



ONTSLUITING TERNEUZEN 380 KV

Verkennend Onderzoek

TenneT TSO B.V.

Rapport nr.: 21-1613, Rev. 3

Datum: 2021-12-20



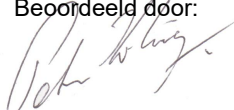
Projectnaam:	Ontsluiting Terneuzen 380 kV	Energy Systems
Rapport titel:	Verkennd Onderzoek	DNV Netherlands B.V.
Klant:	TenneT TSO B.V., Utrechtseweg 310, Arnhem	Utrechtseweg 310-B50
Contactpersoon klant:	Marien Ruppert	6812 AR Arnhem
Datum uitgave:	2021-12-20	
Project nr.:	10307693	
Organisatie unit:	TDT	Tel: 026 356 9111
Rapport nr.:	21-1613, Rev. 3	Handelsregister Arnhem 09006404

Geschreven door:



Mohammad Reza Shah Mohammadi

Beoordeeld door:



Peter Kolmeijer

Goedgekeurd door:



Andries van der Wal



Jin Zhang



Frank de Wild

Copyright © DNV 2021. All rights reserved. Unless otherwise agreed in writing: (i) This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise; (ii) The content of this publication shall be kept confidential by the customer; (iii) No third party may rely on its contents; and (iv) DNV undertakes no duty of care toward any third party. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited.

DNV Distributie:

- Open
- Intern
- Commercieel vertrouwelijk
- Vertrouwelijk
- Geheim

*Specificatie distributie: --

Trefwoorden:

Rev.	Datum	Reden van uitgave	Auteur	Beoordeeld	Goedgekeurd
0	2021-10-14	Concept uitgave	Mohammad Reza Shah Mohammadi	Peter Kolmeijer	Andries van der Wal
1	2021-11-18	Eindconcept	Mohammad Reza Shah Mohammadi	Peter Kolmeijer	Andries van der Wal
2	2021-12-07	Definitieve uitgave	Mohammad Reza Shah Mohammadi	Peter Kolmeijer	Andries van der Wal
3	2021-12-20	Definitieve uitgave	Mohammad Reza Shah Mohammadi	Peter Kolmeijer	Andries van der Wal

Inhoudsopgave

1	SAMENVATTING.....	1
2	INLEIDING.....	3
3	NETSTRATEGIE.....	4
3.1	Belastbaarheid en transportcapaciteit	4
3.2	Netconfiguraties	4
4	TRACÉ.....	7
5	TECHNOLOGIEN.....	10
5.1	Hoogspanningslijn	10
5.2	Kabels	26
5.3	Gasgeïsoleerde transmissielijn (GIL)	46
5.4	Hybride	50
6	REFERENTIES EN BRONNEN.....	51
Appendix A	Overzicht van het bestaande elektriciteitsnet	
Appendix B	TRL	

1 SAMENVATTING

DNV heeft in opdracht van TenneT een verkennend onderzoek gedaan naar mogelijkheden voor het ontsluiten van Terneuzen in het 380kV-net van TenneT. In dit kader zijn drie mogelijke routes en drie mogelijke netconfiguraties beschouwd.

De beschouwde netconfiguraties zijn een Uitloper, een Aftakking en een Inlusing. De Uitloper en Aftakking zijn in eerste instantie beschouwd als twee-circuit verbindingen met belastbaarheid van 2 x 2635 MVA. Een Inlusing is gebaseerd op een vier-circuit verbinding met een belastbaarheid van 4 x 2635 MVA.

Voor de landtracés is, in lijn met het staande TenneT beleid, uitgegaan van bovengrondse verbindingen. Voor de Westerscheldekrusing zijn bovengrondse-, kabelverbindingen en Gas Insulated Lines (GIL) beschouwd. Voor de kabelverbinding zijn installatie in een tunnel, direct ingegraven kabels en in met gestuurde boringen (Horizontal Directional Drilling, HDD) aangebrachte buizen beschouwd.

Er zijn drie routes beschouwd: de tracés West, Midden en Oost. De tracés zijn bedoeld om een eerste verkenning te doen naar de aspecten bij een West, Midden en Oost kruising. Een kruising van de Westerschelde bij Rilland is niet onderzocht in verband met de daar aanwezige natuurgebieden en het landtracé onevenredig lang wordt vergeleken met de andere alternatieven. De beschreven tracés zijn verre van alomvattend en in een ruimtelijke procedure zal eerst een uitgebreider onderzoek plaatsvinden naar mogelijke tracés in samenspraak met de omgeving.

Tracé West: het West tracé kruist de Westerschelde westelijk van Terneuzen naar Borssele. Dit tracé heeft een landtracé van ongeveer vijf km in Zeeuws-Vlaanderen, een waterkruising van ongeveer zes km en een kort landtracé in Zuid-Beveland. De waterkruising op deze locatie wordt als praktisch onhaalbaar gezien vanwege de aanwezigheid van meerdere vaargeulen en een diepe vaargeul bij Borssele in combinatie met een hoge kade. Het vinden van een tracé in Zuid-Beveland wordt als moeilijk beschouwd door de aanwezigheid van bestaande infrastructuur.

Tracé Midden: het Midden tracé kruist de Westerschelde in de nabijheid van het nieuwe 380 kV station Terneuzen, zodat de benodigde verbinding in Zeeuws-Vlaanderen kort kan zijn. In Zuid-Beveland kan de nieuwe hoogspanningslijn gebundeld worden met de bestaande 150 kV verbinding Goes-Terneuzen, of met de weg N62. De kruising van de Westerschelde kent een aantal uitdagingen. Er zijn meerdere vaargeulen die gekruist moeten worden en er moet rekening gehouden worden met de morfologie van de bodem.

Tracé Oost: het Oost tracé kruist de Westerschelde ongeveer 15 km ten oosten van Terneuzen. In Zeeuws-Vlaanderen zal ongeveer 20 km hoogspanningslijn nodig zijn, afhankelijk van de locatie van het nieuwe 380 kV station Terneuzen. Het ontwikkelen van een 20 km hoogspanningslijn op land vergt afstemming met meerdere nieuwe stakeholders. Er bevindt zich één vaargeul in de waterkruising, de rest van de kruising gaat door relatief ondiep water. In Zuid-Beveland kan het tracé relatief kort zijn, omdat de nieuwe verbinding Borssele-Rilland hier dicht bij de Westerschelde loopt.

Een samenvatting van de verkende technologieën voor de waterkruising is als volgt.

Hoogspanningslijn: Het kruisen van een brede waterweg met een hoogspanningslijn is een bewezen technologie en kan worden uitgevoerd met standaard componenten. Door de aanwezigheid van vaargeulen zal de locatie van de masten in overleg met stakeholders bepaald moeten worden. De masten moeten minstens 250 m buiten de hoofdvaargeul geplaatst worden. Voor de doorvaarthoogte in de hoofdvaargeul is voorlopig uitgegaan van 100 m. Dit betekent dat voor de kruising van de hoofdvaargeul een overspanning van ongeveer 1000 m en masten van ongeveer 200 m hoog nodig zijn.

Direct ingegraven kabel: Direct ingegraven kabel is een bewezen technologie en veel toegepast voor het aansluiten van offshore wind. Toepassen van deze technologie zal afstemming met stakeholders vergen vanwege de onvermijdelijke verstoring van het scheepvaartverkeer. In verband met de aanwezige morfologie zullen de kabels diep genoeg ingegraven moeten worden.

Kabel in HDD-buis: De lengte van de waterkruising is zodanig dat aanleg van kabel in HDD buizen een aantal boringen in serie zal vergen. Dit is voor een waterkruising ongebruikelijk en hier zal nadere studie naar de haalbaarheid nodig zijn.

Kabel in tunnel: Aanleg van kabels in een tunnel is een bewezen technologie. Waarschijnlijk is een koelsysteem benodigd om de gewenste transportcapaciteit te garanderen. Nadeel hiervan is dat de betrouwbaarheid van de verbinding afhankelijk wordt van externe systemen. Daarbij zal de vraag gesteld worden of een dergelijke tunnel ook voor andere utiliteiten gebruikt kan worden, maar hierbij moet opgemerkt kan ook worden dat het ontwikkelen, aanleggen en exploiteren van een utiliteitstunnel niet behoort tot de gereguleerde taken van TenneT. Een laatste beschouwde optie is de aanleg van hoogspanningskabels in de bestaande verkeerstunnel. Dit wordt echter als praktisch onhaalbaar beschouwd, aangezien de tunnelbuis volledig gereconstrueerd zal moeten worden.

Kabel algemeen: In dit deel van netwerk bij Borssele bevinden zich al aanzienlijke kabellengtes, zoals de aansluitingen van Wind op Zee. De komende jaren worden de 380 kV kabelsecties in de ZW380 projecten aangesloten op het net. De vraag is daarom of in dit deel van het net de grens bereikt is van de maximale kabellengte die geïntroduceerd kan worden. Gedetailleerde studies naar de spanningshuishouding, blindstroomcompensatie, asymmetrie, harmonischen en transiënten zullen uitgevoerd moeten worden om de effecten van het toevoegen van meer kabels in kaart te brengen, de risico's te beoordelen en mitigerende maatregelen en de haalbaarheid hiervan te onderzoeken.

Hybride: Een hybride oplossing, waarbij de voordelen van de verschillende technologieën worden gecombineerd, is ook een te overwegen alternatief. Dit zou kunnen bestaan uit een kabels in een HDD- buis voor kruising van de hoofdvaargeul en een hoogspanningslijn in de ondiepere gedeelten. Dit vergt een complexe opstijglocatie in de Westerschelde.

GIL: De toepassing van GIL wordt op dit moment als niet realistisch beschouwd. GIL is niet eerder toegepast bij de hier benodigde lengte, terwijl een betrouwbare verbinding voor Zeeuws-Vlaanderen gewenst is. Het isolatiemedium SF6 is een broeikasgas, waar TenneT de toepassing van wil reduceren.

2 INLEIDING

TenneT onderzoekt de mogelijkheden voor het ontsluiten van Terneuzen in het 380kV-net van TenneT. Dit is de uitkomst van de Cluster Energie Strategie (CES) van het cluster Smart Delta Resources (Zeeland) welke is opgesteld naar aanleiding van het klimaatakkoord. In de CES is een inventarisatie gemaakt van het verwachte toekomstig elektriciteitsverbruik in Zeeuws-Vlaanderen. Uit de inventarisatie blijkt dat het toekomstig elektriciteitsverbruik in Zeeuws-Vlaanderen sterk kan toenemen wat aanleiding geeft tot het onderzoeken van het ontsluiten van Terneuzen met een 380kV station.

North Sea Ports, TenneT en EZK hebben een projectgroep opgezet om een eerste verkenning te doen en samen een project vorm te geven. Hierbij worden de stappen van het Programma Infrastructuur Duurzame Industrie (PIDI) gevolgd. Hierin beoordeelt de overheid op basis van de CES-en welke infrastructuurprojecten voorbereid en uitgevoerd moeten worden. De 380kV ontsluiting van Zeeuws-Vlaanderen is één van de projecten die geselecteerd is en op dit moment vindt de voorbereiding plaats tot besluitvorming en initiatie van het project (RCR-procedure).

TenneT heeft opdracht verstrekt aan DNV voor (technische) ondersteuning bij de verkenning van de 380 kV ontsluiting van Zeeuws-Vlaanderen. De ondersteuning betreft in hoofdzaak een onderzoek naar uitvoeringsmogelijkheden van een nieuwe verbinding van Zuid-Beveland naar Zeeuws-Vlaanderen en specifiek de waterkruising van de Westerschelde. Dit rapport bevat een beschrijving van relevante aspecten van verschillende netconfiguraties, tracés en technische uitvoeringsvormen van deze 380 kV verbinding.

Het doel van deze verkenning is:

- Input geven voor het schrijven van de Nut & Noodzaak van het project ten behoeve van de PIDI, MIEK en RCR
- Het mogelijk maken het project een duidelijke afbakening te geven door uitsluitel te geven in de (technische) mogelijkheden/onmogelijkheden
- Een inzicht geven in de diverse opties en de daarmee samenhangende aspecten
- Eventuele “show stoppers” identificeren.

De verkenning is gebaseerd op door TenneT ter beschikking gestelde documenten en presentaties, workshopsessie TenneT – DNV, publicaties en websites van organisaties en DNV-kennis en ervaring.

In hoofdstuk 3 en 4 worden respectievelijk mogelijke netconfiguraties en tracés besproken. Hoofdstuk 5 bevat een verkenning van verschillende technologieën: hoogspanningslijnen, kabels, Gas Insulated Line (GIL) en hybride uitvoeringen. Aspecten die zijn beschouwd als onderdeel van de verkenning van de technologieën zijn veiligheid, betrouwbaarheid en beschikbaarheid, technische haalbaarheid, indicatieve bouwtijd, onderhoudbaarheid, kwalitatieve beschouwing van elektrotechnische aspecten, waaronder blindvermogen en netkwaliteit, impact op de natuur en omgeving en kosten.

Bijlage A bevat een kaart van het gebied met de bestaande hoogspanningsinfrastructuur en Bijlage B geeft een korte uitleg over het begrip Technology Readiness Level.

3 NETSTRATEGIE

3.1 Belastbaarheid en transportcapaciteit

In deze verkenning wordt een belastbaarheid van 4 kA (2635 MVA) per 380 kV circuit aangehouden. Dit is conform de standaard belastbaarheid van 380 kV verbindingen in het Nederlandse hoogspanningsnet. Alle nieuwe 380 kV verbindingen worden uitgelegd op 4 kA en een groot aantal 380 kV verbindingen wordt momenteel verzwaaard naar een belastbaarheid van 4 kA.

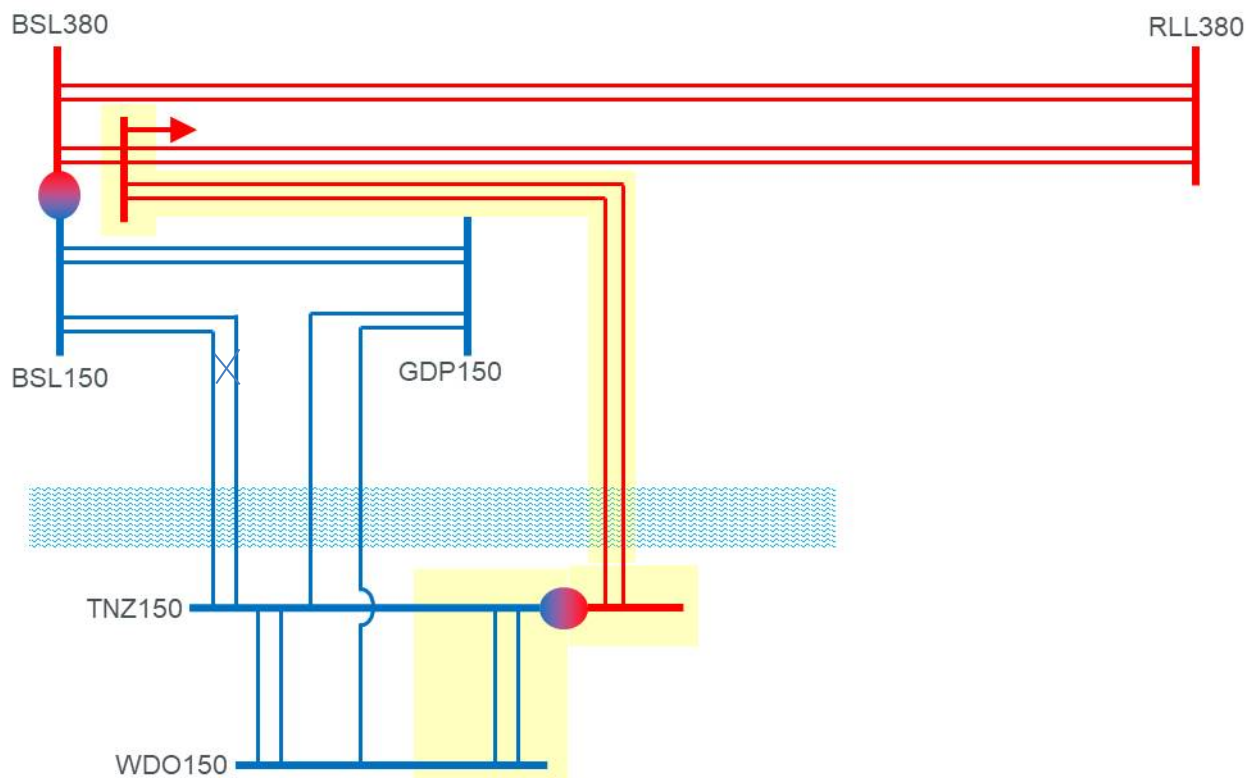
3.2 Netconfiguraties

Voor dit verkennend onderzoek naar de 380 kV ontsluiting van Terneuzen zijn drie netconfiguraties beschouwd:

- een 380 kV Uitloper vanaf een nieuw 380 kV station nabij Borssele,
- een 380 kV Aftakking van de nieuwe 380 kV verbinding Borssele – Rilland
- Terneuzen opnemen in de 380 kV Ringstructuur.

3.2.1 Uitloper

Een 380 kV Uitloper vanaf een nieuw 380 kV station nabij Borssele is als twee-circuit verbinding beschouwd. Een mogelijke netconfiguratie is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Netconfiguratie Uitloper

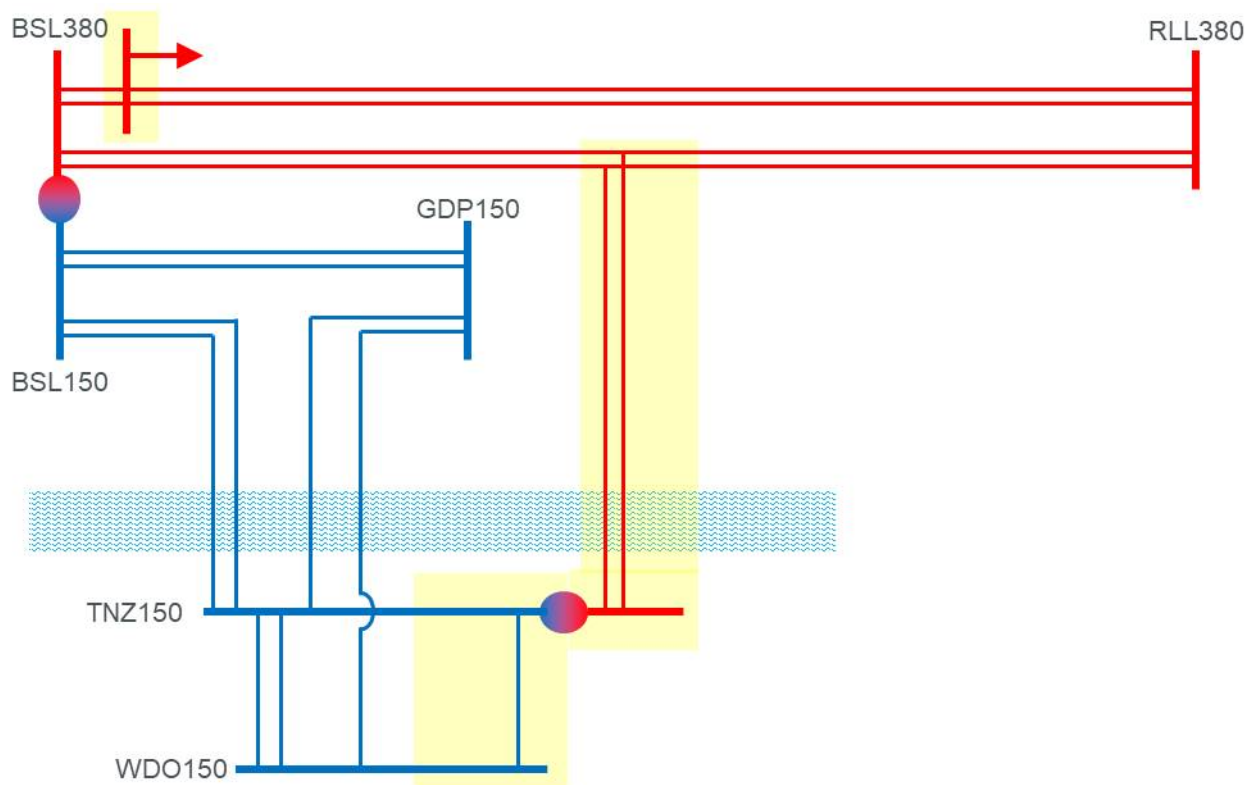
De transportcapaciteit van de twee circuit verbinding is 2 x 2635 MVA. Bij een Uitloper is er redundantie tussen de twee circuits en via het 150kV-net. TenneT onderzoekt momenteel ook versterking van het 150kV-net, wat de redundantie verder zal verbeteren.

Indien in een later stadium vier circuits benodigd zijn, zal er eenzelfde vergelijkbare verbinding aangelegd moeten worden, bijvoorbeeld aangesloten op twee andere velden van het nieuwe 380 kV station nabij Borssele.

Voor de aanleg van de Uitloper zal geen Voorzien Niet Beschikbaarheid (VNB) nodig van de verbinding Borssele – Rilland.

3.2.2 Aftakking

Een 380 kV Aftakking van de nieuwe 380 kV verbinding Borssele – Rilland is beschouwd als twee-circuit verbinding. Een mogelijke netconfiguratie is weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2 Netconfiguratie Aftakking

De transportcapaciteit van de twee circuit verbinding is 2635 MVA (N-1).

Voor de Aftakking is een 380 kV station nodig op de locatie waar afgetakt wordt van de hoogspanningslijn. Het station zal bestaan uit twee enkele rails met ieder drie complete velden. Indien in een later stadium vier circuits benodigd zijn, kan er eenzelfde vergelijkbare verbinding aangelegd worden. Deze verbinding zou aangesloten kunnen worden op de andere twee circuits van de nieuwe 380 kV verbinding Borssele – Rilland. Het station ter plaatse van de aftakking zal dan ook uitgebreid moeten worden.

Ter plaatse van de aansluiting van de nieuwe verbinding, zal een aanpassing van de lijn Borssele – Rilland nodig zijn. Voor deze aanpassing zal Voorziene Niet Beschikbaarheid (VNB) van deze hoogspanningslijn nodig zijn.

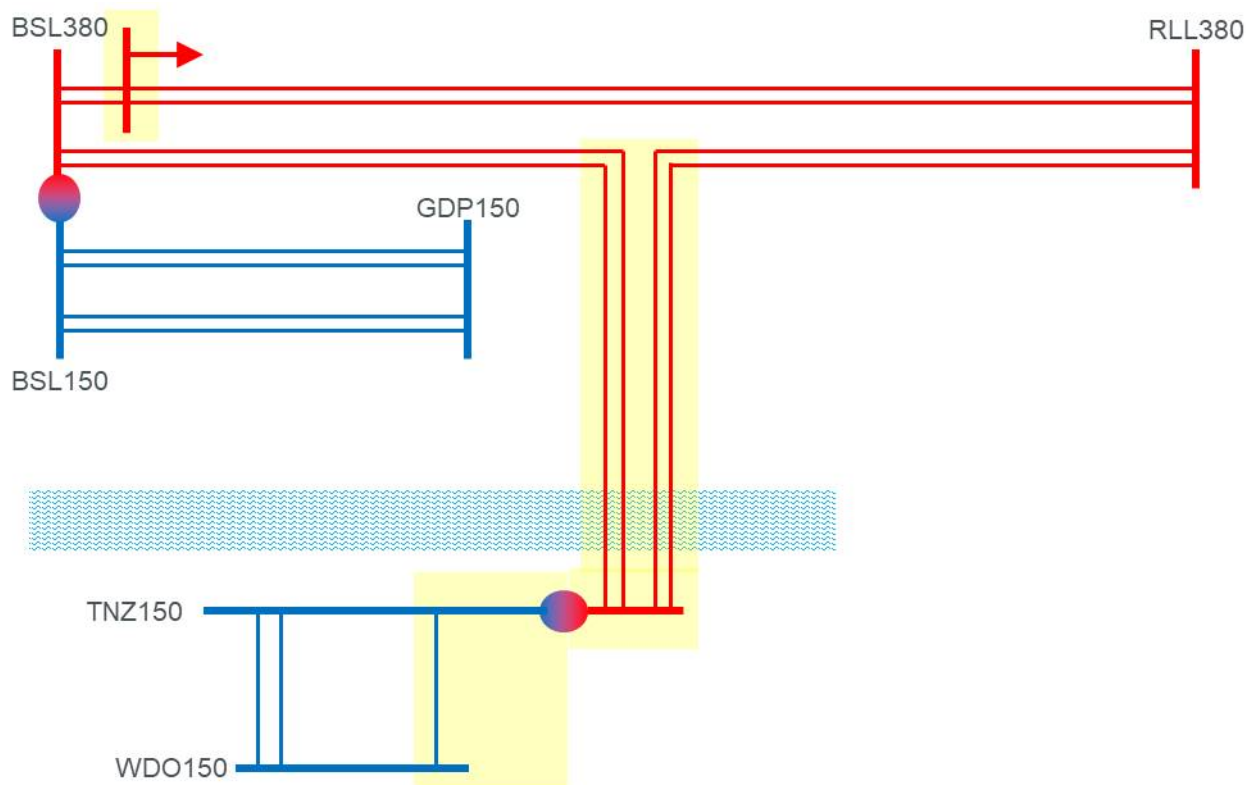
Bij een Aftakking is er redundantie tussen de twee circuits en via het 150kV-net. TenneT onderzoekt momenteel ook versterking van het 150kV-net, wat de redundantie verder zal verbeteren. Het nieuwe schakelstation bij de aftakking levert de mogelijkheid tot het isoleren van fouten op de hoogspanningslijn Borssele – Rilland, zodat Terneuzen in deze situatie gevoed kan blijven vanaf de niet-gestoorde kant.

3.2.3 Ringstructuur

Wanneer Terneuzen wordt opgenomen in 380 kV ringstructuur tussen de stations Borssele en Rilland, bestaat de verbinding naar Zeeuws-Vlaanderen uit vier circuits. Een mogelijke netconfiguratie is weergegeven in Figuur 3.

De transportcapaciteit van de vier circuit verbinding is 4 x 2635 MVA. Dit wordt verdeeld over de stations Borssele en Rilland. Van de beschouwde netstructuren heeft de Ringstructuur de hoogste transportcapaciteit en de hoogste leveringszekerheid. De uitwisseling met de rest van Nederland vanuit Zeeland via Rilland blijft gelijk.

Ter plaatse van de aansluiting van de nieuwe verbinding, zal een aanpassing van de lijn Borssele – Rilland nodig zijn. Deze aanpassing zal VNB van deze hoogspanningslijn vergen.



Figuur 3 Netconfiguratie inlusing

4 TRACÉ

Voor dit verkennend onderzoek naar de 380 kV ontsluiting van Terneuzen zijn drie alternatieve tracés bekeken voor het aansluiten van het station Terneuzen op het 380 kV hoogspanningsnet. Deze alternatieven zijn globaal aangegeven in Figuur 4.

- West: de groene lijn in de figuur, de Westerschelde oversteken bij Borssele
- Midden: de paarse lijn in de figuur, de Westerschelde oversteken bij Ellewoutsdijk
- Oost: de gele lijn in de figuur, de Westerschelde oversteken bij station Willem Annapolder

De ontwikkelde tracés zijn slechts bedoeld om een eerste verkenning te doen van de effecten die je tegenkomt bij een West, Midden en Oost kruising. De ontwikkelde tracés zijn verre van alomvattend en in een ruimtelijke procedure zal een veel uitgebreider onderzoek plaatsvinden naar mogelijke tracés in samenspraak met de omgeving.

Een kruising van de Westerschelde bij Rilland is niet onderzocht in verband met de daar aanwezige natuurgebieden en omdat het landtracé onevenredig lang wordt vergeleken met de andere alternatieven.



Figuur 4 Globale weergave tracés

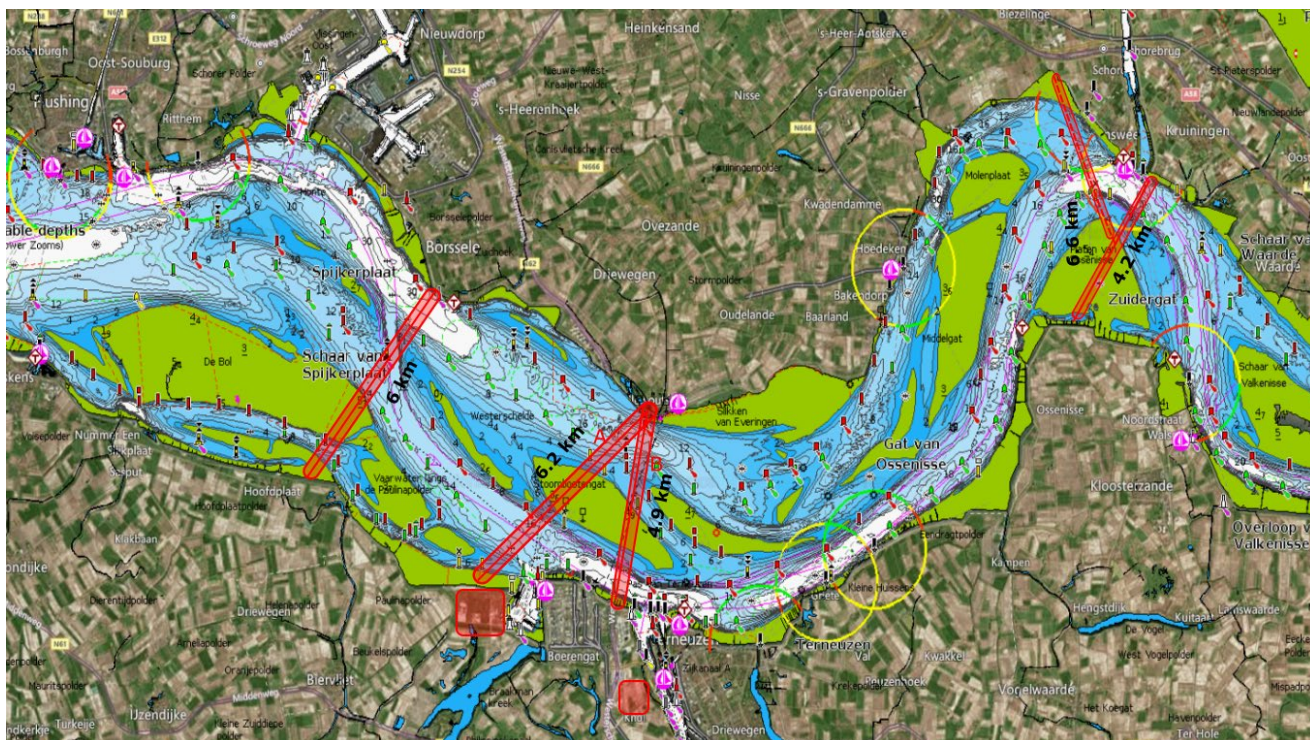
De drie alternatieven hebben drie hoofdcomponenten:

- Een landtracé in Zuid-Beveland
- Een waterkruising van de Westerschelde
- Een landtracé in Zeeuws-Vlaanderen

Het staande beleid van EZK en TenneT voor 380 kV verbindingen is 'bovengronds tenzij'. Dit beleidsuitgangspunt is ook opgenomen in (de toelichting van) de NOVI, voorheen de SEVIII. In lijn met dit beleidsuitgangspunt wordt in dit document voor de tracés op land uitgegaan van bovengrondse verbindingen. In principe is dit beleid ook van toepassing voor de waterkruising.

Het TenneT beleid voor de uitvoeringsvorm van hoogspanningslijnen is als vakwerkmast tenzij een andere uitvoeringsvorm aantoonbaar grote voordelen biedt.

De locatie van het nieuwe station Terneuzen is nog niet bepaald. NSP heeft twee mogelijke locaties geïdentificeerd, zie Figuur 5. Deze locaties worden indicatief gebruikt in dit rapport. De locaties zijn verre van alomvattend en in een ruimtelijke procedure zal een uitgebreider onderzoek plaatsvinden naar stationslocaties.



Figuur 5 Westerschelde ter plaatse van Terneuzen

Relevante aspecten van de drie tracé alternatieven worden voor de verschillende technologieën besproken in hoofdstuk 5.

Een overzicht van de minimum- en maximumdiepte, aantal vaargeulen en lengte van de kruising is voor de drie alternatieven weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Waterkruisingen

Tracé	Maximumdiepte [m]	Aantal vaargeulen	Lengte van de kruising [km]
West	50	1	Ongeveer 5,6
Midden	25	2	Ongeveer 5 of 6
Oost	30	1	Ongeveer 4,3 of 6

Een overzicht van de lengtes van de landtracés is weergegeven in Tabel 2

Tabel 2 Landtracés

Tracé	Lengte tracé Zuid-Beveland [km]	Lengte tracé Zeeuws-Vlaanderen [km]
West	<2	5
Midden a	<7	<1
Midden b	<7	<1
Oost	<5	22

5 TECHNOLOGIEN

5.1 Hoogspanningslijn

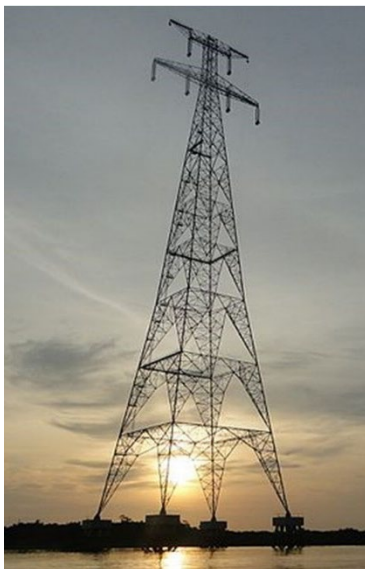
In dit hoofdstuk worden een aantal alternatieven verkend om de Westerschelde met 380 kV hoogspanningslijnen te kruisen.

Over de hele wereld zijn er hoge waterkruisingen met lange overspanningen. Dit is een bewezen technologie en kan met standaard componenten uitgevoerd worden. Voorbeelden van zulke kruisingen staan vermeld in Tabel 3 inclusief veldlengte en masthoogte. Elia heeft in België recent een 380 kV hoogspanningslijn in gebruik genomen die de Schelde kruist bij Liefkenshoek net over de grens met Nederland.

Tabel 3 Voorbeelden hoge waterkruisingen met veldlengte en masthoogte

Land	Waterkruising	Hoogte mast [m]	Veldlengte [m]
China	Jintang-Cezi	380	2656
China	Yangtze river crossing	346.5	2303
Brazil	Amazonas crossing	295	2108
China	Yangtze river crossing Nanjing	257	2053
India	Hooghly river crossing	236	1500
South Korea	Han river crossing	195	1510
Belgie	Liefkenshoek	193	921

Voor een veldlengte van 1500 m is een mast nodig van ongeveer 200 m hoog. Masten met een hoogte tot 200 m worden vaak gebouwd met hoekprofielen, voor masten met een hoogte boven de 250 m worden ronde profielen gebruikt.



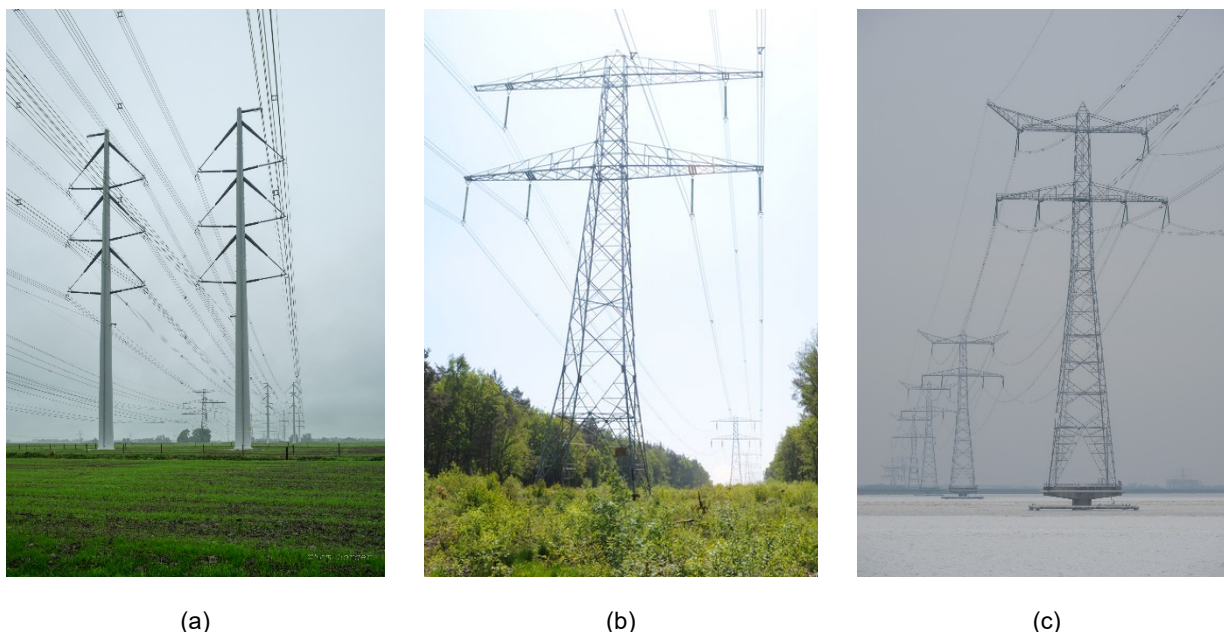
(a)



(b)

Figuur 6 (a) Amazonas kruising met hoekprofielen en (b) Jintang-Cezi kruisingsmast met ronde profielen

In Nederland worden twee typen masten toegepast voor 380 kV hoogspanningslijnen: Wintrackmasten en vakwerkmasten. De Wintrackmast kan twee – of vier circuits 380 kV voeren. Een vakwerkmast kan twee 380 kV circuits voeren. Figuur 7(a) toont een 55 m hoge viercircuit Wintrackmast, Figuur 7(b) een 50 m hoge tweecircuit vakwerkmast. In Nederland zijn een aantal bovengrondse waterkruisingen, waaronder de Ketelmeerkruising, die in Figuur 7(c) is getoond. Deze masten zijn 100 m hoog.



Figuur 7 (a) vier-circuit Wintrack masten, (b) twee-circuits Donau masten en (c) twee-circuits Donau masten in de Ketelmeer kruising

5.1.1 Veiligheid

Uitgangspunt is dat de hoogspanningslijn wordt ontworpen en gebouwd conform de geldende normen en TenneT eisen zodat een hoog niveau van betrouwbaarheid en veiligheid naar de omgeving gegarandeerd is dat minimaal gelijk aan dat van de bestaande 380 kV hoogspanningslijnen van TenneT.

Er zijn een aantal aspecten bij de waterkruising die anders zijn dan bij een hoogspanningslijn op land en aandacht behoeven. Het betreft hier met name aanvaring door schepen en risico's bij de realisatie.

De doorvaarthoogte onder de hoogspanningslijn zal zodanig zijn dat schepen te allen tijde veilig onder de lijn door kunnen varen zonder risico op overslag. De doorvaarthoogte dient in een later stadium definitief vastgesteld te worden afhankelijk van de hoogte van schepen die in de Westerschelde kunnen varen en in overleg met de bevoegde instanties. Als minimum zal voldaan moeten worden aan de actuele Richtlijnen Vaarwegen 2020 van Rijkswaterstaat /38/ welke een minimale hoogte voorschrijft van 69,5 m in de Westerschelde. Dit is waarschijnlijk onvoldoende voor de vaargeul. In deze studie is er daarom gekozen om een minimale doorvaarthoogte van 100m aan te houden voor de vaargeul. Deze doorvaarthoogte is gelijk aan de 380 kV Scheldekruising van Elia bij Liefkenshoek in België. In de ondiepere delen buiten de vaargeulen is op dit moment uitgegaan van 45 m conform de Richtlijnen Vaarwegen 2020.

Tijdens het ontwerp en de risicobeoordeling moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid van een aanvaring door een schip. Om aanvaring met grote schepen te voorkomen moeten de masten in de waterkruising worden geplaatst buiten de vaargeulen in de relatief ondiepere delen van de Westerschelde. Ter voorkoming van schade aan

mast en/of fundering door aanvaring moet een aanvaarbeveiliging worden aangebracht, afgestemd op de afmeting van schepen die de mastlocatie kunnen bereiken.

In het geval er vier circuits aangelegd worden voor de waterkruising, moeten er twee twee-circuit Donau-masten parallel gebouwd worden. De twee lijnen moeten met voldoende afstand van elkaar gebouwd worden, zodat bij falen van een mast deze de andere lijn niet kan raken.

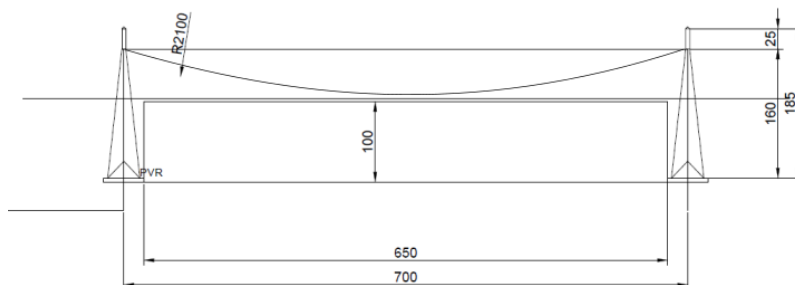
Luchtvaartmarkering dient op de geleiders en masten te worden aangebracht ter voorkoming van botsingen van luchtvaartverkeer met de hoogspanningslijn.

Voor de aanleg van de fundering en masten dient een veilig werkgebied te worden gecreëerd. De voortrekkdraden kunnen overgevoerd worden. In dat geval zal de scheepvaart gedurende deze activiteit relatief kort gestremd moeten worden. Deze draden kunnen ook per helikopter overgevoerd worden, zodat het scheepvaartverkeer niet gestremd hoeft te worden. Met de voortrekkdraden worden de geleiders ingetrokken. Voor het intrekken van de geleiders dient met de verantwoordelijke instanties overlegd te worden of de scheepvaart tijdelijk stilgelegd dient te worden.

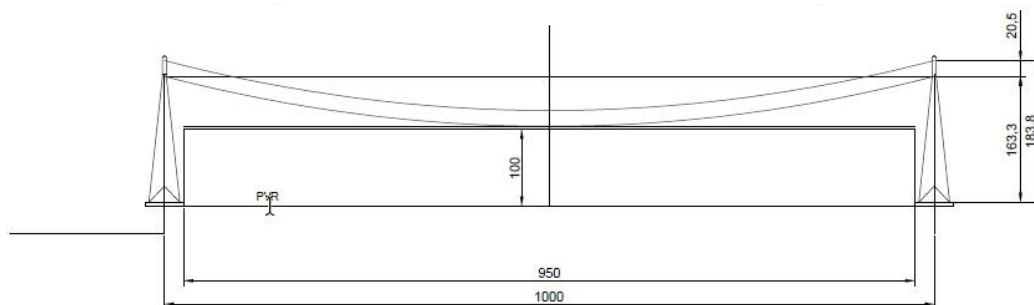
5.1.2 Technische uitvoerbaarheid

5.1.2.1 Hoogspanningsmasten

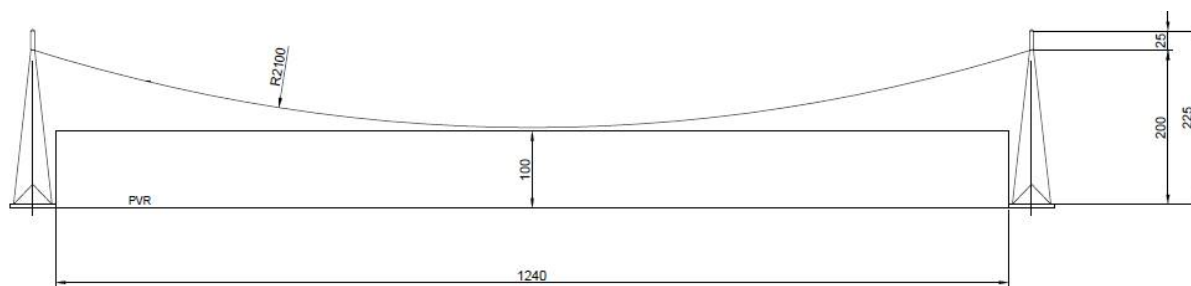
Voor de masten in de waterkruising is een nieuw mastontwerp nodig. De veldlengtes en mastafmetingen moeten in een latere fase uitgewerkt en geoptimaliseerd worden. Een eerste indicatieve maatvoering van de masthoogte is gebaseerd op de verschillende veldlengtes. Indicatieve mastafmetingen voor veldlengtes van 700 m, 1000 m en 1250 m zijn weergegeven in Figuur 8 en Figuur 9.



(a)

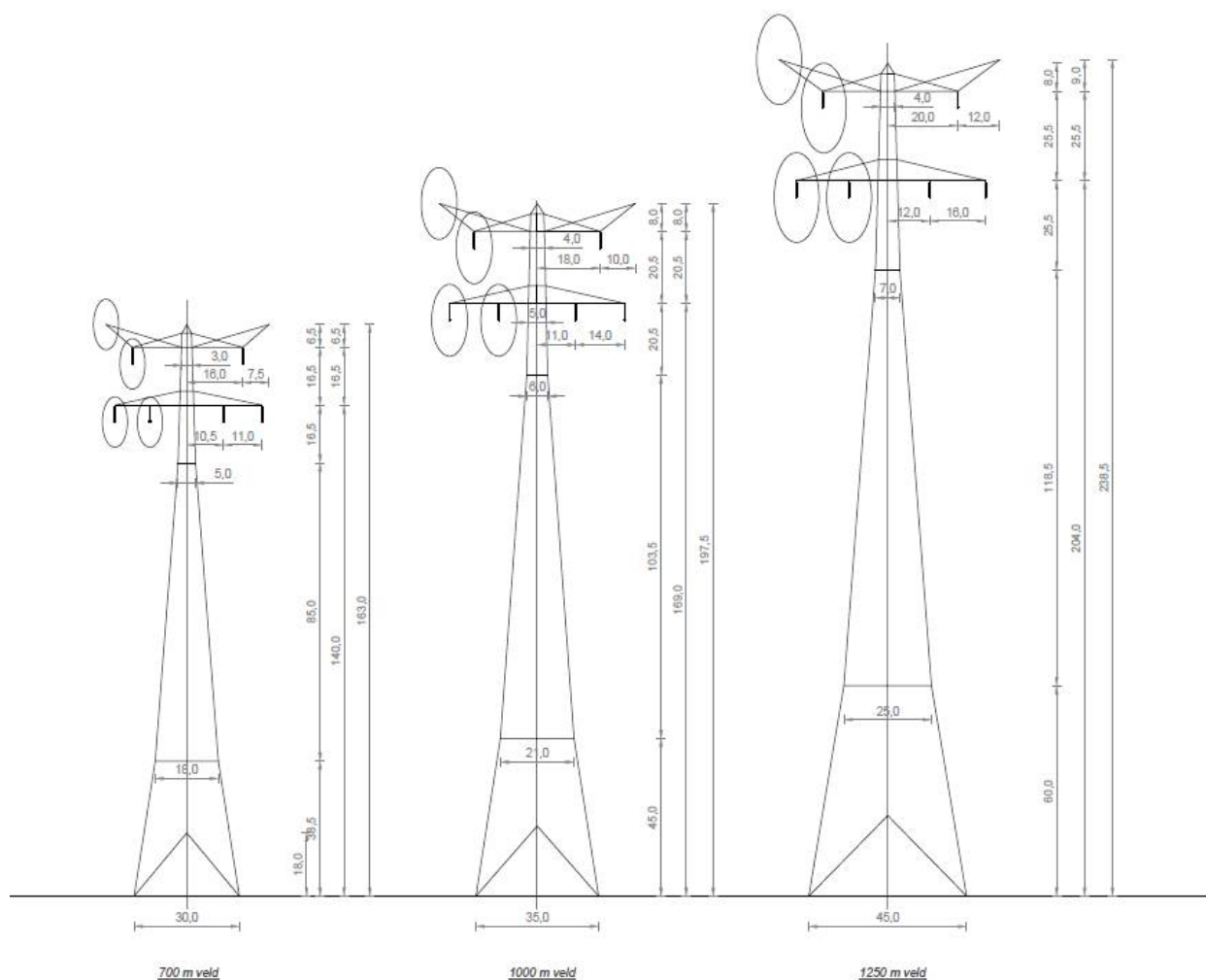


(b)



(c)

Figuur 8 Westerschelde kruising – indicatieve veldlente en masthoogte



Figuur 9 Westerschelde kruising – indicatieve mastafmetingen

Hoogspanningslijnen met een lange overspanning kunnen gevoelig zijn voor trillingen. Om schade aan geleiders te voorkomen dienen trillingsdempers te worden geplaatst. Een uitgebreide studie naar trillingen dient in een later stadium uitgevoerd te worden.

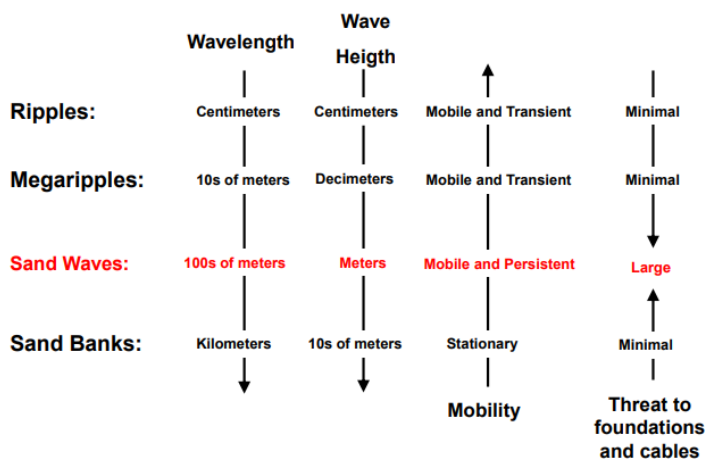
De keuze van de geleider is een belangrijk aspect voor het ontwerp van een hoogspanningslijn. Voor het tracé op land kan een conventionele vierbundel geleider toegepast worden die ook gebruikt wordt in de bestaande 380 kV hoogspanningslijnen.

Voor de waterkruising zal een geleiderstudie nodig zijn om tot een optimale geleiderkeuze te komen. Voor hoge waterkruisingen wordt uitgegaan van kleinere bundels, bijvoorbeeld een enkele geleider of een tweebundel geleider. De geleiderkeuze moet een optimalisatie zijn van elektrische en mechanische eigenschappen. Een één- of tweebundel van een thermisch versterkte aluminium/staal-geleider (TACSR) kan een goede optie zijn, waarbij hoge geleidbaarheid en mechanische sterkte geoptimaliseerd worden. De gevoeligheid voor trillingen en de bijbehorende mitigerende maatregelen zijn belangrijke aspecten die onderdeel moeten zijn van de geleiderstudie. Voor de waterkruising is een geleider met een composiet kern niet acceptabel voor TenneT.

5.1.2.2 Offshore fundering

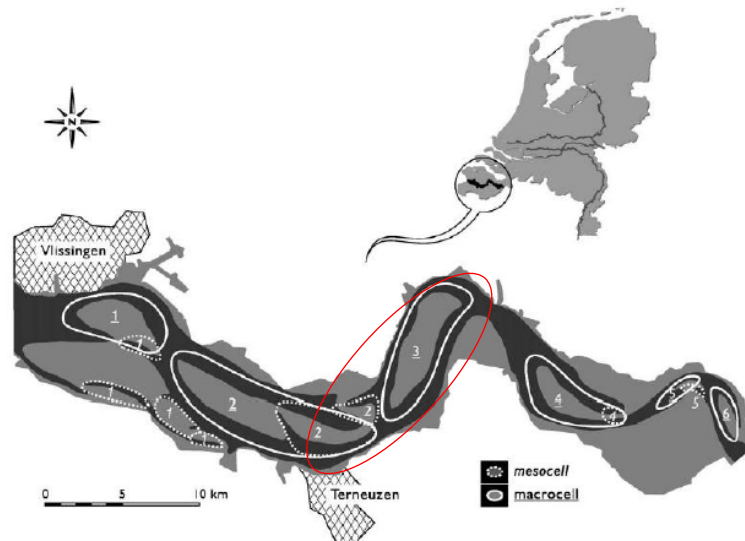
Zoals eerder vermeld, varieert de diepte over de Westerschelde van 0 m tot 50 m.

Er bestaan vier verschillende typen morfologie met verschillende eigenschappen, zie Figuur 10. In de Westerschelde komen zandgolven voor. Voor het vaststellen van locaties voor de funderingen en het funderingstype dient met de morfologie rekening gehouden te worden. Hiertoe dienen geotechnische en bathymetrische analyses te worden uitgevoerd.



Figuur 10 Eigenschappen van zand morfologie

De Vlaams Nederlandse Schelde Commissie heeft in 2014 onderzoek gedaan naar de veranderingen in de Westerschelde als gevolg van morfologie /37/. Het rapport concludeert dat de diepte van de Westerschelde tussen Terneuzen en Hansweert (rood aangegeven in Figuur 11) nagenoeg constant is geweest over de periode 1950 – 2010. De grootste veranderingen vonden stroomopwaarts van de Schelde plaats. Figuur 11 is overgenomen uit het rapport en laat zien dat de Westerschelde kan worden verdeeld in verschillende meso- en macrocellen waar zand verplaatst.



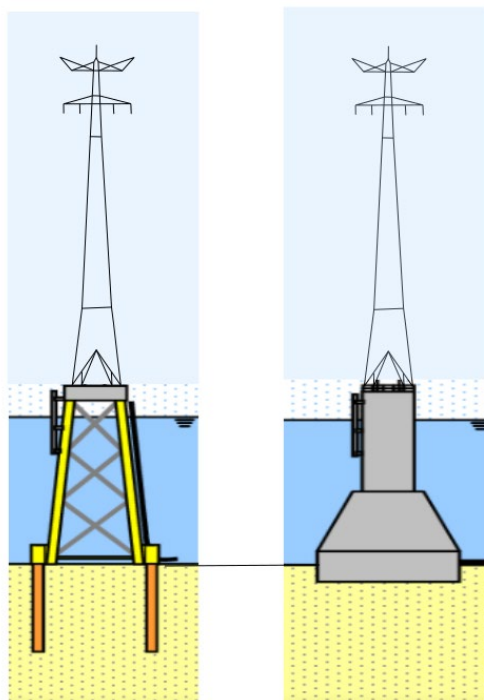
Figuur 11 Weergave van Westerschelde in macro- en meso-cellen /37/

Er bestaan verschillende typen offshore funderingen, met name toegepast in de windenergiesector, waarvan een aantal typen geschikt zijn voor hoogspanningsmasten. De pootsprei van de masten is in de orde van grootte van 30 m tot 45 m. De fundering moet een platform hebben met een breedte die geschikt is voor de poten van de constructie. Om dit platform te ondersteunen, is de monopile-constructie geen geschikte oplossing. De meerpaals of jacket ondersteunde constructies en gewichtsfundering zijn andere mogelijke uitvoeringen om het platform te ondersteunen. Figuur 12 toont schematisch deze twee uitvoeringen. De dynamische morfologie van de kruising en de hoge waterstroom kunnen echter zand rond een gewichtsfundering verplaatsen en leiden tot momenten op de fundering. De gewichtsfundering is daarom alleen geschikt in gebieden waar de bodem stabiel is.

Voor de locatie van de funderingen moet een locatie gekozen worden waar nooit baggerwerkzaamheden nabij de fundering nodig zijn.

Opgemerkt kan worden dat, met de ontwikkeling van offshore wind, er de afgelopen jaren heel veel kennis en ervaring is opgebouwd met het offshore bouwen van grote constructies en er zijn veel marktpartijen die offshore funderingen kunnen aanleggen.

De verschillende alternatieven kunnen in de latere stadia van het project worden bestudeerd.



Figuur 12 Funderingstypes (links) jacket of meerpaals en (rechts) gewichtsfundering

5.1.2.3 Voorbeeld waterkruising hoogspanningslijn tracé Midden

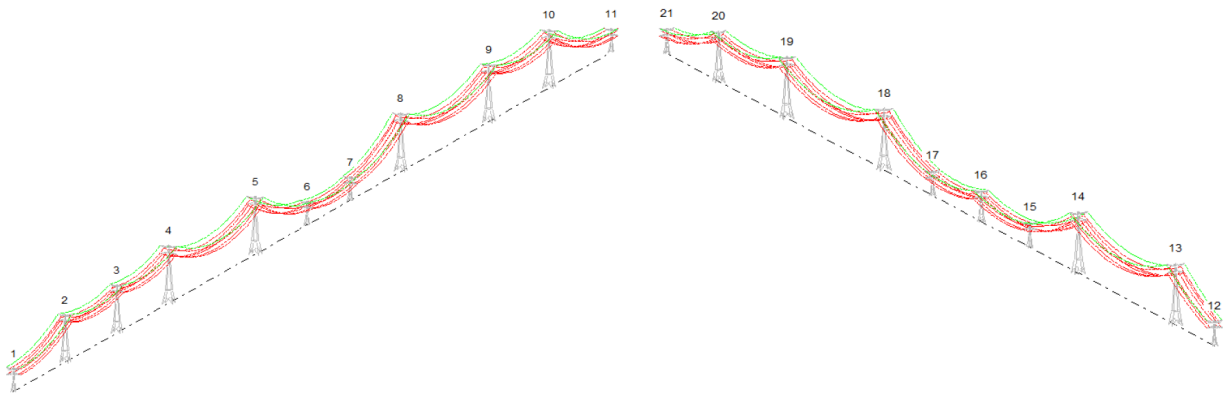
Als voorbeeld worden twee voorlopige tracés getoond voor alternatief Midden op basis van de in hoofdstuk 5.1.2.1 gegeven indicatieve veldlengtes en mastafmetingen voor de Westerscheldekruising. Figuur 13 toont twee tracés op basis van twee mogelijke locaties voor het 380 kV station Terneuzen. Het tracé links sluit aan op een 380 kV station bij de Mosselbanken en het tracé rechts op een 380 kV station oostelijk van het industriegebied.

Beide tracés houden rekening met de vereiste afstand van 250 m tot de belangrijkste vaargeul en hebben daarom een veldlengte van 1000 m voor de kruising van de vaargeul. De rest van het tracé maakt gebruik van minder hoge masten, met lagere doorvaarthoogtes. Er zijn afspanmasten in het ondiepe water voorzien, zodat niet de hele waterkruising uit steunmasten bestaat.

De vrije doorvaarthoogte tot de onderste fasegeleider over het water bij de 1000m overspanning is weergegeven in Figuur 14.



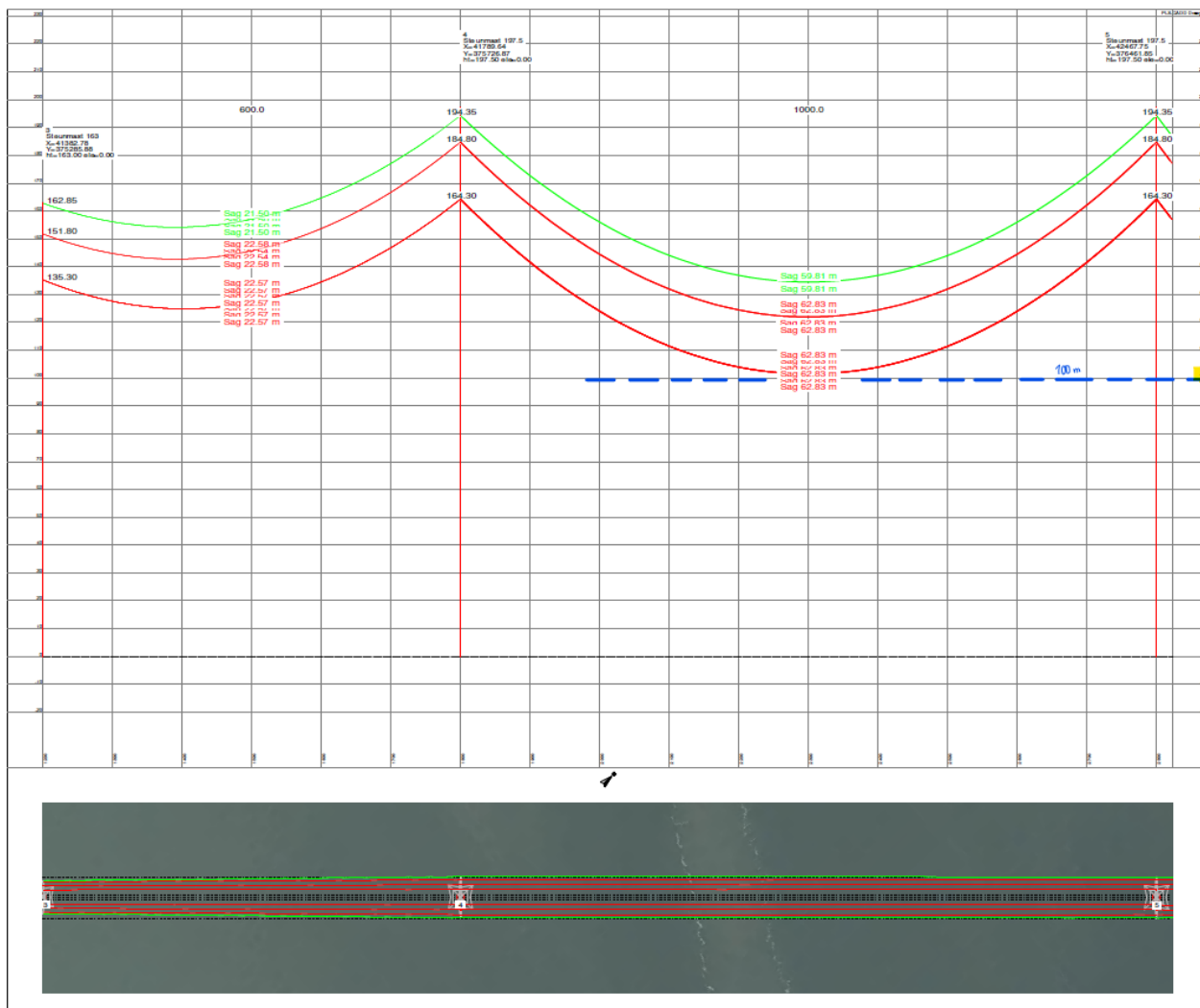
(a)



(b)

(c)

Figuur 13 Westerschelde kruising Midden- indicatieve tracés



Figuur 14 Westerschelde kruising – indicatieve vrije doorvaarthoogte

5.1.2.4 Waterkruising

Voor de waterkruising wordt uitgegaan van vakwerkmasten in plaats van Wintrackmasten. Naast het TenneT beleid betreffende de uitvoeringsvorm, spelen ook trillingen een rol. Voor Wintrackmasten is bepaald dat deze maximaal 80 m hoog mogen zijn om het risico op trillingen als gevolg van Vortex excitatie te beperken. Deze hoogtebeperking maakt dat een uitvoering in Wintrack niet realistisch is.

Het TenneT beleid is dat tijdens werkzaamheden aan één circuit in een 380 kV hoogspanningslijn, de overige circuits in bedrijf moeten kunnen blijven. In een tweecircuit 380 kV hoogspanningslijn, met aan iedere zijde van het mastlichaam één circuit, worden de circuits ver genoeg uit elkaar geplaatst om de benodigde veilige afstanden te realiseren. In een viercircuit vakwerkmast kan moeilijk aan deze eis worden voldaan, aangezien er dan twee circuits aan dezelfde zijde van het mastlichaam geplaatst zijn. Voor een viercircuit waterkruising wordt daarom uitgegaan van twee twee-circuit hoogspanningslijnen. Deze hoogspanningslijnen dienen voldoende ver uit elkaar te staan om te voorkomen dat in geval van falen van een mast de andere lijn geraakt zou worden.

Zoals hierboven vermeld, vereist het funderingsontwerp in de waterkruising de nodige aandacht gezien de morfologie, de belastingen op de constructie en mogelijke aanvaringen door een schip.

De locatie van de funderingen dient zodanig gekozen te worden dat deze buiten de vaargeulen zijn en blijven, ook bij eventuele verplaatsing van de vaargeulen als gevolg van de morfologie.

Volgens de Startnotitie / Kennisgeving ‘Verruiming Vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde’ /36/ geldt het volgende:

- "Stroomafwaarts van Hansweert is de vaargeul in de huidige situatie 500 meter breed en tussen Hansweert en de Europaterminal in Antwerpen 370 meter. Stroomopwaarts van de Europaterminal is de breedte beperkt tot 250 meter. Verder zijn er in de Westerschelde enkele vernauwingen: bij de drempel van Borssele (330 meter), de bocht van Walsoorden (300 meter) en het Nauw van Bath (300 meter)."

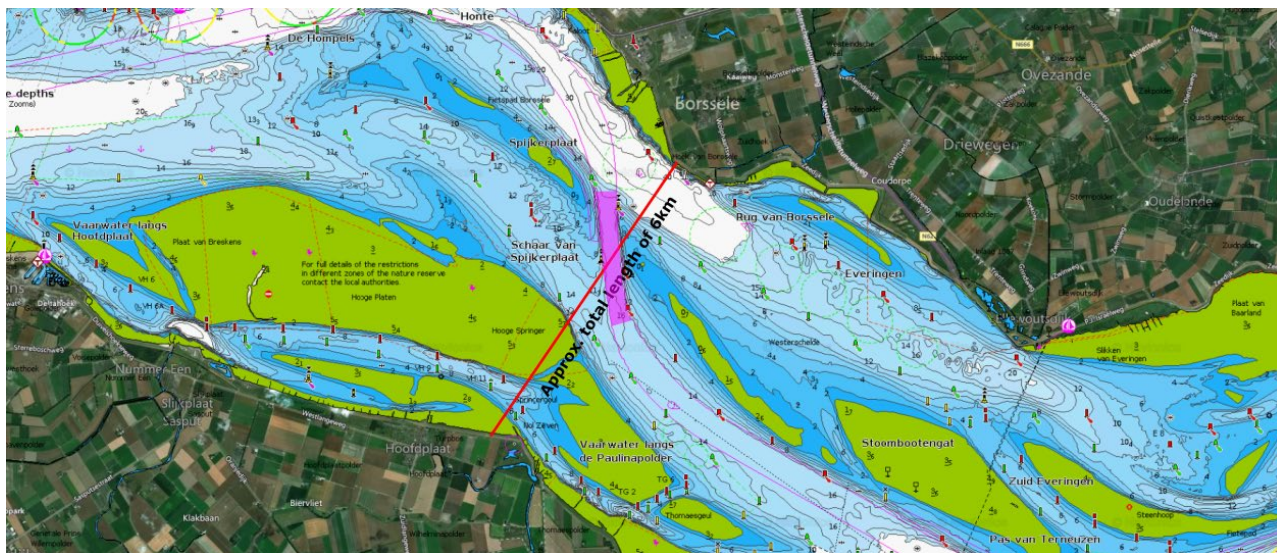
Volgens de Algemene Eisen Kruisingen van de Vlaams Nederlandse Scheldecommissie dient in een zone van de huidige vaarroutes een veiligheidszone van 250m langs weerszijde van de maritieme toegangswegen aangehouden te worden. Dit betekent dat bij de kruising van een vaargeul van 500 m, de masten 1000 m uit elkaar geplaatst moeten worden.

De drie tracés van de waterkruisingen die beschouwd zijn als onderdeel van de verkenning zijn hieronder beschreven.

1. Waterkruising West

Als de Westerschelde loodrecht overgestoken wordt, dienen er één diepe en drie ondiepere vaargeulen gekruist te worden. De lengte van een loodrechte waterkruising is ongeveer 5,6 km. Het tracé voor dit alternatief is schematisch weergegeven in Figuur 15. Dit tracé kent een aantal uitdagingen. Dit betreft de morfologie, de aanwezigheid van meerdere vaargeulen en een diepe vaargeul bij Borssele in combinatie met een hoge kade. Het vinden van geschikte locaties voor de masten zal niet eenvoudig zijn en is niet gegarandeerd voor dit alternatief.

Als de Westerschelde vanaf Borssele schuin gekruist wordt richting Terneuzen, wordt de lengte van de kruising ongeveer 9 km. De kruising volgt dan ongeveer de route van de vaargeul. Het wordt als niet realistisch beschouwd dit alternatief, dat de vaargeul volgt, als hoogspanningslijn uit te voeren.



Figuur 15 Westerschelde tracé West

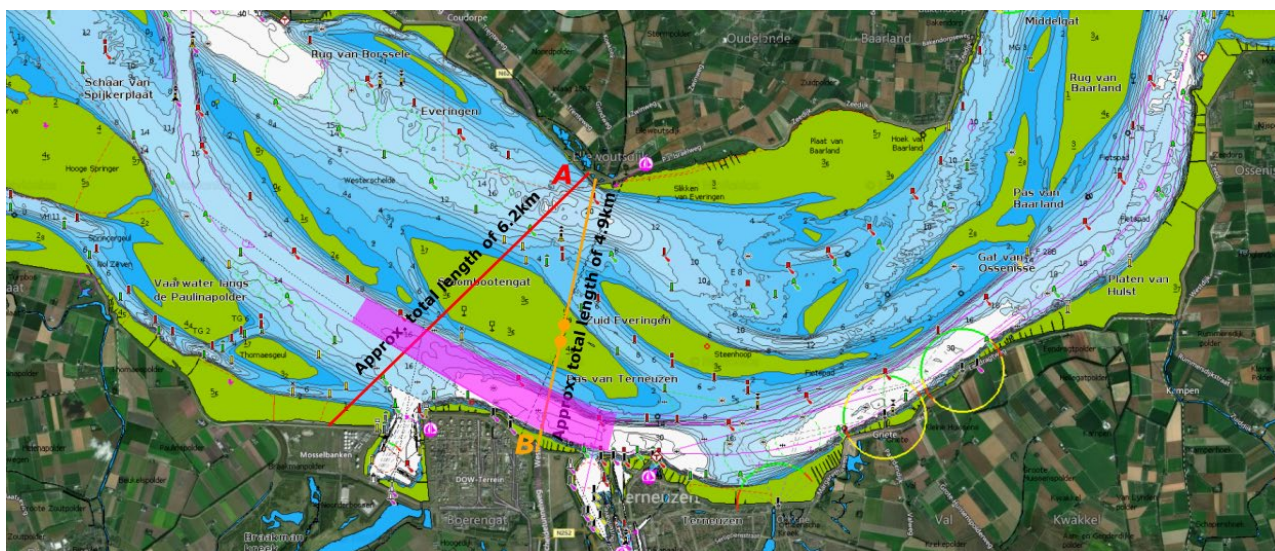
2. Waterkruising Midden

Als de Westerschelde loodrecht overgestoken wordt, dienen er één diepe vaargeul en twee andere vaargeulen gekruist te worden. De afstand van Ellewoutsdijk naar de Mosselbanken is ruim zes kilometer, van Ellewoutsdijk naar het

industriegebied bij Terneuzen is de kruising ruim vijf kilometer. Afhankelijk van de locatie van het nieuwe 380 kV station Terneuzen kan in een later stadium de route geoptimaliseerd worden.

De twee tracés zijn schematisch weergegeven in Figuur 16.

De tracés zijn als voorbeeld nader omschreven in paragraaf 5.1.2.3. De vaargeulen worden met hogere masten gekruist en de ondiepere delen met minder hoge masten.



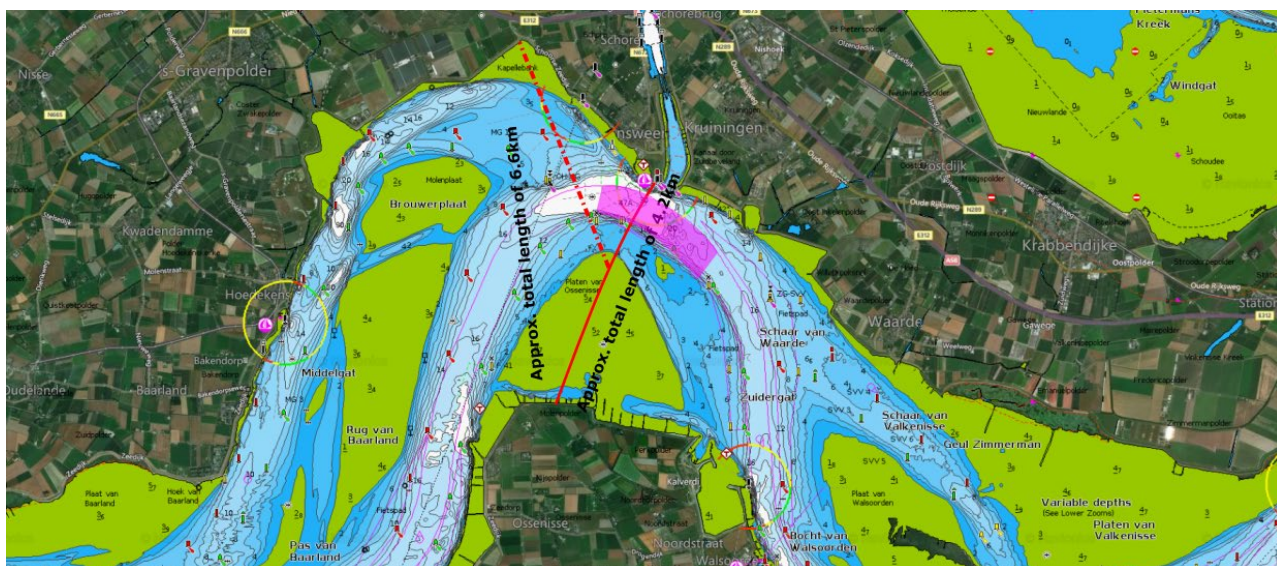
Figuur 16 Westerschelde tracé Midden

3. Waterkruising Oost

Als de Westerschelde bij Smokkelhoek gekruist wordt, dient er één diepe vaargeul gekruist te worden. De lengte van deze waterkruising is ongeveer 4,3 km. De rest van het tracé gaat door relatief ondiep water. Voor dit alternatief zijn twee hoge masten nodig voor de kruising van de vaargeul. Eén van deze hoge masten kan op land worden geplaatst. De overige masten kunnen lager zijn omdat deze in relatief ondiepe locaties geplaatst worden

Als de Westerschelde vanaf Kruiningen gekruist wordt richting Terneuzen, wordt de lengte van de kruising ruim 6 km. Er wordt één diepe vaargeul gekruist. De rest van het tracé gaat door relatief ondiep water, waar lagere masten toegepast kunnen worden.

De twee tracés zijn schematisch weergegeven in Figuur 17



Figuur 17 Westerschelde tracé Oost

5.1.3 Indicatieve bouwduur

De totale doorlooptijd voor realisatie van een nieuwe hoogspanningslijn, van de eerste verkennende studies tot oplevering, ligt in de orde van tien jaar.

De bouwduur van de 380 kV hoogspanningslijnen met Wintrack-masten, Doetinchem-Wesel 380 kV, Randstad 380 kV Noordring was ongeveer twee jaar.

De aanleg van Brabo II, de kruising over de Schelde bij Liefkenshoek bij Antwerpen, duurde ongeveer twee jaar.

Het realiseren van een offshore windpark duurt ook ongeveer twee jaar. Er is de laatste jaren veel geïnvesteerd in offshore bouwen en die kennis en ervaring kan ingezet worden voor de aanleg van de masten in de Westerschelde.

Een eerste inschatting van de bouwduur van een bovengrondse kruising van de Westerschelde is twee jaar.

5.1.4 Onderhoudbaarheid

Conform de TenneT eisen met betrekking tot onderhoud dienen de masten voor inspectie en onderhoud beklimbaar te zijn, waarbij het mastlichaam beklimbaar moet zijn met beide circuits in bedrijf en bij onderhoud aan één circuit, het andere circuit in bedrijf moet kunnen blijven. De benodigde klimvoorzieningen inclusief voorzieningen als bordessen moeten in de mast aangebracht worden.

De masten in de Westerschelde moeten voor onderhoud bereikbaar zijn per boot. Hiertoe zijn de benodigde voorzieningen zoals een vaartuig en aanlegmogelijkheid bij de mast nodig.

De offshore omgeving is een corrosieve omgeving. Verder zijn de masten hoog en relatief moeilijk te bereiken. Bij de materiaalkeuze en oppervlaktebehandeling moet rekening gehouden worden met het minimaliseren van onderhoud. Hierbij kan gedacht worden aan het toepassen van ronde profielen voor de mast en oppervlaktebehandeling van het staal in de fabriek. Er zijn veel componenten beschikbaar om onderhoud aan een hoogspanningslijn te minimaliseren, ook in een corrosieve omgeving. De materiaalkeuzes kunnen in een latere fase uitgewerkt worden.

Opgemerkt kan worden dat op dit moment in Nederland live-line werk niet toegestaan is. In andere landen is dit wel toegestaan. In Nederland hebben een aantal pilots plaatsgevonden met live-line werk. Als live-line werk in de toekomst in Nederland is toegestaan, levert dat mogelijkheden op voor het sneller uitvoeren van onderhoud zonder dat VNB vereist

is. Met name voor de waterkruising kan dit voordelen bieden omdat voor een aantal onderhoudsactiviteiten aan het geleidersysteem de masten niet vanaf het water bereikt hoeven te worden.

5.1.5 Kwalitatieve beschouwing elektrotechnische aspecten

Het is de verwachting dat de relatief korte hoogspanningslijn geen significante impact zal hebben op elektrotechnische aspecten als blindvermogen en power quality (o.a. harmonischen, transiënten, dips en enz.). In een later stadium moet onderzocht worden of er transpositie toegepast moet worden in de hoogspanningslijn om asymmetrie te voorkomen.

5.1.6 Impact op natuur

De impact van de bovengrondse constructies op de landtracés is vergelijkbaar met bestaande projecten op land en er zijn geen grote verschillen te verwachten.

De aanleg van de funderingen in de waterkruising heeft impact op de bodem van de Westerschelde en de fauna en flora in de Westerschelde. De exacte samenstelling van bodem en flora en fauna is niet onderzocht als onderdeel van deze verkenning. Dit dient in een later stadium van het project plaats te vinden. Tijdens de bouw zal er geluidsoverlast en mogelijk overlast door trillingen zijn.

Een uitdaging zijn de wadden en schorren langs de Westerschelde, die een biotoop van Europees belang zijn. Een vergelijkbare uitdaging gold voor de Elia kruising van de Schelde bij Liefkenshoek. Grond moest worden verwijderd uit een gebied grenzend aan de projectlocatie, zodat dit deel van de linker- en rechteroever op natuurlijke wijze kan verstromen. Hierdoor kunnen het wad en het zout moerassen om terug te keren naar hun oorspronkelijke staat, met de hulp van de rivier.

De Westerschelde zijn een belangrijk vogelgebied ('Important Bird and Biodiversity Area (IBA)'). Adequate mitigerende maatregelen zullen nodig zijn om aanvaringen door vogels te voorkomen.

5.1.7 Omgeving

5.1.7.1 Waterkruising

De eisen ten aanzien van werkzaamheden in de Westerschelde van de Vlaams Nederlandse Schelde Commissie dienen gerespecteerd te worden. De eisen zijn samengevat als volgt:

De werkzaamheden mogen geen hinder veroorzaken aan anderen. De werkzaamheden (onderhoudsbaggerwerken, aanlegbaggerwerken, enz...) die uitgevoerd worden in opdracht van de Vlaamse of de Federale Overheid hebben altijd voorrang. De werkzaamheden mogen geen verondiepingen (geen overvloeien toegestaan, geen mors, geen langdurige omwoelingen) veroorzaken in de maritieme toegangswegen (inclusief de veiligheidszone van 250m aan de weerszijde van de vaargeul). Tijdens de werkzaamheden moeten op regelmatige (wekelijks) wijze peilingen uitgevoerd worden in de invloedzones van de werkzaamheden.

Een mogelijke hoogspanningslijn door de Westerschelde zal uitgebreide en complexe afstemming met de Vlaams Nederlandse Schelde Commissie vergen.

5.1.7.2 Landtracé West

Het landtracé in Zuid-Beveland is relatief kort. Afhankelijk van de locatie van het nieuwe station nabij Borssele is dit ongeveer één tot twee kilometer. Dit tracé is heel vol met de bestaande stations, hoogspanningslijnen en elektriciteitsopwekking. Ook het weghalen van natuur voor een nieuw tracé wordt als lastig beschouwd. Er bevindt zich een strand van het dorp Borssele aan de Westerschelde. De verwachting is dat het lastig zal zijn hier een nieuw tracé te vinden, gezien de impact op andere infrastructuur en aantasting van het gebied.

Indien de Westerschelde vanaf Borssele loodrecht gekruist wordt, is een landtracé in Zeeuws-Vlaanderen nodig. De lengte van dit tracé is ongeveer vijf tot tien kilometer, afhankelijk van de locatie van het nieuwe 380 kV station Terneuzen. Het ontwikkelen van een tracé en het verkrijgen van vergunningen voor een nieuwe hoogspanningslijn is

een meerjarig traject. Indien de Westerschelde schuin gekruist wordt van Borssele naar Terneuzen, is er geen landtracé nodig in Zeeuws-Vlaanderen.

5.1.7.3 Landtracé Midden

Voor het landtracé in Zuid-Beveland zijn de alternatieven A en B beschouwd zoals weergegeven in Figuur 4.

- A. Het landtracé in Zuid-Beveland kan in grote lijnen tracés van bestaande hoogspanningslijnen volgen.
- Bij een inlissing of aftakking kan de verbinding ingelust of afgetakt worden van de verbinding Borssele – Rilland bij de kruising van de verbinding Borssele – Rilland met de bestaande verbinding de 150 kV hoogspanningslijn Goes – Terneuzen en dan het tracé van de verbinding Goes – Terneuzen volgen tot de Westerschelde. De nieuwe hoogspanningslijn kan aangelegd worden naast de bestaande 150 kV hoogspanningslijn Goes - Terneuzen. Een andere mogelijkheid is de bestaande 150 kV hoogspanningslijn Goes – Terneuzen, ernaast, te vervangen door een nieuwe vier circuit Wintrack hoogspanningslijn. Deze vier-circuit hoogspanningslijn kan uitgelegd worden op 380 kV en in eerste instantie de twee nieuwe 380 kV circuits naar Terneuzen en de twee 150 kV circuits van de verbinding Goes – Terneuzen kunnen voeren. Later zou de verbinding op vier keer 380 kV bedreven kunnen worden.
 - Bij een uitloper kan de nieuwe verbinding het tracé van de verbinding Borssele – Rilland volgen van het nieuwe station bij Borssele tot de kruising van de verbinding Borssele – Rilland en de 150 kV verbinding Goes – Terneuzen. Van deze locatie tot de Westerschelde geldt hetzelfde als hierboven beschreven onder inlissing/aftakking.

- B. Het landtracé in Zuid-Beveland kan in grote lijnen de weg N62 volgen.

Beide alternatieven sluiten goed aan bij het beleid van bundeling van infrastructuur. De verwachting is dat het verkrijgen van de benodigde vergunningen voor een alternatief met bundeling sneller zal gaan dan voor een tracé waar niet gebundeld wordt met bestaande infrastructuur.

Voor het landtracé in Zeeuws-Vlaanderen geldt dat als het nieuwe 380 kV station Terneuzen bij de Mosselbanken komt, er geen landtracé in Zeeuws-Vlaanderen nodig is. Als het nieuwe 380 kV station Terneuzen bij het industrieterrein Terneuzen komt, kan het landtracé gebundeld worden met het tracé van de 150 kV hoogspanningslijn Goes – Terneuzen.

5.1.7.4 Landtracé Oost

Bij Smokkelhoek loopt het tracé van de nieuwe hoogspanningslijn Borssele – Rilland dicht bij de Westerschelde. Er is een kort landtracé in Zuid-Beveland nodig als de Westerschelde hier gekruist wordt. De waterkruising kan korter zijn als de Westerschelde bij Hansweert of Kruiningen gekruist wordt. Er is dan een tracé op land nodig van ongeveer drie kilometer parallel aan het Kanaal door Zuid-Beveland.

Voor alternatief Oost is een landtracé in Zeeuws-Vlaanderen nodig. De lengte van dit tracé is ongeveer twintig kilometer, afhankelijk van de locatie van het nieuwe 380 kV station Terneuzen. De route omvat kruisingen over het Kanaal Gent Terneuzen en de Otheense Kreek. In Zuid-Beveland is ongeveer drie kilometers hoogspanningslijn benodigd langs het Kanaal door Zuid-Beveland. Dit tracé loopt in de nabijheid van enkele dorpen.

5.1.8 Kosten

Om de Westerschelde over te steken, worden masten gebruikt met een hoogte van 160 m tot 200 m. Voor de kostenraming is uitgegaan van een funderingsconstructie van maximaal 5.000 ton voor een gewichtsfundering, een uitvoering als jacket zal lichter zijn. Er is rekening met voorzieningen voor onderhoud, bijvoorbeeld een betonnen platform dat ook moet voorkomen dat de getijden en de waterstroming een hoge belasting op de masten uitoefenen en met aanvaarbeveiliging.

Een andere belangrijke kostenpost is de geleider, zowel leveren als intrekken van de geleider. Kosten voor het geleidertype voor de waterkruising zijn hoger dan de geleiders voor de landdelen. De hoogte van de geleiders boven het water vereisen trillingsdempers en luchtvaart- en vogelwaarschuwingvoorzieningen.

De hoogspanningslijn op land is gebaseerd op Wintrack masten voor tracé Midden bij bundeling met de bestaande 150kV-hoogspanningslijn. Voor de overige tracés op land en voor de waterkruising is uitgegaan van vakwerkmasten.

De overige kosten omvatten de projectleiding, engineering, grond, zakelijk recht overeenkomst (ZRO) & schade.

De nauwkeurigheid van de ramingen is +/- 30%.

Een raming van de kosten per km voor een twee-circuit vakwerk hoogspanningslijn op land en voor de waterkruising is gegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Raming twee-circuit vakwerk lijn op land en twee circuit vakwerk voor de waterkruising

Item	Omschrijving	Kosten op land twee-circuit vakwerk [MEUR/km]	Kosten offshore twee-circuit vakwerk [MEUR/km]
Masten	Levering staal en montage:	0.8	3
Fundamenten	Levering en aanleg fundering	0.4	4
Geleidersysteem	Levering en montage geleiders, isolatoren etc	0.5	3
Civiele werkzaamheden	Aanleg werkwegen, werkterreinen, logistiek etc	0.3	2
Overig	Projectleiding, engineering, grond, ZRO, schades	1.5	3
Totaal		3.5	15

Een raming van de kosten per km voor een twee-circuit en een vier-circuit Wintrack hoogspanningslijn op land is opgenomen in Tabel 5.

Tabel 5 Raming twee-circuit en vier-circuit Wintracklijn op land

Item	Omschrijving	Kosten op land twee-circuit Wintrack [MEUR/km]	Kosten op land vier-circuit Wintrack [MEUR/km]
Masten	Levering staal en montage:	2	3
Fundamenten	Levering en aanleg fundering	1	1.5
Geleidersysteem	Levering en montage geleiders, isolatoren etc	1	2
Civiele werkzaamheden	Aanleg werkwegen, werkterreinen, logistiek etc	1	1
Overig	Projectleiding, engineering, grond, ZRO, schades	1.5	1.5
Totaal		6.5	9

Een raming van de kosten voor de verschillende tracé alternatieven is gegeven in Tabel 6. Dit betreft de zowel tracés op land als de Westerscheldekrusing.

Tabel 6 Raming voor de verschillende tracé alternatieven inclusief de tracédelen op land en de Westerscheldekrusing

	Wintrack op land vier-circuit [MEUR]	Vakwerk op land twee-circuit [MEUR]	Vakwerk offshore [MEUR]	Totaal – afgerond [MEUR]
West	N/A	24.5	90	115
Midden a	54	N/A	75	130
Midden b	54	N/A	90	145
Oost a	N/A	87.5	60	150
Oost b	N/A	87.5	99	190

5.2 Kabels

In dit hoofdstuk worden een aantal alternatieven verkend om de Westerschelde over te steken met 380 kV kabels.

Er zijn verschillende installatiemethoden voor kabel voor de Westerscheldekruising:

- Installatie in de bestaande verkeerstunnel of een nieuwe utiliteitstunnel
- Kabels die in de zeebodem worden aangelegd (met diverse methoden), waarbij de kabels in rechtstreeks contact staan met de zeebodem (direct begraven)
- Kabels in buizen geïnstalleerd met horizontaal gestuurde boringen (Horizontal Directional Drilling – HDD).

In hoofdstuk 4 zijn de drie tracés beschreven die onderdeel uitmaken van de verkenning. In onderstaande Figure 18 wordt hier de aanduiding van de tracés herhaald.



Figure 18 Globale weergave tracés.

In tracé Midden bevindt zich een bestaande verkeerstunnel, de Westerscheldetunnel. Mogelijk kunnen de kabels in deze tunnel worden aangelegd. Hierop wordt, naast de genoemde installatiemethoden, als onderdeel van deze verkenning ingegaan.

Tracé West-kan de Westerschelde loodrecht vanaf Borssele naar Hoofdplaat kruisen, en vervolgens Zeeuws-Vlaanderen over land naar Terneuzen lopen. In dit geval loopt de 380 kV-verbinding over het wad "Hooge Springer". Een ander alternatief is om Borssele en Terneuzen direct met een langere kabelverbinding te verbinden, waarbij zowel het dorp Hoofdplaat als het wad "Hooge Springer" worden vermeden. Bij dit alternatief moet de verbinding echter de Braakmanhaven oversteken en zal de totale kabellengte het langst zijn van alle alternatieven.

Tracé Oost heeft de langste totale circuitlengte, met het grootste deel van het tracé over land in Zeeuws-Vlaanderen. De totale lengte van de kruising van de Westerschelde is echter de kortste in vergelijking met de tracé West en Midden, aangezien de kruising van de Westerschelde via de wadplaten (de Platen van Ossensisse) nabij de kust van Zeeuws-Vlaanderen kan worden gemaakt.

TenneT heeft aangegeven dat maximaal twee kabels per fase toegestaan zijn. Om aan de transportbehoefte van dit project (4 kA) te voldoen, zijn twee kabels per fase per circuit zeker nodig. De lengte van de oversteek voor tracé

Midden is ca. 6,6 km. De totale kabellengte wordt dan voor twee circuits: 2 circuits x 3 fasen x 2 kabels per fase x 6,6 km = 80 km (afgerond). Voor vier circuits komt de totale kabellengte op ongeveer 160 km.

Onderzeese AC-kabels worden veel toegepast bij het verbinden van offshore elektrische subsystemen. Voorbeelden van dergelijke toepassingen zijn offshore windparken, O&G platforms, en exportkabels.

Tot spanningsniveau 220 kV zijn onderzeese kabels normaal gesproken 3-aderige kabelsystemen met een gemeenschappelijke armering. Er zijn wereldwijd maar weinig leveranciers die ook 3-aderige onderzeese kabels kunnen leveren voor de 400 kV spanningsklasse. Tabel 7 geeft een overzicht van het bereikte spanningsniveau in 3-aderige AC zee-kabels. Het hoogste spanningsniveau voor 3-aderige geëxtrudeerde onderzeese kabel is 420 kV bij het oversteken van het Little Belt Strait-project in Denemarken in 2013. Het betreft twee stukken kabel met elk een lengte van 7,5 km en een vermogen van 1100 MW, geleverd door ABB-kabel (nu NKT). NKT is het enige bedrijf dat een 3-aderige geëxtrudeerde onderzeese kabels van meer dan 380 kV heeft geleverd, terwijl andere kabelleveranciers werken aan de ontwikkeling van geëxtrudeerde 3-aderige onderzeese AC-kabels tot spanningsniveau 420 kV. DNV verwacht niet dat de 3-aderige 420 kV-kabel een standaardproduct op de markt gaat worden.

Tabel 7 Overzicht van het bereikte spanningsniveau in 3-core AC onderzeese kabel.

Leverancier	Bereikt spanningsniveau	Projectvoorbeeld
NKT	420 kV	Little Belt strait project, Demark
NKT	345 kV	Bayonne, New York Harbour
Prysmian	220 kV	West of Adlergrund, Germany
Nexans	245 kV	Wolfe Island Wind Project, Canada
ZTT	220 kV	Binhai H1-2, China
Hellenic	155 kV	Borkum Riffgrund II, Germany
LS	220 kV	Hollandse Kust Noord (to be supplied), the Netherlands
Hengtong	220 kV	Zhuanghe offshore wind power, China

Moderne ondergrondse hoogspannings-wisselstroomkabelverbindingen bestaan doorgaans uit een aantal enkeladerige kabels met XLPE-isolatie, geëxtrudeerde of gelaste metalen mantel en een geëxtrudeerde HDPE-buitenmantel. Vaak bestaan dergelijke verbindingen uit drie of zes enkeladerige kabels per circuit, die in platte formatie of in twee bundels in klaverbladformatie zijn gelegd. Het aantal benodigde kabels per fase is afhankelijk van de transmissiecapaciteit van de verbinding. Voor de transmissiecapaciteit (4 kA per circuit) van de Westerschelde kruising zijn minimaal twee kabels per fase, dus zes kabels per circuit nodig. Deze enkeladerige kabels worden geleverd door verschillende leveranciers tot een spanningsniveau van 500 kV.

Tabel 8 geeft een overzicht van projecten met enkeladerige gearmeerde onderzeese kabels. Er zijn verschillende nadelen van enkeladerige onderzeese kabels in vergelijking met 3-aderige onderzeese kabels, zoals hoge geïnduceerde verliezen in de armering, ingewikkelder kabellegproces en meer benodigde ruimte voor de kabelcircuits. Eén van de belangrijkste verschillen tussen onderzeese kabels en landkabels is de armering bij onderzeese kabels. De armering biedt een mechanische bescherming, maar vermindert de stroombelastbaarheid van de kabels. Daarom is het belangrijk om de noodzaak van het gebruik van gearmeerde kabels in dit project zorgvuldig te onderzoeken. De bestaande 150 kV kabels die de Westerschelde kruisen zijn ongearmeerde landkabels. De staaldraadstrengen in het midden van de kabelbundel zorgden voor voldoende mechanische sterkte.

Tabel 8 Overzicht van het bereikte spanningsniveau in enkele onderzeese AC-kabel

Leverancier	Bereikt spanningsniveau	Projectvoorbeeld
ZTT	500 kV	Zhoushan Power Transmission, China
Prysmian	400 kV	Strategic Power grid connection, Bahrain
Prysmian	400 kV	Dardanelles Strait crossing, Turkey
NKT	220 kV	Cork Harbour, Ireland

5.2.1 Veiligheid

Veiligheid wordt beschouwd als de werkelijke kans op een dodelijk ongeval of letsel van een persoon.

5.2.1.1 Kabel in Tunnel

Veiligheidsrisico's gerelateerd aan kabels die in tunnels worden geïnstalleerd, omvatten onderstaande aspecten:

- Geïnduceerde stroom en spanning op nabijgelegen constructies veroorzaakt door elektromagnetische interferentie (EMI). In een tunnel is er risico op geïnduceerde stromen en spanningen op andere metalen constructies in de tunnel als gevolg van interferentie door AC-kabels. Deze stromen en spanningen kunnen leiden tot een veiligheidsrisico en kunnen leiden tot versnelde corrosie
- Brandgevaar veroorzaakt door de kabel zelf of door andere oorzaken. Gezien de beperkte ruimte in de tunnel, is de toegang voor eventuele blusactiviteiten bij brand beperkt;
- De kabels zouden zodanig door de tunnel moeten worden geïnstalleerd, dat bij onderhoud aan andere infrastructuren in de tunnel, of aan het 'verkeersgedeelte' in de bestaande verkeerstunnel, er geen noodzaak bestaat om de kabelcircuits uit bedrijf te nemen. Ook bij calamiteiten in het 'verkeersgedeelte' van de tunnel moeten de kabels onder alle omstandigheden gewoon in bedrijf kunnen blijven. De kabelcircuits moeten dus zodanig worden geïnstalleerd dat de situatie rondom de kabels inherent veilig is.
- Een tunnel is een besloten ruimte, waarin het uitvoeren van werkzaamheden aan strenge beperkingen is gebonden, omdat er risico's bestaan zoals het verlies van oriëntatie, moeite met ontsnappen, verdringing van zuurstof, inroepen van hulp, verlenen van hulp falende communicatie, overstromingen.

Bovenstaande veiligheidsrisico's zullen in de ontwerpfase zoveel als mogelijk gemitigeerd moeten worden om een inherent veilige oplossing te verkrijgen die ook tijdens calamiteiten werkbaar blijft.

5.2.1.2 Kabel Ingegraven

De Westerschelde verbindt de haven van Antwerpen met de Noordzee. Veiligheid van het scheepvaartverkeer is daarom van essentieel belang voor de economische activiteiten voor zowel Nederland als België. Bij de optie om de kabel rechtstreeks in de bodem van het Westerschelde te begraven, moet rekening worden gehouden met de volgende veiligheidsaspecten:

- Hinder voor het scheepvaartverkeer tijdens het leggen van de kabels en wanneer reparatie van kabels nodig is;
- Milieu-effecten en gezondheidseffecten door opwervelingen en -verplaatsingen van verontreinigd slib tijdens het leggen van de kabels en wanneer reparatie van kabels nodig is;
- Mogelijke aanwezigheid van niet gedetecteerde oude munitie tijdens de werkzaamheden
- Mogelijke interactie tussen kabels en andere objecten als gevolg van EMI.

5.2.1.3 Kabel in gestuurde boring (HDD)

Naast de hierboven genoemde veiligheidsaspecten die voor direct in de Westerschelde bodem begraven kabels gelden, zijn er bij gebruik van HDD-technologie nog de volgende processen:

- Veiligheid van het HDD-boor- en buistrekproces;
- Veiligheid van het kabeltrekproces door de buizen.

Het HDD-constructieproces bestaat uit pre-constructie, geleidegat, voorruimen en terugtrekken. Relevante risico's zijn instorting van boorgat, veiligheid van arbeiders in de buurt van boorkop, verlies van boorvloeistof, uitbraak van bentoniet, vastzitten van pijp tijdens het trekproces. Risicoanalyse en -beheer in HDD-constructieproces worden uitgebreid beschreven in/ 24, 25/. Het risico op HDD-boringen in dit project kan extra groot zijn, gezien de lange HDD-lengte benodigd om de Westerschelde over te steken. De Westerschelde is te lang om in één keer over te steken, zodat er halverwege minimaal één locatie benodigd zal zijn om de buizen aan elkaar te verbinden.

5.2.2 Betrouwbaarheid en beschikbaarheid

Vanwege het grote vermogen (2 of 4 maal 2635 MW), zal uitval van de verbinding een belangrijke consequentie hebben voor de gebruikers van de verbinding. Daarom is het van belang dat de verbinding een hoge mate van betrouwbaarheid en beschikbaarheid bezit. Schade aan kabelcircuits zal reparaties of vervangingen nodig maken, wat erg tijdrovend kan zijn. De lange hersteltijd bij fouten in een kabelcircuit heeft een negatief effect op de betrouwbaarheid van dit deel van het 380kV-net. Daarom moet de risicobeoordeling van de 380kV-circuits zorgvuldig worden bestudeerd en moeten ook relevante mitigatiemethoden worden geïmplementeerd met de nodige redundantie.

5.2.2.1 Kabel in Tunnel

De volgende aspecten gelden met betrekking tot betrouwbaarheid en beschikbaarheid van kabels in tunnels:

- Kortsluitstromen leiden tot mechanische krachten op het kabelsysteem en tussen de kabels onderling in de tunnel. Afhankelijk van de plaatsing van de kabels in de tunnel kunnen deze krachten leiden tot beweging en verplaatsing van de kabels, zowel tijdelijk als permanent. Ongewenste beweging of verplaatsing kan leiden tot storingen in het kabelsysteem.
- In geval van brand in de tunnel is de brandweer in de eerste plaats verantwoordelijk voor de veiligheid van de mens en niet voor het in bedrijf houden van de kabelcircuits. Mochten de kabelsystemen zodanig geïnstalleerd zijn dat deze de impact van een tunnelbrand zullen ondervinden, dan is uitval van de kabelcircuits waarschijnlijk.
- Er moeten afspraken en procedures over toegang en activiteiten in de tunnel zijn met de tunnelbeheerder en eigenaren van andere voorzieningen in de tunnel. Activiteiten van andere partijen in de tunnel mogen niet leiden tot niet beschikbaarheid of uitval van het 380kV-circuit in de tunnel.

5.2.2.2 Kabel ingegraven

De volgende aspecten gelden met betrekking tot betrouwbaarheid en beschikbaarheid van kabels begraven in de bodem van de Westerschelde:

- Scheepsankers, ankerkettingen kunnen kabels beschadigen bij onvoldoende ingraafdiepte. Onvoldoende ingraafdiepte kan ontstaan als gevolg van dynamische beweging van sediment;
- Beschadiging van de kabel als gevolg van baggeractiviteit. Baggerwerkzaamheden moeten vooraf worden gemeld en de nodige acties moeten worden ondernomen om schade aan de kabels te voorkomen;
- Dynamische beweging van de bodem kan herbegraven van de kabels noodzakelijk maken. Tijdens de benodigde handeling voor het herbegraven is er risico op beschadiging van de kabel;

- Installatie van kabel in de Westerschelde bodem moet gezien worden als offshore activiteit. Over het algemeen is bij offshore installatie (directe begraving) het risico op kabelbeschadiging groter dan bij landkabeltoepassingen. Beschadiging van kabel offshore betekent hoge reparatiekosten en lange reparatiedoorlooptijd.

Bij onvoldoende ingraafdiepte neemt het risico toe dat de kabel wordt beschadigd door scheepsankers of ankerkettingen. Bij het volledig blootspoelen nemen de mechanische spanningen op de kabels in de vrije overspanning toe, wat een vermoeidheidsrisico vormt voor de loden mantel van de kabels. In het geval dat de kabel bloot komt te liggen, is herbegraven van de kabel nodig. Zelfs als er onderzoek wordt gedaan naar de dynamiek van de zeebodem, zal het moeilijk zijn om garanties te geven dat de kabel nooit bloot spoelt. Dit betekent dat de optie van normale begraafdiepte ervaren door onderzeese kabels altijd gepaard zal gaan met de noodzaak om op onvoorziene momenten te herbegraven. Herbegraven van de 150 kV- lijn in Zeeuws-Vlaanderen die de Westerschelde doorkruiste, is regelmatig nodig gebleken sinds de installatie van de kabelsystemen.

TenneT heeft ervaring opgedaan bij het Net op Zee Borssele. Hieruit blijkt dat een ingraafdiepte van 2 meter voldoende zijn om de kans op schade aan de kabel door ankers reduceren tot een kans van 1:6000. Een hogere eis ten aanzien van de kans op schade door ankers (kans < 1:10000) vereist een grotere ingraafdiepte. Een op risico's gebaseerde studie naar de benodigde ingraafdiepte dient in een later stadium uitgevoerd te worden om de vereiste ingraafdiepte te bepalen.

5.2.3 Technische uitvoerbaarheid

Bij installatie van de kabel moet voor de technische haalbaarheid rekening worden gehouden met een aantal technische aspecten waaronder in ieder geval de volgende:

- Benodigde kabellengte, accessoires en gerelateerde kosten, levertijd
- Bestaande kabels en overige infra langs en nabij de route
- Realiseren van de gevraagde transportcapaciteit
- Volwassenheid van de installatietechnologie
- Hulpcomponenten in het kabelsysteem en implementatiemethoden
- Elektromagnetische interferentie van de kabels op andere infrastructuur
- Toegang voor onderhoud en reparatie.

In de volgende secties worden de kabelinstallatiemethoden besproken aan de hand van deze technische aspecten.

5.2.3.1 Kabel in tunnel

In tunnels is waarschijnlijk actieve koeling van de kabelcircuits nodig om de benodigde transportcapaciteit te realiseren en de omgevingstemperatuur te beperken. Er zijn technische oplossingen beschikbaar om, door middel van directe of indirecte koeling, het probleem van warmteafvoer tot op zekere hoogte te verminderen. Dergelijke methoden worden vaak toegepast in lange tunnels waarin kabels worden geïnstalleerd. Hiervan bestaan wereldwijd meerdere voorbeelden. Nadeel van het toepassen van actieve koeling is dat de betrouwbaarheid van de verbinding afhankelijk wordt van externe systemen.

Een ander technisch aspect is de elektromagnetische interferentie van de kabels op andere infrastructuur in de tunnel. Er wordt spanning geïnduceerd in de metalen constructies als gevolg van de aanwezigheid van een magnetisch veld gecreëerd door AC-geleiderstroom, zowel bij normaal bedrijf als bij storingssituaties, als gevolg van inductieve en/of geleidende koppeling. De geïnduceerde spanning brengt risico's met zich mee, zoals elektrocutie,

corrosieversnelling van metalen constructies, schade en lekkage van pijpleidingen, enz. Gerelateerde richtlijnen voor de invloedsbeperkingen zijn te vinden in TB 95 /4/ en IEC 61936-1:2021 /5/.

De beoordeling van het EMI-probleem moet rekening houden met het "worst-case scenario", dat wil zeggen kortsluitstroom die door de kabels vloeit. Er zijn verschillende methoden om het EMI-probleem te verminderen dat wordt veroorzaakt door de installatie van AC-kabels in tunnels, namelijk:

- Zorgvuldige opstelling van de geometrie van de kabels om het gegenereerde magnetische veld te minimaliseren. Hiervoor zijn geen extra mitigatiemiddelen nodig, maar de reductiefactor is ook beperkt.
- Het installeren van AC-kabels in stalen buizen of ferromagnetische loopbanen. Deze methode is zeer effectief in het verminderen van elektromagnetische velden bij de netfrequentie. Er moet echter worden opgemerkt dat deze methode geen afscherming biedt tegen de bijdrage aan elektromagnetische velden van aardstromen. Geïnduceerde stroom in stalen leidingen zal daarin verliezen veroorzaken en de kabelgeleider- en mantelverliezen veranderen, en op hun beurt het toegestane vermogen van de kabels verminderen. Met behulp van numerieke simulaties kan de optimale maat van de leidingen of leidingen worden ontworpen.
- Extra stroomkring gebruiken om het bestaande magnetische veld te compenseren. Met behulp van een actieve of passieve lus kan een tegengesteld magnetisch veld aan het bestaande veld worden gegenereerd, waardoor de invloed op andere metalen structuren wordt geminimaliseerd.

Andere mogelijke methoden om het kabelprestaties te verbeteren, kunnen zijn:

- Om gemakkelijk toegang te krijgen tot kabels voor onderhoud of reparatie, kunnen demontabele buizen van twee halve schalen worden toegepast.
- Om de transportcapaciteit te verbeteren zou dan koeling kunnen plaatsvinden met een koelleiding in de stalen leidingen om warmte aan het systeem te onttrekken.

Een combinatie van meerdere hierboven beschreven methoden kan worden toegepast om het effect op de vermindering van het magnetische veld en de kabelprestaties te verbeteren. De technische mogelijkheid om deze maatregelen over een lengte van 6,6 km te implementeren, moet worden gecontroleerd en geverifieerd op hun prestaties over de volledige lengte van de oversteek.

Nieuwe utiliteitstunnel

Een nieuwe utiliteitstunnel is een oplossing om een kruising van de Westerschelde voor meerdere nutsvoorzieningen tegelijk te realiseren.

Utiliteitstunnels zijn de afgelopen 150 jaar in veel landen over de hele wereld gebouwd met hoogontwikkelde technologieën. In de literatuur /7/ is een utiliteitstunnel uitgebreid beoordeeld op aspecten als historische ontwikkeling, sociale voordelen, ontwerpprincipe en investeringskosten.

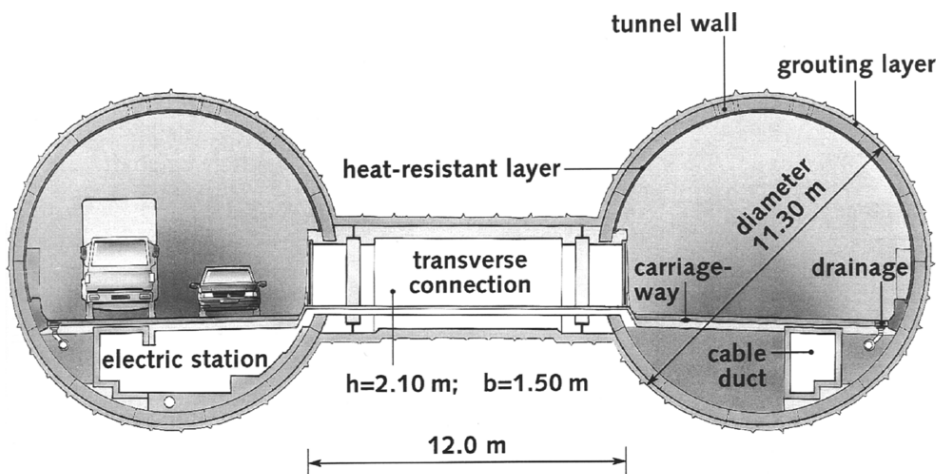
In een multifunctionele tunnel kunnen 380 kV-kabelsystemen worden gelegd en toegankelijk blijven voor reparaties. Een voordeel van een tunnel is dat de infrastructuur indien nodig kan worden vervangen of uitgebreid, zodat toekomstige uitbreidingsmogelijkheden beschikbaar komen.

Utiliteitstunnels zijn technisch complex omdat risico's en de interacties tussen infrastructuren en met de omgevingen te allen tijde onder controle moeten zijn. Er zijn technologieën om dit te waarborgen, en tunnels zijn gebruikelijke infrastructuren om delen van de transmissienetten in onder te brengen. 400 kV (of hoger) kabels in tunnels worden bijvoorbeeld gebruikt in het VK (Londen), Singapore, Duitsland en China. Zo is de tunnel van het project "London connection" van Elstree naar St. John's Wood Cable Tunnel 20 km lang met een 400 kV kabel circuit met een continue stroombelastbaarheid van 2309 A (1600 MW) en een zes uur overbelasting van 3700 A.

Opgemerkt moet worden dat het ontwikkelen, aanleggen en exploiteren van een utiliteitstunnel behoort niet tot de gereguleerde taken van TenneT en vergt specifieke kennis en ervaring waarover TenneT niet beschikt.

Bestaande Westerscheldetunnel

Onder de Westerschelde is sinds 2003 een bestaande verkeerstunnel tussen Zeeuws-Vlaanderen en Zuid-Beveland operationeel. De Westerscheldetunnel bestaat uit een dubbele buisconstructie met elk een diameter van 11,3 meter en een totale lengte van 6,6 km. Figuur 19 toont de dwarsdoorsnede van de Westerscheldetunnel. Onder het wegdek is een ruimte van circa 4-5 meter breed, waar in beide tunnelbuizen een voor mensen begaanbaar kabelkanaal is aangebracht. Door het kabelkanaal kan ook een onderhoudsvoertuig rijden. Figuur 20 laat dit onderhoudsvoertuig zien, naast een hoeveelheid LV-kabels en andere infrastructuur die door het kabelkanaal in de tunnel lopen. Behalve de kabelkanalen zijn om de 1000 m ook extra ruimtes aanwezig, zogenaamde elektrische stations, voor de lokale elektrische installaties. De resterende ruimte onder het wegdek is opgevuld met hydraulisch gebonden zand.



Figuur 19 Dwarsdoorsnede Westerscheldetunnel /2/.



Figuur 20 Foto van ruimte onder tunneldek Westerschelde, andere infrastructuur en onderhoudsvoertuig /3/.

De installatie van de 400kV kabel circuits in de Westerscheldetunnel zou een oplossing kunnen zijn, met mogelijk vermindering van de totale installatie-inspanning omdat de tunnel al bestaat, minimale impact op de natuur en eventuele

toegang voor onderhoud en reparatie. Het zal echter niet eenvoudig zijn om de 400 kV kabelcircuits door de bestaande Westerschelde tunnel te installeren.

Wanneer de volledige ruimte onder het wegdek in de tunnelbuizen kan worden heringericht, lijkt het vooralsnog mogelijk om 2 tot 4 kabelcircuits in elk van de tunnelbuizen te installeren. Daarbij wordt gedacht aan het installeren van 1 stalen buis met een doorsnede van zo'n 1 meter per kabelcircuit. In die stalen buis is er dan plaats voor 3 of 6 één-fase 400 kV kabels en voor één of meerdere koelbuizen. Een (redundante) koelinstallatie in de buurt van de tunnel ingang en/of uitgang is nodig om de door de kabels geproduceerde warmte uit de tunnel af te voeren. De actieve koeling zal grote transportcapaciteiten mogelijk maken, terwijl de toepassing van een stevige stalen buis electromagnetische velden afschermt alsook een fysieke barrière vormt tussen de kabels en de rest van de tunnel. Daardoor kunnen risico's ontkoppeld worden (voorbeeld: een kortsluiting heeft dan geen effect op de veiligheidssituatie in de tunnel). Het lijkt erop dat er tot 4 van deze stalen buizen onder het bestaande wegdek van één tunnelbuis passen, wanneer de volledige ruimte onder het wegdek wordt heringericht.

De herinrichting van de tunnelbuizen zal zonder meer een zeer ingrijpende verandering van de Westerschelde tunnel betekenen. Het zou betekenen dat om en om beide tunnelbuizen langdurig worden afgesloten voor het verkeer, zodat het wegdek kan worden weggenomen en de onderliggende infrastructuur vergaand kan worden aangepast.

Er zal een gedetailleerde analyse zal nodig zijn om bovenbeschreven mogelijkheid te bevestigen en uit te werken zodanig dat alle benodigde systemen in de tunnel kunnen worden ingepast zonder ontoelaatbare onderlinge beïnvloeding. Uiteraard is daarbij ook uitgebreid overleg nodig met de tunneleigenaar. DNV denkt vooralsnog echter dat er vanuit technisch oogpunt mogelijkheden zijn om tot vier kabelcircuits per tunnelbuis te realiseren, wanneer volledige herinrichting van de Westerschelde tunnel mogelijk is, en waarbij van actieve koeling gebruik gemaakt zal worden.

Zo'n 20 jaar geleden is ook de mogelijkheid onderzocht om 150 kV-kabels in de Westerscheldetunnel aan te leggen. Op dat moment was, voor zover nu bekend, de belangrijkste technische reden om niet met deze optie verder te gaan, de beperkte warmteafvoercapaciteit van de tunnel en dus een verminderde transportcapaciteit. Het lijkt er echter op dat de mogelijkheid van actieve koeling van het 150 kV kabelsysteem destijds niet is onderzocht. Ook kunnen er destijds naast technische redenen nog andere redenen zijn geweest die hebben geleid tot complicaties bij het eventueel aanleggen van 150 kV-kabels door de tunnel, zoals bijvoorbeeld redenen die verbandhouden met de planning van de toenmalige tunnel realisatie activiteiten.

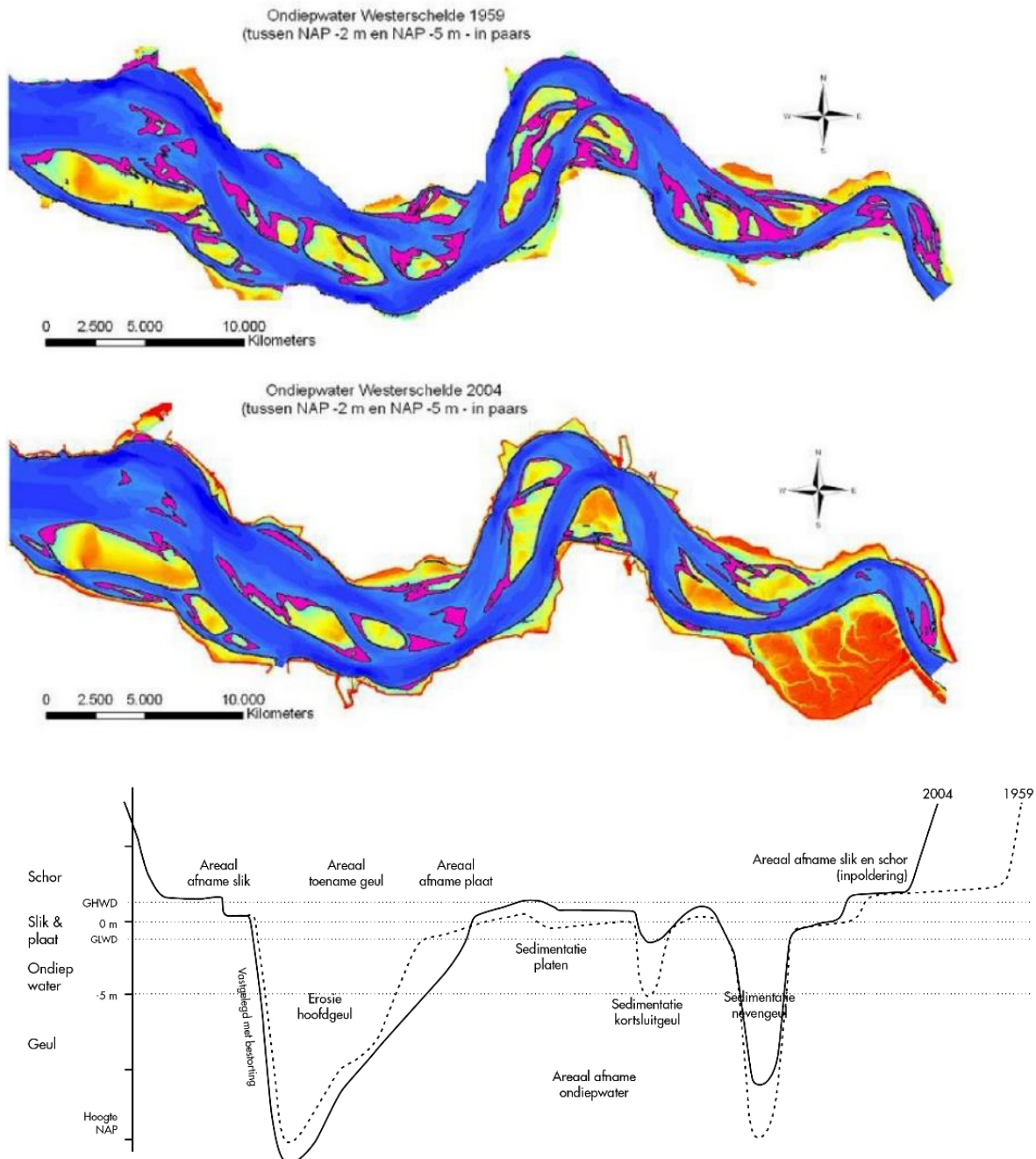
5.2.3.2 Kabel ingegraven

Kabelinstallatie door middel van trenching vereist in het algemeen een lagere investering en kortere installatiesnelheid in vergelijking met andere installatiemethoden, zoals kabel geïnstalleerd in HDD buizen. Direct ingegraven kabels hebben een relatief hogere transportcapaciteit in vergelijking met kabel in HDD-buizen of landsecties. Wanneer de kabels diep in de Westerschelde ingegraven worden, neemt de stroombelastbaarheid echter af. Voor diep begraven kabels kunnen de dynamische classificaties volgens IEC 60853-2 /21/ en IEEE Dorison et al. (2010) /22/ worden gebruikt om de dagelijkse, wekelijkse en jaarlijkse cycli te berekenen.

Bij het kruisen van de Westerschelde moet bij het direct ingraven van de kabel rekening worden gehouden met een aantal specifieke aspecten:

- Benodigde ingraafdiepte en voldoende ruimte tussen circuits om gelijktijdige schade door één groot anker te voorkomen
- Onvoorspelbaarheid van kabelbegravingdiepte als gevolg van dynamische sedimentbeweging
- Onderbreking van de waterweg in voorbereiding en installatie, en bedrijfsfasen
- Keuze van kabeltypes en bundelstructuren.

De Westerschelde is een typisch getijdenwaterweg met zeer dynamisch stromings- en sedimenttransport. Sedimenttransport in de Westerschelde heeft ook een zeer complex patroon door combinatie van eb- en overstromingsmechanisme en is daarom moeilijk te voorspellen. Figuur 21 geeft een indicatie van de verandering van de ondiepe waterverdeling van de Westerschelde tussen 1959 en 2004.



Figuur 21 Verdeling ondiep water Westerschelder verandert tussen 1959 en 2004 /23/

Tijdens de operationele levensduur zullen kabels last hebben van variërende begraaftdieptes als gevolg van de dynamische beweging van sediment, wat in het extreme geval kan leiden tot bloot komen te liggen van de kabel. Bij onvoldoende ingraaftdiepte neemt het risico op schade aan de kabel toe, bijvoorbeeld door geraakt te worden door

ankers van schepen of door vermoeiingsschade in vrij overspannen kabellengte. De meest effectieve manier om zo'n situatie te voorkomen is om de kabel diep genoeg in te graven.

Onderbreking van het scheepsvaartverkeer is een ander punt waarmee rekening moet worden gehouden bij de directe begraafmethode. Voorafgaand aan het kabellegproces moeten voorbereidende werkzaamheden worden. Er zijn veel obstakels in de Westerschelde bodem die vóór installatie moeten worden verwijderd. UXO-onderzoeken (niet-ontploffte munitie) zijn kostbaar. Het kabellegproces en later herbegraven- of reparatieactiviteiten (indien nodig) zouden het scheepvaartverkeer kunnen stremmen.

Bij direct begraven moet de afstand tussen aangrenzende parallelle kabels/kabelbundels groot genoeg zijn om schade aan meerdere kabels door een enkele anker-/ankerketting of schip te voorkomen. Er moet ook voldoende ruimte zijn voor kabelreparatiewerkzaamheden. Het kruisen van de Westerschelde met een veelvoud aan kabels maakt de situatie complexer.

5.2.3.3 Kabel in gestuurde boring (HDD)

Bij sleufloze technologieën zoals HDD kunnen ofwel kabels rechtstreeks door voorgeboorde gaten worden getrokken, of kunnen buizen worden getrokken, waarna kabels door die buizen worden getrokken. Gezien de hoge dynamische sedimentbeweging in de Westerschelde, zullen in dit project buizen nodig zijn bij het toepassen van HDD-technologie.

Bij kruisen van de Westerschelde door middel van HDD moet rekening worden gehouden met een aantal specifieke aspecten:

- Vereiste HDD-buismaat en ingraafdiepte
- Stroombelastbaarheid van de kabel in HDD-buizen
- Technologiebeschikbaarheid van HDD-boringen voor de benodigde lengte en diepte
- Kabeltrek-/duwtechniek met bijbehorende risico's.

Voor HV-kabels met een hoge transportbehoefte wordt vaak gekozen voor één ader per binnenbuis met meerdere binnenbuizen in een grote HDD-buis. HDD-buisinstallatie geïnstalleerd. De buizen worden in het circuit parallel of in een gebundelde structuur aangelegd. Parallel lopende buizen maken een hogere transportcapaciteit van de kabel mogelijk, maar bemoeilijken de installatie en het circuit neemt veel meer ruimte in beslag. Met project Randstad 380 kV Noordring als voorbeeld, wordt hieronder de relevante circuit ontwerpparameters van parallel lopende HDD-buizen beschreven /34/:

- Kabeltype: 1 x 2500 mm² Cu Milliken met buitendiameter 137 mm, cross-bonding in het circuit
- HDD-type: HDPE 204,5/250 mm diameter
- HDD-begraafdiepte: 1,8 meter
- Afstand tussen twee HDD's: 0,75 meter
- Benodigde ruimte om kabels te installeren voor één circuit (twee kernen per fase): 4,5 meter
- Benodigde ruimte om kabels te installeren voor twee circuits (twee kernen per fase): 15 meter
- Omgevingsparameters: bodemtemperatuur 15 °C, thermische weerstand 0,5 K*m/W
- Vulmateriaal in HDD-buizen: water
- Stroombelastbaarheid van in totaal twee circuits (nominal current): 4548 A.

Buizen in gebundelde structuur vereisen minder ruimte, maar de transportcapaciteit van kabels is lager zijn dan bij parallelle kabels vanwege de grotere wederzijdse thermische effecten van aangrenzende kabels.

Om het thermisch gedrag te verbeteren, kunnen buizen met een hoge thermische geleidbaarheid worden toegepast, bijvoorbeeld niet-magnetische metalen buizen. Het opvullen van water in de HDD-buis helpt ook de warmteoverdracht en verhoogt de transportcapaciteit. TenneT heeft aangegeven dat TenneT geen andere, vaste opvulmaterialen toepast, zoals cement.

De nieuwste boortecnologie maakt het mogelijk om HDD buizen met een diameter van 200 mm tot 1800 mm, binnenbuizen met een diameter van 200-tot 300 mm en een boorlengte tot 2000 meter /26/ te boren. Er zijn eisen aan buisdiameters en ingangshoeken, afhankelijk van het kabelontwerp en de route. De diameter van de HDD-buizen moet 1,5 keer de kabeldiameter zijn. HDD-buizen die in grote diepte zijn geïnstalleerd, stellen eisen aan hun in- en uitgangshoeken naar de grond, TB770 geeft een voorbeeld van een minimale installatieradius voor HDPE-buizen van 40 keer de HDD-diameter.

Een ander aspect waarmee rekening moet worden gehouden, is kabeltrekken in lange HDD-buizen. Bij het trekken door HDD-buizen moet een trekspanning op de kabel worden uitgeoefend om de wrijving tussen kabels en de opgenomen buizen te overwinnen. De exacte trekspanning is afhankelijk van factoren als het materiaal van de HDD-buizen, materiaal van de kabelmantel, vulmateriaal in de leidingen en het aantal bochten in de HDD-routes. Terwijl de kabel door de buizen wordt getrokken, wordt de kabel onderworpen aan trekkracht en zijwanddrukken. Er moeten extra voorzorgsmaatregelen worden genomen om te voorkomen dat de relevante kabellimieten worden overschreden in termen van treksterkte, zijwanddruklimieten en minimale buigradius. Smeermiddelen kunnen helpen de wrijvingskracht te verminderen en zo deze risico's te verminderen.

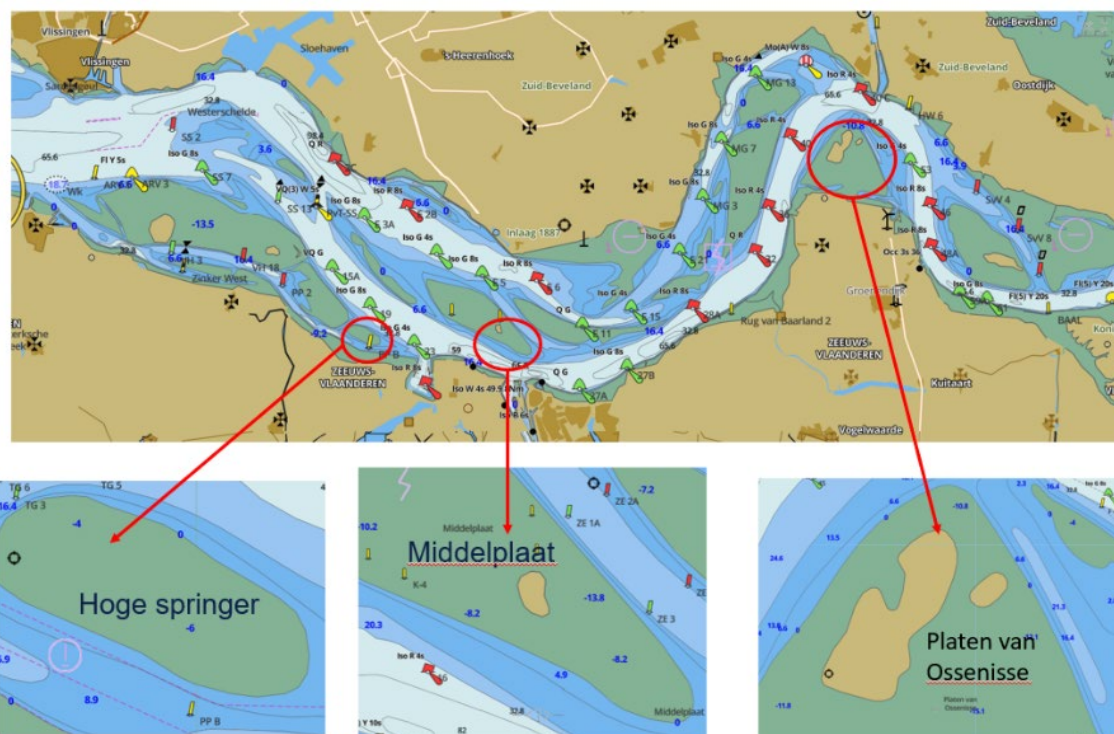
Op basis van een proeftrekoperatie uitgevoerd door TenneT in Rotterdam, was het risico van zowel HDD-boren als kabeltrekken zeer hoog voor een 4 km lange HDD-buisroute.

Naast het trekken van kabels is er ook een duwtechniek voor het installeren van kabels in HDD-buizen. Bij duwtechnieken wordt de kabel van de afroltrommel door de buis geduwd door een duwende tractierol. Perslucht of zwaar water (zout water) kan worden gebruikt om de kabel in buizen in drijvende toestand te houden. Vergeleken met de trektechniek, vermijdt de blaas-/duwtechniek de grote zijwanddruk op kabels, waardoor de risico's bij kabelinstallatie worden verminderd, daarom heeft het de voorkeur in HDD-buizen met lange lengte en routes met meerdere buigingen. Gedetailleerde vereisten voor kabelblaasstechniek zijn te vinden in /27/.

Hybride van directe begraving en HDD-buizen

Combinatie van installatietechnieken: deels HDD en deels directe begraving wordt in deze sectie besproken. Zoals beschreven in bovenstaande secties, wordt het voordeel van de directe ingraafmethode belemmerd door het risico van externe schade in het gebied met onvoldoende kabelingraafdiepte, terwijl de grootste zorg van HDD-buizen verband houdt met de lange lengte in dit project. Deels directe begraving en deels HDD-buizen is een optie om deze problemen op te lossen.

Er zijn ondiepe gebieden in de Westerschelde, bijvoorbeeld "Hoge springer" in tracé West, "Middelplaat" in tracé Midden en "Platen van Ossensisse" in tracé Oost, zoals aangegeven in Figuur 22. Op deze locaties, buiten de vaargeul, is het risico dat de kabel wordt beschadigd door ankers laag en kan directe begraving worden gebruikt, terwijl binnen de vaargeul HDD-buizen kunnen worden gebruikt om schade door derden en effecten van de dynamiek van de zeebodem te voorkomen. De kortere HDD vermijdt hoge trekkrachten op de kabels.



Figuur 22 Aanduiding van meerdere eilanden in het Westerscheldegebied /28/.

Bij een combinatie van directe begraving en HDD-buizen, zijn er specifieke technische aspecten waarmee rekening moet worden gehouden. De reactie van HDD-buizen en kabels op de dynamische sedimentbeweging is verschillend, wat technische uitdagingen met zich meebrengt in dit overgangsgedeelte. De overgang van HDD naar directe begraving moet worden gepland op een locatie waar de sedimentbeweging relatief rustig is.

Een andere mogelijke oplossing is het implementeren van een speciaal ontworpen fundering voor het overgangsgedeelte tussen de HDD en de directe begraving. Daarbij zouden ook 'bend restrictors' kunnen worden toegepast om kabelbeschadiging door te veel buigen in het overgangsgedeelte te voorkomen.

5.2.4 Indicatieve bouwduur

Voor de bouwduur moet onderstaande beschouwd worden:

- Levertijd kabel en accessoires
- Voorbereidende werkzaamheden voorafgaande aan installatie
- Tijd die nodig is voor kabelinstallatie en inbedrijfstellingstests.

De levertijd van de kabels en kabelaccessoires zal naar verwachting 1-2 jaar zijn. De levering van het kabelsysteem kan parallel lopen met de vergunningsaanvragen van het project.

5.2.4.1 Kabel in tunnel

In het geval van een nieuwe utiliteitstunnel, kan het Project Westerscheldetunnel als referentie worden gebruikt voor de indicatie van de bouwduur /2/. De ontwikkeling en bouw van de Westerscheldetunnel duurde ongeveer 5 jaar. Een nieuwe utiliteitstunnel zal naar verwachting een vergelijkbare bouwperiode hebben. Sommige aspecten zijn anders, zo is er geen wegebouw nodig (kost minder tijd), maar zullen er wel weer ondersteuning moeten worden gemaakt waarop de kabels gemonteerd kunnen worden (kost meer tijd). Kabelinstallatie en na inbedrijfstelling testen kan relatief snel worden gedaan.

In geval van installatie van kabels in de bestaand Westerscheldetunnel, moet het wegdek moet worden verwijderd en de ruimte eronder opnieuw moet worden ingericht. Hiertoe is een volledige sluiting van (een van) de tunnelbuizen van tenminste 1 jaar benodigd.

5.2.4.2 Kabel ingegraven

Voordat de kabels worden geïnstalleerd, moeten obstakels in de bodem van Westerschelde worden opgeruimd om interactie tussen metalen onderdelen en kabels te voorkomen. Het opruimen van Westerschelde zal naar verwachting maanden in beslag nemen.

De kabelinstallatietijd omvat zowel het daadwerkelijke leggen van de kabel als de montage van de accessoires om de totale lengte van 6,6 km, of langer, te bereiken. Daarom wordt een totale duur van enkele maanden verwacht voor het kabelinstallatieproces, inclusief de commissietest ter plaatse.

5.2.4.3 Kabel in gestuurde boring (HDD)

Het realiseren van de HDD-boringen kan maanden tot 2 jaar duren, zie /33/.

Het kabeltrekproces zal naar verwachting binnen enkele dagen worden afgerond.

De commissietest ter plaatse zal naar verwachting binnen een maand worden voltooid, wat boven op de installatietijd komt.

5.2.5 Onderhoudbaarheid

Goed onderhoud van het kabelcircuit kan vroegtijdig defecten en kwetsbare punten in het kabelcircuit detecteren, waardoor de betrouwbaarheid van het circuit wordt verbeterd en de totale bedrijfskosten (OPEX) worden verlaagd.

5.2.5.1 Kabel in tunnel

Onderhoudswerkzaamheden kunnen in de tunnel worden uitgevoerd zonder hinder voor het scheepvaartverkeer.

Onderhouden van kabel in tunnel bestaat uit onderstaande hoofdtaken:

- 1) Monitoring van de tunnel, zoals overstromingen in de tunnel, monitoring van accumulatie van brandbare gassen en zuurstofconcentratie;
- 2) Bij werkzaamheden die door andere partijen worden uitgevoerd, moeten de afspraken en procedures worden gevolgd die zijn overeengekomen tussen TenneT en eigenaren van andere infrastructuur in de tunnel;
- 3) Monitoring van kabelgedrag. Oververhitting kan worden gemonitord door gedistribueerde temperatuursensors (DTS). Isolatieveroudering en prematuur doorslagen kunnen worden bewaakt door HV-testen, tan δ -meting, en partial discharge (PD) meting.

5.2.5.2 Kabel ingegraven

Onderhouden van kabel ingegraven bestaat uit onderstaande hoofdtaken:

- 1) Mogelijke kabelblootstelling en verplaatsing moeten worden gedetecteerd. Als detectiemethode kunnen survey, gedistribueerde temperatuursensor (DTS), en gedistribueerde reksensor (DSS) worden gebruikt;
- 2) Monitoring van kabelgedrag. Oververhitting kan worden gemonitord door gedistribueerde temperatuursensors (DTS). Isolatieveroudering en prematuur doorslagen kunnen worden bewaakt door HV-testen, tan δ -meting, en partial discharge (PD) meting;
- 3) In geval van correctief onderhoud, zoals vervanging van een defecte kabel, dient de complete kabel of kabelbundel uit de Westerschelde bodem te worden gehaald. Dit zou meerdere ongewenste effecten veroorzaken, zoals onderbreking van de scheepvaart, verstoring van de lokale leefomgeving, hoge kosten en lange doorlooptijd.

5.2.5.3 Kabel in gestuurde boring (HDD)

Onderhoud aan kabel in HDD-buis bestaat uit onderstaande hoofdtaken:

- 1) Monitoring van kabelgedrag. Oververhitting kan worden gemonitord door gedistribueerde temperatuursensors (DTS). Isolatieveroudering en prematuur doorslagen kunnen worden bewaakt door HV-testen, tan δ -meting, en partial discharge (PD) meting;
- 2) In geval van correctief onderhoud, zoals vervanging van een defecte kabel, kan de kabel uit de HDD-buizen worden getrokken en is er geen onderbreking van het scheepvaartverkeer te verwachten.

5.2.6 Kwalitatieve beschouwing elektrotechnische aspecten

Hoogspanningsverbindingen bestonden aanvankelijk uit bovengrondse hoogspanningslijnen (zie hoofdstuk 5.1). De laatste jaren zijn er wereldwijd in hoogspanningsnetten ook steeds meer stukken ondergrondse kabel aangelegd. Het elektrische gedrag van kabels is sterk verschillend van het elektrisch gedrag van hoogspanningslijnen, wat een effect heeft op het systeemgedrag van het net. De afgelopen jaren is er daarom internationaal veel onderzoek gedaan naar de maximaal acceptabele kabellengte die in het hoogspanningsnet opgenomen kan worden /40/, /41/. Uit deze studies volgt geen hard getal voor de maximaal toelaatbare kabellengte, maar dat dit per individuele situatie bepaald moet worden.

Het elektrisch gedrag van een kabel is anders dan van een hoogspanningslijn omdat met name de capaciteit van een kabel veel groter is dan van een hoogspanningslijn. Dit heeft een aantal effecten op de stabiliteit en kwaliteit van het net.

Een kabel genereert reactief vermogen wat onder bepaalde omstandigheden leidt tot spanningsverhogingen in het netwerk. Om de spanningshuishouding op orde te houden, moet blindstroomcompensatie geïnstalleerd worden.

De toepassing van kabels leidt tot een verlaging van de eerste resonantiefrequentie van het net, met als groot risico dat bij gewone bedrijfsvoeringsactiviteiten (in- of uitschakelen van een component) al spanningsopslingeringen kunnen ontstaan. Dit is schadelijk voor het net. De combinatie van kabels en blindstroomcompensatie zorgt ook voor een vermeerdering van het aantal resonantiefrequenties. Dit zal effect hebben op de harmonischen in het net en kan leiden tot overspanningen. Aangezien het aantal installaties in het net dat harmonischen produceert toeneemt met het aansluiten van windparken, PV-parken, vermogenselektronica en HVDC-componenten, neemt het risico op het versterken van achtergrond-harmonischen tot boven acceptabele waarden ('netvervuiling') toe.

In dit deel van netwerk bij Borssele bevinden zich al aanzienlijke kabellengtes, zoals de kabelaansluitingen van Wind op Zee, en de komende jaren wordt een deel van de nieuwe verbinding van het ZW380 project in kabel uitgevoerd en aangesloten op het net. De vraag is daarom of in dit deel van het net de grens al bereikt is van de maximale kabellengte die veilig geïntroduceerd kan worden. Gedetailleerde studies naar de spanningshuishouding, blindstroomcompensatie, asymmetrie, harmonischen en transiënten zullen uitgevoerd moeten worden om de effecten van het toevoegen van meer kabels in kaart te brengen, de risico's te beoordelen en de haalbaarheid van mitigerende maatregelen te onderzoeken.

5.2.7 Impact op natuur

5.2.7.1 Kabel in tunnel

Voor het alternatief van kabelinstallatie in de bestaande Westerscheldetunnel wordt geen significante impact op de natuur verwacht, omdat de tunnel al aanwezig is.

Bij de aanleg van een nieuwe utiliteitstunnel moet echter zorgvuldig worden nagedacht over de impact ervan op de natuur in onderstaande aspecten:

- Geluidsoverlast veroorzaakt door booractiviteiten en invloed op leefomgeving

- Trillingen en vertroebeling die ontstaan bij boorwerkzaamheden kunnen voor verstoring van de leefomgeving in het gebied zorgen.

Voorzorgsmaatregelen om de impact van het bouwproces op natuur te verminderen, moeten in de vroege fase van het project worden overwogen.

5.2.7.2 Kabel ingegraven

De Westerschelde biedt een woongebied voor veel soorten vogels, vissen en zoogdieren. Het ondiepe watergebied in de Westerschelde wordt gezien als kraamkamer voor verschillende zeevissoorten en schaaldieren. Diverse trekvogels vinden de Westerschelde als winterlocatie. Kwelders in de Westerschelde helpen de kusterosie tot een minimum te beperken en zijn een goede kraamkamer voor vissen en schelpen.

Kabels die de Westerschelde kruisen door middel van directe begraving zullen verstoring van de natuurlijke omgeving in het Westerscheldegebied veroorzaken, ongeacht de oversteekplaats. In alle projectfasen zouden voorzorgsmaatregelen worden genomen om de invloed op de natuurlijke omgeving te minimaliseren.

Tijdens het kabellegproces moet een werkgebied aan de wal worden gecreëerd. Dit kan overlast veroorzaken in de natuurlijke omgeving door visuele impact, afval, geluidsoverlast, etc. Overlast door een werkgebied op de wal zal snel afnemen na oplevering van het project. Het graven/ploegen van kabels veroorzaakt verstoring van de waterbodem door lawaai, trillingen, en vertroebeling.

Om de verstoring van de natuurlijke omgeving tot een minimum te beperken, moeten zwaar verontreinigde gebieden worden vermeden bij het kiezen van de locatie van de kabelovergang. Kabellegactiviteiten kunnen op bepaalde tijden van het jaar worden gepland om verstoring van het leven van trekvogels te voorkomen. De juiste technieken voor het graven van kabels en ploegen moeten worden gekozen om de verstoring van de bodem en het sedimentmilieu tijdens het leggen tot een minimum te beperken. Het is waarschijnlijk dat het begraven gedurende de levensduur meerdere keren zal worden herhaald vanwege de zeer dynamische sedimentbeweging, afhankelijk van de werkelijke begraafdiepte. Er zal dus extra impact op de natuur aanwezig zijn.

5.2.7.3 Kabel in gestuurde boring (HDD)

Voor de ingang van de HDD-boring dient het kweldergebied te worden vermeden, aangezien de werkruimte voor overlast kan zorgen bij de diverse typen natuurlijk leven. Zacht grondoppervlak in het kweldergebied kan problemen opleveren voor de werkprocessen.

Trillingen en geluid veroorzaakt door de booractiviteit kunnen gevolgen hebben voor de lokale bewoners.

5.2.8 Omgeving

De Westerschelde is een belangrijk gebied met betrekking tot ecologie, veiligheid tegen overstromingen en de economie. In de Westerschelde leven verschillende soorten trekvogels die in de winter naar dit gebied komen. Ondiepe watergebieden zoals de Hooge Platen dienen als belangrijk broedgebied voor verschillende vissoorten. Kwelders langs de Westerschelde biedt schuilplaatsen en voedselbronnen voor schelpen, vogels en vissen. Kwelders zijn ook belangrijk voor de bescherming tegen overstromingen, omdat ze energie van golven afvoeren. De Westerschelde verbindt de haven van Antwerpen met de Noordzee en speelt daarom een cruciale rol in de economische ontwikkeling van de aangrenzende regio.

Door natuurlijke processen en menselijk ingrijpen staat de natuur van de Westerschelde onder druk. Mutli-channel morfologie verandert langzaam naar diepere geulen, waardoor waardevolle habitatten voor veel soorten worden weggenomen.

De Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie (VNSC) werd in 2005 opgericht voor samenwerking tussen Vlaanderen en Nederland gericht op een duurzaam Schelde-estuarium, waarbij het minimaliseren van de impact op de natuurlijke omgeving in het Westerscheldegebied een van de cruciale doelen is.

Port of Antwerp zoekt naar grotere transportcapaciteit in het Westerschelde om de markt voor diepzeecontainers te verkennen. In 2022 zal VNSC samen met de “Permanente Commissie van Toezicht op de Scheldevaart” (PC) beginnen met onderzoek naar de probleemanalyse over dit onderwerp, zoals besproken in de 24e VNSC-bijeenkomst. Verdieping van de waterweg en grotere scheepsankers in de toekomst kunnen een extra externe impact hebben op de kabelcircuits die in de Westerschelde bodem zijn begraven.

5.2.9 Kosten

Voor deze verkenning is een globale kostenraming per kilometer opgesteld voor de verschillende kabel technologieën. De kosten zijn in hoofdzaak gebaseerd op kentallen bekend bij TenneT. Voor een nauwkeurige kostenraming moet een meer gedetailleerde analyse worden uitgevoerd.

5.2.9.1 Kabel in tunnel

De kosten van een nieuwe utiliteitstunnel zijn sterk afhankelijk van de constructietechniek, tunnellengete, tunneldwarsdoorsnede, maar ook van de werkelijke complexiteit van tunneltracés. Actuele kosten voor het aanleggen van zo'n tunnel zijn niet eenvoudig te achterhalen. De kosten van de reconstructie van de Westerscheldetunnel voor installatie van de 380kV-kabel in de tunnel, worden lager geschat dan het bouwen van een nieuwe tunnel. Het afsluiten van de tunnel voor het verkeer zal ook indirecte kosten met zich meebrengen.

5.2.9.2 Kabel ingegraven

De kosten van directe begraving van de kabel in de Westerschelde bodem bestaan voornamelijk uit het opruimen van Westerschelde obstakels, de kosten van kabels en accessoires en de kosten van het legproces. Een andere belangrijke indirecte kostenpost bij het direct begraven van kabels is het verlies van transportcapaciteit in de waterweg tijdens de voorbereiding en het aanlegproces.

De kosten voor direct begraven 380kV-kabels zijn, op basis van kentallen beschikbaar bij TenneT opgenomen in Tabel 9. Netaansluiting en operationele kosten zijn niet in de raming meegenomen. Nauwkeurigheid van deze raming is -50% tot +100%.

Tabel 9 Overzicht kosten direct begraven 380kV kabelcircuits

	2-circuit	4-circuit
UXO-onderzoek en verwijdering	0.53 MEUR/km	0.84 MEUR/km
Kabellevering (inclusief accessoires en transport naar locatie)	4.2 MEUR/km	8.3 MEUR/km
Kabel installatie	4.4 MEUR/km	7.2 MEUR/km
QA/QC, SHE, Engineering	0.45 MEUR /km	0.76 MEUR/km
Bijkomende kosten	0.98 MEUR/km	1.7 MEUR/km
Risico	1.6 MEUR/km	2.9 MEUR/km
Totaal kosten (afgerond)	12 MEUR/km	22 MEUR/km

5.2.9.3 Kabel in gestuurde boring (HDD)

De kosten voor kabel in HDD zijn, op basis van kentallen beschikbaar bij TenneT opgenomen in Table 10. Netaansluiting en operationele kosten zijn niet in de raming meegenomen. Nauwkeurigheid van deze raming is -50% tot +100%.

Table 10 Overzicht kosten 380kV kabelcircuits in HDD

	2-circuit	4-circuit
UXO-onderzoek en verwijdering	0.5 MEUR/km	0.83 MEUR/km
Kabellevering (inclusief accessoires en transport naar locatie)	4.2 MEUR/km	8.3 MEUR/km
Kabel installatie	12.2 MEUR/km	20.7 MEUR/km
QA/QC, SHE, Engineering	0.83 MEUR /km	1.5 MEUR/km
Bijkomende kosten	1.8 MEUR/km	3.2 MEUR/km
Risico	3 MEUR/km	5.2 MEUR/km
Totaal kosten (afgerond)	23 MEUR/km	40 MEUR/km

Vergeleken met directe begraving heeft de HDD het voordeel dat het scheepvaartverkeer niet hoeft te worden onderbroken. De indirecte kosten hiervoor zijn bij HDD niet van toepassing.

5.2.10 Kwalitatieve argumenten

5.2.10.1 Kabel in tunnel

Kabels installeren in de bestaande Westerscheldetunnel heeft lage impact op de natuur en lage impact op het scheepvaartverkeer. Dit kan tijd besparen in vergelijking met de situatie waarin de kabels worden begraven en bij een fout moeten worden ontgraven en opgehaald. CIGRE TB 379 /29/ geeft een typische reparatietijd van 2 maanden aan.

Er zijn echter zwaarwegende nadelen bij deze optie:

- Gedetailleerd onderzoek dient samen met de tunnelbeheerder te worden uitgevoerd naar de daadwerkelijke installatieplaats van de kabel onder het wegdek; Afsluiting van (een van de) tunnel buizen gedurende een lange periode (2 x minimaal 1 jaar) tijdens de reconstructie van de tunnel wordt mogelijk niet geaccepteerd door de tunneleigenaar en wordt uiteindelijk de showstopper van deze optie;
- Kabel in tunnel zou een extern koelsysteem vereisen om een hoge stroombelastbaarheid te garanderen. Actieve koeling heeft niet de voorkeur binnen TenneT omdat het een actief onderdeel is waarop dan vertrouwd moet worden. Redundante pompen en koelsystemen kunnen de oplossing zijn om het betrouwbaarheidsprobleem op te lossen. Dit kan leiden tot veel extra systemen en dus meer operationele en beheer problemen.

De doorlooptijd, kosten en projectcomplexiteit van de bouw van een nieuwe utiliteitstunnel zijn hoger dan wanneer de kabels in de bestaande Westerscheldetunnel kunnen worden geïnstalleerd.

5.2.10.2 Kabel ingegraven

Kabels direct ingraven in Westerschelde bodem is ongeveer 20 jaar geleden gerealiseerd met 150 kV kabels. Vanuit technisch oogpunt is kabel direct begraven in de Westerschelde bodem haalbaar, met een aantal aspecten die moeten worden geadresseerd:

- Kabels moeten op grote diepte worden geïnstalleerd en dit heeft invloed op de stroombelastbaarheid. Bij bepaalde grote diepte kan de benodigde transportcapaciteit niet meer worden gehaald;
- Afhankelijk van de begraafdiepte en de route is er een risico op het blootspoelen van de kabel en daarmee het moeten herbegraven. Dit kan zowel technisch als economisch extra risico's opleveren.

5.2.10.3 Kabel in gestuurde boring (HDD)









Kabelcircuits voor Westerschelde kruising met HDD-buizen heeft relatief lage impact op de natuur. HDD biedt betere mechanische bescherming van de kabels. Er zijn echter uitdagingen in deze opties:

- De benodigde lengte van de HDD-boring is niet in 1x mogelijk en daardoor zal een complexe verbinding gemaakt moeten worden tussen meerdere HDD's;
- HDD-buizen gevuld met materiaal met een lage thermische weerstand zijn zeer waarschijnlijk nodig om de vereiste transportcapaciteit te bereiken.

5.2.10.4 Overzicht

Onderstaande tabellen Tabel 11 en Tabel 12 geven een overzicht van verschillende aspecten van de alternatieven voor kabelkruising van de Westerschelde.

Tabel 11 Overzicht technische haalbaarheid.

Alternatief	Transportcapaciteit:	Installatie	Circuit complexiteit	Impact van reparatie bij kabelstoring
Direct begraven	 Relatief lage thermische bodemweerstand Verminderd bij grote ingraafdiepte	 Diepe ingraafdiepte vergroot de moeilijkheidsgraad van het leggen van kabels. Onderbreking van de waterweg tijdens installatie	 Geschikte kabel definiëren voor dit spanningsniveau, vermogen en aanlegtechniek	 Kabel of complete bundel moet worden opgehaald. Er zijn meerdere kabelmoffen en ongeveer 100 m kabel nodig voor de reparatie
HDD-buizen	 Verminderd bij grote diepte Hoge thermische weerstand van de buis, kan worden verbeterd door keuze van	 Geen bewezen technologie voor zulke lange lengtes	 Lage complexiteit	 Het uittrekken van enkele beschadigde kernen is noodzakelijk. Zeer waarschijnlijk is het nodig de

	buismaterialen of opvulling van de buis			volledige kabel te vervangen.
Hybride van begraven en HDD	● Over het algemeen lage transportcapaciteit verwacht	● Matig risico bij boren en trekken, maar moeilijke ingangs-/uitgangspuntstabiliteit	● Gemiddelde complexiteit door overgang tussen direct begraven en HDD-buizen	● Extra moeilijk omdat de kabel niet volledig kan worden hersteld of uit het buis kan worden getrokken
Bestaande verkeerstunnel	● Een koelsysteem is zeer waarschijnlijk benodigd om te voorzien in de benodigde transportcapaciteit	● Tunnelbuis moet volledig gereconstrueerd. Langdurig hinder voor wegverkeer vanwege afsluiting tunnel	● Gemiddelde complexiteit door componenten die EMI tegengaan	● Afhankelijk van locatie van kabel in de tunnel
Nieuwe utiliteitstunnel	● Extra koelsysteem kan de transmissiecapaciteit positief beïnvloeden	● Er moet een nieuwe tunnel worden aangelegd, wat kostbaar/tijdrovend is.	● Medium of High complexiteit in geval van utiliteitstunnel	● Makkelijke toegang

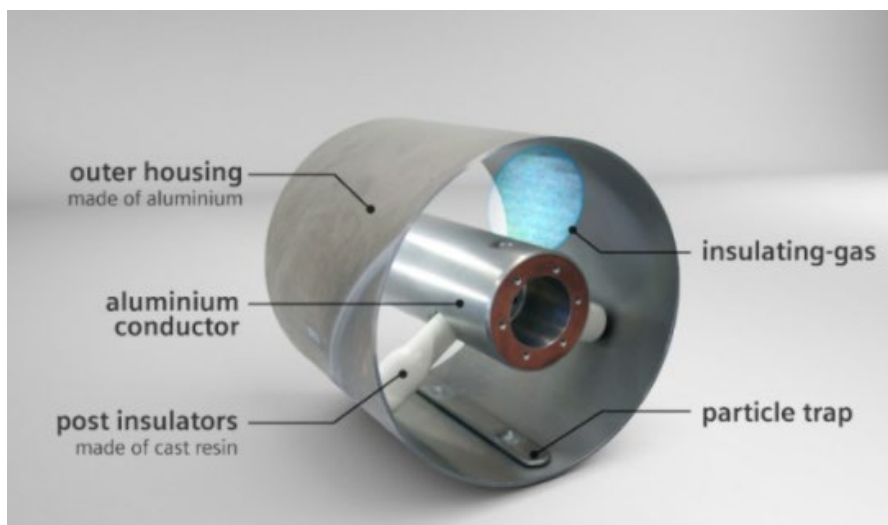
Opmerking: **groen** betekent beste optie of geen belangrijke problemen geïdentificeerd; **geel** betekent bepaalde moeilijkheden, maar kan met beheersbare inspanning worden opgelost; **rood** betekent dat het erg moeilijk is om aan de systeemvereisten te voldoen of dat er veel moeite voor moet worden gedaan.

Tabel 12 Algemeen overzicht oversteekmogelijkheden.

Oversteekopties	Verkeerstunnel	Nieuwe utiliteitstunnel	Direct begraven	HDD-buizen
Veiligheid	Laag risico op onderbreking van scheepvaartverkeer Elektrische beïnvloeding aan nabije objecten is hoog.	Risico op onderbreking van het scheepvaartverkeer bij aanleg tunnel. Voldoende ruimte mogelijk met andere objecten in tunnel.	Hoog risico op onderbreking van het scheepvaartverkeer	Laag risico op onderbreking van het scheepvaartverkeer
Betrouwbaarheid en Beschikbaarheid	Activiteit van andere partijen in de tunnel kan de kabel beschadigen.	Activiteit van andere partijen in de tunnel kan de kabel beschadigen.	Kabel kan beschadigd raken tijdens herbegraven	Matig risico op kabelbeschadiging.
Technische haalbaarheid	Tunnel moet worden gereconstrueerd. Beschikbare ruimte en EMI moeten worden geadresseerd	Technisch haalbaar; afstemming met andere partijen nodig	Technologie bestaat. Moet diep begraven worden om schade te voorkomen	Technologie nog niet toegepast voor de vereiste lengte
Bouwduur	Lange duur voor reconstructie van de tunnel	Lange duur	Matige duur	Matige duur
Onderhoud	Installatie in buis in tunnel, vergelijkbaar met HDD	Gemakkelijke toegang voor onderhoud	Geen toegang voor visuele inspectie. Grote inspanning bij correctief onderhoud	Geen toegang voor visuele inspectie. Grote inspanning bij correctief onderhoud
Impact op de natuur	Lage impact	Impact op de natuur tijdens de bouwfase	Grote verstoring bij het graafproces en het opnieuw graven van sleuven	Verstoring in HDD-boorproces, sommige re-trenching-processen zullen ook storen
Kosten	Matig	Hoog	Matig, hangt af van de nevenkosten van onderbreking van de waterweg	Normaliter hoger dan direct ingraven
Omgeving	Laag	Matig	Hoog	Matig

5.3 Gasgeïsoleerde transmissielijn (GIL)

GIL bestaat uit aluminium geleiders en buitenpijpen, harsisolatoren en niet-brandbaar isolerend gas of gasmengsels, zoals aangegeven in Figuur 23. De behuizing van de GIL is normaal gesproken een aluminium buis met een sectielengte tot 20 meter die is verbonden met behulp van las- of flensmontagemethoden. Isolatiemedia van GIL zijn SF₆, SF₆-mixture of andere synthetische gassen. SF₆ is het dominante isolatiemedium in GIL, vanwege zijn gunstige isolatie-eigenschappen. Mixture van SF₆ met andere gassen zoals N₂ en CO₂, of andere synthetische gassen zijn alternatieven. De diëlektrische sterkte van gasmengsels is echter lager dan SF₆. Een mengsel met 20% SF₆ en 80% N₂ vertoont bijvoorbeeld 69% van de diëlektrische sterkte van zuiver SF₆ bij gelijke gasdruk /32/.



Figuur 23 Typische GIL-structuur, van Siemens /1/.

GIL heeft vergelijkbare elektrische eigenschappen als bovengrondse lijnen: lage capacatieve belasting, vergelijkbaar vermogen, kan automatisch worden uitgeschakeld in geval van tijdelijke of storingssituaties, maar heeft veel minder ruimte nodig dan bovengrondse lijnen. Het elektromagnetische veld van de GIL is veel lager in vergelijking met kabels en bovengrondse lijnen met dezelfde transportcapaciteit. De belangrijkste technische gegevens van GIL zijn te vinden in Tabel 13.

Tabel 13 Technische gegevens van GIL /1/.

Type	Waarde
Nominale spanning (typisch)	220-500 kV
Maximaal werkspanning	245-550 kV
Nominale frequentie	50/60 Hz
Nominale kortsluitstroom (rms, 1-3 s)	31,5-63 kA
Nominale bedrijfsstroom (typisch)	2000-5000 A
Bestand tegen spanning versus aarde:	-
AC-nominale netfrequentie weerstaat spanning 1 min	380-620 V
Bliksemoverspanning 1,2/50 μ s	1050-1675 kV piek
Schakeloverspanning 250/2500 μ s	850-1175 kV piek
Behuizing en geleidermateriaal	Aluminium legering
Isolerend gas	Gasmengsel, 80% N ₂ en 20% SF ₆
Nominale druk (absoluut)	0,7 MPa
Omgevingstemperaturen	-30°C tot +50°C
Gewicht per fase	Ca. 50-70 kg/m
Capaciteit	55 nF/km
Inductie	0,205 mH/km
Piekimpedantie	Ca. 60
Doorsnede van de geleider (typisch)	Ca. 5.300 mm ²
Elektromagnetisch veld	Verwaarloosbare μ T
Gasdichtheid	Levenslang verzegeld, bijvullen niet nodig

Er bestaat 30 jaar ervaring met GIL. Tabel 14 bevat de belangrijkste GIL-projecten die wereldwijd zijn gerealiseerd. Siemens en GE zijn de toonaangevende bedrijven die GIL ontwikkelen en leveren. In dit rapport wordt de GIL-optie alleen beschouwd als geïnstalleerd in tunnels.

Tabel 14 Overzicht van recente HV GIL projecten.

Jaar	Route lengte (km)	Spanning (kV)	Vermogen (MVA)	Isolerend medium	Installatie	Project
1998	3,3	275	2850	100% SF ₆	In tunnel	Shinmeika-Tokai line, Japan
2001	0,42	220	762	80% N ₂ , 20% SF ₆	In tunnel	PALEXPO, Switzerland
2002	0,58	550	3810	40% N ₂ , 60% SF ₆	Bovengronds in de lucht	Sai Noi, Thailand
2009	0,45	800	5543	100% SF ₆	In tunnel (horizontaal +verticaal)	Huanghe Laxiwa, China
2011	0,35	550	3811	100% SF ₆	In tunnel (verticaal)	Jingping I, China
2011	0,9	380	1800	80% N ₂ , 20% SF ₆	Ondergronds	Frankfurt Airport, Germany
2017	0,23	420	1000	g ³ (SF ₆ gratis)	Bovengronds in de lucht	Southeast England Network

5.3.1 Veiligheid

GIL-circuits hebben vergelijkbare risico's als kabelcircuits die in een tunnel werden geïnstalleerd, zoals beschreven in hoofdstuk 5.2.1.1. Mogelijke extra risico's die moeten worden geadresseerd, worden hieronder samengevat:

- Gaslekage in de GIL-leiding kan een risico opleveren. Gelekt gas zou zuurstof kunnen verdringen en een dodelijk risico voor mensen in de tunnel kunnen veroorzaken;
- Risico's veroorzaakt door thermische uitzetting en magnetische krachten onder SC-falen in GIL met lange lengte;
- Drukopbouw in de GIL-behuizing wanneer er een boog wordt gegenereerd door kortsluitstroom, evenals de mogelijke invloed op de behuizing en de spacer, en impact op de buitenomgeving.

5.3.2 Betrouwbaarheid en beschikbaarheid

Vanwege het gebrek aan ervaring met lange GIL-lijnen wereldwijd, kan de betrouwbaarheid niet eenvoudig gekwantificeerd worden. Dit is een risico, zeker als de GIL wordt geïnstalleerd als in de 380kV-ring.

5.3.3 Technische uitvoerbaarheid

Voor SF₆-geïsoleerde GIL wordt Technology Readiness Level (TRL)-niveau als 9 beschouwd vanwege de uitgebreide ervaring met veldtoepassingen in korte lengtes. Zie Appendix B voor TRL. Het is belangrijk om aan te geven dat er geen ervaringen zijn met de toepassing van GIL over langere lengtes. De maximale lengte van een circuit waarbij ervaring bestaat, is 3.3 km, en dat is significant minder dan de lengte die in de Westerschelde kruising benodigd zal zijn. Het zou wereldwijd een zeer grote stap zijn om GIL toe te passen over de volledige lengte van de Westerschelde kruising (zeker met meer dan één circuit), een stap waarbij een orde van grootte langere GIL verbindingen worden toegepast dan de tot nu toe bestaande ervaring met GIL.

5.3.4 Indicatieve bouwduur

De bouwduur van GIL in bestaande tunnels zal naar verwachting vergelijkbaar zijn met kabels die in tunnels worden geïnstalleerd.

5.3.5 Onderhoudbaarheid

Onderhoud van GIL omvat verschillende unieke activiteiten vanwege het gebruik van isolatiegassen:

- 1) Maatregelen om de kwaliteit (dichtheid, zuiverheid, gehalte aan bijproducten) van het isolatiegas te bepalen
- 2) Het meten, analyseren en bewaren van de aanwezigheid, hantering en eigenschappen van het isolatiegas (druk, vervanging, compositie)
- 3) Controle van de integriteit van de behuizing, zoals lekdetectie en corrosiebeschermingssysteem
- 4) Inspectie van componenten voor gastoevoer zoals compressoren, drukschakelaars en oliedruk
- 5) Inspectie van LV-apparaten die de werking van het GIL-systeem moeten ondersteunen.

5.3.6 Kwalitatieve beschouwing elektrotechnische aspecten

GIL heeft vergelijkbare elektrische eigenschappen als bovengrondse lijnen.

5.3.7 Impact op natuur

SF₆ is een zeer sterk broeikasgas (1 kg van het gas is gelijk aan 24000 kg CO₂ gas) en wanneer het gas wordt blootgesteld aan elektrische ontladingen, zijn de bijproducten die ontstaan zeer giftig. In het geval van gebruik van SF₆ als het isolerende medium van de GIL, zou de benodigde hoeveelheid SF₆-gas enorm zijn. Dit is in strijd met het beleid van TenneT om het gebruik van SF₆ te verminderen.

De impact van de aanleg van een nieuwe utiliteitstunnel op de natuur is hierboven beschreven in hoofdstuk 5.2.7.1.

5.3.8 Omgeving

De analyse van de omgeving bij GIL installatie in tunnels is dezelfde als kabel in tunnel.

5.3.9 Kosten

De totale levensduurkosten van 400 kV AC GIL in tunneltoepassingen werden geschat in /32/ en de belangrijkste resultaten zijn opgenomen in **Tabel 15**. De schatting is gemaakt op basis van een routelengte van 15 km, inclusief de bouw en installatie van GIL-systeemcomponenten en exclusief de kosten van de tunnel.

Tabel 15 Overzicht kosten 400kV AC GIL in tunnel exclusief tunnelkosten volgens /32/.

GIL-systeemcomponenten (3190 MVA)	GIL 15km routelengte [MEUR/km]
GIL eindsluitingen (AIS) en testen (inclusief nieuwe terminal)	0.58 MEUR/km
GIL levering (inclusief accessoires en transport naar locatie) en installatie	8.6 MEUR/km
15% tegemoetkoming voor onvoorziene kosten	1.13 MEUR/km
Totaal kosten	10.3 MEUR/km 3200 EUR/MVA-km

5.3.10 Kwalitatieve argumenten

GIL heeft vergelijkbare elektrische eigenschappen als hoogspanningslijnen. De impact op netwerkstabiliteit van GIL is gering.

De kosten voor 380 kV GIL zijn hoger dan die voor 380 kV kabels.

Er zijn grote uitdagingen waarmee rekening moet worden gehouden in de GIL-optie, die uiteindelijk de showstopper van deze optie kunnen zijn:

- De hoeveelheid SF₆-gas bij zuivere SF₆-geïsoleerde GIL is enorm, wat vanuit het oogpunt van klimaatbescherming voor TenneT mogelijk onaanvaardbaar is;
- Er is geen ervaring met lange lengtes GIL in de wereld. De langst bestaande GIL is nog steeds aanzienlijk korter dan de benodigde lengte in dit project. Dit betekent dat het risico van het implementeren van GIL in zo'n belangrijke verbinding van het Nederlandse netwerk groot is;
- Gaslekage van GIL-pijpleidingen kan hoge veiligheidsrisico's veroorzaken wanneer GIL in verkeerstunnels wordt geïnstalleerd.

5.4 Hybride

Voor de waterkruising is een hybride alternatief mogelijk, waarbij de diepe vaargeul gekruist wordt met een kabel en de ondiepere delen van waterkruising uitgevoerd worden met een hoogspanningslijn. Het voordeel van een hybride uitvoering van de waterkruising is dat er een optimalisatie kan plaatsvinden tussen de voordelen van hoogspanningslijnen en -kabels. Bijvoorbeeld door een HDD van maximaal haalbare lengte onder de hoofdvaargeul tot een ondieper gedeelte van de Westerschelde en een hoogspanningslijn door het ondiepere gedeelte.

De technische en omgevingsaspecten van een hoogspanningslijn als beschreven in hoofdstuk 5.1, en een kabelverbinding als beschreven in hoofdstuk 5.2 gelden beide voor het hybride alternatief.

Een additionele component benodigd bij het hybride alternatief is een kabelopstijgpunt. Voor een kabelopstijgpunt is een afspanmast of portaal benodigd waar de kabeleindsluitingen en overspanningsafleiders bij geplaatst worden. Deze afspanmast of dit portaal zullen van beperkte hoogte moeten zijn. Dit kabelopstijgpunt zal ongeveer 150 m van de laatste hoge mast geplaatst worden. De doorvaarthoogte in dit veld is beperkt.

Bij de hybride oplossing worden additionele componenten geïntroduceerd die onderhouden moeten worden. De mastlocatie is net als de andere masten over water bereikbaar en de componenten zijn veelvuldig in het net toegepast.

Om de kabels het opstijgpunt in te voeren kunnen J-tubes zoals gebruikt in offshore wind installaties.

6 REFERENTIES EN BRONNEN

- /1/ <https://new.siemens.com/in/en/products/energy/high-voltage/power-transmission-lines/gas-insulated-lines.html>
- /2/ The Westerschelde tunnel Connecting function, financing and safety aspects, J. Heijboer, R. van Beek, E.W. Worm, 1999
- /3/ <https://www.feyter.com/nl/forklift-services/feyter-forklift-services/project/revisie-onderhoudsvoertuigen-westerscheldetunnel>
- /4/ Cigre TB 095 Guide on the influence of high voltage AC power systems on metallic pipelines, 1995
- /5/ IEC 61936-1:2021 Power installations exceeding 1 kV AC and 1,5 kV DC – Part 1: AC
- /6/ Single-core cables with integrated electromagnetic shielding, H BRAKELMANN et al., B.1.3 JiCable 2011
- /7/ History and recent development of multi-purpose utility tunnels, Y. Luo, 2020
- /8/ Krishnaswamy, Shivakumar & Riaz, Mohammad & Kumar, Surendra. (2019). General guidance for underground EHV cable maintenance
- /9/ The development of intelligent of self-driving monitoring system for 345kV underground transmission line in tunnel, Jae-yong Park et al., E.7.2 JiCable 2019
- /10/ IEEE 519-1992 IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems
- /11/ IEC-555 part 2-harmonics: background and implications
- /12/ IEC 61000 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity standard for industrial environments
- /13/ Vogelrichtlijn Richtlijn 2009/147/EG van 30 november 2009 van het Europees Parlement en de Raad inzake het behoud van de vogelstand
- /14/ Habitatrichtlijn Richtlijn 92/43/EEG van de Raad inzake de instandhouding van de natuurlijke habitats en de wilde flora en fauna
- /15/ Natura 2000-gebied <https://www.natura2000.nl/gebieden>
- /16/ Westerschelde Natura 2000 Beheerplan – Westerschelde en Saeftinghe https://www.natura2000.nl/sites/default/files/PAS/Gebiedsanalyses_vigerend/122_Westerschelde-Saeftinghe_gebiedsanalyse_15-12-2017_IW.pdf
- /17/ Inventarisatie juridisch kader Natura 2000, voor het Schelde-estuarium <https://www.vnsc.eu/uploads/2021/06/juridisch-kader-schelde-estuarium-definitief-2021-04-30.pdf>
- /18/ Natuurherstel pakket westerschelde monitoring lopende projected in het licht can westerschelde brede ontwikkelingen, 2019
- /19/ www.zeeland.nl
- /20/ <https://www.sigmaplan.be/nl/>
- /21/ IEC 60853-2:1989 Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables. Part 2: Cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings for cables of all voltages
- /22/ Dorison, Eric & Anders, George & Lesur, Frederic. (2010). Ampacity Calculations for Deeply Installed Cables. Power Delivery, IEEE Transactions on. 25. 524 – 533. 10.1109/TPWRD.2009.2033961

- /23/ <https://bright.coop/stroom-westerschelde/>
- /24/ Krechowicz, Maria. (2020). Comprehensive Risk Management in Horizontal Directional Drilling Projects
- /25/ <https://northconnect.no/uploads/downloads/Britain/B.1-HDD-Feasibility-Report.pdf>
- /26/ Cigre TB 770 Trenchless technologies, 2019
- /27/ Installation of Optical Fiber Cable by Blowing Jetting, Prasanna Pardeshi and Sudipta Bhaumik, 2015
- /28/ <http://fishing-app.gpsnauticalcharts.com/i-boating-fishing-web-app/fishing-marine-charts-navigation.html?title=Westerschelde++Vlissingen+to+Baalhoek+and+Gent++Terneuzen+Waterway+boating+app#13.5/51.4181/3.9836>
- /29/ CIGRE TB 379 Update of service experience of HV underground and submarine cable systems
- /30/ Regulation (EU) No 517/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006 Text with EEA relevance
- /31/ W. Boeck et al., N2/SF6 mixtures for gas insulated systems, D1-201, Cigre session 2004
- /32/ Electricity Transmission Costing Study- An Independent Report Endorsed by the Institution of Engineering & Technology, 2012
- /33/ Horizontal Directional Drilling and Jet Plow: A Comparison of Cable Burial Installation Options for a 115-kV Electric Transmission Line in Little Bay, Eversource Energy, 2018
- /34/ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2014/10/A22%20-%20Aanvraag%20deel%203%20%28bijlage%20f%20tm%202f%20Berekeningen%29.pdf>
- /36/ vaargeul Westerschelde, V., 2007. Verruiming vaargeul.
- /37/ LTV–Veiligheid en Toegankelijkheid, "Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie." (2013).
- /38/ Koedijk, O.C., van der Sluijs, A. and Steijn, M.L.W., 2017. Richtlijnen vaarwegen 2017: Kader verkeerskundig vaarwegontwerp Rijkswaterstaat. ISBN 978-90-9030674-2.
- /39/ www.hoogspanningsnet.com
- /40/ Broekman, W.L., van Waes, J.B.M., Čuk, V. and Cobben, J.F.G., 2021. Harmonic analysis PQM data in 150kV grid of TSO TenneT in Brabant, The Netherlands. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 19, pp.298-303.
- /41/ ENERGINET. 2018. Technical issues related to new transmission lines in Denmark, report.

APPENDIX A

Overzicht van het bestaande elektriciteitsnet



APPENDIX B

TRL

De “Technology Readiness Level (TRL) scale” is ontwikkeld door de NASA (National Aeronautics and Space Administration) in de periode 1970-80. De schaal is geïntroduceerd ten behoeve van een meer effectieve beoordeling van- en communicatie omtrent de rijping van nieuwe technologieën. Hedendaags wordt de TRL schaal op veel verschillende plaatsen toegepast. De TRL schaal is een methode voor het inschatten van de volwassenheid van technologieën. Het gebruik van de TRL maakt consistente gelijkmatige discussies aangaande technische volwassenheid van verschillende typen technologie mogelijk. De TRL van een bepaalde technologie wordt bepaald tijdens een “Technology Readiness Assessment” (TRA) bepaald waarbij programma concepten, vereisten en aangetoonde technische mogelijkheden worden beoordeeld. De TRL schaal telt 9 verschillende niveaus. In de hieronder opgenomen tabel 15 is een korte beschrijving toegevoegd van de generieke TRL schaal en bijbehorende definities.

Tabel 16 TRL Schaal definitie

TRL Schaal	Definitie
TRL 1	Basis onderzoek: de basis principes worden beschouwd en gerapporteerd.
TRL 2	Toegepast onderzoek: de technologische concepten en/of toepassing wordt geformuleerd.
TRL 3	Kritieke functie, het ‘proof of concept’ wordt bepaald
TRL 4	Testen van prototype componenten of processen in een laboratorium
TRL 5	Testen van het geïntegreerde system in een laboratorium
TRL 6	Verifiëren van het prototype systeem
TRL 7	Demonstratie van geïntegreerd proef systeem
TRL 8	Systeem opgenomen in een commercieel ontwerp
TRL 9	Systeem klaar voor gehele uitrol

Opmerking: de TRL zoals benoemd in dit rapport dient slechts ter indicatie met als doel het begrijpen van de volwassenheid van een bepaalde technologie. Voor de evaluatie van een bepaald product op basis van de TRL schaal, bijvoorbeeld voor het onderbouwen van investeringsbesluiten, is een specialist benodigd. DNV kan zulke diensten aanbieden.



About DNV

DNV is the independent expert in risk management and assurance, operating in more than 100 countries. Through its broad experience and deep expertise DNV advances safety and sustainable performance, sets industry benchmarks, and inspires and invents solutions.

Whether assessing a new ship design, optimizing the performance of a wind farm, analyzing sensor data from a gas pipeline or certifying a food company's supply chain, DNV enables its customers and their stakeholders to make critical decisions with confidence.

Driven by its purpose, to safeguard life, property, and the environment, DNV helps tackle the challenges and global transformations facing its customers and the world today and is a trusted voice for many of the world's most successful and forward-thinking companies.