



Notitie

Nettechnisch onderzoek Zuid-Beveland

Inhoud

1.	Introductie	3
1.1	Aanleiding en doel	3
1.2	Inhoud van deze notitie	4
1.3	Leeswijzer	5
2.	Samenvattende uitgangspunten en kernuitkomsten	6
3.	Afweging van technische oplossingsrichtingen	8
3.1	Waarom geen andere uitvoeringsvariant die makkelijker ondergronds kan (HVDC of GIL)?	8
3.2	Waarom geen alternatief waarbij Westerschelde niet gekruist hoeft te worden?	10
3.3	Conclusie technische afwegingen	11
4.	Resultaten van de nettechnische analyse en grenzen aan ondergrondse aanleg	12
4.1	Effecten van ondergrondse AC-kabels op netstabiliteit en leveringszekerheid	12
4.2	Resultaten van de netstudie: blindstroom en benodigde compensatie bij verschillende kabellengtes	14
4.3	Beoordeling van scenario's voor ondergrondse aanleg	18
4.4	Conclusie nettechnische analyse	21
5.	Conclusies TenneT	19
5.1	Uitgangspunt	22
5.2	Afweging ten aanzien van aanvullende mitigerende maatregelen	22
5.3	Samenvattende conclusie	19
6.	Van studie naar besluit	24
6.1	Second opinion op de nettechnische analyse	24
6.2	Aanbieden resultaten aan Ministerie van Economische Zaken en Klimaat ter besluitvorming	24
6.3	Relatie met vervolgfases van de System Impact Study	25
6.4	Vervolg van het project	25
7.	Begrippenlijst	26

1. Inroductie

1.1 Aanleiding en doel

380.000 volt-netuitbreiding Zeeuws-Vlaanderen

In Zeeuws-Vlaanderen leidt de groeiende vraag naar elektriciteit tot knelpunten in het hoogspanningsnet. Een verdere uitbreiding van het bestaande 150.000 volt-hoogspanningsnet (hierna 150 kV) is onvoldoende om de leveringszekerheid te garanderen en grote verbruikers op het net aan te sluiten. Hiervoor is een nieuwe 380.000 volt-verbinding (hierna 380 kV) van 4-circuits noodzakelijk, om ook de elektrificatie van de industrie in Zeeuws-Vlaanderen te kunnen faciliteren.

Het project ziet op de realisatie van een nieuw 380/150 kV-hoogspanningsstation in Zeeuws-Vlaanderen en de aanleg van nieuwe 380 kV-verbindingen tussen Zuid-Beveland en Zeeuws-Vlaanderen. Hiermee wordt het huidige regionale 150 kV-net toekomstvast aangesloten op het landelijke 380 kV-hoofdnet en ontstaat voldoende transportcapaciteit voor huidige en toekomstige ontwikkelingen.

Inrichtingsprincipe 'Bovengronds, tenzij'

In het Programma Energiehoofdstructuur (PEH) is het inrichtingsprincipe opgenomen dat 380 kV verbindingen in beginsel bovengronds worden aangelegd. Dit inrichtingsprincipe is nader uitgelegd en uitgewerkt in een Handreiking¹. De belangrijkste argumenten voor het bovengronds aanleggen zijn:

- **Elektrische beheersbaarheid van het systeem**
Ondergrondse 220/380 kV-kabels hebben andere elektrische eigenschappen dan bovengrondse lijnen. Door hun hoge capaciteit genereren zij continu blindstroom, waardoor aanvullende compensatie-installaties nodig zijn om de spanning binnen de wettelijke grenzen te houden. Dit vergroot de complexiteit van spanningsregeling en systeemgedrag.

- **Systeemcomplexiteit en kwetsbare punten**
Ondergrondse verbindingen introduceren extra technische elementen, zoals kabelmoffen, overgangen tussen bovengrondse lijnen kabel en aanvullende compensatie-installaties. Deze extra knooppunten vergroten het aantal potentiële storingspunten en maken de bedrijfsvoering complexer.
- **Hersteltijd bij storingen**
Storingen in ondergrondse kabels zijn moeilijker te lokaliseren en te herstellen dan bij bovengrondse lijnen. Reparaties kunnen weken duren, terwijl herstel bij bovengrondse lijnen doorgaans sneller mogelijk is.
- **Kosten en doelmatigheid**
Ondergrondse 380 kV-verbindingen zijn aanzienlijk duurder in aanleg dan bovengrondse lijnen. Daarnaast brengen zij hogere kosten met zich mee voor aanvullende compensatie-installaties, onderhoud en herstel bij storingen. Het uitgangspunt "bovengronds, tenzij" draagt daarmee ook bij aan een maatschappelijk doelmatige inzet van publieke middelen.

Alleen wanneer sprake is van een zwaarwegend ruimtelijk of nettechnisch knelpunt, waardoor een bovengrondse verbinding niet vergunbaar of technisch niet uitvoerbaar is, kan worden overwogen om een 380 kV-verbinding ondergronds aan te leggen. In dat geval moet een nettechnische studie worden uitgevoerd om de effecten op de technische systeemprestaties van het elektriciteitsnet te onderzoeken.

Bij de 380 kV-netuitbreiding naar Zeeuws-Vlaanderen is sprake van een dergelijk knelpunt bij de kruising van de Westerschelde.

Aanleiding voor onderzoek naar ondergrondse aanleg op Zuid-Beveland

Hoewel de onderzochte tracés op Zuid-Beveland op zichzelf geen ruimtelijke of technische knelpunten kennen die de vergunbaarheid of maakbaarheid van een bovengrondse 380 kV-verbinding in de weg staan, heeft het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) TenneT verzocht om bij uitzondering ook nettechnisch te onderzoeken in hoeverre het landtracé over Zuid-Beveland ondergronds kan worden uitgevoerd.

Dit verzoek is gedaan op initiatief van de gemeente Borsele en tegen de achtergrond van de stapeling van (potentiële) energie-infrastructuurprojecten van nationaal belang in en rond Borsele. Het doel van dit aanvullende onderzoek is om inzicht te krijgen in de nettechnische, ruimtelijke en maatschappelijke consequenties van een (grotendeels) ondergrondse uitvoering van het 380 kV-landtracé, bovenop een ondergrondse kruising van de Westerschelde.

De centrale vraag in deze notitie luidt daarom:

In hoeverre is een ondergrondse aanleg van het 380 kV-landtracé over Zuid-Beveland technisch verantwoord en maatschappelijk doelmatig, gegeven de wettelijke eisen aan netstabiliteit en leveringszekerheid?

1.2 Inhoud van deze notitie

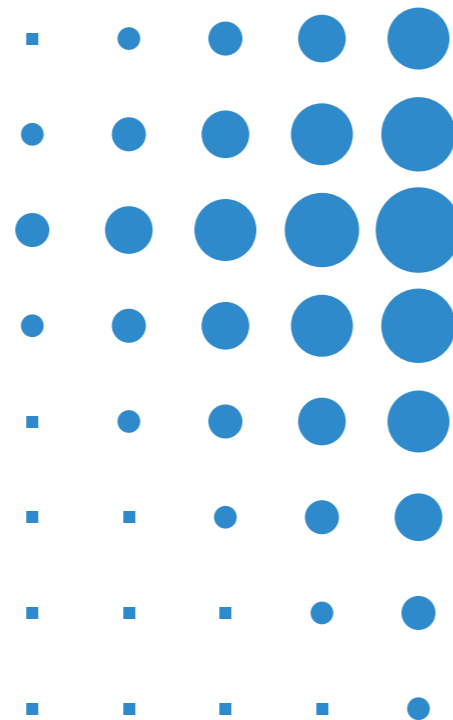
Deze notitie is opgebouwd rond de beantwoording van bovenstaande centrale vraag en bevat:

- Een toelichting waarom TenneT voor deze netuitbreiding kiest voor een wisselstroom (AC)-verbinding tussen Zuid-Beveland en Zeeuws-Vlaanderen en waarom andere uitvoeringsvarianten, zoals hoogspanningsgelijkstroom (HVDC) of Gas Insulated Lines (GIL), niet passend zijn voor deze toepassing.
- De resultaten van de door TenneT uitgevoerde System Impact Study (steady-state), waarin is onderzocht:

- wat de effecten zijn van lange ondergrondse 380 kV-kabelsecties op de betrouwbaarheid en leveringszekerheid van het elektriciteitsnet;
- in hoeverre het net veilig en stabiel blijft functioneren, ook bij storingen of onderhoud;
- welke technische maatregelen nodig zouden zijn om negatieve effecten te mitigeren.
- Een beschrijving van de impact van bovengenoemde mitigerende maatregelen op drie samenhangende thema's:
 - ruimte en landschappelijke inpasbaarheid;
 - betaalbaarheid en maatschappelijke kosten;
 - tijd en realiseerbaarheid.
- De conclusies die TenneT trekt op basis van de studieresultaten en de daaruit volgende afweging ten aanzien van de uitvoeringsvarianten voor het landtracé over Zuid-Beveland.

Afbakening van de studie

De nettechnische studie bestaat uit meerdere deelonderzoeken. Dit gedeelte van de studie bevat de analyse van het steady state-gedrag (waaronder spanningsbeheersing en compensatie van reactief vermogen). Dit vormt een eerste noodzakelijke randvoorwaarde.



Pas wanneer voldoende compensatie technisch en ruimtelijk kan worden gerealiseerd, is het zinvol om vervolgstudies uit te voeren, zoals transiënte analyses en kortsluitberekeningen. Het oplossen van het steady state-vraagstuk betekent dus niet dat ondergrondse aanleg automatisch mogelijk is, maar bepaalt of verdere technische uitwerking kan plaatsvinden. Op basis hiervan vindt een technisch go/no-go-moment plaats. Over het vervolg na dit gedeelte van de studie kunt u meer lezen in hoofdstuk 6.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat een overzicht van de uitgangspunten en kernuitkomsten van deze notitie. Dit hoofdstuk biedt lezers direct inzicht in de noodzaak van de netuitbreiding, de gekozen oplossingsrichting en de belangrijkste technische randvoorwaarden. Op basis hiervan kunnen lezers gericht bepalen welke onderdelen van de verdere onderbouwing voor hen relevant zijn.

Hoofdstuk 3 gaat in op de afweging van technische oplossingsrichtingen en beschrijft waarom is gekozen voor een wisselstroom (AC)-oplossing en waarom andere technische of systeemalternatieven niet passend zijn voor deze netuitbreiding.

Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten van de nettechnische studie en laat zien welke effecten ondergrondse aanleg van een 380 kV-AC-verbinding heeft op netstabiliteit en leveringszekerheid, met bijzondere aandacht voor reactief vermogen (blindstroom) en de mogelijkheden en grenzen van compensatie.

In hoofdstuk 5 worden de conclusies van TenneT gepresenteerd op basis van de voorgaande afwegingen en analyses.

Hoofdstuk 6 beschrijft de vervolgstappen in het besluitvormings- en planproces.

Begrippenlijst

In de onderliggende onderzoeken worden diverse technische begrippen gebruikt, zoals reactief vermogen, N-1/N-2-criteria, spanningsgrenzen en compensatie-installaties. Deze zijn noodzakelijk voor een zorgvuldige technische beoordeling, maar kunnen complex zijn voor lezers zonder elektrotechnische achtergrond. Daarom is als bijlage een begrippenlijst opgenomen. Waar nodig zijn technische details in deze notitie vereenvoudigd weergegeven. Verwijzingen naar de uitgebreide technische rapporten zijn opgenomen in de bijlagen.



2. Uitgangspunten en kernuitkomsten

Deze notitie beschrijft de uitkomsten van een nettechnisch onderzoek naar de mogelijkheden voor ondergrondse aanleg van een nieuwe 380 kV-verbinding tussen Zuid-Beveland en Zeeuws-Vlaanderen. Doel is om inzicht te geven in de technische randvoorwaarden en de consequenties van verschillende uitvoeringsvarianten, ter ondersteuning van bestuurlijke besluitvorming.

De belangrijkste uitgangspunten en kernuitkomsten zijn:

De netuitbreiding is noodzakelijk.

De groeiende elektriciteitsvraag in Zeeuws-Vlaanderen kan niet langer worden opgevangen door het bestaande 150 kV-net. Een nieuwe 380 kV-verbinding is nodig om leveringszekerheid en toekomstige ontwikkelingen te borgen².

Een wisselstroom (AC) 380 kV-verbinding is het uitgangspunt.

Het Nederlandse hoogspanningsnet is gebaseerd op wisselstroom. Alternatieven zoals gelijkstroom (HVDC) of Gas Insulated Lines (GIL) zijn technisch denkbaar, maar voor deze toepassing niet maatschappelijk doelmatig vanwege hun grote ruimtebeslag, kosten, complexiteit en doorlooptijd (Hoofdstuk 3).

Blindstroom vormt een bepalende technische randvoorwaarde

Ondergrondse 380 kV-wisselstroomkabels wekken veel reactief vermogen (blindstroom) op. Deze blindstroom moet worden gecompenseerd om spanningen binnen veilige grenzen te houden. De mogelijkheden om dit te doen zijn technisch en ruimtelijk begrensd. Bovendien brengen zij disproportioneel hoge kosten met zich mee (Hoofdstuk 4).

Ondergrondse kruising van de Westerschelde is complex, maar technisch beheersbaar.

Voor de ondergrondse kruising van de Westerschelde (circa 7-8 km) is aangetoond dat de opgewekte blindstroom binnen bestaande of geplande hoogspanningsstations kan worden gecompenseerd. Een dergelijke kabellengte is technisch beheersbaar binnen een 380 kV-systeem, mits passende compensatiemaatregelen worden getroffen. De kruising vraagt om zorgvuldige technische uitwerking, maar is vanuit nettechnisch perspectief uitvoerbaar.

Beperkingen bij ondergrondse aanleg van het landtracé over Zuid-Beveland

Bij extra ondergrondse kabels op het landtracé kan een structureel tekort aan compensatiemogelijkheden voor blindstroom leiden tot onaanvaardbare risico's. Hierdoor kunnen spanningen niet volledig binnen de huidige stationscapaciteit worden gereguleerd, wat gevolgen heeft voor de robuustheid en bedrijfszekerheid van het net. De benodigde aanvullende installaties passen niet binnen bestaande stations en vereisen nieuwe compensatielocaties, met substantiële ruimtelijke impact, hogere investeringen en vertraging van de realisatie.

Voor een ondergrondse AC-oplossing die langer is dan circa 7-8 km per circuit, is binnen de geldende technische en beleidsmatige randvoorwaarden, geen verantwoorde uitvoeringsvariant mogelijk

Een ondergrondse AC-oplossing is per circuit tot circa 7-8 km beheersbaar. Aangezien dit project vier circuits omvat, worden de systeem- en compensatie-effecten viermaal opgeteld. Bij grotere lengtes ontstaat daardoor een substantiële toename van benodigde compensatie en aanvullende bovengrondse infrastructuur.

Deze uitgangspunten vormen het kader en worden nader onderbouwd in de verdere uitwerking in deze notitie en maken het mogelijk om gericht kennis te nemen van de onderliggende analyses en afwegingen.



Figuur 1 Onderzoeksalternatieven concept-NRD

3. Afweging van technische oplossingsrichtingen

Voor de netuitbreiding richting Zeeuws-Vlaanderen is het uitgangspunt een nieuwe 380 kV-verbinding met vier circuits tussen Zuid-Beveland en een nieuw 380/150 kV-station in Zeeuws-Vlaanderen (zie figuur 1). De kernvraag in dit hoofdstuk is: welke techniek en inpassing leveren een robuuste, tijdige en maatschappelijk doelmatige oplossing op, gegeven de wettelijke eisen aan leveringszekerheid en netstabiliteit én de ruimtelijke context in Zeeland.

Wisselstroom (AC) als uitgangspunt

Het Nederlandse hoogspanningsnet is volledig gebaseerd op wisselstroom (AC). Een nieuwe 380 kV-verbinding als AC-verbinding sluit direct aan op het bestaande net en kan zonder fundamentele systeemaanpassingen worden ingepast. Alternatieven zoals hoogspanningsgelijkstroom (HVDC) of gasgeïsoleerde leidingen (GIL) zijn in theorie technisch denkbaar, maar brengen in deze casus substantiële aanvullende infrastructuur met zich mee. Zo vereist een HVDC-oplossing meerdere converterstations aan beide zijden van de Westerschelde, elk met een aanzienlijk ruimtebeslag (meerdere hectares per station) en investeringen in de orde van miljarden euro's. GIL is voor lange trajecten technisch beperkt toepasbaar en vraagt eveneens aanvullende bovengrondse installaties.

Daarmee verminderen deze alternatieven de ruimtelijke of technische impact niet ten opzichte van een AC-oplossing, maar verplaatsen of vergroten deze juist. Deze verschillen worden in dit rapport nader toegelicht.

Ook alternatieven die de kruising van de Westerschelde vermijden (zoals een aansluiting met België of zelfstandige regionale energievoorziening) voorzien niet in dezelfde netfunctie als een directe 380 kV-verbinding binnen het landelijke net en bieden geen structurele borging van regionale leveringszekerheid. Op basis van deze technische en systeemmatige afwegingen wordt een AC-verbinding die aansluit op het landelijke 380 kV-net beschouwd als de meest passende oplossing voor het realiseren van de benodigde transportcapaciteit richting Zeeuws-Vlaanderen.

3.1 Waarom geen andere uitvoeringsvariant die eenvoudiger ondergronds kan? (HVDC of GIL)

Hoogspanningsgelijkstroom (HVDC)

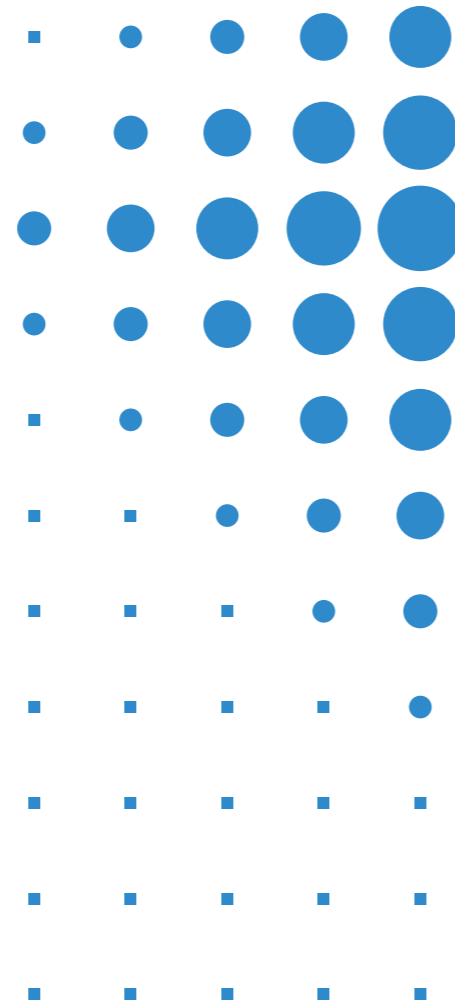
HVDC wordt wereldwijd met name toegepast voor zeer lange afstanden, voor onderzeese verbindingen, of als interconnector tussen verschillende netten. HVDC heeft als eigenschap dat het geen blindstroom (reactief vermogen) “produceert” zoals een AC-kabel. Daar staat tegenover dat HVDC grote en complexe converterstations nodig heeft om de gelijkstroom om te zetten naar wisselstroom en omgekeerd.

Voor deze netuitbreiding is HVDC om meerdere redenen niet passend:

Ruimte: HVDC vereist grote converterstations op meerdere locaties. In dit geval aan beide kanten van de Westerschelde. Dat zijn complexe installaties met een aanzienlijk ruimtebeslag, die bovendien robuust moeten worden ingepast in een omgeving waar ruimte schaars is en waar al veel energie-infrastructuur samenkomt. Voor deze verbinding is de verwachting in totaal 8 grote converterstations van circa 5,5 hectare per stuk. Dat betekent circa 22 hectare in Zuid-Beveland en 22 hectare in Zeeuws-Vlaanderen.

Kosten en maatschappelijke doelmatigheid: HVDC vraagt zeer hoge investeringen (orde grootte > 5 miljard euro), zonder dat daar een aantoonbare verbetering van netprestaties tegenover staat voor de beoogde functie.

Complexiteit en operationeel risico: converterstations zijn technisch complex, vragen specialistisch beheer en onderhoud en vormen extra kritische componenten in het systeem. Dat maakt de oplossing gevoeliger en minder robuust dan een conventionele AC-verbinding³.



Tijd en realiseerbaarheid: de extra engineering, vergunningen, inpassing en bouw van converterstations leiden tot een substantieel langere doorlooptijd (indicatief 4–8 jaar extra), terwijl tijdige realisatie cruciaal is voor de leveringszekerheid en economische ontwikkeling in Zeeuws-Vlaanderen.

Samengevat: HVDC is technisch mogelijk, maar voor deze toepassing niet maatschappelijk doelmatig en brengt het de tijdige beschikbaarheid van transportcapaciteit in gevaar.

Gas Insulated Lines (GIL)

Gasgeïsoleerde leidingen (GIL) bestaan uit metalen buizen met isolerend gas en worden wereldwijd vooral toegepast voor korte trajecten, bijvoorbeeld binnen of direct naast hoogspanningsstations of bij lokale ruimtelijke knelpunten van beperkte lengte.

Voor dit project is GIL geen realistische oplossing omdat:

- **Toepassing op kilometerslange trajecten onvoldoende bewezen is:** voor de schaal en lengte die hier aan de orde is, zijn wereldwijd nauwelijks referentieprojecten binnen een openbaar 380 kV-net. Dat maakt betrouwbaarheid, onderhoud en storingsafhandeling onzeker.
- **Herstel bij storingen complex en tijdrovend is:** bij een storing is lokaliseren en repareren ingewikkeld, wat ongunstig is voor de leveringszekerheid.

- **Ruimtebeslag en ruimtelijke impact groot zijn:** GIL vraagt op land bovengrondse aanleg of aanleg in grote betonnen kokers met inspectie- en onderhoudszones. Dat resulteert in een fors en langdurig ruimtebeslag.
- **Kosten hoog zijn zonder bewezen meerwaarde:** GIL is beduidend duurder dan conventionele oplossingen, terwijl de voordelen voor deze toepassing niet opwegen tegen de nadelen en onzekerheden.

Daarom is GIL, gegeven de lengte, schaal en vereiste betrouwbaarheid, niet als verantwoorde oplossing beoordeeld.



Impressie converterstation

³ Bij de aansluiting van windparken op zee wordt vaak gekozen voor HVDC (hoogspanningsgelijkstroom), omdat het daar gaat om grote vermogens over lange afstanden. Gelijkstroom is bij zulke afstanden technisch efficiënter en voorkomt de opbouw van reactief vermogen die bij wisselstroom zou optreden. Daarnaast vormen deze verbindingen geen onderdeel van de landelijke 380 kV-ringen, maar zijn het punt-tot-puntverbindingen tussen een windplatform op zee en een landstation. Daardoor is er meer ontwerpvrijheid en minder directe invloed op de systeemprestaties van het bestaande hoogspanningsnet.

3.2 Waarom geen alternatief waarbij Westerschelde niet gekruist hoeft te worden?

Aansluiting met België

Een internationale verbinding (interconnectie) is primair bedoeld voor internationale elektriciteitsuitwisseling en valt onder Europese marktregels. Een interconnector biedt daarmee geen gegarandeerde regionale leveringszekerheid voor Zeeuws-Vlaanderen. Bovendien vervangt een interconnector niet de functie van een robuuste nationale 380 kV-verbinding die nodig is om het regionale net toekomstvast aan te sluiten op het hoofdnets en om onder alle omstandigheden (ook bij storingen of onderhoud) transportcapaciteit en stabiliteit te borgen. Daarom is interconnectie geen alternatief voor deze netuitbreiding⁴.

Lokale energievoorziening (bijvoorbeeld SMR) of volledig eigen opwek

Lokale opwek van elektriciteit, bijvoorbeeld met een Small Modular Reactor (SMR) of andere grootschalige bron, kan bijdragen aan verduurzaming en aan het verminderen van transport over lange afstanden. Dat kan positief zijn voor de regionale energievoorziening.

Tegelijkertijd vervangt lokale opwek het elektriciteitsnet niet. Ook grootschalige productie moet worden aangesloten op een hoogspanningsstation en heeft het landelijke net nodig voor:

- Leveringszekerheid en redundantie
- Vraag en aanbod zijn nooit exact in balans. Bij onderhoud, storingen of onverwachte uitval moet elektriciteit van elders kunnen worden aangevoerd.
- Balanceren van het energiesysteem
- De elektriciteitsvraag wisselt per uur en per seizoen. Het net maakt uitwisseling met andere regio's mogelijk, zodat overschotten en tekorten kunnen worden opgevangen.
- Systeemtechnische prestaties

Grote productie-installaties hebben een stabiel net nodig om bedrijfszeker te kunnen functioneren en om spanningen binnen de wettelijke grenzen te houden.

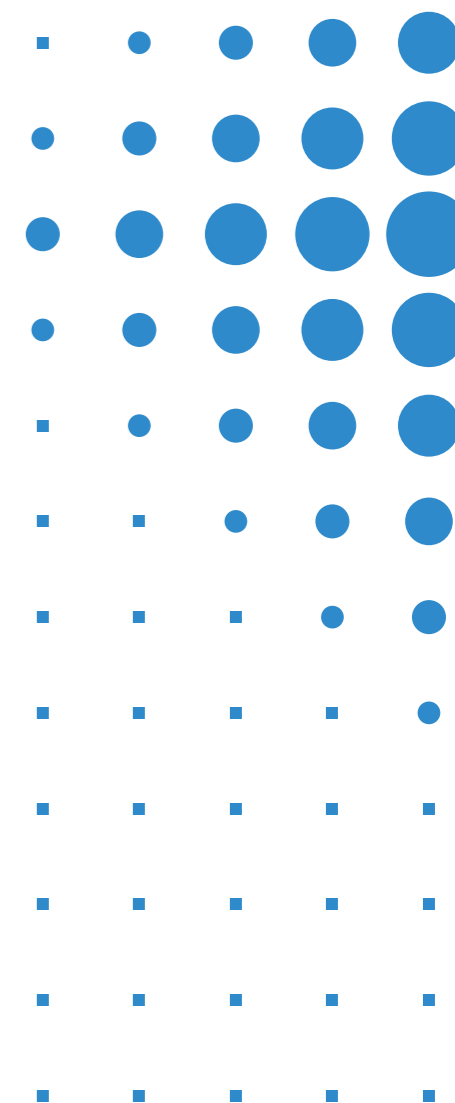
Daarmee kan lokale opwek een waardevolle aanvulling zijn, maar zij neemt de noodzaak van een robuuste 380 kV-verbinding niet weg. Het net blijft de ruggengraat van het energiesysteem, ook wanneer meer energie regionaal wordt geproduceerd.

3.3 Conclusie technische afwegingen

Een wisselstroom (AC) 380 kV-verbinding wordt, op basis van de uitgevoerde analyses, beschouwd als de meest passende oplossing om Zeeuws-Vlaanderen tijdig en betrouwbaar aan te sluiten op het landelijke 380 kV-hoofdnets.

Dit is gebaseerd op de volgende overwegingen:

- **Systeemaansluiting:** Het Nederlandse hoogspanningsnet is volledig gebaseerd op AC. Een nieuwe 380 kV AC-verbinding sluit direct aan op de bestaande netstructuur en vereist geen fundamentele systeemaanpassingen.
- **Alternatieven (HVDC en GIL):** Deze zijn technisch mogelijk, maar vragen aanvullende infrastructuur (zoals converterstations of specifieke installaties) en leiden tot aanzienlijk extra ruimtebeslag, hogere kosten, grotere systeemcomplexiteit en langere doorlooptijden.
- **Alternatieven zonder Westerscheldekruising:** Opties zoals een interconnectie of een zelfstandige regionale energievoorziening vervangen de benodigde netfunctie van een 380 kV-verbinding binnen het landelijke net niet en bieden geen structurele borging van regionale leveringszekerheid.



4. Resultaten van de nettechnische analyse en grenzen aan ondergrondse aanleg

In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven van de nettechnische studie naar de effecten van ondergrondse aanleg van een 380 kV-wisselstroomverbinding (AC) op het elektriciteitsnet. De analyse vormt de technische onderbouwing voor de afwegingen in hoofdstuk 2 en laat zien waar de grenzen liggen aan ondergrondse aanleg, bovenop een ondergrondse kruising van de Westerschelde.

Centraal in dit hoofdstuk staat de vraag in hoeverre het elektriciteitsnet veilig, stabiel en betrouwbaar kan blijven functioneren bij verschillende lengtes van ondergrondse kabels, en welke gevolgen dit heeft voor ruimtegebruik, kosten en realiseerbaarheid.

4.1 Effecten van ondergrondse AC-kabels op netstabiliteit en leveringszekerheid

Wettelijke randvoorwaarden en ontwerpeisen

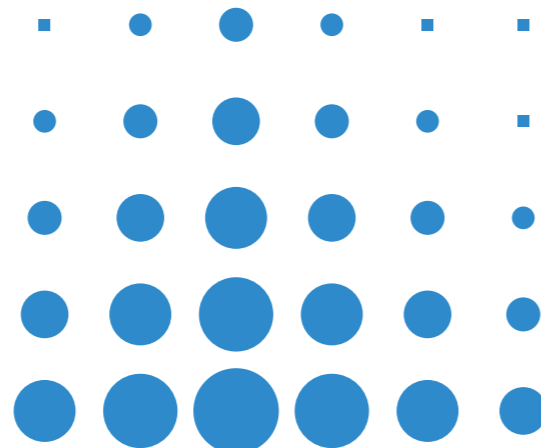
Het elektriciteitsnet moet te allen tijde voldoen aan wettelijke eisen voor bedrijfszekerheid en kwaliteit van levering. Dit betekent onder meer dat:

- het net moet blijven functioneren bij uitval van één onderdeel (N-1-criterium);
- ook tijdens gepland onderhoud een onverwachte storing moet kunnen worden opgevangen (N-2-criterium);
- spanningen binnen vastgestelde grenzen moeten blijven om schade aan netcomponenten, stationsinstallaties en aangesloten installaties van derden te voorkomen.

De nieuwe 380 kV-verbinding richting Zeeuws-Vlaanderen moet niet alleen voldoende transportcapaciteit bieden, maar ook bijdragen aan een robuust en toekomstvast netwerk.

Blindstroom als bepalende factor

Ondergrondse 380 kV-wisselstroomkabels gedragen zich elektrisch wezenlijk anders dan bovengrondse lijnen. Door hun constructie wekken zij relatief veel reactief vermogen (blindstroom) op. Blindstroom is nodig om een wisselstroomnet te laten functioneren, maar levert geen direct bruikbare energie. Een teveel aan blindstroom leidt tot oplopende spanningen in het net. Hoe langer de ondergrondse kabel, hoe groter dit effect. Wanneer de opgewekte blindstroom niet tijdig en voldoende wordt gecompenseerd, kunnen spanningen niet meer betrouwbaar binnen de wettelijke grenzen worden gehouden. Dit vergroot het risico op storingen, automatische afschakeling van netdelen en in het uiterste geval grootschalige uitval.



Compensatie van blindstroom

Om spanningen te beheersen zijn compensatieinstallaties nodig, zoals compensatiespoelen (zogenoemde shuntreactoren). Deze installaties nemen overtollige blindstroom op en worden bij voorkeur geplaatst op hoogspanningsstations. Er zijn echter technische, ruimtelijke en systeemmatige grenzen aan de hoeveelheid compensatie die veilig op een station kan worden aangesloten. Een belangrijk uitgangspunt in de netstudie is dat alle noodzakelijke compensatie binnen bestaande of reeds geplande hoogspanningsstations moet kunnen worden gerealiseerd. Wanneer

compensatie buiten stations nodig wordt, bijvoorbeeld op nieuwe locaties langs het tracé, heeft dit meerdere consequenties. Er moeten dan afzonderlijke compensatielocaties worden ontwikkeld, inclusief hoogspanningsaansluitingen, beveiligingsinstallaties en ontsluiting. Dit vergroot het aantal schakelpunten in het net, introduceert extra bedrijfsvoeringcomplexiteit en vraagt om aanvullende vergunningen en ruimtelijke inpassing. Daarnaast leidt dit tot extra investeringen en verlengt het de doorlooptijd van het project. Hierdoor nemen zowel de technische complexiteit als de ruimtelijke en planmatige impact van het project toe.

Voorbeeld van een compensatiespoel



4.2 Resultaten van de netstudie: blindstroom en benodigde compensatie bij verschillende kabellengtes

In een eerdere fase van het project is onderzocht of de kruising van de Westerschelde ondergronds kan worden uitgevoerd met een 380 kV-wisselstroomkabel. Voor een kabeltraject van circa 7–8 kilometer is vastgesteld dat dit technisch mogelijk is, mits het daarbij opgewekte reactieve vermogen (blindstroom) kan worden gecompenseerd op de betrokken hoogspanningsstations.

De hoeveelheid blindstroom die bij een ondergrondse kruising van circa 7–8 kilometer (vier circuits) ontstaat, bedraagt circa 600 Mvar aan benodigde compensatie. In het verwachte netscenario rond 2035 is circa 1.100 Mvar aan compensatiecapaciteit beschikbaar op bestaande en geplande hoogspanningsstations. Daarmee kan de benodigde compensatie binnen de stationscapaciteit worden gerealiseerd en kan de spanning binnen de wettelijke bandbreedtes worden gehouden.

Vervolgens is onderzocht wat de effecten zijn wanneer, naast de ondergrondse kruising van de Westerschelde, ook het landtracé over Zuid-Beveland ondergronds wordt uitgevoerd. Door deze verlenging van de ondergrondse kabel neemt de hoeveelheid opgewekte blindstroom aanzienlijk toe. Ondergrondse wisselstroomkabels hebben namelijk een veel hogere elektrische capaciteit dan bovengrondse lijnen, waardoor zij continu veel blindstroom genereren. De lengte van de kabel is een belangrijke factor in deze.

De netstudie heeft daarom gekeken naar de hoeveelheid blindvermogen dat bij (een drietal) verschillende kabellengtes geproduceerd wordt. Omdat de productie van blindvermogen leidt tot een verhoging van de spanning is als eerste stap onderzocht welke maatregelen genomen zouden moeten worden om de stationaire spanning binnen de grenzen te houden. Hiervoor moeten compensatiemiddelen, zoals spoelen, strategisch geplaatst in het net geplaatst worden.

Daarbij zijn meerdere varianten beschouwd, met totale ondergrondse kabellengtes (inclusief de kruising van de Westerschelde) tot circa

11 kilometer en 14 kilometer per circuit. Deze afstanden zijn niet willekeurig gekozen, maar corresponderen met de corridorvarianten zoals weergegeven in Figuur 1 en benoemt in de Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD).

Bij de beoordeling van ondergrondse aanleg is van belang dat een 380 kV-kabelverbinding, om dezelfde transportcapaciteit (4.000 A per circuit) te realiseren als een bovengrondse lijn, bestaat uit twee parallelle kabelkernen per fase. Hierdoor wordt de effectieve capaciteit (C) per fase verdubbeld ten opzichte van een enkelvoudige kern. Omdat het opgewekte reactieve vermogen lineair toeneemt met de capaciteit en de lengte van de kabel, leidt deze configuratie tot een aanzienlijk hogere blindstroomproductie dan bij een bovengrondse verbinding met dezelfde transportcapaciteit.

Omdat in Zeeland en West-Brabant ook op andere 380 kV-verbindingen nieuwe ondergrondse kabelsecties zijn voorzien, is het van belang dat de cumulatieve effecten hiervan worden meegenomen in de netstudie. In het model dat is gebruikt voor het eerste deel van de netanalyse zijn deze geplande kabelsecties daarom expliciet opgenomen. In de studie zijn vervolgens de spanningsvariaties en de benodigde compensatiecapaciteit geanalyseerd op meerdere hoogspanningsstations in Zeeland en West-Brabant, om de systeemimpact integraal te beoordelen.

De resultaten laten zien dat:

- Enkel bij de variant K1+L1 een ondergrondse kruising en landtracé met een kabellengte van in totaal maximaal circa 7-8 km beheersbaar is.
- bij een grotendeels ondergrondse variant van de verbindingen richting Terneuzen tot 14 km kabel per circuit in totaal 2.026 Mvar aan reactief-vermogenscompensatie in de provincie Zeeland nodig is om het in dit deel van het systeem opgewekte reactieve vermogen te absorberen en de spanning binnen de wettelijke grenzen te houden
- in het verwachte netscenario rond 2035 circa 1.100 Mvar aan compensatiecapaciteit beschikbaar is op de betrokken en geplande hoogspanningsstations;
- dit resulteert in een structureel berekend tekort van circa 926 Mvar aan compensatiemiddelen.

Dit tekort in alle varianten boven de circa 7-8 km betekent dat de totale benodigde compensatiecapaciteit niet volledig binnen de bestaande of geplande stations kan worden gerealiseerd. Daardoor kan de spanning onder bepaalde bedrijfscondities niet meer binnen de vereiste bandbreedtes worden gehouden.



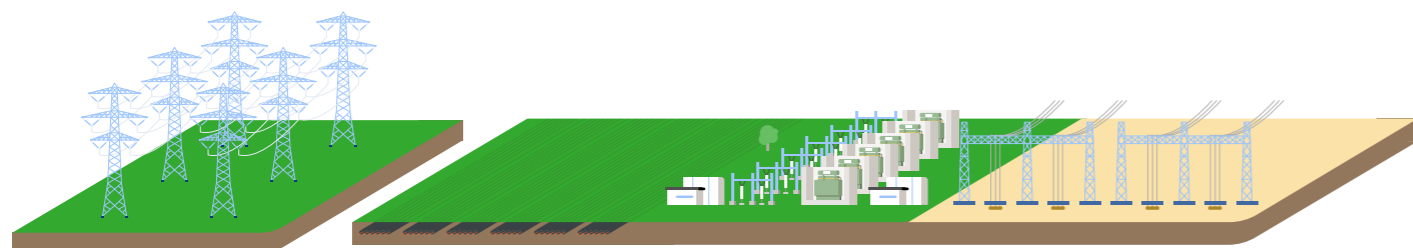
Ook bij een kortere variant met circa 11 km ondergrondse kabel per circuit resteert een tekort aan structurele compensatiecapaciteit van 674 Mvar. Hoewel de directe bijdrage van de kabel aan het reactieve vermogen lager is dan bij 14 km, overschrijdt de totale systeembehoefte aan compensatie ook in deze variant de beschikbare stationscapaciteit. Daardoor kan niet onder alle bedrijfscondities worden voldaan aan de vereiste spanningsbandbreedtes.

De opgewekte blindstroom neemt lineair toe met de totale hoeveelheid kabel in de grond. Die wordt bepaald door tracé lengte × aantal circuits × aantal kabels per fase. Omdat in dit project vier circuits met dubbele kabels per fase worden toegepast, loopt de totale kabelhoeveelheid, en daarmee de blindstroom, snel op.

In het netdeel van Zeeland en West-Brabant zijn meerdere 380kV-verkabeling voorzien. (In totaal nog 14 tracékilometers) De totale benodigde compensatiecapaciteit in het systeem in deze regio is echter hoger dan alleen de door de

kabels opgewekte hoeveelheid. In de netstudie, met daarin 14 tracékilometer kabel in de circuits naar Terneuzen, is berekend dat in totaal 2.026 Mvar aan compensatiemiddelen in de hele regio nodig is om onder alle bedrijfscondities de spanningen binnen de wettelijke grenzen te houden. Dat verschil hangt samen met bredere systeemeisen, zoals spanningsregeling, bedrijfszekerheid (N-1) en de interactie met andere delen van het net.

De totale kabellengte in de regio Zeeland, inclusief alle bestaande en geplande verkabelingen, bepaalt de hoeveelheid opgewekt reactief vermogen. Bij verdere verlenging van de ondergrondse verbinding richting Terneuzen wordt de beschikbare compensatiecapaciteit in de stations overschreden.



Figuur 2 Illustratie toont aan dat ook ondergrondse aanleg bovengronds ruimtebeslag kent. Links is een bovengrondse hoogspanningsverbinding te zien. Rechts een ondergrondse kabel verbinding met bovengrondse compensatie-installaties en opstijpunten.



De onderstaande tabel laat zien hoe de totale lengte van de ondergrondse 380 kV-kabel (kruising Westerschelde plus eventueel landtracé over Zuid-Beveland) samenhangt met de hoeveelheid

blindstroom die geproduceerd wordt. Deze aantallen vertellen niet hoeveel compensatie er nodig is. Dat is berekend in de studie voor het gehele 380 kV-net in de regio.

Variant	Ondergrondse kruising Westerschelde	Ondergronds landtracé Zuid-Beveland	Totale ondergrondse lengte per circuit	Benodigde blindstroomcompensatie
Basivariant	7 km	-	7 km	589 Mvar
L1 + K1	6,5 km	1,5 km	8 km	674 Mvar
L1 + K2	8 km	1,5 km	9,5 km	842 Mvar
L2 + K3	8 km	3 km	11 km	926 Mvar
L3 + K4	7 km	6 km	13 km	1.095 Mvar
L4 + K4	7 km	6 km	13 km	1.095 Mvar

Tabel 1



Figuur 3 Onderzoeksalternatieven concept-NRD

4.3 Beoordeling van scenario's in ondergrondse aanleg

Uitgaande van dit uitgangspunt zijn de volgende scenario's beoordeeld:

Scenario 1 – Alleen ondergrondse kruising van de Westerschelde

Voor een ondergrondse kruising van de Westerschelde met een kabellengte van circa 7–8 kilometer is aangetoond dat:

- de opgewekte blindstroom met aanvullende maatregelen kan worden gecompenseerd;
- deze compensatie binnen bestaande of geplande hoogspanningsstations kan worden gerealiseerd;
- het net veilig en stabiel kan blijven functioneren, ook bij storingen en onderhoud.

Dit scenario wordt daarom technisch verantwoord geacht.

Scenario 2 – Ondergrondse kruising Westerschelde + deels ondergrondse aanleg landtracé Zuid-Beveland

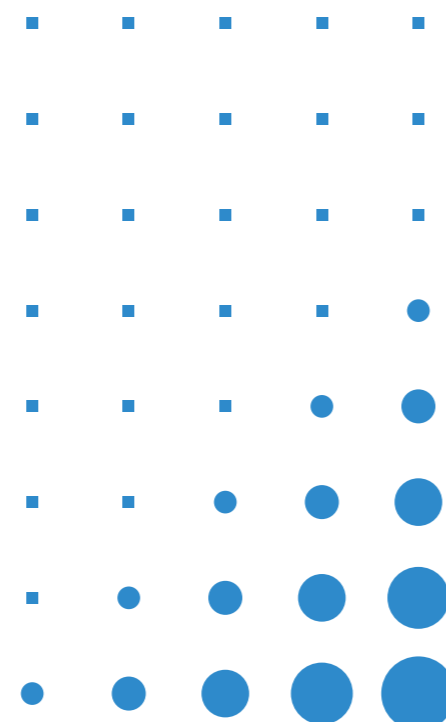
Bij toevoeging van ondergrondse kabelsecties op het landtracé over Zuid-Beveland neemt de totale benodigde reactief-vermogenscompensatie sterk toe. Uit de netstudie blijkt dat:

- bij totale kabellengtes tot circa 7–8 km kan de opgewekte blindstroom met aanvullende maatregelen worden gecompenseerd. Dit zou een uitbreiding van de projectscope vergen;
- bij totale kabellengtes van circa 11 tot 14 kilometer per circuit de benodigde compensatiecapaciteit de beschikbare stationscapaciteit overschrijdt;
- deze aanvullende compensatie niet volledig binnen bestaande of geplande stations kan worden gerealiseerd;
- realisatie daarom aanvullende bovengrondse compensatielocaties langs het tracé zou vereisen.

Met uitzondering van onderzoeksvariant K1+L1 betekent dit dat het scenario alleen uitvoerbaar is met extra infrastructuur, substantieel extra ruimtebeslag, aanvullende vergunningstrajecten, hogere kosten en een langere doorlooptijd. Daarmee voldoet het scenario niet meer aan de uitgangspunten van technische inpasbaarheid, ruimtelijke proportionaliteit en tijdige realiseerbaarheid.

Mogelijke mitigerende maatregelen en hun consequenties

In de voorgaande sub-hoofdstukken is vastgesteld dat langere ondergrondse 380 kV-kabelsecties boven de circa 7–8 kilometer leiden tot een structureel tekort aan mogelijkheden om het opgewekte reactieve vermogen (blindstroom) te compenseren binnen de bestaande en geplande hoogspanningsstations. In het restant van dit hoofdstuk wordt beschreven welke mitigerende maatregelen in theorie denkbaar zijn om dit tekort op te vangen, en welke consequenties deze maatregelen hebben voor ruimte, kosten, planning en netveiligheid.



Omvang van de benodigde compensatie

De tabel hieronder laat zien dat de benodigde blindstroomcompensatie snel oploopt met de totale ondergrondse kabellengte. Bij circa 7–8 km kan compensatie in principe op de betrokken stations plaatsvinden. Zodra de totale kabellengte richting

11–14 km gaat, is de benodigde compensatie zo groot dat één of meerdere extra compensatielocaties buiten de stationsgrenzen nodig worden, met een ruimtebeslag in de orde van grootte van meerdere hectares per locatie.

Verkabelde tracélengte circuits naar Terneuzen	Geproduceerd blindvermogen door deze kabeldelen (afgerond op basis van Tabel 1)	Benodigde mitigerende maatregel	Extra ruimtebeslag	Extra realisatietijd
7/8 km	600-700 Mvar	Compensatiemiddelen kunnen op bestaande stationslocaties geplaatst worden. Geen extra mitigerende maatregelen buiten de bestaande stationslocaties nodig	N.v.t.	N.v.t.
10/11 km	850-950 Mvar	Eén extra 380kV-compensatiestation nodig, met 4 regelbare spoelen	8 hectare	Ca. 4 jaar
13/14 km	1100-1200 Mvar	Twee extra 380kV-compensatiestations nodig, met elk 4 regelbare spoelen	2 x 8 hectare	Ca. 4 jaar

Tabel 2

Mitigerende maatregelen: extra compensatielocaties

Om dit tekort in theorie op te lossen, zouden aanvullende compensatie-installaties buiten de bestaande hoogspanningsstations nodig zijn. Dit kan bijvoorbeeld door het realiseren van één of meerdere afzonderlijke compensatiestations langs het tracé, uitgerust met compensatiespoelen en bijbehorende schakelinstallaties.

Een dergelijke compensatielocatie heeft een aanzienlijke ruimtelijke impact. Afhankelijk van de gekozen technische configuratie vraagt een compensatiestation een ruimtebeslag in de orde van grootte van circa 8 hectare per locatie, inclusief installaties, veiligheidszones, ontsluiting en onderhoudsruimte. Bij grotere tekorten kan het nodig zijn meerdere van deze locaties te realiseren.

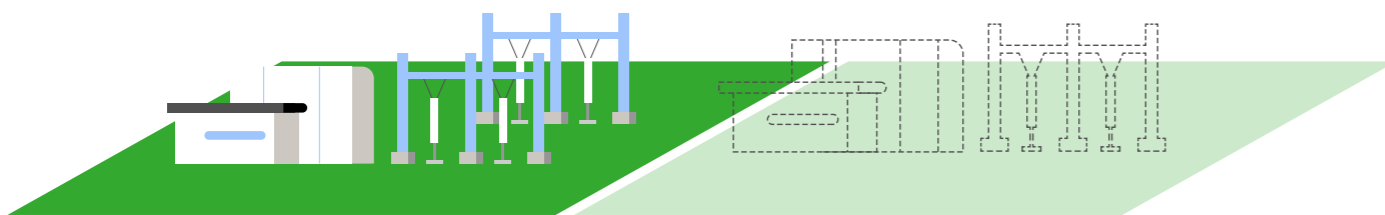
Belangrijk om te vermelden is dat de locaties van de compensatiestations niet op elk mogelijke locatie mogelijk zijn. De compensatie moet altijd zo dicht mogelijk plaatsvinden bij de locaties waar er sprake is van overmatig veel blindstroom.

Consequenties van mitigerende maatregelen

Het toepassen van dergelijke mitigerende maatregelen heeft ingrijpende consequenties:

- Ruimte: de noodzaak van nieuwe, grootschalige locaties langs het tracé, met bijbehorende ruimtelijke en landschappelijke impact.
- Kosten: hoge extra investeringen voor installaties, grondverwerving en netaanpassingen, bovenop de kosten van de ondergrondse kabels zelf.
- Tijd: aanvullende vergunningstrajecten, planologische procedures en technische uitwerking leiden tot aanzienlijke vertragingen.
- Netveiligheid: grotere en complexere compensatieconfiguraties vergroten de gevoeligheid van het net voor storingen en stellen hogere eisen aan bedrijfsvoering en onderhoud.

+ 8 Ha



Figuur 5 Compensatiestations

4.4 Conclusie nettechnische analyse

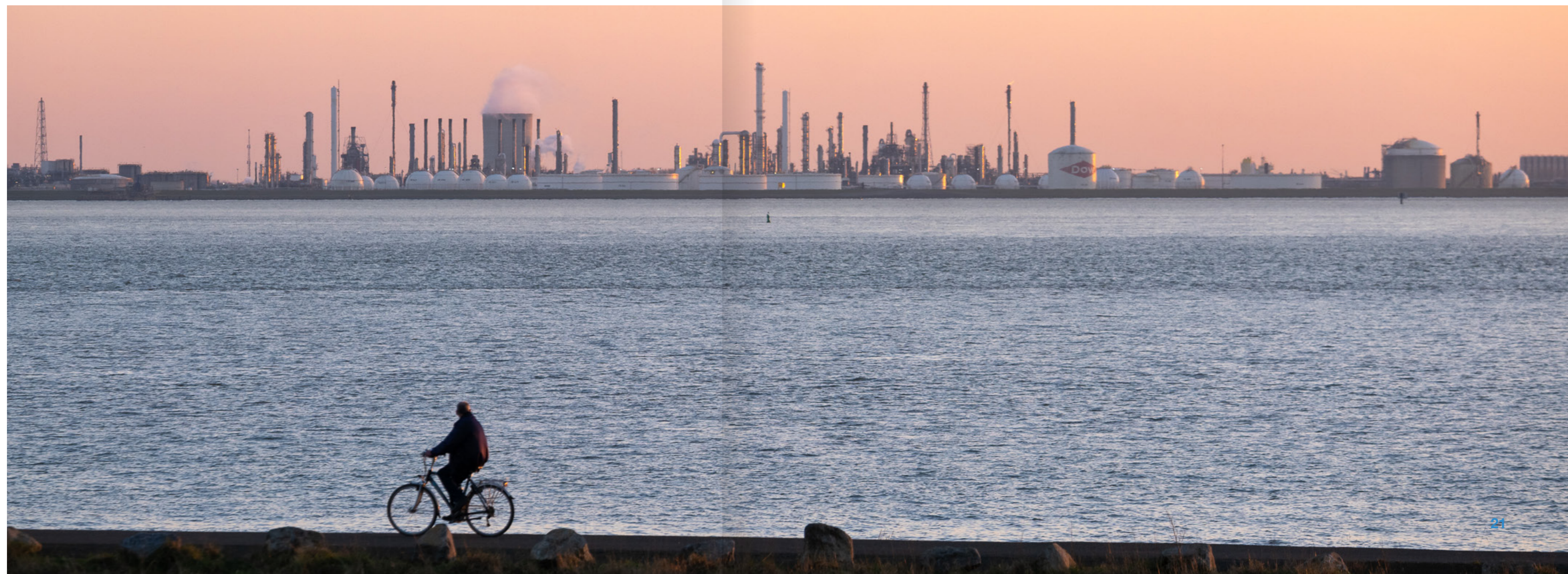
De nettechnische analyse laat zien dat blindstroom de bepalende randvoorwaarde is voor de haalbaarheid van ondergrondse aanleg van een 380 kV-AC-verbinding.

Uitgaande van een ondergrondse kruising van de Westerschelde geldt:

- ondergrondse aanleg is technisch verantwoord zolang alle benodigde compensatie binnen bestaande of reeds geplande hoogspanningsstations kan worden gerealiseerd;
- Compensatie buiten stations is technisch mogelijk, maar vereist nieuwe bovengrondse installaties langs het tracé. Dit vergroot de systeemcomplexiteit en leidt tot aanzienlijk extra ruimtebeslag, kosten en doorlooptijd, waardoor de ondergrondse oplossing alleen realiseerbaar wordt met substantiële aanvullende infrastructuur.

Voor de onderzochte varianten met ondergrondse aanleg van het landtracé van meer dan circa 7–8 kilometer over Zuid-Beveland is sprake van een overschrijding van de beschikbare systeemtechnische marges. Daarmee kan ondergrondse aanleg alleen worden gerealiseerd met aanvullende bovengrondse compensatiemaatregelen, die leiden tot aanzienlijke ruimtelijke impact, hogere kosten en vertraging van het project. Zonder deze aanvullende maatregelen kunnen spanningen niet onder alle bedrijfscondities binnen de vereiste bandbreedtes worden gehouden.

Deze conclusies vormen de basis voor de afwegingen en conclusies van TenneT in het volgende hoofdstuk.



5. Conclusies TenneT

In dit hoofdstuk worden de conclusies van TenneT gepresenteerd op basis van de afwegingen in hoofdstuk 2 en de resultaten van de nettechnische analyse in hoofdstuk 3. Daarbij wordt uitgegaan van een ondergrondse kruising van de Westerschelde als vaststaand uitgangspunt.

5.1 Uitgangspunt

TenneT hanteert bij de beoordeling van ondergrondse aanleg van 380 kV-wisselstroomverbindingen de volgende nettechnische randvoorwaarde:

Het eerste deel van de studie heeft aangetoond, dat meer dan circa 7-8 km verkabeling in de circuits naar Terneuzen niet kan zonder extra maatregelen. Er is onvoldoende ruimte op de bestaande of reeds geplande hoogspanningsstations om de benodigde compensatiemiddelen te kunnen plaatsen en aansluiten.

Wanneer aanvullende compensatie buiten deze stations noodzakelijk wordt, betekent dit dat nieuwe, afzonderlijke compensatiestations langs het tracé moeten worden ontwikkeld. Dat is technisch mogelijk, maar vraagt om extra bovengrondse installaties met eigen beveiliging, schakelinrichtingen en netaansluitingen. Dit leidt tot nieuw ruimtebeslag, aanvullende vergunningstrajecten, hogere investerings- en onderhoudskosten en een langere doorlooptijd.

De ondergrondse oplossing wordt daarmee niet onmogelijk, maar alleen realiseerbaar met substantiële aanvullende infrastructuur en bijbehorende maatschappelijke impact.

Deze randvoorwaarde is bepalend voor de beoordeling van de verschillende scenario's.

5.2 Afweging ten aanzien van aanvullende mitigerende maatregelen

In de netstudie zijn technische maatregelen verkend die in theorie het overschot aan opgewekte blindstroom bij langere ondergrondse 380 kV-kabeltrajecten kunnen beperken of compenseren, zoals het toevoegen van extra compensatiespoelen, het uitbreiden van bestaande hoogspanningsstations en het realiseren van aanvullende compensatielocaties langs het tracé.

De studie laat zien dat deze maatregelen het elektrische effect technisch kunnen reduceren, maar dat zij dit uitsluitend doen tegen aanzienlijke consequenties. Voor alle varianten, met uitzondering van K1+L1 waarbij naast de kruising van de Westerschelde ook het landtracé over Zuid-Beveland ondergronds wordt uitgevoerd, kan de benodigde extra compensatie niet meer binnen bestaande of reeds geplande stations worden gerealiseerd. Dit maakt nieuwe, zelfstandige compensatie-installaties buiten de stations noodzakelijk.

De belangrijkste consequenties hiervan zijn:

- **Ruimte:** aanvullende compensatie-installaties vragen een substantieel ruimtebeslag in de omgeving (orde van grootte circa 8 hectare per locatie), inclusief veiligheidszones, ontsluiting en onderhoudsruimte. De ruimte is in het gebied al schaars.
- **Kosten:** hoge extra investerings- en onderhoudskosten, bovenop de kosten van de ondergrondse kabels zelf. Zo worden de bouwkosten voor één compensatiestation van zo'n 8 hectare geschat op circa 250 miljoen euro.



- **Tijd en uitvoering:** extra vergunningstrajecten, grondaankoop en technische uitwerking leiden tot aanzienlijke vertragingen en grotere uitvoeringsrisico's.
- **Netstructuur:** grotere en complexere compensatieconfiguraties vergroten de gevoeligheid van het net en stellen hogere eisen aan beheer en bedrijfsvoering.

Aanvullende mitigerende maatregelen maken ondergrondse aanleg technisch uitvoerbaar, maar vereisen nieuwe bovengrondse compensatielocaties langs het tracé. Dit leidt tot extra ruimtebeslag, aanvullende vergunningprocedures, hogere investerings- en onderhoudskosten en een langere doorlooptijd.

Daarmee wordt de ruimtelijke impact niet verminderd, maar verplaatst naar nieuwe locaties. In vergelijking met een oplossing die grotendeels bovengronds wordt gerealiseerd, is de totale ruimtelijke, financiële en planmatige impact groter.

Vanuit deze integrale afweging zijn dergelijke maatregelen niet proportioneel binnen de uitgangspunten van een robuuste, doelmatige en tijdig realiseerbare netuitbreiding.

5.3 Samenvattende conclusie

Op basis van de in dit hoofdstuk beschreven netstudie, de beoordeling van mitigerende maatregelen en de integrale afweging van technische, ruimtelijke en planmatige aspecten, concludeert TenneT het volgende. Uitgaande van een ondergrondse kruising van de Westerschelde geldt dat:

- een wisselstroom (AC) 380 kV-verbinding die grotendeels bovengronds wordt gerealiseerd, met ondergrondse aanleg uitsluitend waar dit noodzakelijk is, de meest proportionele oplossing vormt binnen de huidige projectkaders.
- ondergrondse aanleg van het landtracé over Zuid-Beveland, met uitzondering van K1+L1 alleen mogelijk is met aanvullende bovengrondse compensatielocaties, met aanzienlijke ruimtelijke, financiële en planmatige consequenties;
- binnen de beschikbare stationscapaciteit en systeem marges geen volledig ondergrondse variant kan worden gerealiseerd zonder aanvullende infrastructuur met uitzondering van variant K1+L1;
- Deze uitkomst vormt het technische uitgangspunt voor het vervolg van het project en de verdere uitwerking binnen de projectprocedure. De uiteindelijke besluitvorming ligt bij het ministerie van EZK.

6. Van studie naar besluit

De conclusies in deze notitie vormen een belangrijke technische randvoorwaarde voor het vervolg van de besluitvorming over de 380 kV-netuitbreiding richting Zeeuws-Vlaanderen. In dit hoofdstuk worden de vervolgstappen geschetst die volgen uit de uitgevoerde nettechnische analyse.

6.1 Second opinion op de nettechnische analyse

Gelet op de impact en het belang van de uitkomsten heeft het ministerie van Economische Zaken en Klimaat, op verzoek van de gemeente Borsele, het Electric Power Research Institute (EPRI) gevraagd een onafhankelijke second opinion uit te voeren op de uitgevoerde System Impact Study (steady-state).

Deze second opinion richt zich op:

- de gehanteerde aannames en scenario's;
- de berekeningen van het opgewekte reactieve vermogen (blindstroom);
- de conclusies over de mogelijkheden en grenzen van reactief-vermogenscompensatie binnen hoogspanningsstations.

Het doel van de second opinion is het onafhankelijk toetsen van de technische bevindingen en het beoordelen van de onderbouwing van de onderzochte oplossingsrichtingen. Daarbij wordt niet opnieuw onderzoek gedaan naar alternatieven, maar wordt getoetst of de gepresenteerde analyses en conclusies technisch correct en volledig zijn. De resultaten worden betrokken bij de verdere besluitvorming.

6.2 Aanbieden resultaten aan Ministerie van Economische Zaken en Klimaat ter besluitvorming

De resultaten van deze notitie, inclusief de uitkomsten van de nettechnische studie, wordt aangeboden aan het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) ter ondersteuning van de verdere besluitvorming. Ook worden bovengenoemde documenten met de regio gedeeld ter onderbouwing van hun regionaal advies.

Op basis van bovengenoemde documenten, de second opinion van EPRI, het (plan) Milieueffectrapport en de Integrale Effectenanalyse kan de regio een regionaal advies geven en kan de Rijksoverheid een afgewogen besluit nemen over:

- de technisch verantwoorde uitvoeringsvariant voor de 380 kV-verbinding;
- de uitgangspunten voor de verdere planuitwerking binnen het NRD- en MER-proces;
- de wijze waarop het project wordt vervolgd richting ruimtelijke procedures en vergunningverlening.

6.3 Relatie met vervolgfases van de System Impact Study

De uitgevoerde nettechnische studie betreft het steady-state onderdeel van de System Impact Study. Dit onderdeel is bepalend voor de vraag of spanningen in het net onder normale bedrijfsomstandigheden en bij storingen beheersbaar zijn.

Andere onderdelen van de System Impact Study, zoals:

- transiënte analyses en
- power quality-onderzoeken

Verdere technische analyses, zoals detaillering van tracés, uitwerking van uitvoeringsmethoden of optimalisatie van stations, zijn pas zinvol wanneer eerst duidelijk is of de benodigde compensatie van reactief vermogen technisch én ruimtelijk kan worden gerealiseerd.

Als de benodigde compensatie niet binnen bestaande of nieuw te realiseren stations kan worden ingepast, ontstaat een fundamenteel

knelpunt in de systeemprestaties. Extra detailstudies veranderen dat uitgangspunt niet, omdat zij het tekort aan beschikbare compensatiecapaciteit niet wegnemen.

Met andere woorden: eerst moet vaststaan dat de blindstroom technisch en ruimtelijk kan worden gecompenseerd. Pas daarna heeft verdere uitwerking van het tracé en de uitvoering zin. In die zin vormt deze analyse een technische randvoorwaarde voor verdere detaillering.

6.4 Vervolg van het project

Binnen deze kaders wordt het project verder uitgewerkt in samenspraak met betrokken overheden en stakeholders, met aandacht voor:

- zorgvuldige ruimtelijke inpassing;
- beperking van hinder voor de omgeving;
- transparante communicatie over planning en vervolgstappen.



7. Begrippenlijst

380 kV (kilovolt)

Het hoogste spanningsniveau in het Nederlandse elektriciteitsnet. Wordt gebruikt om zeer grote hoeveelheden elektriciteit over lange afstanden te transporteren.

380 kV-station (hoogspanningsstation)

Een knooppunt in het elektriciteitsnet waar hoogspanningsverbindingen samenkomen en waar elektriciteit wordt verdeeld naar andere stations, naar de regionale netbeheerder, naar klanten of in de toekomst opgeslagen kan worden in batterijen.

AC (Alternating Current / wisselstroom)

De vorm van elektriciteit die wereldwijd wordt gebruikt. De spanning en de stroomrichting wisselt 50 keer per seconde. Het bestaande elektriciteitsnet is volledig gebaseerd op wisselstroom.

Blindstroom

Blindstroom, ook wel reactief vermogen genoemd, is een onderdeel van wisselstroom dat nodig is om elektriciteit door het net te transporteren. Het levert geen direct bruikbare energie, maar beïnvloedt wel de spanning in het net. Als er te veel blindstroom aanwezig is en deze niet wordt gecompenseerd, kan het elektriciteitsnet instabiel worden.

Bovengrondse hoogspanningslijn (OHL – Overhead Line)

Een hoogspanningsverbinding via masten en lijnen in de open lucht. Wereldwijd de meest gebruikte en betrouwbare manier om elektriciteit op 380 kV-niveau te transporteren.

Capaciteit (MVA / MW)

De maximale hoeveelheid elektriciteit die een verbinding veilig kan transporteren. Bij 380 kV gaat het om zeer grote vermogens.

GIL (Gas Insulated Line)

Een hoogspanningsverbinding waarbij de stroom loopt door een metalen buis gevuld met isolerend gas. Wordt vooral toegepast over korte afstanden; toepassing over meerdere kilometers is nauwelijks beproefd.

HVDC (High Voltage Direct Current / hoogspanningsgeleijkstroom)

Een techniek waarbij elektriciteit als gelijkstroom wordt getransporteerd. Geschikt voor zeer lange afstanden of onderzeese verbindingen, maar vereist grote en complexe converterstations.

Leveringszekerheid

De mate waarin het elektriciteitsnet continu en betrouwbaar elektriciteit kan leveren, zonder onderbrekingen.

N-1-criterium

Ontwerpprincipe waarbij het elektriciteitsnet zo is ingericht dat het blijft functioneren als één onderdeel onverwacht uitvalt.

N-2-criterium

Aanvullend ontwerpprincipe waarbij het net ook betrouwbaar moet blijven als tijdens gepland onderhoud een storing optreedt.

NRD (Notitie Reikwijdte en Detailniveau)

Een document waarin wordt vastgelegd wat er onderzocht wordt, welke alternatieven worden bekeken en op welk detailniveau dit gebeurt.

Ondergrondse kabel (UGC – Underground Cable)

Een hoogspanningsverbinding die onder de grond wordt aangelegd. Is minder zichtbaar maar neemt ook ruimte in. Bovendien heeft een ondergrondse kabel heeft andere elektrische eigenschappen dan bovengrondse lijnen.

OHL-kabel overgang (transitiepunt)

De plek waar een bovengrondse hoogspanningslijn overgaat in een ondergrondse kabel. Dit zijn technisch complexe locaties die extra ruimte en beveiliging vragen.

Power quality-onderzoek

Een onderzoek naar de kwaliteit van de geleverde elektriciteit, zoals spanningsfluctuaties, vervormingen van de spanningsgolf (harmonischen) en spanningsdips. Slechte power quality kan leiden tot storingen of hinder bij aangesloten installaties en gebruikers.

Reactief vermogen (Mvar)

Elektrische energie die nodig is om het wisselstroomnet stabiel te laten werken, maar die niet direct wordt gebruikt door apparaten. Te veel reactief vermogen kan leiden tot te hoge spanningen.

Reactief-vermogenscompensatie

Maatregelen om overtollig reactief vermogen op te nemen, zodat de spanning in het net binnen veilige grenzen blijft.

Redundantie

Het principe waarbij het elektriciteitsnet is ontworpen met extra verbindingen of onderdelen als reserve. Hierdoor kan het net blijven functioneren als één onderdeel uitvalt, omdat een ander onderdeel automatisch de functie overneemt.

Shuntreactor (compensatiespoel)

Een technische installatie die reactief vermogen opneemt. Wordt geplaatst op of nabij hoogspanningsstations om spanningen te beheersen bij kabelverbindingen.

Spanning (kV)

De spanning (uitgedrukt in kilovolt) is de 'druk' waarmee elektriciteit door het net stroomt. Als die spanning te hoog of te laag wordt, kunnen installaties beschadigd raken of schakelt het net zichzelf uit om storingen te voorkomen.

Spanninggrenzen

Wettelijk vastgelegde minimale en maximale spanningswaarden waarbinnen het elektriciteitsnet veilig moet functioneren.

Steady-state studie

Onderdeel van de System Impact Study. Richt zich op het gedrag van het net in normale bedrijfssituaties, met speciale aandacht voor spanning en reactief vermogen.

System Impact Study

Een technisch onderzoek waarin wordt beoordeeld wat de effecten zijn van nieuwe verbindingen (zoals kabels) op het functioneren van het elektriciteitsnet.

Transiënte analyse

Een technisch onderzoek dat bekijkt hoe het elektriciteitsnet reageert op plotselinge verstoringen, zoals het uitvallen van een verbinding, een kortsluiting of het schakelen van installaties. De analyse laat zien of spanningen en stromen tijdelijk te hoog of te laag worden en of het net zich na een verstoring veilig en stabiel herstelt.

