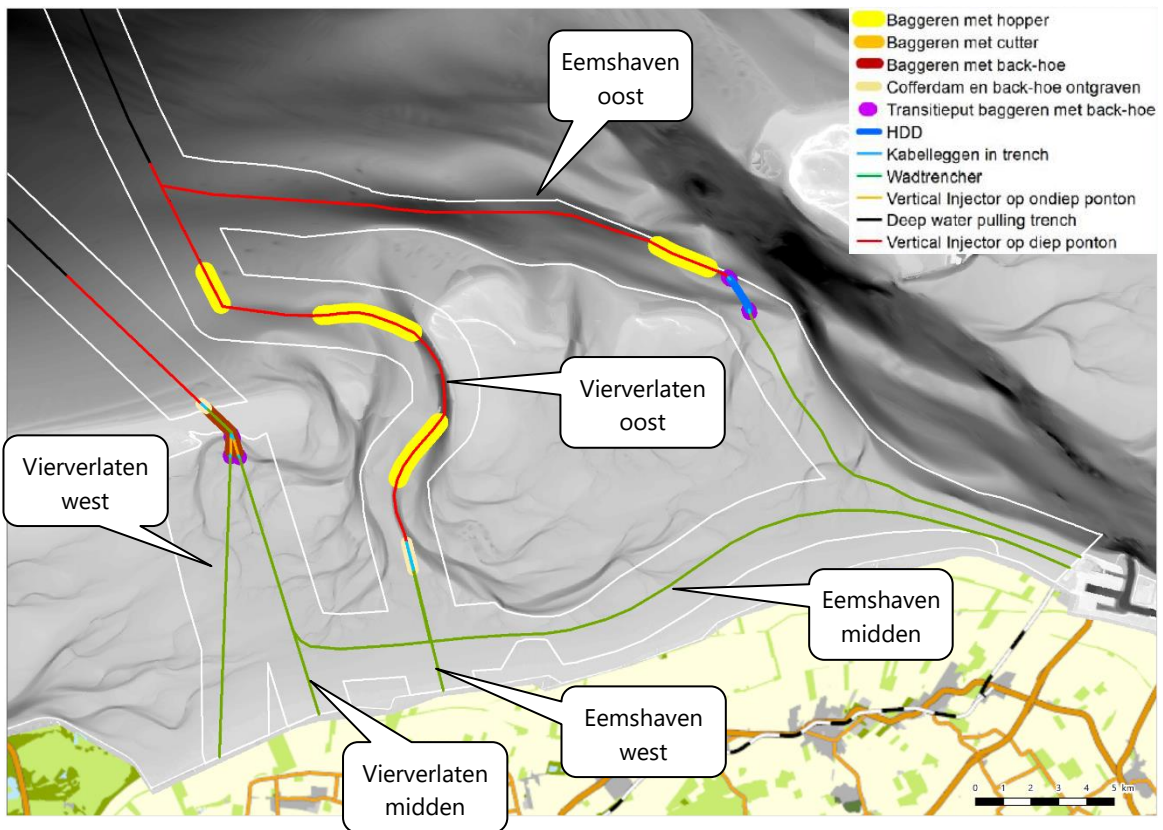
Overzicht installatietechnieken op zee

Afbeelding 2.1 en Afbeelding 2.2 tonen de installatiemethodes voor de tracéalternatieven naar respectievelijk Burgum en Vierverlaten en Eemshaven. De in de legenda genoemde installatiemethoden worden in deze paragraaf kort beschreven.

Afbeelding 2.1 Installatiemethodes op zee voor de tracéalternatieven naar Burgum



Afbeelding 2.2 Installatiemethodes op zee voor de tracéalternatieven naar Vierverlaten en Eemshaven



Beschrijving installatietechnieken - voorbereidende werkzaamheden

Baggeren met hopper

Met een 'hopper' wordt een zelfvarende sleephopperzuiger bedoeld. Een dergelijk baggervaartuig 'sleept' met (vaak twee, maar regelmatig ook één) zuigkoppen over de bodem en zuigt het bodemmateriaal op. Het laadt daarmee het ruim (de hopper) van het schip vol. Wanneer de hopper vol is, vaart het schip naar de stort- of verspreidingslocatie. Daar leegt het schip het ruim en vaart terug voor een nieuwe lading. In dit project wordt de sleepzuiger in twee gevallen ingezet. Er zijn delen van tracés waar onvoldoende diepgang is voor het kabelinstallatievaartuig. In dat geval wordt de sleepzuiger ingezet om een geul voor het installatievaartuig te maken. Er zijn ook delen van tracés waar de vereiste ingraafdiepte van de kabel te groot is voor specifiek kabel-ingraafmaterieel. In dat geval wordt eerst met de sleephopperzuiger een geul gebaggerd tot een diepte waarna de kabel-ingraafmachine de kabel tot op de juiste diepte kan ingraven. De afmetingen van de baggerprofielen die worden gebaggerd hangen samen met het in te zetten installatie materieel, met de lokale grondomstandigheden en ook met de verwachte aanzanding tussen baggeren en kabelinstallatie. Een sleephopperzuiger wordt vooral ingezet om zand, silt en slib te baggeren. Een hopper kan ook zachte klei en veen baggeren, maar dan ligt de productie wel lager dan in zand.

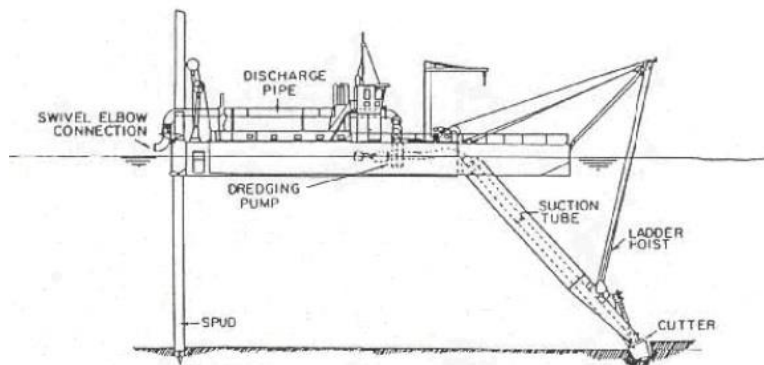
Afbeelding 2.3 Voorbeeld van een relatief kleine sleephopperzuiger met weinig diepgang



Baggeren met cutter

Met een 'cutter' wordt een snijkopzuiger bedoeld. Dat is een baggerapparaat (ponton of schip) dat met behulp van een roterende snijkop, aan het eind van de zuigladder, de grond los 'snijdt' en opzuigt. In tegenstelling tot de 'hopper' wordt het gebaggerde materiaal door middel van drijvende leidingen naar een stort- of verspreidingslocatie gepompt, of in (splits)bakken gepompt die naast de snijkopzuiger worden afgemeerd, die vervolgens zelf-varend of met een sleepboot naar de stort- of verspreidingslocaties worden gebracht. Een snijkopzuiger is een 'stationair' baggerschip dat zich door middel van 'spud-palen' en ankers voortbeweegt. Er zijn delen van tracés waar het niet diep genoeg is voor het installatieschip en ook niet voor de zelfvarende hopperzuiger. In dat geval wordt de snijkopzuiger ingezet. Een snijkopzuiger kan namelijk zijn eigen vaarwater creëren tijdens het baggeren. Een cutter kan zeer uiteenlopende materialen baggeren, van zand, klei en veen tot en met zacht gesteente zoals bijvoorbeeld kalk.

Afbeelding 2.4 Schematische tekening van een cutterzuiger



Baggeren met back-hoe

Met een 'back-hoe' wordt een graafmachine bedoeld die met een grote 'schep' aan een hydraulisch bestuurd arm baggert. Een back-hoe heeft een relatief kleine productie maar is geschikt voor veel soorten materiaal, waaronder klei. Een back-hoe wordt ingezet als er op een relatief kleine locatie gebaggerd moet worden, zoals bij zogenoemde 'transitieputten' (zie hierna) en voor het ontgraven van een kofferdam (zie ook hierna). Een back-hoe kan ingezet worden vanaf een ponton of op voertuig op rupsbanden. Het ponton wordt op z'n plaats gehouden door spud-palen of het kan een 'jack-up' platform zijn, een jack-up platform 'tilt' zichzelf boven water (Afbeelding 2.6). Het gebaggerde materiaal wordt naast de gegraven geul, put of kofferdam gedeponeerd of vervoerd naar een dumplocatie met een (slijt)bak.

Afbeelding 2.5 Voorbeeld van een back-hoe (graafmachine) op ponton



Alternatieve technieken

Alternatieven voor de hierboven beschreven technieken kunnen zijn: het baggeren met een emmerbaggermolen, met 'Mass Flow Excavation' / 'Controlled Flow Excavation' / 'Power Jetting', water injectie baggeren, ploegen en eggen. Die technieken worden minder vaak toegepast en als ze worden toegepast, dan is het in de regel voor zeer lokale werkzaamheden.

Afbeelding 2.6 Voorbeeld van een jack-up platform



Kofferdam

Bij een kofferdam worden in het water stalen damwandschotten geplaatst, waarna de grond tussen de damwanden wordt weggebaggerd (met een back-hoe) tot de gewenste diepte voor de kabel. De kabel wordt er in den natte door getrokken/in gelegd. Het doel van de kofferdammen is het beperken van baggervolumes (er hoeven geen taluds te worden ontgraven) en het voorkomen van het vollopen van de ontgraving met sediment dat door stroming en golven wordt aangevoerd. Zie Afbeelding 2.7 voor een voorbeeld van een aanlanding met een kofferdam.

Afbeelding 2.7 Voorbeeld van een aanlanding met een kofferdam, nabij schip



Beschrijving installatietechnieken - Kabelinstallatie activiteiten

Algemeen

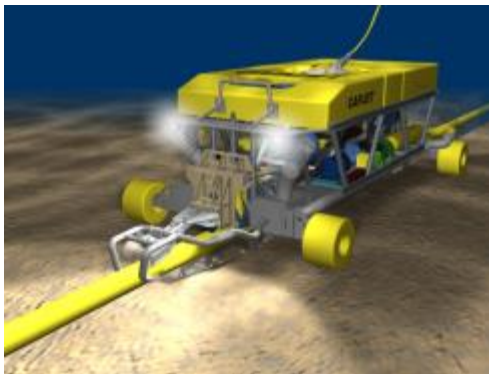
Er bestaat een groot aantal types van machines die kabels kunnen ingraven. Afhankelijk van onder andere de grondcondities, de vereiste ingraafdiepte, de waterdiepte en de golf- en stromingsomstandigheden, en de eigenschappen van de te begraven kabel kan het meest effectieve kabelinstallatie materieel worden gekozen. Bij de uiteindelijke keuze spelen de milieueffecten, de kosten en de marktsituatie (beschikbaarheid van materieel) ook een rol. In deze dit hoofdstuk worden niet alle op de markt beschikbare kabel-ingraafmachines beschreven, maar alleen het voor dit project typisch geachte kabel-ingraafmaterieel. Inzet van ander materieel dan hier beschreven wordt, kan niet worden uitgesloten, alleen al omdat de markt volop in beweging is. De keuze van het hier beschreven materieel wordt geacht een goed beeld te geven van het soort en van de omvang van de beïnvloeding van de omgeving door de installatie werkzaamheden. De

keuze van het beschreven materieel is niet bedoeld om de mogelijkheden voor de installatie anderszins te beperken, zeker niet wanneer andere, bijvoorbeeld nieuwe of verder ontwikkelde, manieren van werken beduidende voordelen bieden.

Diepwater-trencher

Er zijn meerdere apparaten op de markt waarmee kabels onder water kunnen worden begraven. Er zijn verschillende soorten kabelploegen en jet-sleeën en er zijn apparaten die 'trencher' worden genoemd. Kabelploegen en jet-sleeën worden achter een schip of ponton aan over het zeebed gesleept. Een onderwater-trencher is een onderwaterrobot die wordt bestuurd vanaf een schip. De trencher beweegt zich over de reeds gelegde kabel en graaft deze in, of de kabel wordt vanaf een ponton of kabellegschip direct in de trencher geleid. Om de kabel de grond in te krijgen kan het zeebed met water jets (stralen) worden gefluïdiseerd (verweekt) of het zeebed kan mechanisch worden open gefreesd. Wanneer de trencher gebruik maakt van enkel water jets en wanneer de trencher geen zwaard heeft waardoor de kabel naar de gewenste diepte wordt geleid, dan moet de kabel onder en achter de trencher door het eigen gewicht weg zinken in het gefluïdiseerde zeebed. De begraafdiepte die met die methode bereikt kan worden is afhankelijk van de eigenschappen van de kabel (stijfheid, soortelijk gewicht), van het geïnstalleerde jet vermogen van de trencher, van de voortgangssnelheid, van het aantal jet-zwaarden en van de grondomstandigheden.

Afbeelding 2.8 De Capjet, een specifiek voorbeeld van een kabel trencher



Installatie in diepere geulen met de Vertical Injector

Een Vertical Injector (VI) is een kabelbegrafaapparaat waarmee kabels tot een relatief grote diepte in het zeebed kunnen worden begraven. De VI wordt geïnstalleerd op een ponton of een vaartuig, en dat ponton of vaartuig wordt vervolgens met de VI erop voortbewogen en gepositioneerd door positioneringsankers. Een VI bestaat uit een relatief lang metalen 'zwaard' dat door de grond wordt getrokken terwijl het de kabel door de onderkant van de VI wordt geleid. Het meest gebruikelijk is dat bij de inzet van een VI de kabel op hetzelfde ponton mee wordt gevoerd. De kabel wordt dan van het ponton direct door de VI geleid.

Er zijn meerdere apparaten die gebruik maken van een soort zwaard waarmee de kabel wordt begraven. Die zwaarden kunnen het zeebed verweken met behulp van waterjets of trillingen. De zwaarden kunnen ook voorzien zijn van een freesketting, identiek als bij drainage installatieapparaten die in de landbouw worden toegepast. In dat geval spreken we van mechanische ontgraving.

Een kabelinstallatieploeg is een kleiner zwaard dan dat van een VI, waarbij dat zwaard op een soort slede is gemonteerd. Door de ploeg door de grond te trekken kan de kabel begraven worden. Ook ploegen kunnen waterjets hebben en er zijn ook ploegen met mechanische ontgraving. Bij installatie met een ploeg kan de kabel vooraf voor de ploeg op het zeebed worden gelegd of tegelijkertijd worden aangevoerd vanaf het oppervlak.

Afbeelding 2.9 Een voorbeeld van een Vertical Injector



HDD

Een horizontaal gestuurde boring (horizontal directional drilling (HDD)) is een boring die vaak op land wordt uitgevoerd. Het principe van een HDD wordt daarom in meer detail besproken in paragraaf 2.2.2. De HDD kan ook van land naar zee en, in bepaalde gevallen, op zee worden toegepast om bestaande kabels en leidingen te kruisen. Daarbij wordt eerst een mantelbuis onder de bestaande kabel of pijpleiding doorgeboord, waarna de nieuw te leggen kabel in de mantelbuis wordt getrokken. De boring zal vanaf een jack-up platform worden uitgevoerd met materieel dat ook op land wordt gebruikt. Het materieel wordt per schip naar de locatie getransporteerd. Het uitvoeren van een HDD van zee naar zee is aanzienlijk gecompliceerder dan een HDD op land of vanaf land. Golven en stroming hebben invloed op het ontwerp en de uitvoering van de HDD op zee. De golven en stroming beïnvloeden de hydrodynamische belastingen op bijvoorbeeld de mantelbuizen en de gehele installatieoperatie. Het zijn ook de golven en stroom die erosie kunnen veroorzaken rond tijdelijke constructies die voor de installatie nodig zijn. Daarmee moet met het ontwerp en tijdens de uitvoering rekening worden gehouden. Een HDD op zee wordt alleen toegepast als 'standaard' methoden voor het kruisen van kabels en leidingen op zee niet mogelijk zijn. Dit is het geval in een gebied waar de zeebodem zeer sterk verandert, waardoor een meer gebruikelijk kruisingsbouwwerk (met een steenberm, separatieringen rond de kabel of met een betonblokkenmat voor het creëren van verticale afstand en met een steenbestorting over het geheel ter bescherming) niet goed mogelijk is.

Afbeelding 2.10 Platformen en schepen bij een HDD-boring op zee



Installatie op het wad

Het wad wordt gekenmerkt door droogvallende zandbanken en kleinere en grotere geulen. Op het ondiepe wad en bij niet al te diepe geulen kan de kabel begraven worden door gebruik te maken van een speciale wad-ingraafmachine, een 'wad-trencher'. Dit is een machine die zich op rupsbanden over het wad voortbeweegt. De machine brengt de vooraf gelegde kabel op diepte door middel van een geleideconstructie (een soort 'zwaard'). Het feitelijke ingraven kan door middel van fluïdiseren met waterjets, fluïdiseren door middel van trillen of door middel van mechanisch ontgraven. De te bereiken begraafdiepte bij de installatie hangt af van de vergunningseisen en de te verwachten mobiliteit van het zeebed. Ook de grondsoort waarin de kabel moet worden begraven speelt daarbij een rol. Doel is om onderhoud aan de begraafdiepte over de levensduur tot een minimum te beperken. Daarom zal de kabel in een mobiel zeebed, dat mogelijk over de levensduur van de kabel lager zal komen te liggen, initieel dieper worden begraven dan in een stabiel zeebed.

Eerst wordt de kabel op het wad gelegd met behulp van een droogvallend ondiep stekend ponton of met een voertuig op rupsbanden. Er kan per keer tussen de drie en vijf km kabel worden gelegd. Dit heeft te maken met de beperkte laadcapaciteit van transportmiddelen op het wad.

Afbeelding 2.11 Voorbeeld van een wad-trencher met een trilzwaard op rupsbanden



Verbindingsmoffen

Een verbindingsmof wordt toegepast om twee kabels met elkaar te verbinden. Omwille van het storingsrisico en de installatiekosten wordt altijd getracht het totale aantal moffen te minimaliseren. Er worden langs het gehele tracé verbindingsmoffen toegepast, in deze alinea wordt met name ingegaan op de installatie van verbindingsmoffen op het wad.

Op het wad wordt de mof geïnstalleerd vanaf een jack-up platform of drijvend ponton of schip boven de hoogwaterlijn. Wanneer de kabels met elkaar zijn verbonden wordt de kabel recht of in een 'omega' vorm (naar de vorm van de Griekse letter Ω) op het zeebed neergelegd en ingegraven. De kabeltransportmiddelen op het wad hebben een beperkt draagvermogen, waardoor er per keer circa 3 km kabel kan worden vervoerd, tussen deze secties van drie km kabel wordt op het wad een verbindingsmof geïnstalleerd.

In het tracé op zee zullen naast de verbindingsmoffen op het wad ook moffen geïnstalleerd worden in dieper water. De frequentie hiervan is echter veel lager door de hogere transportcapaciteit van de installatieschepen die gebruikt worden in dieper water.

Kruising met primaire kering

Bij het kruisen van een primaire waterkering worden voor het aanleggen van mantelbuizen gestuurde boringen uitgevoerd. Vervolgens worden in de mantelbuizen de kabels ingetrokken. Deze locatie is tevens de overgang van een zee-kabel naar een landkabel. Aan de zeezijde wordt op de bodem een ontvangstput gerealiseerd, waarin de gestuurde boringen uitkomen. Tijdens het boren wordt pas in de laatste stap van het boorproces de verbinding in de ontvangstput gemaakt. Daardoor wordt de periode dat zeewater kan nivelleren en eventuele bentonietspoeling in zee komt beperkt. Door de mantelbuizen vanaf land de boorgang in te duwen (in plaats van gebruikelijk in te trekken vanaf de uittredezijde) is de inzet van materieel op zee van kortere duur (en daardoor minder weersafhankelijk). Door de mantelbuizen voldoende overlengte te geven is het mogelijk om vanaf het werkschip de kabels door de mantelbuizen te trekken en de overgang van land- naar zee-kabel op het werkschip te bewerkstelligen. Vervolgens worden de mantelbuis en kabel afgezonken in de ontvangstput en afgedekt volgens de normen die gelden.

2.2.2 Op land

Overzicht installatietechnieken op land

Afbeelding 2.12 en

Afbeelding 2.13 tonen de locaties waar, voor de verschillende tracéalternatieven, boringen of open ontgravingen worden voorzien.

Afbeelding 2.12 Installatiemethodes op land voor de tracéalternatieven van Burgum



Afbeelding 2.13 Installatiemethodes op land voor de tracéalternatieven van Vierverlaten en Eemshaven



Op land zijn de twee meest gebruikte aanlegmethodes open ontgravingen en gestuurde boringen (HDD's). Naast deze aanlegtechnieken zijn er ook nog andere technieken die lokaal worden toegepast wanneer dat nodig is, zoals zinkers en gesloten front boringen.

Beschrijving installatietechnieken

Open ontgraving

Bij de aanleg van de kabels in open ontgraving wordt met graafmachines een sleuf gegraven. De diepte van de bovenkant van de kabel ligt tussen 1,2-1,8 m, afhankelijk van de locatie waar de kabels komen te liggen. Vaak wordt de sleuf iets dieper gemaakt zodat de kabel aan de onderkant met 10 cm en aan de bovenkant met 30 cm schoon zand kan worden bedekt. Bij agrarische grond is een diepte van 1,8 m de norm. De vrijgekomen grond wordt zo veel mogelijk tijdelijk langs het tracé opgeslagen. Wanneer geen plaats is voor tijdelijke opslag, of wanneer grondverbetering moet worden toegepast, wordt de grond weggevoerd door vrachtwagens. De grond wordt in verschillende lagen afgegraven (A, B en C) en gescheiden opgeslagen om de bodemeigenschappen bij terugplaatsing van de grond te kunnen behouden. Om in den droge de kabels aan te leggen kan het noodzakelijk zijn dat er bemaling aanwezig is om plaatselijk het grondwaterpeil te verlagen. Doordat er lokaal grondwater wordt onttrokken kan er een toestroming van zouter grondwater optreden en - afhankelijk van het gebied - kan er verzilting optreden. Het doel is om de duur en intensiteit van de bemaling beperkt te houden. Nadat de kabels de sleuf zijn ingetrokken, wordt de sleuf vervolgens weer aangevuld met de eerder vrijgekomen grond (de grondlagen worden in omgekeerde C, B A teruggebracht, zodoende blijven de grondeigenschappen behouden) en de bemaling verwijderd. Indien de grond van dermate samenstelling is dat deze een ongunstig effect heeft op de kabel (G-waarde of steenachtige ondergrond), dan wordt de grond ter plaatse vervangen voor leemhoudend zand (back fill). Deze methode wordt toegepast op locaties waar geen ruimtelijke beperkingen zijn.

Afbeelding 2.14 Voorbeeld van een sleuf waar de kabels worden neergelegd



Gestuurde boring (HDD)

HDD staat voor 'horizontal directional drilling', wat inhoudt dat bij dit project mantelbuizen op grotere diepte (> 10 m onder het oppervlak) met een gestuurde boormethode worden aangelegd, om vervolgens de kabels door de mantelbuizen te trekken. Deze methode wordt toegepast als er zich één of meerdere obstakels op of direct onder het oppervlak bevinden. Bij een gestuurde boring vinden werkzaamheden plaats ter hoogte van het in- en uitredepunt. Een HDD bestaat hoofdzakelijk uit drie installatiefases:

- 1 bij het intredepunt wordt de booropstelling gepositioneerd waarvanuit allereerst eerst een pilot-boring wordt uitgevoerd. De hoek van de boring is afhankelijk van het ontwerp van de HDD en de benodigde installatiediepte;
- 2 de diameter van de pilot-boring wordt vergroot tot de gewenste diameter om de mantelbuizen er vervolgens in te trekken. Om het boorgat tijdens het boorproces stabiel te houden, wordt deze aangevuld met een mix van bentonietspoeling. Bentoniet is een soort vloeibare klei. Dit werkt door zijn hoge

soortelijke massa zowel als drukvloeistof, alsmede als smering tijdens de verruiming van het boorgat en het intrekken van de mantelbuizen;

- 3 de mantelbuizen dienen vooraf als één gehele streng aan de uittredezijde te zijn uitgelegd. Nadat de mantelbuizen het boorgat zijn ingetrokken, worden de kabels door de mantelbuizen getrokken.

Bij de aanleg van een HDD kan verzilting van de grond optreden, alhoewel in mindere mate dan bij open ontgravingen.

Afbeelding 2.15 Voorbeeld van een booropstelling bij het intredepunt van een HDD



Zinkers

Met een zinker wordt een lokale verdieping van een open ontgraving bedoeld om een kruising met een ondiepe waterweg (i.e. sloot) of andere kabels mogelijk te maken. Afbeelding 2.16 toont de aanleg van een zinker. Ter plaatse van een relatief smalle watergang (< 5 m) worden de kabels met een dekking van tenminste 1 m onder de onderhoudsdiepte van de waterbodem aangelegd. Hiervoor dienen aan weerszijden van de watergangen tijdelijke verticale keringen (bijvoorbeeld damwanden) en bemaling te zijn aangebracht om de werkzaamheden in den droge te kunnen uitvoeren.

Afbeelding 2.16 Voorbeeld van plaatsing van een zinker bij een waterweg



Gesloten front techniek (GFT)

Toepassing van een gesloten front techniek (GFT) is mogelijk op locaties waar de ruimte voor een HDD te beperkt is. Bij deze methode is een perskuip en ontvangstuip nodig voor het aanleggen van de mantelbuizen. In de perskuip wordt de boormachine geplaatst die van daaruit een sectie van de mantelbuis aanbrengt. Voordat een deel van de mantelbuis verder wordt geboord, wordt de eerstvolgende sectie vastgemaakt aan de mantelbuis. Zodra de mantelbuizen en de kabels zijn aangelegd worden de tijdelijke pers- en ontvangstuip verwijderd.

Afbeelding 2.17 Perskuip voor gesloten front techniek



2.3 Kwantitatieve informatie tracés en transformatorstationlocaties

Onderstaande twee tabellen presenteren een overzicht van verzamelde kwantitatieve informatie voor respectievelijk de tracéalternatieven op zee en land en voor de transformatorstationlocaties. Deze informatie vormt input voor de andere thema's binnen de IEA maar is geen directe beslisinformatie voor het thema techniek.

Algemeen	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	<i>BGM WK¹</i>	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
Lengte tracé totaal [m]	100.065	103.933	94.283	100.112		109.673	105.855	116.583	109.553	118.892	108.816
Lengte tracé op zee [m]	74.715	73.683	72.383	74.962	9650	83.073	82.005	88.883	85.853	111.492	101.016
Lengte tracé op land [m]	25.350	25.350	21.900	25.150		26.600	23.850	23.700	27.700	7.400	7.800
Extra lengte t.o.v. kortste tracé [%]	6%	10%	0%	6%		16%	12%	24%	16%	26%	15%
Zee	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O		VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
Baggervolume [m ³] ²	15.400	2.265.000	2.265.000	2.790.000		887.000	887.000	3.250.000	887.000	3.250.000	369.000
Aantal kruisingen infrastructuur: olie en gas [aantal]	2	1	1	2		1	1	1	1	2	0
Aantal kruisingen infrastructuur: hoogspanningskabels [aantal]	0	0	0	0		0	0	0	0	0	1
Aantal kruisingen infrastructuur: overige kabels (telecom) [aantal]	2	2	2	2		2	2	3	2	3	3
Verkeerscheidingsstelsel (VSS, scheepvaartroute) [aantal]	2	2	2	2		2	2	2	2	2	2
Land	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	<i>BGM WK</i>	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
Lengte HDD's onshore [m]	11.450	11.450	10.300	12.550	7.300	8.150	11.150	8.300	7.450	3.650	3.650
Lengte open ontgravingen onshore [m]	13.900	13.900	11.600	12.600	2.350	18.450	12.700	15.400	20.250	3.750	4.150
Aantal HDD-locaties (per locatie/kabelsysteem worden 2 HDD's aangelegd)	17	17	15	18	6	15	15	14	12	7	7
Aantal zinkers (bij kruisingen kabelsysteem met watergangen)	73	73	57	88	5	73	72	84	97	17	17
Aantal kruisingen kabelsysteem met spoorwegen	1	1	1	1	0	1	1	1	1	2	2
Aantal kruisingen met provinciale wegen	4	4	6	6	1	2	4	2	2	2	2
Aantal kruisingen kabelsysteem met primaire waterkeringen	3	3	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Aantal kruisingen kabelsysteem met regionale waterkeringen	5	5	5	6	8	5	3	4	7	2	2
Aantal kruisingen kabelsysteem met buisleidingen gevaarlijke inhoud	3	3	3	4	9	5	4	3	0	0	0
Aantal kruisingen kabelsysteem met hoogspanningslijnen	5	5	4	4	6	2	2	2	1	1	1
Aantal kruisingen kabelsysteem met overige kabels en leidingen	20	20	15	13	0	22	24	16	12	3	3
Aantal locaties met HDD-lengte <500 m	5	5	4	4	0	7	2	5	2	1	1
Aantal locaties met HDD-lengte 500-1.000 m	9	9	9	12	5	6	10	8	9	6	6
Aantal locaties met HDD-lengte >=1.000 m	3	3	2	2	1	2	3	1	1	0	0
Transformatorstationslocatie	Burgum Swartzenbergerbos	Burgum Koumarweg A ³	Burgum Koumarweg B ¹	Burgum Koumarweg C ¹	Burgum Koumarweg D ¹	Burgum Westkern Kootstertille	Vierverlaten	Eemshaven Waddenweg	Eemshaven Middenweg		
Afgaande spanning ⁴ [kV]	220	220	220	220	220	220	380	380	380		
Gemiddelde afstand tot aansluitstation [km hemelsbreed]	2	0,8	0,8	0,5	0,4	3,5	0,4	0,7	4,5		
Additionele afstand tussen corridor en aansluitstation [km hemelsbreed]	0	0	0	0	0,8	7	0	0,7	0		

¹ Aansluiting op het transformatorstationlocatie Burgum Westkern Kootstertille (BGM-WK) is een variant op alle Burgum-aansluitalternatieven. Dit is de reden dat de getallen in deze kolom cursief zijn. De benoemde getallen bij BGM-WK dienen te worden opgeteld bij het hoofdalternatief. Omdat de variant BGM-WK zich op land bevindt, zijn de criteria voor zee niet van toepassing.

² Inclusief onderhoudsbaggerwerkzaamheden

³ Zoekgebied Burgum Koumarweg heeft vier locaties waar een transformatorstation kan worden geplaatst. Ieder van de opties A-D wordt geïdentificeerd door een herkenbaar object in de buurt. A: noordelijke akkers, B: hoogspanningslijnen en zonnepark, C: oostelijke akkers en D: zonnepark ENGIE. Zie hiervoor ook afbeelding 3.12.

⁴ De spanning die wordt opgewekt in het transformatorstation. In dit geval de spanning waar de elektriciteit uit het windpark naar wordt omgezet voordat het op het hoogspanningsnet wordt ingevoerd.

3

TECHNISCHE COMPLEXITEIT AANLEG

3.1 Inleiding

Beoordelingsmethodiek

Om de technische verschillen meetbaar te maken zijn de alternatieven op de verschillende criteria beoordeeld aan de hand van onderstaande beoordelingsschaal¹. De beoordeling laat zien of het criterium voldoet aan de technische uitgangspunten, niet voldoet aan de technische uitgangspunten en technisch minder wenselijk is, dat een tracé technisch onwenselijk is of als niet uitvoerbaar is beoordeeld.

Tabel 3.1 Beoordelingsschaal technische afwegingen

Score	Toelichting
3	alternatief is op dit criterium niet uitvoerbaar
2	alternatief is op dit criterium technisch onwenselijk
1	alternatief is op dit criterium minder wenselijk
0	alternatief voldoet op dit criterium aan technische uitgangspunten

- alternatief voldoet op dit criterium aan technische uitgangspunten: voldoet aan door TenneT gestelde technische uitgangspunten;
- alternatief is op dit criterium minder wenselijk: oplosbaar, maar sluit niet direct aan bij de technische uitgangspunten van TenneT;
- alternatief is op dit criterium onwenselijk: risicovol met betrekking tot bijvoorbeeld aanbesteedbaarheid, veiligheid en uitvoerbaarheid;
- alternatief is op dit criterium niet uitvoerbaar: bepaald onderdeel van het tracé is niet maakbaar.

3.2 Op zee

Bodemsamenstelling

Tabel 3.2 toont voor het criterium bodemsamenstelling de technische beoordeling. Dit criterium beoordeelt de bodemsamenstelling in relatie tot de installeerbaarheid van de kabels. De installeerbaarheid van de kabel is onder andere afhankelijk van het bodemtype waarin de kabel geïnstalleerd wordt en het type installatiemethode dat wordt toegepast.

De beoogde routes voor Burgum west, Burgum midden west en Burgum midden lopen door een bodemlaag met klei tussen het vasteland en Ameland. Voor Burgum west en Burgum midden west is deze laag circa 1 km lang, voor Burgum midden is deze laag circa 2 km lang. De kabel wordt op de locaties waar klei aanwezig is geïnstalleerd met behulp van een trencher.

¹ Deze beoordelingsschaal is ook toegepast voor de criteria onder de aspecten 'Technische complexiteit beheer en onderhoud' (Hoofdstuk 4) en 'Beschikbaarheid verbinding' (Hoofdstuk 5).

Hoewel er kleilagen aanwezig zijn langs de tracéalternatieven op het wad laat de installatiemethode het toe om de kabel met dezelfde methode als wordt toegepast in zand in te graven. Daarnaast hoeft de kabel gezien het relatief stabiele zeebed op deze locatie niet op grote diepte te worden aangelegd. Alle tracéalternatieven sluiten wat betreft het criterium bodemsamenstelling aan bij de technische uitgangspunten.

Tabel 3.2 Beoordeling criterium bodemsamenstelling voor de negen tracéalternatieven

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
bodemsamenstelling [km klei]	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0

Baggerwerkzaamheden

Om de kabel op de gewenste diepte te kunnen installeren of om bepaalde locaties toegankelijk te maken voor materieel worden er baggerwerkzaamheden uitgevoerd. De complexiteit van het baggerwerk is afhankelijk van een aantal factoren. Wanneer een groot baggerwerk (groot volume) wordt uitgevoerd vanaf een ponton (baggermethode) op een locatie waar weinig beschutting is tegen wind, golven en stroming en de dichtstbijzijnde veilige haven niet direct bereikbaar is dan maakt dit het een complex baggerwerk.

Afbeelding 2.1 en Afbeelding 2.2 tonen voor de tracéalternatieven op welke locaties mogelijk baggerwerkzaamheden worden voorzien. Op tracé Burgum midden en Burgum midden west, net ten noorden van Ameland, is er geen beschutting tegen wind, golven en stroming. Hierdoor is een hoger risico in de aanleg aanwezig, dat technisch moet worden gemitigeerd. Dit criterium is daarom voor Burgum midden en Burgum midden west beoordeeld als technisch minder wenselijk.

Tabel 3.3 Beoordeling criterium baggerwerkzaamheden op het wad voor de negen tracéalternatieven

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
baggerwerkzaamheden	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0

Verbindingsmoffen op de Waddenzee

Een verbindingsmof wordt toegepast om twee kabels met elkaar te verbinden. Vanwege de beperkte waterdiepte op het wad is het niet mogelijk om meer dan drie km kabel per keer aan te voeren. Deze beperkte kabelaanvoer leidt ertoe dat er elke drie km een verbindingsmof dient te worden gemaakt om de kabeldelen te verbinden. Het toepassen van verbindingsmoffen op zee en in de Waddenzee brengt de volgende risico's met zich mee: (1) zwakkere plek langs de kabel, (2) mogelijke fouten bij de glasvezelverbinding van twee kabels en (3) het risico op menselijke fouten (neemt toe bij meerdere moffen).

Om het tracéalternatief Eemshaven midden te realiseren, zouden op de Waddenzee per kabel 11 verbindingsmoffen (totaal 22 verbindingsmoffen voor twee kabels) moeten worden geplaatst. Dit is meer dan twee keer zoveel als bij de andere tracéalternatieven. Het relatief grote aantal verbindingsmoffen voor Eemshaven midden wordt met name veroorzaakt door een passage van circa 28 km over het wad, waar de beperkte draagcapaciteit van het kabeltransportvoertuig een rol speelt. Het aanleggen van verbindingsmoffen op het wad en op zee is een complexe operatie die per mof veel tijd kost, in beschermde omstandigheden moet worden uitgevoerd en zeer nauwkeurig werken vereist. Voor tracéalternatieven met meer dan 4 verbindingsmoffen is dit criterium beoordeeld als minder wenselijk. Tracéalternatief Eemshaven midden, met 11 verbindingsmoffen per kabel op de Waddenzee, is voor dit criterium beoordeeld als technisch onwenselijk.

Tabel 3.4 Beoordeling criterium verbindingsoffn op de Waddenzee voor de negen tracéalternatieven

	BGM-W	BGM-M	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
verbindingsoffn per kabel op de Waddenzee (aantal)	2	3	3	3	4	4	3	5	11	4

Horizontaal gestuurde boringen (HDD) op zee

Voor tracéalternatief Eemshaven oost is een HDD onder de zeekabels NorNed en Tycom voorzien (zie Afbeelding 2.2 voor de locatie van de HDD), eenzelfde type HDD is ook uitgevoerd voor de aanleg van de Gemini kabels. De HDD voor tracéalternatief Eemshaven oost wordt parallel aan de HDD van Gemini aangelegd.

Het uitvoeren van een HDD op zee om andere kabels en leidingen te kruisen is ongebruikelijk, de ervaring van aannemers is hiermee beperkt.

Om de NorNed en de Tycom kabels te kunnen kruisen, in een gebied waarin het zeebed zeer dynamisch is, is een HDD nodig. De HDD wordt uitgevoerd in een dynamisch banksysteem. Om rekening te houden met toekomstige morfologische ontwikkelingen dienen de kabels op grote diepte te worden begraven. Het ontwerp van de HDD wordt gebaseerd op recente peilingen. Gezien de dynamiek van het zeebed zal het ontwerp van de HDD kort voor de uitvoering aangepast moeten worden aan de ligging en dynamiek van het zeebed van dat moment.

Gezien dit een HDD is met twee 'natte kanten' wordt er vanaf twee zijden vanaf een schip of platform gewerkt, dit maakt de operatie gevoelig voor weersinvloeden en mogelijk risicovol voor medewerkers aan boord.

Gezien de hierboven opgevoerde argumenten wordt tracéalternatief Eemshaven oost voor het criterium HDD op zee beoordeeld als technisch onwenselijk.

Tabel 3.5 Beoordeling criterium HDD op zee voor de negen tracéalternatieven

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
HDD op zee (aantal)	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	1

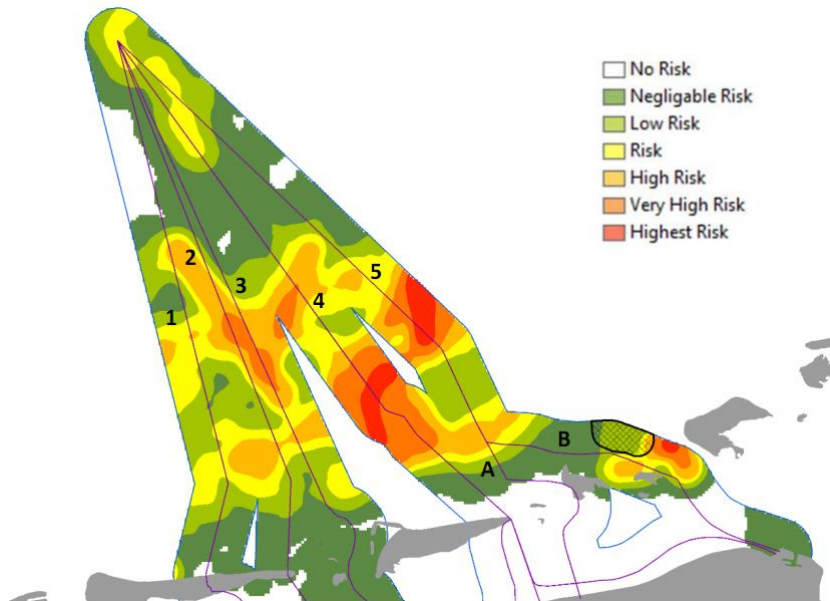
Niet gesprongen explosieven (NGE)

Niet gesprongen explosieven in het projectgebied brengen risico's met zich mee. Uit een bureauonderzoek is gebleken dat er significante verschillen zitten tussen het risicoprofiel van de verschillende routes met betrekking tot het aantreffen van niet gesprongen explosieven. Deze verschillen hebben hun oorsprong in de locaties van de vele mijnevelden uit zowel de Eerste als de Tweede Wereldoorlog. De aanloop van de Eemsgeul werd geblokkeerd door deze mijnevelden. Daarnaast was het Huibertgat (onderdeel van de route Eemshaven oost) ten tijde van de oorlogen de hoofdvaarweg. De routes dicht bij de Eemsmonding hebben hierdoor een hoger risicoprofiel dan de routes aan de westkant van het projectgebied. Daarnaast bestaat er vergrote kans op aanwezigheid van niet-ferromagnetische 'Luftmine B'-mijnen (LMB-mijnen) voor de route Eemshaven oost. Dit specifieke type zeemijn kan niet met een gebruikelijke metaaldetector worden opgespoord en is daardoor alleen met complexere en arbeidsintensieve methoden op te sporen.

In de onderstaande afbeelding is het risico op het aantreffen van niet gesprongen explosieven weergegeven in een kleurschaal van groen, voor een verwaarloosbare kans, naar rood, voor de relatief grootste kans. Zwart gearceerd, boven Rottumerplaat, is het gebied aangegeven waar een kans bestaat op het aantreffen van de genoemde niet-ferromagnetische LMB mijnen. Deze risicokaart is samengesteld door historisch onderzoek

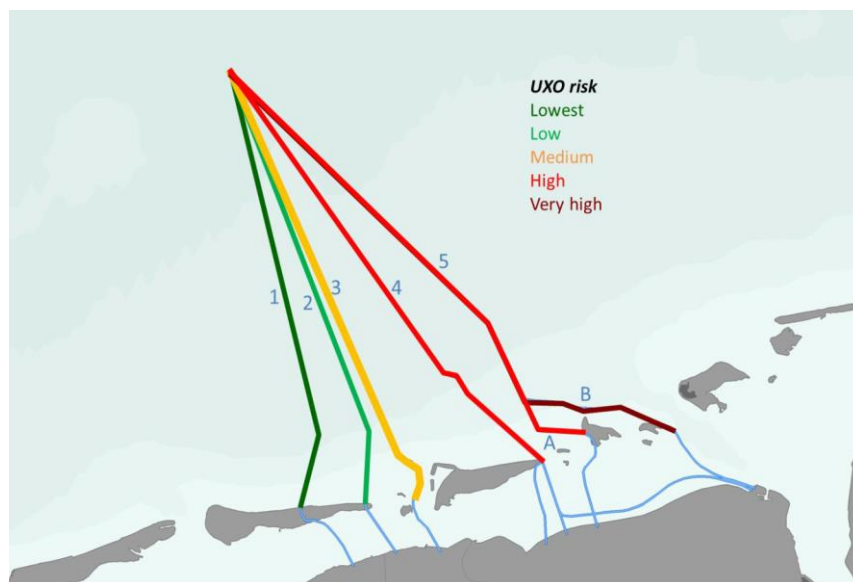
naar het voorkomen van mijnevelden, uitgevoerd door UXO-Intelligence uit Zweden. Voor dit onderzoek is de North Sea Minefield Database geraadpleegd.

Afbeelding 3.1 Risico gebieden voor niet gesprongen explosieven (NGE/UXO)



Gezien de aanwezigheid van LMB mijnen en de uitvoeringstechnische complexiteit van het opsporen van deze mijnen wordt Eemshaven oost voor het criterium niet gesprongen explosieven beoordeeld als technisch onwenselijk. Alle tracés naar Vierverlaten en de andere Eemshaven-tracés tracéalternatieven zijn door hun oostelijke ligging en de bijkomende hogere kans op aanwezigheid van mijnen technisch minder wenselijk dan de tracés naar Burgum.

Afbeelding 3.2 Risico per route op niet gesprongen explosieven (NGE/UXO)



Tabel 3.6 Beoordeling criterium niet gesprongen explosieven op het wad voor de negen tracéalternatieven

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
niet gesprongen explosieven	0	0	0	0	-	-	-	-	-	--

Kofferdammen

Een kofferdam (damwandconstructie) wordt ingezet om installatiewerkzaamheden te beschermen tegen de invloed van golven en stroming. Lange en diepe kofferdammen op een locatie met veel golven en een sterke stroming zijn minder stabiel en moeilijker te installeren.

Voor Burgum oost, Vierverlaten oost en Eemshaven midden wordt de aanleg van een kofferdam op het wad voorzien bij de overgang van een geul naar het wad (zie Afbeelding 2.1 en Afbeelding 2.2). Het criterium kofferdammen op het wad wordt voor deze tracéalternatieven beoordeeld als technisch minder wenselijk.

Voor Burgum west, Vierverlaten west, Vierverlaten midden en Eemshaven west wordt de aanleg van een kofferdam in de brandingszone voorzien (zie Afbeelding 2.1 en Afbeelding 2.2). In de brandingszone zijn golven en stroming sterker dan bij de overgang van een geul naar het wad. Het criterium kofferdammen in de brandingszone wordt voor deze tracéalternatieven beoordeeld als technisch onwenselijk vanwege het hogere risico vergeleken met de aanleg van kofferdammen op het wad.

Tabel 3.7 Beoordeling criterium kofferdammen voor de negen tracéalternatieven

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
kofferdammen op het wad (aantal)	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
kofferdammen in de brandingszone (aantal)	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0

Inductieve beïnvloeding

'Inductieve beïnvloeding ontstaat door de elektromagnetische koppeling tussen de hoogspanningssystemen en een (metalen) buisleiding. Bij deze koppeling wordt door de stroom in het hoogspanningssysteem een spanning in de buisleiding geïnduceerd^[1]. Deze spanning is ongewenst. De mate van inductieve beïnvloeding wordt mede bepaald door de afstand tussen de buisleiding en het hoogspanningssysteem en de lengte van de parallelloop. In de NEN3654 wordt onder andere beschreven aan welke voorwaarden de parallellegging tussen kabels en leidingen moet voldoen.

Tracéalternatieven Burgum West, Burgum Midden, Eemshaven Oost en Eemshaven Midden liggen parallel aan een buisleiding. Voor Burgum Midden en Eemshaven Oost geldt dat er weinig ruimte is om de afstand tussen de kabels van TNW en de betreffende buisleiding te optimaliseren. Voor deze tracéalternatieven zijn de eerste twee stappen uit de NEN3654 doorlopen.

Uit de resultaten van deze analyse is gebleken dat voor tracéalternatief Burgum Midden binnen het zoekgebied voor de kabel genoeg ruimte is om te voldoen aan de normen zoals geformuleerd in de NEN3654. Voor tracéalternatief Eemshaven Oost is gebleken dat er ten aanzien van éénfasekortsluiting^[2] mogelijk niet genoeg ruimte is om binnen het zoekgebied voor de kabel een locatie voor de kabel te vinden

^[1] NEN3654:2014. Wederzijdse beïnvloeding van buisleidingen en hoogspanningssystemen.

^[2] Eénfasekortsluiting: één van de hoogspanningsverbindingen voert een éénfasekortsluitstroom, de overige hoogspanningsverbindingen voeren de specifieke langdurig gemiddelde stromen.

die voldoet aan de normen in de NEN 3654, een nadere uitwerking van de analyse en het tracéalternatief en overleg met de leidingeigenaar moet dit uitwijzen. De ervaring van TenneT met vergelijkbare parallelligging leert dat een nadere analyse (stappen 3 en 4 uit de NEN 3654) aan zal tonen dat de spanning voor éénfasekortsluiting binnen de geldende normen ligt.

Omdat voor tracéalternatief Eemshaven Oost een nadere analyse nodig is om vast te stellen dat de parallelligging ten aanzien van éénfasekortsluiting voldoet aan de normen wordt het alternatief op dit criterium beoordeeld als technisch minder wenselijk.

Tabel 3.8 Beoordeling criterium inductieve beïnvloeding voor de negen tracéalternatieven

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
inductieve beïnvloeding	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

Hydrodynamische omstandigheden en navigeerbaarheid

Het criterium hydrodynamische omstandigheden en navigeerbaarheid beschrijft het effect van golven en stroming in relatie tot bijvoorbeeld de waterdiepte of de breedte van een geul op de navigeerbaarheid van schepen. Wanneer de hydrodynamische condities ongunstig zijn, door golfslag en sterke stroming in combinatie met een beperkte waterdiepte of uitwijkmogelijkheden wordt het werk als complexer beschouwd.

Wanneer een kabel langs tracéalternatief Burgum midden of Burgum midden west, ten noorden van Ameland, dient te worden aangelegd, wordt de kabel vanaf een ponton in een voor-gebaggerde geul geplaatst. Ditzelfde geldt voor tracéalternatieven Vierverlaten oost en Eemshaven midden. Op deze locaties zijn hydrodynamische omstandigheden en navigeerbaarheid voor een ponton ongunstig. Wanneer de condities installatie niet toelaten, dient er gedemobiliseerd te worden. De dichtstbijzijnde haven waar het materieel naar toe kan is de haven van Lauwersoog, op een vaarstand van circa 30 km. In geval van nood kunnen reddingsdiensten vanaf de haven van Lauwersoog komen, dit is dichterbij dan Eemshaven.

Vanwege de ongunstige hydrodynamische omstandigheden en de beperkte uitwijkmogelijkheden worden tracéalternatief Burgum midden, Burgum midden west, Vierverlaten oost en Eemshaven midden als technisch onwenselijk beoordeeld.

Tracéalternatief Eemshaven oost doorkruist een artikel 2.5 gebied en een gebied waar zeehonden rusten, zich voortplanten en verharren. In het artikel 2.5 gebied mag niet gewerkt worden in de periode van 15 mei tot 1 september. In het zeehondengebied mag niet gewerkt worden in de periode van 1 mei tot 1 augustus. Dit betekent dat de HDD op zee en een groot deel van de installatiewerkzaamheden op het wad moeten worden uitgevoerd in de periode tussen 1 september en 1 mei. In deze periode valt ook het stormseizoen, waarin de weersomstandigheden over het algemeen slechter en minder voorspelbaar zijn. Werken in de randen van het stormseizoen leidt bijvoorbeeld tot de inzet van extra mensen en materieel en kan mogelijk leiden tot een uitloop van de planning door weerverlet. Tracéalternatief Eemshaven oost wordt daarom op dit criterium als technisch onwenselijk beoordeeld.

Tabel 3.9 Beoordeling criterium hydrodynamische condities en navigeerbaarheid voor de negen tracéalternatieven

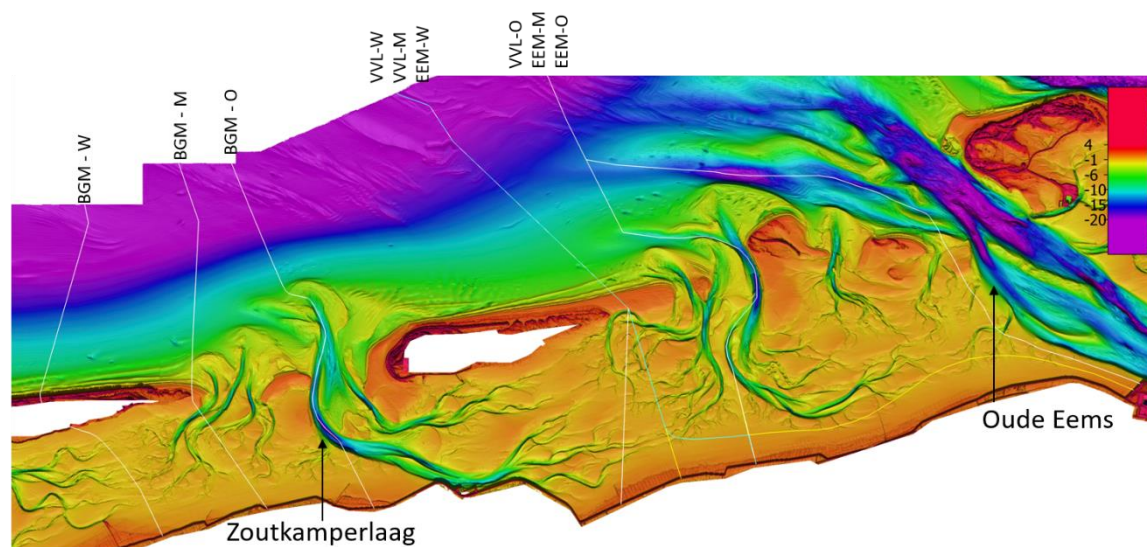
	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
hydrodynamische condities en navigeerbaarheid	0	--	--	--	0	0	--	0	--	--

Aanvoer kabels en materieel

De mobilisatie van een voertuig met kabel over het wad is een operatie die de nodige planning en coördinatie vraagt. Zo dient er rekening gehouden te worden met het getij. Naarmate een bepaald stuk van het wad vaker bereden wordt, wordt dit stuk mogelijk onbegaanbaar. Dit heeft de ervaring van de aanleg van kabels tussen Duitsland en het Waddeneiland Nordeney geleerd. De afstand tot de dichtstbijzijnde geul en de tracélengte over het wad zijn hier dus van belang. Een lange afstand betekent dat je voor de aanvoer van materieel grote stukken over het wad moet overbruggen. Een lang tracé betekent dat er meerdere keren kabel en materieel over het wad getransporteerd moet worden.

Voor de aanvoer van kabels en voertuigen wordt uitgegaan van het gebruik van de Zoutkamperlaag en de Oude Westereems. Deze geulen en de tracéalternatieven staan aangegeven in Afbeelding 3.3. Tabel 3.10 toont de maximale afstand tussen de geul en de locatie op het wad en de totale lengte van het wad tracé. Door de combinatie van een grote afstand tot de dichtstbijzijnde geul en een relatief lang tracé over het wad worden tracé alternatieven Vierverlaten west, Vierverlaten midden, Eemshaven west en Eemshaven midden voor dit criterium beoordeeld als minder wenselijk.

Afbeelding 3.3 Bodemdiepte kaart met hierop de negen tracéalternatieven en de geulen vanaf waar kabels en voertuigen kunnen



Tabel 3.10 Beoordeling criterium kabel- en voertuigmobilisatie op het wad voor de negen tracéalternatieven

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
aantal km afstand tussen geul en tracé	14	6	6	3	13	13	15	15	15	1
aantal km tracé over het wad	8	9	8	3	11	11	5	14	28	20
aanvoer kabels en materieel	0	0	0	0	-	-	0	-	-	0

Kruisingen met zandige punt eilanden

Tracéalternatieven Burgum midden en Burgum midden west kruisen de oostelijke zandplaat van Ameland, tracéalternatieven Vierverlaten west, Vierverlaten midden en Eemshaven west kruisen de oostelijke zandplaat van Schiermonnikoog. De begraafdiepte over de zandige punt van Ameland is kleiner dan 5 m en kan worden ingegraven met de trencher die ook op het wad wordt toegepast voor dit tracé. De begraafdiepte over de zandige punt van Schiermonnikoog is groter dan 8 m. De relatief grote diepte waarop de kabel

wordt begraven op deze locatie is om rekening te houden met een mogelijke doorbraak van een geul (een dergelijke doorbraak is eerder voorgekomen). Door deze ingraafdiepte is het niet mogelijk om te installeren met alleen de wad-trencher, deze kan de ingraafdiepte van groter dan 8 m niet halen. Een mogelijk ingraafmethode is dat er eerst een sleuf gegraven met een graafmachine, en vervolgens wordt de kabel geïnstalleerd met een wad-trencher. Er is een (kleine) kans dat tijdens de installatie water door de gebaggerde sleuf gaat lopen en de natuurlijke morfologie wordt beïnvloed door de werkzaamheden.

Door de inzet van verschillende type materieel en de (kleine) kans op een doorbraak van de zandige punt van Schiermonnikoog tijdens de installatie, wordt dit criterium voor Vierverlaten west, Vierverlaten midden en Eemshaven west beoordeeld als technisch minder wenselijk.

Tabel 3.11 Beoordeling criterium kruising zandige punt eiland voor de negen tracéalternatieven

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
kruisingen zandige punt eiland (aantal)	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0

Afstand tot andere kabels en leidingen

Tracéalternatief Eemshaven oost sluit niet aan bij de technische uitgangspunten voor een afstand van 500 m tot anderen kabels en leidingen. Dit gebeurt bij drie kabels (elektriciteitskabels Gemini en NorNed, en datakabel Tycom) en één gaspijpleiding (NGT). Bij afstanden kleiner dan 500 m is overleg nodig en wordt er een nabijheidsovereenkomst afgesloten. Bij het vastleggen van een nabijheidsovereenkomst worden vaak aanvullende restricties opgelegd wat betreft de inzet van type schepen en installatiemethodes en worden afspraken over wederzijdse aansprakelijkheid gemaakt. Ook zorgt de beperkte ruimte tussen NorNed en Gemini ervoor dat er weinig tot geen ruimte beschikbaar is voor hertracering. Wanneer tijdens de survey een object of grondcondities worden aangetroffen waardoor hertracering noodzakelijk is kan dit mogelijk leiden tot het blokkeren van de route.

Door mogelijke restricties binnen nabijheidsovereenkomsten en de beperkte mogelijkheden voor hertracering wordt Eemshaven oost voor het criterium onderhoudsafstand tot andere kabels en leidingen beoordeeld als technisch onwenselijk.

Tabel 3.12 Beoordeling criterium afstand tot andere kabels en leidingen op zee voor de negen tracéalternatieven

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
aantal kabels afstand <500 m	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	4

Onderlinge afstand kabels TNW

Het uitgangspunt voor onderlinge afstand tussen de twee export kabels is 200 m met een minimum van 50 m. De 50 m is alleen van toepassing op tracés in de Waddenzee. Op verschillende locaties langs de tracéalternatieven bestaat de kans dat het niet mogelijk is om de minimale afstand van 50 m te handhaven.

Burgum oost, Vierverlaten oost en Eemshaven midden worden aangelegd door het diepste deel van een getijde geul, hier kan mogelijk de onderlinge afstand van minimaal 50 m niet gehandhaafd worden. Tracéalternatief Eemshaven oost wordt door het Huibertgat tussen de kabels van Gemini en NorNed aangelegd, de beperkte ruimte leidt er mogelijk toe dat de minimale onderlinge afstand van 50 m niet gehandhaafd kan worden.

Tracéalternatieven Burgum oost, Vierverlaten oost, Eemshaven midden en Eemshaven oost worden daarom beoordeeld als technisch minder wenselijk.

Tabel 3.13 Beoordeling criterium onderlinge kabelafstand voor de negen tracéalternatieven

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
onderlinge afstand kabels TNW	0	0	0	-	0	0	-	0	-	-

Productietijd zeekabels

De productietijd van zeekabels is berekend op basis van ervaringsgetallen van TenneT. De uiteindelijke productietijd van de kabel is sterk afhankelijk van de beschikbaarheid van materieel, de planning en het aantal extrusie¹ lijnen in de fabriek. Daarnaast kan er al tijdens de productie van de kabel gestart worden met de installatie van de reeds geleverde kabel.

Tabel 3.14 Overzicht productietijd zeekabels voor de negen tracéalternatieven

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
productietijd zeekabels (maanden)	17	17	17	17	18	18	20	19	25	22

Hinder door scheepvaart²

Tracéalternatief Burgum oost wordt aangelegd door het Westgat en de Zoutkamperlaag. Dit is de betonde vaargeul die naar de haven van Lauwersoog leidt, vanuit deze haven opereren vissersschepen (waaronder garnalenkotters) die afhankelijk zijn van de diepgang van de betonde geul (omleiden van deze schepen is dus niet mogelijk). Doordat er rekening dient te worden gehouden met passerende schepen kan de kabelinstallatie vertraging oplopen of worden er extra eisen gesteld aan het type materieel dat kan worden ingezet. Daarnaast kan de aanleg in deze druk bevaren geul additionele veiligheidsrisico's met zich meebrengen. Door mogelijke vertraging, de extra inzet van positioneringsmaatregelen en de additionele veiligheidsmaatregelen wordt tracéalternatief Burgum oost voor het criterium hinder door scheepvaart beoordeeld als technisch minder wenselijk

Tabel 3.15 Beoordeling criterium hinder door scheepvaart voor de negen tracéalternatieven

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
hinder door scheepvaart	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0

¹ Extrusie, of extruderen is een techniek waarbij materiaal door een mal wordt geperst.

² In het MER wordt de hinder voor de scheepvaart in kaart gebracht.

Thermische geleidbaarheid

Er is een studie¹ uitgevoerd waarin een schematisatie van de bodemopbouw in termen van de te verwachten maximale dekking en bijbehorende G-waarde wordt gepresenteerd.

De maximale dekking is vastgesteld op basis van een morfologische analyse van openbaar beschikbare bathymetrische data tussen 1979 en 2017. Met name tracés in diepe en smalle geulen (Burgum oost, Vierverlaten oost, Eemshaven midden en Eemshaven oost) leiden tot grote maximale dekkingen, omdat rekening moet worden gehouden met een volledige verschuiving van de geul (en/of banken) en dus volledige verzanding van de geul.

De gebruikte bodemdata is afkomstig van het DINOLOket. Het type ondergrondmodel dat in dit onderzoek wordt toegepast gebruikt stochastische methoden om de uiteindelijke keuze voor een bepaalde grondsoort te maken. In de praktijk betekent dat, dat de bodemschematisatie moet worden geïnterpreteerd door de modelonzekerheid daarbij te betrekken, zowel als de variatie van de gekozen grondsoort.

De meest ongunstige g-waardes zijn die voor organisch materieel (veen) en voor klei, deze bodemtypen geleiden warmte niet goed. Op basis van de studie is vastgesteld dat deze bodemtypen, met name klei, voor kunnen komen in de ondergrond langs de tracéalternatieven. In klei hoeft de kabel gezien het relatief stabiele zeebed niet op grote diepte te worden aangelegd, en is de maximale dekking beperkt. Ook is het mogelijk om hoge g-waardes te mitigeren door de inzet van een ander type kabel. Op basis van de resultaten van de studie wordt thermische geleidbaarheid in deze fase van het project als niet onderscheidend beschouwd.

3.3 Op land

De beoordeling van de criteria op land bevatten naast de 10 tracéalternatieven een extra kolom voor de variant Burgum Westkern Kootstertille (BGM WK). BGM WK is geen volledig tracé, maar een verlenging van de tracéalternatieven naar Burgum, namelijk om een mogelijke transformatorstationslocatie nabij Kootstertille te bereiken. Dit is de reden dat de getallen in de kolom BGM WK cursief zijn.

Aantal HDD-locaties waarvan aanleg uitdagend is i.v.m. raakvlak derden

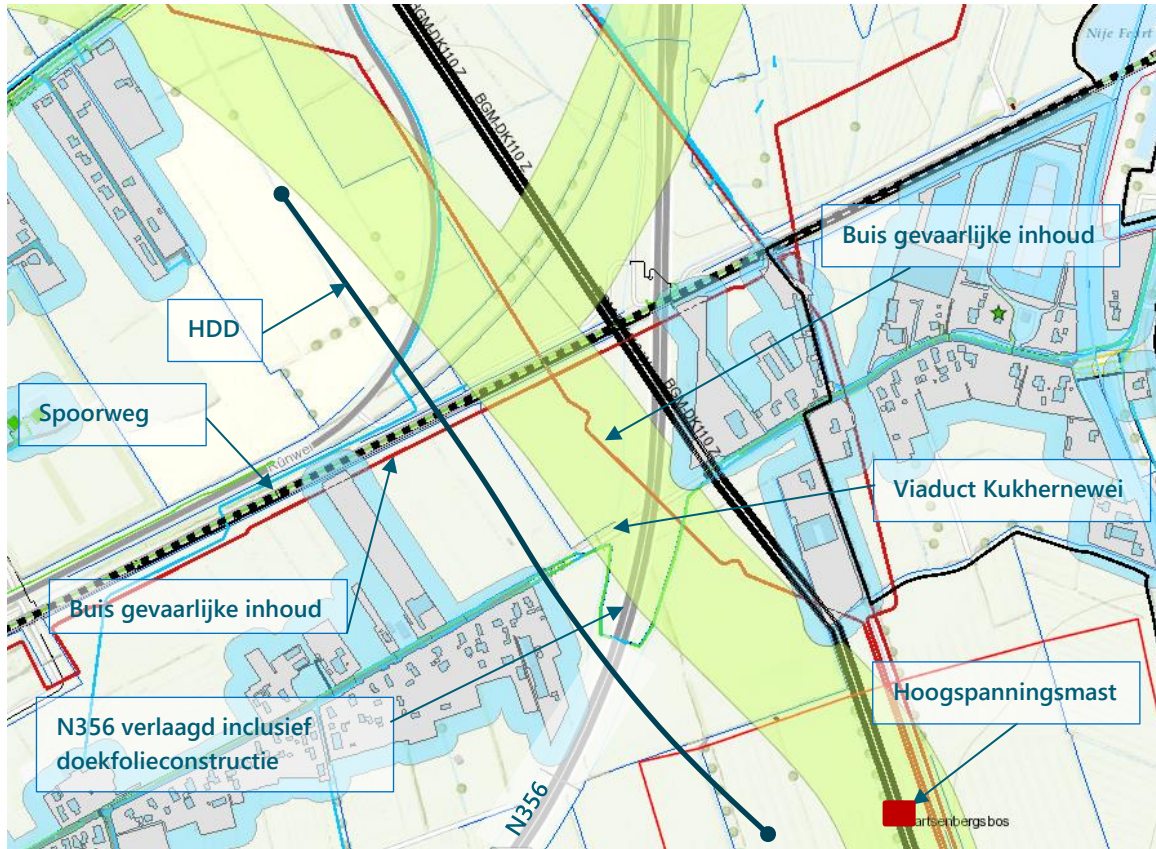
In Tabel 3.16 wordt voor het criterium 'Aantal HDD-locaties waarvan aanleg uitdagend is in verband met raakvlak derden' de beoordeling weergegeven. Dit criterium beschrijft het aantal HDD-locaties waar een combinatie van objecten van stakeholders aanwezig zijn, die de inpassing van een gestuurde boring op de locatie ingewikkeld maken. Hierbij kan worden gedacht aan gebieden waar al veel kabels en leidingen op diepte liggen, kunstwerken aanwezig zijn of locaties waar weinig ruimte is om een werkterrein voor een gestuurde boring aan te leggen.

Met name het inpassen van een gestuurde boring in ruimtelijk aspect (in zowel de x-, y- als z-richting) en het ontbreken van gegevens van derden maakt enkele HDD-locaties minder wenselijk. Deze locaties worden hieronder besproken.

Burgum west, Burgum midden en Burgum oost (Afbeelding 3.4): ter hoogte van Veenwouden wordt het tracé in de x- en y-richting beperkt door de aanwezigheid van de Provinciale weg N356 en de folieconstructie onder het verlaagde deel van deze weg en de aanwezige bebouwing. De provincie heeft als randvoorwaarde meegegeven dat grondroering (ook gestuurde boringen) minimaal 5 m buiten de folieconstructie moeten blijven. Naast de verlaagde N356 is het viaduct Kukhernewei, inclusief fundering, aanwezig, die beperkingen in de z-richting geeft. Uit een bespreking met de Gasunie is naar voren gekomen dat parallel aan het spoor een gasleiding middels een gestuurde boring is aangelegd (uit de data blijkt dat de gasleiding in de diepte geen belemmering hoeft te zijn).

¹ Witteveen+Bos 2020 Bodemopbouw Waddentracés.

Afbeelding 3.4 Raakvlak derden bij de HDD voor de tracés van Burgum west, Burgum midden en Burgum oost



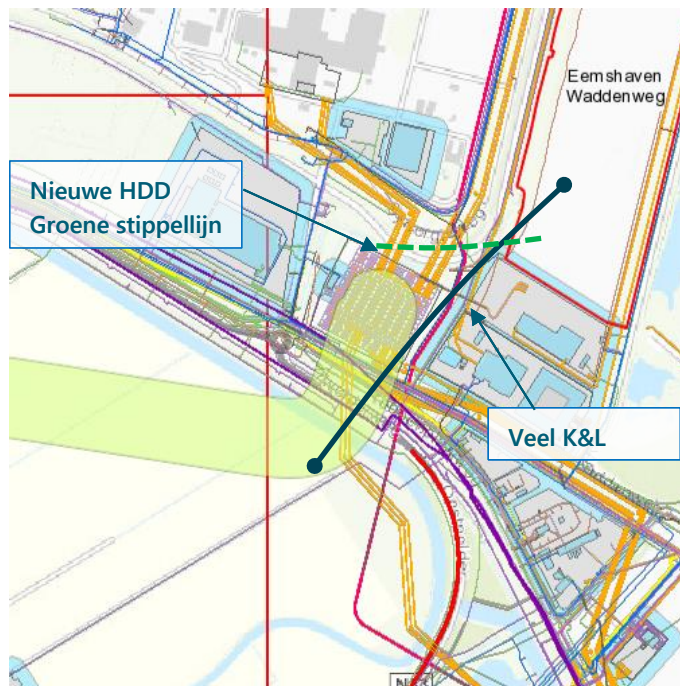
Burgum midden en Burgum oost (Afbeelding 3.5): ter hoogte van de afrit N356 en de Boppewei is reeds een nieuwe aansluiting op de rotonde gerealiseerd. De provincie heeft te kennen gegeven dat in dit gebied (de exacte locatie is nog onbekend) een woonwijk wordt ontwikkeld. Indien dat het geval is, is een open ontgraving wellicht niet mogelijk vanwege de veilige afstand van woningen tot de magneetvelden. Hierdoor is ook de kans aanwezig dat het inrichten voor een werkterrein van een HDD en de lengte <math>< 1200\text{ m}</math> niet inpasbaar is.

Afbeelding 3.5 Raakvlak derden bij de HDD voor de tracés van Burgum midden en Burgum oost



Eemshaven west, Eemshaven midden en Eemshaven oost (Afbeelding 3.6): ter hoogte van hoogspanningsstation Eemshaven Oudeschip (EOS) is een beperkte strook beschikbaar waarin diverse kabels en leidingen (K&L) aanwezig zijn. Aan weerszijden zijn diverse bouwwerken inclusief funderingen aanwezig die zorgen voor een beperking in het x-y-vlak. In de y-richting wordt een beperking opgelegd in verband met geplande kabels die in een gestuurde boring worden aangelegd (haaks op het tracé).

Afbeelding 3.6 Raakvlak derden bij de HDD voor de tracés van Eemshaven



Doordat verschillende objecten aanwezig zijn en niet alle data bekend is, maakt de haalbaarheid van de inpassing van een HDD uitdagender dan bij tracés waar de x-, y- en z-richting niet beperkend zijn. Om deze reden worden tracéalternatieven naar Burgum en naar Eemshaven voor dit criterium als minder wenselijk beoordeeld.

Tabel 3.16 Beoordeling aantal HDD-locaties waarvan aanleg uitdagend is i.v.m. raakvlak derden.

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	BGM WK	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
HDD-locaties met raakvlak derden	1	1	2	2	0	0	0	0	1	1	1

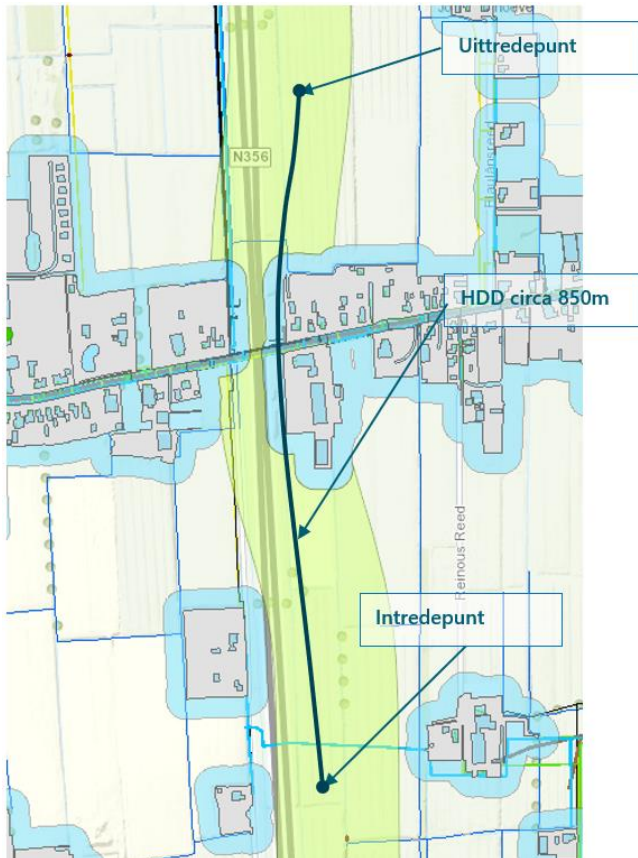
Aantal HDD-locaties in nabijheid belendingen/funderingen

Tabel 3.17 toont voor het criterium 'Aantal HDD-locaties in nabijheid belendingen/funderingen' de beoordeling. De tabel toont het aantal HDD-locaties op minder dan circa 10 m van een belending/fundering. Hiermee worden voornamelijk belendingen/funderingen van waterstaatswerken, woningen en hoogspanningsmasten bedoeld.

Tijdens de uitvoering van een HDD is het risicoprofiel van de boring groter op locaties nabij belendingen/funderingen. Monitoring van effecten van de boring en inzet van een gyroscoop voor plaatsbepaling zijn nodig om het risico te mitigeren. Het risico is dat er schade aan de bouwwerken kan optreden als gevolg van de uitvoering, dit risico wordt echter niet geheel weggenomen door bovengenoemde maatregelen, waardoor de aanwezigheid van belendingen en funderingen nabij HDD-locaties als minder wenselijk wordt beschouwd. Ieder tracé bevat minimaal één dergelijke HDD-locatie, waardoor alle tracéalternatieven voor dit criterium als minder wenselijk worden beoordeeld.

Een HDD-locatie bij Burgum midden wordt in Afbeelding 3.7 uitgelicht, omdat hier sprake is van een dubbele aanwezigheid van belendingen en funderingen: de centrale as van de snelweg N356 en bebouwing bij Damwoude. De realisatie van een HDD wordt uitdagend vanwege de krappe manoeuvreerruimte nabij deze obstakels.

Afbeelding 3.7 Nabijheid van HDD bij bebouwing en de centrale as van de N356 in Burgum midden



Tabel 3.17 Beoordeling aantal HDD-locaties in nabijheid belendingen/funderingen.

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	BGM WK	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
HDD-locaties nabij belendingen/funderingen	4	4	5	4	7	1	1	3	1	1	1

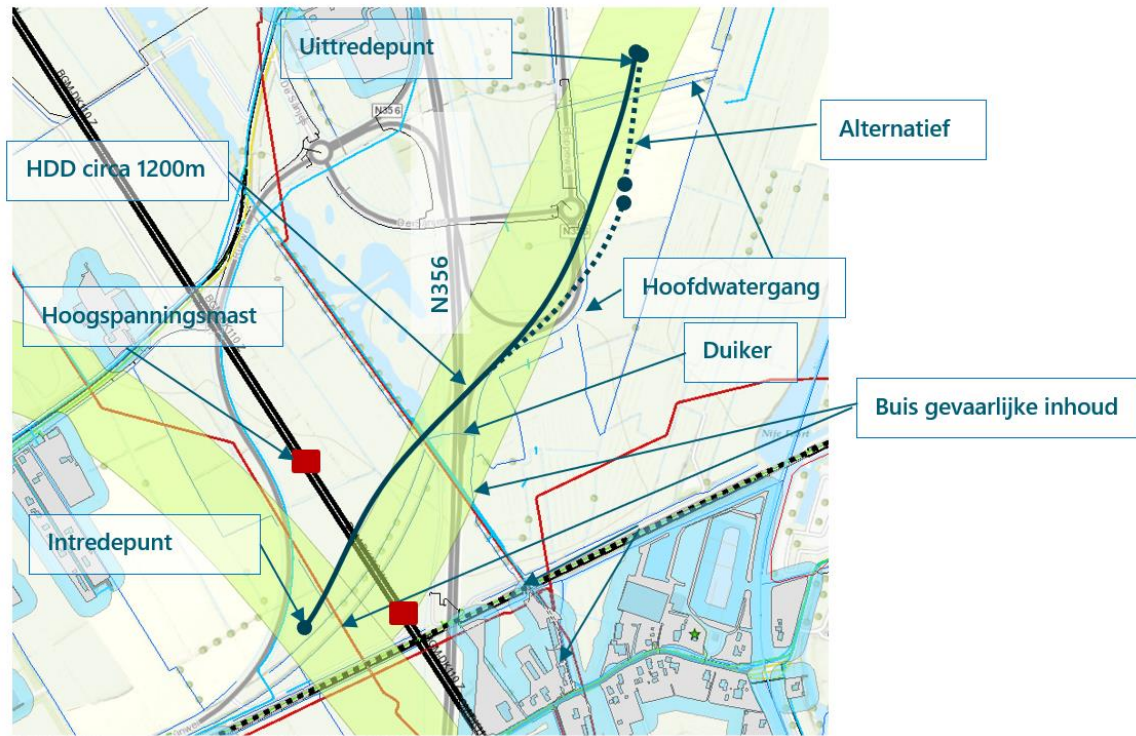
Aantal HDD-locaties met lengte >1100 m

Tabel 3.18 toont voor het criterium 'Aantal HDD-locaties met lengte > 1.100 m' de beoordeling. HDD's met een lengte > 1.100 m hebben een hoger risicoprofiel dan kortere HDD's. Er zijn technische limieten aan de lengte van HDD's. Bij HDD-lengtes boven 1.100 m is er minder manoeuvreerruimte om obstakels te vermijden en tegelijkertijd beneden de lengtelimiet van de HDD te blijven. Bij nadere uitwerking van de gestuurde boringen is de ontwerpvrijheid vanuit dat oogpunt beperkt.

Afbeelding 3.8 toont een voorbeeld van een HDD met een lengte > 1.100 m.

Alle tracéalternatieven naar Burgum en Vierverlaten midden en Vierverlaten oost hebben één of meer HDD's met een lengte > 1.100 m. Deze tracéalternatieven worden voor dit criterium daarom beoordeeld als technisch minder wenselijk.

Afbeelding 3.8 Een HDD voor Burgum midden en Burgum oost met lengte >1.100 m. Te zien is dat de HDD meerdere obstakels moet vermijden, wat extra uitdagend wordt vanwege de grote lengte van de boring



Tabel 3.18 Beoordeling aantal HDD-locaties met lengte >1100 m.

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	BGM WK	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
HDD's >1.100 m	1	1	1	1	0	0	2	1	0	0	0

Aantal HDD-locaties met risico op blow out

In Tabel 3.19 wordt voor het criterium 'Aantal HDD-locaties met risico op blow out' de beoordeling weergegeven. Een blow out is een ontsnapping van de bentonietspoeling naar de oppervlakte. Doordat de druk in de boorgang groter wordt, dan dat de gronddruk ter plaatse kan weerstaan, ontstaat er een ongecontroleerde gang naar de oppervlakte waar de bentonietspoeling uittreedt. Om het aantal gestuurde boringen met een risico op een blow out te kwantificeren, zijn gestuurde boringen aangehouden met een lengte > 800 m, waarbij het uittredepunt zich < 150 m van een watergang bevindt. Bij gestuurde boringen bouwt de druk zich tijdens het boorproces op in het boorgat, vanaf het intredepunt tot het uittredepunt, om de aanleg mogelijk te maken. Naarmate de lengte van de gestuurde boring toeneemt kan de druk zodanig opbouwen dat, indien een watergang in de buurt is, de druk voor een blow out zorgt. Dit zou ervoor zorgen dat het realiseren van een gestuurde boring in dat specifieke boorgat niet meer mogelijk is.

In het ontwerp kan dit risico grotendeels weggenomen worden door in de voorbereiding grondonderzoek en een berekening van de boorspoeldruk uit te voeren. Tijdens de uitvoering kan de boorspoeldruk worden gemonitord en door de boorsnelheid aan te passen kan de boorspoeldruk worden geregeld. Daardoor is dit risico grotendeels weg te nemen door deugdelijk onderzoek, ontwerp en uitvoering. Zo kan bijvoorbeeld ook de 'meet in the middle' HDD een mogelijkheid bieden, hierbij wordt er vanaf twee zijden naar elkaar toe geboord. Echter is het niet mogelijk om de ondergrond volledig in kaart te brengen, en het risico volledig weg te nemen. Zodoende is bij aanwezigheid van dit risico de specifieke locatie als minder wenselijk beoordeeld. Alle tracés naar Burgum bevatten meerdere gestuurde boringen met het risico op een blow out en Vierverlaten west en Vierverlaten midden bevatten één gestuurde boring die aan de uitgangspunten

zoals hierboven omschreven voldoen. De hiervoor genoemde tracéalternatieven worden voor dit criterium beoordeeld als minder wenselijk.

Tabel 3.19 Beoordeling aantal HDD-locaties met risico op blow out.

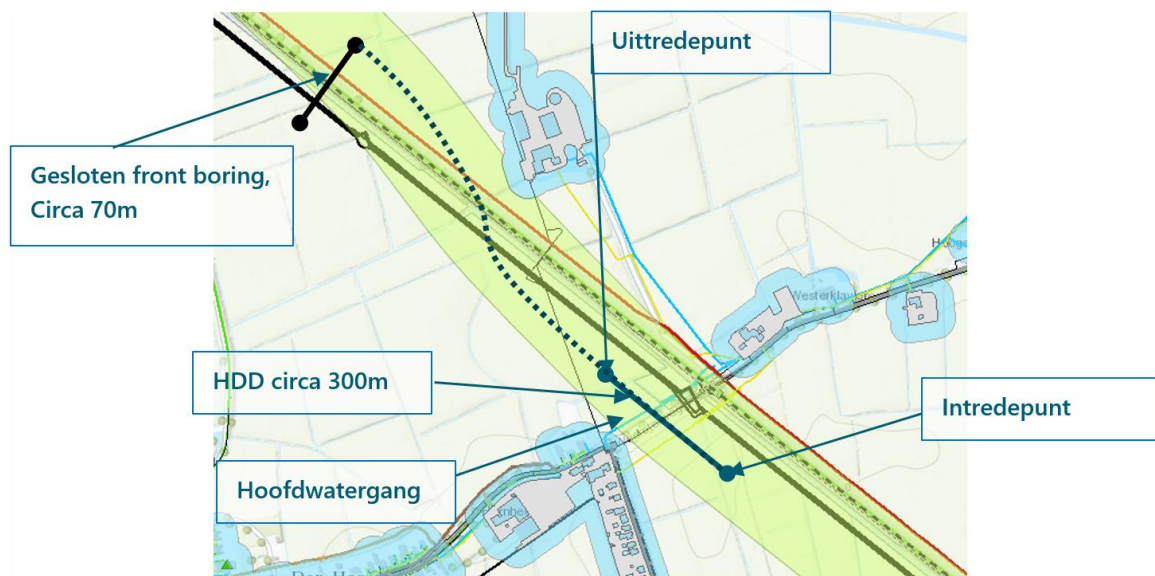
	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	BGM WK	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
HDD's met risico op blow-out	4	4	4	4	2	1	1	0	0	0	0

Aantal locaties met gesloten front techniek (GFT)

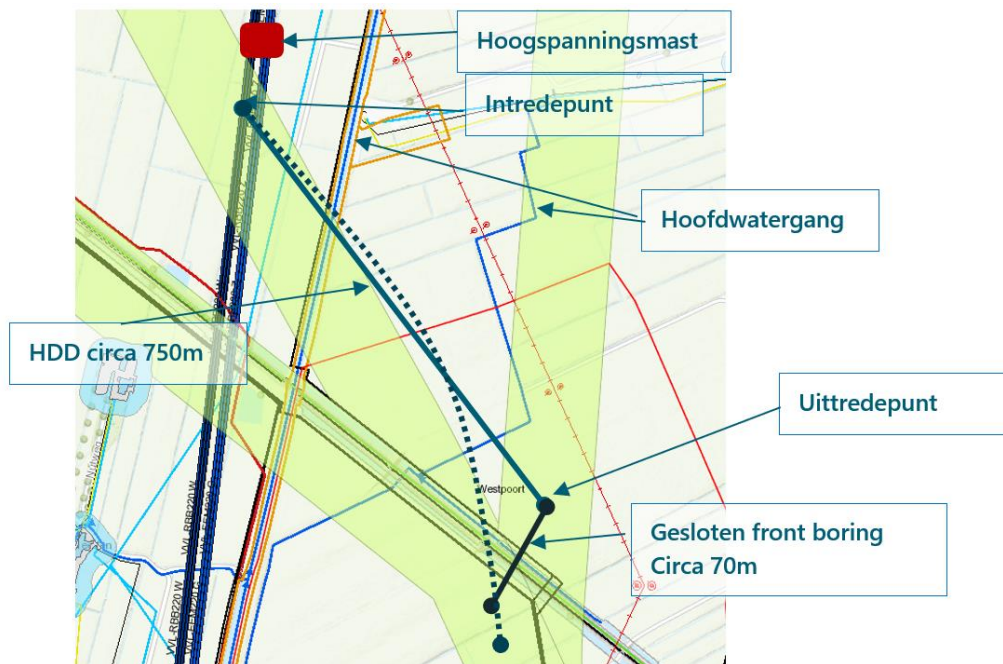
Tabel 3.20 toont voor het criterium 'Aantal locaties met gesloten front techniek' (GFT) de beoordeling. Een GFT is noodzakelijk wanneer een conventionele HDD op locatie niet gerealiseerd kan worden. Voor een GFT zijn andere technische materialen en methodes nodig dan voor de aanleg van een HDD. Er is een voorkeur om een HDD toe te passen, aangezien een diepe HDD op maaiveld nagenoeg verwaarloosbare effecten heeft. Bij een GFT vindt een ondiepere boring plaats, waarbij bouwkuipen en bemaling nodig zijn. Dit kan effecten hebben in de omgeving (zoals zetting van de grond). In het ontwerp kan hier grotendeels rekening mee worden gehouden, echter kunnen aspecten van de ondergrond nooit volledig in kaart worden gebracht waardoor dit risico niet geheel kan worden weggenomen.

Bij dit project is een GFT nodig wanneer een tracé een spoor kruist, maar op de locatie niet de benodigde diepte kan worden bereikt door een veilige HDD-boring. ProRail, de spoorwegbeheerder, heeft als randvoorwaarde aangegeven dat een schuine in plaats van een haakse kruising van het spoor niet gewenst is. Dit betekent dat een HDD voor een spoorkruising met een hoofdspoorweg bij voorkeur haaks moet plaatsvinden. In bijzondere gevallen kan de beheerder desgevraagd hier mogelijk van afwijken. Om een veilige kruising mogelijk te maken, dient de HDD op de plek van kruising op voldoende diepte zitten om geen effect op het spoor te hebben. Wegens de positie van de tracécorridor ten opzichte van het spoor is het bij Vierverlaten west en Vierverlaten midden niet mogelijk om de kabel in een positie te manoeuvreren waarin er voldoende aanlooptlengte is voor de HDD om de gewenste diepte te bereiken en tegelijkertijd haaks het spoor te kruisen. Voor deze twee spoorkruisingen is gekozen voor toepassing van een GFT als alternatief. Dit wordt weergegeven in Afbeelding 3.9 en Afbeelding 3.10.

Afbeelding 3.9 Kruising van het spoor bij Vierverlaten west, met de GFT-boring als het gewenste alternatief voor de eerst voorgestelde HDD



Afbeelding 3.10 Kruising van het spoor bij Vierverlaten midden, met de GFT-boring als het gewenste alternatief voor de eerst voorgestelde HDD



Een GFT wordt nodig geacht voor het kruisen van het treinspoor bij Vierverlaten west en Vierverlaten midden. Tracéalternatieven Vierverlaten west en Vierverlaten midden worden daarom voor dit criterium beoordeeld als minder wenselijk.

Tabel 3.20 Beoordeling aantal locaties met gesloten front techniek.

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	BGM WK	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
aantal locaties met GFT	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

Lengte parallelle ligging en kruising hoogspanningslijnen i.v.m. veiligheid

Tabel 3.21 toont voor het criterium 'Lengte parallelle ligging en kruising hoogspanningslijnen' de beoordeling. Het criterium is relevant omdat bij aanlegwerkzaamheden nabij hoogspanningslijnen extra veiligheidsvoorschriften in acht genomen moeten worden. Het criterium wordt gekwantificeerd door vast te stellen hoeveel m een tracé parallel langs een hoogspanningslijn loopt. Over deze lengte moet een veiligheidszone voor de aanleg worden aangehouden. Kruisingen worden meegeteld als 50 m paralleligging, omdat een veiligheidszone van 25 m aan beide kanten van het tracé dient te worden aangehouden.

Bij het nemen van de adequate veiligheidsmaatregelen leidt parallelle ligging en kruising van hoogspanningslijnen niet tot een verhoogd technisch risico voor aanleg. Met andere woorden: door inzet van het juiste materieel kunnen de risico's volledig gemitigeerd worden. Aanwezigheid van paralleligging is met name bepalend voor de inzet van materieel en daarmee voor de kosten van aanleg. Voor de tracéalternatieven is dit criterium dus niet onderscheidend: de beoordeling is dat allen op dit criterium voldoen aan de technische uitgangspunten.

Tabel 3.21 Beoordeling lengte parallelle ligging en kruising hoogspanningslijnen.

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	BGM WK	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
lengte parallelle ligging en kruising hoogspanningslijn [m]	1.750	1.750	1.700	1.700	300	100	100	950	50	50	50

Aantal locaties waar transport door woonwijken nodig is

Tabel 3.22 toont voor het criterium 'Aantal locaties waar transport door woonwijken nodig is' de beoordeling. Dit criterium is relevant vanuit veiligheidsoogpunt. Voor het transport van materialen en materieel door woonwijken zijn extra veiligheidsmaatregelen nodig om schade aan de lokale infrastructuur of aan de materialen en het materieel te voorkomen. Tevens kunnen er in woonwijken krappe bochten zijn, waardoor alleen kleiner materieel kan worden vervoerd naar specifieke tracélocaties.

Ondanks deze beperkingen is transport door woonwijken technisch haalbaar. De risico's van het transport kunnen volledig worden gemitigeerd. Deze mitigatie heeft wel invloed op de kosten en op de noodzaak voor omgevingsmanagement. Vanuit technisch oogpunt is dit criterium echter niet onderscheidend voor de tracés. Alle tracés voldoen aan de technische uitgangspunten op dit criterium.

Tabel 3.22 Beoordeling aantal locaties waar transport door woonwijken nodig is.

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	BGM WK	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
aantal locaties met transport door woonwijken	4	4	0	1	2	0	0	0	0	0	0

Aantal slecht bereikbare werkterreinen voor intredepunt HDD

In Tabel 3.23 wordt voor het criterium 'Aantal slecht bereikbare werkterreinen voor intredepunt HDD' de beoordeling weergegeven. Dit criterium omschrijft het aantal locaties waarbij het moeilijk wordt geacht om het materiaal en materieel op het werkterrein bij zowel het intrede- als uitredepunt van de gestuurde boring te krijgen. Dit wordt gekwantificeerd door per tracé het aantal locaties dat meer dan 500 m van een openbare weg ligt te tellen.

Bij slecht bereikbare werkterreinen moet infrastructuur worden aangelegd om de bereikbaarheid te vergroten, dit is technisch haalbaar. Alle tracés voldoen aan de technische uitgangspunten op dit criterium.

Tabel 3.23 Beoordeling aantal slecht bereikbare werkterreinen voor intredepunt HDD.

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	BGM WK	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
Aantal slecht bereikbare werkterreinen voor intredepunt HDD	5	5	2	3	5	7	7	8	5	2	2

Aantal slecht bereikbare locaties waarbij ingrijpende aanvullende technische maatregelen noodzakelijk zijn

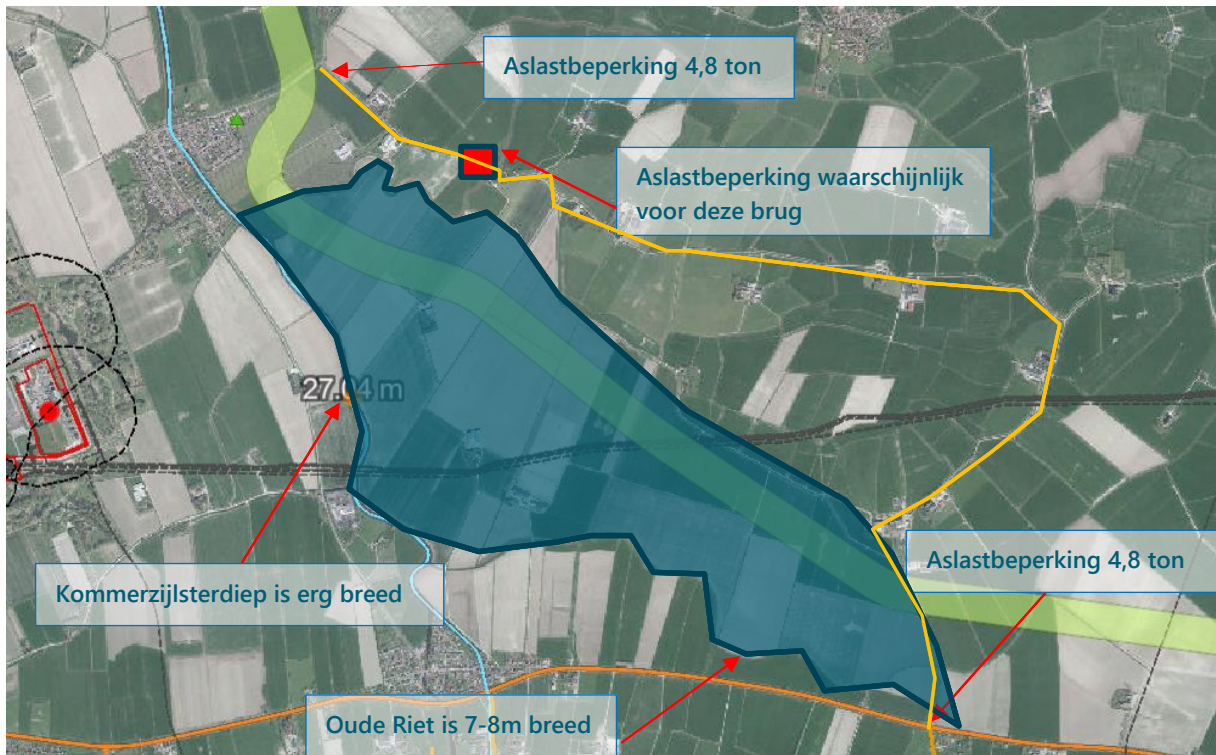
In Tabel 3.24 wordt voor het criterium 'Aantal slecht bereikbare locaties waarbij ingrijpende aanvullende technische maatregelen noodzakelijk zijn' de beoordeling weergegeven. Dit criterium geeft aan voor welke locaties extra technische maatregelen nodig zijn om de aanleg van het tracé te garanderen. Dit criterium is

van toepassing op zowel HDD-secties als open ontgravingssecties. De maatregelen die getroffen moeten worden bij zulke locaties zijn groter dan bij de slecht bereikbare werkterreinen voor HDD's.

In het project worden deze maatregelen voorzien voor één locatie. Voor Vierverlaten west geldt dat een gebied (blauwe arcering in Afbeelding 3.11) nabij Kommerzijl alleen te bereiken is via de openbare weg met een gewichtsbepanking (aslast maximaal 4,8 ton). Om op locatie te komen met het benodigde materieel dient een tijdelijke brug van >10 m over het Reitdiep te worden gerealiseerd.

Omdat op deze locatie een technisch complexere operatie noodzakelijk is dan bij conventionele locaties wordt tracéalternatief Vierverlaten west voor dit criterium als minder wenselijk beoordeeld.

Afbeelding 3.11 Noodzaak voor aanvullende technische maatregelen voor de aanleg van een tracésectie bij Kommerzijl (Vierverlaten west)



Tabel 3.24 Beoordeling aantal slecht bereikbare locaties waarbij ingrijpende aanvullende technische maatregelen noodzakelijk zijn.

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	BGM WK	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
aantal slecht bereikbare locaties met noodzaak ingrijpende aanvullende technische maatregelen	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Thermische geleidbaarheid

De thermische geleidbaarheid van de ondergrond is de mate waarin het warmte kan geleiden, ook wel uitgedrukt in een G-waarde. De thermische geleidbaarheid hangt af van het type ondergrond. De meest ongunstige g-waarden zijn die voor organisch materieel (veen) en voor klei, deze bodemtypen geleiden warmte niet goed.

Op basis van openbaar beschikbare bodemdata is vastgesteld dat er mogelijk dikke kleipakketten (> 5 m) aanwezig zijn langs de tracéalternatieven. De gebruikte bodemdata is afkomstig van het DINOloket. Het type ondergrondmodel dat is toegepast gebruikt stochastische methoden om de uiteindelijke keuze voor een bepaalde grondsoort te maken. In de praktijk betekent dat, dat de bodemschematisatie moet worden geïnterpreteerd door de modelonzekerheid daarbij te betrekken, zowel als de variatie van de gekozen grondsoort.

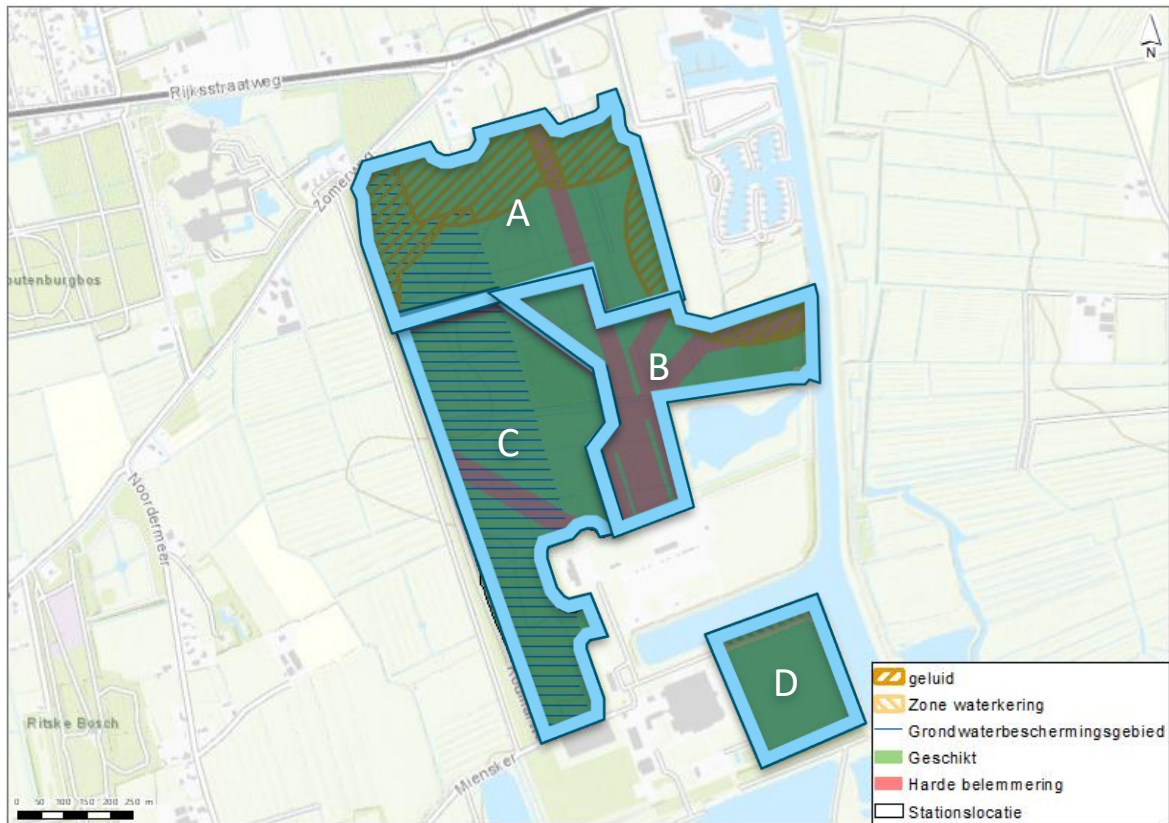
Bij open ontgravingen is het mogelijk om grondverbetering toe te passen, om grond met een lage geleidbaarheid door grond met een hogere geleidbaarheid te vervangen. Bij HDD boringen is dit niet mogelijk, waardoor technische aanpassingen nodig zijn om de belastbaarheid van de kabels te vergroten wanneer een dikke en lange slecht geleidbare laag wordt doorkruist. Gezien de mogelijke mitigerende maatregelen wordt thermische geleidbaarheid in deze fase van het project als niet onderscheidend beschouwd.

3.4 Transformatorstationlocaties

Voor de drie aansluitlocaties van NOZ TNW (Burgum, Vierverlaten en Eemshaven) zijn zoekgebieden voor de installatie van een transformatorstation aangewezen. De zoekgebieden voor de transformatorstations verschillen aanzienlijk in oppervlakte. Zoekgebied Burgum Koumarweg bevat bovendien meerdere typen subgebieden, welke afwijkend van elkaar beoordeeld worden op de gedefinieerde criteria. Dit zoekgebied is voor de gedetailleerde beoordeling opgedeeld in vier delen: A, B, C en D. Zie hiervoor Afbeelding 3.12. Subgebied A omvat de noordelijke akkers, subgebied B het gebied met de hoogspanningslijnen en het noordelijke zonnepark van Engie, subgebied C de oostelijke akkers en het bos en subgebied D het zuidelijke zonnepark van ENGIE.

Afhankelijk van de exacte opbouw van een transformatorstation, kan de ruimte die nodig is variëren. De oppervlakte is namelijk afhankelijk van de precieze indeling van het station, de perceelgrootte, de oriëntatie, de kabelroutes en andere factoren. De oppervlakte die een station beslaat is circa 3,5 ha. Daarnaast zal het werkterrein voor de bouw van het station een maximale additionele ruimte van circa 2 ha kunnen beslaan. Deze oppervlaktes (3,5 ha voor de oppervlakte van het station en 5,5 ha voor de oppervlakte van het station en werkterrein gedurende de aanleg van het station) zijn de uitgangspunten die worden toegepast voor het beoordelen van de zoeklocaties voor een transformatorstation.

Afbeelding 3.12 Opdeling zoekgebied Burgum Koumarweg in zoekgebieden



Waterkeringszone

Tabel 3.25 toont de beoordeling van de verschillende transformatorstationlocaties voor het criterium 'Waterkeringszone'.

Het is minder wenselijk om een transformatorstation in of nabij een waterkeringszone te bouwen. Eis AM-Req-4220 uit PVE.00.002 'Planologische traceringsuitgangspunten en locatie-eisen' stelt:

'TenneT conformeert zich aan het convenant Kabels en leidingen in waterkeringen. Daarom realiseert TenneT geen assets in/nabij een waterkerings- of een vrijwaringszone (bijvoorbeeld een dijk), tenzij gemotiveerd aangetoond wordt dat realisatie elders minder wenselijk of maatschappelijk onverantwoord is en realisatie in dit gebied ook uitvoerbaar kan worden gemaakt.'

TenneT wil geen onnodige schade toebrengen aan waterkeringen, dijken etc.. Daarom hanteert TenneT hierin het uitgangspunt dat in deze zones in principe geen assets worden gerealiseerd. Daarmee wordt ook tegemoet gekomen aan het convenant 'Kabels en leidingen in waterkeringen', Unie van Waterschappen en Het Platform Netbeheerders, 11 december 2012.'

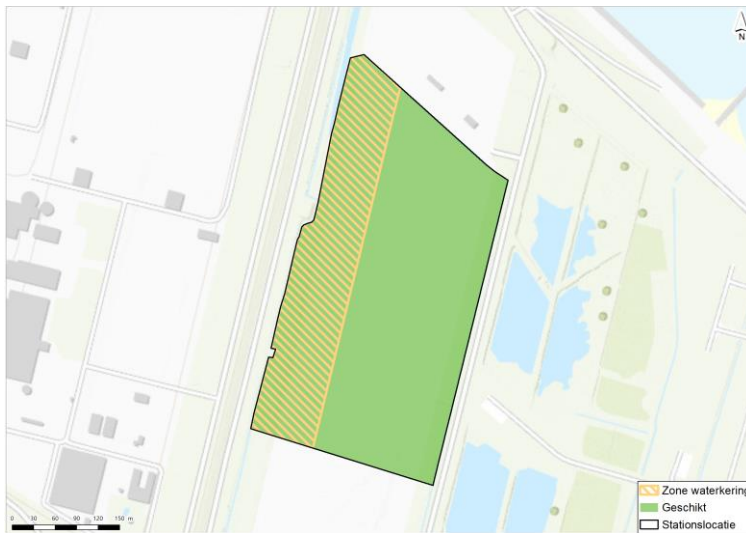
Realisatie van assets in deze zones (of hiervoor gereserveerde zones) wordt daarnaast alleen toegestaan door het bevoegd gezag c.q. de eigenaar indien daar een dringende reden voor is en bepaalde (kostbare en/of technisch moeilijk uitvoerbare) maatregelen zijn of worden genomen. Dit leidt ertoe dat realisatie van assets in dergelijke zones er (doorgaans) voor zorgt dat tijdens de bouw alsook in de beheerfase diverse (kostbare) maatregelen genomen moeten worden en realisatie niet (of slecht) uitvoerbaar is. Een voorbeeld van een maatregel is dat een grotere overspanning moet worden gemaakt.'

De bouw van het station en bijbehorende graafwerkzaamheden kunnen de waterkering mogelijk instabiel maken. Als gevolg daarvan moeten mogelijk aanvullende technische maatregelen worden getroffen om te voorkomen dat de waterkering minder goed functioneert. Het station dient zodanig ontworpen te worden dat de zwaarste onderdelen zoals het Centraal Diensten Gebouw en de transformatorcellen niet op deze zone gebouwd worden. Omdat dit afwijkend kan zijn van beproefde 'standaard'-ontwerpen van

hoogspanningsstations en zodoende extra ontwerp en planning vereist, is dit technisch minder wenselijk. Het criterium Waterkeringszone wordt dus als technisch minder wenselijk beschouwd voor een locatie als er op deze locatie niet voldoende ruimte voor het transformatorstation gevonden kan worden buiten de waterkeringszone.

Op de locatie Eemshaven Waddenweg is er niet voldoende ruimte beschikbaar om een transformatorstation buiten de veiligheidszone van de waterkering te bouwen. Afbeelding 3.13 toont links de beschermingszone van de waterkering van waterschap Noorderzijlvest in lichtblauw en de waterkering zelf in geel. Rechts is het zoekgebied voor de Eemshaven Waddenweg weergegeven (waterkering is aangegeven in blauw). Zoals te zien is in de afbeeldingen, loopt de beschermingszone van de waterkering door het midden van het zoekgebied heen. Binnen het zoekgebied is er daarom niet genoeg ruimte om een conventioneel transformatorstation te bouwen buiten de waterkeringszone. De bouw zal daarom meer technische maatregelen vergen, waardoor Eemshaven Waddenweg op dit criterium beoordeeld is als technisch minder wenselijk. Op de overige locaties is voldoende ruimte beschikbaar om een transformatorstation buiten de veiligheidszone van een waterkering te kunnen bouwen.

Afbeelding 3.13 Locatie Eemshaven Waddenweg, de waterkeringszone van Noorderzijlvest in geel gearceerd



Tabel 3.25 Beoordeling criterium Waterkeringszone voor de verschillende transformatorstationlocaties

	Burgum						Vier- verlaten	Eemshaven	
	BS	BK				BWK		EW	EM
		A	B	C	D				
Waterkeringszone	0	0	0	0	0	0	0	-	0

Compensatiespoel

Tabel 3.26 toont de beoordeling van de verschillende transformatorstationlocaties voor het criterium 'Aanvullende blindstroomcompensatie'.

In het geval dat een transformatorstation onder hoge spanning staat en er daarnaast meer afstand overbrugd moet worden om het aansluitstation te bereiken, neemt de parasitaire capaciteit¹ van het net toe. Dit resulteert in ongewenst blindvermogen en een verhoogde spanning.

De blindstroom kan gecompenseerd worden door de inpassing van een compensatiespoel. Dit vergt echter wel additionele engineering en kosten. Voor de situaties waarbij het opgebouwde blindvermogen nog toelaatbaar is zonder een compensatiespoel te hoeven implementeren, sluit dit aan bij de technische uitgangspunten van het project. Als het opgebouwde blindvermogen echter zo hoog wordt dat het niet toelaatbaar meer is zonder een spoel toe te passen, dan wordt dit als technisch minder wenselijk beschouwd.

Het is nu nog een te vroege fase om te bepalen hoeveel blindvermogen er exact gecompenseerd dient te worden. Echter is er wel een verwachting vastgesteld over bij welke aansluitstations een spoel geplaatst zal moeten worden. Voorzichtig kunnen er de volgende verwachtingen worden beschreven:

- voor aansluitstation Burgum 220 kV hoeft naar verwachting geen spoel toegepast te worden. Bovendien is er altijd nog een terugvaloptie om op de tertiaire wikkeling van de 220/110/20 kV transformatoren een spoel aan te sluiten;
- voor aansluitstation Vierverlaten 380 kV zal het opgebouwde blindvermogen naar verwachting niet zodanig hoog zijn dat compensatie door de plaatsing van een spoel noodzakelijk zal zijn, omdat de afstand tussen transformatorstation en aansluitstation hoogstwaarschijnlijk voldoende kort is. Mocht compensatie echter toch nodig zijn, dan kunnen in eerste instantie op de (tertiaire) 50kV-wikkeling van de 380/220kV-transformatoren spoelen (75 MVar, 50 kV) geplaatst worden;
- voor Eemshaven Oudeschip 380 kV zou er hoogstwaarschijnlijk wel een spoel nodig kunnen zijn, vooral wanneer het transformatorstation op zoeklocatie Eemshaven Middenweg geplaatst zal worden. De afstand tussen het transformator- en hoogspanningsstation is dan namelijk van een aanzienlijke lengte van ongeveer 4,5 km lang. De kans is groot dat het opgebouwde blindvermogen onacceptabel hoog wordt hierdoor en dit gecompenseerd dient te worden. Op het aansluitstation EOS-380kV lijkt er geen ruimte te zijn om de spoel te plaatsen, er is echter wel ruimte op filterstation CFE380. Daarnaast is er ook de mogelijkheid om de spoel op het landstation zelf te plaatsen als dat nodig is. Omdat er een spoel moet worden geplaatst wordt Eemshaven Middenweg op dit criterium als technisch minder wenselijk beoordeeld.

Tabel 3.26 Beoordeling criterium Aanvullende blindstroomcompensatie voor de verschillende transformatorstationlocaties

	Burgum						Vier- verlaten	Eemshaven	
	BS	BK				BWK		EW	EM
		A	B	C	D				
compensatiespoel vereist (naar verwachting)	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	1

Bereikbaarheid zwaar transport

Tabel 3.27 toont de beoordeling van de verschillende transformatorstationlocaties voor het criterium 'Bereikbaarheid zwaar transport'.

Voor de bouw van het station is het van belang dat zwaar transport de locatie kan bereiken: de grootste en zwaarste hoogspanningscomponenten, i.e. de transformatoren, moeten in hun geheel (op de koelers, isolatoren etc. na) verplaatst worden door grote vrachtwagens en door middel van kranen op de juiste locatie geplaatst kunnen worden.

¹ Een ongewenst neveneffect dat optreedt bij lange kabels onder hoge spanning doordat er onbedoeld een elektrische lading ten opzichte van de aarde opbouwt en de kwaliteit van het getransporteerde vermogen zo nadelig beïnvloedt.

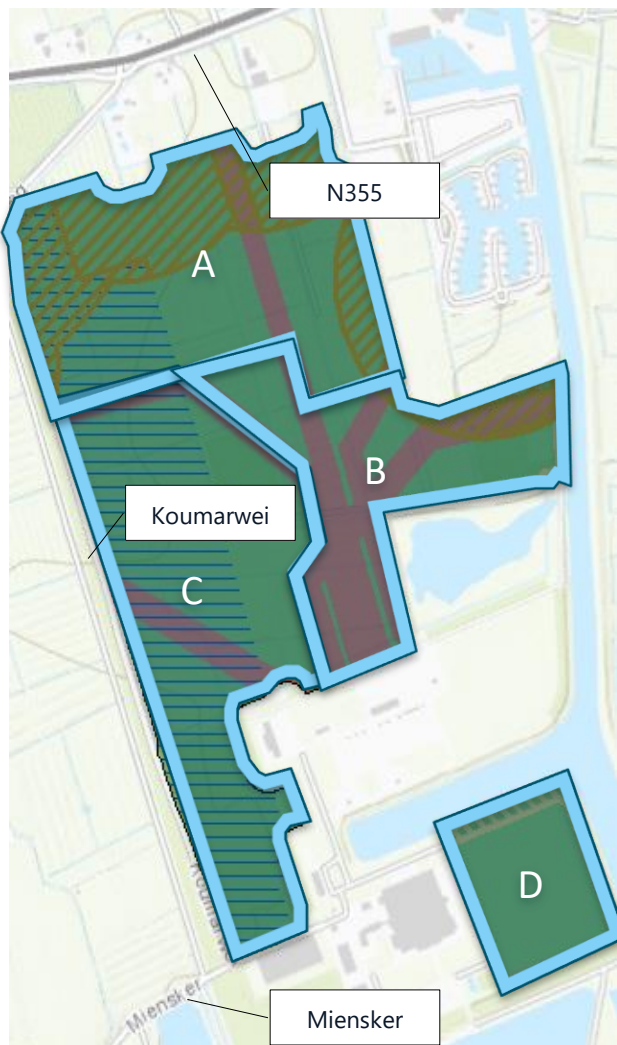
Bovendien stelt eis AM-Req-4212:

'Bij de trasering c.q. locatiebepaling van assets dient er rekening mee te worden gehouden dat deze te allen tijde bereikbaar zijn en blijven voor beheer- en onderhoudswerkzaamheden, uitwisseling en/of aanvoer van materiaal.'

Enkele locaties zijn alleen bereikbaar door kleine zandpaadjes of door kleine wegen met scherpe hoeken erin. Dit is een onderscheidend aspect waardoor sommige locaties als technisch minder wenselijk worden beschouwd. Er moeten dan namelijk extra maatregelen worden getroffen om de bouwlocatie voldoende bereikbaar te maken.

Afbeelding 3.14 toont de locatie Koumarweg. Locatie B vormt een uitdaging voor het vervoeren van zware componenten. De meest dichtstbijzijnde snelweg is de N355, maar vanuit daar zijn er geen goed begaanbare wegen naar het zuiden. In het zuiden van locatie Burgum Koumarweg bevindt zich de Miensker: een begaanbare weg. Om echter bij locatie B te komen, dient eerst de Koumarwei gepasseerd te worden en vervolgens is de locatie alleen bereikbaar via zandwegen met haakse bochten. Aan de oostzijde bevindt zich water. Eventueel zou er gebruik gemaakt kunnen worden van boten om de componenten te vervoeren, maar hier dienen dan aanvullende maatregelen voor getroffen te worden. Voor de locatie Burgum Koumarweg oppervlakte B is dit criterium beoordeeld als technisch minder wenselijk door de hierboven omschreven uitdagingen omtrent zwaar transport.

Afbeelding 3.14 Burgum Koumarweg met indicatie van de wegen waarmee de locaties bereikt kunnen worden.



Tabel 3.27 Beoordeling criterium Bereikbaarheid zwaar transport voor de verschillende transformatorstationlocaties

	Burgum					Vier- verlaten	Eemshaven	
	BS	BK			BWK		EW	EM
		A	B	C	D			
bereikbaarheid zwaar transport	0	0	-	0	0	0	0	0

Bouwen/werken onder hoogspanningslijnen

Tabel 3.28 toont de beoordeling van de verschillende transformatorstationlocaties voor het criterium 'Werken/bouwen onder hoogspanningslijnen'.

Het PVE.00.002 'Planologische traceringsuitgangspunten en locatie-eisen' en het PVE.05.000 'Lijnen' stellen de volgende eisen:

- AM-Req-1565: 'TenneT wenst op zo groot mogelijke afstand te liggen van andere kabels en leidingen, maar minimaal conform NEN3654' (PVE.00.002)

Bovendien geldt voor de zone onder de hoogspanningsverbinding, ook wel bekend als de ZRO-strook, de zakelijk recht overeenkomst (ZRO). TenneT moet in deze strook onderhoud kunnen plegen aan de lijnen. Het plaatsen van een transformatorstation zal veilig onderhoud bemoeilijken en is daarom risicovol.

Concluderend betekent dit dat transformatorstations niet onder of zeer nabij hoogspanningslijnen gebouwd dienen te worden. Als er hoogspanningslijnen over een beoogde transformatorstationslocatie heen hangen, dienen deze lijnen dus verplaatst of verkabeld (ondergronds aanleggen van de hoogspanning) te worden. Ook de werkzaamheden onder hoogspanningslijnen dienen vermeden te worden. Het is daarom technisch minder wenselijk om het tijdelijke bouwterrein onder hoogspanningslijnen in te moeten passen of de lijnen hiervoor te moeten verplaatsen/verkabelen. Dit vertaalt zich voornamelijk in het aspect kosten.

Uit Afbeelding 3.12 kan worden opgemaakt dat op locatie B van Burgum Koumarweg niet voldoende ruimte beschikbaar is om een hoogspanningsstation te kunnen plaatsen: het vrije gebied dat niet onder hoogspanningslijnen ligt is slechts 2,2 ha groot. Ook het verwijderen van het zonnepark zal slechts een oppervlakte van 2,4 ha opleveren. Hier zal het dus nodig zijn om hoogspanningslijnen te verplaatsen of verkabelen.

De overige locaties op zoeklocatie Koumarweg hebben meer dan 5,5 ha ruimte buiten hoogspanningslijnen. Daar spelen echter wel andere factoren, zoals de waterbeschermingszone een rol. AM-Req-1582 uit het PVE.00.002 'Planologische traceringsuitgangspunten en locatie-eisen' stelt dat een transformatorstation niet in een waterbeschermingszone gebouwd mag worden. De waterbeschermingszone is aangegeven met blauwe arcering in Afbeelding 3.12.

Voor gebied C betreft de oppervlakte buiten de waterbeschermingszone en vrij van hoogspanningslijnen 4,9 ha. Dit betekent dat het werkterrein dat benodigd is voor de bouw van het station gedeeltelijk op de waterbeschermingszone zal moeten worden geplaatst om de hoogspanningslijnen te ontwijken. Dit kan inhouden dat er een vergunning voor zal moeten worden aangevraagd en/of er aanvullende beschermingsmaatregelen dienen te worden getroffen om vervuiling van de grond te voorkomen. Echter wordt dit vanuit technisch perspectief niet als technisch onwenselijk beoordeeld.

De overige zoekgebieden (Burgum Swartzenbergerbos, Vierverlaten, Eemshaven) hebben allemaal meer dan voldoende ruimte buiten hoogspanningslijnen of zijn helemaal vrij van hoogspanningslijnen. Daarom wordt alleen locatie B van Burgum Koumarweg gemarkeerd als technisch onwenselijk en worden alle overige locaties beoordeeld als aansluitend bij de technische uitgangspunten.

Tabel 3.28 Beoordeling criterium Bouwen/werken onder hoogspanningslijnen voor de verschillende transformatorstationlocaties

	Burgum					Vier- verlaten	Eemshaven		
	BS	BK			BWK		EW	EM	
		A	B	C	D				
beschikbare ruimte zonder hoogspanningslijnen [ha]	>=5,5	>=5,5	<3,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5

Bouwen/werken boven ondergrondse kabels en leidingen

Tabel 3.29 toont de beoordeling van de verschillende transformatorstationlocaties voor het criterium 'Werken boven ondergrondse kabels en leidingen'.

De elektromagnetische velden die rondom het hoogspanningsstation ontstaan door de hoge spanning, kunnen ondergrondse kabels en leidingen beïnvloeden. Eis AM-Req-1565 uit PVE.00.002 'Planologische traceringsuitgangspunten en locatie-eisen' stelt:

'TenneT wenst op zo groot mogelijke afstand te liggen van andere kabels en leidingen, maar minimaal conform NEN3654.'

De NEN 3654 'Wederzijdse beïnvloeding van buisleidingen en hoogspanningssystemen' beschrijft hoe hoogspanningssystemen buisleidingen kunnen beschadigen of opwarmen door capacatieve, weerstands-, inductieve, thermische en mechanische beïnvloeding. Daarom moet er voldoende afstand worden gehouden van bestaande kabels en leidingen.

Bovendien dient er voor de fundering van sommige delen van het station gegraven te worden. Dit brengt een risico op beschadiging van bestaande kabels en leiding met zich mee. Daarom moeten bestaande kabels en leidingen verplaatst worden als deze de beoogde locatie voor het station doorkruisen. Een werkterrein boven een kabel of leiding plaatsen zal echter wel mogelijk zijn, omdat er daar geen hoge spanningen heersen en er niet gegraven zal worden op die locatie.

Ten slotte is het onwenselijk als er kabels of leidingen van derden onder het terrein van TenneT lopen. In het geval dat er onderhoud aan deze kabel gepleegd dient te worden, is het onwenselijk en onveilig als er werkzaamheden op het transformatorstation uitgevoerd moeten worden.

Hoewel er verscheidene ondergrondse kabels en leidingen aanwezig zijn in de zoekgebieden, is er voor alle locaties voldoende ruimte beschikbaar voor het plaatsen van zowel het transformatorstation als het werkterrein. Daarom worden alle locaties beoordeeld als aansluitend bij de technische uitgangspunten.

Tabel 3.29 Beoordeling criterium Werken boven ondergrondse kabels en leidingen voor de verschillende transformatorstationlocaties

	Burgum					Vier- verlaten	Eemshaven		
	BS	BK					BWK	EW	EM
		A	B	C	D				
beschikbare ruimte zonder ondergrondse kabels en leidingen [ha]	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5

Bouwen/werken boven buisleidingen gevaarlijke inhoud

Tabel 3.30 toont de beoordeling van de verschillende transformatorstationlocaties voor het criterium 'Werken boven buisleidingen gevaarlijke inhoud'.

Het criterium 'Werken boven kabels en leidingen' beschouwt al waarom werken boven leidingen minder wenselijk is. Buisleidingen die gevaarlijke inhoud bevatten, zoals bijvoorbeeld petrochemische stoffen, dienen echter nog aandachtiger beschouwd te worden. Het verplaatsen van deze buizen is ongewenst en bovendien kan ook het werkerrein voor de bouw van het station niet zonder meer boven een buisleiding met gevaarlijke inhoud worden geplaatst in verband met veiligheidsrisico's.

Het zoekgebied Burgum Swartzenbergerbos is afgebakend door een buisleiding met gevaarlijke inhoud welke van het noorden naar het zuiden loopt, waarna deze oostwaarts afbuigt, zoals weergegeven in Afbeelding 3.15. Deze buisleiding vormt daardoor de grens van het zoekgebied. Dit laat echter nog voldoende ruimte over om een station in dit zoekgebied te kunnen plaatsen.

Afbeelding 3.15 Burgum Swartzenbergerbos met gemarkeerde omgevingsfactoren.



Tabel 3.30 Beoordeling criterium Werken boven buisleidingen gevaarlijke inhoud voor de verschillende transformatorstationlocaties

	Burgum					Vier- verlaten	Eemshaven		
	BS	BK			BWK		EW	EM	
		A	B	C	D				
beschikbare ruimte zonder buisleidingen gevaarlijke inhoud [ha]	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5

Bouwen/werken nabij infrastructuur

Tabel 3.31 toont de beoordeling van de verschillende transformatorstationlocaties voor het criterium 'Werken nabij infrastructuur'.

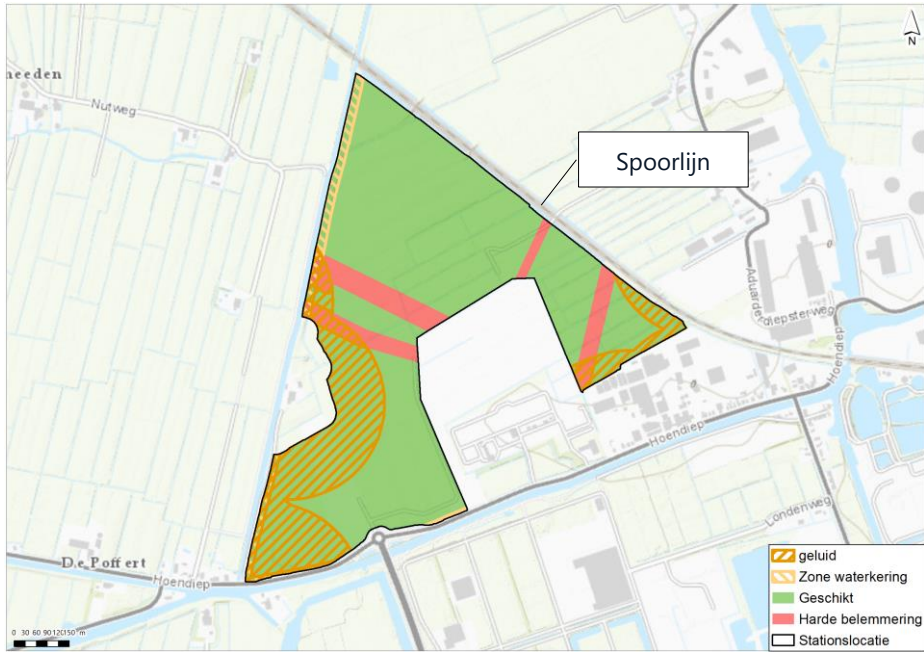
Het station dient niet geplaatst te worden in de nabijheid van bestaande infrastructuur, zoals auto-, spoor- en vaarwegen. Eis AM-Req-1542 uit PVE.00.002 'Planologische traceringsuitgangspunten en locatie-eisen' stelt:

'Geen assets van TenneT realiseren binnen een (toekomstige) beheerszone van wegen (rijk / provincie / gemeente), tenzij het een kruising van deze zone betreft of gemotiveerd aangetoond wordt dat realisatie elders minder wenselijk of maatschappelijk onverantwoord is en realisatie in dit gebied ook uitvoerbaar kan worden gemaakt.'

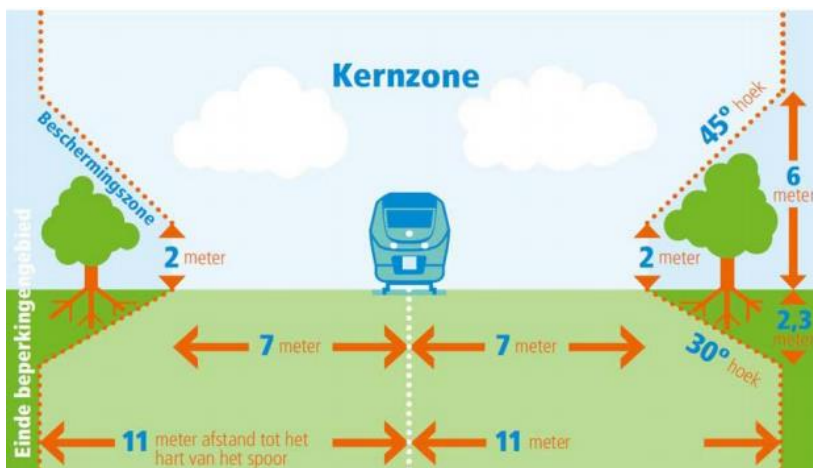
Ook een werkterrein kan niet worden doorkruist door bestaande infrastructuur. Daarom wordt een zoekgebied als onwenselijk beoordeeld wanneer er minder dan 5,5 ha beschikbaar is dat niet door infrastructuur doorkruist wordt.

Geen van de zoeklocaties wordt door auto-, spoor- of vaarwegen doorkruist. Ten noorden van zoeklocatie Vierverlaten ligt wel een spoorlijn, zoals te zien is in Afbeelding 3.16. Het zoekgebied ligt hier dicht tegenaan. ProRail heeft richtlijnen over nieuwbouw nabij het spoor. De Handleiding vergunningaanvraag van ProRail beschrijft vanaf welke afstanden tot het spoor een vergunning aangevraagd dient te worden bij ProRail. Afbeelding 3.17 uit dit document toont de kernzone van het spoor. Voor een spoorlijn op maaiveldhoogte (zoals op deze locatie het geval is), is de kernzone 11 m. Het zoekgebied heeft minimaal een afstand van 15 m vanaf de spoorlijn en valt daarmee buiten de kernzone. Daarom hoeft hier geen rekening met de spoorlijn gehouden te worden bij de bouw van het station. Trillinghinder veroorzaakt door de treinen kan zich echter tot op enkele honderden meters van het spoor verspreiden. Maar omdat de transformatorstations zo gebouwd dienen te worden dat deze zelfs bestand zijn tegen aardbevingen, zullen de trillingen van de treinen geen problemen opleveren.

Afbeelding 3.16 Vierverlaten en de spoorlijn ten noorden van het zoekgebied



Afbeelding 3.17 Kernzone spoorlijn¹



Tabel 3.31 Beoordeling criterium Werken nabij infrastructuur voor de verschillende transformatorstationlocaties

	Burgum						Vierverlaten	Eemshaven	
	BS	BK				BWK		EW	EM
		A	B	C	D				
beschikbare ruimte zonder infrastructuur [ha]	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5

¹ Brochure vergunningaanvraag 01-12-2012, ProRail.

4

TECHNISCHE COMPLEXITEIT BEHEER EN ONDERHOUD

4.1 Op zee

Voor de criteria die worden benoemd onder het aspect technische complexiteit beheer en onderhoud op zee zijn er een aantal criteria reeds toegelicht in paragraaf 3.2. Het gaat om de volgende drie criteria: (1) 'hydrodynamische omstandigheden en navigeerbaarheid', (2) 'afstand tot andere kabels en leidingen' en (3) 'hinder bij onderhoud door scheepvaart'.

Morfologische dynamiek

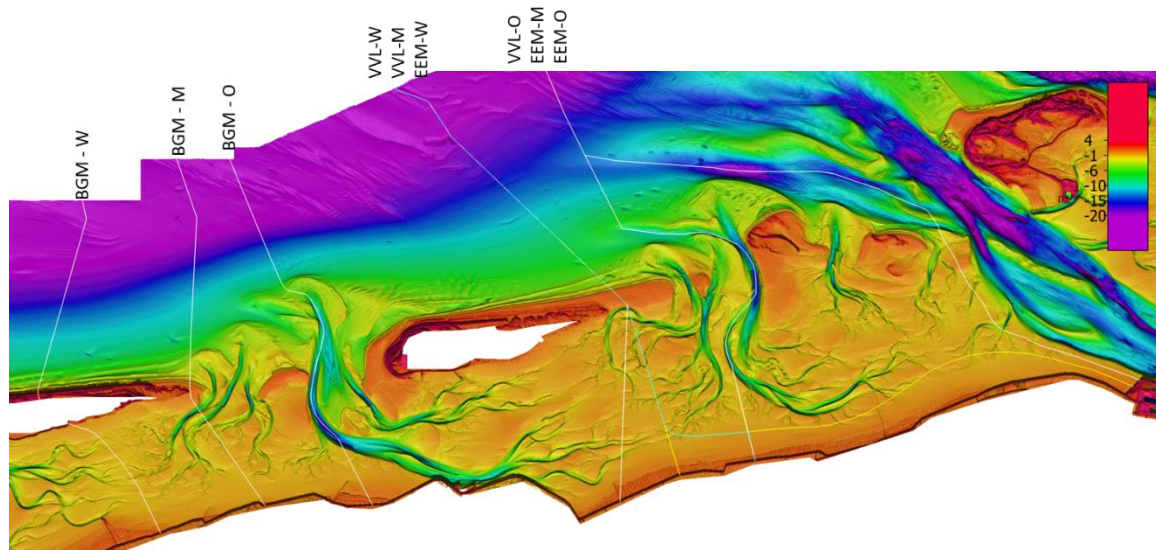
Dit criterium beschrijft hoe morfologische dynamisch bepaalde gebieden langs de tracéalternatieven zijn. Morfologische dynamiek is gescoord van 1 tot 5, waarbij 1 het minst dynamisch en 5 het meest dynamisch is. Bij een zeer dynamische bodem (score 4-5) zal de kabel initieel diep moeten worden begraven om blootliggen en herbegraven gedurende de levensduur te kunnen voorkomen. Wanneer een kabel initieel dieper dan 8 - 10 m moet worden begraven, moet van meer complexe en meer ingrijpende aanlegmethoden gebruik gemaakt worden. Het uitgangspunt van TenneT is 'bury and (try) to forget', de kabel wordt zo aangelegd dat de kans op blootspoeling acceptabel klein is.

Bij een significante bodemdynamica kan de gronddekking op het kabel tracé in de orde van 10 tot 15 m veranderen gedurende de levensduur van de kabel. Wanneer een kabel (intern) faalt en op een dergelijke plek dienen er herstelwerkzaamheden te worden uitgevoerd, en moet de kabel worden ontgraven. Deze herstelwerkzaamheden worden complexer wanneer de dekking boven de kabel groter is dan circa 5 m.

Tracéalternatieven Burgum oost, Vierverlaten oost en Eemshaven midden worden aangelegd in het diepste deel van een getijdegeul. Deze getijde geul is niet statisch maar migreert langzaam richting het oosten, op deze locatie zal de dekking boven de kabel dus significant toenemen als gevolg van de geulmigratie. Voor Eemshaven oost geldt dat een deel van het tracé wordt aangelegd in een zeer dynamisch bankensysteem, de veranderlijke bodemligging kan ertoe leiden dat de dekking boven de kabel significant toeneemt.

Het criterium morfologische dynamiek is daarom voor Burgum oost, Vierverlaten oost, Eemshaven midden en Eemshaven oost beoordeeld als technisch minder wenselijk.

Afbeelding 4.1 Bodemdiepte kaart met daarop de negen tracéalternatieven. De tekstballonnen geven tracéalternatieven Burgum-Oost, Vierverlaten oost en Eemshaven midden aan



Tabel 4.1 Beoordeling criterium morfologische dynamiek voor de negen tracéalternatieven

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
morfologische dynamiek (score 1-5)	1	3	3	4	2	2	4	2	4	5

4.2 Op land

Voor de relevante criteria onder het aspect technische complexiteit beheer en onderhoud op land zijn de aantal reeds toegelicht in paragraaf 3.3. Het gaat om de volgende twee criteria: (1) 'aantal slecht bereikbare werkterreinen voor intredepunt HDD' en (2) 'aantal slecht bereikbare locaties waarbij ingrijpende aanvullende technische maatregelen noodzakelijk zijn'.

4.3 Transformatorstationlocaties

De transformatorstations worden zo gebouwd (inclusief hek en terrein) dat beheer en onderhoud altijd goed mogelijk is. Er zijn op alle zoeklocaties geen bijzonderheden die beheer en onderhoud moeilijker maken dan de aanleg. Daardoor is voor de transformatorstations geen afweging op de technische complexiteit van beheer en onderhoud nodig.

5

BESCHIKBAARHEID VERBINDING

5.1 Op zee

Faalkans

De faalkans van een kabelsysteem op zee is opgebouwd uit de interne en externe faalkans. Onder interne faalkans wordt het falen van de kabel verstaan door het spontaan falen van de interne isolatie. Onder externe factoren worden specifieke risico's verstaan die de kabel van buitenaf beschadigen met een doorslag tot gevolg (bijvoorbeeld: schip zinkt op kabel of anker blijft haken achter kabel).

Interne faalkans

De faalkans per tracéalternatief ten gevolge van intern falen is gebaseerd op een kengetal per kilometer kabel per jaar dat wordt bepaald door statistische gegevens over kabel falen. De specifieke faalkans van een tracé is daarom alleen afhankelijk van de lengte van het tracé. De interne faalkans voor Eemshaven midden (langste tracéalternatief) is dus groter dan de interne faalkans voor Burgum west (kortste tracéalternatief). De faalkans per kilometer is dusdanig klein dat ook het verschil in lengte een zodanig klein verschil in totale interne faalkans geeft dat TenneT heeft aangegeven dat de faalkans in deze fase van het project geen invloed heeft op de keuze voor een voorkeursalternatief, en dus niet onderscheidend is.

Externe faalkans

De externe faalkans is bepaald met behulp van de risico gestuurde begraafdiepte methode¹. Het berekenen van de faalkans door externe bedreigingen is uitgevoerd op basis van begraafdieptes conform de uitgangspunten van het Bevoegd Gezag. Uit de berekeningen is gebleken dat de externe faalkans bij voldoende initiële begraafdiepte een orde 10-100 keer kleiner is dan de interne faalkans. Een kabel wordt namelijk alleen dan aan externe risico's blootgesteld wanneer de begraafdiepte van de kabel niet (meer) afdoende is om de kabel tegen die externe bedreigingen te beschermen. De relatief kleine externe faalkans voor de onderzochte tracés hangt met name samen met de beperkte scheepvaartintensiteit van grote schepen langs de tracéalternatieven.

Aangezien de externe faalkans een orde 10-100 keer kleiner is dan de interne faalkans heeft ook deze externe faalkans geen invloed op de keuze voor een voorkeursalternatief en is deze dus niet onderscheidend.

5.2 Op land

Faalkans

De faalkans van een kabelsysteem op land is opgebouwd uit de generieke faalkans (een combinatie van interne en externe faalkans) en de additionele faalkans.

¹ Witteveen+Bos 2020 Bepaling begraafdiepte. Referentie: 114227-3.33/20-002.394.

Generieke faalkans

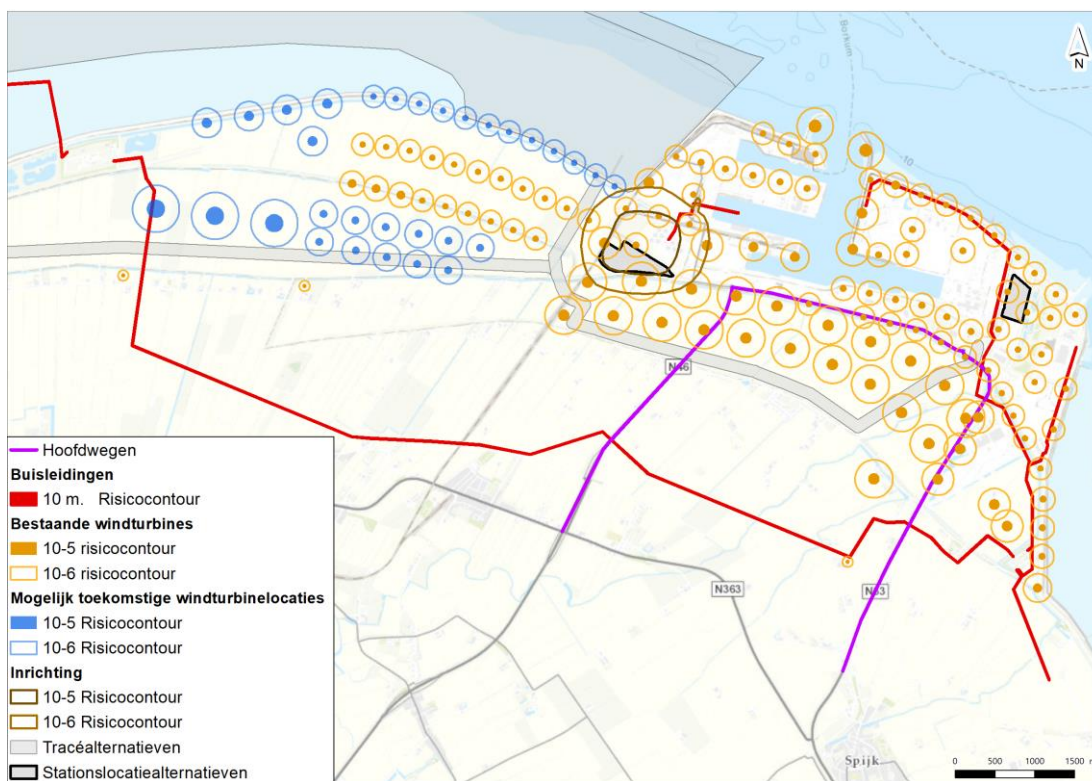
De faalkans per tracéalternatief is gebaseerd op een kengetal per kilometer kabel per jaar dat wordt bepaald door statistische gegevens over kabel falen. De specifieke faalkans van een tracé is afhankelijk van de lengte van het tracé. Er is door TenneT aangegeven dat het verschil in de totale faalkans vanwege de verschillen in tracé lengte in deze fase van het project geen invloed heeft op de keuze voor een voorkeursalternatief, en dus niet onderscheidend is.

Additionele faalkans

Er is naast de faalkans op basis van kengetallen ook gekeken naar de zogenaamde additionele faalkans voor de tracéalternatieven naar Eemshaven in verband met de nabij gelegen windmolens. De additionele faalkans van de kabel is een kwantificatie van plaatsgebonden externe risico's die tot uitval van de kabel kunnen leiden. Het hoofdzakelijke risico voor de kabel op land is het risico van mast- en/of bladbreuk bij windmolens in de buurt van het tracé. De enige locatie op land waar windmolens in het tracégebied liggen, is de Eemshaven. Om het risico van deze windmolens te kwantificeren, is een contour voor de risicozone bij mast- en bladbreuk van windmolens getekend, waarbinnen een plaatsgebonden risico van 10^{-6} per jaar is. Deze risicozone is gelijk aan de maximale werpafstand van een rotorblad bij bladbreuk¹. Geteld wordt hoe vaak naar verwachting een risicozone door de kabel wordt doorkruist. Aangenomen wordt dat in 50% van de gevallen een mast- of bladbreuk richting de kabel zal plaatsvinden, en dat in 50% van de gevallen de mast of het blad zich van de kabel af beweegt. De totale faalkans is dan de faalkans per windmolen (10^{-6}) maal het aantal kruisingen van het tracé met een risicozone maal 50%. Afbeelding 5.1 toont de risicozones voor windmolens in de Eemshaven. Een deel van de windmolens in de afbeelding staat er nog niet, maar wordt in de toekomst pas geplaatst voor Windpark Eemshaven-West (de afbeelding toont 1 van de 5 mogelijke plaatsingsscenario's).

De additionele faalkans van tracéalternatieven naar Eemshaven is meerdere orders kleiner dan de hierboven beschreven generieke faalkans en daarom heeft ook deze additionele faalkans geen invloed op de keuze voor een voorkeursalternatief en is deze dus niet onderscheidend

Afbeelding 5.1 Risicocontouren voor huidige en toekomstige windmolens bij de tracés voor Eemshaven



¹ Handboek risicozonering windturbines.

5.3 Transformatorstationlocaties

Interne faalkans

De interne faalkans van een station beschrijft hoe groot de kans is dat een station component door een eigen defect faalt. Dit kan bijvoorbeeld door een fout bij de productie van de componenten veroorzaakt worden.

In deze fase van het project zijn er nog geen ontwerpkeuzes gemaakt voor de specifieke inrichting van het station. Daarom kan er nu nog weinig gezegd worden over verschillen tussen de interne faalkansen van de stationslocaties. Het verschil tussen de locaties die nu bekend zijn, is de afgaande spanning: voor Burgum is dit 220 kV en voor de overige locaties is dit 380 kV. Voor alle locaties zullen regelbare vermogenstransformatoren worden toegepast. De kengetallen voor faalkansen maken geen onderscheid tussen transformatoren op deze verschillende spanningen. Op basis van deze informatie kunnen er in deze fase dus geen onderscheidende verschillen worden vastgesteld.

Verder wordt er afhankelijk van de ontwerpspanning (220 kV of 380 kV) met andere type producten gewerkt. Echter verschilt de faalkans tussen deze componenten zo weinig (de kengetallen voor faalkansen zijn wederom gelijk voor elk type component), dat dit in deze fase van het project niet onderscheidend is.

Tot slot kan worden opgemerkt dat de componenten die TenneT toepast bij de bouw van een transformatorstation door leveranciers uit raamcontracten worden geleverd welke betrouwbare componenten produceren. De faalkans van deze componenten is zodanig laag dat dit geen rol kan spelen bij het selecteren van de transformatorstationslocatie.

Externe faalkans

Tabel 5.1 toont de beoordeling van de verschillende transformatorstationlocaties voor het criterium 'Externe faalkans'.

De externe faalkans van een station omvat de kans dat het station niet meer kan functioneren door toedoen van externe factoren. Dit kunnen algemene factoren zijn, zoals een helikopter of vliegtuig die op het station neerstort, extreme weersomstandigheden, brand en dergelijken, maar ook locatie gebonden factoren. Deze locatie gebonden factoren kunnen een locatie minder wenselijk maken om te selecteren voor een transformatorstation. Windturbines of nabije industrie met explosiegevaar zijn externe risicofactoren die een rol spelen bij de huidige zoekgebieden.

De Eemshaven is een gebied met een hoge windturbine-dichtheid. Zowel zoeklocatie Eemshaven Waddenweg als Eemshaven Middenweg worden omringd door windturbines. De windturbines vormen een risico wanneer hier mastbreuk of bladbreuk optreedt en er onderdelen van de windturbine op het station vallen en beschadigingen veroorzaken. Het Handboek Risicozonering Windturbines (2014) verschaft faalfrequenties van mastbreuk of bladbreuk. De faalkans voor mastbreuk is $8,4 \cdot 10^{-4}$ en voor bladbreuk $1,3 \cdot 10^{-4}$. Gezamenlijk resulteert dit in een faalkans van $9,7 \cdot 10^{-4}$ keer. Er wordt aangenomen dat in 50% van de gevallen de mastbreuk of bladbreuk zich naar het transformatorstation toe beweegt en dat dit leidt tot falen van het station. De faalkans van een station veroorzaakt door de nabijheid van een windturbine is daarmee $4,9 \cdot 10^{-4}$.

Aangenomen wordt dat de generieke faalkans van een transformatorstation één keer in de 50 jaar is ($2,0 \cdot 10^{-2}$). Een toename van de kans van falen van 10 % ten opzichte van de generieke faalkans wordt als acceptabel genomen. De maximaal wenselijke toename van de faalkans door een externe risicobron wordt daarmee $2,0 \cdot 10^{-3}$. Met een toegenomen faalkans per windturbine van $4,9 \cdot 10^{-4}$, kan worden berekend bij hoeveel windturbines de wenselijke toename van de faalkans wordt overschreden:

$$\frac{2,0 \cdot 10^{-3}}{4,9 \cdot 10^{-4}} = 4,08$$

Wanneer er zich meer dan vier windturbines zich in de nabijheid van het station bevinden, wordt de faalkans als minder wenselijk beschouwd. Zoeklocaties waarbij er alleen ruimte voor een station is in nabijheid van vijf

windturbines of meer worden daarom als onwenselijk beoordeeld. Het aantal windturbines in de nabijheid van de Eemshaven overschrijdt dit aantal. Een notitie van TenneT¹ bevestigt dit verhoogde risico, maar beargumenteert dat dit risico alleen van toepassing is op de leveringszekerheid van de energieproductie van specifiek het windturbinepark van NOZ TNW en niet op de leveringszekerheid van het gehele Nederlandse elektriciteitsnet, omdat het windpark geen onderdeel is van de vitale elektriciteitsinfrastructuur van TenneT. Daarom beschouwt TenneT het risico vanuit het gehele overkoepelende elektriciteitsnetwerk als aanvaardbaar.

De andere locatie-specifieke factor die de externe faalkans verhoogt is het terrein van Vopak in de Eemshaven. Vopak heeft olieterminals op dit terrein staan, welke explosie- en brandgevaar met zich meebrengen. De 1 % letaliteitsafstanden van typische brand- en explosiescenario's van een olieterminal liggen meestal in de ordegrootte 100-500 m. Echter ligt een groot deel van de locatie Eemshaven Middenweg op een kleinere afstand van deze olieterminals. In 2019/2020 wordt door TenneT (samen met Enexis) een 110kV-hoogspanningstation gebouwd aan de Eemshaven Middenweg, in de directe nabijheid van Vopak. Hierbij worden de brand- en explosierisico's geaccepteerd. Voor een transformatorstation voor Net op zee TNW zal ook een risicoschatting gemaakt worden, waarna deze naar verwachting ook geaccepteerd kan worden.

Zowel de nabijheid van de windmolens als de risicoverhoging door de aanwezigheid van VOPAK (alleen voor Eemshaven Middenweg) leiden ertoe dat het criterium externe faalkans voor transformatorstationlocaties Eemshaven Waddenweg en Eemshaven Middenweg worden beoordeeld als technisch minder wenselijk. TenneT kan gemotiveerd afwijken van haar uitgangspunt ten aanzien van externe faalkans.

Tabel 5.1 Beoordeling criterium Externe faalkans voor de verschillende transformatorstationlocaties

	Burgum					Vier- verlaten	Eemshaven	
	BS	BK					BWK	EW
		A	B	C	D			
externe faalkans	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	-	-

¹ 'Acceptance of wind turbines near NOZ TNW cable routes and land station', TenneT, d.d. 26/02/2020 (intern document).

Bijlage(n)



BIJLAGE: TABEL BEOORDELINGSCRITEIA OP ZEE¹

¹ Beschikbaarheid verbinding is niet van toepassing, zie Paragraaf 4.2 voor toelichting.

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
Technische complexiteit aanleg										
bodemsamenstelling [km klei]	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0
baggerwerkzaamheden	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0
verbindingsmoffen op de Waddenzee (aantal per kabel)	2	3	3	3	4	4	3	5	11	4
HDD op zee (aantal)	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	1
niet gesprongen explosieven	0	0	0	0	-	-	-	-	-	--
kofferdammen op het wad (aantal)	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
kofferdammen in de brandingszone (aantal)	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0
inductieve beïnvloeding	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
hydrodynamische condities en navigeerbaarheid	0	--	--	--	0	0	--	0	--	--
aanvoer kabels en materieel	0	0	0	0	-	-	0	-	-	0
kruisingen zandige punt eiland (aantal)	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0
afstand tot andere kabels en leidingen <500 m	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	4
onderlinge afstand kabels TNW	0	0	0	-	0	0	-	0	-	-
productietijd zeekabels [maanden]	17	17	17	17	18	18	20	19	25	22
hinder door scheepvaart	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0
Technische complexiteit beheer en onderhoud										
hydrodynamische condities en navigeerbaarheid	0	--	--	0	0	0	0	0	0	0
afstand tot andere kabels en leidingen <500 m	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	4
hinder door scheepvaart	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0
morfologische dynamica - ranked (1-5)	1	3	3	4	2	2	4	2	4	5



BIJLAGE: TABEL BEOORDELINGSCRITEIA OP LAND¹

¹ Beschikbaarheid verbinding is niet van toepassing, zie Paragraaf 4.2 voor toelichting.

	BGM-W	BGM-MW	BGM-M	BGM-O	BGM WK	VVL-W	VVL-M	VVL-O	EEM-W	EEM-M	EEM-O
Technische complexiteit aanleg											
aantal HDD-locaties met raakvlak derden	1	1	2	2	0	0	0	0	1	1	1
aantal HDD-locaties nabij belendingen/ funderingen	4	4	5	4	1	1	1	3	1	1	1
aantal HDD's > 1.100 m	1	1	1	1	0	0	2	1	0	0	0
aantal HDD's met risico op blow-out	4	4	4	4	2	1	1	0	0	0	0
aantal locaties met GFT	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
lengte parallelle ligging en kruising hoogspanningslijn [m]	1.750	1.750	1.700	1.700	300	100	100	950	50	50	50
aantal locaties met transport door woonwijken	4	4	0	1	2	0	0	0	0	0	0
aantal slecht bereikbare werkerreinen voor intredepunt HDD	5	5	2	3	5	7	7	8	5	2	2
aantal slecht bereikbare locaties met noodzaak ingrijpende aanvullende technische maatregelen	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Technische complexiteit beheer en onderhoud											
aantal slecht bereikbare werkerreinen voor intredepunt HDD	5	5	2	3	5	7	7	8	5	2	2
aantal slecht bereikbare locaties met noodzaak ingrijpende aanvullende technische maatregelen	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0



BIJLAGE: TABEL BEOORDELINGSCRITEIA TRANSFORMATORSTATIONS¹

¹ Technische complexiteit beheer en onderhoud is niet van toepassing, zie Paragraaf 4.3 voor toelichting.

	Burgum					Vier-verlaten	Eemshaven		
	BS	BK			BWK		EW	EM	
		A	B	C	D				
Technische complexiteit aanleg									
waterkeringszone	0	0	0	0	0	0	0	-	0
compensatiespoel vereist (naar verwachting)	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	1
bereikbaarheid zwaar transport	0	0	-	0	0	0	0	0	0
beschikbare ruimte zonder hoogspanningslijnen [ha]	>=5,5	>=5,5	<3,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5
beschikbare ruimte zonder ondergrondse kabels en leidingen [ha]	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5
beschikbare ruimte zonder buisleidingen gevaarlijke inhoud [ha]	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5
beschikbare ruimte zonder infrastructuur [ha]	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5	>=5,5
Beschikbaarheid verbinding									
externe faalkans	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	-	-

